

Bouwen met CLT: Een analyse voor een Best-Practice ontwerp- en bouwpraktijk in België.

Tomas De Landsheer

Studentennummer: 02008232

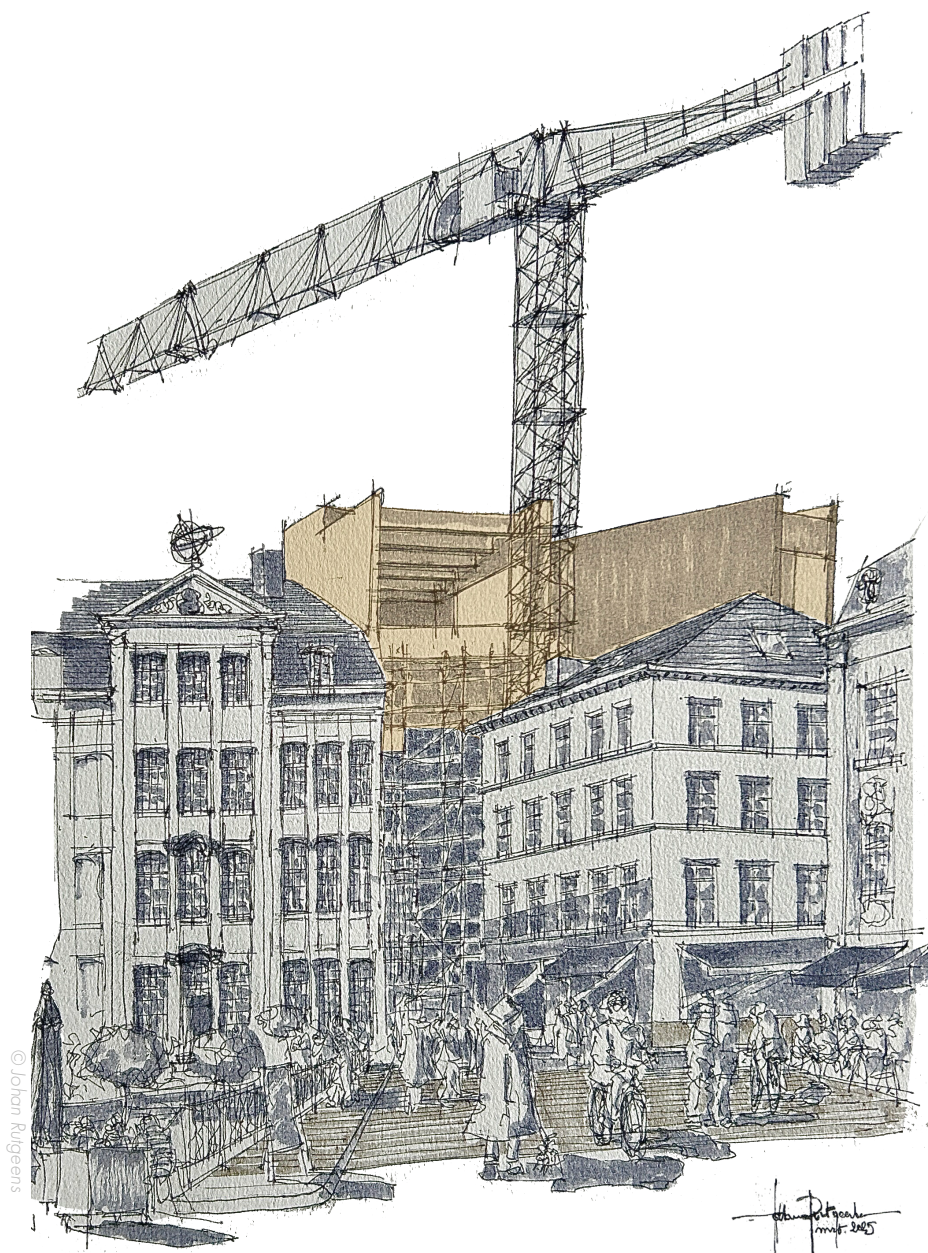
Promotor: prof. dr. ir.-arch. Nathan Van Den Bossche

Begeleider: Anke Blommaert

Masterproef ingediend tot het behalen van de academische graad van

Master of Science in de ingenieurswetenschappen: architectuur - architectuurontwerp en bouwtechniek

Academiejaar 2024-2025



Een analyse voor een Best-Practise
ontwerp- en bouwpraktijk in België.

Tomas De Landsheer

2024-2025

Promotor: prof. dr. ir.-arch. Nathan Van Den Bossche
Begeleider: ir.-arch. Anke Blommaert

BOUWEN MET CROSS-LAMINATED TIMBER

I. Toelating tot bruikleen

De auteur geeft de toelating om deze masterproef voor consultatie beschikbaar te stellen en delen van de masterproef te kopiëren voor persoonlijk gebruik. Elk ander gebruik valt onder de bepalingen van het auteursrecht, in het bijzonder met betrekking tot de verplichting de bron uitdrukkelijk te vermelden bij het aanhalen van resultaten uit deze masterproef.

II. Permission for use of content

The authors give permission to make this master dissertation available for consultation and to copy parts of this master dissertation for personal use. In all cases of other use, the copyright terms have to be respected, in particular with regard to the obligation to state explicitly the source when quoting results from this master dissertation.

22/05/2025

Deze masterproef vormt een onderdeel van een examen. Eventuele opmerkingen die door de beoordelingscommissie tijdens de mondelinge uiteenzetting van de masterproef werden geformuleerd, werden niet verwerkt in deze tekst.

This master's dissertation is part of an exam. Any comments formulated by the assessment committee during the oral presentation of the master's dissertation are not included in this text.

III. Erkenningen

Het indienen van een masterproef wordt beschouwd als de bekroning van een universitaire studie. Het vormt de synthese van de in de afgelopen vijf jaar opgedane kennis, ontwikkelde interesses en gegroeide inzichten en profileert zich als finaal werkstuk waarmee ik met trots mijn opleiding aan de Universiteit Gent afrond.

Allereerst bedankt ik graag mijn promotor, Prof. Van Den Bossche en begeleider Anke Blommaert. Mijn persoonlijk doel van deze masterproef was het werken aan een expertise rond houtbouw. Beiden lieten me toe hierin een eigen pad te bewandelen, berust op vertrouwen. Het is me door dit onderzoek gelukt een brede kennis op te doen in de wereld van houtmassiefbouw. Een lezing van divers bronmateriaal als onderzoeksmethodiek laat toe vele aspecten van het onderwerp te ontdekken. Ik kreeg het gevoel een waardevol en relevant onderzoek te mogen voeren, waar ik betrokken werd bij vakgroepen, professionals en effectieve bouwprojecten. Daarenboven werd ik vooruitgeduwd met waardevolle kritieken en adviezen.

Verschillende personen en instanties verdienen een bijzondere vermelding. Graag bedank ik als eerste mijn vriendin Flore Soens. Zij leverde niet enkel de nodige mentale steun, maar zorgde ook voor inhoudelijke opmerkingen als praktiserend architect. Een speciale dank aan Emma Duymelinck is op zijn plaats voor de geleverde hulp met GIS. Inhoudelijk bedank ik ook graag Laminated Timber Solutions, met name Niels Desmijter en Colin Vandewyngaerde. Zij leverden ingenieursgerichte en praktijkgevoede inzichten tijdens telefoongesprekken en werfbezoeken. Bedankt aan Artes Depret, met name Gilles Van Hoorebeke, voor de toegang tot de werf van het Design Museum in Gent en de vele gesprekken. Hetzelfde geldt voor Baldin Van Minnebruggen bij Woema. Verder bedankt ik ook Bureau Bouwtechniek, met daarbij specifiek Raf De Preter, voor de waardevolle inzichten tijdens ons focusgroep-gesprek.

Tomas De Landsheer

Masterproef ingediend ter verkrijging van de academische graad van
Master of Science in de ingenieurswetenschappen: architectuur

Academiejaar 2024-2025

IV. Abstract

Bouwen met CLT:

Een analyse voor een Best-Practice ontwerp- en bouwpraktijk

Tomas De Landsheer

Cross-Laminated Timber (CLT) ontwikkelde zich de voorbije decennia wereldwijd tot een volwaardig en hoogperformant bouw materiaal. De voordelen op vlak van circulariteit, CO₂-opslag en volgend uit de prefabricatie van panelen maken het bijzonder geschikt binnen de actuele klimaat- en duurzaamheidsambities van de bouwsector. Ook in België groeit de belangstelling voor houtmassiefbouw. Toch blijft de toepassing ervan voorlopig beperkt tot een select aantal projecten. De specifieke eigenschappen van CLT, gecombineerd met het vochtige en gematigde Belgische klimaat, maken dat vochtproblematieken een aanzienlijk risico vormen – zowel tijdens de bouw fase als over de levensduur van het gebouw.

Binnen de huidige Belgische bouwpraktijk ontbreekt het bovendien aan een uitgewerkt kader voor een correcte vocht huishouding bij CLT-projecten. De kennis over risicodetails, een optimale gebouwschil en bescherming tijdens werfopvolging is vaak versnipperd, en tegelijk niet structureel ingebed in het ontwerp- en bouwproces. Bovendien blijkt uit de praktijk dat verantwoordelijkheden rond vochtbeheersing vaak onvoldoende vastliggen, wat leidt tot improvisatie. Dit laat CLT-bouw gezien zijn vochtgevoeligheid niet toe. Er is dan ook nood aan een integrale benadering die zowel ontwerp technisch, uitvoeringstechnisch als organisatorisch antwoord biedt op de vochtgevoeligheid van CLT in Belgische context.

Deze scriptie tracht hieraan bij te dragen. Het baseert zich op een uitgebreide literatuurstudie van wetenschappelijk publicaties, internationale handleidingen en normen, aangevuld met interviews met bouwprofessionals en de opvolging van een grootschalig CLT-project. Het brengt de vochtgevoeligheid van CLT-panelen in België in kaart, reikt methodes aan om deze te adresseren en dit te vertalen tot ontwerp- en uitvoeringsmaatregelen. Hieruit blijkt dat het ontwikkelen van een vochtbeheersplan (VBP) een van de sleutels tot succes blijkt.

De scriptie toont aan dat duurzame CLT-bouw in België mogelijk is, mits een systematische aanpak van vochtbeheersing vanaf de ontwerp fase. Door kennis te bundelen en tools te ontwikkelen, kan deze studie bijdragen aan de verdere professionalisering van houtmassiefbouw in ons land.

Kernwoorden

Cross-Laminated Timber, Vochtbeheersing, Vochtbeheersplan, Belgische Best-Practice

Sept. 2024 - Mei 2025

Masterproef ingediend ter verkrijging van de academische graad van
Master of Science in de ingenieurswetenschappen: architectuur

Promotor: prof. dr. ir.-arch Nathan Van Den Bossche
Begeleider: ir.-arch. Anke Blommaert

Building with CLT: An analysis for a Best-Practice design and construction phase in Belgium

Tomas De Landsheer

Supervisors: Nathan Van Den Bossche, Anke Blommaert

Abstract: While CLT is internationally recognised for its ecological and structural advantages, its application in Belgium remains limited, primarily due to challenges related to moisture exposure in a temperate maritime climate. The combination of climatic vulnerability and a fragmented knowledge base among construction professionals increases the risk of moisture-related damage throughout both the design and construction phases. In response, this research proposes a comprehensive approach to moisture management in CLT projects, grounded in international literature, professional insights, and on an in-depth case study. Central to this approach is the development of a Moisture Management Plan (MMP), which serves as a practical framework for assessing, mitigating, and monitoring moisture risks throughout the building process.

Keywords: Cross-Laminated Timber (CLT), Moisture, Moisture Management Plan (MMP), Belgian building practice

I. INTRODUCTION

Over the past decades, Cross-Laminated Timber (CLT) has gained widespread international recognition as a sustainable, biobased, and efficient construction material [1-3]. In Belgium as well, the market share of timber construction is gradually increasing. According to HoutInfoBois (2022), CLT accounted for 13% of all new timber buildings, whereas this was only 6% in 2017. These statistics reflect a rising interest, yet also highlights the relatively moderate growth compared to neighbouring countries and other construction systems [3-4].

This cautious uptake is partly due to Belgium's climatic reality. The country is characterised by a temperate maritime climate, marked by frequent precipitation, limited drying periods, and mild winters — conditions that are far from ideal for hygro-sensitive building materials [5-6]. Objective assessments, such as the Scheffer Climate Index (Fig. 1.), place Belgium as most at-risk regions in Europe for fungal decay due to prolonged moisture exposure [7-9]. This underscores the critical role of moisture management in safeguarding the durability and performance of CLT structures. Beyond the environmental challenges, the Belgian construction culture itself presents additional barriers. The sector remains predominantly oriented towards masonry, concrete, and steel, resulting in a general lack of expertise regarding mass timber systems and their specific hygrothermal vulnerabilities [3]. Since the climate cannot be altered, the key to robust CLT implementation lies in knowledge development - particularly in how moisture-related risks can be anticipated and mitigated throughout the design and construction phases [10].

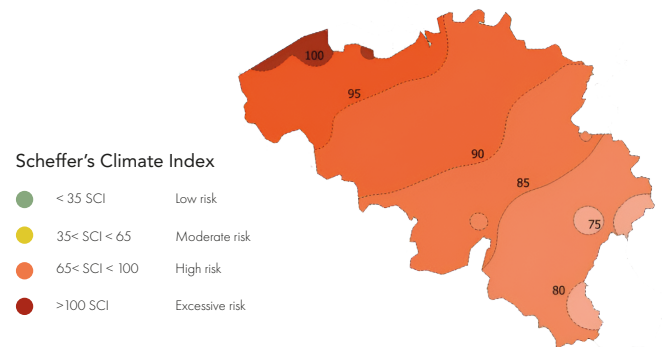


Figure 1. Scheffer's Climate Index for Belgium

II. PROBLEM STATEMENT AND METHODOLOGY

Despite growing momentum toward a more sustainable building stock, practice often reveals a lack of expertise that results in moisture-related damage of varying severity. In Belgium, this sustains a high perceived risk around CLT construction among both professionals and clients, reinforcing the tendency to fall back on more conventional systems (Fig.2.) [3].

This thesis aims to support the necessary knowledge development by providing designers and contractors with essential principles and tools for applying CLT in moist climates. At the core of this effort lies the Moisture Management Plan (MMP), conceived as an adaptive and project-specific framework for risk control [11].

The research approach combines an extensive review of scientific and technical literature with insights from professional interviews and the site monitoring of a large-scale CLT project in Belgium. The findings are described as a Best-Practice strategy and a set of practical instruments including tools and design guidelines.



Figure 2. Problem statement within Belgian CLT-building practice

III. BEST-PRACTICE DESIGN

A. Moisture-aware Design Process

Protection-by-Design starts in the early design phase. Due to the prefabricated nature of CLT panels, a different design logic is required—often referred to as Design for Manufacturing and Assembly (DfMA) [12-13]. This leads to a temporal shift, with design intensity peaking much earlier than in traditional Belgian design processes, which typically involve sequential phases and delayed expertise input (Fig. 3) [2-3,14-15].

Findings from this thesis show that regions with an established timber culture increasingly adopt integrated design practises. Expertise from contractors and even suppliers is introduced earlier to align the design with practical feasibility. This not only distributes the workload more evenly for the design team, but also enhances moisture protection through collaborative knowledge exchange. Internationally, such collaboration is often formalised through design-build frameworks [16-18].

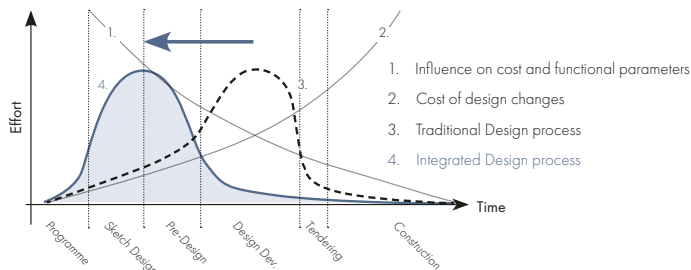


Figure 3. MacLeamy Curve illustrating a temporal shift

B. Moisture Management within the Building Envelope

The most explicit form of ‘Protection-by-Design’ lies in the conception of a resilient, moisture-resistant building envelope. Moisture loads on this envelope are influenced by numerous external factors and can result in critical exposure of CLT panels. Literature and practice indicate that exposed joints and end grain surfaces are particularly vulnerable, as capillary suction along the longitudinal fibre direction enables rapid moisture uptake. A target moisture content (MC) below 19% is widely recommended to prevent damage mechanisms, with structural decay due to fungal activity being the most severe outcome [13, 19-27].

A first overarching strategy for controlling moisture in the envelope is the application of the 4Ds: Deflection, Drainage, Drying, and Durable materials (Fig. 4). In humid climates like Belgium, this strategy could also be red as the conception of a resilient 3D-envelope guided by a fourth dimension: time. Both literature and site observations indicate that insufficient consideration of temporary protection during the construction phase remains a major shortcoming in current CLT practice. This strategy ultimately informs choices on protective measures such as membranes, tapes, and coatings [28-29].

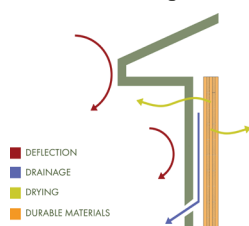


Figure 4. Conceptual visualisation of a 4D-principle.

A second design imperative is to maximize both inward and outward drying of the panels. Vapour-open assemblies are standard in most timber-advanced regions [13, 30-32]. However, in Belgium, regulatory constraints such as EPB performance often lead to the use of vapour-tight materials (e.g. synthetic insulation). Ideally, material choices aim for semi-permeable properties, typically with S_d -values around 3.5 m, to allow drying should moisture bypass the outer defences (Table 1). CLT itself has an S_d -value of approximately 50 m, often eliminating the need for an additional vapour barrier—except in spaces with high indoor humidity, where moisture resistance declines significantly at elevated RH levels [12,30-31].

Criterion	Vapor Diffusion Resistance	Example
$S_d < 0,35m$	Vapor-open	Permeable
$0,35m < S_d < 3,5m$	Vapor-retardant	Semi-permeable
$3,5m < S_d < 35m$		Semi-impermeable
$S_d > 35m$	Vapor-closed	Impermeable
		CLT*, EPDM

*: S_d -value of CLT depending on internal lamella configuration and panel thickness

Table 1. Vapor-tightness classes

Moisture not only directly affects the panel structure but also indirectly impacts overall envelope performance. Cyclical wetting and drying can generate internal stresses, leading to delamination and the formation of leakage pathways, compromising vapour and airtightness (Fig. 5) [32]. Similarly, the thermal performance of some wet insulation materials is significantly reduced. As such, moisture control remains essential to ensure the integrity and functionality of the building envelope [30].

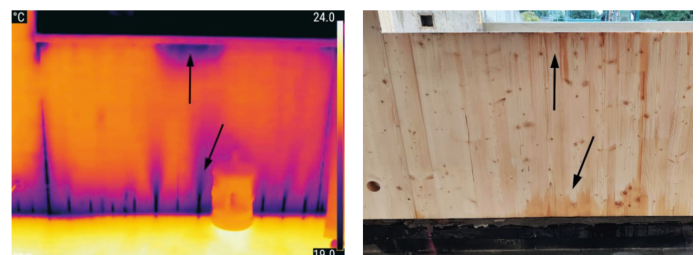


Figure 5. Air leakage in a finished building as a result of cyclic wetting at the end grain of a panel during construction phase.

This thesis describes a detailed overview of the most common CLT build-ups, including external walls, intermediate floors, pitched roofs, and flat roof assemblies.

C. Detailing and connection principles

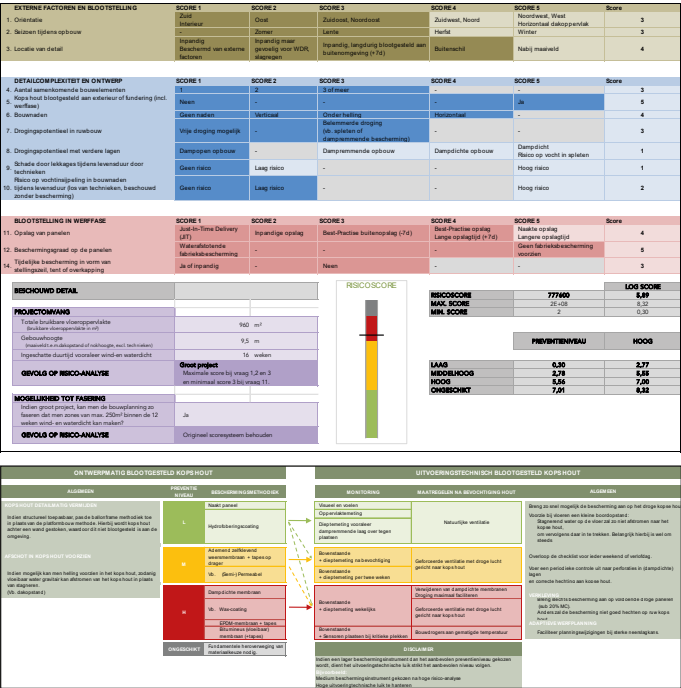
Several studies have demonstrated that significant wetting of panel joints can result in drying times that exceed the threshold for the initiation of fungal decay [21-24]. Designers must therefore be acutely aware of the risk of damage following moisture exposure at specific connection details. This risk is driven by a combination of factors—some cumulative—and is inherently complex to quantify objectively. Nevertheless, it is essential to develop appropriate protection strategies that span both different construction phases and the long-term service life of the building.

To support this, this research introduces a detailing-tool (Fig. 6). Based on an assessment of moisture-related risk, the tool proposes an *optimal* protection strategy. This approach balances preventive measures with practical feasibility, aiming to avoid both underprotection and overly cautious detailing that may compromise constructability or cost-effectiveness [11,33-38].

Scientific literature and technical guidelines consistently highlight a recurring set of critical detail types. This recurrence is not coincidental; it reflects their inherent vulnerability. However, the translation of these generic principles to other project-specific

solutions is often left to the designer. In a Belgian construction culture where moisture risks associated with CLT remain poorly understood, this translation is far from straightforward.

The developed tool offers a universal framework applicable to any type of detail. First, a risk score is determined using a project-specific risk matrix (Fig. 6a), raising awareness of the moisture exposure profile. Based on this profile, the tool applies three prevention matrices—addressing panel surfaces, joints, and exposed end grain—which yield a tailored protection recommendation (Fig. 6b). It is then up to the designer to interpret this recommendation in relation to project-specific constraints such as budget, complexity, and team experience.



The tool is further demonstrated through four case-specific detailing examples, each representing a distinct risk profile, to illustrate its applicability and decision-making potential.

IV. BEST-PRACTICE EXECUTION

Even with a well-considered and resilient design, some risk for moisture ingress into CLT panels remains inevitable. Therefore, the second pillar of a moisture-resilient CLT project in Belgium lies in careful execution and frequent monitoring. This section focuses on moisture management during the construction phase and outlines Best-Practice measures—from the moment panels leave the factory to on-site protection and in-service monitoring.

A. Transport and preparation

Best practice recommends Just-In-Time (JIT) delivery of CLT panels—ideally on the day of installation [3,13,31]. This requires close coordination with the supplier, as most panels for Belgian projects are sourced from Central Europe. Upon arrival, panels should be inspected for damage and moisture content. Effective moisture management begins with thorough site preparation, including strategic planning, potential phasing, and clearly defined responsibilities among stakeholders. Additionally, basic training on moisture principles for all site personnel provides significant added value.

B. On-Site Protection

Protection of CLT panels can be divided into three components: storage protection, passive and active protection. Best-Practice storage involves strategic stacking that allows for adequate ventilation, shading, and potential drying, while also preventing further risks (e.g., damages by sitting workers or equipment). Prior to installation, panels should exhibit a moisture content of $12 \pm 3\%$ [31]. Passive protection includes both local and global measures. Local protection is defined during the design phase and should (and can) only be applied to panels with a moisture content below 20% [11, 30]. Global protection refers to the use of full-site shelters or temporary coverings with scaffolding and/or tarpaulins. Although logistically and economically challenging, full enclosures remain the most effective strategy for moisture control [13,39]. Active moisture management includes draining standing water to predefined drainage points or extracting moisture using industrial vacuums. Given its labour-intensive nature and associated costs, this approach should be minimised through careful design and planning [19-20].

C. Monitoring during construction and operational phase

Despite the availability of various moisture meters, the hammer-type electrical resistance moisture meter remains the most commonly used and relevant instrument for CLT. It allows measurements up to 6 cm depth, and with pre-drilled holes, deeper readings can be taken within the panel core. Although EN 13183-2:2002 is often used as a reference, it was not developed for massive timber elements and is therefore largely inadequate—particularly concerning measurement depth and proximity to panel edges [40-43]. This section therefore proposes a refined measurement protocol based on current research literature (Fig. 7), offering guidance on optimal depth (targeting the correct lamella), frequency (based on risk profile), electrode placement (max. 30 mm from panel edge), and monitoring techniques to enable meaningful interpretation of moisture data [13, 31, 44-45].

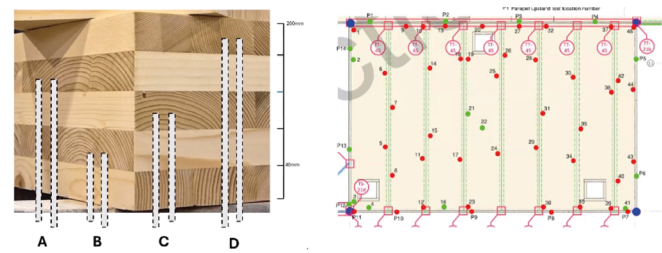


Figure 7. Targeting the right lamella and risk zones in measuring MC.

D. Measures after wetting

In cases of moisture ingress, the typically shorter construction timelines and energy-efficient design of CLT buildings often necessitate panel drying. Notably, drying proceeds significantly slower than moisture uptake [46-47]. Natural drying depends on the panel’s internal moisture content, surface temperature, ambient temperature, relative humidity, and ventilation rate [30]. In Belgium’s humid, rainfall-prone climate, natural drying is only feasible in sheltered areas with sufficient airflow and is often too slow—especially at joints—to prevent early-stage degradation. Mechanical drying combines fans, dehumidifiers, and electric heaters. Careful monitoring of drying speed is essential to prevent cracking and the formation of future moisture pathways [23, 30-31, 48]. While highly effective when correctly applied, mechanical drying should never be an inherent part of a protection strategy.

V. MOISTURE MANAGEMENT PLAN (MMP)

The key to a smooth construction process lies in the development of a Moisture Management Plan (MMP) during the design phase. Ideally, the MMP is initiated in the pre-design stage and evolves iteratively throughout the design process, incorporating input from all relevant project stakeholders. It serves as a precondition for the execution phase. A well-developed MMP should be able to answer the question: *“What if moisture reaches the panels at this exact location?”* Moreover, it should clearly define the roles and responsibilities of each construction partner with regard to on-site moisture control, and include execution-oriented documents such as checklists, detailing bundles, assembly plans, schedules and various protocols (Fig. 8) [11, 49-50].

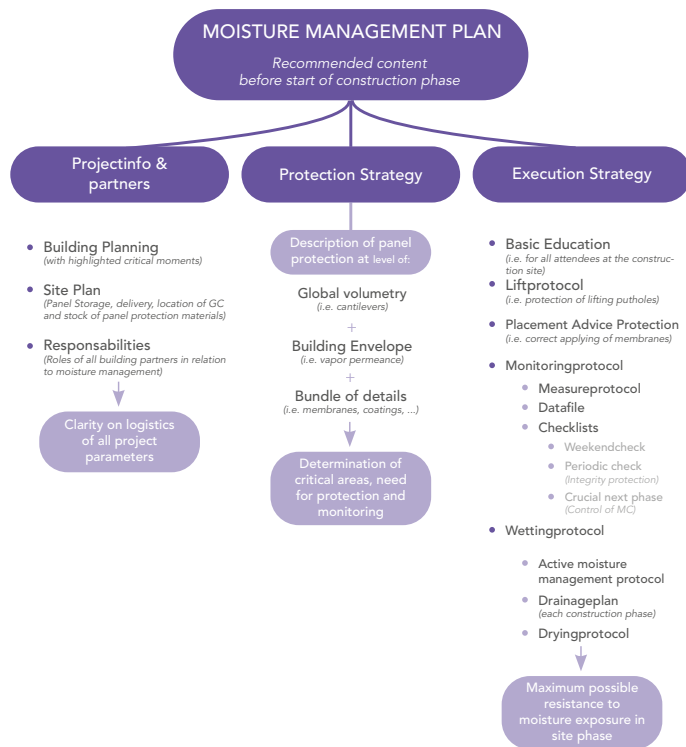


Figure 8. Recommended content of a MMP

VI. CONCLUSION

While CLT presents clear advantages, especially in light of today's sustainability challenges, its implementation in Belgium remains limited. One of the main barriers is the lack of knowledge regarding moisture management in the country's humid climate. As a hygroscopic material, CLT requires a distinct design approach and a more carefully managed construction process. Despite shorter building times, the execution phase demands greater attention to protection and monitoring.

Literature and practical site observations highlight three recurring causes of moisture-related issues: unclear distribution of responsibilities, insufficient understanding of moisture risks in timber structures, and overconfidence in certain protection methods without adapting them to actual exposure. A well-structured Moisture Management Plan (MMP) directly addresses these challenges and is therefore highly relevant in the Belgian context. This research combines international Best Practices with insights from a site follow-up of a CLT project, offering design and construction professionals practical guidance towards more resilient timber construction in Belgium.

REFERENCES

- [1] Olsson, L. (2020). Moisture safety in CLT construction without weather protection-Case studies, literature review and interviews.
- [2] Waugh Thistleton Architects. (2018). UK CLT Handbook.
- [3] INBO. (2021). Cross Laminated Timber - Handleiding voor Architecten en Bouwkundigen.
- [4] HoutInfoBois. (2024). Toestand van de Houtbouw in België 2011-2024.
- [5] Koninklijk Meteorologisch Instituut (KMI). (2024). Het Belgisch klimaat.
- [6] Van de Kuilen, J.-W., Gard, W. F., & Ehmcke, G. (2024, juni 10). Timber in Construction: Lecture on Durability Durability of timber (and timber structures). TU München, TU Delft.
- [7] Viitanen, H., Toratti, T., Makkonen, L., Peuhkuri, R., Ojanen, T., Ruokolainen, L., & Räisänen, J. (2010). Towards modelling of decay risk of wooden materials. *European Journal of Wood and Wood Products*, 68(3), 303–313.
- [8] Scheffer, T. (1971). A Climate Index for Estimating Potential for Decay in Wood Structures Above Ground. In *Forest Products Journal* (Vol. 21, Nummer 10).
- [9] Lima, D. F., Duarte, S., Branco, J. M., & Nunes, L. (2024). Mass Timber Buildings: The associated risks of rainwater exposure during construction in the Portuguese climate. *Journal of Building Engineering*.
- [10] Blommaert, A., Steeman, M., & Van Den Bossche, N. (2025). Modeling Moisture Accumulation and Decay Potential in Cross-Laminated Timber Wall Assemblies Exposed During the Construction Phase. *Buildings*, 15(7).
- [11] RDH Building Science. (2021). Moisture Risk Management Strategies for Mass Timber Buildings - A guide for designers, construction professionals, and building developers.
- [12] WoodWorks, & Wood Products Council. (2022). *US Mass Timber Construction Manual (First Edition)*
- [13] Gustafsson, A. (2019). *The CLT Handbook - CLT structures, facts and planning*. Swedish Wood.
- [14] MacLeamy, P. (2004). Collaboration, Integrated Information and the Project Lifecycle in Building Design, Construction and Operation.
- [15] Dillen, M., Masschelein, H., Bosschem, J., & Baetens, K. (2016). *Werken in Bouwteam: een innovatief bouwproces*.
- [16] Clifford, N. (2025, march 10). Mass Timber Construction Challenges and Insurance Perspectives. Mass Timber Moisture Club.
- [17] Caldwell, M. (2025, april 2). Moisture Management During Construction: as viewed from a designers' perspective. University of Bath.
- [18] Karacabeyli, E., & Lum, C. (2022). Technical Guide for the Design and Construction of Tall Wood Buildings in Canada Special Publication SP-543E.
- [19] Shane, C. (2024). Mass Timber Moisture Management. RDH BC
- [20] Finch, G. (2022, april 5). Mass Timber Moisture Management Planning. RDH.
- [21] McClung, R., Ge, H., Straube, J., & Wang, J. (2014). Hygrothermal performance of cross-laminated timber wall assemblies with built-in moisture: Field measurements and simulations. *Building and Environment*, 71, 95–110.
- [22] Lepage, R. (2012). Moisture responses of wall assemblies of cross-laminated timber construction in cold climates. University of Waterloo.
- [23] Kuk, V., Kaljula, L., Kers, J., & Kalamees, T. (2022). Designing highly insulated cross-laminated timber external walls in terms of hygrothermal performance: Field measurements and simulations. *Building and Environment*, 212.
- [24] Kalbe, K., Kalamees, T., Kuk, V., Ruus, A., & Annuk, A. (2022). Wetting circumstances, expected moisture content, and drying performance of CLT end-grain edges based on field measurements and laboratory analysis. *Building and Environment*, 221.
- [25] Schmidt, E., & Riggio, M. (2019). Monitoring moisture performance of cross-laminated timber building elements during construction. *Buildings*, 9(6).
- [26] Tengberg, C. S., & Hagentoft, C. E. (2021). Risk assessment framework to avoid serial failure for new technical solutions applied to the construction of a clt structure resilient to climate. *Buildings*, 11(6).

- [27] Time, B., Andenæs, E., Karlsen, T., Geving, S., & Kvande, T. (2023). Moisture safety strategy for construction of CLT structures in a coastal Nordic climate. *Journal of Physics: Conference Series*, 2654(1).
- [28] Hazleden, D. G., & Morris, P. I. (1999). *Designing for Durable Wood Construction: the 4Ds*.
- [29] Olsson, L. (2021). CLT construction without weather protection requires extensive moisture control. *Journal of Building Physics*, 45(1), 5–35.
- [30] Douglas, B., & Karacabeyli, E. (2013). *CLT: Cross Laminated Handbook*, US edition (US Edition).
- [31] Clifford, N. (2025c, april 2). *Mass Timber & Moisture: Managing & Monitoring Moisture for CLT Projects*. TIAS(UK).
- [32] Kalbe, K., Kuk, V., & Kalamees, T. (2023). Influence of CLT Wetting During the Construction Phase on the Crack Formation and Air Leakages in the CLT. *AIP Conference Proceedings*, 2918(1).
- [33] ISO. (2011). *ISO15686-1:2011: Buildings and constructed assets - Service Life Planning - Part 1: General principles and Framework*.
- [34] Gaspari, A., Giongo, I., & Piazza, M. (2021). A risk-based approach for timber building decay prediction. *Procedia Structural Integrity*, 37(C), 811–819.
- [35] Brischke, C., Niklewski, J., & van Niekerk, P. B. (2021). Estimating the service life of timber structures concerning risk and influence of fungal decay—A review of existing theory and modelling approaches. In *Forests* (Vol. 12, Nummer 5). MDPI AG.
- [36] Hovde, P. J. (2002). *The Factor Method For Service Life Prediction From Theoretical Evaluation To Practical Implementation*.
- [37] Marranzini, D., Iovane, G., Cascini, L., Landolfo, R., Nicoletta, M., & Faggiano, B. (2023). A methodology for the service life estimation of timber structures. *Life-Cycle of Structures and Infrastructure Systems - Proceedings of the 8th International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering, IALCCE 2023*, 3793–3799.
- [38] Udele, K., Ayanleye, S., Nasir, V., Zhang, X., & Miltz, H. (2022). Durability and protection of mass timber structures: A review. *Build. Eng.*, 46.
- [39] Bolmsvik, A., Eriksson, O., Tengberg, C. S., & Johansson, P. (2023). Weather protection at the construction site: Work environment and conditions for moisture and mould growth on massive timber. *Journal of Physics: Conference Series*, 2654(1).
- [40] Dietsch, P., Franke, S., Franke, B., Gamper, A., & Winter, S. (2016). Methods to determine wood moisture content and their applicability in monitoring concepts.
- [41] Forsén, H., & Tarvainen, V. (2000). Accuracy and functionality of hand held wood moisture content meters.
- [42] CEN. (2002). *EN 13183-2:2002, Moisture content of a piece of sawn timber - Part 2: Estimation by electrical resistance method*.
- [43] Flexeder, N., & Schenk, M. (2022). *Moisture Monitoring Techniques for the Protection of Timber Structures*.
- [44] Wang, J. (2016). *Guide for On-site Moisture Management of Wood Construction*.
- [45] Kalbe, K., Pärn, R., Ruus, A., & Kalamees, T. (2024). Enhancing CLT construction – Hygrothermal modelling, novel performance criterion, and strategies for end-grain moisture safety.
- [46] Janssens, A. (2022a). *Vochtbeheersing in Gebouwen: transport van waterdamp*.
- [47] Habtie, K. (2022). *Hygrothermal behaviour of CLT: investigation of moisture tolerance through experiments and simulations*. Ghent University.
- [48] Wang Jieying. (2020). *Construction Moisture Management - Cross Laminated Timber*.
- [49] Structural Timber Association. (2022). *Moisture management strategy: Process guidance for structural timber building*.
- [50] Structural Timber Association. (2017). *Robustness of CLT structures - Key principles for moisture durability*.

Lijst van afkortingen

EWP	Engineered Wood Product	TCC	Timber-Concrete-Composite
CLT	Cross Laminated Timber	FM	Factormethode
VBP	Vochtbeheersplan	DfMA	Design for Manufacturing and Assembly
SO	Schetsontwerp	MCDM	Multi-Criteria-Decision-Making
VO	Voorontwerp	TOW	Time Of Wetness
DO	Definitief ontwerp	BB	Bureau Bouwtechniek
CO ₂	Koolstofdioxide	LTS	Laminated Timber Solutions
MC	Moisture content -Vochtgehalte		
RH	Relative Humidity/ Relatieve vochtigheid		
EMC	Evenwichtsvochtgehalte		
FSP	Vezelverzadigingspunt		
WRB	Water-Resistive-Barrier		
WDR	Wind Driven Rain		
JIT	Just-In-Time levering		

VI. Inhoud

DEEL 1. CLT ALS BOUWMATERIAAL	1
1.1. Cross Laminated Timber als EWP	1
1.1.1. Opbouw Cross Laminated Timber	1
1.1.2. Productie van CLT-panelen	2
1.2. Voor- en nadelen van houtmassiefbouw	3
1.2.1. Voordelen op paneelniveau	3
1.2.2. Voordelen als bouwsysteem	4
1.2.3. Uitdagingen van houtmassiefbouw	8
DEEL 2. BELGISCHE HOUTMASSIEFBOUW	10
2.1. Klimatologische ligging	12
2.2. Belgisch bouwklimaat	17
2.2.1. Historische bouwcultuur	17
2.2.2. Bezwaren en misconcepties	18
2.3. Probleemstelling	20
2.4. Onderzoeksmethodiek	20
2.4.1. Gebruik van generatieve AI-tools	21
DEEL 3. BELGISCH BEST-PRACTICE ONTWERPPROCES	23
3.1. (Vocht)Bewust ontwerpproces	24
3.1.1. Vroegtijdige beslissingen volgend uit prefabricatie	24
3.1.2. Nood voor een geïntegreerde holistische ontwerppraktijk	26
3.1.3. Fase-specifiek ontwerpproces in CLT-constructies	29
3.1.4. Conclusies voor een Best-Practice ontwerpproces	41
3.2. Vochthuishouding in de gebouwschil	42
3.2.1. Invloeden op de gebouwschil	43
3.2.2. Lasten op de gebouwschil	45
3.2.3. Beheersingslagen voor de gebouwschil	56
3.2.4. Standaardopbouwen in de gebouwschil	73
3.2.5. Conclusies voor een Best-Practice gebouwschil	98
3.3. Detaillering en aansluitingsprincipes	99
3.3.1. Ontwerptool voor aansluitingsdetails	100
3.3.2. Illustratie van de ontwerptool - kritische bouwdetails	109
3.3.3. Analyse van de ontwerptool	129
3.4. Conclusie	132
DEEL 4. BELGISCH BEST-PRACTICE UITVOERING	133
4.1. Werfvoorbereiding en transport	135
4.1.1. Transport naar de bouwplaats	135
4.1.2. Solide werfplanning als basis	136

4.2. Bescherming in-situ	138
4.2.1. Best-Practice paneelopslag	138
4.2.2. Actieve en passieve bescherming	140
4.2.3. Externe tijdelijke werfbescherming	143
4.3. Handling en lifting van panelen	145
4.4. Vochtmonitoring tijdens en na bouwfase	147
4.4.1. Meetapparatuur	147
4.4.2. Correcte meetpraktijk	149
4.4.3. Sensoren als vroegtijdig detectiesysteem	155
4.5. Maatregelen na bevochtiging	157
4.5.1. Nood tot droging	157
4.5.2. Natuurlijke droging	158
4.5.3. Geforceerde droging	159
4.6. Conclusie	162
DEEL 5. CONCLUSIE VOOR HET VOCHTBEHEERSPLAN	163
5.1. Kerngedachte VBP	164
5.2. Aanbevolen VBP-inhoud	165
DEEL 6. PRAKTIJKINZICHTEN	169
6.1. Introductie	170
6.2. Design Museum Gent (DING)	170
6.2.1. Projectgegevens	170
6.2.2. Opvolging en methodiek	171
6.2.3. Protection-by-design	172
6.2.4. Bescherming tijdens werffase	177
6.2.5. Vochtmonitoring en opvolging tijdens werffase	185
6.2.6. Maatregelen na bevochtiging	186
6.2.7. Conclusies case-study	188
6.3. Gesprekken met professionals	189
6.3.1. Bureau Bouwtechniek	189
6.3.2. Diverse gesprekken	194
DEEL 7. MAATSCHAPPELIJKE REFLECTIE	195
DEEL 8. BIBIOGRAFIE EN ADDENDA	197
8.1. Bibliografie	
8.2. Addendum: Praktijkids	
8.3. Bijlagen	

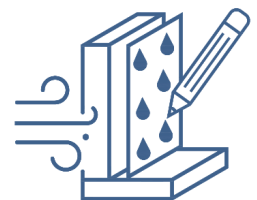
Introductie

Cross-Laminated Timber (CLT) is wereldwijd in opmars als duurzaam en efficiënt bouw materiaal. Ook in België groeit de belangstelling voor houtmassiefbouw. Toch blijft de grootschalige toepassing van CLT in onze contreien voorlopig achter. Dat is niet zonder reden: de Belgische bouwpraktijk wordt onder andere sterk beïnvloed door een vochtig en gematigd zeeklimaat, waardoor CLT-constructies sneller blootgesteld worden aan langdurige vochtbelasting. Anderzijds vergt een CLT-constructie, in tegenstelling tot beton of staal, een veel nauwgezetere aanpak op vlak van detailuitwerking, werforganisatie en uitvoering. Dit maakt dat de integratie van CLT in de Belgische bouwcultuur vandaag nog met de nodige uitdagingen gepaard gaat.

Deze masterproef onderzoekt hoe een vochtveilige CLT-bouw in België haalbaar kan worden gemaakt. Via een brede literatuurstudie worden inzichten verzameld uit diverse internationale regio's met uiteenlopende bouw klimaten. Op basis van diverse soorten literatuur wordt in deze scriptie een toegepaste Best-Practice voorgeschreven voor het Belgische bouw klimaat. Naast deze literatuurtechnische component vormt ook de praktijk een belangrijke pijler in dit onderzoek. Gesprekken met ontwerpers, uitvoerders en producenten, evenals de opvolging van een omvangrijk CLT-project in Gent, verschaffen waardevolle kennis over de huidige knelpunten en opportuniteiten.

De centrale uitkomst van dit onderzoek is het opstellen van een vochtbeheersplan (VBP): een gestructureerd document dat ontwerp- en uitvoeringskeuzes bundelt met als doel CLT-bouw te beschermen tegen vochtgerelateerde schade. Dit blijkt geen overbodige luxe, maar een noodzakelijke voorwaarde voor kwalitatieve houtbouw in België.

Deze scriptie is opgebouwd rond zes hoofdonderdelen, elk herkenbaar aan een eigen kleur en icoon. De lezer wordt stap voor stap meegenomen van theoretische basis naar praktische vertaling. De voornaamste inzichten zijn gebundeld in een aparte vochtbeheersingsgids, gericht op ontwerpers, ingenieurs en bouwers. Tot slot werd ook een digitale ontwerptool ontwikkeld waarmee opbouwkeuzes en aansluitingsdetails geanalyseerd kunnen worden op hun vochtrisico. Via onderstaande QR-code of link kan men een werkversie van deze tool downloaden, inclusief enkele uitgewerkte voorbeeldcases.



Toegang tot digitale documenten

<https://zenodo.org/records/15333140>



DEEL 1

CLT ALS BOUWMATERIAAL

1.1.	Cross Laminated Timber als EWP	1
1.2.	Voor- en nadelen van houtmassiefbouw	3

1.1. Cross Laminated Timber als EWP

Cross-Laminated Timber, kortweg CLT, behoort samen met houtproducten als multiplex, glulam en LVL tot de groep van Engineered Wood Products (EWP). Deze ontstonden rond 1990 als antwoord op enkele beperkingen van massief hout en de groeiende vraag naar efficiëntere houtbouwmethoden. De producten binnen deze familie zorgen voor een optimaler gebruik van hout als grondstof, samen met het leveren van verbeterde mechanische parameters. Vanaf het midden van de twintigste eeuw ondergingen deze materialen ook een sterke technologische ontwikkelingen, waardoor deze meer en meer toepasbaar zijn om te voldoen aan hedendaagse bouweisen (Olsson, 2020; Waugh Thistleton Architects, 2018).

CLT, ook bekend als kruislaaghout, BSP, X-Lam of Crosslam, is een constructiemateriaal bestaande uit meerlaags verlijmd massieve houten planken. Hierin ligt elke laag haaks ten opzichte van de vorige, waarna deze vervolgens verlijmd en geperst worden. Dit vormt samen een massief paneel, waardoor bouwen met CLT binnen de houtbouwwereld valt onder de categorie 'houtmassiefbouw'. Het kruislings verlijmen zorgt voor een paneel dat sterk, stijf en vormstabiel is terwijl hout nog steeds lichtgewicht en duurzaam is. Deze combinatie maakt dat bouwen met CLT kan gezien worden als een ecologisch alternatief voor betonbouw en/of staalbouw (INBO, 2021).

Dit laatste maakt dat de vraag naar en de productie van CLT wereldwijd toeneemt, waaronder ook in Europa. Sinds 2015 is het Europees verbruik van CLT met gemiddeld 15% per jaar gestegen, met in Europa ondertussen ruim meer dan 50 producenten. Maar ondanks dat houtbouw meer en meer herzien wordt als structureel bouw materiaal is de implementatiesnelheid afhankelijk van land tot land. België is hierin zeker niet onder de snelste van Europa. Dit komt mede door een gebrek aan kennis bij alle actoren in een bouwproces, maar ook deels omdat houtmassiefbouw nog niet omarmd is door bouwvoorschriften zoals de Eurocode 5 (Hyams et al., 2020; HoutInfoBois, 2022).

1.1.1. Opbouw Cross Laminated Timber

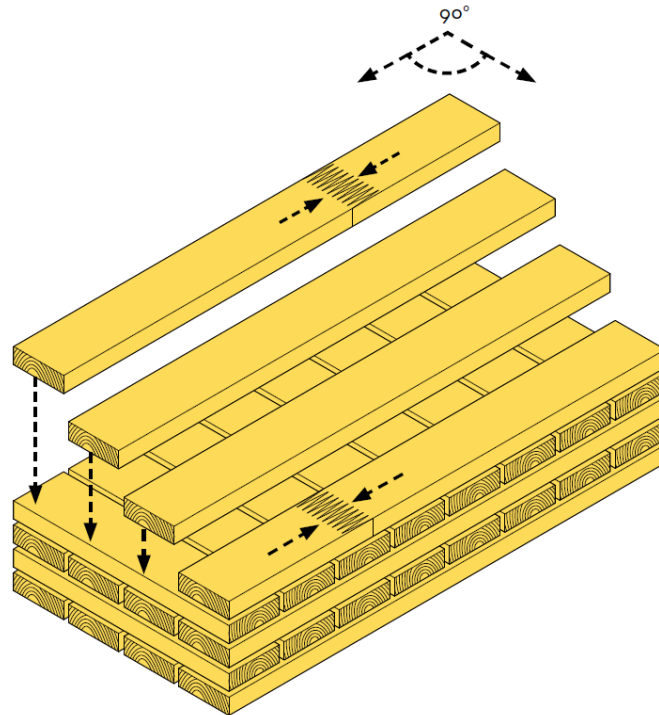
Een CLT-paneel wordt steeds geproduceerd met een oneven aantal houtlagen, meestal variërend van drie tot zeven, met als doel de structurele stabiliteit en stijfheid van het paneel te garanderen. In bepaalde gevallen kan echter een even aantal lagen worden gekozen, voornamelijk om esthetische redenen. Hierbij kan een buitenste laag worden vervaardigd uit een andere houtsoort of met een specifieke afwerkingsgraad, afhankelijk van de gewenste uitstraling.

De vezelrichtingen van de lagen in een CLT-paneel staan meestal loodrecht op elkaar. Deze kruising van vezelrichtingen verhoogt de sterkte en stabiliteit van het paneel, maar afwijkingen hiervan bestaan wanneer esthetische voorkeuren dat vereisen. De verbinding van de afzonderlijke lagen wordt op verschillende manieren gerealiseerd, zoals door middel van nagels (NLT) of houten deuvels (DLT). Toch wordt het gebruik van lijm het meest frequent toegepast, waarbij volgens Brandner et al. de voornaamst gebruikte lijmsoorten melanine ureum-formaldehydelijm (MUF), polyurethaanlijm (PUR) en emulsie polymeer isolcyanatlijm (EPI) zijn (Liu et al., 2020; Brandner et al., 2016; Blommaert et al., 2025)

De dikte van de afzonderlijke lamellen varieert doorgaans tussen 16 mm en 51 mm, terwijl de breedte van de planken tussen 60 mm en 240 mm ligt. De lengte van een CLT-paneel is in theorie onbeperkt, aangezien individuele planken aan elkaar kunnen worden verbonden door

middel van vingerlassen (Fig. 1). De uiteindelijke afmetingen van een paneel worden echter vaak bepaald door de beperkingen in fabricage, transport en logistiek.

Deze flexibiliteit in afmetingen maakt CLT een veelzijdig materiaal, geschikt voor uiteenlopende toepassingen in de moderne bouwsector (Habtie, 2022; FPIinnovations, 2019; Waugh Thistleton Architects, 2018).



*Figuur 1 - Schematische opbouw van Cross Laminated Timber
(Waugh Thistleton Architects, 2018)*

1.1.2. Productie van CLT-panelen

Voor de productie van CLT-panelen wordt voornamelijk gebruikgemaakt van zachthout, met een bijzondere voorkeur voor vurenhout. Deze houtsoort wordt geprezen vanwege de rechte groeiwijze van de sparrenstam, waardoor het hout relatief weinig natuurlijke defecten vertoont. Bovendien is vurenhout eenvoudig te bewerken en heeft het een uitstekende sterkte-gewichtsverhouding. Het duurzame karakter van deze houtsoort wordt versterkt door de snelle aangroei, wat de druk op de bosbouw minimaliseert (Gustafsson, 2019).

Het fabricageproces van CLT-panelen omvat meerdere stappen die plaatsvinden onder gecontroleerde omstandigheden in een industriële omgeving. Deze stappen omvatten: de selectie en het groeperen van hout volgens visuele kenmerken en vochtgehalte (*grading*), schaven, het aanbrengen van lijm, het stapelen en persen van de panelen, CNC-bewerking, oppervlakteafwerking, markering en verpakking. Gedurende dit proces worden strikte kwaliteitscontroles uitgevoerd om te garanderen dat de panelen voldoen aan de vooropgestelde producteigenschappen met betrekking tot thermische isolatie, dichtheid, vochtweerstand en akoestische eigenschappen. De geproduceerde panelen worden vervolgens voorzien van een keurmerk en verpakt in een waterdichte folie aan vochtgehalte van $12\% \pm 3\%$ te behouden (Gagnon & Karacabeyli, 2019).

Hoewel België steeds meer interesse toont in houtmassiefbouw, blijft de lokale productie van CLT-panelen beperkt. Slechts enkele producenten, zoals Stabilame en Laminated Timber Solutions, beschikken slechts over bewerkingsfaciliteiten in België (Stabilame, 2017; Laminated Timber Solutions, 2019). Het merendeel van de CLT-panelen wordt geïmporteerd uit andere Europese landen zoals Oostenrijk, Duitsland en Tsjechië, waar grote producenten over geavanceerde fabricagelijnen beschikken (Stora Enso, 2024; Binderholz, 2024).

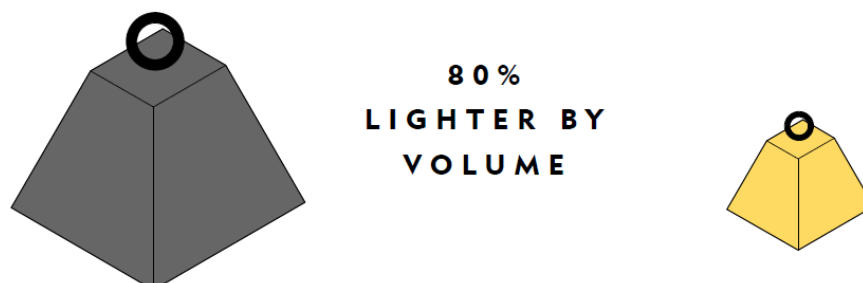
1.2. Voor- en nadelen van houtmassiefbouw

1.2.1. Voordelen op paneelniveau

CLT biedt een aantal voordelen die het aantrekkelijk maken om met dit materiaal te werken in vergelijking met de meer 'traditionele' bouwmethoden. Een correct ingezet CLT-paneel is een veelbelovend bouwproduct voor de bouwwereld vanwege:

Laag eigengewicht

De massadichtheid van hout, frequent gebruikt voor de CLT productie, ligt doorgaans tussen de 400-600kg/m³. Dit is lichter dan water, maar vooral veel lichter dan zijn concurrerende bouwmethoden. Een ongewapende betonplaat van dezelfde dikte is ongeveer 5 keer zwaarder. Dat brengt secundaire voordelen met zich mee, waaronder een eenvoudiger en snellere montage. Het grootste voordeel is echter dat een houtmassiefbouw een lichtere fundering vergt, wat op zijn beurt minder betongebruik en een lagere kost met zich meedraagt (INBO, 2021; Waugh Thistleton Architects, 2018).



Figuur 2 - Gewichtsbesparing op de constructie (Waugh Thistleton Architects, 2018)

Goede sterkte-gewichtsverhouding

CLT is licht maar sterk. Door de kruislaagse verlijming ontstaat een sterke en stabiele structuur zonder een significante toename van gewicht. De sterkte-eigenschappen van hout in zowel de lengterichting als de breedterichting worden zo benut. Hierdoor is een paneel goed bestand tegen vervorming wanneer het op buiging wordt belast. Ter illustratie toont onderstaande tabel deze sterkte-gewichtsverhouding voor de drie meest voorkomende constructiemethoden. Er is rekening gehouden met een druksterkte van 2.5 MPa en densiteit van 500kg/m³ voor het CLT (Laminated Timber Solutions, 2024), beton C25/30 en staal S235 (De Schutter, 2023). Hier is te zien dat CLT het laagste resultaat weergeeft, maar alsnog in

dezelfde grootteorde valt als de andere materialen (Debie & Michiels, 2024; Technisch adviesbureau Goezinnen, 2021).

	CLT	Beton C25/30	Staal S235
Druksterkte [MPa]	2,5	25	210
Eigengewicht [kg/m ³]	500	2400	7800
Sterkte-gewichtsverhouding [MPa/kg/m ³]	0,005	0,010	0,027

Tabel 1- Sterkte-gewichtsverhouding: vergelijking met de 'traditionele' bouwmethoden (Debie & Michiels, 2024; Technisch adviesbureau Goezinnen, 2021).

Paneelstijfheid en dimensionele stabiliteit

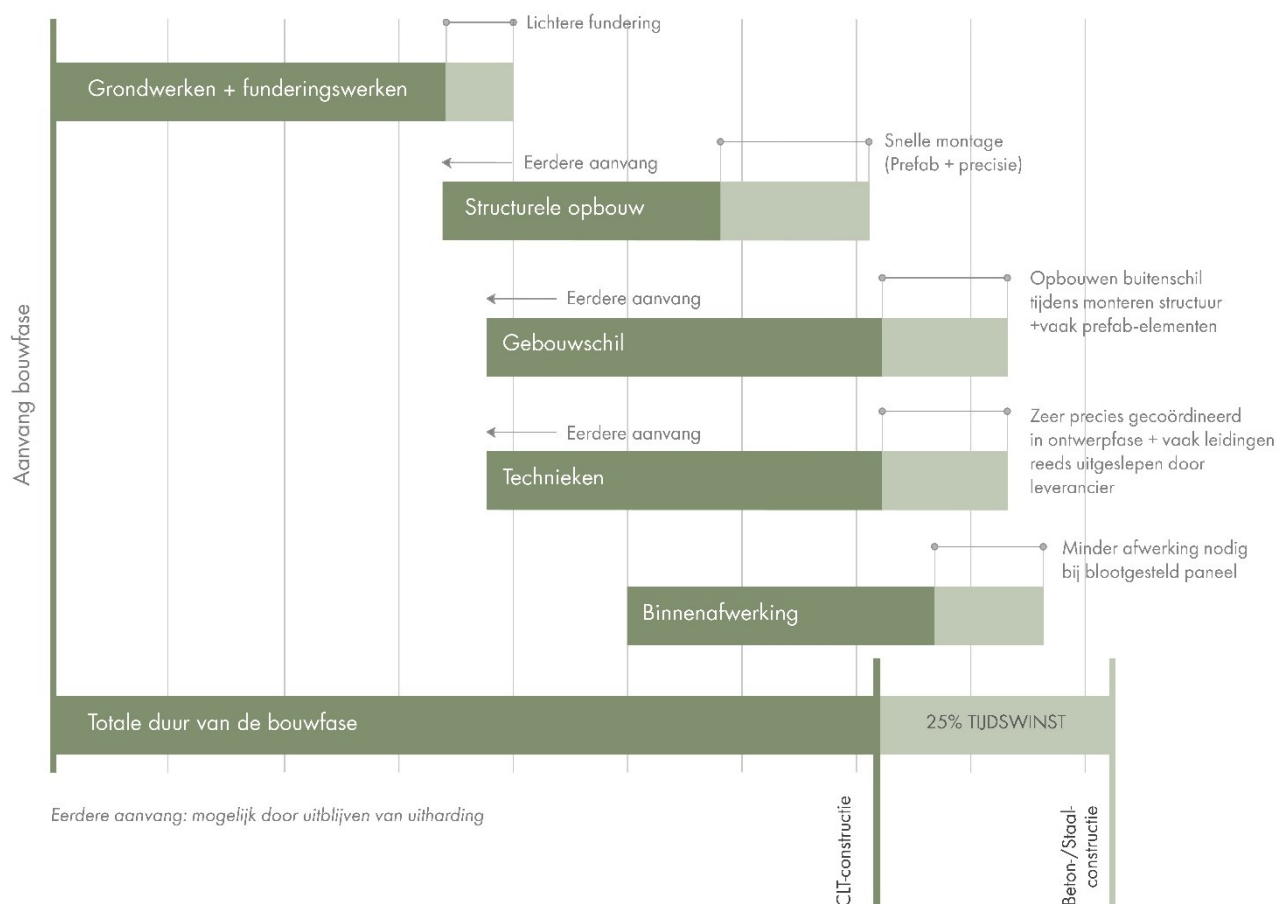
CLT-panelen bieden stijfheid zowel in als uit het vlak, wat hen zeer geschikt maakt voor structurele toepassingen. De kruislingse verlijming van de houten lagen versterkt de stabiliteit in alle richtingen, wat resulteert in een product dat vergelijkbare prestaties levert als een betonplaat die bi-directioneel belast kan worden. De dimensionale stabiliteit van CLT-panelen blijft behouden onder belasting, met een minimale kans op vervorming of doorbuigen bij zowel loodrechte of parallelle belasting.

Een ander gevolg van de kruislaagse verlijming is de beperkte uitzetting, krimp of andere dimensionale veranderingen. In combinatie met de hoge precisie van de prefabricage resulteert dit in een paneel met een aanzienlijke dimensionale stabiliteit. Desondanks kunnen er in sommige gevallen – bijvoorbeeld door vochtschommelingen – interne spanningen in het paneel ontstaan die, indien niet goed beheerd, kunnen leiden tot delaminaties (Gagnon & Karacabeyli, 2019).

1.2.2. Voordelen als bouwsysteem

Geprefabriceerde aard van houtmassiefbouw

Prefabricatie biedt aanzienlijke voordelen binnen de bouwsector, met name in de context van houtmassiefbouw. Eén van de belangrijkste voordelen van het gebruik van CLT-systemen is de tijdsbesparing die wordt gerealiseerd (Fig.3). Waugh Thistleton Architects claimt dat de totale bouwtijd met CLT tot 20% korter is in vergelijking met gelijkwaardige geprefabriceerd bouwsysteem in gewapend beton. Deze tijdswinst is niet zozeer te danken aan een snellere montage van geprefabriceerde CLT-elementen, maar vooral aan de tijdsbesparing in de verdere bouwfasen. Dit wordt mogelijk gemaakt door de hoge nauwkeurigheid van geprefabriceerde CLT-panelen en de eenvoud van bevestigingsmethoden in hout. De tijds- en efficiëntiewinst in vergelijking met in-situ betonbouw is bovendien nog een stuk grotere door het ontbreken van wachttijden die nodig zijn voor het uitharden van materialen (Waugh Thistleton Architects, 2018).



Figuur 3 - Typische bouwphase van een CLT-constructie in vergelijking met een prefab beton- of staalconstructie (WoodWorks & Wood Products Council, 2022).

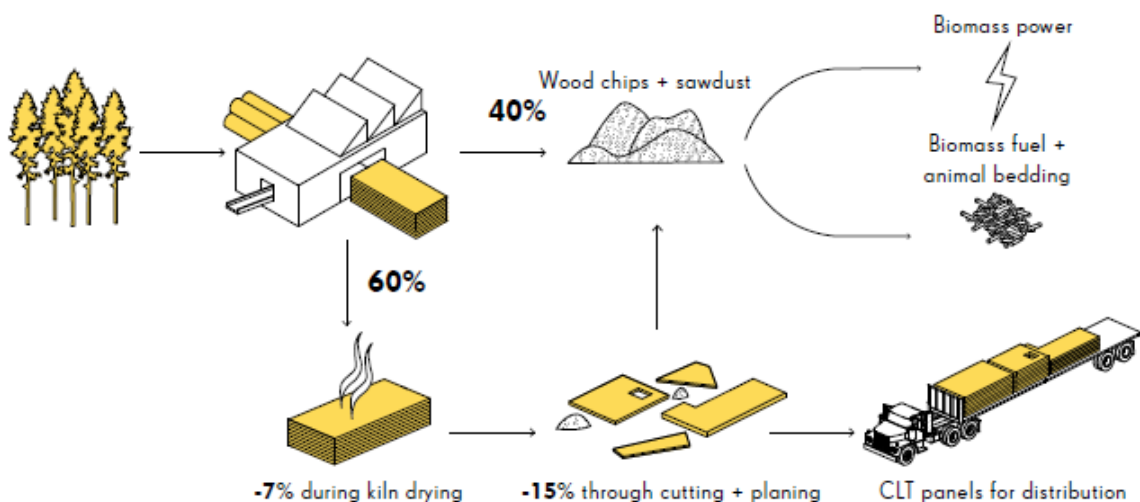
Een tweede belangrijk voordeel van houtmassiefbouw is de reductie van arbeidsinspanningen op de werf, met dalingen tot 50-70% in het aantal werkkrachten. Een case-study door ASBP, waarin twee equivalente woontorens (CLT versus beton) werden vergeleken, toont aan dat bij CLT slechts acht arbeiders nodig waren in plaats van 35, en het aantal leveringen met 75% daalde. Hoewel de initiële materiaal- en ontwerpkosten bij CLT hoger kunnen liggen, worden deze vaak gecompenseerd door tijds- en arbeidsbesparingen. Zo leidde het besproken project *Highpoint Terrace* tot een ruwbouwtijdswinst van zeven weken (18 i.p.v. 25 weken) en een geschatte economische meerwaarde van €478.000. Deze tijdswinst laat toe gebouwen sneller in gebruik te nemen, wat cruciaal is bij projecten met strikte oplevertermijnen, zoals scholen of kantoren (ASBP, 2018; Eurban, 2018; Waugh Thistleton Architects, 2018).

Ten derde zorgt de nauwkeurigheid van prefabricatie voor een propere en veiligere werf. Elektrische leidingen worden soms al uitgefreesd bij de fabrikant, wat stof en geluid op de werf vermindert. Bovendien is het aantal leveringen op de werf tot wel 80% minder, wat in steden een groot pluspunt kan zijn. Gezien het lage gewicht van de panelen, is een zware torenkraan vaak ook overbodig en kunnen, afhankelijk van de projectsomvang, elementen met een kleinere model direct van de vrachtwagen gehaald worden.

Duurzaamheidsaspect

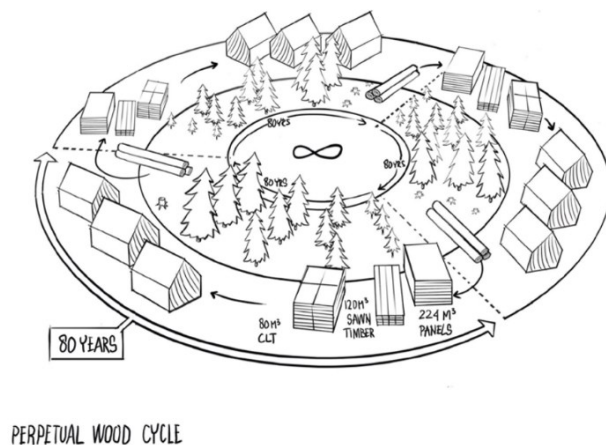
Er is een groeiende sympathie voor het terugdraaien van de milieuschade die is veroorzaakt door massale wereldwijde industrialisatie van de afgelopen twee eeuwen. Bomen voorzien ons van een hernieuwbare bron van materialen. Wat de planeet betreft, is een van de grootste eigenschappen van hout dat het CO₂ absorbeert terwijl het groeit. Wanneer een boomt verrot of verbrandt geeft hij deze CO₂ weer af, maar als de boom tijdig gekapt wordt blijft het CO₂ opgeslagen in het hout. Door hout vervolgens toe te passen als bouw materiaal, slaat men deze CO₂ dus op in gebouwen voor een langere periode. Waar beton verantwoordelijk is voor vier tot acht procent van de wereldwijde CO₂ uitstoot, draagt hout net bij tot een positieve opslag hiervan (Waugh Thistleton Architects, 2018).

Bovenop deze CO₂ opslag, kent de verwerking tot panelen ook een lagere stikstofuitstoot. Een kritische lezer kan uit figuur 4 opmerken dat uit een geveld boom, slechts 38% effectief eindigt in het paneel. De restproducten worden echter vaak gebruikt voor secundaire producten of biomassa. Houtmassiefbouw is verder nog steeds, ondanks de woordkeuze, een relatief lichte bouw methode waarvoor men relatief weinig zwaar materieel en brandstof voor transport nodig heeft. Een bouwplaats met een zware dieselhijsmachine kan zo omgeschakeld worden tot een volledig elektrische bouw met lichtere hijsmachines en draagbare tools. Al deze elementen leiden tot de lagere stikstofuitstoot van houtmassiefbouw (Waugh Thistleton Architects, 2018; INBO, 2021).



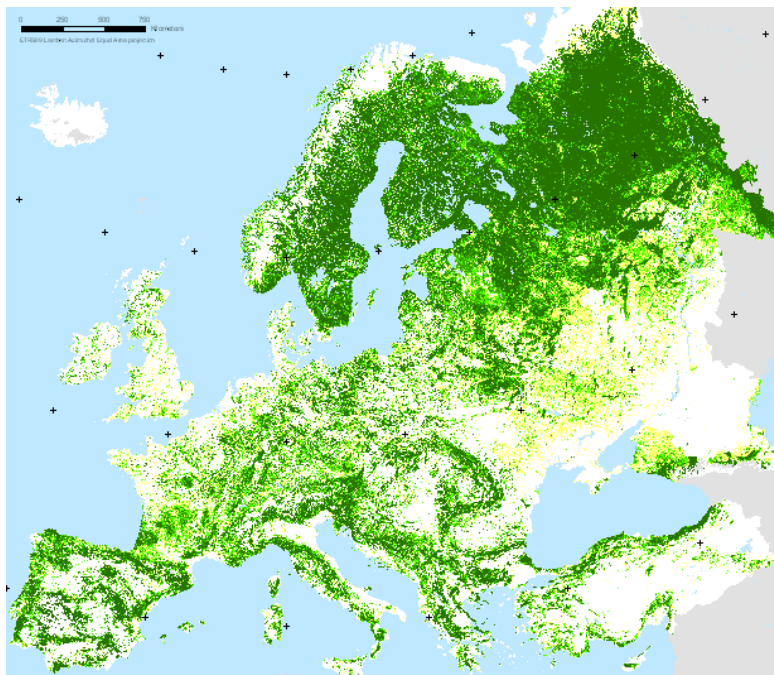
Figuur 4 - Procentuele voorstelling van de aanmaak van restproducten bij de productie van CLT-panelen (Waugh Thistleton Architects, 2018).

Ter nuancering houden al deze voordelen slechts steek indien hout gezien kan worden als een hernieuwbaar product (Fig. 5). Dit betekent dat hout altijd terug kan groeien. Om dit te blijven faciliteren samen met de steeds grotere vraag naar houtproducten, is duurzaam bosbeheer essentieel. Er mag namelijk in geen geval meer uit het bos gehaald worden dan er jaarlijks bijgroeit. Daarom roept bomenkap voor de productie van Engineered Wood Products bij velen



Figuur 5- Infinite cycle (Tomorrows Timber, 2020).

vragen op. België is afhankelijk van de import van hout uit landen als Oostenrijk, Tsjechië of Duitsland, aangezien er niet genoeg productiebos in België aanwezig is. Breder in de Europese Unie is er echter meer dan voldoende bos. Een studie door het European Forest Institute bracht dit kwantitatief in kaart. Een hypothetisch 100% marktaandeel voor houtbouw zou in de EU maximaal 400 miljoen m³ rondhout per jaar vereisen, wat overeenkomt met ongeveer 50% van de huidige jaarlijkse bosgroei. Onder realistische aannames blijft de impact van een toename in houtgebruik voor de bouw op de vraag naar hout relatief beperkt. Voor een huidig Europees marktaandeel van 20%, is er slechts 50 miljoen m³ rondhout nodig, overeenstemmend met 6.25% van de huidige jaarlijkse bosgroei. Indien men dus op een goede manier omgaat met hout, is een eeuwigdurende houtcyclus mogelijk, waardoor bovengenoemde voordelen tot stand komen (Hurmekoski, 2017; INBO, 2021).



Figuur 6 - Geografische verspreiding van de Europese bossen (EFI, 2019).

Gezondheid en welzijn van de gebruiker

Sinds kort wordt er sterk ingezet op de psycho- en fysiologische aspecten van gebouwen in relatie tot zijn gebruikers. Een studie door David Rowlinson verklaart dat werknemers minder gestrest en productiever zijn, studenten beter leren, patiënten genezen sneller en mensen zich over het algemeen gelukkiger en rustiger voelen in ruimtes die houten elementen bevatten. (Waugh Thistleton Architects, 2018; Polspoel et al., 2024; Forest & Wood Products Australia, 2022). Ondanks dat dit soort effecten van houtmassiefbouw steeds meer aan het daglicht komen, en zo bijvoorbeeld in Nederland sinds kort sociale huisvestingsmaatschappijen inzetten op CLT-constructies, wordt dit niet verder toegelicht in deze scriptie. Meestal zijn publicaties hieronder te getint en niet wetenschappelijk onderbouwd.

1.2.3. Uitdagingen van houtmassiefbouw

Vochtgevoeligheid

Hout is een hygroscopisch materiaal. Dit betekent dat het materiaal vocht uit de omringende lucht of direct contact met water kan opnemen, dit kan vasthouden, om uiteindelijk later weer af te staan. Dit kan resulteren in verschillende negatieve fenomenen waaronder vlekvorming, schimmelgroei, volumeveranderingen met delaminaties bij CLT tot gevolg of uiteindelijk houtrot. Deze vochtgevoeligheid vormt een significante uitdaging in zowel productie, transport en opslag, als tijdens de bouwphase en uiteindelijke levensduur van het gebouw. Bovendien wordt bij CLT vrijwel altijd gebruik gemaakt van onbehandeld hout (Gagnon & Karacabeyli, 2019).

Een van de grootste problemen hierbij in België ligt echter tijdens de werffase, waar een blootgesteld paneel soms een hoge vochtbelasting krijgt. Bovendien krijgen CLT-panelen vaak niet voldoende tijd om te drogen tussen twee regenperiodes door (Blommaert et al., 2025; Viitanen et al., 2010). Dergelijk verhoogd vochtgehalte (>19%) kan schimmelgroei bevorderen, wat uiteindelijk samen met structurele schade drastische gevolgen kan hebben voor de levensduur van het gebouw (Fig. 6). Hoewel fabrikanten doorgaans maatregelen nemen wat betreft bescherming en transport, loopt het vaak fout op de werffase zelf. Daarom is het essentieel dat aannemers en architecten duidelijke strategieën implementeren om vochtblootstelling tijdens transport, opslag, werffase en levensduur te minimaliseren. Hoewel de voordelen hierboven beschreven van CLT aanzienlijk zijn, is het succes hiervan in België sterk afhankelijk van een geïntegreerde aanpak rond vochthuishouding (RDH Building Science, 2021a; Habtie, 2022). De opzet van deze scriptie is om, via een analyse van verschillende bouwklimateen, deze geïntegreerde aanpak te beschrijven, toegepast op vochtige gematigde klimaten.



Figuur 6 - Aangetast CLT paneel na aanhoudende vochtblootstelling (Birk S., 2021).

Uitdagingen in gebouwprestaties

Hoewel hout in gecontroleerde omstandigheden voorspelbaar brandt en een koolstoflaag kan vormen die verdere verbranding vertraagt, zijn er toch hogere eisen aan brandwerend ontwerp en afwerkingen nodig vanwege het smeulend effect. De dikte van CLT en aanvullende bekledingen moeten vaak worden afgestemd op de (Belgische) regelgeving. Dit is niet steeds eenvoudig, waardoor CLT-constructies als overgedimensioneerd eindigen. Aangezien CLT een relatief nieuw product is, zijn de huidige regelgevingen wereldwijd nog niet voldoende aangepast (INBO, 2021).

Verder is een CLT-paneel een licht bouwelement, waardoor dit slechts een lage akoestische demping heeft. Er dienen meestal aanvullende maatregelen genomen te worden om de nagalmtijd en trillingen te reduceren (INBO, 2021).

Beperkte lokale productie en logistiek

In de Benelux zijn, zoals eerder vermeld, slechts een beperkt aantal bewerkings- of distributiepunten gevestigd van CLT-panelen. Dit maakt dat er vaak beroep wordt gedaan op de expertise en productie uit landen waar er een sterkere houtmassiefbouwtraditie is zoals Duitsland, Oostenrijk, Zwitserland of Tsjechië. Men kan hierop de kritische opmerking maken dat het duurzame aspect dat houtmassiefbouw met zich meedraagt een stuk in zijn eigen been schiet vanwege lange transportafstanden, waardoor de initieel lage CO₂ impact vooralsnog stijgt (PxP Hybrid Wood Constructions, persoonlijke communicatie, maart 2025).

Materiaalefficiëntie van houtmassiefbouw

Houtmassiefbouw, en CLT in het bijzonder, gaat gepaard met een hoog houtverbruik. Een zuiver CLT-systeem bestaat volledig uit massieve panelen, ook waar dit constructief niet strikt vereist is. Dit resulteert in een lagere materiaalefficiëntie in vergelijking met (hout)skeletbouw. Een evolutie naar hybride bouwsystemen, bijvoorbeeld met glulamkolommen en -liggers in combinatie met CLT-vloeren en houtskeletwanden, kan dit verbruik reduceren. Daarnaast komt ook slechts 38% van het oorspronkelijke houtvolume effectief in een CLT-paneel terecht (Fig. 4) (Sanna, 2018).

Een materiaaltechnisch antwoord hierop is mogelijks het hybride CLT-paneel, waarbij de kern wordt opgebouwd uit minderwaardige of secundaire houtstromen. Zo ontwikkelde de Nederlandse Organisatie voor Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek (TNO) Circulair-CLT (C-CLT) uit gerecycleerd pallet hout, inmiddels toegepast in een Nederlandse woontoren na uitgebreid faalgedragonderzoek (Fig. 7). Er dient hier echt nog bijkomend onderzoek op te gebeuren, alvorens deze als waardig alternatief voor een klassiek paneel kunnen dienen (TNO, 2024).



Figuur 7 - Breukbeeld van C-CLT dat significant anders is dan normaal CLT: Breuk in de binnenste lagen (afschuiving) in plaats van in de buitenste laag (trek) (TNO, 2024)



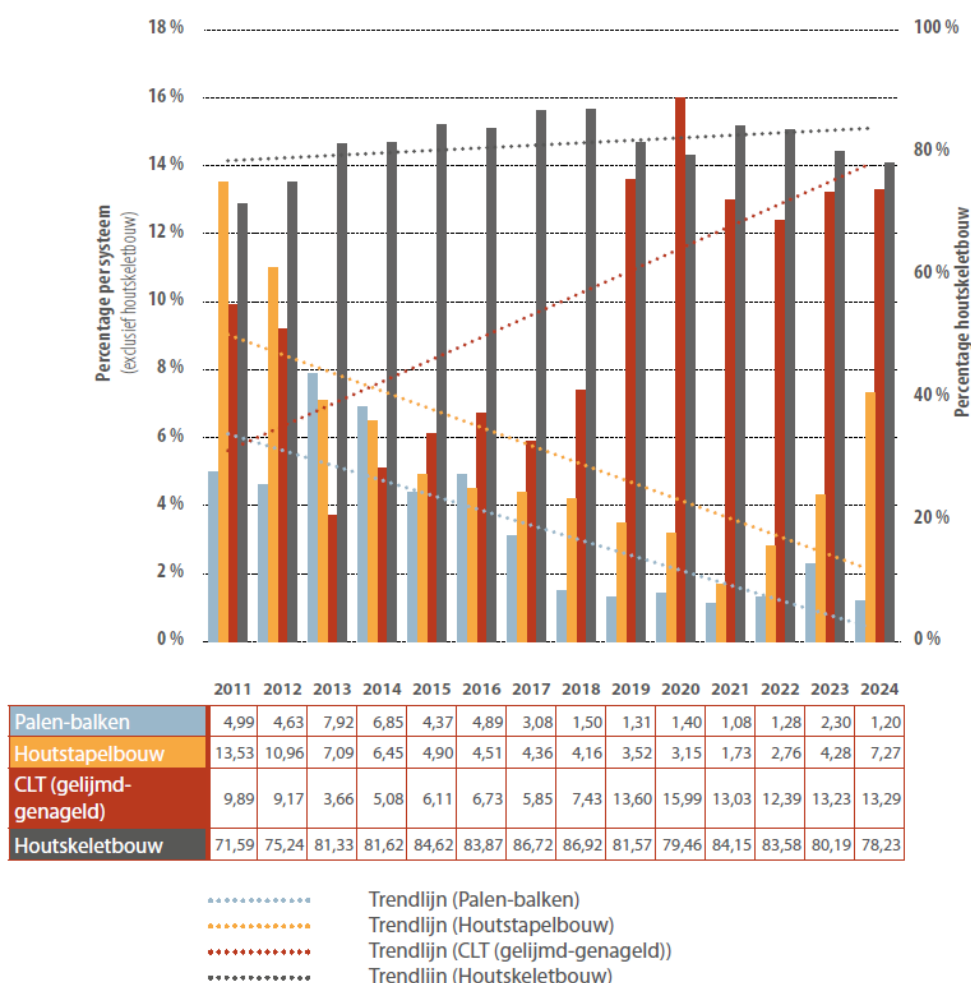
DEEL 2

BELGISCHE HOUTMASSIEFBOUW

2.1.	Klimatologische ligging	12
2.2.	Belgisch bouwklimaat	17
2.3.	Probleemstelling	20
2.4.	Onderzoeksmethodiek	20

Introductie

Overall ter wereld is er een groeiend enthousiasme voelbaar voor hout als bouw materiaal. In België blijft de bouw van houten gebouwen, naast woningenbouw, sterk aarzelend. Het blijkt, na onderzoek door HoutInfoBois over een periode van 14 jaar, dat België geen koploperpositie inneemt. Toch is het absoluut noodzakelijk voor de transitie naar een duurzamer gebouwbestand dat overheden en toonaangevende ontwerpers als voorbeeld dienen en resoluut voor hout kiezen voor heel wat van hun gebouwen. We dienen over meer 'modelgebouwen' te beschikken als symbool van de knowhow voor de bredere bouwsector en als bewijs van de troeven van het materiaal. De doorsnee architect, aannemer of bouwheer dient meer parels te zien dan schadegevallen. Figuur 8 illustreert dat ondanks het aandeel houtskeletbouw (ongeveer 78% in 2024) duidelijk de bovenhand houdt, het aandeel CLT aanzienlijk stijgt van bijna 6% in 2017 naar bijna 16% in 2020. Nadien stagneerde het CLT-aandeel echter (HoutInfoBois, 2022; 2024).



Figuur 8 - Marktaandeel van de houtbouwsystemen in nieuwbouw, uitgedrukt in % (HoutInfoBois, 2024)

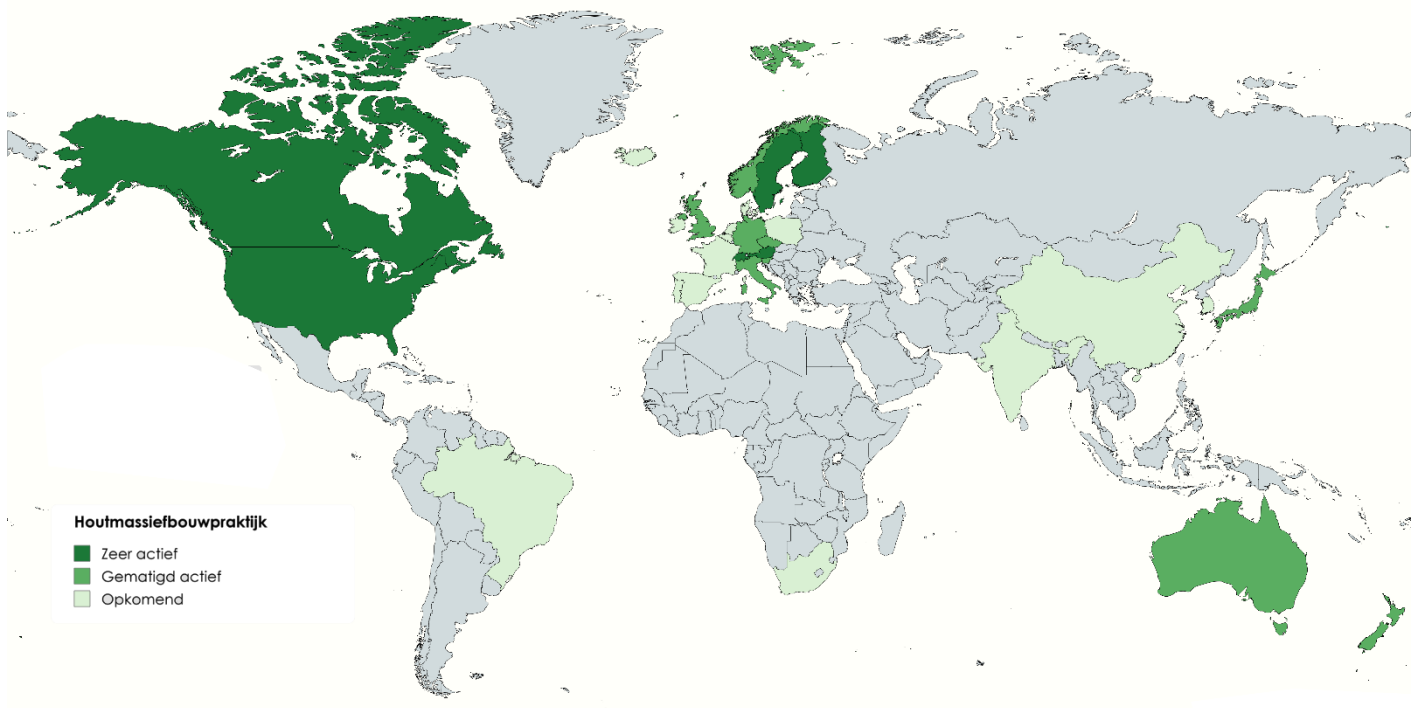
Komend hoofdstuk gaat in op twee mogelijke oorzaken voor de beperkte groei, die beiden te herleiden zijn tot de vaak gehoorde uitspraak: "België heeft nu eenmaal niet het juiste klimaat voor houtbouw". Los van het klimatologische luik, wat objectief in kaart te brengen is, kijkt dit hoofdstuk ook breder naar het huidige Belgisch houtbouw klimaat en de bezwaren binnen de bouwsector voor houtmassiefbouw.

2.1. Klimatologische ligging

Vanwege de ligging nabij de Noordzee, kent België een gematigd zeeklimaat met milde winters en koele zomers. De gemiddelde Belgische jaarlijkse relatieve luchtvochtigheid is 76.9% (1190-2020, Ukkel), wat samengaat met wisselvallig weer en frequente blootstelling aan vocht. Dit maakt vochtregulatie en thermische stabiliteit belangrijke aandachtspunten binnen de gebouwschil, ondanks dat extreme klimatologische schommelingen minder optreden. Voor de bouwsector impliceert dit de constante noodzaak om materialen en bouwmethoden zorgvuldig af te stemmen op het continu vochtige en milde Belgische klimaat (Koninklijk Meteorologisch Instituut, 2024).

Hout, als hygroscopisch materiaal, wordt in België niet standaard beschouwd als een optimaal bouw materiaal samen met deze frequente en hoge neerslaghoeveelheid (gemiddeld 189.6 dagen en daarbij gemiddeld 4.42mm, 1990-2020) (Koninklijk Meteorologisch Instituut, 2024). Dit kan verklaren waarom de Belgische bouw cultuur slechts in beperkte mate overstapt op houtmassiefbouw, in tegenstelling tot de pioniersrol die ze historisch aannam bij andere constructiematerialen, zoals gewapend beton en staal.

Buiten België zijn er echter talrijke regio's, zowel maritiem als continentaal gelegen, waar houtmassiefbouw systemen significant ontwikkeld zijn. CLT heeft zijn oorsprong in de Alpen regio, met name Oostenrijk, Zwitserland en Zuid-Duitsland, waar panelen in de jaren 1990 werden geïntroduceerd. Van daaruit verspreidde de kennis zich snel naar de Scandinavische landen, met Zweden en Finland als prominente voortrekkers. Recentelijk hebben ook landen zoals de Verenigde Staten en Canada zich ontwikkeld tot belangrijke spelers binnen de groeiende houtmassiefbouw industrie. Stuk voor stuk zijn dit grote landen met een gekende bosbouw, specifiek naaldhout. Na literatuurstudie blijkt dat binnen elk van deze landen ook publicaties, handboeken en onderzoek te vinden is. Verder is zichtbaar hoe Japan, Nieuw-Zeeland en Australië opkomende regio's zijn (Hansen et al., 2017). Onderstaande wereldkaart op figuur 9 toont de voornamelijk westers gedreven ontwikkeling van CLT en houtmassiefbouw. Op Oostenrijk en Zwitserland na, hebben alle donkergroen gekleurde landen tevens een praktijkgerichte handleiding voor het ontwerp CLT-constructies (Douglas & Karacabeyli, 2013; Gagnon & Karacabeyli, 2019; Gustafsson, 2019; Mjörnell & Gustavsson, 2019).



Figuur 9 - Geografische verspreiding houtmassiefbouwpraktijk

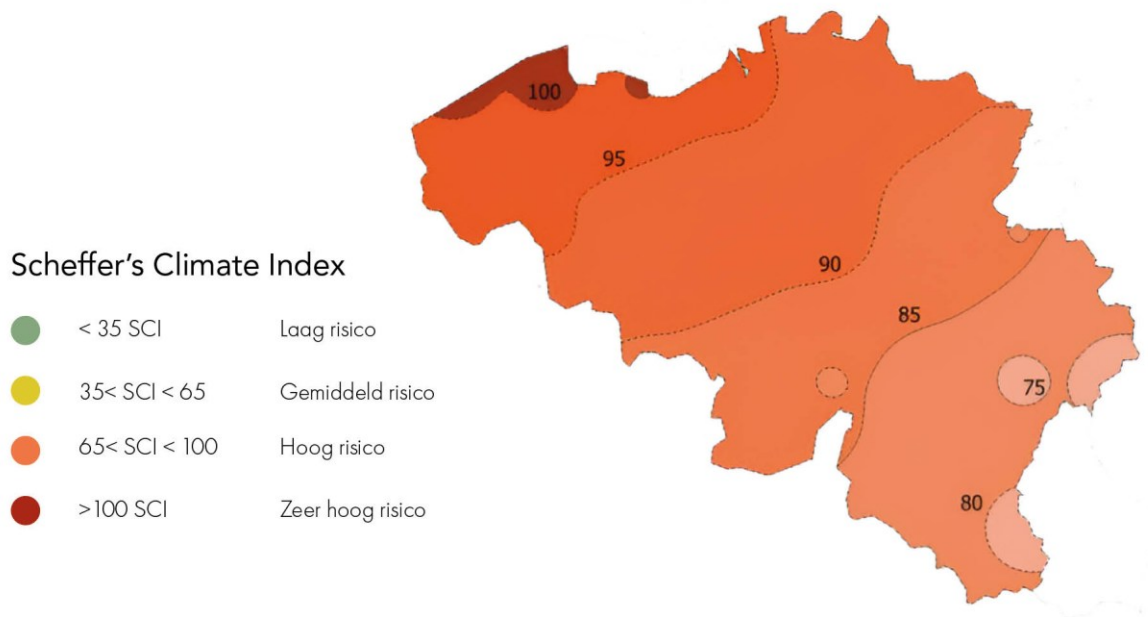
Aangezien de opzet van deze scriptie is om, door middel van analyses en vergelijkingen van bronmateriaal uit deze bovengenoemde regio's, een Best-Practice CLT-bouwpraktijk te beschrijven voor het Belgische gematigde zeeklimaat, dienen hiervoor deze klimaten fundamenteel vergeleken te worden. Dit kan ten slotte meer informatie geven over hoe relevant handboeken en publicaties zijn in relatie tot een verhoogde vochtbelasting in België.

Een mogelijkheid voor het objectief beoordelen van het risico op biologische houtaantasting op basis van de geografische locatie is het model voorgesteld door Scheffer (Scheffer, 1971). Het model definieert het relatieve risico op schimmelaantasting op basis van de gemiddelde temperatuur en het aantal regendagen, vertaald in een getal genaamd Scheffer's Climate Index (SCI). Het model is gebaseerd op blootstellingsomstandigheden die leiden tot gunstige omstandigheden voor de verspreiding en ontwikkeling van houtrotschimmels. De vochtigheidsgraad, de relatieve luchtvochtigheid en de omgevingstemperatuur zijn sleutelfactoren in de afbraak door rotschimmels (Lima et al., 2024; Wang & Morris, 2008).

$$SCI = \frac{\sum_{Jan.}^{Dec.} [(T - 2)(D - 3)]}{16.7}$$

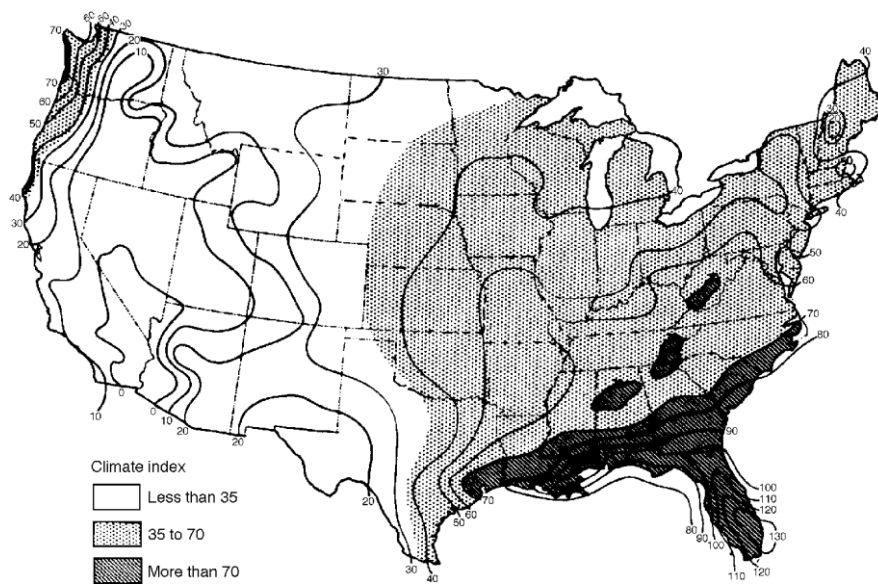
Hierbij is T de maandgemiddelde temperatuur (°C) en D het gemiddeld aantal dagen per maand met een neerslaghoeveelheid boven de 0.25mm. Een SCI lager dan 35 vertegenwoordigt de minst gunstige omstandigheden voor aantasting (laag risico), een SCI tussen 35 en 65 staat voor intermediaire omstandigheden voor aantasting (gemiddeld risico), en een SCI tussen 65 en 100 staat voor gunstige omstandigheden voor achteruitgang (hoog risico). Waarden boven 100 worden beschouwd als gebieden met een zeer hoog risicogebieden (Brimblecombe & Richards, 2023).

Een van de moeilijkheden bij het in kaart brengen van de index is de noodzaak van een lange reeks nauwkeurige meteorologische gegevens (maandelijkse temperatuur en dagelijkse neerslag) op verschillende punten in het in kaart gebrachte gebied. In veel regio's zijn de beschikbare gegevens van onvoldoende resolutie of onbestaand. Door een onderzoek uitgevoerd door Daniel F. Lima, blijkt dat het gebruik van meteorologische gegevens van satelliet gebaseerde heranalyses accuraat blijkt voor dit soort toepassingen (Lima et al., 2024). Daarom werd voor de analyse van België gebruikt gemaakt van satellietgegevens van het jaar 2023 van het NASA Prediction of Worldwide Energy Resource, en werden via geografische simulatie (QGIS) op figuur 10 geplot.

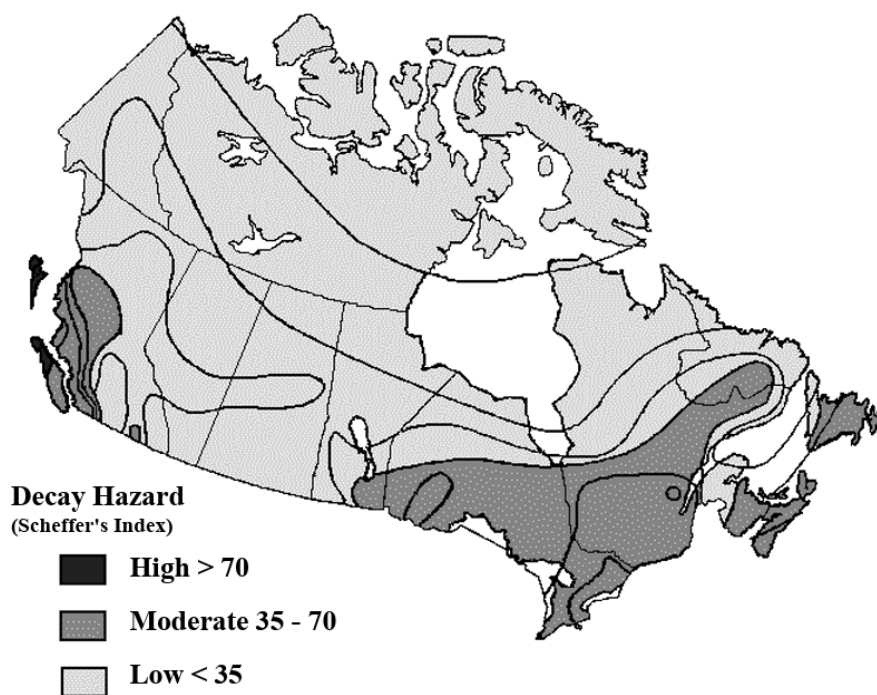


Figuur 10 - Scheffer Climate Index van België

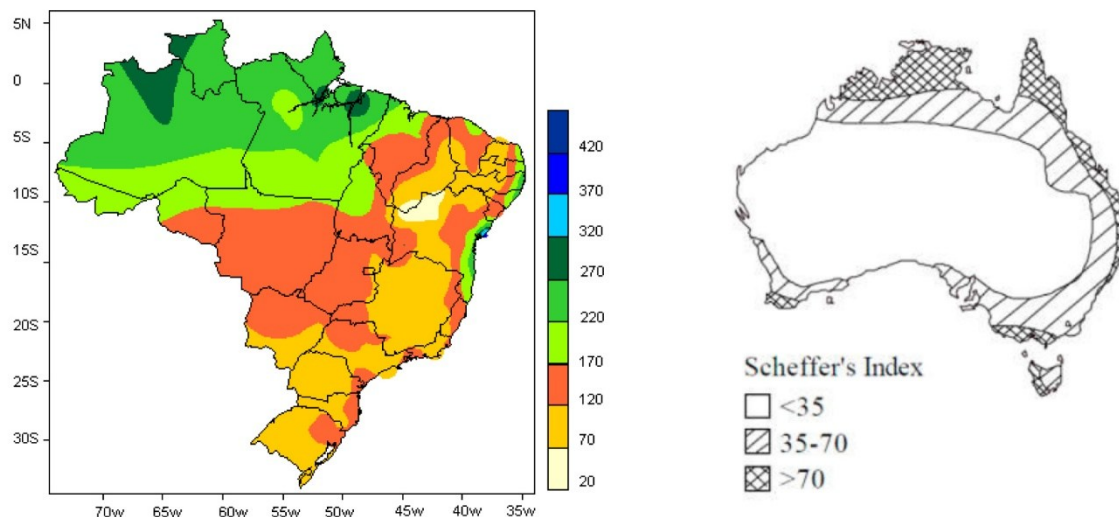
Het vermoeden dat België, gezien zijn klimaat, niet de meest gunstige condities biedt voor houtbouw, wordt bevestigd door de SCI-simulatie die nationaal een waarde boven de 65 opleveren. Binnen België blijkt zelfs een lichte gradiënt in de SCI-waardes, waarbij het landinwaarts slechtere omstandigheden voor schimmelgroei door vochtigheid blijken te bestaan. Dit bevestigt de hypothese dat meer continentale klimaten een lagere gevoeligheid voor houtrot vertonen vanwege de lagere luchtvochtigheid. Deze berekening maakt het mogelijk België te vergelijken met landen waar diezelfde index is berekend. Gezien de SCI-index gelinkt is aan het risico op houtaantasting, is het ergens logisch dat vele landen met een ontwikkelde houtbouwpraktijk ook voor hun regio deze index bepaald hebben. Dit maakt het dus mogelijk om het Belgisch klimaat te vergelijken met het klimaat van landen, waar houtmassiefbouw vaker toegepast wordt. Figuur 11 tot 14 illustreert de SCI-index voor respectievelijk de Verenigde Staten, Canada, Brazilië, Australië en Europa (Carll, 2009; Cornick & Alan Dalglish, 2003; Oliveira et al., 2018; Brimblecombe & Richards, 2023).



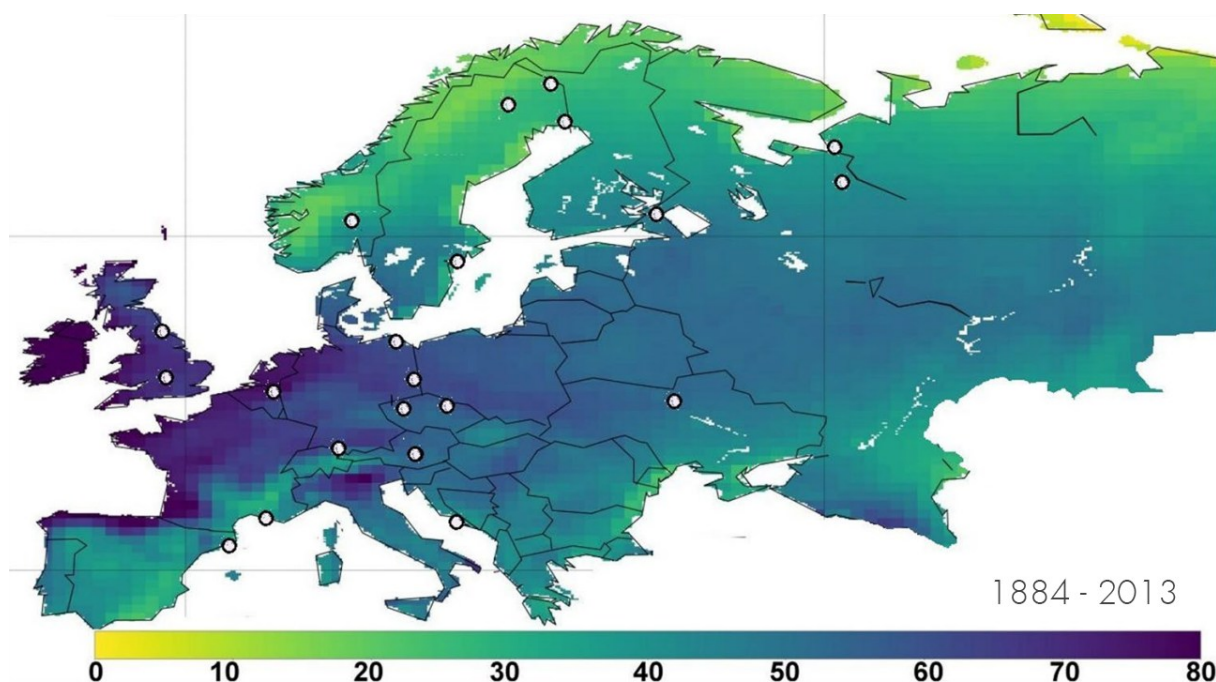
Figuur 11 - SCI index Verenigde Staten (Carll, 2009)



Figuur 12 - SCI-index Canada (Cornick & Alan Dalglish, 2003; Setliff, 1987).



Figuur 13 - SCI-index Brazilië (links) en Australië (rechts) (Oliveira et al., 2018)



Figuur 14 - SCI-index Europa (Brimblecombe & Richards, 2023)

De meeste bovengenoemde referentielanden hebben in het verleden verschillende handboeken, onderzoeken en publicaties gepubliceerd met betrekking tot CLT-constructies. Desondanks vertonen ook deze landen SCI-waarden die zich bevinden in de gevarezone. Hierdoor kunnen deze documenten als waardevolle referentie dienen voor het opstellen van een Belgische Best-Practice met betrekking tot het gebruik van CLT. Het is belangrijk op te merken dat de SCI-index primair een hulpmiddel is voor het vergelijken van verschillende regio's, maar dat het geen uitsluitel biedt over de haalbaarheid van houtbouw in specifieke gebieden. Met een doordachte ontwerpaanpak en adequate opvolging tijdens de uitvoering kan het gebruik van massieve houtconstructies in België evenwel succesvol en duurzaam worden gerealiseerd.

2.2. Belgisch bouwklimaat

Naast de klimatologische beperkingen, zijn er ook diverse sociaal-culturele en beleidsmatige factoren die de ontwikkeling van houtmassiefbouw belemmeren. Deze zijn historisch gegroeid en niet letterlijk 'ingebakken' in de Belgische bouwcultuur, waardoor misconcepties en weerstand tegenover houtbouw wijdverspreid zijn onder de verschillende actoren in het bouwproces. Bovendien blijft België, in vergelijking met andere Europese landen, ook achter op regelgevend vlak. Landen als Noorwegen en Duitsland hebben met de NS en DIN normen reeds normeringen die het gebruik van EWP's integreren, en dit doortrekken naar uitvoering in werffase, waar België op normatief vlak zuiver werkt met de Eurocode 5 die momenteel niet eens het gebruik van EWP's behandelt (Van de Kuilen, J., Persoonlijke communicatie, mei 2024).

2.2.1. Historische bouwcultuur

De historie van de Belgische en Nederlandse bouwcultuur is sterk verweven met de natuurlijke rijkdommen van beide landen. Zoals geanalyseerd door het Amsterdamse architectenbureau INBO, werd de bouwcultuur in Nederland van oudsher gekenmerkt door de beschikbaarheid van klei, zand en grind via de vele rivieren (INBO, 2021). Deze mineralen vormden een gratis en toegankelijke bron voor bouwmaterialen, wat leidde tot de ontwikkeling van een sterke baksteencultuur. Deze analyse valt door te trekken naar België, waar een gelijkaardige mineralencultuur heerst. Ook hier ontwikkelden zich steenfabrieken nabij rivieren, waardoor de baksteen als bouw materiaal dominant werd.

De evolutie naar betonbouw in beide landen is een logische stap in deze context. Door cement toe te voegen aan zand en grind ontstond een eenvoudig, kostenefficiënt en veelzijdig bouw materiaal. In België werd deze transitie verder versterkt door de aanwezige technische kennis en de sterke ontwikkeling van gewapend beton, terwijl ook grote Belgische staalproducenten het land wereldwijd als pioniers op de kaart zetten. Hierdoor zijn beton- en staalconstructies de standaardpraktijk geworden binnen de Belgische bouwsector, wat heeft geleid tot een sterke optimalisatie en efficiëntie in het gebruik van deze materialen.

Houtbouw heeft in deze context een achterstand opgelopen. De afwezigheid van een sterke houtbouwtraditie en het ontbreken van aangeplante bossen voor constructiehout hebben bijgedragen aan een marginalisering van hout als bouw materiaal. Bovendien zijn er historische misvattingen ontstaan binnen de mineralencultuur, waarbij houten constructies als minder performant werden beschouwd. Men kan niet ontkennen dat houtbouw minder tolerant is naar zaken zoals langdurige vochtblootstelling (INBO, 2021).

Ondanks de wereldwijde groei van houtbouw als duurzame bouw methode blijft de acceptatie in België en Nederland beperkt (HoutInfoBois, 2024). Om deze trend te doorbreken, is er nood aan een herpositionering van houtbouw. Deze dient niet als een alternatief of superieur bouw materiaal gepresenteerd te worden, maar als een gelijkwaardige en complementaire methode naast beton- en staalbouw. Door praktijkvoorbeelden en bewezen toepassingen te combineren met een hands-on benadering, waarmee ook de doorsnee aannemer, bouwheer of architect aan de slag kan, kunnen de unieke voordelen van houtbouw beter worden aangetoond en misconcepties worden doorbroken. Zo kan een evenwichtige bouw cultuur

ontstaan waarin beton, staal en hout elk hun plaats vinden als volwaardige constructiemethoden.

2.2.2. Bezwaren en misconcepties

Als gevolg van deze historische evolutie in de bouwcultuur, heersen er vele bezwaren en misconcepties rond houtmassiefbouw vanuit zeer uiteenlopende posities. Hieronder worden de voornaamste visies uitgelegd waarom houtbouw een obstakel lijkt:

Opdrachtgever

Ondanks dat een duurzaam gebouw een bouwheer kan enthousiasmeren, zal het kostenplaatje altijd de bovenhand nemen wanneer er knopen moeten doorgehakt worden. Het huidige economische model rond houtmassiefbouw blijkt weinig voordelig, voornamelijk door de manier waarop vele aannemers kosten berekenen. Hoewel de initiële materiaalkosten van CLT circa 30-40% hoger liggen dan die van conventionele bouwmaterialen, biedt een CLT-constructie aanzienlijke besparingen. De lichtheid, verwerkbaarheid en precisie van het materiaal verkorten de bouwtijd, verminderen de benodigde arbeidskrachten en beperken onvoorziene kosten bij correcte uitvoering en doordachte planning. Bovendien kunnen lichtere funderingen een aanzienlijke besparing opleveren.

Toch blijven hardnekkige misvattingen over CLT bestaan, grotendeels door een gebrek aan kennis of bestaan van foute informatie. Vaak wordt gedacht dat CLT minder stevig is dan traditionele materialen. Daarnaast wordt - terecht - getwijfeld aan de prestaties op het gebied van vochtbestendigheid, brandveiligheid en akoestiek. Deze aspecten vormen inderdaad uitdagingen voor CLT-bouw. Er wordt echter bijzonder veel internationaal onderzoek gedaan naar deze aspecten, waardoor ook deze domeinen in evolutie zijn. Tegelijkertijd worden sommige van deze uitdagingen vergroot door simpelweg foutieve toepassing van het materiaal. In Canada, bijvoorbeeld, verplichten brandveiligheidsvoorschriften dat slechts één zijde van een CLT-paneel zichtbaar mag blijven, terwijl projecten in de Benelux vaak kiezen om zoveel mogelijk panelen in het zicht te laten. Het gebruik van CLT zonder ervaring en kennis van het materiaal, kan op die manier bijdragen aan het in stand houden van deze uitdagingen (INBO, 2021, Van De Kuilen, J., persoonlijke communicatie).

Architect

De rol van de architect en het ontwerpproces verschilt aanzienlijk van traditionele bouwprojecten. De ontwerper neemt een meer omvattende taak op zich, net omdat meer kennis nodig is. In ieder ontwerp met geprefabriceerde elementen vereist het ontwerpproces een verhoogde aandacht voor detail in een vroeg stadium, waarbij de hoge nauwkeurigheid van de panelen bepalend is. Dit brengt ook een grotere verantwoordelijkheid met zich mee in de opvolging tijdens de uitvoering. Veel architecten blijken echter terughoudend te zijn om deze overstap te maken.

Hoewel het ontwerpproces in een vroeg stadium meer tijd, inspanning en technische engineering vergt, zijn er talrijke praktische vuistregels en samenwerkingsvormen beschikbaar die reeds in de schetsfase toegepast kunnen worden. Deze richtlijnen vereenvoudigen de daaropvolgende processtappen aanzienlijk.

Voor een kostenefficiënt project is het van essentieel belang dat houtmassiefbouw van meet af aan als zodanig wordt ontworpen. Wanneer een ontwerp dat initieel bedoeld was voor beton- of staalbouw wordt omgezet naar een CLT-structuur, leidt dit vaak tot een

kostenstijging van circa 20%. Het is daarom de verantwoordelijkheid van de architect om een geoptimaliseerd ontwerp voor houtmassiefbouw te creëren. Dit vraagt echter om gespecialiseerde kennis, die in België momenteel wat achterloopt (INBO, 2021).

Aannemer

Het voornaamste bezwaar van de aannemer is een gebrek aan ervaring met CLT. Ze zien houtbouw vaak als risicovol vanwege de kans op waterschade tijdens de bouwfase. Dit vereist extra maatregelen, zoals het beschermen van materialen tegen weersomstandigheden, wat de kosten en complexiteit van het bouwproces verhoogt. Bovendien vraagt houtmassiefbouw specifieke technische kennis over bouwvolgordes en verwerking op de bouwplaats (zoals vochtbeheersing), wat aannemers verplicht om te investeren in opleiding en ervaring. Deze opleidingen zijn vrijwel onbestaande in België. Deze drempels zorgen ervoor dat aannemers vaak terughoudend zijn, of deze risico's doorrekenen in hun offertes, wat leidt tot hogere projectkosten in vergelijking met traditionele bouwmethoden (INBO, 2021).

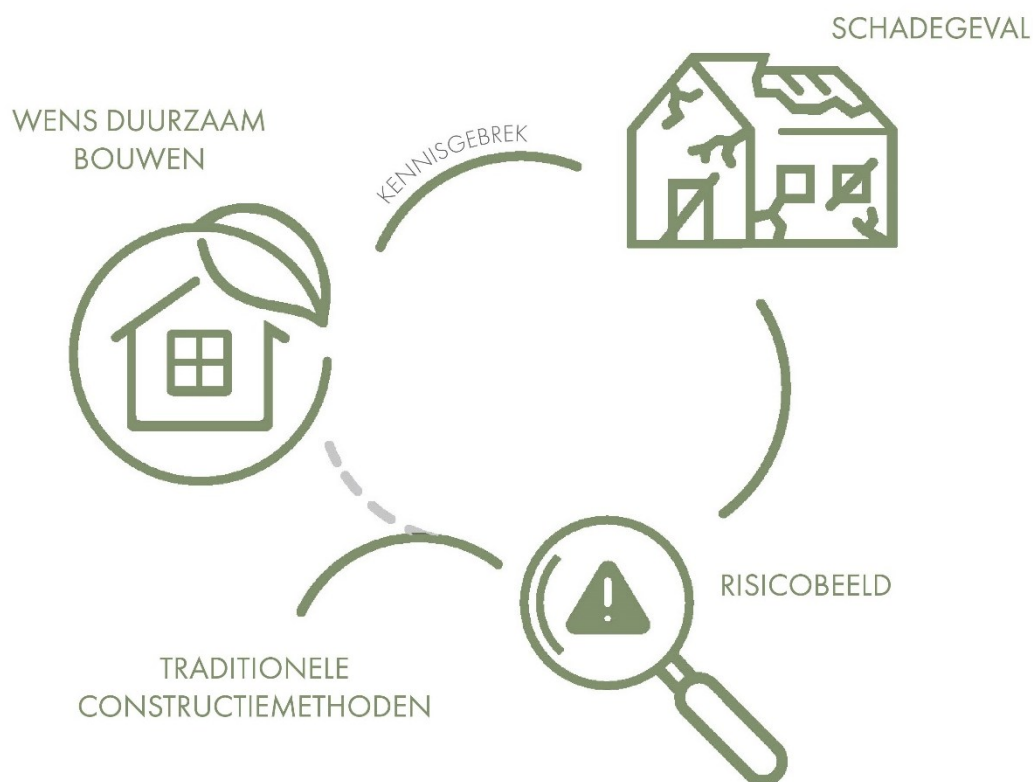
Corporaties, ontwikkelaars en beleggers

Wooncorporaties en investeerders hebben vaak een gebrekkige kennis van de mogelijkheden van CLT-constructies. Hoewel de 'onzichtbare' voordelen, zoals verbeterde concentratie en welzijn in houten gebouwen, steeds meer onderzocht en bevestigd worden, blijven ontwikkelaars en private beleggers sceptisch over de waardevastheid van deze constructies. CLT wordt vaak gezien als een 'te innovatieve' oplossing die zich nog niet bewezen heeft in onze regio, wat leidt tot terughoudendheid in de implementatie ervan.

Er verrijzen steeds meer beleidsmatige initiatieven om CLT-bouw te ondersteunen. De pionier hierin is de Duitse deelstaat Hamburg. Vanaf 2020 subsidieert de stad residentiële projecten met €0.30/kg en niet-residentiële projecten met €0.80/kg houtgebruik. De premie ligt hoger voor niet-residentiële gebouwen aangezien men gelooft dat hierin de grootste duurzaamheidswinst kan gemaakt worden, en het aandeel houtconstructies het laagste ligt. Het hout dient afkomstig te zijn vanuit duurzame bron en permanent verankerd te zijn in het gebouw (SDG21, 2024). Andere Duitse steden, zoals Freiburg en München, hanteren nu ondertussen ook dergelijke systemen (Optoppen.org, 2024). Men kan zich echter afvragen of een subsidie op basis van gewicht wel het juiste pad is om in te slaan, gezien dit enigszins te tegen het streven naar een hoge materiaalefficiëntie is. In dat opzicht hanteert Nederland een ander systeem met de CO₂-heffing voor de industrie. Afhankelijk van hun CO₂-uitstoot, zullen producenten meer of minder taks moeten betalen (Rijksoverheid Nederland, 2024). Dit zal voor de beton- en staalbouw zorgen dat hun afzetproduct in de toekomst duurder zal worden. Frankrijk nam hierrond in 2020 ook een drastische stap in de goede richting, waarbij gebouwen door de staat gefinancierd vanaf 2022 voor minimaal 50% uit hout of andere bio-based materialen dienen te bestaan (Jabre, 2024).

2.3. Probleemstelling

Concluderend kan gesteld worden dat de bezwaren tegen houtmassiefbouw, gecombineerd met een gebrek aan beleidsmatige maatregelen en het historisch verworven kennisgebrek binnen België, een vicieuze cirkel in stand houden. Er is wel degelijk animo naar een duurzaam gebouwbestand, waarbij houtmassiefbouw als een potentieel instrument wordt gezien. Het gebrek aan kennis over de juiste toepassing van dit materiaal in het vochtige klimaat resulteert echter vaak in vertragingen en/of schadegevallen. Dit kennisgebrek onder verschillende actoren leidt ertoe dat er meer negatieve nieuwskoppen verschijnen dan succesvolle referentieprojecten. Het risicobeeld rond houtmassiefbouw blijft hierdoor groot, wat de bezwaren tegen dit type bouwmethoden in stand houdt. Bij een volgend project zullen betrokken partijen dan ook sneller terugvallen op de vertrouwde traditionele bouwmethoden, waardoor CLT in België het moeilijk blijft hebben.



Figuur 15 - Vicieuze cirkel binnen de Belgische houtmassiefbouwpraktijk

2.4. Onderzoeksmethodiek

Het uitgangspunt van dit onderzoek is de vraag hoe men CLT-constructies weerbaarder kan maken tegen vochtbelasting binnen het Belgische klimaat. Dit blijkt namelijk de grootste schadepost in CLT-bouw (Olsson, 2021). In theorie zijn hiervoor twee strategieën denkbaar: ofwel voorkomt men dat vocht de constructie bereikt, ofwel verhoogt men de tolerantie van de constructie ten opzichte van vochtblootstelling. Aangezien het Belgische klimaat – noch de manier waarop dit evolueert – beïnvloedbaar is, is de eerste strategie slechts in beperkte mate

realiseerbaar. De focus ligt daarom op de tweede strategie: het ontwikkelen van kennis en praktijkrichtlijnen die toelaten om CLT-bouw bouwtechnisch en bouwfysisch resistenter te maken.

De methodiek van dit onderzoek steunt op een diepgaande literatuurstudie, met als doel het formuleren van een Best-Practice voor CLT-bouw binnen het vochtige Belgische klimaat. De analyse omvat zowel academische en wetenschappelijke onderzoeksliteratuur als praktijkgerichte richtlijnen, technische handleidingen, normdocumenten, beleidskaders, en inzichten uit lezingen en webinars. Hierbij werd bijzondere aandacht besteed aan regio's met een hogere of vergelijkbare klimatologische vochtbelasting en/of een meer gevestigde houtbouwpraktijk, zoals Canada, Zweden, het Verenigd Koninkrijk en de Verenigde Staten.

Praktijkhandleidingen van onder meer RDH Building Science en de Structural Timber Association bleken inspirerende bronnen voor het identificeren van ontwerp- en uitvoeringsprincipes die de vocht risico's bij CLT-bouw reduceren (RDH Building Science, 2021a, 2021b; Structural Timber Association, 2022). Hoewel niet rechtstreeks bruikbaar in de Belgische context, fungeerden ook het Zweedse *ByggaF*-raamwerk en het Deense *Byggeskade-fonden* als inspiratiebronnen. *ByggaF* is een raamwerk voor het systematisch integreren van vocht risicoanalyse in het bouwproces, terwijl *Byggeskade-fonden* bijdraagt aan kennisopbouw via systematische schadeanalyse in nieuwbouwwoningen. De beperkte toepasbaarheid van deze documenten buiten de Zweedse context en zijn generiek karakter hebben ertoe geleid dat ze niet rechtstreeks worden toegepast, maar hun opzet en werking vormden wel een belangrijke stimulans om na te denken over de nood aan een specifiek Belgisch vochtbeheersingskader voor CLT-bouw (Lund University of Technology, 2013; Mjörnell & Gustavsson, 2019; Mjörnell & Olsson, 2019).

De inzichten uit deze diverse bronnen werden gestructureerd en thematisch geanalyseerd in een Belgisch Best-Practice ontwerp (Deel 3) en Best-Practice uitvoering (Deel 4). Op basis hiervan werden de karakteristieken van een doeltreffend vochtbeheersplan (VBP) afgeleid (Deel 5). Deze scriptie tracht concrete handvatten aan te bieden voor ontwerpers, ingenieurs en uitvoerders om risicogestuurd te werk te gaan en een projectspecifiek VBP te ontwikkelen dat bescherming biedt gedurende de volledige levenscyclus van de CLT-constructie.

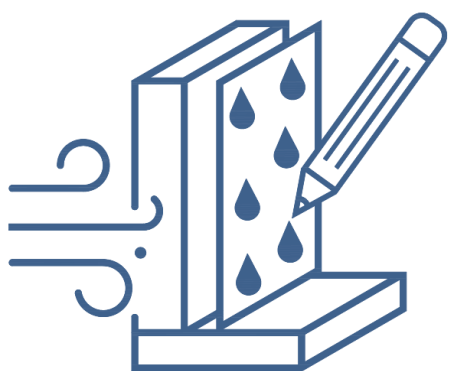
2.4.1. Gebruik van generatieve AI-tools

In het kader van deze scriptie werd gebruik gemaakt van generatieve AI-toepassingen, met inachtneming van de richtlijnen van de Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur van de Universiteit Gent. AI-tools werden hoofdzakelijk ingezet ter ondersteuning van volgende deeltaken:

- schrijfstijlcorrectie, verwoording en structurering van teksten en het genereren van grafische iconen doorheen de hoofdstukken.
- brainstormen over formuleringen en lay-outs suggesties, steeds onder kritisch toezicht en eigen bewerking.
- Oriënterend werd AI ingezet voor het zoeken naar bronmateriaal, lezingen en handboeken rond specifieke thema's. Hierbij werd steeds gevraagd naar doorklikbare hyperlinks of gepubliceerde papers, waarna de inhoud zelfstandig werd geanalyseerd. Omgekeerd werd AI sporadisch gebruikt om bestaande webpagina's of papers toe te lichten, steeds met de vraag zich strikt te beperken tot de originele inhoud.

- Bij een vermoeden van beperkte relevantie werd bronmateriaal geüpload om vervolgens te vragen over bepaalde thema's direct of indirect werden aangekaart, alvorens de gehele bron zelf te analyseren.

De inhoud, analyses en onderzoeksresultaten (vb. detailleringstool in deel 3.3) en grafische uitwerkingen werden volledig zelfstandig uitgevoerd, volgens de principes van wetenschappelijke onderzoek. Al werd niet gebruikt voor het genereren van wetenschappelijke inzichten of de interpretatie van onderzoeksgegevens.



DEEL 3

BELGISCH BEST-PRACTICE ONTWERPPROCES

3.1.	(Vocht)Bewust ontwerpproces	24
3.2.	Vochthuishouding in de gebouwschil	42
3.3.	Detallering en aansluitingsprincipes	98
3.4.	Conclusie	132

Introductie

Deel 3 behandelt hoe een doordacht ontwerp fundamenteel bijdraagt aan de vochtresistentie van CLT-constructies. Door van bij de ontwerpfase in te zetten op *Protection-by-Design*, worden risico's beperkt en wordt het uitvoeringsproces bevorderd in termen van planning, kost en kwaliteit.

Deel 3.1 beschrijft de nood aan een aangepast, vochtbewust ontwerpproces en bijhorende samenwerkingsvormen. In 3.2 wordt de gebouwschil systematisch beschreven, waarbij een identificatie van de verschillende gebouwlasten vertaald wordt tot adequate beheersingslagen. Tot slot stelt deel 3.3 een risico-analysetool voor, waarmee bouwdetails op hun gevoeligheid voor vochtschade geëvalueerd worden en richting een optimale beschermingsgraad kunnen evolueren.

Samen vormen deze onderdelen de bouwstenen voor een robuuste ontwerpaanpak, afgestemd op het Belgische klimaat. Dit zal, via een gedetailleerd VBP, leiden tot een vlotte bouwphase, waar de uitgesproken voordelen van CLT-bouw, zoals kost- en tijdsefficiëntie vervolgens maximaal kunnen renderen.

3.1. (Vocht)Bewust ontwerpproces

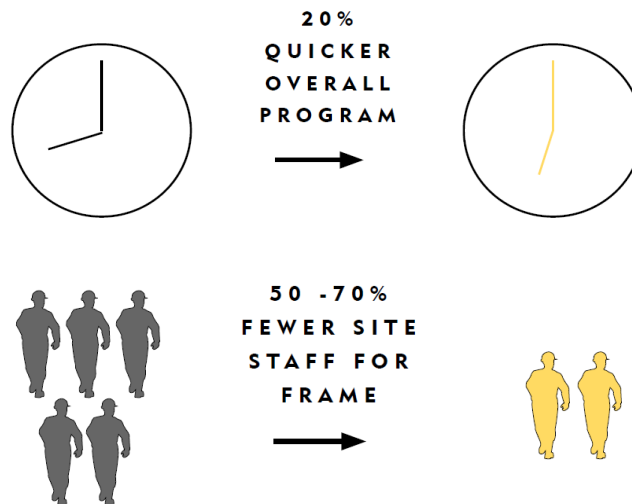
CLT is een hoogwaardig industrieel bouwproduct waarvan de geprefabriceerde aard aanzienlijke voordelen biedt. Hoewel deze voordelen binnen de bouwsector algemeen erkend worden, vereist een optimale benutting ervan een geïntegreerde ontwerpbenadering. Dit is noodzakelijk omdat de prefabricatiefilosofie bij CLT-bouw een verschuiving van ontwerparbeid naar een vroegere ontwerpfase impliceert.

Dit hoofdstuk analyseert de gangbare ontwerppraktijk en fasering binnen de Belgische context in relatie tot CLT-constructies. Vervolgens wordt deze gespiegeld aan internationale Best-Practices op het vlak van houtmassiefbouw. Om een evenwichtige en toegankelijke benadering te waarborgen, worden in dit hoofdstuk fase-specifieke richtlijnen en vuistregels aangereikt die parallel lopen aan het ontwerpproces.

Een geïntegreerde ontwerppraktijk waarin vochtbeheersing van bij aanvang een rol speelt, zal essentieel blijken voor de realisatie van vochtresistente CLT-constructies binnen de Belgische bouwpraktijk.

3.1.1. Vroegtijdige beslissingen volgend uit prefabricatie

Zoals reeds uiteengezet in deel 1.2.2., biedt deze droge, geprefabriceerde bouwmethode diverse voordelen. Het is als het ware een vooraf gedimensioneerde legpuzzel, die op de bouwplaats resulteert in een snellere, schonere en minder drukbevolkte werf (Polspoel et al., 2024; Waugh Thistleton Architects, 2018, INBO 2021).



Figuur 16 - Voordelen van prefabricatie (Waugh Thistleton Architects 2018)

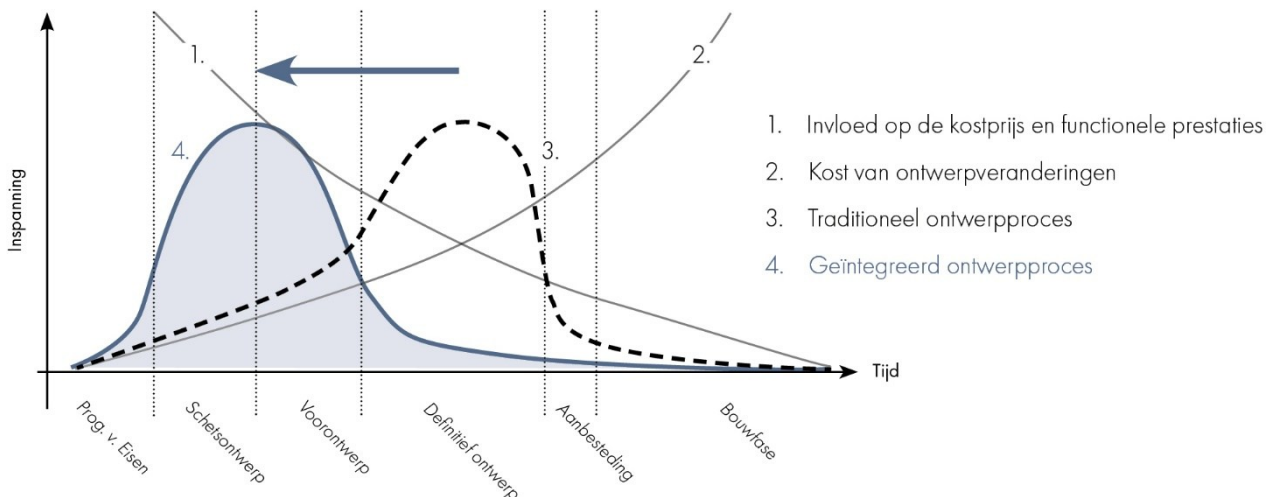
Hoewel de opportuniteiten van prefabricatie in het algemeen duidelijk zijn, is het tevens van belang de inherente uitdagingen te onderkennen. Deze dienen te worden geïntegreerd in de ontwerppraktijk en de bijbehorende documentatie. De succesvolle implementatie van prefabricatie vereist namelijk vroegere en intensievere integratie in de ontwerpfase, hetgeen een noodzakelijke voorwaarde vormt voor het realiseren van de uiteindelijke kostenefficiëntie. Elk houtmassiefbouwproject dient daarom te streven naar een maximaal geoptimaliseerd prefabricatieproces (Karacabeyli & Lum, 2022).

Een aanzienlijke uitdaging binnen dit geoptimaliseerde proces betreft de verschuiving van het tijdspad in het ontwerpproces. CLT-panelen worden beschouwd als hoog industriële producten, hetgeen impliceert dat alle ontwerp- en detailaspecten volledig dienen te worden uitgewerkt vóór bestelling en productie. Hierdoor verschuift een significant deel van de ontwerpinspanning naar het vroege stadium van het project. Deze tijdsdruk wordt verder versterkt door de relatief lange fabricage- en levertijden, zeker binnen de Belgische context, waar panelen meestal uit centraal Europa geleverd worden. Eventuele fouten of afwijkingen in paneelafmetingen die pas na de bestelling of tijdens de werffase aan het licht komen, kunnen aanzienlijke financiële en operationele consequenties hebben (Karacabeyli en Lum 2022; HoutInfoBois 2022).

Sedert de COVID-19-pandemie hanteren de meeste producenten een zogeheten 'Manufacturing Spot'; een toegewezen productieperiode per klant waarin de bestelde panelen vervaardigd worden. In het geval van substantiële wijzigingen in de bestelling kan de producent genooddaakt zijn dit tijdsslot te herplannen, wat leidt tot aanzienlijke vertragingen, wat op zijn beurt leidt tot mogelijks verhoogde vochtbelasting bij de reeds gemonteerde panelen op de bouwplaats. Bovendien dient, gezien de geografische spreiding van CLT-producenten, standaard een zekere leveringstermijn in acht te worden genomen (Karacabeyli & Lum, 2022).

Het verschuiven van ontwerpbeslissingen naar vroegere fasen ligt in lijn met de principes van de MacLeamy Curve, gevisualiseerd in 2004 (Fig. 17). Dit model benadrukt het belang van gedetailleerde coördinatie en planning in de vroege ontwerpfase om latere fouten en bijbehorende kosten te minimaliseren (Nguyen, 2022).

Hoewel de MacLeamy Curve oorspronkelijk werd ontwikkeld om de voordelen van een Shared-BIM proces te illustreren, is de grafiek ook zeer toepasbaar op een ontwerpproces binnen houtmassiefbouw. De curve benadrukt het belang van een vervroegde concentratie van ontwerpinspanningen. In de beginfase van een ontwerptraject zijn fundamentele wijzigingen nog relatief eenvoudig en kostenefficiënt door te voeren. Naarmate het project vordert, neemt de mogelijkheid tot ingrijpende aanpassingen af, terwijl de bijbehorende kosten aanzienlijk toenemen (MacLeamy, 2004).



Figuur 17 - MacLeamy Curve (Nguyen 2022)

Curve 3 en 4 in de figuur 17 vertegenwoordigen verschillende verdelingen van de ontwerparbeid. MacLeamy stelt dat ontwerpteam idealiter streven naar een verdeling waarbij de piek van de inspanningen zoveel mogelijk naar voren in het proces wordt verschoven. Een dergelijke prefabricatiegerichte benadering wordt in de internationale literatuur gelinkt aan een 'Design for Manufacturing and Assembly' (DfMA)-filosofie. Deze ontwerpstrategie, die sterk focust op geoptimaliseerde prefabricatie, modulariteit en de reductie van assemblagetijd op de bouwplaats, impliceert een fundamenteel andere ontwerppraktijk (Laminated Timber Solutions, 2019; Polspoel et al., 2024).

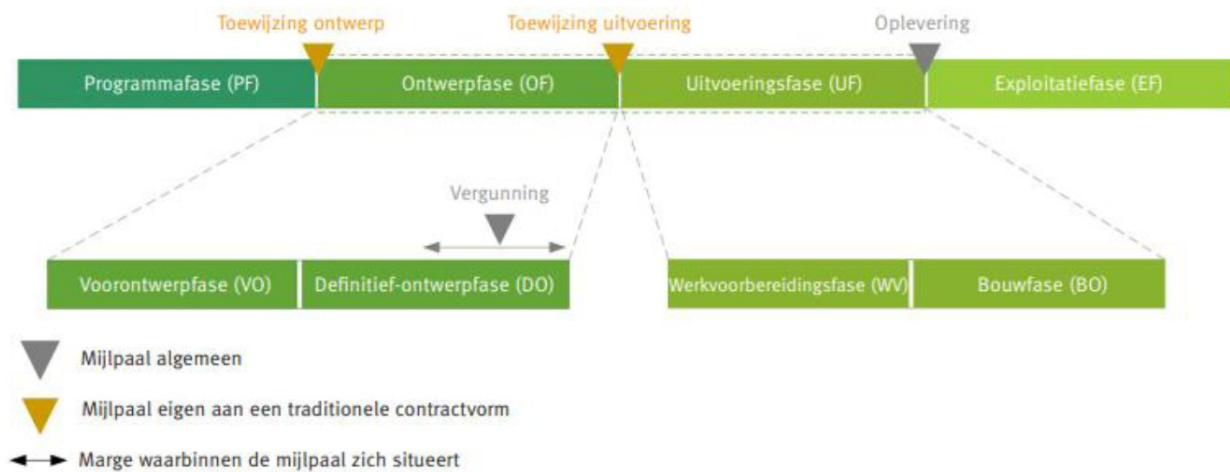
3.1.2. Nood voor een geïntegreerd holistische ontwerppraktijk

3.1.2.1. Belgisch traditioneel ontwerpproces

Traditioneel volgt de Belgische bouwsector een lineair ontwerp- en bouwproces. Meestal is dit sterk gefaseerd, waarbinnen ontwerp en uitvoering gescheiden blijven. Volgend op een opstellen van een programma van eisen en een eventuele eerste haalbaarheidsstudie komt het schetsontwerp (SO), gevolgd door een voorontwerp (VO), definitief ontwerp (DO), bestek en aanbesteding. Hierna start uiteindelijk de uitvoering (Deloz en Casteleyn, 2022).

De gefaseerde opdeling van een bouwproject kent zijn oorsprong in historisch gegroeide praktijken en biedt weldegelijk voordelen. Enerzijds maakt dergelijke fasering het mogelijk om strikte termijnen vast te leggen in het ontwerp- en bouwproces. Verder vereenvoudigt deze opdeling het vastleggen van beslismomenten binnen het bouwproces, waaronder ook

de keuze om al dan niet over te gaan tot de volgende fase van het project (Buildwise, 2023). Dit is zichtbaar door de oranje markeringen op figuur 18 die telkens de overgang naar een nieuwe fase illustreren.



Figuur 18 - Traditioneel ontwerpproces en contractvorming (Buildwise, 2023)

Niettemin impliceert deze strikt lineaire processtructuur dat elke bouwactor slechts betrokken wordt op het moment dat dit strikt noodzakelijk wordt geacht binnen de sequentiële fasering. De architect en ingenieurs ontwikkelen initieel een volledig ontwerp, alvorens aannemers en andere uitvoerende partijen worden betrokken. Dit minimaliseert de mogelijkheid tot iteratieve terugkoppeling tussen ontwerp en uitvoering. Dit in tegenstelling tot geïntegreerde ontwerpprocessen, waarin aannemers, leveranciers en andere bouwactoren vanaf een vroeg stadium participeren, waardoor de technische expertise van deze actoren optimaal benut wordt in de vroege ontwerpfase (Dillen et al., 2016).

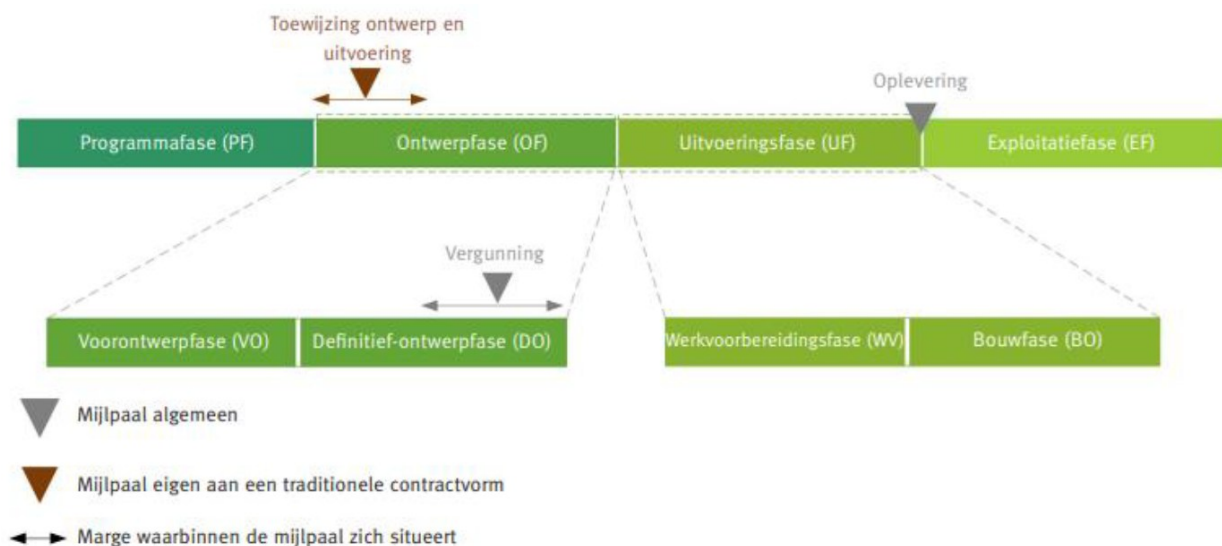
Binnen de context van een prefabricatie-filosofie wordt de problematiek van deze traditionele werkwijze verder versterkt. De noodzaak om ontwerpbeslissingen aanzienlijk vroeger in het proces vast te leggen verschuift niet enkel de ontwerpinspanningen naar een eerder stadium, maar verhoogt tevens de complexiteit en verantwoordelijkheden van het initiële ontwerpteam. Dit is problematisch in een Belgische bouwcontext waarin expertise in CLT nog relatief laag is. Hierdoor ontstaat een paradox: enerzijds vereist een optimaal prefabricatieproces een vroege en diepgaande integratie van verschillende kennisgebieden, anderzijds biedt de traditionele Belgische bouwcultuur hier nauwelijks (kennis)ruimte voor.

In de praktijk leidt deze discrepantie vaak tot een verhoogde werkdruk bij architecten en ingenieurs, die geacht worden een grotere mate van technische detaillering en coördinatie te leveren, ondanks zij vaak niet over alle nodige kennis beschikken. Dit spanningsveld draagt bij aan de terughoudendheid omtrent de brede toepasbaarheid van houtmassiefbouw binnen de Belgische bouwsector. Het klopt weldegelijk dat CLT-bouw risicovol is in het Belgische klimaat. Dit betekent echter niet dat deze complexiteit niet kan aangepakt worden, mits een goede kennis van zaken (INBO, 2021; HoutInfoBois, 2022).

3.1.2.2. Internationale ontwerppraktijk

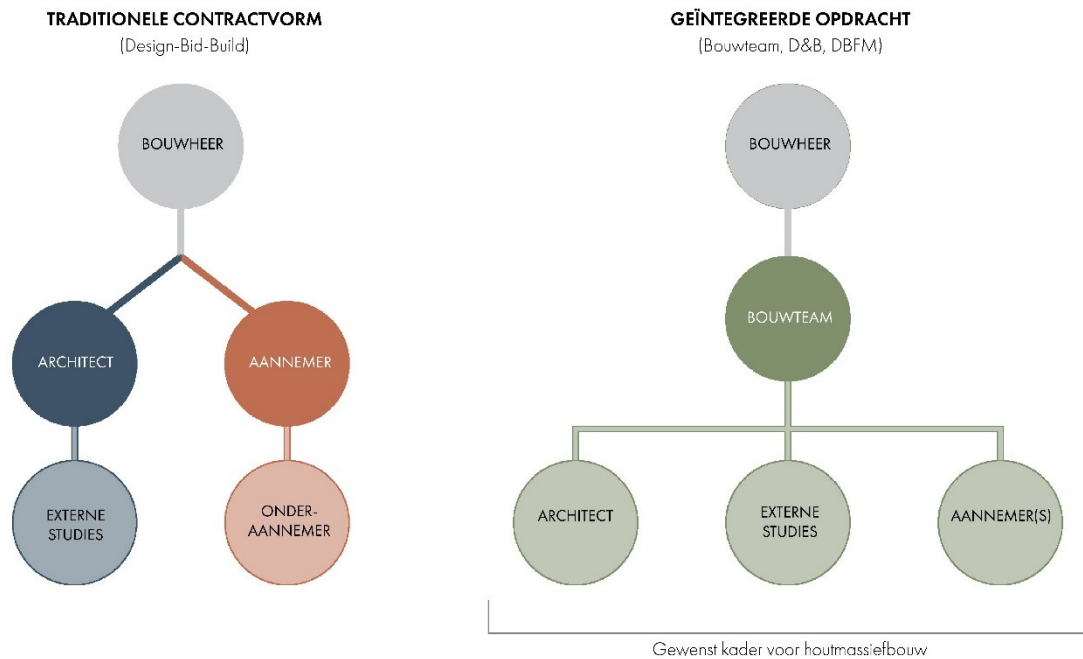
In regio's waar houtmassiefbouw reeds breed is ingeburgerd, zoals Scandinavië, Oostenrijk en Canada, lijkt een meer geïntegreerde ontwerppraktijk ontwikkeld wanneer men bouwt met hout. Hierin werken architecten, ingenieurs, aannemers, tot zelfs soms leveranciers en producenten vanaf de vroege ontwerpfase nauw samen om zo ontwerplast bij de architect te reduceren en het kennisgebrek op te vullen (INBO, 2021). Zoals figuur 19 illustreert met de bordeaux markeringen, is er meestal slechts 1 moment van contractsluiting in dergelijk geïntegreerd ontwerpproces.

Deze geïntegreerde werkwijze laat toe om reeds in de conceptuele fase cruciale ontwerpbeslissingen af te stemmen op de technische en logistieke randvoorwaarden van prefabricatie en bouwphase. Zo kunnen paneelafmetingen, verbindingstechnieken en montagestrategieën – al dan niet in overleg met de producent – worden geoptimaliseerd, waardoor efficiëntie in zowel productie als uitvoering wordt gewaarborgd (INBO 2021; Laminated Timber Solutions, 2019; Dillen et al., 2016).



Figuur 19 - Geïntegreerd ontwerpproces en contractvorming (Buildwise, 2023)

Contractueel worden deze geïntegreerde opdrachten meestal op twee manieren vastgelegd, waarbij het belangrijkste onderscheid zit in aard van de opdracht. Waar bij particuliere private opdrachten meestal een bouwteamovereenkomst wordt gesloten, zal men bij een openbare aanbesteding eerder overgaan tot een Design & Build (D&B, of nog breder uitgewerkt een DBFM) opdrachtstructuur (Laverge, 2024; Dillen et al., 2016; Maeyaert, 2025).



Figuur 20 - Contractuele samenwerkingsvormen (Laverge, 2024)

Toepassing in de Belgische bouwpraktijk

In België ontbreekt een duidelijk wettelijk kader voor bouwteams, wat juridische geschillen veroorzaakt. Geïntegreerde ontwerpprocessen worden vooral in private projecten toegepast, omdat overheidsopdrachten verplicht aan de economisch voordeligste inschrijver gegund moeten worden. Ook de architectenwet (1939) vereist de volle onafhankelijkheid van de architect, wat geïntegreerde modellen bemoeilijkt. In buurlanden zoals Frankrijk wordt dit echter omzeild via co-contracten voor specifieke deeltaken. Bovendien zal dit collusieverbod, onder druk van Europese regelgeving en voorziene structurele wetshervorming, op termijn verplicht herzien moeten worden. Dit zal hoe dan ook de werking van een bouwteam in België minder onder druk zetten, wat een voordeel kan zijn voor de lokale houtmassiefbouwpraktijk (Netwerk Architecten Vlaanderen 2024; Dillen et al., 2016; Laverge, 2024).

3.1.3. Fase-specifiek ontwerpproces in CLT-constructies

Deze sectie beoogt de perceptie van ontwerpoverbelasting in de initiële fasen van een CLT-project te nuanceren door een gefaseerde en gestructureerde aanpak te schetsen. In de volgende hoofdstukken wordt gefocust op de drie fundamentele fasen binnen het ontwerpproces—schetsontwerp (SO), voorontwerp (VO) en definitief ontwerp (DO)—waarbij de progressieve toename in detailniveau per fase wordt geanalyseerd. De nadruk ligt binnen dit hoofdstuk echter op de eerste SO-fase, aangezien het gevaar van overlading en overmatige detailgraad het grootste is. Bovendien is het ook belangrijk om een houtbouwproject vanaf aanvang te concipiëren als houtbouwproject, en niet later de overstap te maken. Dit zal een kwaliteitsvoller en vooral meer kostenefficiënt ontwerp opleveren (Vandewyngaerde, C, persoonlijke communicatie, 9 april 2025).

Iedere conceptiefase wordt onderbouwd met concrete handvatten, essentiële ontwerpoverwegingen en vuistregels om de ontwerpefficiëntie te verhogen. Bovendien wordt

expliciet aandacht besteed aan een cruciale ontwerptak die binnen een Best-Practice ontwerp parallel verloopt met het traditionele ontwerpproces: de ontwikkeling van het vochtbeheersplan (VBP).

Houtmassiefbouw omvat een brede waaier aan Engineered Wood Products (EWP's), waaronder onder meer Glue Laminated Timber (Glulam), Nail Laminated Timber (NLT) en Laminated Veneer Lumber (LVL). Dit onderzoek concentreert zich specifiek op de constructieve en vochttechnische aspecten van CLT-constructies, gezien de unieke dynamiek die CLT-paneelgebruik binnen het ontwerpproces met zich meebrengt.

3.1.3.1. CLT in de SO-fase

Voorafgaand aan de eerste pennentrek

Vaak vertrekt de opdrachtgever vanuit een specifieke architecturale visie, waarbij de keuze voor houtmassiefbouw, en in het bijzonder CLT, best van in het begin sterk overwogen is. Het is hierbij van cruciaal belang dat de mogelijkheid tot CLT-constructie vroeg in het proces expliciet besproken wordt, zodat de projectscope voor alle betrokken partijen helder is.

Hoewel CLT voordelen biedt op het vlak van bouwsnelheid, duurzaamheid en esthetiek, kent het ook beperkingen die de geschiktheid voor bepaalde gebouwtypologieën beïnvloeden, vooral inzake akoestiek en brandveiligheid. De keuze voor CLT mag daarom niet louter ideologisch of ecologisch gemotiveerd zijn, maar moet afgestemd worden op de functionele en technische eisen van het bouwprogramma. Een onlogische toepassing van CLT kan leiden tot verhoogde ontwerpcomplexiteit, technische knelpunten en suboptimale kostenbeheersing. Een grondige evaluatie van de compatibiliteit tussen programma en materiaaleigenschappen is dan ook essentieel in een vroeg stadium (Laminated Timber Solutions, persoonlijke communicatie, april 2025).

Bij toepassing van CLT als primair constructiesysteem spelen parameters zoals overspanningscapaciteit, bouwhoogte, akoestisch en brandveiligheidsdoel en economische haalbaarheid een bepalende rol. Figuur 21 toont gebouwtypologieën die bijzonder geschikt zijn voor CLT, samen met enkele minder evidente toepassingen. In dergelijke gevallen vereist het ontwerp extra aandacht voor technische en regelgevende uitdagingen, waarbij een doordachte strategie cruciaal is voor haalbaarheid en performantie (INBO, 2021).



Kantoorgebouwen

- Lage akoestische eisen
- Beperkte overspanning
- Concentratie en welzijn bevorderend

Gestapelde woningbouw

- Beperkte overspanning
- Compartimentering
- Lichtgewicht
- Aandacht voor akoestiek

Grondgebonden wonen

- Bouwsnelheid
- Lichtgewicht
- Gezond binnenklimaat

Hotels

- Kleine overspanningen
- Beperkte akoestische eisen
- Compartimentering

Scholen

- Snelle bouwtijd (vakantieperiode)
- Welzijnsbevorderend



Civiele constructies

- Vochtgevoeligheid
- Overspanningen

Hallen

- Overspanningen
- Akoestische performantie

Hoogbouw

- Stabiliteitstechnisch (hybride bouwen wanneer meer dan 8 verdiepingen)

Ondergronds

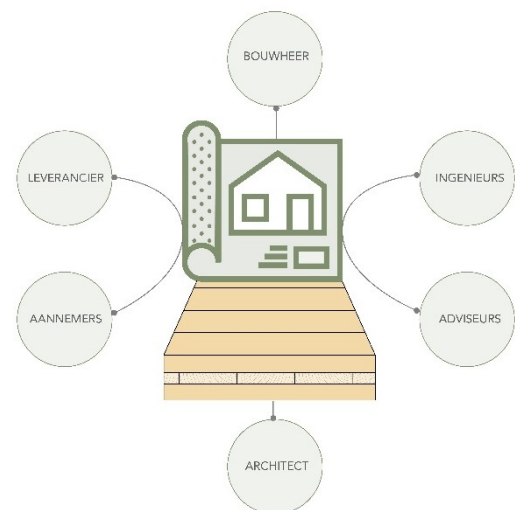
- Vochtgevoeligheid

Geluidsgevoelige functies

- Akoestische performantie door gebrek aan massa.

Figuur 21 - Gebouwtypologieën voor CLT-bouw (INBO, 2021)

Eens de bouwheer overtuigd is van de mogelijkheden van houtbouw voor het specifieke project, is het in het belang van de architect om zo snel mogelijk het correcte team samen te stellen. Zoals hierboven vermeld is een adequate geïntegreerde aanpak vanaf de start de sleutel tot succes voor een houtmassiefbouwproject. Daarom is het met andere woorden cruciaal om zich te laten omringen door de juiste actoren, meer specifiek: bouwpartners met voldoende ervaring en expertise in het houtbouwdomein (Polspoel et al., 2024).



Conceptontwikkeling

In de beginfase heerst vaak de perceptie dat een schetsontwerp direct de detailgraad dient te hebben van een voorontwerp. Dit is echter niet het geval. Een CLT-schetsontwerp kan, net als een klassiek ontwerpproces, bijzonder rudimentair zijn in eerste fase. Wanneer men rekening houdt met enkele handvaten en vuistregels in de beginfase, is dit zeker voldoende. Deze worden in wat volgt toegelicht:

Maak de keuze voor houtmassiefbouw vóór het aanvatten van het ontwerp aan te vatten.



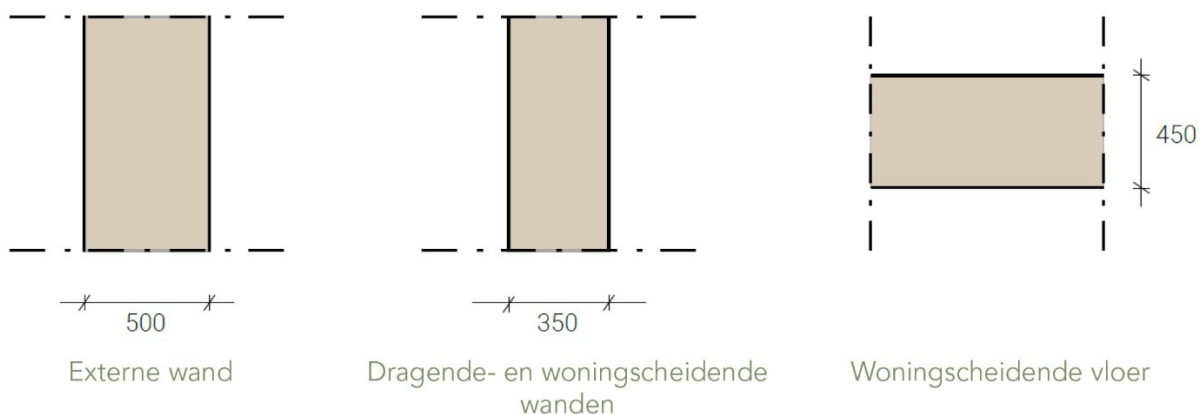
Om te genieten van de vele voordelen die volgen uit het prefabricage-proces (zoals de sterke kostenbesparing in uitvoering, ligt er een grote verantwoordelijkheid bij het ontwerpteam. Of CLT nu uiteindelijk goedkoper of duurder uitvalt is afhankelijk van hoe het ontwerp in elkaar zit. INBO berekende dat wanneer een in beton of staal ontworpen gebouw plots omgezet wordt naar een gebouw in massief hout, komt men al snel op een 20% hogere totaalprijs uit. Deze loopt in sommige gevallen zelfs op tot 40 procent. Wanneer men echter van in het begin rekening houdt met de eigenschappen van CLT, dan daalt die kostprijs snel.

Hier rond zijn verschillende studies gedaan. Een daarvan – uitgevoerd door duurzaamheidsadviseur NIBE – wijst uit dat de kostprijs bij een geoptimaliseerd DfMA-project in CLT zo'n 5% hoger uitkomt. Hierbij zijn echter de kortere bouwtijd en een besparing op de fundering niet ingerekend. Het is met andere woorden cruciaal om hout als constructiemethode van in de conceptiefase vast te pinnen, ten einde een vloeiend en kostenefficiënt project te realiseren (INBO, 2021).



Het is verstandig om wanden en vloeren tijdens de SO-fase te over-dimensioneren.

Het vroegtijdig over-dimensioneren in de SO-fase laat toe dat er zich geen verlies voordoet van vloeroppervlak in een latere fase. Afhankelijk van een gekozen opbouw in wanden en/of vloeren, kan de dikte van het pakket sterk fluctueren. Dimensioneren met de bovengrens is dus aangeraden (INBO, 2021).



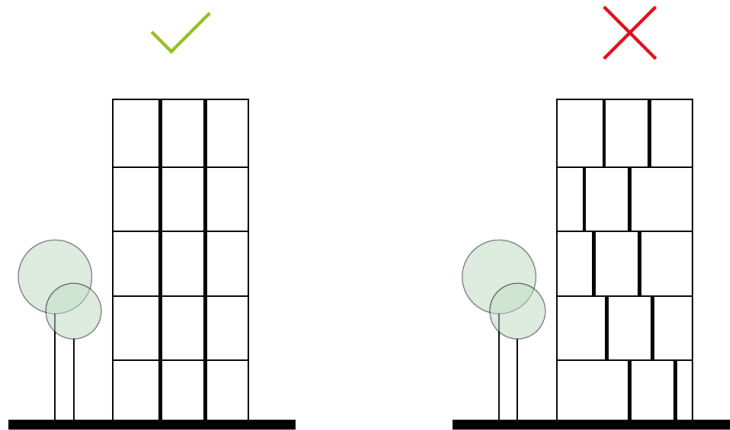
Figuur 22 - Indicatieve maatvoering voor CLT-wandopbouw en -vloeren (INBO, 2021).

Plaats scheidende en dragende wanden zoveel mogelijk boven elkaar.



CLT-panelen gedragen zich als massieve schijfvormige elementen en werken optimaal bij directe belastingsoverdracht, met andere woorden: wanneer deze rechtstreeks boven elkaar afgelijnd zijn en lasten rechtstreeks naar de fundering kunnen afgevoerd worden.

Indien dit niet het geval is, zullen de vloeren lokaal versterkt dienen te worden, of dikkere CLT-vloerplaten gebruikt worden. CLT heeft namelijk een hoge sterkte in vlak, maar slechts geringe sterkte bij geconcentreerde punt-of lijnlasten (Gagnon & Karacabeyli, 2019).



Figuur 23 - Voorgestelde structurele layout bij CLT-constructies (INBO, 2021).



Faciliteer van in de conceptiefase een optimale gegevensuitwisseling tussen alle bouwpartners.

De samenwerking tussen alle betrokken partijen (zoals ingenieurs, adviseurs, opdrachtgever, aannemer en architect) in een vroeg stadium van het ontwerp is van groot belang voor de haalbaarheid van een CLT-constructie. Idealiter zijn al deze actoren vertrouwd met de concepten en limieten van houtmassiefbouw.

Uit de praktijk blijkt dat een goede communicatie en het vroegtijdig en regelmatig uitwisselen van informatie en schetsen met adviseurs belangrijk zijn voor het tot stand komen van een initieel goed concept (INBO, 2021).

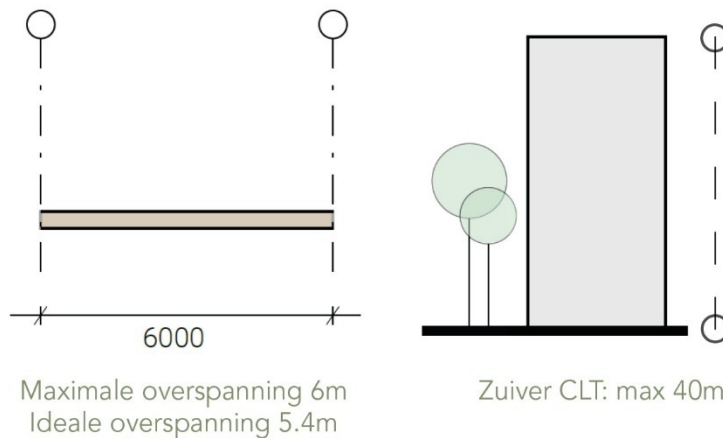
Internationaal gezien lijkt het gebruik van een shared-BIM model al vanaf deze conceptiefase nuttig. Afhankelijk van de projectgrootte en ontwerpteam is dit soms eerder voorbarig of niet rendabel (Eurban, 2025; Azhar, 2011).

Reken de beperkte vormvrijheid en overspanningen van CLT-panelen in binnen het SO.



Eenzijds is CLT een stijf paneel. Dit betekent dat men niet de vormvrijheid heeft van gewapende betonconstructies, waarbij de betonspecie in bekistingen wordt gestort. Daarenboven zijn CLT-panelen computergestuurd (CNC) gezaagd. Lichte afwijking van de standaardafmetingen kunnen al voor extra werkuren zorgen bij de leverancier. Deze rekent dit uiteindelijk door naar de klant (Gagnon & Karacabeyli, 2019). Anderzijds worden er vanuit structureel aspect limieten gesteld aan de CLT-panelen. Voor een zuivere CLT-constructie is de meest gangbare hoogte ca. 20-25m. Dit kan maximaal verhoogd worden tot ongeveer 7 bouwlagen ($\pm 40m$). In de praktijk ziet men boven de 20-25m meestal een hybride constructie.

Grote horizontale overspanningen is soms een zwak punt van CLT. Als tweezijdig opgelegde vloeroverspanning dient daarom een veilig maximum van ca. 6 meter te worden aangehouden, met een ideale overspanningsbreedte van 5,4 meter. Bij een gewenste grotere overspanning kan er overgestapt worden op een kolom/ligger constructie (INBO, 2021).



Figuur 24 - Vuistregels voor de vloeroverspanning en gebouwhoogte bij een zuivere CLT-bouw (INBO, 2021).

Het vochtbeheersplan binnen de SO-fase.

Een doordachte aanpak van vochtbeheersing in CLT-constructies begint reeds in de vroegste ontwerpfase. Hoewel technische detaillering en uitvoeringsaspecten pas later in het proces worden uitgewerkt, is het in deze fase cruciaal om strategische keuzes te maken die de basis leggen voor een robuust en duurzaam vochtbeheer. Een eerste aanzet binnen een vochtbeheersplan kan al worden gedefinieerd door rekening te houden met de ruimtelijke en morfologische eigenschappen van het ontwerp:

1. Oriëntatie en inplanting

De positionering van het gebouw op het terrein houdt best rekening met dominante wind- en regenrichtingen om overmatige blootstelling te beperken (Gagnon & Karacabeyli, 2019).

België kent een frequente regenval, waarbij de gevels op westen, zuidwesten en zuidrichting het meest blootgesteld worden aan neerslag (Debie & Michiels, 2024; Blommaert et al., 2025). Dit rekent men best in bij de inplanting van CLT-volumes door kwetsbare gevels inherent te beschermen via oversteken, strategische plaatsing van groen of windschermen en een gunstige oriëntering om natuurlijke droging door zon en wind te maximaliseren. Hierin is het tevens ook belangrijk om zich bewust te zijn van de opgelegde stedenbouwkundige beperkingen op de dakhoogte, dakvorm of perceelsgrenzen.

Anderzijds kan een zuidgerichte oriëntatie ook bevorderend zijn voor het drogen van een constructie na bevochtiging. Het is echter primair de bedoeling om vocht niet tot in de structuur te laten dringen – zelfs niet in werffase – door een adequate beschermingsstrategie.

2. Globale volumetrie

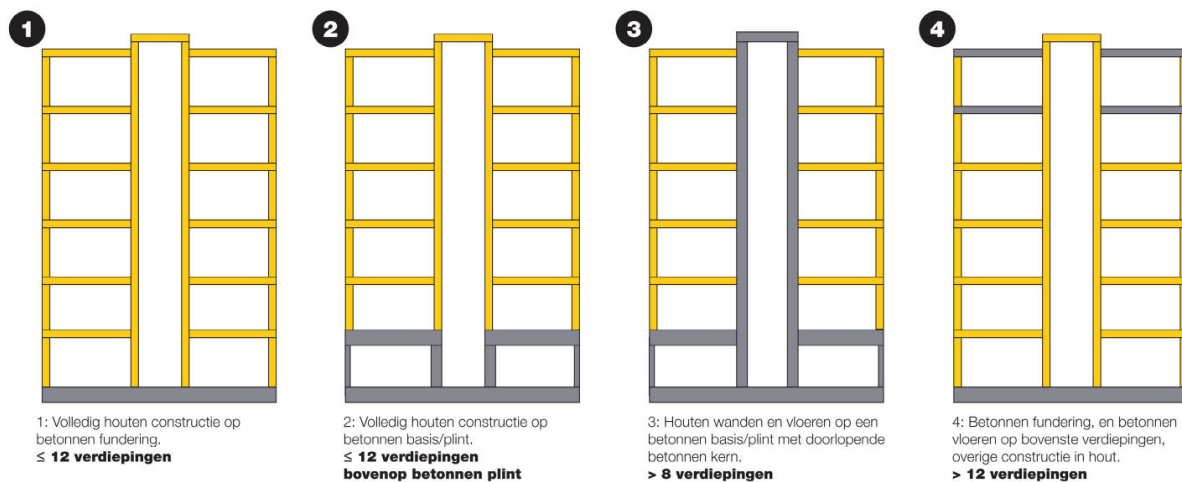
In deze fase is het belangrijk om de focus te leggen bij aan 'Protection-by-Design'. Eenvoudige dakvormen met voldoende helling en oversteek voorbij de onderstaande wand bevorderen bijvoorbeeld waterafvoer en minimaliseren stilstaand vocht. Complexe volumes met diepe insnijdingen, zoals overkragingen of diep verzonken terrassen, platte daken zonder afschot in het paneel zelf, patio's en balkon verhogen het risico op wateraccumulatie.

Los van het daadwerkelijke concept, kan men ook vanaf de schetsontwerp fase al nadenken over de blootstelling tijdens uitvoeringsfase. Een ontwerp dat snelle montage en minimale

tussenstappen mogelijk maakt, draagt bij aan een efficiëntere vochtbescherming. Een rationeel en repetitief constructiesysteem kan de vochtblootstelling sterk verminderen in werffase door routine bij opbouw, zonder teniet te doen aan de architecturale originaliteit of kwaliteit (Laminated Timber Solutions, 2019).

3. Vermijd de toepassing van CLT in de meest negatieve omgevingen

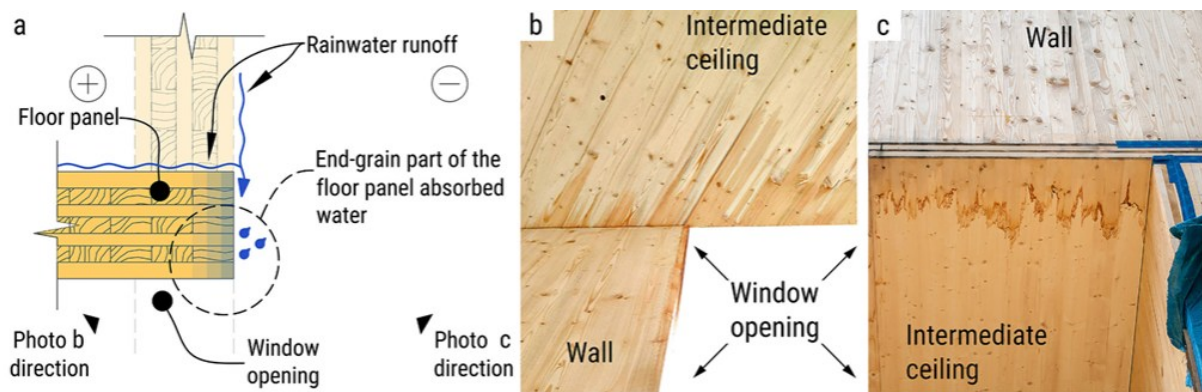
Een CLT-paneel is geen oplossing voor alles. Dat dient het ontwerpteam goed te omvatten doorheen het eerste ontwerp. Zo kan het bijvoorbeeld handig zijn om een sokkel uit ander materiaal, zoals gewapend beton, te voorzien. Dit kan de constructie beschermen tegen mechanische schade, zorgen voor extra structurele stabiliteit en brandveiligheid, maar ook de constructie beschermen tegen opstijgend vocht (INBO, 2021).



Figuur 25 - Schematische weergave van frequent voorkomende constructiemodellen, waarbij de keuze sterk afhangt van het aantal bouwlagen (Waugh Thistleton Architects, 2018).

CLT wordt ook sterk afgeraden in ondergronds gebruik. Dat toonde een laboratorium- en veldonderzoek onder leiding van F. Imamura aan. Hierin werden vochtgehaltes gemeten van keldervloeren en -wanden uitgevoerd in CLT, en gelinkt aan een 'Mould Index model'. Deze indexwaarde, gelegen tussen 1 en 6, mag volgens de Amerikaanse ANSI-standards in het algemeen niet boven de 3 liggen (ASHRAE/ANSI, 2021). Het onderzoek toonde aan dat de kelderwanden waarden tussen 3 en 4,5 behaalden voor een periode van 145 dagen. Dit is meer dan voldoende om onomkeerbare structurele houtrotschade uit te lokken. Dit soort zware vochtbelasting kan niet vermeden worden met welk beschermingsinstrument dan ook, waardoor uit dit onderzoek de conclusie getrokken werd dat CLT voor ondergrond gebruik sterk afgeraden is (Imamura et al., 2024).

Verder in deze scriptie zal uitvoerig de bescherming van aansluitingsdetails beschreven worden. Uiteraard is dit niet een taak binnen de eerste conceptiefase. Het zal echter voordelig blijken voor de vochtgevoeligheid van details om zo weinig mogelijk kopse paneelzijden bloot te stellen aan de omgeving (Fig. 26). Vanuit de anatomie van houtvezels is de longitudinale vezelrichting namelijk de richting waarin hout het snelste vocht zal opnemen. Eens het vocht zich in het paneel bevindt, droogt het echter veel trager uit dan dat het vocht opneemt (Kalbe et al., 2022a; Janssens, 2022a).



Figuur 26 - Vochtproblematiek bij een sterk bevochtigde tussenvloer (a) met bijhorende vlekvorming (b) (Kalbe 2022)

3.1.3.2. CLT in de VO-fase

Overgang naar de voorontwerp-fase

In het schetsontwerp worden verschillende concepten en ruimtelijke scenario's verkend. De stap naar een voorontwerp gebeurt op het moment dat de opdrachtgever en ontwerpteam een fundamentele keuze maken over de globale vorm, inplanting en structuur van het gebouw.

Het voorontwerp start meestal wanneer enerzijds de functionele indeling grotendeels vastligt en er een eerste toetsing is gebeurd op vlak van bouwtechnische, reglementaire (zoals stedenbouwkundige voorschriften, EPB-eisen) en financiële haalbaarheid. Anderzijds schakelt men over naar een nieuwe detailgraad wanneer een formeel akkoord verkregen is van de opdrachtgever. Dit is een soort go/no-go moment, dat meestal in de vorm van een beslissingsvergadering wordt genomen (Buildwise, 2023).

Evolutie van concept naar project

Waar het schetsontwerp zich focust op de volumetrie, circulatie en algemene concepten, wordt in het voorontwerp de detaillering verhoogd. De voorontwerpfase wordt gekenmerkt door vele iteratieve herzieningen en neemt meestal een aanzienlijke periode in beslag.

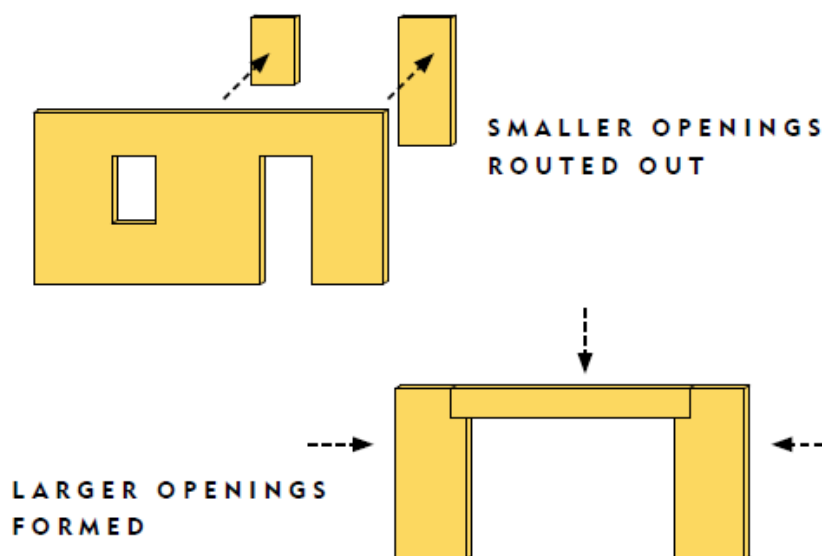
1. Vastpinnen van het bouwsysteem

Allereerst wordt het bouwsysteem vastgezet. Dit is een fundamentele keuze die het project in een eerste definitieve plooi legt. In het geval van CLT-bouw wordt de keuze gemaakt tussen een zuivere CLT-constructie, waarbij louter panelen worden gebruikt en zo een soort houten cellen vormen, of een hybride bouw. Een hybride structuur kan breed geïnterpreteerd worden. Zo kan dit nog steeds volledig uit hout bestaan en is dit een combinatie van verschillende houtproducten zoals glulam en houtskelet. Verder is er ook een optie om CLT-panelen te gaan combineren met beton- of staalbouw. Hier worden de juiste materialen als op de juiste plaatsen toegepast. De keuze van bouwsysteem is van diverse factoren afhankelijk, waarvan de omvang en het programma van het project vaak de meest doorslaggevende lijkt (Waugh Thistleton Architects, 2018).

2. Betrekken van de houtleverancier

Eens het gebouwsysteem uit de SO-fase gevalideerd en gefixeerd is, wordt idealiter de keuze gemaakt voor een leverancier van de CLT-panelen. De grootste leveranciers van CLT, die men tevens ook in de Belgische bouwpraktijk frequent benut (bijvoorbeeld Stora Enso of Binderholz), hebben namelijk ook in-house ingenieurs en adviseurs. Soms wordt de houtleverancier ook al vroeg in het ontwerpproces vastgezet, zodanig dat deze de pet op kan zetten van onderaannemer. Hij ondersteunt, met zijn expertise en ervaring, de hoofdaannemer en zorgt voor een sterke kennisinbreng (Karacabeyli en Lum 2022, INBO 2021).

CLT-leveranciers worden soms betrokken bij kostenoptimalisatie en leveren doorgaans twee offertes: één op basis van het ontvangen ontwerp en één op een geoptimaliseerd ontwerp. Fabrikanten uit de Alpenregio of Oost-Europa, met ruime ervaring in CLT-productie, streven naar een 'Optimal Panel Configuration' met zo weinig mogelijk (verschillende) panelen en houtgebruik (Fig. 27). Aangezien de verwerkingstijd voor een groot paneel niet significant langer is dan een klein paneel, wordt door montage van grotere panelen het bouwproces versneld, met minder voegen en dus een lager vochtblootstellingsrisico. Het ontwerpteam heeft er dus alle belang het prefabricatieproces vanaf het begin te optimaliseren (Karacabeyli en Lum 2022; Alsmarker en Arkemi 2024).



Figuur 27 - Optimal Panel Configuration voor verschillende soorten wanden (Waugh Thistleton Architects 2018)

3. Betrekken van complementaire bouwpartners

Naarmate het ontwerp verder wordt uitgewerkt, neemt de nood aan technische expertise toe. In deze fase worden, naast de houtleverancier, vaak ook complementaire bouwpartners zoals stabiliteits- en techniekeningenieurs, aannemers en gespecialiseerde leveranciers stelselmatig betrokken. Hun inbreng draagt bij aan de structurele optimalisatie, de bouwmethodiek en de integratie van technische installaties. In vergelijking met conventionele bouwprocessen gebeurt deze vroegtijdige betrokkenheid best aanzienlijk sneller.

Tijdens de voorontwerpfase worden doorgaans diverse technische studies uitgevoerd, waaronder gevelanalyses, brandveiligheidsonderzoeken, akoestische studies (met name bij gestapelde woonprojecten) en stabiliteitsberekeningen. Naarmate het ontwerp verder vorm krijgt, breidt het ontwerpteam zich uit en wordt steeds meer kwalitatieve en kwantitatieve

projectdata verzameld. Een heldere, gestroomlijnde communicatiestructuur is in deze fase essentieel om de coherentie binnen het geïntegreerde ontwerpproces te waarborgen (Gustafsson, 2019).

4. Ontwikkelen van de gebouwschil

De voornaamste stap die dient gezet te worden in het voorontwerp ligt in de ontwikkeling van de gebouwschil. Een weloverwogen ontwerp van de gebouwschil vereist dat rekening wordt gehouden met alle omgevings- en structurele lasten die gedurende de verwachte levensduur op de gebouwschil worden uitgeoefend. Voorbeelden hiervan zijn windbelasting, temperatuurschokken, geluidsbelasting, maar ook vocht vanuit diverse bronnen. Voor CLT-constructies is deze laatste een doorslaggevende parameter waarvoor de gebouwschil resistent dient te zijn (RDH Building Science, 2021a).

Doorheen de voorontwerpfase worden de verschillende opbouwen gedimensioneerd en getest met de nodige simulaties en berekeningen. In deze fase dient nog niet ieder aansluitingsdetail uitgewerkt te zijn. Er zijn enkele cruciale bouwknopen die, zeker in het kader van vochthuishouding, nauwgezet ontworpen moeten worden tegen hogere vochtbelasting. Deze zijn cruciaal om in deze fase al te concipiëren. In het licht van CLT-constructies is een correct gedimensioneerde gebouwschil een ademende dampopen opbouw, waarin het aantal bouwnaden en horizontale vlakken tot een minimum is herleid. In deel 3.2. en 3.3. wordt uitgebreid beschreven hoe men voor deze externe last een adequate gebouwschil ontwerpt.

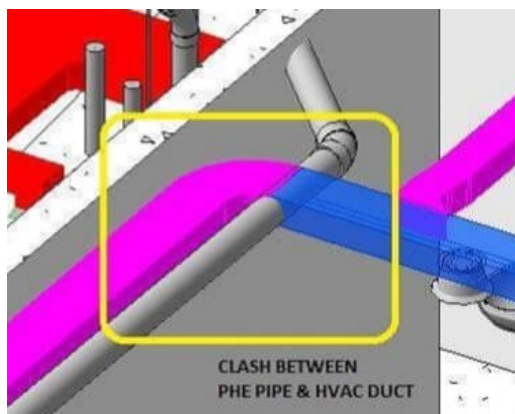


Een correct gedimensioneerde gebouwschil voor CLT-constructies is ademend en dampopen, waarin het aantal bouwnaden en horizontale vlakken tot een minimum is herleid.

Informatie-wisseling tijdens het voorontwerp

Naarmate het voorontwerp vordert en de hoeveelheid projectdata toeneemt, versterkt de interactie van de verschillende bouwpartners. Om te vermijden dat actoren hun ontwerpbeslissingen baseren op verouderde informatie – een van de voornaamste oorzaken van bouw- en ontwerpfouten in traditionele bouwprocessen – dienen dergelijke informatiesilo's vermeden te worden. In tegenstelling tot de schetsontwerpfase, waar een geïntegreerd ontwerpproces en een gedeelde BIM-omgeving nog van ondergeschikt belang zijn, wordt deze aanpak in een voorontwerpfase met CLT vrijwel onmisbaar. Een gestructureerd BIM-model fungeert als een *'Single Source of Truth'*, waarbij niet alleen eenduidige communicatie wordt gewaarborgd, maar ook een systematische opmerkingenstructuur wordt geïmplementeerd. Dit voorkomt dat de toenemende informatiedoorstroming resulteert in een chaotisch en inefficiënt proces (Present, 2022; Azhar, 2011).

Daarnaast biedt deze vorm van digitale samenwerking aanzienlijke meerwaarde op verschillende niveaus. Enerzijds maakt een gedeelde BIM-omgeving vroegtijdige clash-detectie mogelijk. De integratie van technische informatie uit diverse disciplines binnen hetzelfde model laat toe om potentiële conflicten tussen ontwerpcomponenten tijdig te signaleren en op te lossen. Een voorbeeld hiervan is geïllustreerd op figuur 28.



Figuur 28 - Clash Detectie in een BIM-model
(Present, 2022)

Anderzijds werken ontwerppartners rechtstreeks voort op de meest actuele en gevalideerde ontwerparbeid van andere disciplines, wat een substantiële versnelling van het proces en een verhoogde detailgraad oplevert. Dit is van bijzonder belang binnen een CLT-project, waar prefabricatie net die verhoogde mate van precisie vereist is in een vroeg stadium van het ontwerpproces. Hoe sneller een dergelijke geïntegreerde werkomgeving wordt opgezet, hoe sneller het ontwerpproces kan profiteren van de efficiëntiewinst die hiermee gepaard gaat (Eastman 2012; Karacabeyli en Lum 2022).

Het vochtbeheersplan binnen de VO-fase.

Hoewel een VBP gericht is op de bescherming in uitvoeringsfase, begint een robuust vochtbeheer reeds in de ontwerpfase. Een significant deel van het VBP is conceptueel van aard en dient idealiter al in de voorontwerpfase te worden uitgewerkt. Dit omvat zowel strategische basiskeuzes met betrekking tot bouwdetails als de correcte opbouw van de gebouwschil.

Om het bevochtigingsrisico van een aansluitingsdetail te begroten, is in deel 3.3 een risico-analysetool beschreven. Deze tool hanteert een beoordelingssysteem waarbij gequoteerd wordt binnen vier grotere domeinen. Bovendien faciliteert deze tool iteratieve optimalisaties doorheen het volledige ontwerp- en bouwproces. Door reeds in deze vroege ontwerpfase de meest kritieke details te analyseren, ontwikkelt men een initiële beschermingsstrategie die, in het kader van het VBP, herzien en verfijnd kan worden kort voor en tijdens de uitvoeringsfase.

Naast de bouwdetails, vormt het correct concipiëren van een vochtresistente gebouwschil een essentiële pijler binnen het VBP in de VO-fase. Zoals verder uitgewerkt in deel 3.2, zal een dampopen opbouw hierbij cruciaal blijken. Dit laat toe dat een bevochtigd CLT-paneel, zelfs na afwerking, voldoende droogpotentieel behoudt, waardoor de risico's op langdurige vochtaccumulatie en uiteindelijke structurele degradatie beperkt worden.

3.1.3.3. CLT in de DO-fase

Uitvoeringstechnische verfijning

De overgang van de VO-fase naar de definitieve ontwerpfase wordt gekarakteriseerd door een intensivering van de detaillering en het vastleggen van ontwerpbeslissingen die richting geven aan de uitvoeringsfase. Hoewel het moeilijk is om dit kantelpunt exact te definiëren, is het essentieel, aangezien het ontwerp vanaf dit moment niet langer louter conceptueel blijft, maar concreet en technisch uitvoerbaar wordt. Aan het einde van de definitieve ontwerpfase dient men in staat te zijn om, op basis van de verzamelde gegevens, een volledige aanbestedingsdossier in te dienen. Deze documenten zijn sterk afhankelijk van het specifieke project, waardoor de definitieve ontwerpfase altijd projectgebonden is. Een gedetailleerde beschrijving van deze fase valt daarom buiten het bestek van deze scriptie. Er kunnen echter enkele algemene uitvoeringstechnische stappen worden onderscheiden die in elk

houtmassiefbouwproject terugkomen. Hieronder worden de drie belangrijkste kort toegelicht, zonder dat zij de volledige definitieve ontwerpfase omvatten.

1. Verdere validatie van ontwerpkeuzes bij de bouwpartners

Hoewel de meeste architecturale beslissingen reeds genomen zijn in de voorontwerpfase, zijn er toch steeds aspecten die, eerder laattijdig afgetoetst dienen te worden tussen de opdrachtgever en het ontwerpteam. Dit kunnen zaken zijn zoals esthetische keuzes, afwerkingslagen, inrichting van de buitenruimte, inbouwconstructies. Eigen aan het CLT proces, zullen de grootste beslissingen zoals ruimtelijke indeling, installatietechnische aspecten en schrijnwerk al eerder gevallen zijn.

2. Integratie van technische studies

Vanaf het voorontwerp worden bijzonder veel technische studies uitgevoerd. Stabiliteitsstudies, akoestische en brandtechnische analyses en bouwfysische simulaties worden afgerond en nauwgezet geïntegreerd in het ontwerp.

3. Afstemmen van leverancier en aannemer

In de definitieve ontwerpfase is het voordelig om de houtleverancier voor de CLT-constructie nauw af te stemmen met de aannemer om ervoor te zorgen dat het ontwerp technisch uitvoerbaar is en voldoet aan de vereisten voor zowel de constructie als de afwerking. Dit houdt in dat specifieke details van de CLT-panelen, zoals afmetingen, verbindingen, en afwerkingsmogelijkheden, moeten worden afgestemd op de beschikbare productiemethoden van de leverancier. Tegelijkertijd moet de aannemer op de hoogte zijn van de logistiek, leveringstermijnen, en montagevereisten om een vlotte planning te garanderen. Deze afstemming zorgt ervoor dat het ontwerp zowel technisch haalbaar als kostenefficiënt is, waarbij eventuele risico's of knelpunten vroegtijdig geïdentificeerd en nog opgelost kunnen worden voor aanvang van de werken (FPIInnovations 2019; INBO 2021).

Het vochtbeheersplan binnen de DO-fase.

In deze ontwerpfase evolueert ook het vochtbeheersplan mee richting de uitvoeringsfase. Dit betekent dat het ontwerppluk rond vochthuishouding correct dient te zijn, alvorens een strategie op te bouwen richting uitvoeringsfase.

Concreet wijst dit op een complete uitwerking met een hoge detailgraad rondom de globale gebouwschil, zijn opbouwen en aansluitingsdetails. Er dient voor ieder van deze details een adequaat besluit gevormd te worden hoe men zal gaan beschermen tegen vochtbelasting, en wat te doen als het fout loopt. Dit slaat met andere woorden op de passieve en actieve beschermingsmaatregelen van de CLT-panelen. Hiervoor kan de tool, die in deel 3.3. beschreven is – en reeds in de voorontwerpfase gebruikt werd voor een risico-analyse van detailleringen – gehanteerd worden om iteratieve manier datzelfde risico te gaan beoordelen. Afhankelijk van later genomen ontwerpbeslissingen kunnen de details hiervoor een hoger of lager vochtblootstellingsrisico hebben, wat dan weer op zijn beurt andere passieve preventiemaatregelen zal voorschrijven.

Naast de ontwerptechnische beslissingen binnen het vochtbeheersplan, dient in deze periode ook al gedacht te worden op de uitvoeringstechnische aspecten van het VBP. Deze worden

beschreven in deel 4 en 5. Voor een vlot bouwproces, streeft men idealiter naar een zo breed mogelijk uitgewerkt vochtbeheersplan voor aanvang van werken.

3.1.4. Conclusies voor een Best-Practice ontwerpproces.

CLT als hoogwaardig EWP, draagt vanuit zijn geprefabriceerde aard heel wat welgekende voordelen met zich mee. Om deze voordelen echter tot hun maximale potentie te benutten, is een geoptimaliseerd ontwerpproces nodig. Binnen dit proces is een verschuiving van het tijdspad en van de ontwerparbeid naar een vroeger stadium noodzakelijk en onvermijdbaar.

Vandaag strookt dit niet met de doorsnee lineaire ontwerpaanpak binnen de Belgische bouw- en ontwerppraktijk. De strikt sequentiële fasering laat de inbreng van technische expertise onderbenut, en brengt vooral een enorme werklast op de schouders van het ontwerpteam dat tevens meestal bestaat uit het architectenbureau en eventuele adviseurs en ingenieurs.

Wereldwijd is het ontwerpproces met CLT-panelen een andere weg ingeslaan. Een weg waar ook België mee experimenteert, maar die in andere regio's verder ontwikkeld is. Vanuit de literatuur blijkt een geïntegreerde ontwerppraktijk een eerste sleutel tot een succesvolle CLT-bouw. In vele landen, waaronder ook Nederland, is het bouwteam sterker ingeburgerd. Hierin werken architecten, ingenieurs, aannemers, leveranciers en producenten vanaf de vroege ontwerpfase nauw samen om zo ontwerplast af te nemen en het kennisgebrek van de architect op te vullen. Deze geïntegreerde werkwijze laat toe om reeds in de conceptuele fase cruciale ontwerpbeslissingen af te stemmen op de technische en logistieke randvoorwaarden van prefabricatie en de uitvoeringsfase. Dit komt de inherente DfMA-filosofie bij CLT-panelen sterk ten goede. Het huidige wetmatige kader rond het bouwteam zorgt momenteel in België voor heel wat onduidelijkheid en juridische twistgevallen. Co-contracten voor bepaalde diensten, en de toekomstige herziening van de architectenwet uit 1939 kunnen dit struikelblok verkleinen.

Binnen dit soort geïntegreerd ontwerp- en uitvoeringsproces is de informatiewisseling tussen de verschillende bouwactoren cruciaal. BIM is hierin het vooruitgeschoven instrument. Dit is meer dan een zuiver 3D-projectmodel waaraan verschillende spelers binnen het ontwerpteam bouwen. Wanneer men deze digitale ontwerpmethode laat rollen in een breed geïntegreerd ontwerpteam, kan er zich een kennissymbiose voordoen binnen het proces, wat de algemene en uiteindelijke kwaliteit en efficiëntie van het ontwerp sterk kan bevorderen.

Dit hoofdstuk beschreef vervolgens expliciet de verschillende ontwerpfasen en reikte enkele handvaten aan. Deze fase-specifieke opdeling illustreerde hoe, door middel van vuistregels en ontwerpgerichte concepten, het overweldigende gevoel van een prefabricatie-ontwerppraktijk kan ingeperkt worden. Tevens wordt ook per fase de link gelegd naar het vochtbeheersplan. De ontwikkeling hiervan is dé cruciale mindset-switch die een veilige en robuuste CLT-bouw in België kan faciliteren.

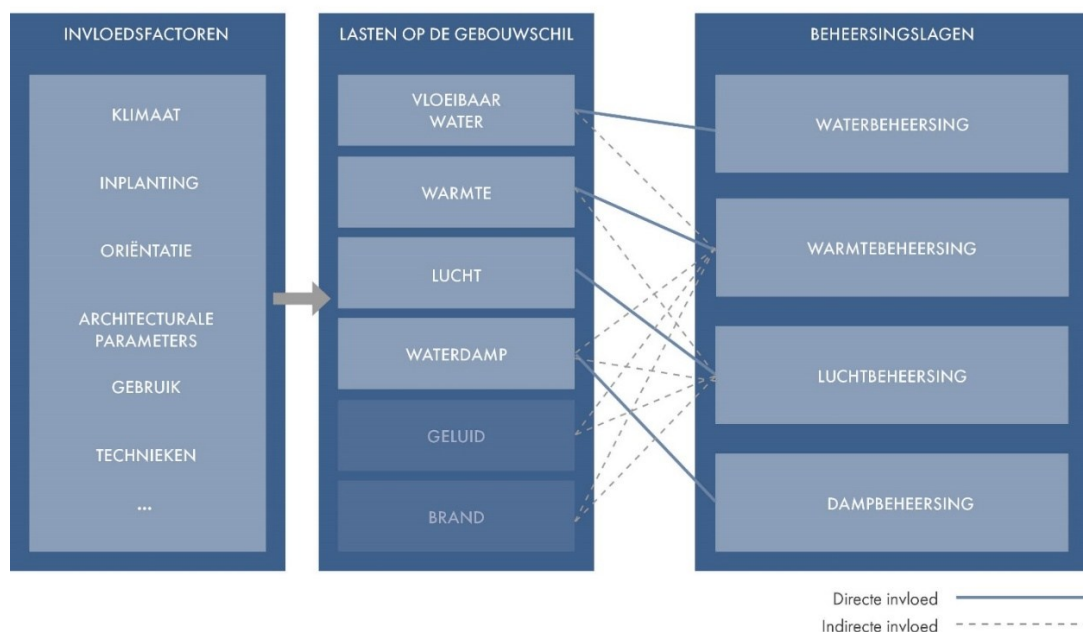
Volgende hoofdstukken binnen het Best-Practice ontwerp met CLT-constructies (deel 3) gaan net in op dit ontwerpmatige luik van het vochtbeheersplan. Er worden concepten toegereikt op vlak van de gebouwschil en bouwdetails waarop men een antwoord dient te formuleren in het projectsafhankelijk VBP, waaruit de uitvoeringstechnische opvolging zal volgen.

3.2. Vochthuishouding in de gebouwschil

De gebouwschil vormt de fysieke scheiding tussen geklimatiseerde en ongeklimateerde ruimten. Deze schil bestaat uit een samenstelling van materialen, componenten en constructies die de overdracht van warmte, lucht en vocht reguleren maar ook verdere functies vervullen, zoals brand- en geluidsisolatie.

Een doordacht ontwerp van de gebouwschil vereist een grondige afweging van alle omgevings- en structurele lasten gedurende de verwachte levensduur. De buitenschil wordt beïnvloed door het klimaat en de specifieke omgevingscondities op de locatie, terwijl de binnenomgeving varieert afhankelijk van het gebruik van het gebouw en het gedrag van de gebruikers. Daarom dient de ontwerper rekening te houden met het (micro)klimaat, de sitecondities en het gebruik van het gebouw bij het beoordelen van de belastingen op de gebouwschil. Vloeibaar water – voornamelijk regenwater of de afstroom ervan – vormt doorgaans de meest kritische belasting bij CLT constructies (Olsson, 2021). Andere belastingen - zoals lucht en warmtetransport - worden veroorzaakt door de verschillen tussen de binnen- en buitenomstandigheden.

Dit hoofdstuk beschrijft op een stapsgewijze manier hoe men tot een Best-Practice gebouwschil komt. Figuur 29 illustreert de gehanteerde methodiek van dit hoofdstuk, in lijn met een gekende publicatie van RDH Building Science. Een eerste luik identificeert kort de verschillende invloeden op de gebouwschil. Deze vertalen zich als wederkerende lasten op het gebouw en de CLT-panelen. Een tweede luik beschrijft wat deze lasten karakteriseert. Door middel van correct geconcipeerde beheersingslagen kan men hiertoe weerstand bieden. Dit wordt beschreven in een derde luik van dit hoofdstuk. Ter illustratie van deze methodiek worden ook de meest frequente opbouwen in een CLT-gebouwschil uitgebreid beschreven: wandopbouwen, hellende daken, tussenvloeren en platte daken (RDH Building Science, 2021a).



Figuur 29 - Gehanteerde methodiek voor het beschrijven van de beheersingslagen op gebouwschil. Deze lagen zijn eerst en vooral bedoeld om weerstand te bieden aan een bepaalde omgevingslast. Vele gebouwlasten zijn echter verbonden met elkaar waardoor sommige beheersingslagen indirecte gevolgen hebben op andere domeinlasten op de gebouwschil (RDH Building Science, 2021a).

3.2.1. Invloeden op de gebouwschil

Klimaat- en weersinvloeden

Klimatologische omstandigheden vormen een cruciale parameter bij het ontwerp en de detaillering van de gebouwschil, met name binnen de Belgische context. België bevindt zich binnen een gematigd zeeklimaat, geclassificeerd als Cfb binnen het klimaatsysteem van Köppen (Brimblecombe & Richards, 2023):

- **C:** Warm gematigd klimaat
- **f:** Neerslag gedurende alle seizoenen, geen droog seizoen
- **b:** De gemiddelde temperatuur van de warmste maand blijft onder 22°C, met minstens vier maanden boven de 10°C

Dit klimaat vertoont sterke gelijkenissen met dat van landen als Denemarken, Ierland en het Verenigd Koninkrijk. Buiten Europa zijn de westkust van Canada, delen van de Verenigde Staten (vb. oostkust) en Zuidoost-Australië de meest vergelijkbare regio's (Geodiode, 2025; Rubel & Kottek, 2010).

De Belgische klimatologische randvoorwaarden hebben een significante invloed op de gebouwschil, zowel in termen van performantie tijdens levensduur als bouwphase. Hoewel intense buien kunnen voorkomen, wordt de totale neerslag gekenmerkt door een hoge frequentie van gematigde regenval. Dit leidt tot een langdurige blootstelling aan vochtbelasting, met een verhoogd risico op vochtaccumulatie in de bouwstructuur (Peel et al., 2007).

Daarnaast is de invloed van windgestuurde regen (*Wind-Driven Rain, WDR*) een doorslaggevende factor. De overheersende zuidwestenwind in combinatie met frequente regenval resulteert in een hoge vochtblootstelling van specifieke geveldelen. Door WDR dringt neerslag dieper door in de gebouwschil, wat een verhoogde noodzaak stelt aan meerdere performante waterkerende defensielagen en drainagemogelijkheden (Koninklijk Meteorologisch Instituut, 2024; Blocken en Carmeliet, 2004).

Ten slotte speelt de seizoensvariabiliteit een rol in de bouwpraktijk. In sommige klimaatzones kan men door seizoensgebonden droogte het bouwproces optimaliseren, bijvoorbeeld door de ruwbouwphase te plannen in de drogere maanden. Gezien de continue neerslagfrequentie in België is deze strategie minder betrouwbaar. Dit onderstreept de noodzaak van een bouwmethodiek die een maximaal drogingspotentieel faciliteert en niet louter vertrouwt op klimatologische gunstigheid (Shane Colin 2024; Koninklijk Meteorologisch Instituut, 2024).

Oriëntatie en inplanting

De oriëntatie van een gebouw beïnvloedt rechtstreeks de belasting op de gebouwschil. Bepaalde geveldelen ondervinden een grotere of kleinere blootstelling aan externe klimatologische krachten. Zo is een zuid gerichte gevel het sterkst blootgesteld aan Uv-straling, wat kan leiden tot snellere materiaaldegradatie, en in het geval van blootgesteld CLT in bouwphase een snelle onomkeerbare verkleuring. Anderzijds biedt deze oriëntatie echter een hoger drogingspotentieel na bevochtiging.

De overheersende westenwind in België, in combinatie met de hoge frequentie aan WDR, resulteert in een verhoogde vochtbelasting op west- en zuidwestgerichte gevels. Dit vraagt om een correcte bescherming van gevoelige gevelelementen door middel van aangepaste

waterkerende lagen en voldoende overkragingen (Blommaert et al., 2025; Michiels & Debie, 2024).

Naast oriëntatie speelt de inplanting binnen de stedelijke of landschappelijke context een rol. Nabijgelegen bebouwing beïnvloedt winddruk, beschutting en schaduwwerking, wat invloed heeft op vochttransport en luchtcirculatie langs de gebouwschil. Daarentegen kan vegetatie nabij een gebouw, zeker in combinatie met vochtige bouwmaterialen, microbiologische aantasting van geveldelen bevorderen. Op topografisch niveau vormt ook de helling van het terrein een bijkomende factor en kan opstijgend vocht een potentieel risico vormen voor de gebouwschil (Gagnon & Karacabeyli, 2019).

Architecturale parameters

Architecturale en volumetrische ontwerpbeslissingen hebben een rechtstreekse impact op de belastingen die de gebouwschil ondervindt. Gevelopeningen reguleren daglichttoetreding en daarmee ook thermische winsten/verliezen. Tevens is ook de compactheid van het gebouw de energetische efficiëntie doorslaggevend.

Bovendien beïnvloeden elementen zoals dakvormen, in- en uitsprongen, balkons en overkragingen de vocht- en thermische prestaties van de gebouwschil. Overstekken kunnen de gevel beschermen tegen WDR, maar tegelijkertijd het drogingspotentieel van onderliggende CLT-panelen verminderen. Dergelijke ontwerpelementen dienen steeds in samenhang te worden beschouwd, waarbij een afweging wordt gemaakt tussen afscherming en bezonning (Karacabeyli & Lum, 2022).

Gebruik van het gebouw

De functionele bestemming van een gebouw heeft een significante invloed op de technische vereisten van de gebouwschil. Verschillende programma's stellen uiteenlopende eisen aan thermische, akoestische en brandwerende prestaties.

Bijvoorbeeld:

- Verblijfsgebouwen vereisen doorgaans een hoge thermische isolatie en luchtdichtheid.
- Industriële gebouwen hebben soms een hoge interne warmteproductie, wat een ander isolatie- en ventilatiebeleid vergt.
- Vochtige programma's (zoals zwembaden of wellnesscentra) vergen een dampdichte binnenafwerking om condensatie in de gebouwschil te vermijden.

De interne vochtproductie en het bijhorende binnenklimaat kunnen dus mede bepalen of een hygrische buffer nodig is binnen de gebouwschil (Van de Kuilen et al., 2024).

Technische installaties

Verder heeft ook de keuze en integratie van technische installaties een directe invloed op de detaillering van de gebouwschil. De keuze voor ventilatie- en verwarmingsstrategieën heeft dus een stevige impact op de noodzakelijke luchtdichtheidsniveaus, isolatiediktes en vochtregulerende lagen binnen de gebouwschil (Siga Swiss, 2020b). Bovendien zal ook de integratie van sanitaire leidingen al dan niet een hoger risico vormen op vochtintrusie bij CLT-

panelen. Roosters, leidingen en installatiedoorvoeren vormen tevens potentiële zwakke punten voor luchtlekken en vochtintrusie, wat aangepaste detaillering vereist.

3.2.2. Lasten op de gebouwschil

Men kan concluderen dat het ontwerp van de gebouwschil wordt beïnvloed door een complex samenspel van klimatologische, architecturale en technische parameters. Bij CLT-constructies is een bijzondere aandacht vereist voor vochtaccumulatie, gezien de hygrische eigenschappen van hout. Een holistische benadering, waarbij alle bovenstaande invloedsfactoren in samenhang worden geanalyseerd, is essentieel om een duurzame en gebouwschil te realiseren. Volgend deelhoofdstuk legt de nadruk om deze invloeden op de gebouwschil te karakteriseren in een aantal wederkerende gebouwlasten samen met hun invloed op een CLT-paneel: water en waterdamp, luchtstroming en warmtestroming.

3.2.2.1. Water als gebouwlast

Vochtbronnen

In België is neerslag ongetwijfeld de meest voorkomende bron van water. Dit omvat alle vormen zoals regen, hagel en sneeuw. Daarnaast kan ook mist bijdragen aan de vochtbelasting van de gebouwschil, aangezien deze bestaat uit fijne waterpartikels die zich in de buitenlucht bevinden (Koninklijk Meteorologisch Instituut, 2024).

Een andere potentiële bron van vocht binnen de gebouwschil is waterdamp in de omgevingslucht. Wanneer waterdamp in contact komt met een oppervlak waarvan de temperatuur lager is dan het dauwpunt, treedt condensatie op. Dit kan zich aan de binnenzijde van het gebouw manifesteren – bijvoorbeeld op koudebruggen of raamoppervlakken – maar zal zich meestal aan de koude zijde van het isolatiepakket voordoen (Janssens, 2022a).

Naast atmosferische neerslag en waterdamp kunnen tijdens de uitvoeringsfase bijkomende vochtbronnen optreden. In CLT-constructies worden soms ‘natte’ bouwmethoden toegepast. Voorbeelden hiervan zijn dekvloeren, hybride CLT-betonvloeren (TCC) of betonnen kolommen. Deze vereisen water voor de hydratatiereactie. Hun bouwvocht vormt een significante risicofactor tijdens de uitvoeringsfase en vereist een doordachte strategie rond uitdroging om schade te voorkomen indien toegepast (Karacabeyli & Lum, 2022).

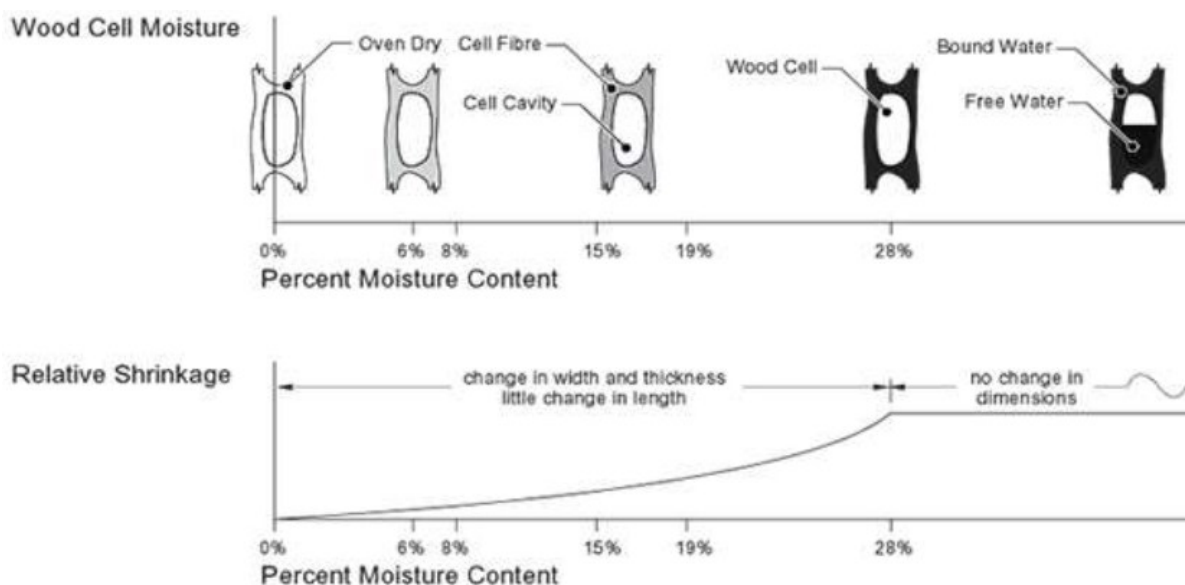
Ook in de operationele fase kunnen diverse vochtbronnen een impact hebben. Enerzijds genereren de gebruikers van een gebouw waterdamp. In houtmassiefbouw is een doeltreffende vochtregulatie via HVAC-installaties dan ook van cruciaal belang. Anderzijds blijft er steeds een risico bestaan op vochtintrusie door lekkages in technische installaties. Zo kunnen defecten in afvoerleidingen of condensatie binnen verwarmingsinstallaties leiden tot vochtaccumulatie. Daarnaast vormen ook brandbeveiligingssystemen een potentieel risico: sprinklerinstallaties kunnen, zowel bij correcte als valse activering, aanzienlijke waterschade veroorzaken (Karacabeyli & Lum, 2022).

Hoewel neerslag binnen het Belgische klimaat de meest significante vochtbron is, blijkt uit onderzoek dat niet de totale neerslaghoeveelheid, maar wel de neerslagfrequentie bepalend is voor de vochtblootstelling van CLT-structuren. Cruciaal hierbij is de verhouding tussen bevochtigings- en droogfasen: hoe lang wordt de structuur blootgesteld aan vocht en op

welke momenten kan ze effectief drogen? De spreiding van neerslag heeft een directe invloed op het droogpotentieel. Zo kan een regenbui, gevolgd door lage temperaturen en/of een hoge relatieve luchtvochtigheid, de droogcapaciteit sterk beperken. Dit scenario is nadeliger dan een zomerse stortbui, waarbij hoge temperaturen en voldoende circulatie van droge lucht doorgaans sneller voor natuurlijke uitdroging zorgen (Shane Colin, 2024; Lima e.a., 2024; Olsson, 2020).

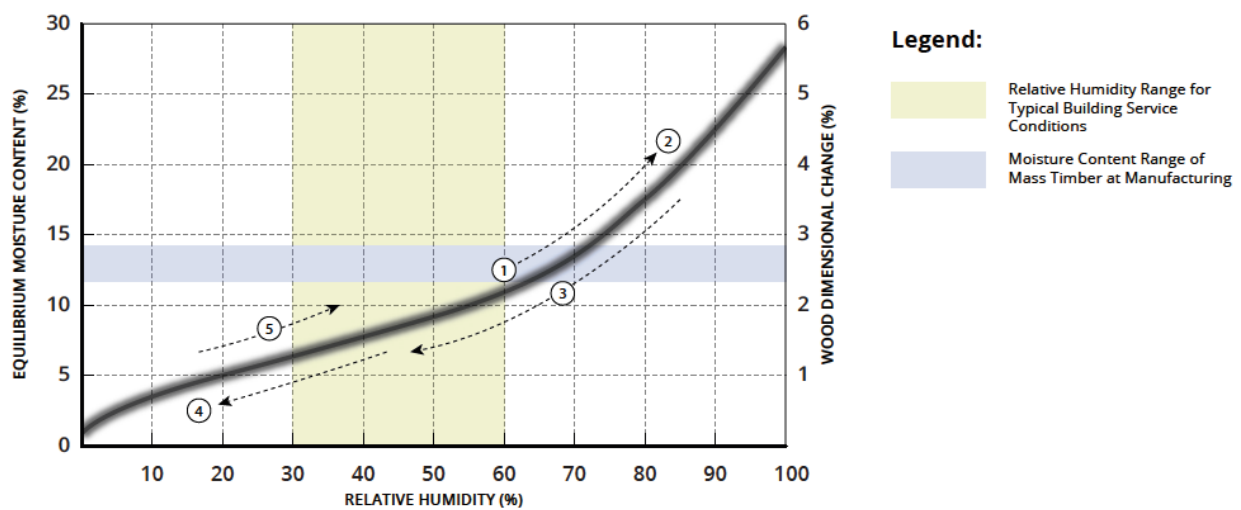
Hygrisch gedrag van hout en CLT

Veel fysische en mechanische eigenschappen van hout variëren met het vochtgehalte (Stamm 1964; Siau 1984; Skaar 1988). Het vochtgehalte (*Moisture Content* - MC) is de verhouding tussen de massa van het water in hout en de massa van het ovendroge hout, uitgedrukt als percentage. Bij levende zacht houtbomen varieert het vochtgehalte van 30% tot meer dan 200%, afhankelijk van de soort, het groeiseizoen en de specifieke locatie in de boomstam (spinhout of kernhout). Van zodra een boom wordt geveld, zullen houtvezels vocht beginnen verliezen. Op het theoretische punt waarop al het vloeibare water in de cellen ('vrij water') verdwenen is, maar de celwanden volledig verzadigd zijn met vocht geadsorbeerd aan de hygroscopische delen van de celwand ('gebonden water'), wordt het vezelverzadigingspunt (Fibre Saturation Point - FSP) genoemd. Dit punt is gemiddeld ongeveer 28-30% op een ovendroge basis, variërend met verschillende percentages afhankelijk van de houtsoort en andere factoren. Het vezelverzadigingspunt wordt beschouwd als het kritieke vochtgehalte in vele relaties met fysische of mechanische eigenschappen, zoals krimp en swelling, thermische en elektrische eigenschappen en sterkte. Het is echter belangrijk te onthouden dat deze eigenschappen vooral significant veranderen met het vochtgehalte onder het vezelverzadigingspunt. Dit zijn ook de vochtgehalten die zich het meest zullen voordoen tijdens de werffase en levensduur van houten gebouwen (Douglas & Karacabeyli, 2013; US Department of Agriculture, 2010).



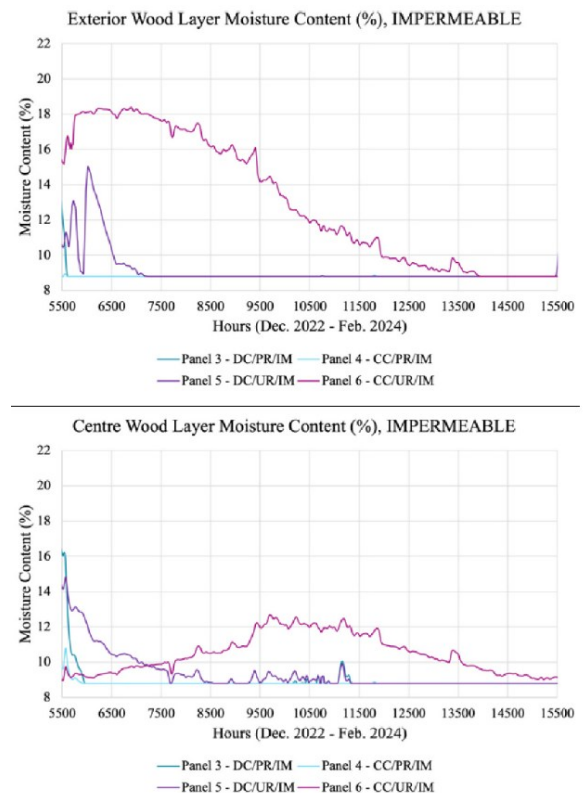
Figuur 30 - Krimp en zwelgedrag vanuit cellulair perspectief. Hierin is het vezelverzadigingspunt - in deze figuur op 28% - het doorslaggevend vochtgehalte waarboven zich geen dimensionele veranderingen meer voordoen. (Shane C. 2024)

Door de omgang van hout met vocht, en specifiek waterdamp, wordt hout ook een hygroscopisch materiaal genoemd. Het heeft een inherent vermogen om vocht aan te trekken en op te slaan. De hoeveelheid vocht die toe- of afneemt hangt grotendeels af van de relatieve vochtigheid, maar ook van de temperatuur van de buitenlucht en de drooggeschiedenis van het hout (hout kan enigszins hydrofoob gemaakt worden door intensief drogen of een opzettelijke thermische behandeling). Wanneer het hout geen vocht meer opneemt of verliest in een bepaalde omgeving, bereikt het een evenwichtsvochtgehalte (EMC) onder een specifieke set omgevingscondities. Figuur 31 illustreert bijvoorbeeld hoe bij een temperatuur van 21°C het gemiddelde evenwichtsvochtgehalte ongeveer 12% is bij een relatieve vochtigheid van 65% (punt 1); het daalt tot 6% bij een relatieve vochtigheid van 30% en stijgt tot 22.5% bij een relatieve vochtigheid van 90%. Waterdampabsorptie uit de lucht kan het vochtgehalte meestal niet boven het vezelverzadigingspunt brengen. Hogere vochtgehaltes kunnen alleen ontstaan door condensatie of blootstelling aan andere bronnen van vloeibaar water (Douglas & Karacabeyli, 2013).



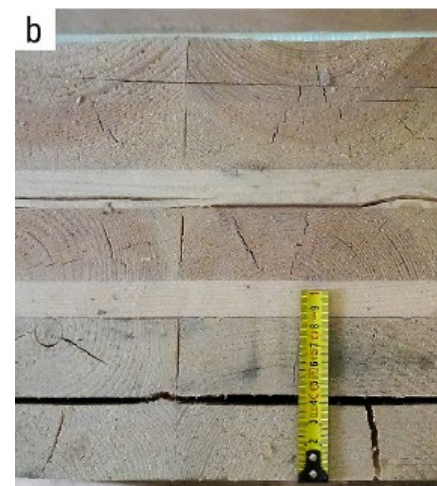
Figuur 31 - Algemene sorptie-grafiek voor hout op 21°C. Het vochtgehalte en de daaruit voortvloeiende dimensionale veranderingen van massiefhout gedurende de bouw- en gebruiksfase kunnen als volgt worden beschreven: 1) CLT tijdens productie en levering op de bouwplaats. 2) Bevochtiging en uitzetting van het massiefhout tijdens de bouwfase. 3) Drogen en krimp van massiefhout tot het een typisch vochtgehalte bereikt in gebruiksomstandigheden van het gebouw. 4) Verdere mogelijkheid tot uitdroging en krimp van massiefhout bij blootstelling aan een lagere relatieve luchtvochtigheid dan gebruikelijk. 5) Stabilisatie van de relatieve luchtvochtigheid binnenshuis, waarbinnen vochtgehalteveranderingen en bijhorende dimensionale veranderingen van massiefhout minimaal zijn. (RDH 2021)

In de houtbouw wordt hout blootgesteld aan zowel langdurige (seizoensgebonden) als kortdurende (dagelijkse) veranderingen in relatieve vochtigheid en temperatuur. Als gevolg hiervan fluctueert het vochtgehalte steeds binnen een bepaald bereik. CLT heeft echter een bufferende reactie op een veranderende omgeving, afhankelijk van de grootte van verandering, dampdoorlaatbaarheid, de omgevingsomstandigheden en coatings of behandeling. In een dik CLT-paneel kan het vochtgehalte aan het oppervlak snel veranderen, maar het duurt langer (dagen tot weken) voordat de paneelkern reageert op de veranderende omgevingsomstandigheden. Dit wordt bevestigd door een studie van aan de universiteit van Toronto. Hier testte men 8 verschillende CLT-proefstukken naar de indring- en droogsnelheid in functie van de beschermingsgraad. Men ziet op de nevenstaande grafiek bij figuur 32, bijvoorbeeld bij de roze lijn van paneel 6, duidelijk hoe de piek in de vochtopname rond uur 6500, zich pas 4000 uur (ofwel 5.5 maand) later manifesteert als een piek in de kern van het paneel op de onderste grafiek (Johns et al., 2024).



Figuur 32 - Monitoring van vochtgehaltes van vier verschillende CLT-specimen met elks een verschillende beschermingsgraad (Johns et al., 2024)

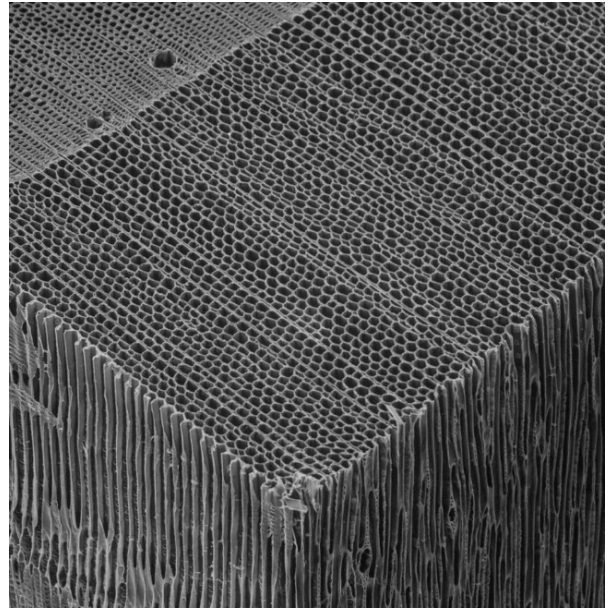
De Amerikaanse CLT-productienorm (APA, 2011) vereist dat het vochtgehalte van ruwe hout op het moment van CLT-levering $12\% \pm 3\%$ moet zijn. Dit betekent dat CLT-panelen, door het lage vochtgehalte bij productie en levering, wel enige bufferruimte hebben vooraleer deze in een problematische zone komen waar houtaantasting een gevaar vormt. Die buffercapaciteit van CLT kan voordelig zijn omdat CLT-opbouwen kortstondige veranderingen in vochtigheid en temperatuur zo kunnen bufferen of opvangen. Dit maakt dat bevochtiging van panelen niet zozeer problematisch is, zolang snelle en efficiënte droging mogelijk is. Als CLT-panelen echter langdurig blootgesteld worden aan extreem hoge vochtigheidsniveaus tijdens het gebruik of tijdens werffase, kan het hout aanzienlijke hoeveelheden vocht opnemen. Dit verhoogt het risico op gebreken zoals dimensionele veranderingen en moet daarom worden vermeden. Dergelijk krimp en zwelgedrag is vanwege de kruislaagse verlijming van CLT-panelen eerder beperkt is vergelijking met bijvoorbeeld een houtskeletbouw-systeem. Door de verhinderde uitzetting komen er echter wel sneller interne spanningen in de lamellen, wat kan leiden tot delaminaties (Fig. 33). Dit heeft op zijn beurt een sterke invloed op andere gebouwschilparameters zoals wegen voor vochtinrusie, lucht- en dampdichtheid (Laminated Timber Solutions 2019; Karacabeyli en Lum 2022).



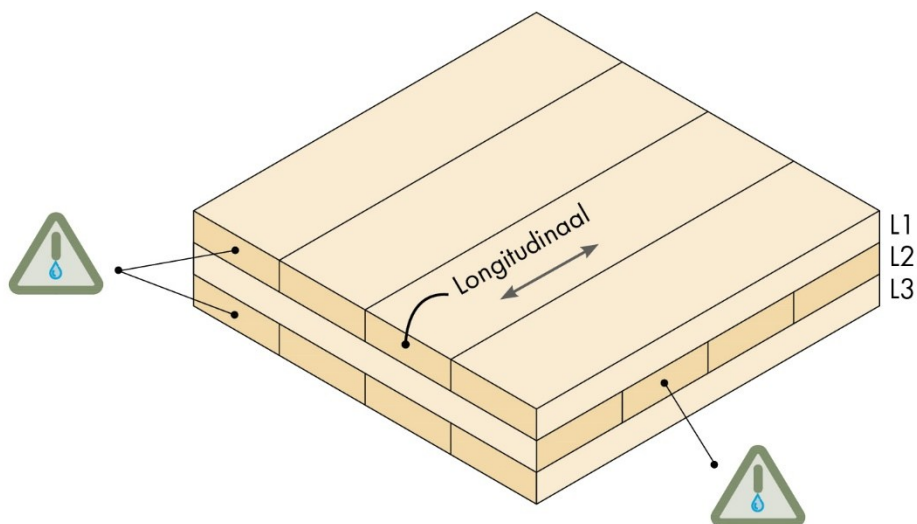
Figuur 33 - Delaminaties tussen verschillende lamellen ten gevolge van cyclische bevochtiging en droging (Kalbe et al., 2022)

Gevoeligheid van kops hout bij CLT-panelen

Vanuit de anatomie van hout is bekend dat de vochtopname sterk afhankelijk is van de vezelrichting. Hout neemt vocht aanzienlijk sneller en in grotere mate op in de lengterichting van de vezels (longitudinaal) dan in de radiale of tangentiële richting (Fig. 34). De langse oppervlakken van een CLT-paneel leggen de tangentiële vezelrichting bloot, zogenaamd 'side grain', dat minder snel vocht opneemt. De kops paneelzijden leggen afwisselend de longitudinale of radiale vezelrichting bloot (Fig.35) (Van de Kuilen et al., 2024). Deze kops blootgestelde zones vormen kritieke risicogebieden voor vochtaccumulatie vanwege de blootgestelde vezel, vooral wanneer ze onvoldoende beschermd of blootgesteld zijn aan langdurige vochtbelasting. Vaak zijn deze paneelzijden de zones die een bouwnaad vormen met andere elementen, of blootgesteld zijn aan de buitenomgeving in werffase. Nick Clifford, onderzoeker bij TIAS(UK), claimt dat de vochtopname in kops hout (longitudinale vezelrichting) tot wel honderd keer sneller verloopt dan de andere vezelrichtingen. Vochtblootstelling aan deze zones van CLT-panelen is dus sterk doorslaggevend voor het vochtgehalte van het paneel (Gard et al., 2024; Clifford, 2025c).



Figuur 34 - Microscopische doorsnede van Noors sparrenhout, waarbij de longitudinale vezelrichting zichtbaar is (Gard et al., 2024)



Figuur 35 - Schematische doorsnede van drielaags CLT, met aanduiding van kops hout.

Bevochtiging als ingrediënt voor houtaantasting

Vochtaccumulatie in CLT-panelen kan zorgen voor verschillende schademechanisme, die steeds meer drastisch worden naarmate de structuur langer blootgesteld is aan overmatige vochtgehaltes. Figuur 36 illustreert de typisch sequentie die een CLT-paneel kan doorgaan wanneer het langdurig blootgesteld is aan vocht, al dan niet in werffase (Shane, 2024).



Figuur 36 - Progressieve schadefenomenen bij bevochtiging. Men krijgt meestal een eerste waarschuwing via bijvoorbeeld vlekvorming of blauwschimmel, vooraleer ernstige gevolgen en houtaantasting plaats vinden. (Shane 2024)

Zoals figuur 36 weergeeft, is er een verschil tussen houtrot en schimmel. Dit wordt in de volksmond vaak door elkaar gehaald maar beslaat weldegelijk twee verschillende zaken. Houtrot en schimmelgroei zijn beiden microbiële processen die optreden onder vochtige omstandigheden, maar ze verschillen fundamenteel in hun impact op CLT. Houtrot wordt veroorzaakt door houtdegraderende schimmels, zoals bruine, witte of zachtrot, die structurele polysachariden in de celwanden afbreken. Dit leidt tot een significante afname van de mechanische sterkte. Houtschimmel daarentegen is een eerder oppervlakkige aantasting. Ze voeden zich met stoffen in of op het hout, maar veroorzaken geen (hemi)cellulose- of lignineaantasting. Beiden vereisen langdurige blootstelling aan hogere vochtgehaltes, hetzij via water hetzij via een hoge luchtvochtigheid (gemiddeld 85% voor houtrotschimmels, 70% voor andere schimmelgroepen) (Hukka & Viitanen, 1999; Viitanen & Ritschkoff, 1991; Clausen & Yang, 2007). Wat betreft vochtgehaltes, kan een eerste infectie van het hout door sporen kan plaats vinden vanaf het hout een initieel piekvochtgehalte bereikt van 29%, met een kleine variatie tussen verschillende houtsoorten. Na deze infectie, zijn vochtgehaltes van ongeveer 22 tot 24% ideaal voor een perfecte voortplanting (Morris, 2000). Als veilig gemiddelde wordt in de literatuur, zoals in de Canadese nationale bouwcode, een waarde van 19% gehanteerd. De voorplantingsreactie van fungi kan stilvallen bij vochtpercentages onder de 15%. Dit bekend echter niet dat de fungi zich niet meer in het hout kunnen bevinden. Dergelijke schimmels kunnen tot ongeveer negen jaar in hout boven de 12% vochtigheid blijven overwinteren. Het aantastingsproces schiet dan in gang wanneer het vochtgehalte weer stijgt (Morris, 2000; Gard et al., 2024). Algemeen dient men wel te stellen dat de specifieke aangroei van schimmels steeds bepaald wordt door het samenspel van temperatuur, vochtgehalte en andere materiaalparameters (De Ligne, 2021; Van Acker et al., 2021; Kalbe et al., 2020).

Schimmelgroei, zoals blauwschimmel, betreft daarentegen zuiver oppervlakkige kolonisatie door micro-organismen die zich voeden met organische deeltjes en enkel visuele aantasting veroorzaken, zonder de structurele integriteit van het hout te bedreigen. Men kan dit met andere woorden simpel wegschuren op de bouwplaats (P. Courtoy, persoonlijke communicatie, 19 maart 2025). Echter, vergevorderde schimmelgroei brengt aanzienlijke

gezondheidsrisico's met zich mee, aangezien de sporen en mycotoxines ademhalingsproblemen, allergische reacties en chronische irritaties kunnen veroorzaken. Aangezien schimmelgroei reeds kan optreden bij een relatief lage vochtigheid (<16-18%) en soms zelfs inherent is aan de panelen bij aankomst op de bouwplaats, dient de groei zeker gecontroleerd te worden om gezondheidsrisico's tijdens levensduur te vermijden. Vaak is dit soort schimmel ook een waarschuwing voor mogelijks dreigende houtrotaantasting (Shane, 2024; Gard et al., 2024)

Iedere soort schimmelaantasting vereist een specifieke set aan omgevingsfactoren om zich te kunnen nestelen, leven en voort te planten. Deze zijn geïllustreerd in figuur 37. Doordachte ontwerp- en uitvoeringstechnieken richten zich op het elimineren van minstens één van deze essentiële factoren, waardoor de kans op aantasting aanzienlijk wordt gereduceerd of zelfs volledig geëlimineerd. In de gebouwde omgeving is het evident dat zuurstof niet kan worden uitgesloten. Daarnaast bevinden de temperaturen waaraan CLT-panelen in de Belgische gebouwschil worden blootgesteld zich doorgaans binnen het optimale groeibereik voor fungi. Ook de intrinsieke materiaaleigenschappen van hout, zoals de pH-waarde en de aanwezigheid van looistoffen, zijn slechts in beperkte mate beïnvloedbaar. Coatings kunnen hierop inspelen, maar worden in de praktijk zelden toegepast op CLT (Cappellazzi et al., 2020).



Figuur 37 - Levensvereisten voor houtaantastende organismen

Dit impliceert dat het beheersen van de vochtbalans in het hout de enige en meest doeltreffende strategie is om het risico op microbiële aantasting te minimaliseren. Gelukkig is dit, mits verhoogde inspanning en aandacht, realiseerbaar. De duurzaamheid van historische houten constructies, die ondanks hun hoge leeftijd intact zijn gebleven, bewijst dat dit mogelijk is (Cappellazzi et al., 2020).

3.2.2.2. Thermische belasting op de gebouwschil

Een gebouwschil wordt onderworpen aan zowel interne als externe thermische belastingen, met elks specifieke impact hebben op het thermisch gedrag van het gebouw. Interne temperatuurbelastingen worden voornamelijk bepaald door het gebouwgebruik, de bezettingsgraad en interne warmtebronnen zoals verlichting, apparatuur en menselijke activiteit. Deze interne warmtewinsten worden doorgaans beheerst door adequaat gedimensioneerde HVAC-systemen (RDH Building Science, 2021a).

Externe thermische belastingen zijn daarentegen rechtstreeks gerelateerd aan de klimatologische omstandigheden en de interactie tussen de gebouwschil en de buitenomgeving. In het Belgische gematigde zeeklimaat is vooral koude dominant, met milde winters en occasionele vorstperiodes, afgewisseld met warmere zomers waarin oververhitting steeds meer een probleem vormt. Het Belgische klimaat legt daarom de noodzaak op een goed geïsoleerde gebouwschil, waarbij de dikte van het isolatiepakket in de loop der jaren is toegenomen om te voldoen aan de steeds strengere energieprestatie-eisen (Janssens, 2022b).

Naast thermische isolatie speelt ook daglichttoetreding een essentiële rol in de gebouwschil. Glasoppervlakken en schrijnwerk beïnvloeden de energiebalans, zowel in termen van warmtewinsten (zoninstraling) als warmteverliezen (hoge U-waarde van beglazing in vergelijking met de rest van de gebouwschil). Architecturale keuzes zijn hierbij vaak leidend, maar moeten steeds in evenwicht gebracht worden met de thermische prestatie-eisen en het risico op oververhitting (Douglas & Karacabeyli, 2013).

Bij houtbouw en CLT-constructies wordt steeds vaker proactief nagedacht over het optimaliseren van de thermische prestaties, zowel omwille vanuit een ambitie voor energie-efficiëntie als om het regelgevend kader voor te zijn. De inherente eigenschappen van CLT dragen hieraan bij: hout heeft een relatief lage thermische geleidbaarheid ($\lambda \approx 0,12\text{-}0,18 \text{ W/mK}$) in vergelijking met staal en beton. Dit maakt CLT geschikt voor goed geïsoleerde bouwconcepten, wat bijvoorbeeld voordelig werkt bij het behalen van een passieflabel of *BEN*-ambities. De combinatie van de warmtegeleiding, luchtdichtheid van de gebouwschil en gecontroleerde warmtewinsten bepaalt in grote mate de thermische belasting en de maatregelen die zullen nodig zijn om een optimaal winter- en zomercomfort te realiseren (Hall, 2020).

3.2.2.3. Luchtstroming als gebouwlast

Een luchtstroom doorheen een constructie treedt op wanneer drukverschillen aanwezig zijn tussen beide zijden van de gebouwschil. Dergelijke drukverschillen zijn nagenoeg onvermijdelijk, aangezien ze door diverse fysische factoren worden gegenereerd. Windbelasting leidt bijvoorbeeld tot de ontwikkeling van een loef- en lijzijde, waarbij de blootgestelde gevel een overdruk ervaart en de beschutte zijde onder lagere druk komt te staan. Daarnaast speelt ook het schoorsteeneffect een significante rol: temperatuurverschillen tussen binnen- en buitenklimaat veroorzaken een verticale luchtstroming binnen het gebouw. Zoals figuur 38 illustreert stijgt tijdens koude periodes warme binnenlucht op, wat resulteert in een overdruk aan de bovenzijde en een onderdruk aan de basis van het gebouw. Hierdoor worden infiltratie en exfiltratie via de gebouwschil gestimuleerd. Dit effect is sterker uitgesproken in



Figuur 38 - Illustratie van het schoorsteeneffect (Fine Homebuilding, 2022).

hoogbouw en wordt tijdens de zomermaanden omgekeerd wanneer koeling wordt toegepast.

Een derde mechanisme dat drukverschillen induceert, is de invloed van mechanische ventilatie en HVAC-systemen. Een disbalans tussen luchttoevoer en -afvoer kan kunstmatige over- of onderdrukken veroorzaken, wat niet alleen een impact heeft op de energie-efficiëntie van het gebouw, maar ook het risico op inwendige condensatie binnen de gebouwschil aanzienlijk verhoogt vanwege luchtstroming doorheen de schil (Douglas & Karacabeyli, 2013).

Binnen de verschillende soorten beschouwde literatuur bestaat enige spreiding in de bevindingen omtrent de inherente luchtdichtheid van CLT-panelen. Dit wordt voornamelijk beïnvloed door parameters zoals paneeldikte, lijmlagen en verlijmingstechniek. Bovendien zal de luchtdichtheid sterk afhankelijk blijken van de interne luchtvochtigheid (Kukk et al., 2021). Afhankelijk van deze factoren kan het al dan niet noodzakelijk zijn om bijkomende luchtdichtheidsmembranen te integreren binnen de gebouwschil. De luchtdichtheid van de totale constructie wordt echter voornamelijk bepaald door de luchtdichtheid nabij aansluitingen, doorvoeren en bouwnaden. Een strategie die hierop inspeelt, is het streven naar een Optimal Panel Configuration, waarbij het aantal verschillende panelen en bijgevolg het aantal naden wordt geminimaliseerd. Dit beperkt aanzienlijk het aantal potentiële luchtlekken (Douglas & Karacabeyli, 2013).

Luchtdichtheid speelt een cruciale rol in het waarborgen van een comfortabel en energie-efficiënt binnenklimaat. Een gebouwschil met kieren en spleten ondermijnt de effectiviteit van technische installaties, zoals mechanische ventilatie, en verhoogt aanzienlijk de warmtevraag door ongewenste infiltratie. Dit leidt niet alleen tot een hoger energieverbruik, maar heeft ook een negatieve invloed op de duurzaamheidsprestaties van houtmassiefbouw. Daarnaast vormt convectieve luchtstroming door de gebouwschil een bijkomend risico op vochttransport en inwendige condensatie, wat kritisch is voor CLT-constructies (Kukk et al., 2021). Er heerst een risico zogenaamde 'Moisture Traps' binnen de constructie waar vocht zich ophoopt en niet voldoende kan uitdrogen. Dit verhoogt het risico op schimmelgroei en biologische afbraak, wat de structurele integriteit van het gebouw op termijn in gevaar kan brengen. Omgekeerd kan herhaaldelijke bevochtiging en droging ook zorgen voor lokale luchtlekken door delaminaties (Kalbe et al., 2023; SIGA Swiss 2020; 2024).

3.2.2.4. Waterdamp als gebouwlast

Waterdamp verplaatst zich steeds van zones met een sterke dampconcentratie, dus waar een hoge dampspanning heerst, naar zones met een minder hoge waterdampconcentraties. Dat verschil in dampdruk is het gevolg van een verschil in temperatuur of relatieve vochtigheid van de lucht aan weerszijden. Wanneer een materiaal of opbouw aan de ene zijde in aanraking is met lucht met een lagere dampdruk dan aan de andere zijde, bijvoorbeeld in een gevel of een dak, dan zal door het verschil in dampdruk waterdamp proberen stromen door het materiaal. Dit verschijnsel heet dampdiffusie, waarbij een dampstroom ontstaat. Aangezien de meeste muur- en dakconstructies bestaan uit meerdere lagen van verschillende materialen, zal de dampdiffusie per laag verschillen. Damptransport in materialen vindt plaats door de lucht in de poriën van dat materiaal. Poreuze materialen, zoals hout, nemen vocht op 'in evenwicht' met de RV van de lucht tot het EMC. Over het algemeen geldt dat schimmelgroei zich kan voordoen bij langdurige blootstelling in omgevingen met een $RV > 85\%$ (Douglas & Karacabeyli, 2013; De Vree, 2017; Janssens, 2022).

De hoeveelheid damp die door een constructie wordt getransporteerd is enerzijds afhankelijk van de grootte van het dampdrukverschil tussen beide zijden van de opbouw en anderzijds de mate waarin de constructie weerstand biedt aan de diffusie. Dit wordt gekarakteriseerd door 'equivalente laagdikte' of μ d-waarde (idem aan Sd-waarde) in meter. Het is een getal dat de verhouding weergeeft van de dampweerstand van dat materiaal ten opzichte van de dampweerstand van een laag lucht van dezelfde dikte. Hoe meer de waarde boven 1 ligt (de waarde voor lucht), hoe minder permeabel. Tabel 2 geeft een criterium voor het beoordelen van de dampweerstand van bepaalde materiaallagen (De Vree, 2017).

Criterium		Dampweerstand	Voorbeeldmateriaal
$\mu d < 0,35m$	Dampopen	Permeabel	Minerale wol
$0,35m < \mu d < 3,5m$	Dampremmend	Semi-permeabel	Wetguard® weersfolie
$3,5m < \mu d < 35m$		Semi-impermeabel	CLT*
$\mu d > 35m$	Dampdicht	Impermeabel	CLT*, EPDM

*: μ d-waarde CLT afhankelijk van interne configuratie en dikte

Tabel 2 - Dampdiffusieweerstand criteria (Douglas & Karacabeyli, 2013)

Wanneer men de μ d-waarde bekijkt voor hout, vallen twee tendensen op: enerzijds ziet men dat, bij een vaste vochtigheid, de dampdoorlatendheid van hout een stuk hoger is in de longitudinale vezelrichting van het hout dan loodrecht op de vezel. Dit is zeer logisch gezien de anatomie van een boom, waar vochttransport via de langse richting van de houtvezels van het saphout loopt. In het kader van berekeningen en simulaties met CLT wordt gekozen voor de dampweerstand loodrecht op de weerstand. Experimenteel onderzoek aan Universiteit Gent heeft aangetoond dat deze μ -waarde van vurenhout, meest frequent gebruikt voor CLT, gelijk is aan 48.77m. Bovendien vertoont de diffusieweerstand van een CLT-paneel opvallend genoeg weinig variatie tussen gebruikte houtsoorten, noch van het aantal of type lijmlagen. Frequent gebruikte MUF-lijm heeft bijvoorbeeld - bij een gangbare dikte van 0.25mm - een μ d-waarde per lijmlaag tussen 0.104 en 0.842m, wat het als dampopen karakteriseert (Blommaert et al., 2025). Een studie door V. Kukk bevestigt dit, waarin hij concludeert dat μ d-waarden van panelen tussen de 30 en 200 mm variëren tussen 30-100m (Kukk et al., 2021).

Materiaal	d	ρ	λ	μ	μd
	mm	kg m ⁻³	W m ⁻¹ K ⁻¹	-	m
Vurenhout (tangentele richting)	5 x 20	393,7	0,106	487,7	48,77
MUF lijmlaag	4x 0,25	425	0,079	485,69	0,48569
Totale μ d-waarde 5laags CLT paneel 100mm [m]					49,26

Tabel 3 - Illustratie van de dampdiffusieweerstand van een vijflaags CLT paneel met dikte 100mm (Blommaert et al., 2025)

Een andere vaststelling is dat hoe hoger de relatieve vochtigheid in de binnenomgeving, en dus hoe hoger het vochtgehalte in de houtvezel zelf, hoe hoger de dampdoorlatendheid (Tabel 4). Dit heeft te maken met het vochttransport in de capillairen van het materiaal. Water aan de ene zijde van een houtvezel zal door meniscuskrachten leiden tot een directe verschuiving van watermoleculen aan de andere zijde van de houtvezel. Bij hoge relatieve vochtigheden zal dit op vele plaatsen tegelijk gebeuren, waardoor de diffusiesnelheid veel hoger zal liggen (Peralta, 2001; US Department of Agriculture, 2010; National Research

Council of Canada, 2012). Dit is enerzijds een vloek en een zegen: vochtiger hout zal zo nog meer waterdamp doorlaten, waardoor het ook meer water zal gaan opnemen. Daarentegen zal een vochtig paneel ook meer dampopen zijn voor droging. Veel hangt dus af van de situatie waarin het paneel zich bevindt (Douglas & Karacabeyli, 2013; Janssens, 2022; Chiniforush et al., 2019)

Relatieve vochtigheid [%]	Diffusieweerstandsgetal CLT-paneel [m]		
	100 mm	150 mm	200 mm
20	58,28	87,41	116,55
50	11,28	16,65	23,31
80	3,50	5,14	6,86

Tabel 4 - Diffusieweerstandsgetal van CLT (National Research Council of Canada, 2012)

3.2.2.5. Overige lasten op de gebouwschil

Waterdamp, warmte, lucht en vloeibaar water vormen de meest voorkomende belastingstypes op de Belgische gebouwschil. Deze invloeden vertonen vaak een onderlinge wisselwerking. Zo kan een luchtdichtheidsfolie niet enkel bijdragen aan het reduceren van ongewenste luchtstromen, maar speelt deze tevens een cruciale rol in het beheersen van vochtaccumulatie binnen de gebouwschil door te dienen als een (tijdelijk) regenscherm. Omgekeerd speelt de bevochtigingshistoriek van panelen een rol op de luchtdichtheid van de opbouw. Een solide en duurzaam gebouwconcept vereist dan ook een holistische evaluatie van deze belastingen, waarbij hun onderlinge interacties expliciet in rekening worden gebracht. In het volgende deelhoofdstuk wordt deze benadering voor het Belgische klimaat nader toegelicht aan de hand van het concept van controlelagen of barrièrelagen.

Naast de bovengenoemde klimaatgerelateerde belastingen, zijn er bijkomende factoren die een significante impact hebben op de prestaties en duurzaamheid van houtmassiefbouwconstructies. Mechanische belastingen, brandveiligheidsaspecten en akoestische vereisten spelen een essentiële rol in de ontwerpfase en dienen met een gelijkaardige zorg te worden geanalyseerd. Aangezien elk van deze disciplines een gespecialiseerd en uitgebreid vakgebied beslaat, en deze scriptie zich specifiek richt op de veilige vochtgerelateerde toepassing van CLT binnen het Belgische klimaat, worden deze aspecten hier niet verder behandeld. Er bestaan echter diverse gespecialiseerde handboeken, zoals het Zweedse handboek (Gustafsson, 2019) en het Canadese CLT-handboek (Gagnon & Karacabeyli, 2019), die deze thematieken uitvoerig bespreken.

3.2.3. Beheersingslagen voor de gebouwschil

3.2.3.1. Waterbeheersing

Het binnendringen van vocht in gebouwen staat garant voor de meest frequente en verreikende schadegevallen in de bouwwereld. Of het nu gaat om een gebouw van staal, beton, metselwerk of in dit geval CLT, geen enkel bouwsysteem is immuun voor de effecten van overmatig vocht in gebouwen. In het geval van CLT kunnen deze problemen worden grotendeels geminimaliseerd door aandacht te besteden aan vochtbeheersing in de opbouw en aansluitingsdetails (Douglas & Karacabeyli, 2013).

Watermanagement begint met het minimaliseren van de hoeveelheid vocht die in werffase op de panelen wordt gebracht. Dit kan door een logisch ontwerp, detaillering en (tijdelijke) bescherming van de gebouwenveloppe. Zonder enige vorm van bescherming vanaf de werffase, zal het bijzonder lastig worden om vochtgerelateerde schade in de panelen te voorkomen. Dit concludeerde Zweeds onderzoeker Lars Olsson aan door middel van twee case-studies van middelhoge CLT-projecten in werffase. Hier werd vrijwel geen bescherming voorzien in werffase vanwege financiële redenen. Meer dan de helft van de 200 meetpunten vertoonde doorheen de werffase al sporen van houtaantasting. Belangrijk hierbij te vermelden is dat Olsson tevens ook benadrukt dat er binnen de internationale literatuur te licht wordt gegaan over de aanwezigheid van houtaantastende organismen. Vele bronnen hanteren een visueel criterium of er al dan niet schimmeligroei is. Vanuit Olssons onderzoek blijkt dat aangroei meestal initieel onzichtbaar is voor het blote oog, maar er weldegelijk is. Zijn onderzoek illustreert duidelijk hoe belangrijk de bescherming van de panelen is vanaf de werffase om schimmeligroei volledig te elimineren (Olsson, 2020).



Figuur 39 - Verbinding van twee vloerpanelen met afgetapete naden (aangebracht na bevochtiging). Plasmavorming op de panelen, afkomstig van doorvoer op bovenliggende verdiepingen (Olsson, 2020)



De sleutel voor een vochtresistente gebouwschil ligt in het beperken van bevochtiging en bevorderen droging, zowel in werffase als in levensduur.

De meest frequente instrumenten om bovenstaande vuistregel te verwezenlijken zijn geïllustreerd in onderstaande tabel. Over het algemeen kunnen deze beschermingslagen gecategoriseerd worden aan de hand van vier verschillende criteria: het soort bescherming, de bevestigingstechniek, de ademend karakter en hun relevant gebruik. Aanvullend aan de tabel geeft figuur 40 ook de meest frequente beschermingslagen fotografisch weer (RDH Building Science 2021b; FPInnovations 2019; Michiels en Debie 2024; Finch 2022; Shane Colin 2024).

	SOORT BESCHERMING	ADEMCAPACITEIT	BEVESTIGING
MEMBRANEN	Dampdicht losliggend membraan	Dampdicht	In-situ installatie Losliggend
	Dampdicht Zelfklevend membraan	Dampdicht	In-situ of fabrieks- installatie
	Dakafdichtingsmembraan (vb. SBS)	Dampdicht	In-situ > fabrieksinstallatie
	Dampremmend zelfklevend membraan	Dampremmend	In-situ < fabrieksinstallatie
	Dampopen zelfklevend membraan	Dampopen	In-situ of fabrieks- geïnstalleerd
TAPES	Waterdichtingstape	Dampdicht	In-situ installatie
	Dampopen tape	Dampopen	In-situ installatie
COATINGS	Parrafinewax aan kops hout	Dampdicht	Meestal fabrieks- installatie
	Hydrofoberingscoating	Afhankelijk van product	Meestal fabrieks- installatie
MATTEN	Akoestische mat (losliggend of zelfklevend)	Dampdicht	In-situ installatie

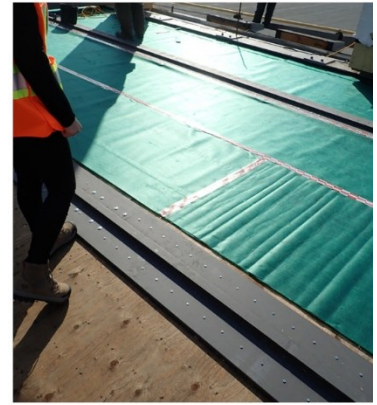
TOEPASSING	VOORDELEN	NADELEN
- Meestal als bache gebruikt in noodgevallen (verticaal en horizontaal) - Gebruik als stellingsdoek of tentzeil - Tijdelijke bescherming	- Intrinsiek waterdicht - Prijs	Horizontaal gebruik: glad en risico op scheuren en vochtaccumulatie onder membraan. Bovendien ook ballast nodig op membraan in dat geval.
- Gebruik in daken wanneer fabrieksinstallatie - Tegelijkertijd luchtdichtingsfolie en dampscherm - Tijdelijke bescherming als deel van opbouw	- Hoge waterdichtheid - Tijdelijke en permanent - Breed verspreide opties in markt	<18% MC vereist vooraleer afdekken. Daarom best fabrieksgeapplianceerd - Risico op micro-scheuren bij damp samen met zonnebelasting
- Gebruik op platte daken - Tegelijkertijd luchtdichtingsfolie en dampscherm - Tijdelijke bescherming als deel van opbouw	- Robuust voor ongeveer 30 jaar - Tijdelijke en permanent - Breed verspreide opties in markt	- Risico op vochtophoping onder membraan bij verwarming (vb. UV straling of belasting.) <18% MC vereist vooraleer afdekken. Daarom best fabrieksgeapplianceerd
- Weersbescherming als deel van opbouw - Tegelijk luchtdichtingsfolie indien goede uitvoering - Zeër breed toegepast (vloeren, wanden)	- Houdt regenbui efficiënt tegen - Kan nog (beperkt) drogen na bevochtiging	- Vereist aandachtig afgetapte of overlappende naden en opvolging - Slechts vochtremmend en niet bestand tegen pooling water + beperkte drogings mogelijk
- Ademende weersbescherming als deel van opbouw - Tegelijkertijd luchtdichtingsfolie - Zeër breed toegepast in praktijk (vloeren, wanden)	- Zeër efficiënt in verticale toepassing, minder bij horizontale (pooling) - Laat uitdrogen van structuur toe en stoot water tegelijkertijd kortstondig af	- Vocht kan lang lange blootstelling alsnog insijpelen - Zeër snel beschadigd en verrimpeld - Kan niet verkleefd worden op vochtige oppervlakken
Aansluitingen en hoeken direct na montage of bij voldoende droge panelen (<18% MC)	Extra zekerheid op bescherming van bouwnaad tegen bevochtiging	- Vocht kan door microscheuren alsnog door paneel komen. Verhinderde droging. - Hechting lastig op vochtig hout en ruwe materialen
Aansluitingen en hoeken na, of met risico op, bevochtiging. Bouwnaden beschermen tegen verdere bevochtiging, maar toch droging (gedeeltelijk) faciliteren	Noodoplossing indien vochtaccumulatie in bouwnaad plaatsgevonden.	- Vocht kan door microscheuren alsnog door paneel komen. Droging wel mogelijk. - Hechting lastig op vochtig hout en ruwe materialen
Bescherming van kops hout van CLT-panelen (soms zuiver tijdens werffase en/of opslag)	Kops hout wordt ondoordringbaar voor vocht.	- Weinig ingeburgerd bij fabrikanten - Zeër snel beschadigd - Sterk afhankelijk van dikte van wax en ruwheid van kops hout.
Hydrofobering van het paneeloppervlak ter vervanging van membraan. Vormt een film over het oppervlak. Kan ook bij kops hout gebruikt worden, maar is minder efficiënt.	- Geen nodige overlap in naden, geen risico op rimpelvorming - Fabrieksaangebracht: inherente bescherming aan paneel	- Niet toepasbaar bij panelen met hoge afwerkingsgraad - Kan glad zijn bij vorst - Performantie sterk afhankelijk van producent
Gebruikt als akoestische isolatie onder dekvloer of chape. Bijkomstig effect is tijdelijke bescherming van panelen tegen weersinvloeden. Daarvoor dienen de naden goed afgetaped of overlappend te liggen.	Bijkomstig vochtbeheer in werffase door akoestische mat, met name bij stroten van hybride vloer, dekvloer of uitvullingslaag	- Risico op vochtophoping onder matten bij slecht uitgevoerde naden. - Snel beschadigingen in werffase <18% MC nodig vooraleer plaatsen.



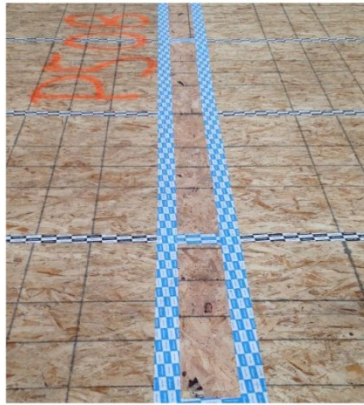
Dampopen tape
aan paneelranden



Paraffinewax
aan kops hout



Losliggende akoestische mat
met getapte randen



Dampdichte tape voorzien over
stootbordverbinding



Hydrofobe coating
op paneel



Zelfklevend
SBS-dakdichtingsmembraan



Semi-impermeabel
zelfklevend membraan



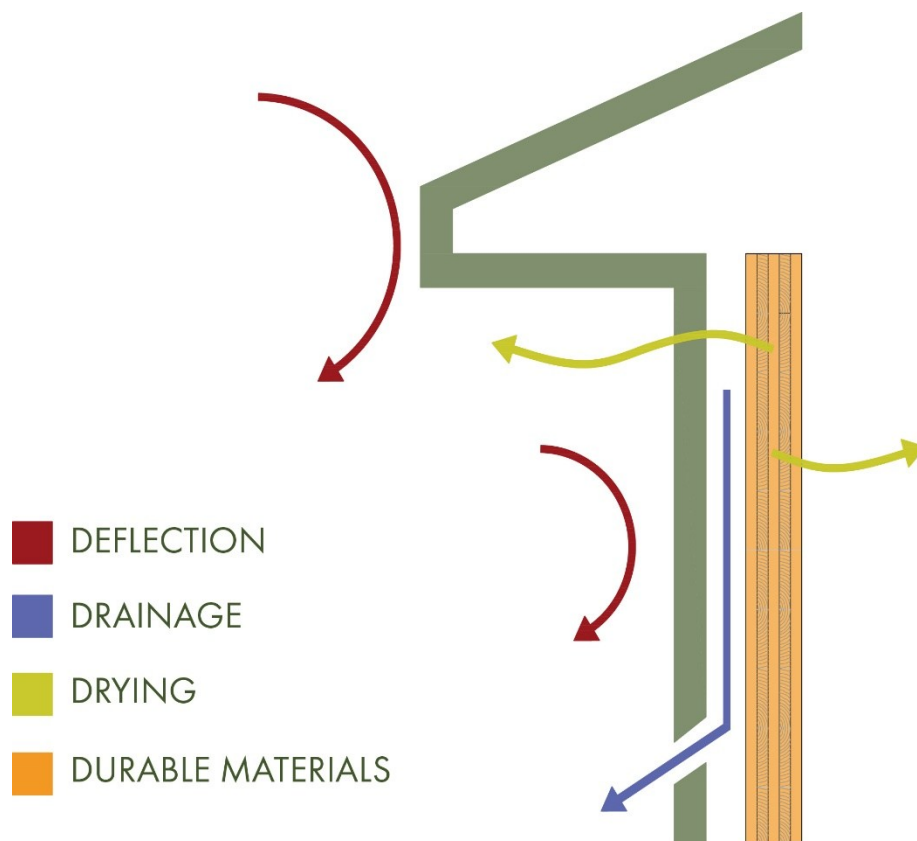
Impermeabel
Zelfklevend membraan



Permeabel
Zelfklevend membraan

Figuur 40 - Voorbeelden van frequent gebruikte beschermingslagen

In se kan de waterdichtheid van een opbouw verkregen worden door wat men binnen de internationale literatuur de strategie van de *4D's of Moisture Management* noemt. Een correct ontworpen gebouwschil kan op ieder punt beantwoorden aan de vier volgende punten: *Deflection, Drainage, Drying* en *Durable materials*. Hierin kan *Durable* vertaald worden als de robuustheid van materialen om de tand des tijds te doorstaan. Net zoals er verschillende bevochtigingsmechanismen bestaan, kan de vochtbeheersing dus ook verschillende aanpakken hebben (Hazleden & Morris, 1999).



Figuur 41 - Illustratie van vochtbeheer volgens de 4D's (Hazleden en Morris 1999)

Deflectie

Waterafstoting vormt de eerste verdedigingslinie van de gebouwschil en kan, bij een doordacht ontwerp, naar schatting meer dan 90% van de neerslag opvangen. Hierdoor wordt de effectieve regenbelasting op een gevel gereduceerd tot minder dan 10% (Fig. 41).

Veel bouwsystemen maken gebruik van een meerlaags deflectiesysteem. De primaire waterafbuiging vindt plaats aan het buitenste bouwdeel zelf, wat in de literatuur vaak wordt aangeduid als een *water-shedding surface*. Daarnaast kunnen architecturale ingrepen zoals dakoverstekten, balkons en overkragingen een bijkomende bescherming bieden tegen vochtinfiltratie. Dit is met name effectief bij blootstelling aan windgestuurde regen (Hazleden & Morris, 1999).

Drainage

Wanneer water doorheen de eerste waterafstotende laag penetreert, dient het zo snel als mogelijk afgedragen te worden. Studies wezen uit dat de meest optimale manier om dit te doen binnen vochtige klimaten, is door het inwerken van een geventileerde afwateringsspouw in de hellende daken en wandopbouwen (Hershfield 1992, 1994). Deze spouw wordt,

afhankelijk van de vochtgevoeligheid van het gekozen isolatiemateriaal, aan de binnenzijde opnieuw afgesloten met een vochtwerend membraan. Dit is, naast de bovengenoemde waterafstotende laag, de tweede stap in wat men binnen de literatuur en bouwpraktijk een 'tweetrapsdichting' noemt. Een gekend voorbeeld is het klassieke regenscherm in een wandopbouw of onderdakfolie bij hellende daken. Een goed gedetailleerde tweetrapsdichting kan theoretisch de resterende 10% van het water dat de buitenste bekledingsbarrière passeert, verwerken. Theoretisch reduceert dit volgens D.G. Hazleden de belasting aan de panelen tot < 1%. Het is in België echter zeer waarschijnlijk dat imperfecties of perforaties in deze laag de waterdichtheid van de opbouw hypothekeren, of de panelen bevochtigd worden vooraleer de gebouwschil tot dit punt is geplaatst. Men houdt dus best de aanname dat vocht alsnog een weg zal vinden doorheen de opbouw tot het CLT-paneel, hetzij in beperkte mate of tijdens werffase (Hazleden & Morris, 1999).

Droging

De beperkte hoeveelheid vocht die de CLT-panelen uiteindelijk bereikt - wat in de werffase aanzienlijk hoger kan liggen - moet uiteindelijk kunnen uitdrogen. Indien dit niet het geval is en het vochtgehalte van de panelen een aantal weken hoger dan 19% blijft, ontstaat een verhoogd risico op aantasting door houtdegraderende micro-organismen. De snelheid hiervan is afhankelijk van zowel temperatuur als vochtgehalte. Belgische wintertemperaturen zijn bovendien onvoldoende laag om de metabole activiteit van schimmels volledig te onderbreken, waardoor biologische degradatie niet wordt stopgezet tijdens koudere periodes. Dit gebeurt bijvoorbeeld wel in noordelijk Scandinavische regio's met een sterke houtbouwtraditie (Gard et al., 2024).

Het is daarom van belang dat de geringe hoeveelheid vocht die de panelen bereikt - ongeacht de infiltratieroute - via de opbouw van de gebouwschil kan uitdrogen tot een veilig vochtgehalte bij evenwichtsomstandigheden. Binnen de literatuur heerst een brede consensus dat CLT-opbouwen idealiter een droogpotentieel moeten bieden in zowel de in- als uitwaartse richting. Een sterk dampopen ontwerp wordt in dit kader als het meest performant beschouwd (Hazleden & Morris 1999).

Duurzaam materiaalgebruik

Wanneer de eerste drie D's er niet in slagen om vocht efficiënt buiten het CLT-paneel te houden, wordt de intrinsieke vochtbestendigheid van het materiaal aangesproken. Hierin valt niet te ontkennen dat CLT een lage weerstand biedt tegen langdurige vochtblootstelling. Het neemt zeer snel vocht op, maar droogt vele malen trager uit en blijft dus lang blootgesteld aan hoge vochtgehalten, met alle degradatiemechanismen als gevolg (Finch, 2022). Het is daarom van essentieel belang om de eerder vernoemde 3D's correct geconcipieerd te hebben, zodanig de hoeveelheid vocht aan de panelen minimaal blijft. (Hazleden en Morris 1999; Van de Kuilen, Gard, en Ehmcke 2024).

Op basis van een gedegen risicoanalyse (zie hoofdstuk 3.3) moet worden beoordeeld of de kans op langdurige bevochtiging of accumulatie van vocht te groot is. In dergelijke situaties dient men te erkennen dat CLT misschien niet het geschikte materiaal is. Dit geldt met name voor toepassingen in ondergrondse constructies, ruimtes met een verhoogde vochtbelasting zoals badkamers, zones met aanhoudende capillaire opzuiging zoals muurvoeten, en in veel gevallen voor platte daken, waar een onvoldoende droogpotentieel kan leiden tot structurele degradatie (Clifford, 2025b).

Naast deze algemene vochtstrategie voegt deze scriptie, op basis van literatuur en praktijkervaring, een aanvullende notie toe aan de 4D's filosofie van Hazleden en Morris die sterk past bij de Belgische klimatologische context. Het 4D-principe kan ook letterlijk vierdimensioneel begrepen te worden: een doordachte driedimensionale detaillering én expliciete aandacht voor de tijdsdimensie. Die laatste wordt in de praktijk vaak onderschat (Olsson, 2021; LTS, Persoonlijke communicatie, april 2025). Hoewel ontwerp en richtlijnen (bv. uit het Canadese, Amerikaanse en Zweedse handboek) doorgaans de 4D's adresseren voor de afgewerkte gebouwschil, vereist CLT-bouw extra aandacht voor de tussenliggende, tijdelijke opbouwen. Een vochtbestendige opbouw houdt dus ook rekening met de veranderende vochtbelasting op de panelen doorheen de verschillende bouw- en gebruiksfasen.

Een goede illustratie van deze vierde dimensie kan men zien in de conceptie van platte daken. Deze kunnen zodanig ontworpen zijn, dat de 4D-strategie correct geadresseerd is. Om tot een Best-Practice opbouw te komen, dient de ontwerper en uitvoerder bovendien te denken aan de opbouw en tijdelijke bescherming in werffase. Horizontale oppervlakken kunnen namelijk zorgen voor pooling van regenwater, die vervolgens doorheen bouwnaden naar de onderliggende structuur kan percoleren. Anderzijds reflecteert de ontwerper ook best over de levensfase van datzelfde dak. Gemiddeld zijn de meeste nieuwbouwprojecten ontworpen met een levensduur minimum vijftig jaar (CEN, 2002b). Echter gaan de meeste dakafdichtingsmembranen, die de dakopbouw waterdicht houden, een stuk minder lang mee (European Waterproofing Association AISBL, 2021). Een goede strategie uitbouwen hoe men hiermee zal omgaan is cruciaal binnen een vochtbeheersplan, en wordt vaak over gekeken. Een goede geconcipeerde opbouw ziet binnen deze 4D-strategie, voorgesteld door Hazleden, dus simultaan de tijdsdimensie mee bovenop de driedimensionale opbouw.



Elke CLT-opbouw kent minstens drie levens: de werffase, de afwerking en de levensduur. Ontwerp met alle drie in gedachten.

3.2.3.2. Dampbeheersing

CLT panelen met een dikte tussen de 60-200mm kennen als snel een μ d-waarde van 30-100m in droge staat (Kukk et al., 2021). Dit betekent volgens tabel 2 dat CLT geclassificeerd kan worden als sterk dampremmend tot dampdicht. Verder hebben simulaties en labotesten, maar ook hygrothermische simulaties, aangetoond dat in verwarmings-gebaseerde klimaten, waaronder België, geen extra interne damprem dient te zijn om hoge vochtgehalten in het CLT te vermijden vanwege dampdiffusie. Hieraan is wel de voorwaarde gebonden dat de opbouwen voornamelijk extern geïsoleerd zijn (Douglas & Karacabeyli, 2013). Men dient echter alert te zijn voor dit soort conclusies. Veelal gebruikt men voor simulaties en labotesten de materiaalparameters afkomstig van technische fiches van CLT. Cyclische bevochtiging en droging in werffase kan echter leiden tot delaminaties, wat een sterke invloed heeft op de dampdichtheid van een paneel. Bovendien speelt ook de relatieve vochtigheid rondom het paneel een verzwakkende rol op de μ d-waarde, zoals geïllustreerd in tabel 4. Dit vormt een aandachtspunt bij vochtige ruimten, waardoor in deze gevallen een bijkomende interne damprem nodig zal blijven (Lepage, 2012; V. R. McClung, z.d.; V.R. McClung et al., 2014; RDH Building Science, 2021a).

In een Belgisch klimaat is de dampdruk meestal hoger binnen dan buiten, vooral in de winter. Dit betekent dat waterdamp vanuit de binnenlucht naar buiten dringt (De Vree, 2019). Afhankelijk van de dikte en de staat van het paneel, zal deze waterdamp al dan niet eenvoudig door het paneel kunnen gaan. Dit kan leiden tot vochtophoping in het paneel, met name wanneer droging verhinderd is door verdere dampdichte lagen. Vrijwel iedere publicatie omtrent het hygrothermisch gedrag van CLT-opbouwen zweert daarom op streven naar maximaal dampopen constructies. Dit betekent in zijn beginsel dat de gebouwschil zodanig wordt samengesteld dat waterdamp gecontroleerd van binnen naar buiten kan diffunderen, terwijl tegelijkertijd wordt voorkomen dat vocht van buiten naar binnen dringt. Dit wordt bereikt door aan de binnenzijde van de constructie een dampremmende laag met een hoge dampdiffusieweerstand toe te passen. Zoals hierboven reeds vermeld, kan een CLT-paneel in ons klimaat voldoende zijn om dit te vervullen, mits dit paneel geen drastische cyclische bevochtiging in werffase heeft ondergaan. Aan de buitenzijde dient alles dampopen te zijn, en maximaal waterkerend. Deze configuratie voorkomt inwendige condensatie en bevordert de uitdroging van eventueel ingesloten vocht, wat essentieel is voor het behoud van de prestatie en de duurzaamheid van de CLT-panelen (De Vree, 2019; Gagnon & Karacabeyli, 2019)

DAMPOPEN GEBOUWSCHIL IN BELGIË	
VOORDELEN	NADELEN
Vocht in de constructie kan er ook weer uit (minimaal uitwaartse droging)	De opbouw vergt een doordachte reflectie van de ontwerper.
De kans op schimmelvorming blijft zo klein mogelijk.	Een gevaar voor inwendige condensatie bij overmatige interne vochtproductie.
Meer wooncomfort door beter leefklimaat: aanwezig vocht kan op natuurlijke manier de constructie verlaten in plaats van een volledig dichte constructie (leven in een plastic zak).	Sommige dampopen isolatiematerialen zijn minder geschikt voor vochtige locaties.

Figuur 42 - Voor- en nadelen van dampopen constructies (De Vree, 2019).

Een dampopen opbouw in CLT voorziet dat de samengestelde lagen naar buiten toe steeds lagere μ d-waarden kennen.



Een ideale dampopen constructie faciliteert zowel uit- als inwaartse droging. Het is dus aangeraden om enkel het CLT-paneel te zien als dampremmende laag, en aan de warme van de structuur geen dampscherm te plaatsen. Zo is inwaartse droging van de panelen mogelijk (Kukk et al., 2021). Er zijn echter situaties waar een interne damprem nodig is, en inwaartse droging dus verhinderd zal worden. Dit kan nodig zijn wanneer de interne vochtproductie dermate hoog is, dat de waterdamp zal accumuleren in het paneel. Bovendien is droging niet mogelijk in gevallen waar de RV hoger is dan 80%. Dit is vaak het geval bij vochtige ruimten zoals badkamers en keukens en vergt daarrond bijzondere aandacht. Een dampscherm tegen de warme zijde van het paneel is daarin dan aangeraden (Gagnon & Karacabeyli, 2019)(Kukk et al., 2021). Binnen de onderzoekspraktijk wordt de geschiktheid van CLT-structuren in natte ruimtes regelmatig in vraag gesteld. In dergelijke contexten vormt het risico op waterinfiltratie vaak een grotere bedreiging dan damptransport, met potentieel ernstige en onzichtbare degradatie tot gevolg (Fig. 43). De toepassing van CLT in deze ruimtes impliceert dan ook een aanzienlijk risico op schade, dat door ontwerpers vaak wordt onderschat. Best-Practice benaderingen vermijden CLT - met name vloerpanelen - in natte zones en voorzien deze bij voorkeur in minder vochtgevoelige materialen, zoals betonnen kernen of houten roostering. Indien toch CLT wordt toegepast, is het cruciaal om vroegtijdige detectie te verzekeren, bijvoorbeeld via geïntegreerde vochtmetingen (Bureau Bouwtechniek, persoonlijke communicatie, 4 april 2025; Clifford, 2025a, 2025b).



Figuur 43 - Vergevoerde schade in een vochtige ruimte. Hier was de tegelafwerking simpel verlijmd op de panelen, waartoe afstromend water van de douche - overigens in een warme ruimte - kon opstapelen (Clifford 2025).

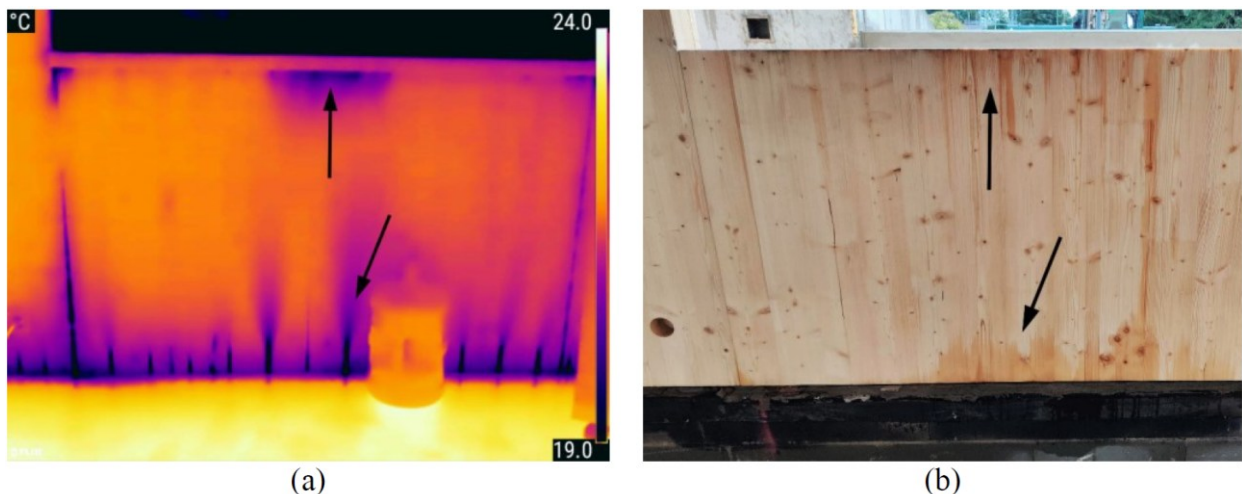
3.2.3.3. Luchtbeheersing

CLT en inherente luchtdichtheid

De inherente luchtdichtheid van CLT-panelen is onderwerp van discussie binnen zowel de onderzoekswereld als de bouwpraktijk. Factoren zoals het aantal lijmlagen, net als de paneeldikte, spelen in deze discussie een bepalende rol. Het Canadese handboek hanteert de aanname dat CLT-panelen als luchtdicht kunnen worden beschouwd vanaf een dikte van 90 mm, ongeacht het aantal lagen (Gagnon & Karacabeyli, 2019). Andere bouwprofessionals stellen daarentegen simpelweg dat een drielaags paneel voldoende is, wat intrinsiek resulteert in een dikte van minimaal 60 tot 100 mm (LTS en Woema, persoonlijke communicatie, april 2025). Laboratoriumtesten aan de Universiteit van Graz lijken dat te bevestigen (Technical University of Graz, 2014; Stora Enso, 2020).

Onderzoekspapers, zoals deze van V. Kukk, claimen dan weer dat een vijflaags paneel van minimaal 100mm nodig is voor een goede luchtdichtheid. Zijdelingse verlijming zou hierbij voordelig blijken (Kukk et al., 2019; 2021).

Een onderzoek op een kantoorgebouw uit CLT, geleid door K. Kalbe, relateert echter sterk deze discussie vanwege een samenspel met vochtbeheersing in werffase. Hierin werd verkregen dat drielaagse CLT-panelen, afgeplakt met luchtdichte tape aan de naden, weldegelijk als luchtdicht kan gezien worden. De resultaten van een blowerdoor-test na oplevering lagen in lijn met de normering ($q_{E50} \approx 0.9 \text{ m}^3 / (\text{h} * \text{m}^2)$). Een infrarood thermografie-test legde echter meerdere luchtlekken vast bij de verbindingen van de panelen, met name bij deze waar kops hout in werffase blootgesteld was. De studie legt bloot hoe deze aansluitingen, anders dan equivalente aansluitingen, doorheen de werffase bevochtigd waren. Figuur 44 illustreert het voorgestelde probleem. Dit fenomeen doet zich het vaakst voor bij zones van hoge vochtblootstelling in werffase (zoals bijvoorbeeld de aansluiting tussen een CLT-wand en fundering), detailleringen met een hoge dampdichtheid van de gebouwschil, complexe details (zoals bijvoorbeeld schrijnwerkopeningen, besproken in deelhoofdstuk 3.3.2.2) of bij kops hout. Al deze locaties hebben gemeen dat vochtintrasie tot in de kern van het paneel mogelijk is. Krimp- en zwelgedrag als gevolg van uitdroging of (cyclische) bevochtiging kunnen leiden tot de vorming van micro-scheuren of delaminaties tussen afzonderlijke planken of lagen, zowel tijdens opslag, transport als de bouwphase (Kalbe et al., 2023).



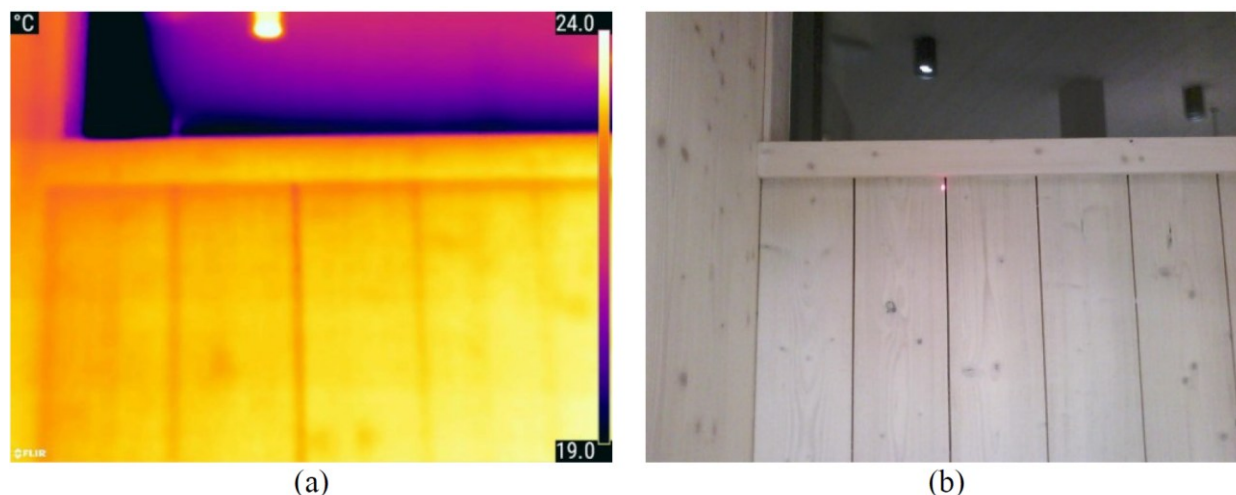
Figuur 44 - Luchtlekken (a) in het opgeleverde kantoorgebouw (ongeveer 18 maanden na installatie van de panelen) op de onderkant van het wandpaneel en in de omgeving van de raamopening. Beide plekken toonden doorheen de werffase sporen van sterke vochtophoping. Deze panelen waren echter wel droog (<15%) vooraleer de gebouwschil verder afgewerkt werd. De oorzaak van de luchtlekages ligt in het vormen van micro-scheuren in de panelen na bevochtiging (Kalbe et al., 2023)

Deze bevindingen werden deels geverifieerd door een experimentele proef onder leiding van T. Kalamees en V. Kukk. Testen met 6 vijflaagse panelen met een verschillend vochtgehalte (13% en 26%), aangehouden voor een gelijkaardige duur als een doorsnee bouwphase, toonden aan dat alle panelen met een hoog initieel vochtgehalte de luchtdichtheidseis van $0.9 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \text{h})$ overschreden. Deze studie, samen met een studie aan de onafhankelijke Noorse onderzoeksgroep SINTEF, voegt hieraan toe dat een dalende relatieve vochtigheid in het binnenklimaat zal zorgen voor krimpgedrag. Niet alleen bevochtiging in werffase, maar ook een te snelle daling van de relatieve vochtigheid kan zorgen voor lucht- en damplekken bij panelen (Kukk et al., 2021; Skogstad et al., 2011).

Dit werd tevens doorheen de opvolging van het Design Museum in Gent bevestigd vanuit de praktijk. Zij adviseren de luchtvochtigheid in ruimtes traag te doen zakken om dit fenomeen tegen te gaan. Men sprak hierover dat men bij te snelle droging, bijvoorbeeld met

bouwdrogers voor het drogen van pleisterwerken, de panelen letterlijk hoort kraken (LTS, Persoonlijke communicatie, april 2025).

Anderzijds concludeerde Kalbe in figuur 45 dat, ietwat contra-intuïtief, panelen met visuele scheurvorming geen of geringe lucht lekkage vertoonden. Dit betekent dat lucht geen pad kon vinden doorheen de andere lamellen van het paneel. Dit soort delaminaties is vaak te wijten aan een klein defect tijdens het fabricageproces, of kan een teken zijn dat de kruislaagse verlijming van de panelen ondanks krimp- en zwelgedrag geen luchtpaden gevormd heeft. Die kans is uiteraard groter voor vijflaagse panelen dan voor drielaagse. Dit is de reden waarom V. Kuk (2019) een vijflaags paneel adviseert, om de werkelijke luchtdichtheid doorheen de levensfase te garanderen.



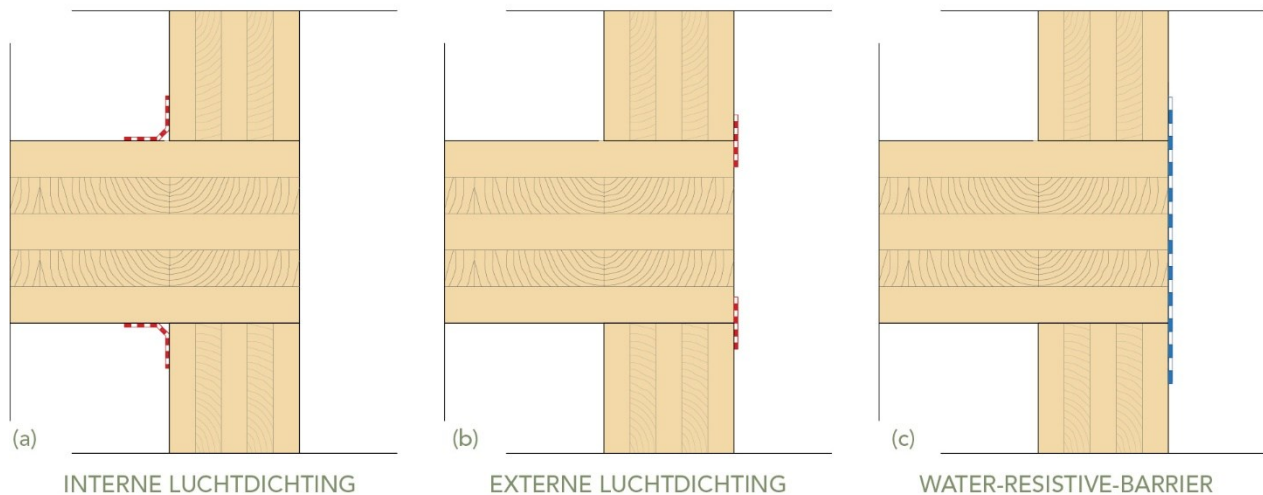
Figuur 45 – Voorbeeld van een gelijkaardige schrijnwerkverbinding als figuur 44. De IR thermografie toont echter geen luchtlekken, ondanks de aanwezigheid van zichtbare delaminatie in het paneel. Deze zone van het paneel werd doorheen de werffase niet bevochtigd (Kalbe et al., 2023).

Uit dit onderzoek kan men concluderen dat een CLT-paneel met correct luchtdichte aansluitingen inderdaad als luchtdicht kan beschouwd worden. Voor een hoge zekerheid draagt een vijflaags paneel een hogere voorkeur dan een drielaags. Men mag hier echter enkel op rekenen op de theoretische luchtdichtheid als men garantie kan bieden dat de panelen – met name het kopse hout – niet overmatig blootgesteld zullen worden aan neerslag in de bouwphase. De effectieve luchtdichtheid van de panelen zal dus indirect afhangen van de detailgraad en naleving van het vochtbeheersplan. Volledige waterdichtheid is in het vochtige Belgische klimaat, en breder in lijn met de onderzoeken van Lars Olsson in Zweden, niet haalbaar zonder vorm van weerbescherming (Olsson, 2021; Kalbe et al., 2023). Mogelijks kan zijdelingse verlijming van de planken in productie dit fenomeen op lange termijn enigszins beperken (Kuk et al., 2019). Er zijn slechts enkele fabrikanten die deze optie aanbieden en de meerkost van dergelijke panelen is aanzienlijk (Douglas & Karacabeyli, 2013). Om een correcte luchtdichtheid te blijven garanderen in levensduur, los van de informatie uit productfiches, dient men dus te garanderen dat de bevochtiging van de panelen minimaal blijft. Hoe gedetailleerder men dit kan garanderen vanuit een vochtbeheersplan, hoe dichter de luchtdichtheid van het paneel zal blijven bij de voorgeschreven productwaarden.

Continuïteit als basis

De effectiviteit van luchtdichting binnen CLT-constructies wordt niet alleen bepaald door de intrinsieke eigenschappen van de panelen, maar in grote mate door de manier waarop een continue luchtdichtingslaag kan worden gerealiseerd. Dit impliceert een doordachte

detaillering van aansluitingen, doorvoeren en afwerkingen (Time, 2020; Skogstad et al., 2011). In het ontwerp en de uitvoering van CLT-constructies dient luchtdichtheid niet als een optelsom van afzonderlijke componenten te worden beschouwd, maar als een coherent systeem tussen paneel enerzijds en aansluitingen anderzijds. Doorgaans wordt de luchtdichtheid tussen verschillende systemen voorzien door het simpel aftapen van de naden met een luchtdichte tape. Figuur 46a en b illustreert hoe dit op twee manieren kan gebeuren:



Figuur 46 - Luchtdichtingsmogelijkheden voor de aansluiting van een buitenwand met een tussenvloer (Laminated Timber Solutions, 2019).

Samenloop met het WRB

Het weersbeschermsmembraan dat wordt toegepast binnen het principe van de tweetrapsdichting voor waterbeheer, internationaal ook aangeduid als de *Water-Resisivet-Barrier* (WRB) (RDH Building Science, 2021a), kan een dubbele functie vervullen. Enerzijds vormt het tijdens de werf- en operationele fase een beschermende barrière tegen externe vochtinfiltratie, anderzijds kan het – mits correcte detaillering – ook fungeren als luchtdichtingslaag (Skogstad et al., 2011). Een adequate uitvoering vereist hierbij een voldoende overlap in de naden om luchtlekages te vermijden. Tal van dergelijke membranen, waaronder de gekende *Solitex Adhero* (Pro Clima, 2025a), kenmerken zich door hun permeabiliteit voor waterdamp, terwijl ze tegelijkertijd ondoorlatend zijn voor lucht. Deze combinatie maakt dat deze methode in de internationale praktijk breed wordt toegepast, aangezien ze niet alleen de luchtdichtheid optimaliseert, maar ook bijdraagt aan een doeltreffend vochtbeheer. Men kan het lokaal aanwenden, bijvoorbeeld in figuur 46c, of doorgetrokken over de gehele wand. De keuze hiervoor is afhankelijk van het risicoprofiel.

Belgische regelgeving

Bij het opstellen van deze scriptie is er in de EPB-regelgeving nog geen expliciete luchtdichtheidseis opgenomen (Vlaamse Overheid, 2025). Deze parameter wordt echter wel in aanmerking genomen bij de berekening van het E-peil via primair energieverbruik, meer bepaald door de beoordeling van de verliezen door infiltratie en exfiltratie. Een luchtdichte gebouwschil kan in die zin voordelig zijn in de berekening van het E-peil. De informatie over de luchtdichtheid van het gebouw wordt verkregen door een luchtdichtheidsmeting. Indien het resultaat van dergelijke pressurisatieproef (ook wel blowerdoortest genoemd), uitgedrukt in de luchtdoorlatendheid v_{50} , beter is dan de ontstenteniswaarde ($12 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^3)$), kan het in de EPB-berekening in aanmerking genomen worden om het E-peil met tien tot vijftien punten te verbeteren (WTCB, 2015); Vlaamse Overheid, 2025).

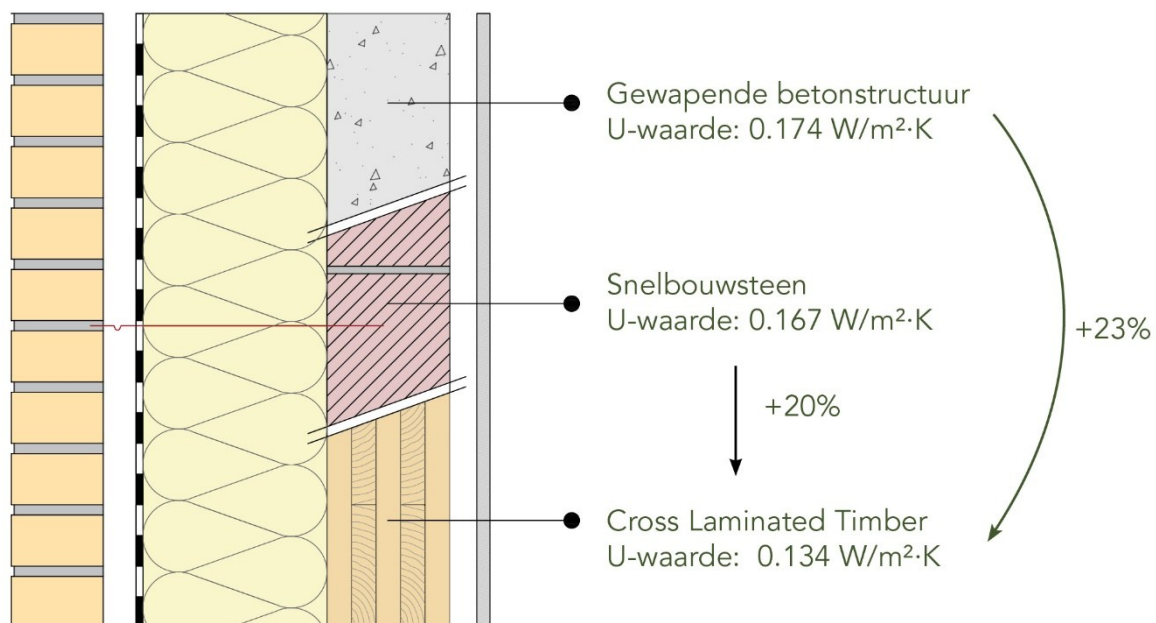
Wanneer men duurzaamheidsambities heeft, zoals een passieflabel, heersen er wel luchtdichtheidseisen. Deze wordt uitgedrukt op basis van het infiltratievoud n_{50} met als eenheid vol/h. Er heerst een expliciete eis waarin n_{50} kleiner of gelijk aan $0,6 \text{ h}^{-1}$ dient te zijn, als nodige voorwaarde voor dergelijk label (Siga Swiss, 2020a; WTCB, 2015).

3.2.3.4. Warmtebeheersing

Thermische weerstand van CLT

Het vuren hout dat wordt toegepast in CLT-panelen heeft een intrinsiek lage warmtegeleidingscoëfficiënt λ , variërend tussen $0,10$ en $0,18 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ afhankelijk van de gebruikte densiteit van het hout. De lijmlagen hebben hierop een verwaarloosbare invloed (Stora Enso, 2020; Blommaert et al., 2025). Deze λ -waarde ligt aanzienlijk lager dan bij conventionele structurele materialen zoals gewapend beton of metselwerk. Afhankelijk van de paneeldikte kan CLT hierdoor een substantiële bijdrage leveren aan de thermische weerstand van de gebouwschil (Douglas & Karacabeyli, 2013).

Ter illustratie is in figuur 47 een traditionele geventileerde spouwmuur geanalyseerd waarbij drie bouwsystemen, met identieke diktes van 140 mm , worden vergeleken. De U-waardebepaling, uitgevoerd conform de normering, toont aan dat CLT bij eenzelfde constructiedikte een thermische optimalisatie van twintig procent of meer oplevert ten opzichte van metselwerk of beton.



Figuur 47 - Thermische weerstand van CLT-panelen. Een berekening van de U-waarde voor het eendimensionaal warmtetransport van een wandopbouw bestaande uit volgende lagen: wind- en regenscherm (3 mm), minerale wol (160 mm), structurele drager (140 mm), leidingenspouw (30 mm) en geschilderde gipsplaat (22 mm). Een vergelijking van de drie verschillende structurele dragers illustreert de thermische weerstand inherent aan CLT-panelen (Janssens, 2022b; De Vree, 2025)

Het verschil in U-waarde is significant en kan bovendien worden vertaald naar een besparing in isolatiedikte: bij toepassing van minerale wol in deze opstelling betekent dit een equivalente reductie van circa twee centimeter. Dit thermische voordeel wordt echter niet altijd expliciet meegenomen in de kostenanalyse van CLT-gebouwen in regio's met een beperkte houtbouwtraditie, terwijl het potentieel een belangrijke compensatie biedt voor de initieel hogere materiaalkost (INBO, 2021).

De thermische weerstand van bouwcomponenten is bepalend voor het realiseren van energie-efficiënte gebouwconcepten zoals BEN-woningen of passiefhuizen. Een hoge weerstand beperkt warmteverliezen en verlaagt de energievraag voor verwarming en koeling. In passiefbouw wordt bijvoorbeeld gestreefd naar een U-waarde ruim onder de wettelijke norm om de verwarmings- of koelingsvraag onder 15 kWh/m².jaar te houden. Materialen zoals CLT kunnen hierbij bijdragen door hun intrinsieke isolatiewaarde, zonder nood aan overmatige materiaaltoename. (Passive House Institute, 2024; Siga Swiss, 2020b).

Hygrothermische impact op de energieflex

Een doctoraatsonderzoek aan Lund University onderzocht de impact van vochttopslag, met name door condensatie, op het warmtetransport in wandopbouwen. Tijdens de wintermaanden is er een vochtflux doorheen de structurele drager, in deze scriptie CLT. Dat vocht wordt opgenomen in het materiaal, door capillaire condensatie. Dat zorgt voor een warmteafgifte, en dus een energiewinst. In droge zomerse periodes droogt het materiaal weer uit, wat resulteert in energieverliezen. Deze vorm van latent warmtetransport kan een seizoensbufferende werking hebben op de energieverliezen van een wand. Dit blijft echter nog een zuiver theoretisch kader waarvan het effect van dit fenomeen dient echter nog verder becijferd dient te worden (Ranefjård, 2024).

Locatie van het isolatiepakket

Voor CLT-constructies is het sterk aangeraden om het isolatiepakket aan de buitenkant van de panelen te plaatsen. Dit geldt eigenlijk voor alle klimaten, maar in het bijzonder voor koude vochtige klimaten als het Belgische. Er zijn hiervoor drie significante redenen te benoemen (Douglas & Karacabeyli, 2013):

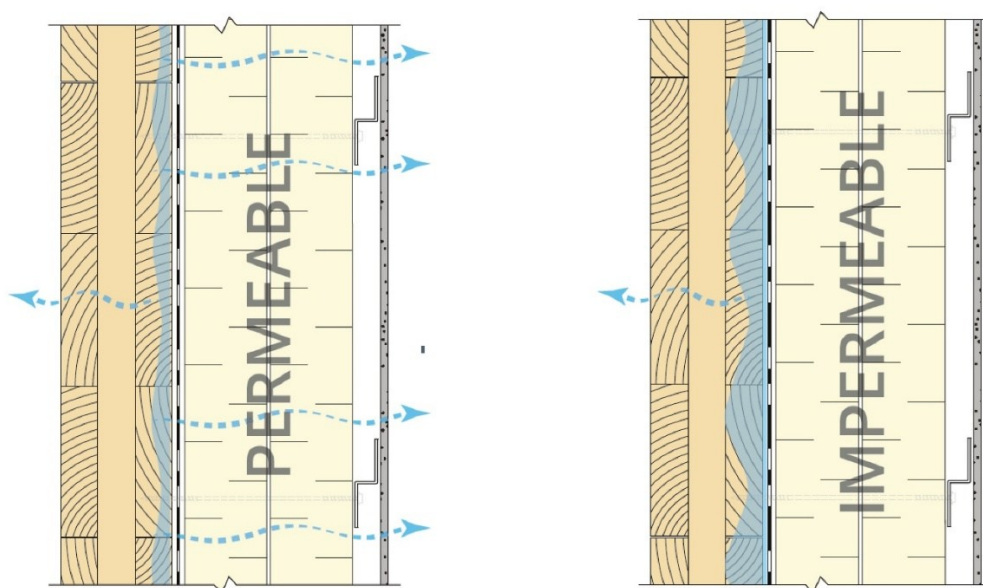
1. De plaatsing van de thermische isolatie aan de buitenzijde zorgt ervoor dat de isolatielaag continu kan worden aangebracht, terwijl binnenisolatie onderbroken zou worden ter hoogte van vloeren en binnenwanden die aansluiten op de buitenwanden of het dak. Continuïteit in de isolatieschil is cruciaal voor het beperken van thermische bruggen.
2. De buitenisolatie beschermt de CLT-structuur en het luchtdichtingssysteem tegen temperatuurextremen (Lstiburek, 2010), waardoor deze componenten minder blootgesteld worden aan schommelingen en dus minder uitzetten of krimpen. Dit laatste kan zorgen voor heel wat vochtproblematiek doorheen de levensfase vanwege micro-scheuren.
3. In koude klimaten houdt buitenisolatie het hout in een relatief warme en droge omgeving, wat leidt tot een lagere relatieve oppervlaktevochtigheid en een verminderd risico op microbiële groei. Bovendien minimaliseert buitenisolatie de kans op vochtopbouw in CLT als gevolg van convectieve luchtstroming en condensvorming.

Soms zijn er echter ook momenten waar binnenisolatie evident is. Hoewel CLT enigszins massa biedt voor geluidsisolatie, kan extra binnenisolatie bijvoorbeeld bijdragen aan verbeterde akoestische prestaties in gebouwen zoals appartementen, hotels of kantoren waar interne geluidsisolatie tussen ruimtes belangrijk is. Binnenisolatie wordt het meest toegepast in de renovatie van bestaande gebouwen. Gezien CLT nog een relatief jong product is, komt een binnenisolatie-verhaal vanuit dit oogpunt nog niet frequent voor (Gagnon & Karacabeyli, 2019).

Om de drie bovengenoemde redenen voor buitenisolatie aan de panelen te garanderen, bestaat er bijvoorbeeld in de Amerikaanse norm een regelgeving over hoeveel procent van de totale isolatiedikte zich aan de binnenkant bevindt. Deze zijn oorspronkelijk ingevoerd om het risico op condensvorming aan de koude zijde van de panelen te mitigeren. De regelgeving beschrijft dat de R-waarde van het isolatiepakket aan de buitenzijde in normale ruimtes meer dan 50% van de totale R-waarde van de wand moet bevatten. In vochtige ruimtes wordt dit 65%. Daarenboven moet de binnenisolatie steeds een dampopen karakter hebben, zodanig dat inwaartse droging nog steeds mogelijk blijft (RDH Building Science 2021a).

Ideale isolatiesoort voor CLT

Binnen de bouwsector bestaat er een scala aan isolatietypes, elk met hun ideale toepassing. Ook bij CLT-constructies draagt een bepaald type isolatiematerialen de voorkeur. De keuze hiervoor ligt in lijn van de vochtbeheersing van de gebouwschil. Doorheen dit hoofdstuk is consequent verwoord hoe belangrijk het is bij CLT-structuren om inwaartse, maar vooral uitwaartse droging te stimuleren door een ademende dampregulerende opbouw. Wanneer men hier kiest voor een dampremmende of zelfs dampdichte lagen, hypothekeert men stevig de drogingscapaciteit. Een simulatie-onderzoek door A. Blommaert naar houtrotfenomenen toonde aan dat wandopbouwen voorzien van dampdichte PUR-isolatie in het Belgische klimaat ongeveer 5.5 maanden vereisten om tot een veilig vochtgehalte terug te keren. Dezelfde wand en blootstelling met cellulose-isolatie vereiste 3 maand, minerale wol slechts twee maand bij natuurlijke droging (Blommaert et al., 2025). Onderzoek door V. Kukk naar hoog prestatieve CLT-wandopbouwen bevestigt dit onderzoek (Kukk et al., 2022). Wanneer men dit combineert aan de bevinding dat elke structuur in België, eender welke constructiemethode, doorheen werffase aan vocht zal blootgesteld worden, dan dient het overduidelijk te zijn dat dampremmende isolatie nefaste gevolgen zal hebben voor de CLT panelen. De gevolgen bij een hygroscopisch natuurlijk materiaal zijn echter nog groter dan een structuur van minerale basis, zoals metselwerk of beton. Figuur 48 illustreert schematisch hoe het vocht zich kan gaan ophopen in de structuur wanneer dit water niet uitwaarts kan uitdrogen. Hierbij dient wel de kanttekening gemaakt te worden dat bij verticale elementen de opname aan het oppervlak bijzonder minimaal zal zijn vanwege gravitaire afstroming en een afwezigheid van blootgesteld kops hout (Clifford, 2025; RDH Building Science, 2021a).



Figuur 48 - Drogingscapaciteit en -richtingen van twee wandopbouwen bij het gebruik van dampopen wandopbouw (links) en dampdichte wandopbouw (rechts) (RDH Building Science 2021a).

	Isolatietype	λ -waarde [W/(m.K)]	Gangbare isolatiedikte*	μ d-waarde [m]	Ademend vermogen	Droging CLT	Voordelen	Nadelen
Mineraal	Glaswol	0,032	110 mm	0,11	Permeabel	+++	Dampopen	Energie-intensief in productie
	Rotswol	0,035	120 mm	0,25	Permeabel	+++		
Natuurlijk	Cellulose (matvorm)	0,038	125 mm	0,25	Permeabel	+++	Dampopen	Verlaagde efficiëntie wanneer vochtig
	Hennep	0,040	130 mm	0,36	Semi-permeabel	+++		
	Houtvezel	0,040	130 mm	0,65	Semi-permeabel	+++		
	Kurk	0,040	130 mm	2,28	Semi-permeabel	-		
Synthetisch	EPS	0,032	110 mm	3,50-5,50	Semi-Impermeabel	-	Thermische efficiëntie onder alle omstandigheden	Dampdicht
	PIR	0,023	75 mm	4,45 - 7,50	Semi-Impermeabel	--		
	XPS	0,029	90 mm	22,50 - 26,10	Semi-Impermeabel	---		
	PUR	0,025	90 mm	18,10-90	Semi-Impermeabel	---		

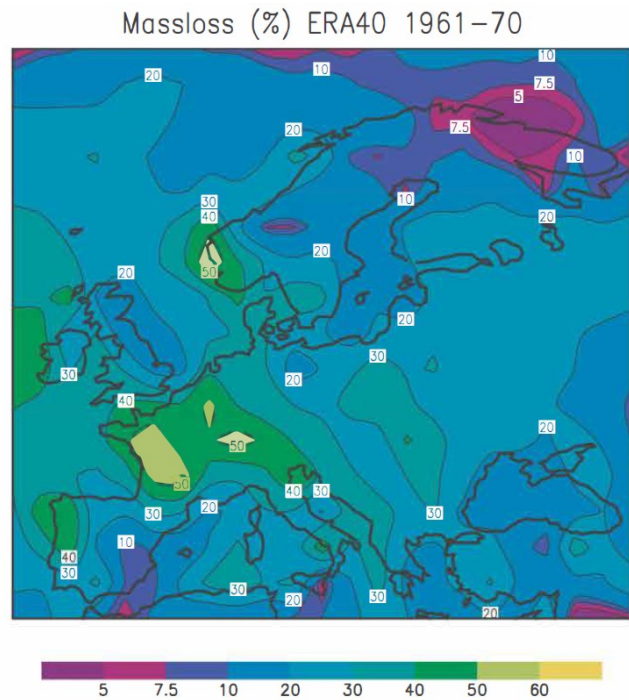
* Voor de minimale isolatiedikte werd gebruik gemaakt van een wandopbouw bestaande uit volgende lagen, met een U-waarde van 0,18 W/m²K:
 Gevelsteen (100mm) - Luchtsponw (40mm) - Regenscherm (3mm) - Isolatie (afh.) - CLT (120mm) - Elektrospouw (30mm) - Gipsplaat (12mm)
 De bekomen dikte is afgerond naar de dichtsbijliggende gangbare isolatiedikte.

Tabel 5 - Frequent gebruikte isolatiematerialen bij CLT-constructies (Yoo et al., 202; De Vree, Laminated Timber Solutions, 2025)

Tabel 5 geeft een overzicht van de meest gangbare isolatiematerialen binnen het Belgische bouwklimaat. De tabel brengt de thermische geleidbaarheid en diffusieweerstand van deze materialen in kaart, en rangschikt ze op basis van hun geschiktheid en gebruiksfrequentie in combinatie met CLT-constructies. Hoewel natuurlijke isolatiematerialen voldoende ademend werken in wandopbouwen, en in vele gevallen ook vochtbufferend werken (Kukk et al., 2022), worden deze soorten slechts sporadisch gebruikt in België. Dit kan komen vanwege hun verwerkbaarheid in het geval van losse vezels en de arbeidsintensiviteit die hiermee gepaard gaat. Uit een gesprek met Woema en Laminated Timber Solutions, blijkt hier ook vanuit de bouwheer weinig animo voor te zijn (Woema, Laminated Timber Solutions, persoonlijke communicatie, maart 2025).

Algemeen gesproken wordt bij CLT-structuren de voorkeur gegeven aan semi-rigide tot vaste isolatieplaten. Deze keuze garandeert een homogene en vlakke aansluiting op het CLT-opervlak, wat de uitvoering van een doorlopende en thermisch efficiënte isolatieschil vereenvoudigt. Bovendien minimaliseert het gebruik van dergelijke platen het risico op verzakking van de isolatie in het geval er toch vocht de isolatie bereikt. Mechanische bevestiging via schroeven en pluggen wordt in dit geval als de meest grondige verankeringsmethode beschouwd (Gagnon & Karacabeyli, 2019)

Vanuit een verkennende studie en gesprekken rond de Belgische CLT-bouwpraktijk, blijkt dat er toch relatief frequent gekozen wordt voor synthetische isolatiematerialen in combinatie met CLT-panelen. Dit is opmerkelijk, aangezien binnen internationale vakliteratuur, handboeken, simulaties en bouwculturen met uitgebreide ervaring in CLT-toepassingen zelden tot nooit expliciete aanbevelingen worden gegeven voor het gebruik van dampremmende isolatiematerialen in een gelijkaardig klimaat. In zeer tropische klimaten met uitgesproken seizoenen kan dit voor sommige toepassingen wel een optie zijn (Douglas & Karacabeyli, 2013). Aanvullend kan men de opmerking stellen dat de warmteflux doorheen de wand na bevochtiging het kleinste zal zijn bij synthetische isolatiematerialen, en hierdoor de keuze kan maken voor synthetisch isolatiemateriaal. Een simulatie-onderzoek door A. Blommaert voor verschillende wandopbouwen toonde dit aan. Zij stelde vast dat de warmteflux bij minerale wol, wat ideaal is voor de droging van CLT achteraf vanwege zijn lage diffusieweerstand, een verhoogde warmteflux tot 70% kende in het eerste verwarmingsseizoen (Blommaert et al., 2025). Dezelfde wandopbouw met PUR-isolatie toonde de laagste warmteflux aan, wat het voordeligste is. Anderzijds illustreert figuur 49 via simulaties door H. Viitanen voor het VTT Technical Research Centre of Finland dat België en delen van Frankrijk de meest risicovolle regio's in Europa zijn voor houtaantasting (Viitanen et al., 2010). Opbouwen bestaande uit dampremmende synthetische isolatiematerialen spelen dus in de kaart van schimmelaangroei bij de panelen. Desondanks wordt in onze regio's toch nog frequent gekozen voor synthetische isolatiematerialen, vermoedelijk als gevolg van bouwgewoonten die voortkomen uit de traditionele toepassing van minerale bouwmaterialen. Verder kan dit erop wijzen dat energetische performantie de voorname drijfveer is in de Belgische bouwsector, terwijl kennis over de specifieke vochttechnische eigenschappen van houtconstructies minder wijdverspreid lijkt. Tenslotte is een EPB-regelgeving iets wat men verplicht dient aan te tonen binnen een bouw dossier, en is een vochtbeheersplan dat (nog) niet. Vanuit een analyse van internationale Best-Practices lijkt het gebruik van dampremmende synthetische isolatiematerialen voor het Belgische en equivalente klimaten echter sterk afgeraden.



Figuur 49 - Simulatie van het verlies in massaprocent van een houten proefmonster blootgesteld aan verschillende Europese klimaten. België en Frankrijk scoren hierin het hoogst (Viitanen et al., 2010).

Een ideale gebouwschil bevat ademende thermische isolatie in (semi-) rigide vorm aan de buitenzijde van het paneel.



3.2.4. Standaardopbouwen in de gebouwschil

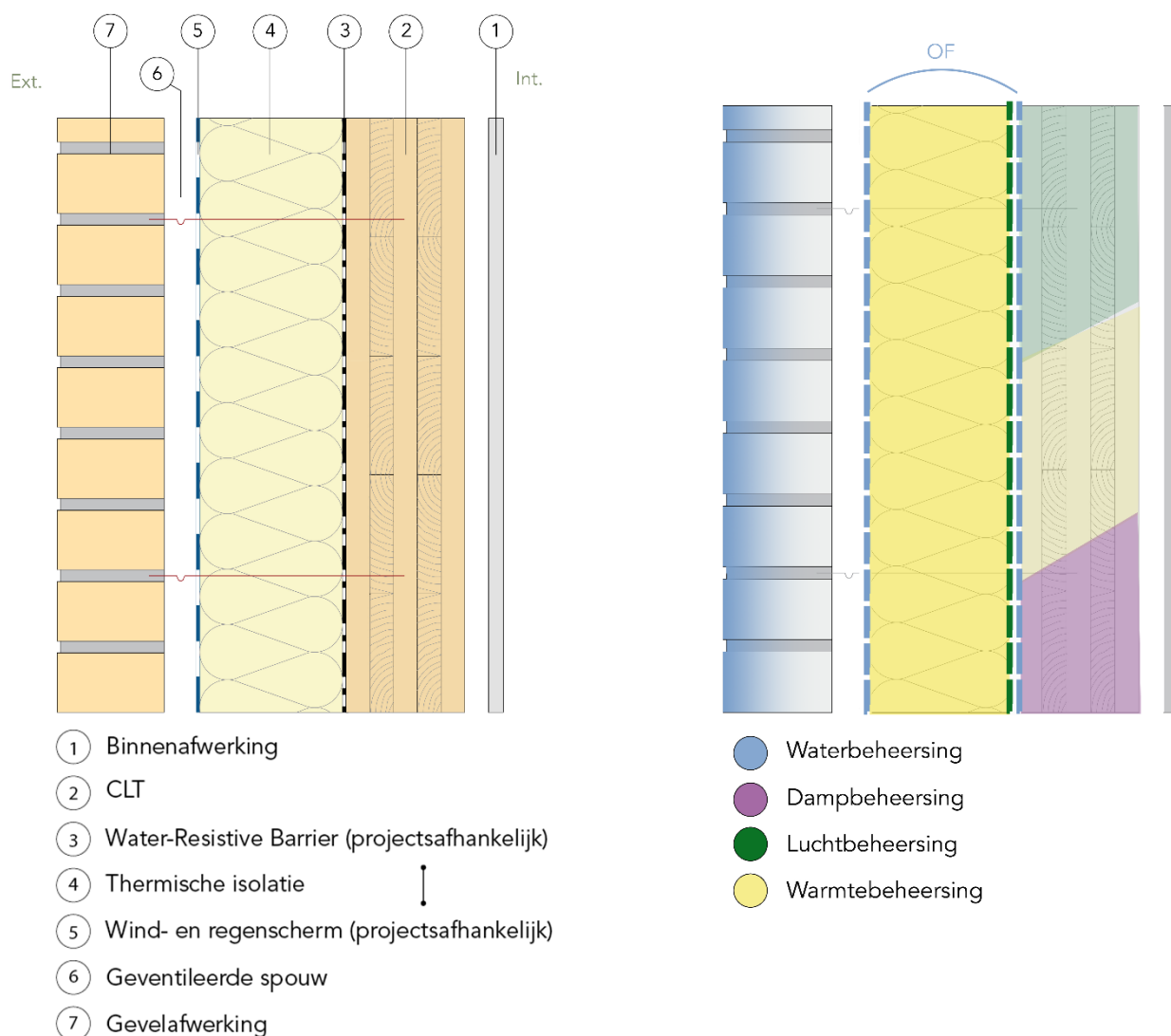
Binnen een doordachte en performante gebouwschil is het van essentieel belang om in eerste instantie globaal over het specifieke constructieonderdeel te reflecteren en een stap achteruit te nemen. Het besef over welk soort opbouw het intrinsiek gaat, beïnvloedt rechtstreeks de onderlinge afstemming van de beheersingslagen. Zo is een geïntegreerde aanpak rond de barrièrelagen bij horizontaal georiënteerde CLT-panelen van groter belang dan bij verticale panelen, gezien het verhoogde risico op stagnerend water in werffase. Daarnaast kan een CLT-paneel worden uitgevoerd met een woon-zichtkwaliteit (WSI), waarbij de visuele sortering van de lamellen expliciet is bedoeld om zichtbaar te blijven in de afgewerkte constructie. Dit heeft onvermijdelijk implicaties voor de opbouw en detaillering van de gebouwschil (Laminated Timber Solutions, 2019).

Colin Shane, regionaal directeur bij RDH voor de westkust van de Verenigde Staten—een klimaatzone die gelijkenissen vertoont met België—benadrukt dat beschermingslagen, met name deze tegen vochtindringing, niet als een ‘one-stop-shop’ oplossing mogen worden beschouwd. Zoals uit de voorgaande hoofdstukken herhaaldelijk blijkt, kunnen gebouwlasten elkaar versterken, maar ook conflicteren. In een vochtig klimaat, zoals het Belgische, is er dan geen eenduidige oplossing voor de gebouwschil. De uitdaging bestaat erin een optimale beschermingsgraad te realiseren, waarbij zowel onderdimensionering als overdimensionering worden vermeden. Een overkill bescherming leidt immers tot onnodige kosten, terwijl een ontoereikende bescherming het risico op degradatie verhoogt. Shane stelt dan ook dat beheersingsmaatregelen het best kunnen worden benaderd als een toolbox: het is van cruciaal belang om het juiste instrument op de juiste plaats én op het juiste moment toe te passen, zodat vochtbelasting in elke fase adequaat wordt geadresseerd (Shane, 2024).

De tijdsdimensie van de gebouwschil blijft binnen CLT-constructies vaak onderbelicht. Zowel literatuur als praktijkervaring tonen aan dat ontwerpbeslissingen zich doorgaans beperken tot de afgewerkte opbouw bij oplevering, zonder voldoende aandacht voor de verschillende constructiefasen of de operationele levensduur. In een vochtig klimaat als België is dit problematisch: blootstelling aan weersinvloeden tijdens de bouwfase vormt een reëel risico, zeker in een context waar CLT-expertise zich nog ontwikkelt. Bovendien vereist ook de veroudering van barrièrelagen op lange termijn structurele aandacht. Een ontwerp dat enkel focust op de oplevering is bijgevolg onvolledig en verhoogt het risico op degradatie. Een Best-Practice benadering van de gebouwschil integreert daarom expliciet de noden van zowel de verschillende bouw- als gebruiksfasen.

In dit hoofdstuk wordt deze thematiek verder uitgediept door middel van een brede analyse van vier klassieke Best-Practice opbouwen met CLT-panelen: een buitenwand, een tussenvloer, een plat dak en een hellend dak worden laag per laag ontleedt. Deel 3.3. behandelt vervolgens de aansluitingsdetails tussen deze opbouwen.

3.2.4.1. Wandopbouw



Figuur 50 - Barrièrelagen Best-Practice wandopbouw. De keuze tussen een WRB of wind- en regenscherm is afhankelijk van de gekozen opbouw.

1. Binnenafwerking

Onder het motto 'Ruwbouw is Afwerking' wordt er in België frequent gekozen om het CLT paneel bloot te laten vanwege de natuurlijke uitstraling. De oppervlaktekwaliteit van CLT-panelen wordt in 3 categorieën onderverdeeld en dient per zijde en per element gekozen te worden. Hout blijft een natuurlijk product; zelfs met de meest zorgzame en strenge houtselectie kunnen binnen de hieronder omschreven randvoorwaarden heel wat oppervlakteverschillen zichtbaar zijn en blijven. Toch zijn er binnen de productienorm ETA 09/0036 drie verschillende oppervlaktekwaliteiten vooropgesteld in figuur 51. Het spreekt voor zich dat een binnenafwerking uit CLT een A- of B-kwaliteitsklasse vergt. Dit heeft echter implicaties voor brandveiligheids- of akoestische eisen. Bovendien is een naakt CLT-paneel een stuk uitvoerings- en onderhoudsgevoeliger en kan men hierin lastig leidingen gaan inslijpen. Verder is het niet abnormaal om bij de NSI-kwaliteit panelen enige vorm van blauwschimmel te zien op sommige lamellen. Het is in dat geval wel belangrijk te controleren of het vochtgehalte op verschillende dieptes is conform de leveringskarakteristieken

(Laminated Timber Solutions, 2019; Persoonlijke communicatie, 19 maart 2025; Gagnon & Karacabeyli, 2019).



Figuur 51 - Oppervlaktekwaliteit CLT (Laminated Timber Solutions, 2019)

Conform de Belgische normering op het vlak van akoestiek en brandveiligheid, worden in veel gevallen bijkomende afwerkingslagen aan de binnenzijde van het CLT-paneel voorzien. In België is gipskarton op een secundaire structuur met elektrospouw een van de meest toegepaste binnenafwerkingen binnen CLT-constructies. Dit materiaal biedt niet alleen een doeltreffende oplossing voor akoestische performantie, maar ook flexibiliteit in afwerkingsmogelijkheden en leidingenwerk. Tegelijkertijd vergt de toepassing ervan bijzondere aandacht voor vochtbeheer, aangezien bevochtigde CLT-constructies bij voorkeur ook inwaarts kunnen drogen. Dit vergt een doordachte keuze van ademende binnenafwerking (Laminated Timber Solutions, 2019). In tegenstelling tot landen zoals Duitsland en Canada, waar regelgeving reeds specifieke maxima vastlegt op het aantal blootgestelde CLT-vlakken in een ruimte, ontbreekt een dergelijke richtlijn in veel andere regio's, waaronder België (Van De Kuilen, W, persoonlijke communicatie, juni 2024).

2. CLT-Paneel

Afhankelijk van de belasting op het paneel, zal deze een andere dikte aannemen. Tabel 6 presenteert frequente lamellaconfiguraties van wanden voor verschillende belastinggevallen. Gemiddeld heeft een wandpaneel van een klassieke CLT-bouw een dikte van tien tot twaalf centimeter (FPInnovations 2019; Laminated Timber Solutions, persoonlijke communicatie 12 maart 2025). Binnen het kader van deze scriptie zal echter niet ingegaan worden op de structurele dimensionering van panelen.

Structurele last	Configuratie lamella	Paneeldikte
Hoog (+5kN/m²)	vb. 3x45mm of 4x35mm	140mm of meer
Middel (1.5-5kN/m²)	vb. 3x30mm of 5x20mm	80-140mm
Laag (-1.5kN/m²)	vb. 4x20mm	80mm

Tabel 6 - Frequentie wanddiktes (FPInnovations, 2019)

3. Water-Resistive-Barrier (WRB)

In de literatuur wordt het begrip *Water-Resistive Barrier* (WRB) gebruikt om een membraan te beschrijven dat de CLT-panelen beschermt tegen externe weersinvloeden, zowel tijdens de werffase als gedurende de gebruiksfase van het gebouw. Dit membraan functioneert in de praktijk als een waterafstotende laag direct tegen de panelen die deze tijdelijk beschermt in de constructiefase, met name wanneer andere gevelelementen nog niet zijn aangebracht. In bepaalde houtbouwklimaten wordt het gebruik van een WRB soms achterwege gelaten vanwege een lagere meteorologische belasting. In België daarentegen, waar bouwwerken in vrijwel elk seizoen worden geconfronteerd met aanzienlijke neerslag, is de toepassing van een neerslagwerend membraan geen overbodige maatregel tijdens de werffase.



Figuur 52 - WRB aangebracht als weersbescherming over de gehele wandopbouw (Ronald McDonald House, British Columbia)

De keuze van het membraantype is van cruciaal belang. Enerzijds moet het een sterke waterremmende werking hebben om indringing van vocht tot een minimum te beperken. Anderzijds moet het voldoende dampopen zijn om de panelen de mogelijkheid te bieden om resterend vocht te doen drogen. Hoe lager de μ d-waarde van dit membraan, hoe voordeliger. Gekende voorbeelden van dergelijke membranen zijn SIGA Wetguard en Solitex Adhero. Deze kunnen zowel in de fabriek als op de bouwplaats worden geïnstalleerd. fabrieksapplicatie biedt hierbij een voordeel,

aangezien de panelen hierdoor reeds beschermd zijn tegen vochtaccumulatie tijdens transport en opslag, waar dat laatste een extra risico in de Belgische bouwpraktijk vormt door een gebrek aan kennis en ervaring omtrent opslag. Fabrieksmontage wordt echter zelden toegepast. Indien het membraan pas op de bouwplaats wordt aangebracht, is het van essentieel belang dat dit zo snel mogelijk na de montage van de droge panelen gebeurt. Indien dit niet mogelijk is, dient men te wachten tot wanneer de panelen opnieuw een correct vochtgehalte hebben. Zowel een gesprek met Philip Courtoy, Timber Building Consultant bij Woodshapers en LTS, als een studie van Lars Olsson, claimen dat het aanbrengen van beschermingsfolies en - membranen simpelweg niet mogelijk is bij een vochtgehalte hoger dan 20% (RDH Building Science 2021a, 2021b; Olsson, 2021; P. Courtoy & G. Van Hoorebeke, persoonlijke communicatie, 19 maart 2025).

De continuïteit van het WRB is een kritische factor. Voldoende overlapping aan de naden en extra aandacht voor de aansluiting rond openingen en doorvoeringen zijn noodzakelijk om een efficiënte bescherming te garanderen. Binnen de huidige wetenschappelijke discussie wordt de toepassing van het WRB in de context van wandpanelen nog geëvalueerd. Onderzoek en metingen door de Britse houtbouwexpert Nick Clifford suggereren dat de houtvezeloriëntatie van de panelen ervoor zorgt dat vocht voornamelijk via gravitair afstromend water naar de onderzijde van het paneel wordt geleid, waardoor de vochtopname langs het oppervlak beperkt blijft. Anderzijds is de kop en voet van wandpanelen wel een

kritische zone waar wateraccumulatie kan optreden en waar gerichte maatregelen noodzakelijk zijn. Men kan, voornamelijk wanneer een wind- en regenscherm tegen de isolatie is toegepast, het WRB beperken tot een lokale bescherming aan de bouwnaden en het kopse hout. Dit kan een financiële en tijds winst opleveren (Clifford 2025; FPIInnovations 2019; Olsson 2021).

Afhankelijk van de wandopbouw kan het WRB eventueel vervangen worden door een wind- en regenscherm. Deze laag, aan de koude zijde van het isolatiepakket (zie punt 6), beschermt de isolatie mee tegen vochtaccumulatie. Doorgaans wordt slechts één van beide systemen toegepast, waarbij de keuze afhangt van de vochtgevoeligheid van het isolatiemateriaal. Vochtgevoelige isolatie maakt eerder gebruik van een WRB, die rechtstreeks op het CLT-paneel wordt geplaatst. De prestatie van het isolatiemateriaal zakt niet significant bij bevochtiging en zo is het paneel reeds in werffase beschermd. In de Amerikaanse bouwcontext is dit een klassieke manier om CLT-constructies te gaan beschermen (RDH Building Science, 2021b). Bij vochtgevoelige isolatiematerialen wordt sneller een regenscherm gekozen tegen dit isolatiemateriaal. Dit beschermt zowel het isolatiepakket als het CLT-paneel. Anderzijds is het paneel in werffase dan niet beschermd, waardoor een lokale bescherming aan de kop en voet van het paneel met een lokaal WRB een Best-Practice vormt.

4. Thermische isolatielaag

In het Belgische klimaat zou het plaatsen van thermische isolatie aan de buitenzijde van het CLT-paneel als basisstrategie moeten worden gehanteerd. Bij de materiaalkeuze geniet isolatie op basis van minerale of natuurlijke grondstoffen de voorkeur, gezien deze inherent meer dampopen zijn. Het volledige gevelsysteem aan de buitenzijde van het CLT-paneel dient namelijk zo dampopen mogelijk te worden uitgevoerd, inclusief de thermische isolatie (De Vree, 2019; RDH Building Science, 2021a).

De bevestiging van de isolatie gebeurt doorgaans mechanisch door middel van pluggen, voorzien van een rozet, die rechtstreeks in de CLT-structuur worden verankerd. Binnen de Belgische bouwpraktijk is minerale wol het meest gebruikte en technisch meest performante isolatiemateriaal voor CLT-wandopbouwen. Hoewel minerale wol een iets lagere thermische weerstand heeft dan synthetische isolatiematerialen en het biedt aanzienlijke voordelen op het vlak van vochtbeheer door optimale droging toe te laten. Bovendien is het relatief ongevoelig voor vocht en vormt geen voedingsbodem voor schimmeligroei en het behoudt zijn vorm en structuur doorheen de levensduur van de constructie (EcoTraject, 2016). Er lijkt - vanuit duurzaamheidsaspect - echter steeds meer interesse te groeien in het gebruik van natuurlijke isolatiematerialen voor CLT-opbouwen, zoals hennep. Het is semi-permeabel, is voldoende vochtresistent en is bovendien ook in plaatmateriaal te krijgen (Architectenbureau Ackroyd Lowrie, persoonlijke communicatie, 15 maart 2025).

Bij de dimensionering van de thermische isolatielaag wordt vaak in de ontwerpfase geanticipeerd op de vereiste isolatiedikte. In koude en vochtige klimaten, zoals in Zweden, wordt voor minerale wol doorgaans een minimale dikte van 15 cm gehanteerd, waarbij nog grotere diktes vereist zijn afhankelijk van de geambieerde U-waarde. Wanneer meerdere lagen isolatie worden toegepast, wordt aanbevolen om de naden verspringend te plaatsen om de thermische prestaties van de opbouw te optimaliseren (Gustafsson, 2019).

5. Wind- en Regenscherm

Bepaalde isolatiematerialen, zoals cellulose, vertonen een significante daling in thermische prestaties bij blootstelling aan vocht. Er bestaat bovendien het risico dat deze materialen als een soort vochtige spons fungeren, wat de CLT-structuur negatief kan beïnvloeden. Om dergelijke risico's te vermijden, is het in vochtige klimaten gebruikelijk om een regenscherm te plaatsen voor het isolatiepakket. De functie van dit scherm is analoog aan die van een WRB voor het CLT-paneel: het biedt bescherming tegen externe vochtbelasting en voorkomt ongecontroleerde waterinfiltratie in de achterliggende constructie (Structural Timber Association, 2017).

De noodzaak van een dergelijke laag is echter contextgebonden en wordt voornamelijk bepaald door de geveltypologie. Binnen een gesloten of niet-geventileerde gebouwschil kan deze laag als optioneel worden beschouwd. In vochtige klimaten worden dergelijke opbouwen echter niet sterk aanbevolen vanwege hun eentrapsdichting (Structural Timber Association, 2017). In het Belgische klimaat lijkt het logischer om een regenscherm te verwerken in de constructie met een geventileerde opbouw, om zo zowel het isolatiepakket als het CLT-paneel te beschermen. Een doorlopend WRB kan dan achterwege gelaten worden en zuiver lokaal gebruikt worden nabij bouwnaden en kopse zijden van panelen.

6. Gevelafwerking

CLT-wandopbouwen functioneren optimaal bij het gebruik van een geventileerde gevelafwerking. Hier zijn drie redenen voor te vinden (Douglas & Karacabeyli, 2013; Janssens, 2022c)

1. De luchtsponw fungeert als buffer tegen externe temperatuurschommelingen en draagt bij aan thermische stabiliteit. Dit effect is sterker bij gevelafwerkingen met hoge warmtecapaciteit, zoals baksteen, wat oververhitting in de zomer helpt beperken.
2. Een geventileerde luchtsponw achter de gevelafwerking laat toe dat eventuele vochtophoping, zowel door regeninfiltratie (versterkt door wind-driven rain) als capillaire condensatie, kan uitdrogen. Dit voorkomt langdurige blootstelling van de isolatielaag aan vocht, wat van deze laag een vochtige spons tegen de CLT-structuur kan maken.
3. Een open geventileerde sponw werkt drukvereffenend, waardoor de impact van windbelasting op de achterliggende lagen afneemt. Dit tempert de drukverschillen over de wandopbouw, wat de dampstroming en luchtdichtheid ten goede komt.

Er leeft vaak de misvatting dat houtmassiefbouw specifieke beperkingen oplegt aan gevelafwerkingen. Hoewel een geventileerde sponw bouwfysisch aangewezen is, betekent dit geenszins een beperking in materiaalkeuze: ook zware afwerkingen zoals traditioneel metselwerk zijn perfect combineerbaar met CLT-structuren. Deze misperceptie lijkt deels te zijn overgenomen uit ervaringen met houtskeletbouw, waar gevelvocht voor een groter aandeel naar binnen zal drogen en zware gevelafwerkingen dus een rol als bijkomende vochtbron voorziet voor de HSB-structuur. Bij CLT-opbouwen bevindt zich daarentegen meestal een regenscherm en isolatielaag vóór het dragende paneel, waardoor de vochtbelasting op het structurele element sterk gereduceerd wordt. Het is belangrijk dat ontwerpers deze ontwerpvrijheid correct communiceren aan de bouwheer, om onterechte

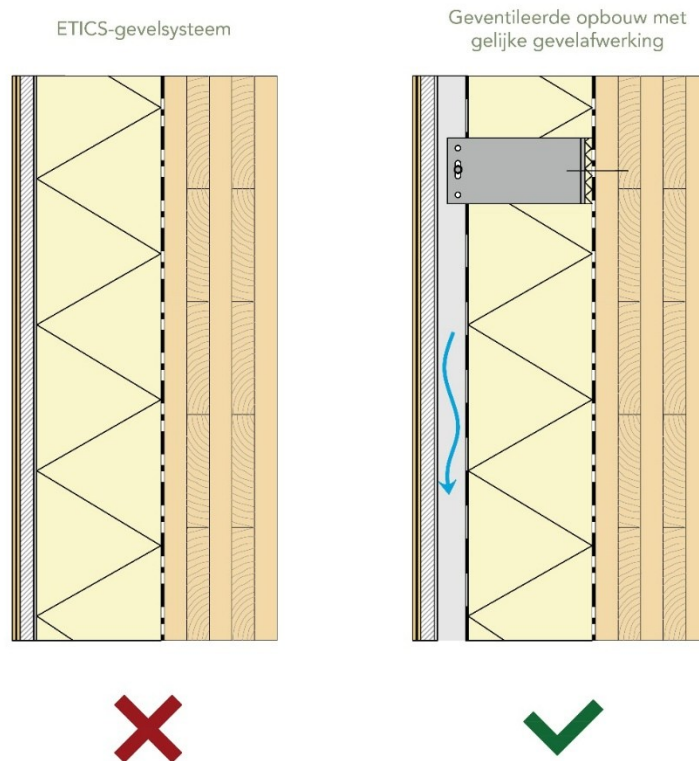
restricties in het afwerkingsconcept te vermijden (Bureau Bouwtechniek, persoonlijke communicatie, 4 april 2025).

CLT-wanden en gesloten gevelsystemen

Afgelopen decennia is er aanzienlijke belangstelling ontstaan voor eentrapssystemen in de gevelopbouw, zoals ETICS-wandopbouwen. Wanneer ze niet worden toegepast in combinatie met vochtgevoelige structurele dragers, bieden deze systemen aanzienlijke voordelen waarvan kostprijs en efficiëntie vaak doorslaggevend zijn. ETICS-systemen bestaan doorgaans uit een isolatielaag (meestal EPS-isolatie), gevolgd door hechtingsmortel, versterkingsgaas, pleisterlaag en een afwerkingslaag. Het kenmerkende van deze systemen is de eentrapsdichting, wat echter een verhoogd risico op inwendige condensatie met zich meebrengt (WTCB, 2014).

Om de hoeveelheid condensaat binnen aanvaardbare grenzen te houden, is het essentieel om de luchtdichtheid van de wand te waarborgen, evenals het voorzien van een performante dampdichting aan de binnenzijde. Deze vereisten kunnen echter moeilijk gerealiseerd worden binnen een CLT-paneel. De lucht- en dampdichtheid van CLT-panelen kan in de loop der tijd niet gegarandeerd blijven door het ontstaan van microscheuren in de lamellen. Dit maakt het noodzakelijk om een extra dampscherm aan de binnenzijde van de constructie aan te brengen, hetgeen de inwaartse droging van de panelen tegengaat (WTCB 2014; Douglas en Karacabeyli 2013; Kukk et al., 2021).

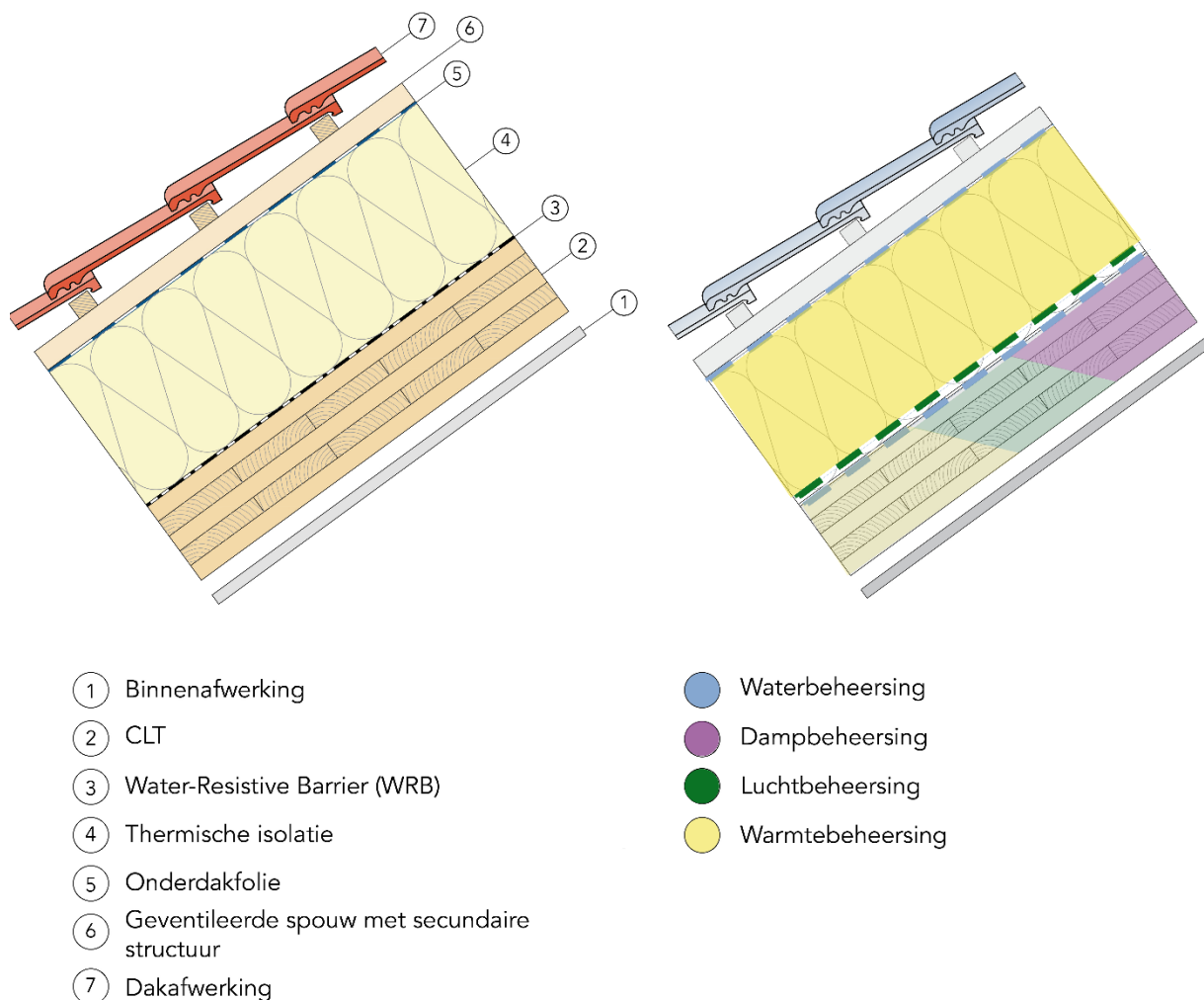
Daarnaast zijn veel van de lagen die in gesloten systemen worden gebruikt, zoals de isolatielaag (meestal EPS), sterk dampdicht. Dit bemoeilijkt de uitwaartse droging van de structuur, gezien de lage dampdoorlatendheid van EPS (μ -waarde van 50). Wanneer men daarnaast het Belgische klimaat in overweging neemt, waarin vochtbelasting zowel in de werffase als in de gebruiksfase kan optreden, betekent dit dat het vocht dat in de opbouw komt, vast komt te zitten zonder de mogelijkheid om te drogen. Buildwise adresseert dit in een WTCB-contact door simpelweg te stellen dat het systeem 'zo min mogelijk blootgesteld moet worden aan slagregen'. Dit biedt echter geen oplossing, zeker niet voor houtmassiefbouw. De afwezigheid van Europese referentiedocumenten of equivalente technische goedkeuringen (ATG) voor dergelijke wandopbouwen onderstreept de complexiteit en de risico's van deze benadering (WTCB, 2014).



Figuur 53 - ETICS opbouw vergeleken met een geventileerde gevel met equivalente afwerking. De rechteropbouw bevat een geventileerde luchtpouw.

Wanneer men desondanks kiest voor dit type gevelafwerking, wat begrijpelijk is vanwege de esthetische eenvoud, kan dit binnen een CLT-wandopbouw gerealiseerd worden door het toepassen van het principe van een geventileerde gevelafwerking. Hierdoor kunnen de vier bovengenoemde redenen voor een ademende buitengevel effectief worden aangepakt. Dit kan bijvoorbeeld worden bereikt door een secundaire structuur (bijvoorbeeld een SLS- of CLS-structuur, of zoals geïllustreerd in Figuur 53, via een aluminium of RVS secundaire structuur). In dergelijke gevelsystemen, is het tevens ook evident om te kiezen voor een WRB eerder dan een regenscherm. Dergelijke secundaire structuren vergen ongeveer 2-4 ankers per m², die systematisch het regenscherm zouden doorpensen (Michaux, 2022; WTCB, 2014).

3.2.4.2. Hellende daken



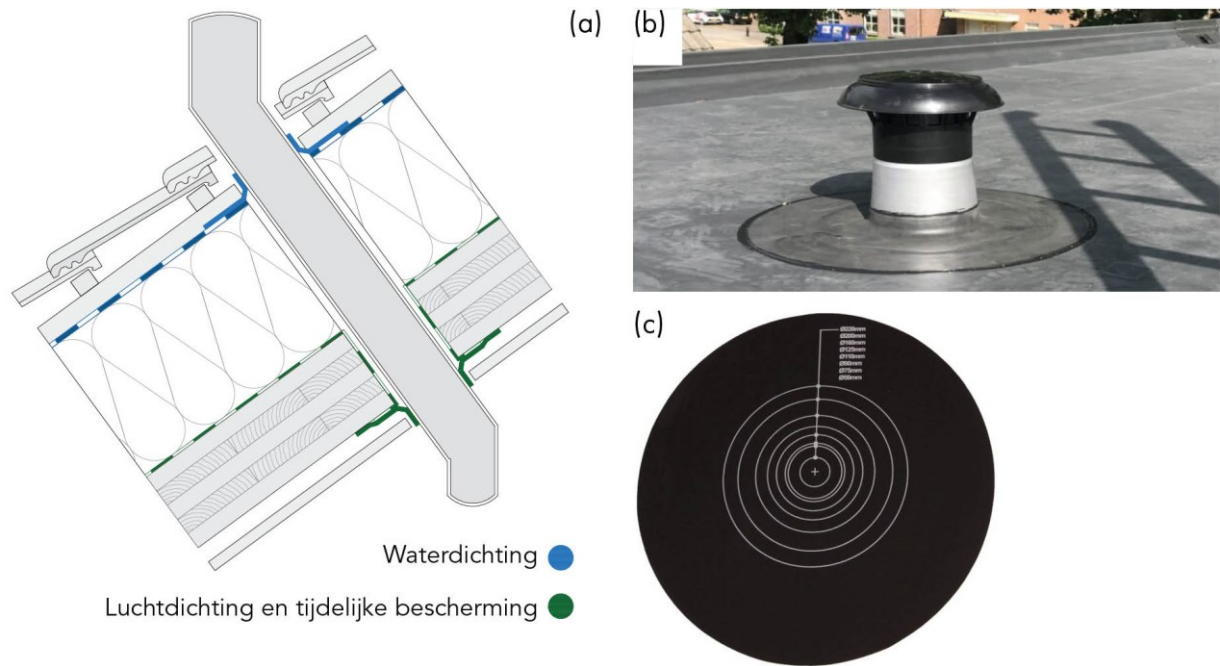
Figuur 54 - Barrièrelagen Best-Practice hellend dak

In essentie vertoont een hellend dakopbouw grote gelijkenissen met een wandopbouw. Net zoals bij een verticaal georiënteerde structuur, wordt ervoor gezorgd dat de dakhelling voldoende afschot heeft om de afvoer van neerslag via gravitatie te waarborgen. Hierdoor wordt stagnatie van water vermeden. Vanwege de grotere overspanningen en de verhoogde buigingsbelastingen zijn CLT-panelen in een dakopbouw doorgaans dikker dan in een wandtoepassing. Een minimale dikte van 15 cm wordt in dit opzicht als een goede richtwaarde beschouwd (SIGA Swiss, 2024; Gustafsson, 2019).

Een Best-Practice voor een hellende dakopbouw kan bijgevolg worden beschouwd als een licht geroteerde wandopbouw, met een vergelijkbare functionele opbouw van de barrièrelagen. Ook hier wordt een geventileerde dakafwerking aanbevolen, in combinatie met een aan de buitenzijde gepositioneerd thermisch isolatiepakket en een weerbestendig membraan (WRB) of onderdakfolie ter bescherming van de CLT-structuur. Hier wordt meestal een onderdakfolie gebruikt.

De continuïteit van barrièrelagen verdient bijzondere aandacht ter hoogte van openingen, schachten en doorvoeringen. Aansluitingen worden vaak gerealiseerd met tapes en voldoende overlap, zoals geïllustreerd in figuur 55a. Ter bescherming van de kopse zijde van CLT-panelen kan een bijkomende coating of membraan voordelig zijn. Bij doorvoeringen is

tape echter vaak onvoldoende betrouwbaar, aangezien bewegingen in leidingen de goede hechting kunnen ondermijnen. In dergelijke situaties geniet een manchet de voorkeur: een elastisch membraan met een kleinere diameter dan de leiding, waardoor een knellende afdichting ontstaat (figuur 55b en c). Het belang van een correcte uitvoering blijkt ook uit een statistische analyse van 27.074 schadegevallen door De Vos en Blommaert, waaruit blijkt dat vochtproblematieken circa 50% van de claims uitmaken, met doorvoeringen als frequent probleemgebied (De Vos et al., 2020).



Figuur 55 - Aansluiting van de gebouwschil op een doorvoering (a). Dit kan door middel van tapes maar gebeurt idealiter via een manchetmembraan, hier EPDM (b en c).

3.2.4.3. Tussenvloeren

Tussenvloeren ondervinden op het vlak van vochtbeheer in de afgewerkte constructie doorgaans minder impact van externe weersinvloeden, aangezien ze omgeven zijn door andere gebouwonderdelen. Hierdoor wordt de noodzaak tot tijdelijke bescherming van vloeren vaak onderschat. Eens de panelen zich in een wind -en waterdichte zone bevinden, kunnen de panelen inderdaad drogen tot hun veilig evenwichtsvochtgehalte. In een vochtig klimaat kan het echter niet voorkomen worden dat een vloer wordt blootgesteld aan atmosferische invloeden tijdens de werffase. Dit kan het gevolg zijn van vele oorzaken zoals logistieke vertragingen, een gebrek aan uitvoeringsroutine, of een bijzonder natte bouwperiode. Binnen een dergelijke context fungeert een vloeropbouw in de werffase niet anders dan een tijdelijk plat dak. Men kan bij tussenvloeren niet zoals bij platte daken, wat verder besproken wordt, een afschot gaan realiseren door de panelen zelf onder helling te plaatsen. De horizontaliteit van de CLT-panelen verhoogt het risico op plasvorming aanzienlijk. Dit brengt niet alleen veiligheidsrisico's met zich mee voor werfarbeiders, maar maakt de constructie tevens bijzonder kwetsbaar voor vochtindringing (Shane, 2024; Johns et al., 2024).

Een eerste fundamentele overweging bij het opstellen van een doeltreffend vochtbeheersplan voor vloeren betreft een grondige analyse van de gekozen vloeropbouw. Het is noodzakelijk om de fundamentele vraag te stellen over welk type vloersysteem het gaat:

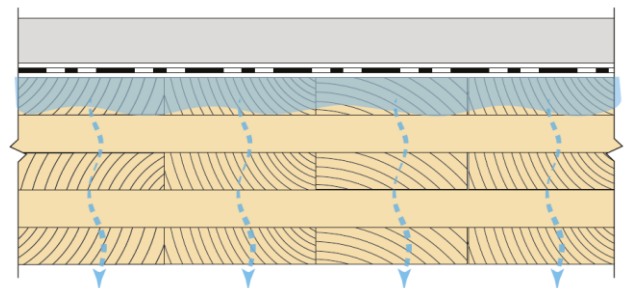
een nat of droog systeem, en welke implicaties dit heeft voor het vochtgedrag binnen de constructie.

Natte vloersystemen

Binnen CLT-constructies wordt veel aandacht besteed aan akoestische prestaties, aangezien de intrinsiek lage massa van massiefhoutconstructies vaak leidt tot een verminderde geluiddemping. Om deze reden wordt in meergezinswoningen en andere geluidsgevoelige gebouwen frequent gekozen om extra massa toe te voegen aan de vloeropbouw. Dit heeft bovendien voordelen met betrekking tot brandwerendheid en structureel gedrag. De meest courante methode om deze voordelen te realiseren, bestaat uit het aanbrengen van cementgebonden dekvloeren en afwerklagen bovenop de CLT-panelen (RDH Building Science, 2021b).

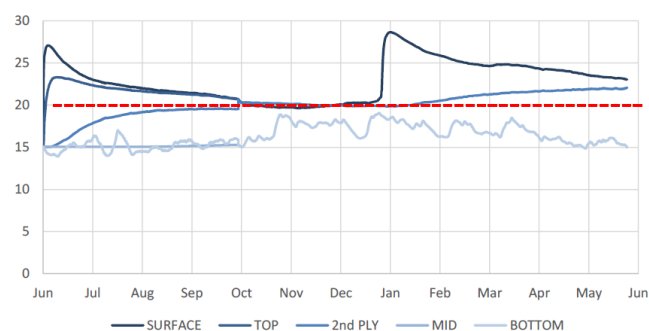
Bij de toepassing van dergelijke cementgebonden lagen moet echter rekening worden gehouden met de potentiële bevochtiging van het CLT-paneel door het vrijgekomen bouwvocht tijdens het uitharden van de cementgebonden laag. Gezien de gebruikelijke paneeldikte in vloertoepassingen, kan men slechts beperkt rekenen op neerwaartse droging (Fig.56).

Daarnaast vormt de cementgebonden laag bovenop de panelen een aanzienlijke damprem, wat eveneens de droging in opwaartse richting bemoeilijkt. Dit leidt tot een verhoogd risico op vochtaccumulatie in de bovenste lamellen van het paneel (RDH Building Science, 2021b). Een derde negatieve effect is de buffercapaciteit van dergelijke chape. Vanwege zijn open cellulaire structuur kan dit aanzienlijke vochthoeveelheden bufferen. Simulaties in figuur 57, gevoerd door C. Shane bij RDH tonen allereerst het effect van het bouwvocht aan. In dit geval wordt in de zomer chape gestort op een paneel met een initieel vochtgehalte van 15%. Men ziet dat dit kortstondig sterk toeneemt op de bovenste twee lamella's. Deze lagen hebben op zich al ongeveer 4 maand nodig alvorens onder een criterium van 20% te komen. Wanneer men vervolgens nog bevochtiging toelaat op deze chape, ziet men een tweede piek bij deze lamella's die hoger is dan deze veroorzaakt door het bouwvocht. Gezien er nu een dampdichte laag op het paneel ligt, zullen de droogtijden eerder richting een jaar gaan (Shane, 2024; E. L. Schmidt et al., 2019)



Figuur 56 - Vochtproblematiek bij een nat vloersysteem (RDH, 2021)

Subject to Rain after Screed



Figuur 57- Vochtgehaltes bij het aanbrengen van een chape op een vloerpaneel met initieel vochtgehalte 15%. Men ziet een eerste piek in de bovenste twee lamellen ten gevolge van het bouwvocht. Een latere bevochtiging maakt van deze deklaag een vochtige, maar dampdichte, spons op het paneel. Dit heeft drastische gevolgen voor de droogtijd van dit vloerpaneel (Shane, 2024).

Wanneer een nat vloersysteem toch wordt gehanteerd, dient rekening te worden gehouden met de volgende aandachtspunten (Finch, 2022):

1. Initieel vochtgehalte van het CLT-paneel:

Het CLT-paneel dient voor plaatsing van de dekvloer voldoende droog te zijn. Een maximale vochtgehalte van 16% is een aanbevolen grenswaarde. Aangezien de meeste CLT-panelen met een vochtgehalte van $12\% \pm 3\%$ op de bouwplaats worden geleverd, is het aangewezen de cementgebonden topping zo snel mogelijk na levering aan te brengen, mits er geen bevochtigingsincidenten hebben plaatsgevonden. Een vochtmeting op drie verschillende dieptes met een gekalibreerde vochtmeter is een Best-Practice, zoals verder uiteengezet in deel 4.4.2.

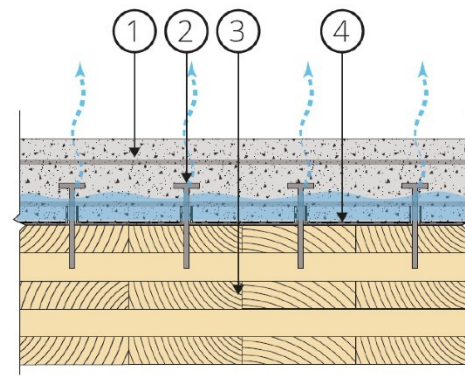
2. Keuze van de beschermingslaag:

Aangezien de cementgebonden toplaag zelf een hoge dampdichtheid heeft, is de diffusieweerstand van de beschermingslaag in deze context niet doorslaggevend. Het is dan ook aanbevolen om een waterdichte beschermingslaag te voorzien, zoals een PE-folie met afgetapte naden en overlap. Alternatief kunnen losliggende akoestische matten worden toegepast, op voorwaarde dat de naden zorgvuldig worden afgetapet. Een Best-Practice opbouw bestaat uit een weersmembraan – zoals een Wetguard – op de panelen, zodanig dat deze beschermd zijn in werffase en geen gladde ondergrond vormen. Daarboven komt vervolgens akoestische isolatie, waarop de PE-folie met afgetapte naden ligt. Daarop kan de dekvloer gestort worden.

3. Beperking van vochtblootstelling na afwerking:

Het is essentieel dat de vloeropbouw na het aanbrengen van de dekvloer minimaal wordt blootgesteld aan vocht. Indien vocht zich tussen de cementgebonden laag en de onderliggende CLT-opbouw ophoopt, kan dit resulteren in indringing ter hoogte van onderbrekingen of zwakke plekken in de beschermingsmembranen. Dit verhoogt het risico op vochtaccumulatie in het CLT, met alle nadelige gevolgen van dien. Bovendien is het ook van belang in de bestekken te vermelden dat de dekvloer idealiter bestaat uit een toplaag met laag watergehalte (Wang Jieying, 2020).

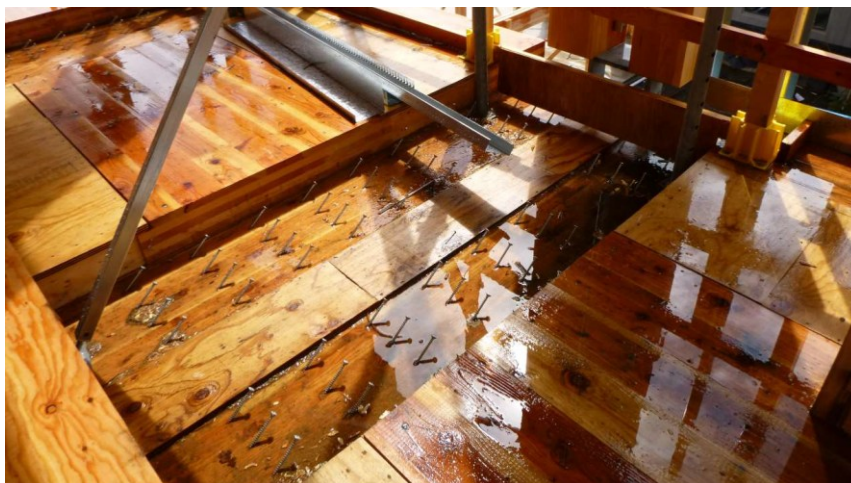
Binnen hybride bouwmethoden met CLT-constructies wordt gebruikgemaakt van vloersystemen die de structurele voordelen van zowel beton- als CLT-vloeren combineren. Een veelvoorkomend systeem is de Timber-Concrete-Composite (TCC)-vloer. Oorspronkelijk ontwikkeld in regio's met hoge seismische belastingen, wordt dit systeem inmiddels wereldwijd toegepast vanwege zijn structurele, brandtechnische en akoestische voordelen. Een TCC-vloer bestaat uit een dikkere, doorgaans gewapende betonlaag, die mechanisch wordt verbonden met het onderliggende CLT-paneel door middel van *shear connections*. Zoals geïllustreerd in figuur 58, betreffen deze verbindingen doorgaans hoge-sterkte bouten, die in-situ worden geplaatst in vooraf geboorde openingen in het CLT-paneel (RDH Building Science, 2021b).



- ① Betonlaag
- ② Verankering beton-CLT
- ③ CLT-vloerpaneel (160-220mm)
- ④ Waterdichting

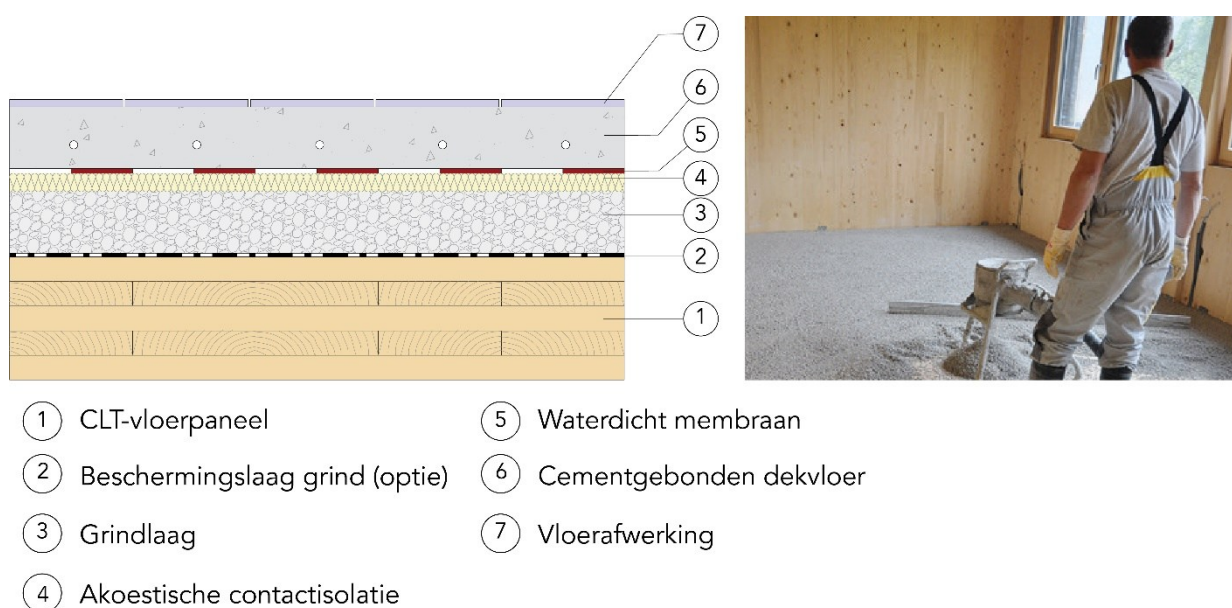
Figuur 58 - Werkbeeld en opbouw van een TCC-systeem

Een voordeel van TCC-systemen is dat de gebruikte betonspecie vaak minder water bevat in vergelijking met zelfnivellerende cementgebonden dekvloeren. Dit vermindert de vochtbelasting op het onderliggende paneel. Echter, door de aanzienlijke dikte van de betonlaag is de drogingscapaciteit van de CLT-panelen in opwaartse richting praktisch nul. Om vochtaccumulatie binnen het paneel te vermijden, zijn de volgende maatregelen essentieel: enerzijds dient de vloer tijdens het gieten beschermd te worden tegen neerslagbuien of andere vochtinbrengende factoren. Een gangbare Best-Practice bestaat erin het beton te storten onmiddellijk na de montage van de CLT-panelen. In de praktijk blijkt dit echter vaak moeilijk haalbaar. Alternatief kan het beton pas worden gestort nadat de bovenliggende panelen en buitenwanden zijn geplaatst en de CLT-panelen voldoende konden drogen. Voor de storting dient het vochtgehalte van de panelen onder de 16% te liggen. Anderzijds is een zorgvuldige monitoring van het vochtgehalte van de CLT-panelen cruciaal. De panelen kunnen, door de veelheid van pinnen, niet beschermd worden met een membraan op rol. Meestal wordt een vloeibaar afdichtingsmembraan gebruikt in deze toepassing (RDH Building Science, 2021b).



Figuur 59 - Waterstagnatie bij onbeschermd TCC-systeem. Dit betekent nog niet direct een garantie op structurele schade, zolang de betonlaag niet gestort wordt op panelen met een vochtgehalte lager dan 16% (RDH 2021b).

Om de impact van vocht afkomstig van cementgebonden dekvloeren te reduceren en tegelijkertijd een vloeropbouw te realiseren volgens het massa-veer-massa-principe, kan gebruik worden gemaakt van een grindlaag. In dit systeem vormt de combinatie van het CLT-paneel en de grindlaag de ene massa, terwijl de dekvloer fungeert als de tweede massa. De tussenliggende laag bestaat doorgaans uit een contactisolatie die de verende werking introduceert. Een dergelijk systeem biedt een meer voordelig met betrekking tot vochtbeheersing binnen CLT-vloeropbouwen, gezien er afstand tussen de dekvloer en het paneel bevindt. De opbouw geïllustreerd in figuur 60, kan daarom als een Best-Practice configuratie worden beschouwd voor natte vloersystemen in CLT-constructies. Echter, de toepassing van een grindlaag introduceert een aanzienlijke extra belasting op de constructie, hetgeen resulteert in een noodzaak tot forser gedimensioneerde CLT-panelen en funderingen. Hierdoor wordt het oorspronkelijke gewichtsefficiëntievoordeel van een CLT-structuur deels tenietgedaan, met name wanneer akoestische eisen de bepalende factor vormen voor het ontwerp (Stora Enso, 2020).



Figuur 60 - Best-Practice nat vloersysteem met grindlaag (Stora Enso 2020)

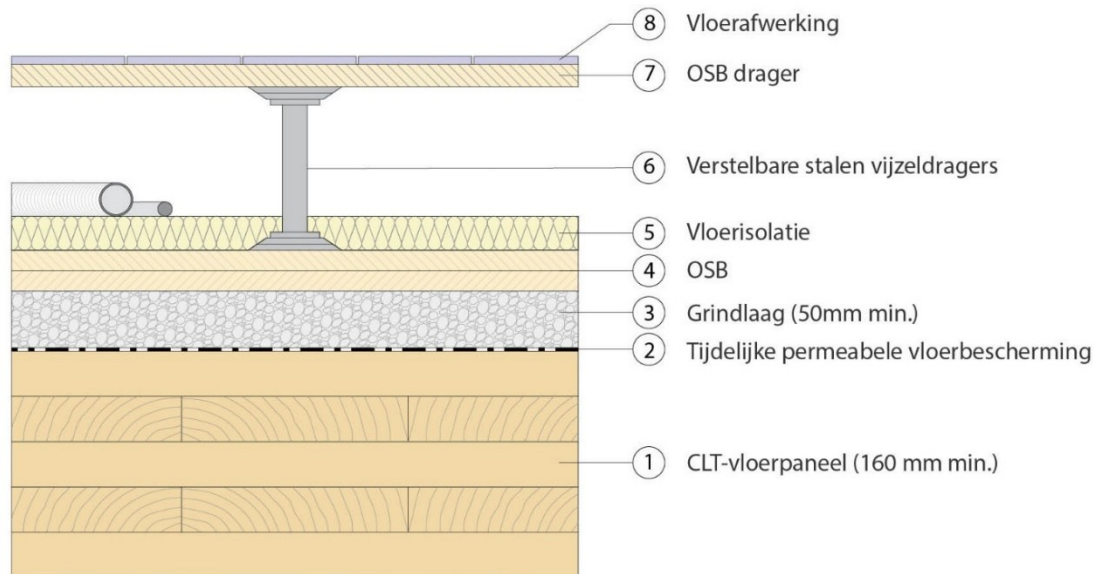
Droge vloersystemen

Alternatief kan een vergelijkbare akoestische prestatie ook worden bereikt via een droog vloersysteem, waarbij geen gebruik wordt gemaakt van een cementgebonden dekvloer. Dit biedt niet alleen een lichtere constructie en een lagere ecologische last, maar reduceert tevens de vochtbelasting op het CLT-paneel maar beperkt ook de uitvoeringstijd van de vloeropbouw wat tevens een van de grootste voordelen is van CLT-bouw. Een droog systeem draagt bij CLT-bouw met andere woorden steeds de voorkeur (Laminated Timber Solutions, persoonlijke communicatie, maart 2025; Stora Enso, 2024).

Figuur 61 illustreert een representatief voorbeeld van een droge vloeropbouw binnen een CLT-constructie. In deze configuratie wordt de vloerafwerking op vijzeldragers geplaatst, waardoor een fysieke ontkoppeling ontstaat tussen de afwerkingslaag en de onderliggende CLT-panelen. Dit hoeft niet steeds het geval te zijn, maar kan een optie zijn om technieken te huisvestingen, of akoestische isolatie te plaatsen. Doordat in dat geval alle lagen boven het CLT-element vrij zijn van bouwvocht, wordt het risico op vochtaccumulatie binnen de opbouw aanzienlijk gereduceerd. Vochtbelasting in dergelijke systemen is bijgevolg uitsluitend extern van oorsprong.

Niettemin blijft het aangewezen om een beschermingslaag op het CLT-paneel aan te brengen. Deze laag fungeert dan als een tijdelijke bescherming tegen weersinvloeden tijdens de uitvoeringsfase. Ook hier geldt de regel dat dit membraan best een lage diffusieweerstand kent en nauwkeurig uitgevoerd wordt waardoor bevochtiging verhinderd wordt en droging gefaciliteerd (RDH Building Science, 2021b).

Vanuit het oogpunt van een robuust en betrouwbaar vochtbeheer geniet een droge vloeropbouw altijd de voorkeur, aangezien de afwezigheid van vocht binnen de constructieve opbouw het risico op vochtgerelateerde degradatie significant beperkt (Desmijter, N., persoonlijke communicatie, 12 maart 2025).



Figuur 61 - Droge vloeropbouw (Woema ELIA, 2025)



Ver kies steeds een droge en ademende vloeropbouw boven een natte en dichte vloeropbouw.

Technieken en leidingenwerk

Bij de implementatie van technieken en sanitaire leidingen in CLT-constructies dient bijzondere aandacht te worden besteed aan het vermijden van vochtintrasie bij de panelen gedurende de levensduur van het gebouw. Een doordachte positionering van leidingen en technieken, maar ook van lokalen in de ontwerpfase, is daarom essentieel om de risico's op vochtschade als gevolg van lekkages of condensatie te minimaliseren.

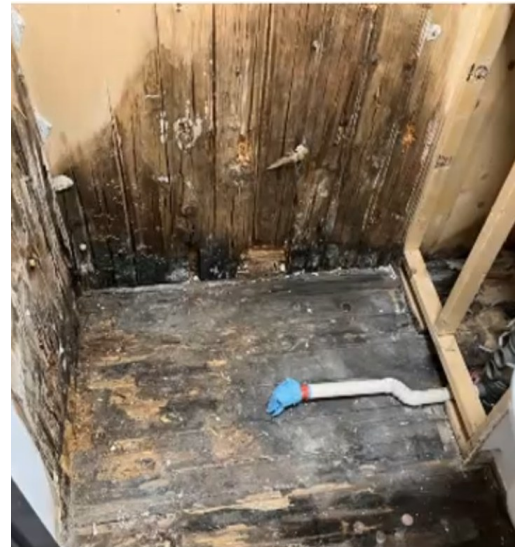
Allereerst reduceert een goed ontwerper de horizontale leidinglengte tot een minimum door vochtige ruimten zoveel als mogelijk boven elkaar te plaatsen. Idealiter zijn deze ruimtes gekoppeld aan een verticale schacht of lopen leidingen via de wandopbouw. Hoe groter de lengte aan (horizontale) sanitaire leidingen, des te meer risico op lekkages.

Los daarvan bestaat meest robuuste strategie erin om sanitaire leidingen langs de onderzijde van het CLT-vloerpaneel te laten verlopen in een technische laag. Dit kan worden gerealiseerd door een verlaagd plafond. Hierdoor komen de leidingen niet in contact met de CLT-panelen zelf, waardoor mogelijke lekkages in die leidingen zouden leiden tot vochtintrasie. Daarnaast vergemakkelijkt een dergelijke opstelling inspectie en onderhoud, waardoor potentiële problemen sneller kunnen worden opgespoord en aangepakt.

In tal van projecten wordt CLT net in het zicht gelaten aan het plafond, gezien dit het grootste visueel ononderbroken vlak is. Dit brengt echter bijkomende uitdagingen met zich mee op het vlak van de installatie van technische leidingen en sanitaire voorzieningen. In de regelgeving van verschillende bouwklimaten met een houtbouwtraditie wordt een beperking op het aantal zichtbare blootgestelde zijde van CLT-panelen meegegeven. (Gagnon & Karacabeyli, 2019).

Indien de keuze wordt gemaakt om de leidingen op het CLT-paneel zelf te plaatsen in plaats van in een verlaagd plafond, is het essentieel om bijkomende preventieve maatregelen te treffen ter beheersing van potentiële vochtproblemen. Een doeltreffende strategie bestaat uit de integratie van vochtsensoren nabij de leidingtracés op het CLT-paneel. Deze sensoren kunnen vroegtijdige vochtintrusie detecteren en een waarschuwing genereren. Hierdoor kunnen correctieve maatregelen worden genomen, waardoor de risico's op langdurige bevochtiging en materiaalschade significant worden beperkt (Clifford, 2025b).

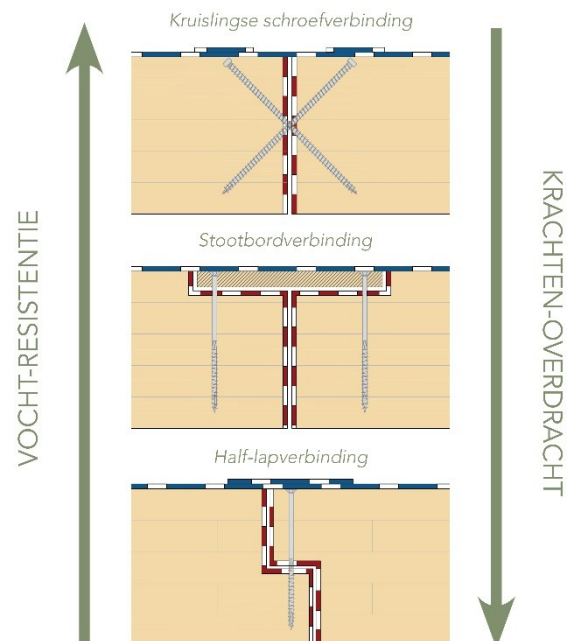
Het opnemen van dergelijke monitoringtechnieken binnen een integraal vochtbeheersplan is eerder conservatief maar draagt bij aan een solide en duurzamere CLT-constructie in de levensfase van het gebouw. Meer informatie rond het monitoren van vochtintrusie is te vinden in deel 4.4.



Figuur 62 - Houtaantasting door lekkage (Clifford 2025)

Verbindingstechniek van vloerpanelen

In de meeste situaties moeten vloerpanelen in lijn met elkaar worden verbonden om een structureel efficiënte krachtenoverdracht te waarborgen. In de praktijk blijkt echter dat de sterkte van de verbindingstechniek omgekeerd evenredig is met de gevoeligheid voor vochtindringing. Met andere woorden: verbindingen die een hogere structurele prestaties leveren, vertonen doorgaans een verhoogd risico op vochtaccumulatie en bijhorende degradatieprocessen. Dit spanningsveld, voorgesteld in figuur 63 vereist een grondige afweging tussen structurele efficiëntie en vochtresistentie. De keuze van de meest geschikte verbindingstechniek dient dan ook in de ontwerpfase afgestemd te worden op zowel de structurele vereisten als de potentiële vochtbelasting binnen de specifieke bouwcontext (Shane, 2024).



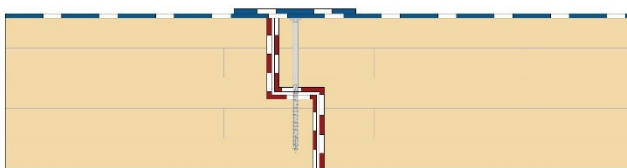
Figuur 63 - Vloerverbindingen in lijn. Hierin is de blauwe bescherming een dampopen membraan en staat de rode arcering voor een hydrofobe coating bij het kops hout (Shane, 2024).

Over het algemeen worden de drie bovengenoemde verbindingssystemen op een gelijkaardige wijze beschermd tegen vochtindringing. Indien mogelijk wordt een dampopen hydrofoberende coating aangebracht op de kopse zijden van de CLT-panelen. Idealiter gebeurt deze behandeling reeds in de fabriek, maar in de praktijk wordt dit slechts door een beperkt aantal fabrikanten standaard toegepast. Hoewel een dergelijke hydrofobe coating (aangeduid in rood in figuur 63) als Best-Practice wordt beschouwd, wordt dit in de praktijk niet vaak toegepast, mede door het risico op uitloging (Shane, 2024).

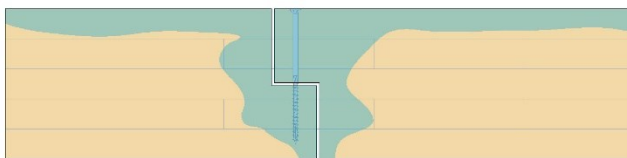
Vanuit praktisch oogpunt is het aanbrengen van een membraan op de kopse kanten van de panelen doorgaans niet haalbaar. Zo leidt een slechte omgang met dergelijke membranen tot verrimpeling, wat niet alleen de waterdichtheid in gevaar brengt, maar ook de structurele efficiëntie van de krachtenoverdracht negatief beïnvloedt (Courtoy, P., persoonlijke communicatie, 9 april 2025). Gezien de onzekerheid over de aanwezigheid van bovengenoemde hydrofobering, is het aangewezen om zo snel mogelijk na de montage van de vloerpanelen een dampopen beschermingsmembraan aan te brengen op het bovenoppervlak van de panelen (Shane, 2024).

Afhankelijk van de risicograad en de specifieke bouwcontext kan dit membraan ofwel over het volledige vloeroppervlak worden doorgetrokken, ofwel selectief worden aangebracht ter hoogte van de verbindingen. De keuze voor de beschermingsstrategie dient daarbij afgestemd te worden op de verwachte blootstellingsklasse. Om het risico op schade na bevochtiging in te schatten, wordt er in deel 3.3. een tool meegegeven.

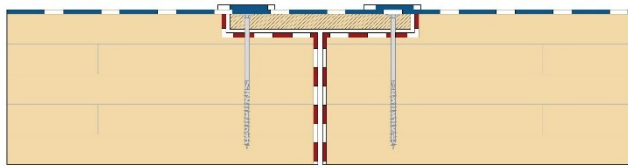
De onder 3.2.3.1. vernoemde paraffinewax kan een mogelijke meerwaarde bieden voor het beschermen van kops hout. Het kan in situ aangebracht worden en verrimpeling is hierbij niet mogelijk. Wat wel kan gebeuren is het gedeeltelijk afschrapen van deze wax tijdens het monteren, wat op zich geen drastisch gevolg heeft. Vanuit een literatuurstudie blijkt echter enkel RDH Building Science te spreken over deze vorm van bescherming, ondanks uit praktijkgesprekken er wel animo voor blijkt te zijn (Bureau Bouwtechniek, persoonlijke communicatie, 4 april 2025).



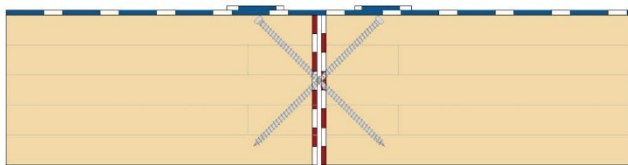
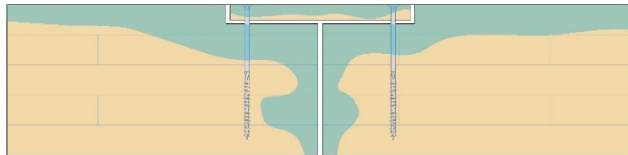
Figuur 64 - Half-lap verbinding



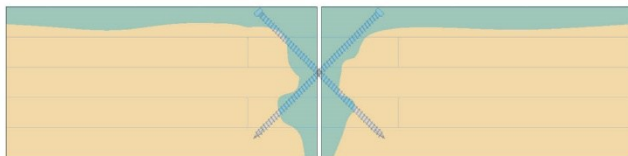
Een **half-lap** verbinding is een tand- en groefverbinding die, dankzij het vergrote wrijvingsoppervlak en oplegging, de krachtenoverdracht bevordert. Dit type verbinding brengt echter het hoogste risico op vochtaccumulatie door een horizontaal deel in de kern van het paneel. Daarom wordt deze verbinding enkel aanbevolen op locaties met een lage vochtbelasting of wanneer structurele vereisten dit noodzakelijk maken (Shane Colin, 2024).



Figuur 65 - Verzonken stootbordverbinding



Figuur 66 - Geschroefde verbinding

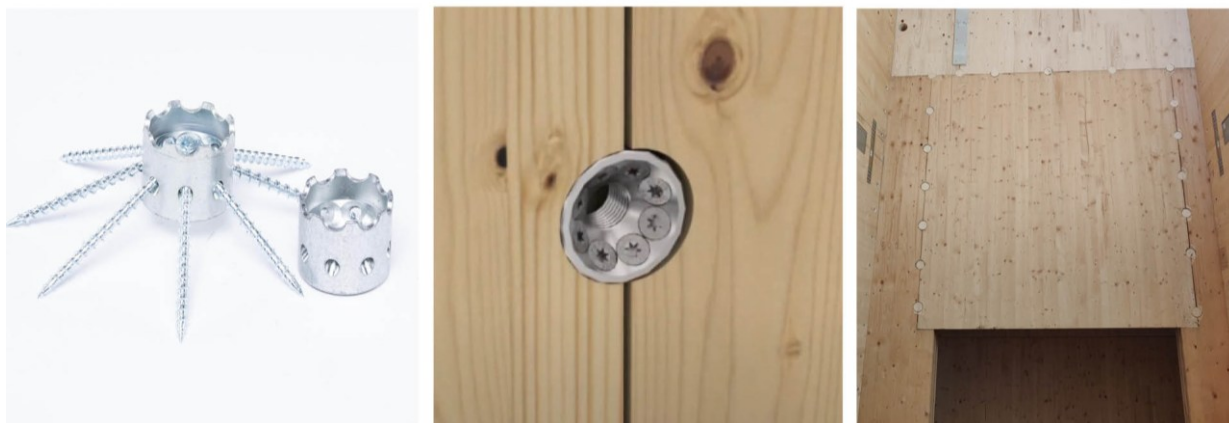


De meest frequente verbinding maakt gebruik van een verzonken **stootbordverbinding** die meestal bestaat uit een multiplex verbindingslat. Dit is namelijk een stijf materiaal die zeer efficiënt krachten kan overdragen. Anderzijds is dit materiaal gevoelig voor vochtopname. Dit maakt dat het stootbord zelf snel zal degraderen, maar ook zal werken als een soort natte spons op het CLT paneel. In de praktijk worden deze soms voor het aanbrengen van nieuwe lagen vervangen, wat uiteraard een meerkost en -werk is (Shane, 2024).

De meest efficiënte verbinding naar vochtbeheer verkrijgt men door het simpelweg verbinden van twee panelen met **kruislingse schroeven** die men onder een hoek plaatst. De manier waarop deze geplaatst worden, met name onder welke hoek, is zeer bepalend voor de structurele krachtenoverdracht. Hiervoor bestaan er hulponderdelen om deze optimale hoek te bereiken. Om vochtintrusie maximaal te vermijden, kan men hier over de schroefgaten een extra membraan of tape kleven. Indien

structureel mogelijk, hanteert men het beste dit soort verbinding, gezien de mogelijkheden tot vochttophopping beperkt blijven (Shane Colin, 2024; Rothoblaas; 2025; Loss et al., 2018).

Een recente ontwikkeling in de verbindingstechniek is de zogeheten Idefix-verbinding, die een balans biedt tussen structurele performantie en vochtresistentie (Fig. 67). Hierbij wordt een cirkel uitgefreesd aan het oppervlak van het CLT-paneel, van waaruit schroeven onder verschillende hoeken worden ingebracht in een radiale configuratie. Buiten de kleine ontvangmodule voor de schroeven, blijft de naad tussen panelen beperkt tot een verticale voeg. Hierdoor wordt wateraccumulatie vermeden. De techniek is toepasbaar op zowel vloer- als wandpanelen (Desmijter, N, persoonlijke communicatie, maart 2025; ETA Danmark A/S, 2014; Sihga, 2023).



Figuur 67 - Idefix-verbinding (a), gemonteerd in een wandpaneel (b). Deze worden op regelmatige afstanden geplaatst, zoals de aansluiting van een CLT-paneel in een liftschaft (c) (Design Museum Gent; ETA Danmark A/S, 2014).

3.2.4.4. Platte daken

Problematiek van tegenstrijdige belangen

Platte daken vormen binnen elk constructiesysteem een uitdaging. Het is een uitgestrekt, vrijwel horizontaal oppervlak met een verhoogd risico op wateraccumulatie door lekkages. Waterdichtheid is bijgevolg een cruciale factor, aangezien lekkages aanzienlijke schade kunnen veroorzaken. Om deze reden wordt standaard een hoogwaardige, waterdichte dakafdichting gebruikt. Overkoepelend zijn deze afdichtingsmembranen, los van de onderlinge variaties in materialen en systemen, als sterk dampdicht gecategoriseerd. De aansluiting aan de dakopstanden gebeurt doorgaans door de membranen te verbinden met het dampscherm van de dakopbouw, zodat het isolatiepakket adequaat wordt ingesloten (WTCB, 2022).

Zoals eerder aangegeven wordt bij CLT-constructies gestreefd naar een maximaal droogpotentieel, gerealiseerd door een zo dampopen mogelijke opbouw te voorzien die zowel inwaartse als uitwaartse droging faciliteert. De vereiste dampdichte dakafdichting voor platte daken introduceert echter een significante beperking in deze uitwaartse droging. Dit impliceert dat eenmaal vocht de bovenzijde van het CLT-paneel bereikt, dit niet langer uitwaarts kan drogen (Finch, 2022).

Deze problematiek wordt versterkt door verschillende bijkomende factoren. Een eerste cruciale overweging betreft de klimatologische omstandigheden tijdens de uitvoeringsfase. Het is vrijwel onvermijdelijk dat CLT-panelen tijdens de uitvoering worden blootgesteld aan vocht. De opname van water kan hierbij aanzienlijk zijn, met hoge vochtgehalten in de paneelkern als gevolg. Hoewel uitvoerders zich doorgaans bewust zijn van deze problematiek en maatregelen nemen zoals het manueel verwijderen van oppervlaktewater of het inlassen van een droogperiode vóór de plaatsing van dampdichte lagen, wordt vaak onderschat dat vocht zich nog in de kern van het paneel kan bevinden. Dit geldt in het bijzonder voor verbindingen tussen panelen, bijvoorbeeld ter hoogte van half-lapverbindingen. (Finch 2022; Shane 2024; Clifford 2025)

Een tweede aandachtspunt betreft de veroudering en onderhoudsstrategie van de dakafdichting. De ontwerppraktijk volgens de huidige Eurocodes hanteert doorgaans een referentielevensduur van 50 jaar voor standaardgebouwen en 100 jaar voor infrastructurele

constructies (CEN, 2002b). In deze context wordt echter vaak over het hoofd gezien dat de levensduur van dakafdichtingsmembranen, afhankelijk van blootstellingsfactoren zoals UV-straling en temperatuurschommelingen, gemiddeld rond de 35 jaar ligt. Dit impliceert dat een adequate onderhoudsstrategie noodzakelijk is om de waterdichtheid van het dak te garanderen en vroegtijdige degradatie van de CLT-structuur te voorkomen (European Waterproofing Association AISBL, 2021).

Een derde belangrijk aspect betreft de toename van technische installaties op platte daken in de afgelopen decennia. Daken worden steeds vaker ingezet als functionele ruimte voor fotovoltaïsche panelen, zonneboilers, HVAC-installaties, zendmasten en andere technische apparatuur. Dergelijke elementen vereisen doorgaans een robuuste verankering om windbelasting te weerstaan, evenals bijkomende dakdoorvoeren voor bekabeling en leidingen. Elke doorboring van de dakafdichting introduceert echter een potentieel risico op vochtintrasie. Terwijl dergelijke complicaties in elke bouwmethode problematisch zijn, kunnen ze in CLT-constructies een versterkte nadelige impact hebben (Clifford, 2025b).



Figuur 68 - Veelheid aan installaties op een plat dak (WTCB 2022)

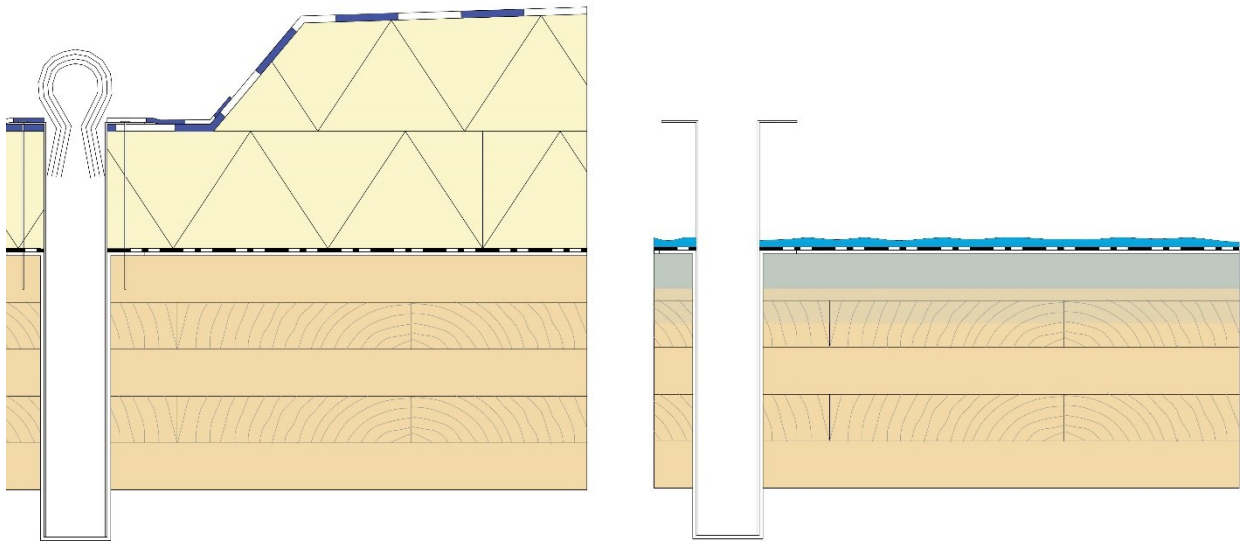
Tot slot vergt de correcte uitvoering van dakafdichtingsmembranen bijzondere aandacht. Waterdichtheid wordt doorgaans gegarandeerd door middel van mechanische bevestiging of dichtlassen van de overlappen. Grote platte daken bevatten echter vaak aanzienlijke lengten aan naadverbindingen, evenals talloze doorvoeren. Een bijkomend probleem is dat lekken vaak laattijdig worden gedetecteerd, aangezien het vocht zich langzaam kan accumuleren in het dakpakket zonder zichtbare indicaties tot het schadeproces reeds vergevorderd is (Clifford, 2025b).

Samenvattend blijkt dat de toepassing van het vochtgevoelige CLT als dakvloer voor platte daken aanzienlijke risico's met zich meebrengt, die grondig geanalyseerd en beheerst dienen te worden. Afhankelijk van het risico, zoals het aantal lopende meter naden en de hoeveelheid te plaatsen technieken, kan men door een goed ontwerp en uitvoering wel probleemloos een platte CLT-dakopbouw bereiken. Men introduceert echter steeds een risico in het gebouw, dat men dient te erkennen. Er zijn echter een aantal maatregelen die men kan nemen om dit risico aanzienlijk te verlagen.

Helling in de daken

Het inherente risico dat gepaard gaat met de implementatie van een CLT-dakstructuur ligt in de eerste plaats bij de horizontale oriëntatie van panelen. Hierbij dient te worden opgemerkt dat in de voorgaande bespreking steeds werd verwezen naar een plat dak. Uiteraard impliceert een platte dakopbouw in de praktijk steeds een minimaal afschot om een efficiënte waterafvoer te garanderen en wateraccumulatie te vermijden. Dit afschot faciliteert de afvoer van neerslag naar de voorziene afvoerpunten en is meestal voorzien door isolatiemateriaal met een geïncorporeerde helling of een hellingsbeton (WTCB, 2022).

Echter, men onderschat vaak de tijdsdimensie binnen het bouwproces, waarbij de CLT-panelen vaak wel volledig vlak liggen. Bovendien zijn afvoerpunten in de werffase doorgaans nog niet operationeel of bevinden deze zich hoger dan de CLT-structuur, aangezien ze in het afgewerkte dakpakket boven de isolatielaag uitsteken. Figuur 69 illustreert hoe het afschot in de uiteindelijke dakopbouw geen bescherming voor de CLT-panelen tijdens de bouwfase biedt.



Figuur 69 - Waterafvoer in een plat dak in afgewerkte fase (links) en ruwbouwfase (rechts). Het CLT-paneel is uitgerust met een dampscherm die dienst doet als tijdelijke bescherming van de panelen bij weersinvloeden.

Afwatering is niet mogelijk in werffase door verhoogd tappunt. Bovendien is het CLT-paneel horizontaal georiënteerd, aangezien het afschot door de isolatielaag voorzien wordt. Hierdoor is waterstagnatie mogelijk op het paneel in werffase. Dit is een werf-detail die vaak over het hoofd wordt gezien, maar bijzonder invloed heeft op de vochtintrusie bij de panelen. Tijdens werffase kan de doorvoering wel dienen als drainagepunt, wanneer er leidingen op gekoppeld zijn die het water van de buitenschil afsturen. De panelen blijven echter vlak, waardoor voor deze drainage actieve maatregelen nodig zijn om het water naar het punt te brengen (Blommaert A, Persoonlijke communicatie, 18 maart 2025).

Een strategie om het risico op vochtintrusie te beheersen, is het centraliseren van deze risico's. Bij CLT-structuren is het sterk aanbevolen om reeds in de dakvloer zelf een helling te voorzien, in tegenstelling tot het afschot in de isolatie te verwerken. Dit zorgt ervoor dat water zich niet verspreidt over een groot oppervlak, maar gecontroleerd afvloeit naar een beperkt aantal lager gelegen punten. Dit beperkt de zones waar tijdens de werffase een verhoogde aandacht voor waterdichting noodzakelijk is. Hierdoor kan het vochtbeheersplan zich, in plaats van op uitgestrekte dakvlakken, toespitsen op een select aantal geconcentreerde punten, wat de beheersbaarheid van het vochtbeheer significant verbetert (Clifford, 2025b). Gezien vlakke dakpanelen sterk afgeraden zijn, wordt de helling in de Best-Practice ontwerppraktijk bij CLT dus idealiter voorzien door middel van een helling in het paneel zelf.



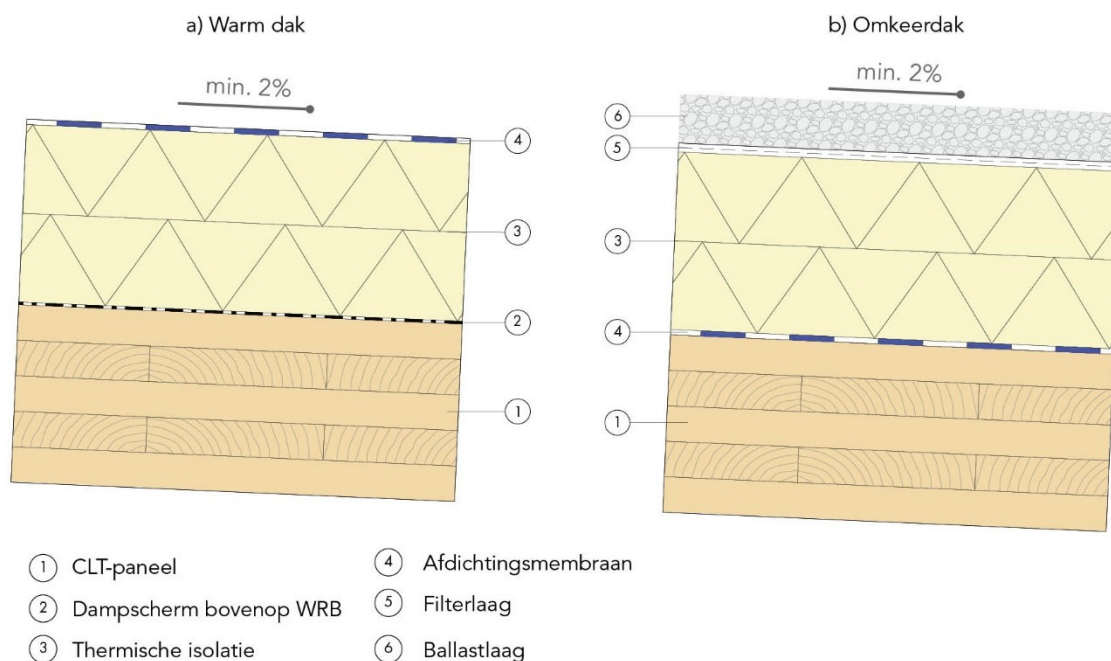
*Een CLT-paneel in een plat dak, staat best toch onder helling.
Steek het afschot van het dak in het paneel zelf.*

Soorten dakopbouwen met CLT

Een groot deel van het risico op schade na bevochtiging hangt af van de keuze van dakopbouw. Hier geniet het klassieke warm dak de grootste voorkeur. De voornaamste reden zijde dat men hier minstens twee lagen van defensie kan inbouwen. Warme daken zijn de meest courante en bouwfysisch veiligste oplossing voor platte daken in België, ongeachte het soort bouwmethode. Waterdichtheid wordt voorzien door de afdichting, die zich op het isolatiepakket bevindt. In dat geval is de dakvloer gewoonlijk vooraf bekleed met een dampscherm (WTCB, 2022).

Het is Best-Practice om een dampopen membraan aan te brengen op de panelen om deze te beschermen in werffase. Bij voldoende droge panelen (<16%) kan men op het weersmembraan een dampscherm aanzetten, die men verbindt met de afdichting (RDH Building Science, 2021b). Een tweede voorkeursreden is de mogelijke inspectie doorheen de levensduur op de staat van de afdichting. Anderzijds zal deze dakafdichting een kortere levensduur hebben door betreding en UV-belasting (European Waterproofing Association AISBL, 2021). Omkeerdaken beschermen de afdichting, waardoor deze langer meegaat. Anderzijds zal men systematische inspectie niet mogelijk zijn, en is er ook geen optie tot tweede lijn van defensie (WTCB, 2022). Daarom is het veiliger om voor een warm dak te kiezen.

In beide gevallen is er een verhoogde aandacht nodig ter hoogte van doorvoeringen en verankeringen in de dakvloer. Deze zullen perforaties van de afdichting betekenen, in correcte overlap waterdicht moeten gemaakt worden. Inspectie zal tijdens werffase steeds een grote prioriteit zijn

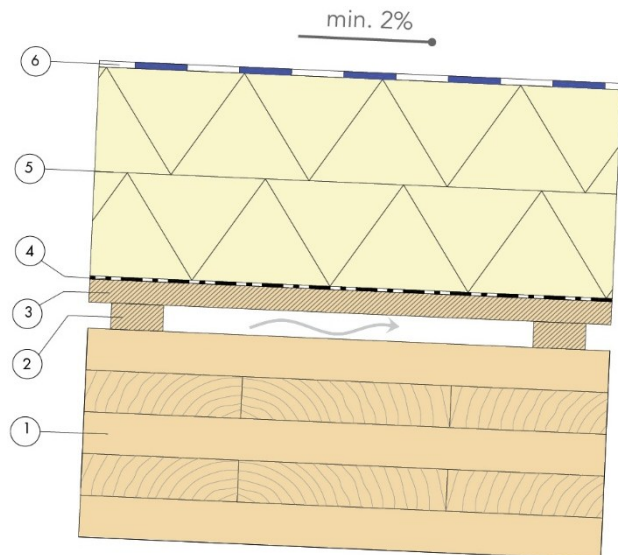


Figuur 70 - Voorstelling van twee frequente platte daken (RDH, 2021; WTCB, 2022)

Door de positionering van de waterdichte laag ligt er een dampdichte afdichting direct op het CLT-paneel. Dit biedt een robuuste bescherming tegen vochtintrasie, maar uitsluitend indien de afdichting met grote zorgvuldigheid wordt aangebracht op een paneel met een intrinsiek laag vochtgehalte ($MC\ 12\% \pm 3\%$). Daarom is het aangewezen om de afdichting zo snel mogelijk na de montage van de panelen aan te brengen, teneinde het risico op bevochtiging te minimaliseren. Sommige fabrikanten bieden de mogelijkheid om deze waterdichte laag of dampscherm reeds in de fabriek aan te brengen (KLH 2024; RDH Building Science 2021b).

Ontkoppelde dakopbouwen, een alternatief?

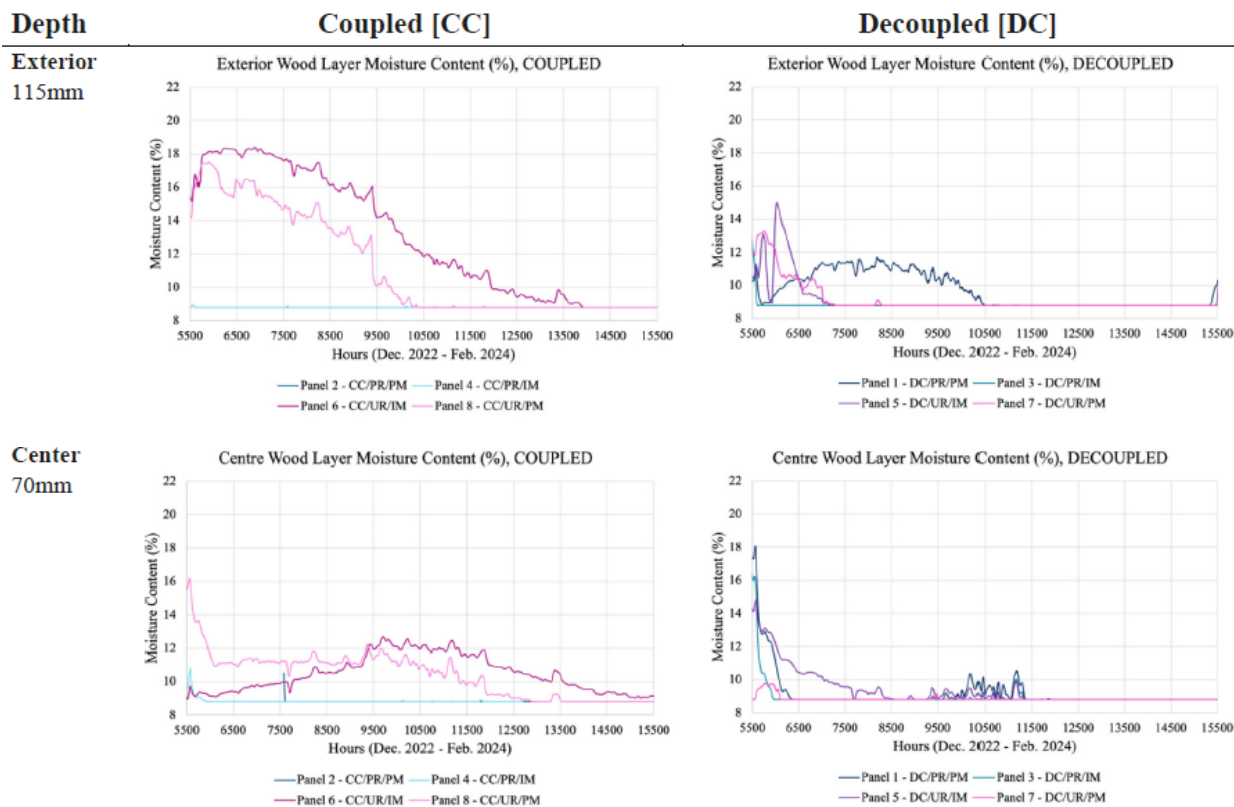
Binnen de filosofie van maximale drogingscapaciteit bij CLT-opbouwen, wordt in de Verenigde staten sporadisch een intern geventileerde dakopbouw gebruikt. Figuur 71 illustreert dergelijke opbouw, waarin een kleine luchtvide wordt gevormd bovenop het CLT-paneel door middel van een dun houten regelwerk. Hierop wordt vervolgens een houten bebording geplaatst, waarop de verdere dakopbouw geplaatst wordt. Meestal worden de CLT-panelen geplaatst als strips in plaats van doorlopende vloerpanelen. Het effect van deze spouw is dat het paneel los komt te staan van de bovenliggende opbouw, en dus ook de bovenzijde van het paneel kan drogen (RDH Building Science, 2021b).



- | | |
|--------------------|------------------------|
| ① CLT-paneel | ④ Dampschermb (op WRB) |
| ② Houten regelwerk | ⑤ Isolatielaag |
| ③ Houten bebording | ⑥ Afdichtingsmembraan |

Figuur 71 - Ontkoppeld warm dak met interne ventilatiemogelijkheid (Shane 2024; RDH Building Science 2021b)

Studies onder leiding van D. Johns en R. Richman hebben het drogingspotentieel hiervan kwalitatief in kaart gebracht. Hier werden 8 verschillende CLT-dakvloeren met verschillende klassieke beschermingsmethoden geanalyseerd naar het gedrag bij opname en afname van vocht in de panelen. Een criterium hiervan was het al dan niet voorzien van een interne luchtspouw tussen het dakpakket en de dakvloer. De panelen ondergingen vier maanden blootstelling aan de weersinvloeden in Toronto - een vergelijkbaar klimaat aan België - gevolgd door twee maanden complete onderdompeling. Vervolgens werd er met deze panelen nog een simulatie gedaan van een jaar waar de panelen ingewerkt waren in een dakopbouw. Hun onderzoek is samengevat in onderstaande figuur 72 (Johns et al., 2024).



Figuur 72 - Onderzoek naar de drogingscapaciteit van een niet-geventileerde dakopbouw (links) en met binnenlucht geventileerde opbouw (rechts) (Johns et al., 2024)

De linkerzijde van de tabel toont duidelijk de stelselmatige vochtintrasie in het CLT-paneel: Wanneer men bijvoorbeeld de paarse lijn van paneel 6 volgt, ziet men hoe de buitenste lamellen als eerste en de hoogste piek vertonen van vochtgehalte. De piek in de kern van het paneel bevindt zich later en is lager. Wanneer men aan de rechter tabelzijde het equivalent paneel, maar deze keer ontkoppeld (paneel 5) analyseren, valt op dat deze piek zich voordoet aan de buitenste lamellen, maar ten eerste een stuk lager is. De drogingstijd is een stuk korter, en het vocht bereikt bovendien niet de kern van het paneel. De onderzoekers concludeerden uit hun testen dat de droogsnelheid bij een ontkoppelde dakopbouw verdubbelt in vergelijking met een traditionele dakopbouw (Johns et al., 2024).

Ondanks deze voordelige effecten op het drogingspotentieel van de panelen, wordt dit soort opbouw bijzonder weinig gebruikt. Dergelijke luchtsponw stelt aanzienlijke uitdagingen in programma's met hoge akoestische en brandveiligheidseisen. Om hieraan te voldoen, bestaat de kans dat de spouw gevuld dient te worden met een isolatiemateriaal of moet afgesloten worden vanwege compartimentering. Dat verhindert voor een groot deel de natuurlijke ventilatie doorheen deze luchtsponw, hetgeen net voor het versterkt drogingseffect zorgt. Een intern geventileerd dak heeft zijn oorsprong in de platte daken met volledig horizontale panelen. Wanneer men het dak op de juiste manier concipieert, met name door een voldoende helling in de panelen zelf in te brengen, is dit soort paniekmaatregelen overbodig en kostelijk. Uiteraard is een verhoogde zorg in de werffase en levensduur aan het einde van het afschot wel steeds cruciaal (RDH Building Science 2021b; Shane 2024).

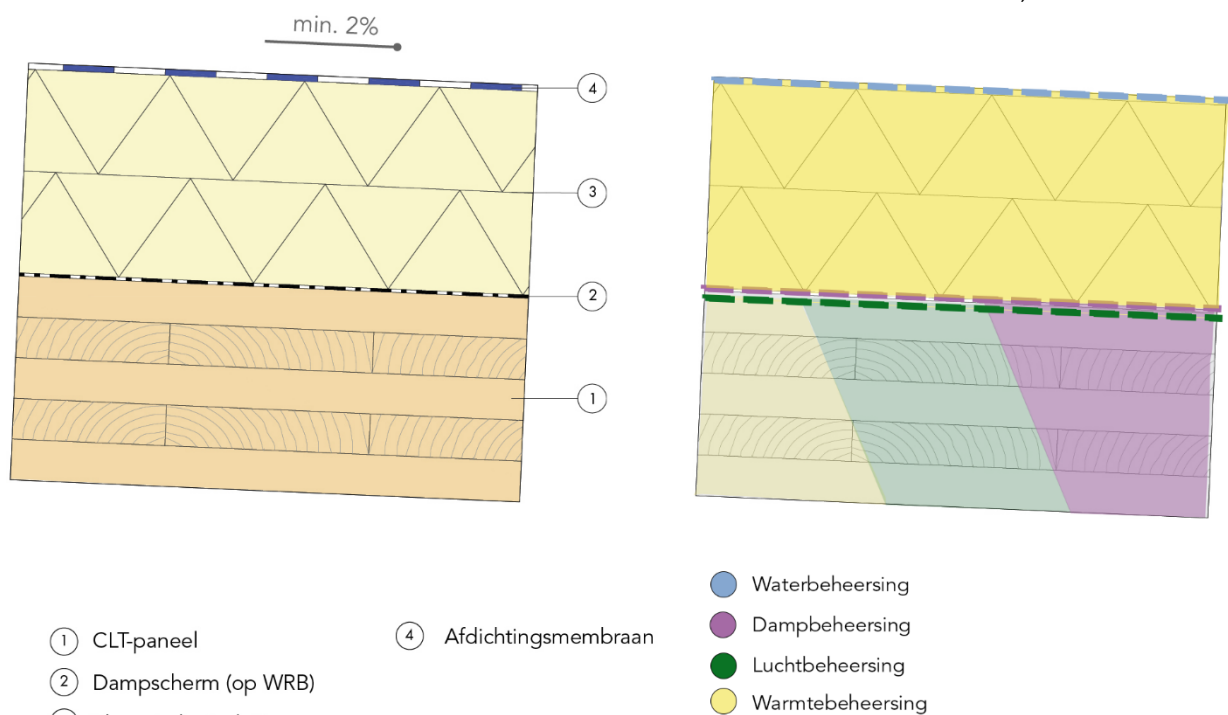
Groendaken en CLT, geen goed idee

De inzet van CLT als dakvloer bij platte daken is risicovol, maar dit geldt des te meer bij groendaken vanwege tegenstrijdige belangen: Voor vegetatie is een langdurige vochtretentie wenselijk, terwijl dit net nefast is voor CLT-panelen. Daarnaast wordt de inwaartse droging bemoeilijkt doordat het groendak de oppervlaktetemperatuur buffert, wat de inwaartse droogflux verlagen. Hoewel groendaken ecologische voordelen bieden, zijn ze vanwege deze conflicterende eigenschappen minder geschikt in combinatie met CLT (WTCB 2006; Clifford 2025).

Concluderend kan men stellen dat een CLT-opbouw voor platte daken een verhoogd risico op vochtintrasie met zich mee brengt. Afhankelijk van het aantal dakdoorvoeren en de onderhoudsambities, kan een alternatief zoals een gewapend betonnen dakvloer meer geschikt zijn, onder meer vanwege de hogere thermische inertie. Wordt toch gekozen voor CLT, dan wordt best het nodige afschot (min. 2%) rechtstreeks in het paneel voorzien. Hierdoor stroomt water gecontroleerd af naar één punt, waar een doordachte vochtstrategie - met aandacht voor drainage en zowel passieve als actieve bescherming - absoluut vereist is.



Figuur 73 - Ernstige bruinrotaantasting van een CLT-paneel onder een groen dak, twee jaar na oplevering (Clifford 2025)



Figuur 74 - Best-Practice dakopbouw (omkeerdak) voor platte daken, rekening houdend met de werffase.

3.2.5. Conclusies voor een Best-Practise gebouwschil



GEBOUWLASTEN

- Neerslagfrequentie en -duurtijd zijn meer doorwegend op de vochtintrusie dan de absolute hoeveelheid neerslag.
- Wisselende vochtgehaltes zorgen voor krimp- en zwelgedrag wat de lucht- en dampdichtheid verkleint en de intrusiemogelijkheden vergroot.
- CLT-opbouwen zonder enige weersbeschermingen in België leveren een overmatig risico op houtaantasting kort na oplevering.



ALGEMENE VUISTREGELS GEBOUWSCHIL

- De sleutel voor een goede gebouwschil ligt in het beperken van bevochtiging en bevorderen van droging. Een gezonde CLT-opbouw houdt de buitenzijde zo dampopen mogelijk.
- Een juist geconcipeerde opbouw adresseert 4D's: deflectie, drainage, droging en duurzaam materiaalgebruik. Vermijd opbouwen met één enkele verdedigingslinie tegen vocht.
- Elke CLT-opbouw kent minstens drie levens: de werffase, de afwerking en de levensduur. Ontwerp met alle drie in gedachten.
- Beschermingsmaatregelen voor CLT-opbouwen zijn als een toolkit: het juiste instrument, op de juiste plaats én op het juiste moment.



SPECIFIEKE VUISTREGELS GEBOUWSCHIL

- Droge vloeropbouwen dragen de voorkeur op natte opbouwen vanwege het bouwvocht en de dampdichtheid van dekvloeren.
- Vochtige ruimten vereisen een extra damprem aan de binnenzijde vanwege lage diffusieweerstand van CLT bij hogere luchtvochtigheid.
- Beperk de lengte aan sanitaire leidingen door vochtige ruimtes te clusteren. Plaats de leidingen idealiter niet op het CLT-paneel, maar eronder.
- Voorzie het afschot van een plat dak in het paneel zelf en concentreer daarmee het vochtbeheersplan naar een kleiner gebied.

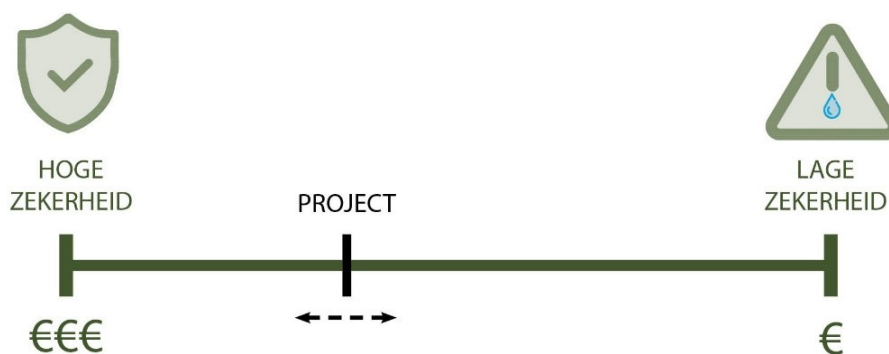
3.3. Detaillering en aansluitingsprincipes

Het zijn doorgaans de aansluitingen tussen verschillende CLT-panelen die zich het gevoeligste opstellen voor vochtaccumulatie. Dit zijn de plaatsen waar het kops hout, wat instaat voor het grootste aandeel van vochtopname, in aanraking komt met het buitenklimaat of andere panelen en daarom het grootste risico stellen op vochtaccumulatie (Kalbe et al., 2020, 2022b; Time et al., 2023; Clifford, 2025a; RDH Building Science, 2021b). Het is daarom van cruciaal belang voor een vochtresistente gebouwschil om, naast goed uitgedachte opbouwen, ook de aansluitingen tussen deze opbouwen correct te concipiëren.

Het voorzien van een adequate bescherming van CLT-aansluitingsdetails begint bij een fundamentele bewustwording van het lokaal risico op schade ten gevolge van bevochtiging. Dit risico wordt bepaald door een complex samenspel van externe weersomstandigheden, de blootstelling tijdens de werffase en de inherente complexiteit van het detail. Bovendien kunnen deze factoren een accumulerend effect op elkaar uitoefenen. Een doordacht ontwerper begrijpt bijvoorbeeld hoe een bouwphase tijdens de winterperiode, waarbij kops hout langdurig wordt blootgesteld aan het buitenklimaat, nefast kan zijn voor de vochtaccumulatie ter hoogte van het aansluitingsdetail.

Dit deelhoofdstuk rijkt handvaten aan om deze bewustwording rond het lokaal schaderisico na bevochtiging te faciliteren. Er wordt hier bewust gesproken over 'schaderisico na bevochtiging', meer dan risico op bevochtiging. Men kan er in België namelijk de aanname hanteren dat CLT-panelen in bouwphase nat zullen worden, ongeacht het seizoen. Verschillende onderzoekers bevestigden dit door veldmetingen uit te voeren op verschillende Noord-Europese projecten. Telkens concludeerde men dat CLT-bouw in Noord-Europa zonder enige vorm van weersbescherming bijzonder risicovol is (Olsson, 2020, 2021; Kalbe et al., 2024; Kiiski, 2023). Elk van deze testlocaties kent overigens een lagere of gelijkaardige SCI-klimaatsindex dan België, wat betekent dat we deze conclusie kunnen en moeten doortrekken naar het eigen bouwklimaat (Brimblecombe & Richards, 2023).

Ieder CLT-project is anders, en stelt zich op een andere manier op naar vochtbeheersing tijdens de werffase. Dit is sterk afhankelijk van enerzijds de kennis en ervaring van zowel ontwerpteam als aannemer(s), maar ook anderzijds van de beschikbare budgetten. Het valt niet te negeren dat vochtbescherming van CLT-constructies in de praktijk geld- en tijdrovend is. Zoals figuur 75 voorstelt, plaatst ieder project zich ergens in het spectrum tussen enerzijds veel investeren in beschermingsmaatregelen en daarin een hogere zekerheid op een vochtresistent project verkrijgen (links) en een lage investeringskost met een bijhorende lagere zekerheid (rechts).



Figuur 75 - Spectrum tussen zekerheid door bescherming en kosten voor bescherming

De keuze van de positie voor een project op dit spectrum ligt in het kamp van het ontwerpteam. Het doel van dit hoofdstuk - en breder deze scriptie - is echter om een zekere bewustwording te scheppen rond het risico op bouwen met CLT in België, en daarin een minimum aan bescherming te adviseren. Zelfs met een hoge zekerheid kan men er niet vanuit gaan dat er geen vocht de panelen zal bereiken. Het is belangrijk in dit opzicht om te beseffen dat er, in tegenstelling tot andere bouwmethoden, geen marge zit op de bescherming van CLT-panelen; langdurige bevochtiging van panelen zal leiden tot opeenvolgende schadenfenomenen, waar dit bij bijvoorbeeld metselwerkconstructies of betonbouw minder problematisch is (Wauters Steven, persoonlijke communicatie, 4 april 2025). Het is daarom van belang om doorheen het ontwerp van aansluitingen de juiste vorm van bescherming te voorzien voor een specifieke samenloop van gegevens, en dit mee te nemen in het VBP. In wat volgt wordt een ontwerptool voorgesteld, die kan dienen om deze bewustwording te faciliteren. Het schrijft vanuit een bepaalde gegevens-set een minimale vorm van bescherming voor op vlak van beschermingsmethodiek, monitoring in werffase en maatregelen na bevochtiging. Deze tool wordt vervolgens geïllustreerd aan de hand van 5 frequent wederkerende details.

3.3.1. Ontwerptool voor aansluitingsdetails

3.3.1.1. Probleemstelling

Binnen diverse handboeken en praktijkgerichte literatuur met betrekking tot vochtbeheersing bij CLT-bouw wordt het ontwerp van de gebouwschil doorgaans op een gelijkaardige wijze benaderd. Typisch voorziet men beslissingsbomen die de bescherming van de meest voorkomende opbouwen in kaart brengen, zoals platte en hellende daken, tussenvloeren en wanden. Deze worden vervolgens soms aangevuld met een reeks Best-Practice bescherming voor aansluitingsdetails die bekend staan om hun hoge gevoeligheid aan vochtblootstelling (Douglas & Karacabeyli, 2013; Gagnon & Karacabeyli, 2019; Gustafsson, 2019; RDH Building Science, 2021b; Waugh Thistleton Architects, 2018).

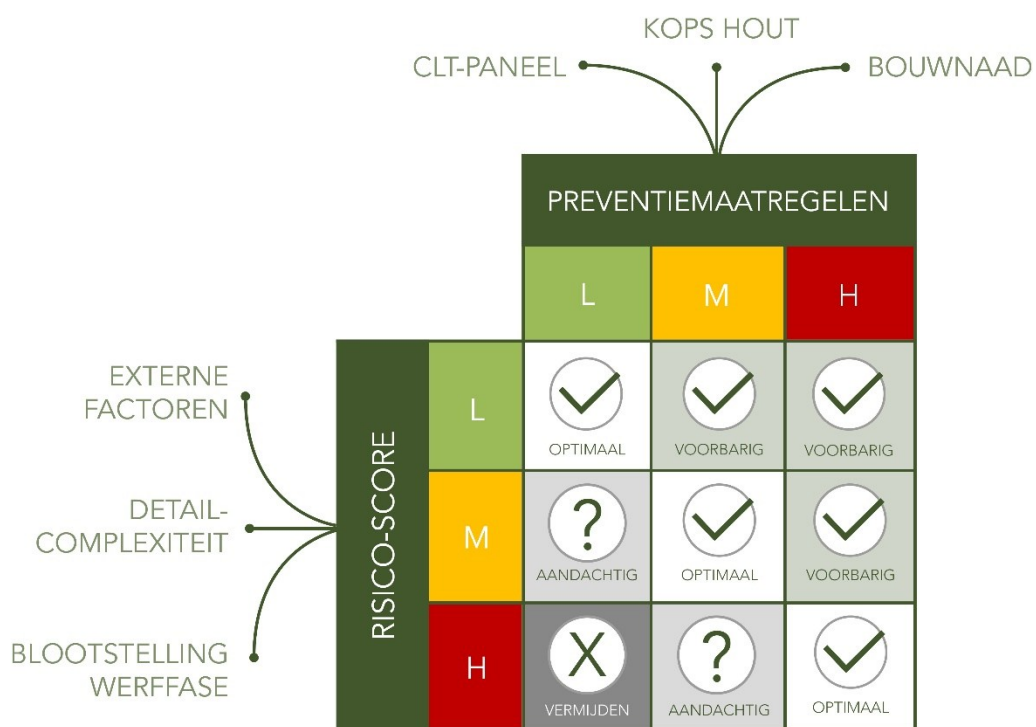
Het is logisch dat deze bouwdetails, omwille van hun intrinsieke vochtgevoeligheid, in meerdere bronnen herhaaldelijk aan bod komen. Wat echter opvalt, is de beperkte reikwijdte van deze literatuur als gevolg: tal van aansluitingsdetails blijven onbesproken. Nochtans functioneert elk detail wat betreft vochtthuishouding op een unieke manier vanwege verschillende projectmatige invloedsfactoren en vereist het bijgevolg een aangepaste beschermingsstrategie, beïnvloed door drie afzonderlijke maar elkaar beïnvloedende domeinen: externe omgevingsfactoren, de blootstelling tijdens de werffase en de detailcomplexiteit zelf.

Hoewel er in de onderzoeksliteratuur weldegelijk uitgebreide analyses te vinden zijn over vochtgedrag van CLT, met name het gedrag van individuele panelen via labo-opstellingen, ontbreekt in praktijkgerichte publicaties veelal een systematische, praktisch inzetbare aanpak met betrekking tot beschermingsprincipes voor aansluitingsdetails. Hierdoor wordt het voor ontwerpers moeilijker om zichzelf bewust te maken van het vochtgerelateerde risicoprofiel van een specifiek bouwdetail, en bijgevolg ook van de mate van bescherming die in een VBP beschreven dient te worden. Denk hierbij aan de detaillering van verticale schachten, doorvoeringen of specifieke schrijnwerkdetailleringen zoals dakramen. In veel gevallen veronderstelt men een evidente vertaalslag van de beschermingsstrategieën van standaardopbouwen en de wederkerende sleutel-details naar minder frequente detailleringen. Deze veronderstelling steunt echter sterk op de kennis en ervaring van de

ontwerper inzake vochtbeheer bij CLT-bouw. Juist op dat punt lijkt de Belgische houtbouwpraktijk nog achterop te hinken: gebouwen worden in België vaak initieel ontworpen in de mindset van een beton- of metselwerkstructuur, om vervolgens in een latere fase te worden omgezet naar houtmassiefbouw (INBO, 2021).

Het is uiteraard van groot belang voor de volledigheid van een VBP, en bijgevolg een vlot bouwproces, dat ieder risicopunt van het project op de juiste manier zal worden beschermd en opgevolgd worden. Daarom doet deze scriptie wel een worp naar een systematische ontwerptool, van waaruit een minimale set aan preventiemaatregelen wordt aanbevolen. De tool is toepasbaar voor ieder soort aansluitingsdetail en stelt een optimale beschermingsmethodiek voorop. Het vormt voornamelijk een bewustwording hoe sommige initieel voorgestelde beschermingsmaatregelen hetzij onder- of overmaats kunnen zijn en stelt hierbij een *optimale* beschermingsmethodiek voor. Dit is de mate van bescherming waarbij de kans het kleinste is op vochtaccumulatie in het bouwdetail, zonder de praktische en economische haalbaarheid sterk te beïnvloeden. Dit wil echter niet zeggen dat er met zekerheid vanaf dit niveau geen water de panelen zal bereiken.

Zoals figuur 76 aantoont, kan men hierin beslissen meer conservatieve beslissingen te nemen om zo het risico nog te verkleinen. Wanneer men anderzijds een lagere beschermingsgraad toepast dan geadviseert, dient het ontwerpteam sterk te evalueren wat de gevolgen zijn op vlak van monitoring en maatregelen na bevochtiging (RDH Building Science, 2021b).



Figuur 76 - Optimale beschermingsmethodiek voor aansluitingsdetails in matrixvorm (RDH Building Science, 2021b)

3.3.1.2. Oorsprong van de ontwerptool

Ondanks dat de meeste praktijkgidsen slechts de meest voorkomende kritische bouwdetails beschrijven, bestaan er binnen de literatuur ook modellen om de effecten van langdurige bevochtiging op een bouwdetail in te schatten. Deze worden meestal gebruikt om de levensduur of gebruiksklassen van blootgestelde houtconstructies te bepalen:

De meest gekende is de factormethode (FM), voorgesteld in de Europese ISO15686:2011. Vandaag is dit de meest gebruikte tool in het voorspellen van de levensduur van constructies, al dan niet blootgesteld aan de buitenomgeving. Hierin hanteert men een deterministische aanpak om een *Estimated Service Life* (ESL) te voorspellen door een referentielevensduur (RSL) bij te stellen met modificatiefactoren A tot G (ISO, 2011; Silva & Prieto, 2021; Hovde, 2002; Udele et al., 2022):

Factormethode (ISO 15686:2011)

$$ESL = RSL \cdot A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot E \cdot F \cdot G$$

ESL = voorspelde levensduur

RSL = referentielevensduur
(experimenteel vastgelegd)

A = Houtkwaliteit (Durability)

B = Ontwerpkwaliteit

C = Uitvoeringskwaliteit

D = Binnenklimaat

E = Buitenklimaat

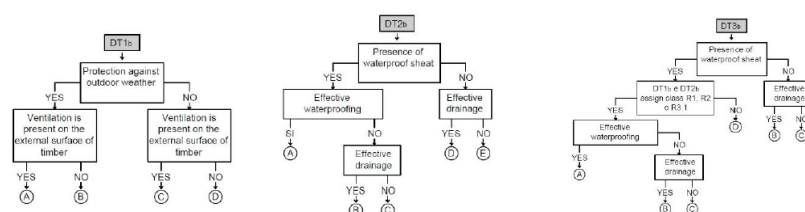
F = Gebruiksdomein

G = Onderhoudsniveau

Figuur 77 - Factormethode voor het bepalen van een voorspelde levensduur

Hoewel deze methode veel besproken wordt in de literatuur, beschrijft P.J. Hovke dat in de praktijk deze methode lastig inzetbaar blijkt. Het blijkt niet steeds even duidelijk hoe de score van bepaalde correctiefactoren bekomen wordt. De ontwerpkwaliteit hangt bijvoorbeeld van vele factoren af, waarbij binnen deze factor sommige aspecten meer doorwegen dan anderen (Hovde, 2002). Daarom stelt D. Marranzini een gecombineerde methode voor waarbij deze factormethode gelinkt wordt aan een *Multi-Criteria Decision-Making (MCDM)*-strategie. Dit soort model laat net die samenloop van verschillende subcriteria toe. Dit maakt het mogelijk dat bepaalde aspecten accumulerend werken, maar toch een zekere weging kennen ten opzichte van elkaar. Dit onderzoek kwam zo tot een gecombineerd model waarbij de factoren van de ISO-norm als hoofddomeinen dienden, met enkele subfactoren voorzien van een weging. Deze FM-MCDM combinatie diende als inspiratiebron voor het uitwerken van een eigen tool (Van De Kuilen & Gard, 2023; Marranzini et al., 2023; Brischke et al., 2021).

De bovengenoemde methode is echter niet direct vertaalbaar naar de scope van dit hoofdstuk, zijnde het risico op schade na bevochtiging in kaart brengen, om uiteindelijk tot een juiste beschermingsstrategie te komen. Hiervoor werden de inzichten van bovengenoemde modellen voor het berekenen van een *Service Life (SL)* gecombineerd met een model van A. Gaspari. Hij stelt een model op om het risico op houtrot in kaart te brengen, leidend tot een bepaalde risicocategorie. Deze klasse wordt verkregen door het volgen van beslissingsbomen specifiek voor bepaalde details (Gaspari et al., 2020; 2021).



Figuur 78 - Beslissingsboom voor het bepalen van de risicoklasse, specifiek voor balkons (Gaspari et al., 2021).

Zoals in bovenbeschreven probleemstelling, tracht deze tool echter een antwoord te bieden op het feit dat enkel kritische details systematisch besproken worden. Het probeert een breed toepasbaar kader op te stellen, waarbij projectspecifieke bouwdetails niet achterwege blijven zodanig dat een eigen vertaalslag, die berust op kennis van de ontwerper, makkelijker verloopt. Daarom combineert deze tool de inzichten van de factormethode, gecombineerd met een MCDM-filosofie, maar deze keer niet voor het bepalen van een levensduur maar het bepalen van een risicocategorie, zoals door Gaspari voorgesteld.

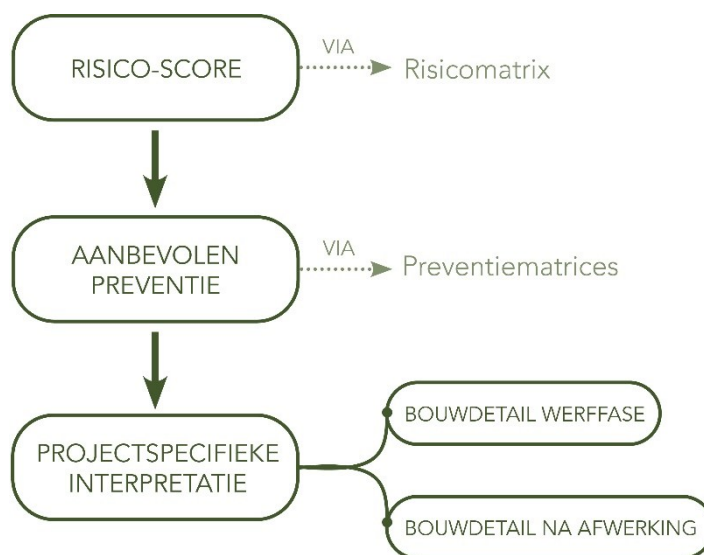
3.3.1.3. Werking van de ontwerptool

De detailleringstool werkt volgens een drietrapsprincipe, voorgesteld in figuur 79. Als eerste brengt het via een risico-analysematrix het risico op schade na bevochtiging objectief in kaart. Dit vormt een risico-score, die men meeneemt naar een set preventiematrices. Hierin wordt met deze score een 'optimaal' beschermingsadvies voorgesteld voor zowel het oppervlak van het CLT paneel, eventueel kops blootgesteld hout en bouwnaden. Het is vervolgens aan het ontwerpteam om hierover te reflecteren en afhankelijk van hun toelaatbare risico's en budgetten een keuze van preventiemaatregelen te nemen.

Dit zal uiteindelijk resulteren in één of meerdere details in bouwfase, wanneer de panelen - al dan niet naakt - blootgesteld staan aan het buitenklimaat, en een afgewerkt detail. De tool kan een waardevol instrument zijn in het opstellen van een robuust vochtbeheersplan voor de constructie. Daarenboven kan deze tool ook mee evolueren doorheen het ontwerpproces. Zo kan een situatie zich voordoen dat, vanwege vertragingen op de werf, het bouwseizoen verschuift en een hogere vochtbelasting met zich meedraagt. Deze tool maakt iteratieve herzieningen mogelijk, waardoor bijvoorbeeld preventiemaatregelen wat betreft monitoring en maatregelen na bevochtiging kunnen aangescherpt worden doorheen het bouwproces. Anderzijds dient men bij een gebrek aan gegevens uit te gaan van het meest nadelige scenario in de risicoanalyse. Wanneer later in het ontwerpproces dit gegeven wel gekend is, kan men opnieuw een iteratieve herziening van de tool doornemen, en mogelijks de hoeveelheid preventiemaatregelen gaan versoepelen.

Een bewerkbare digitale versie van de tool kan geconsulteerd worden via onderstaande QR-code, of via onderstaande link:

<https://zenodo.org/records/15333140>



Figuur 79 - Tweetrapsprincipe van de detailleringstool

Risicomatrix

De risicomatrix, afgebeeld in tabel 7 en bijgevoegd als bijlage A, heeft als doel om het 'risico op schade na bevochtiging' objectief in kaart te brengen. De matrix is opgedeeld in 4 hoofddomeinen die staan voor: externe factoren en blootstelling (groen), detailcomplexiteit en -ontwerp (blauw), blootstelling in werffase (roos) en projectomvang (paars). Elk van deze categorieën draagt enkele subvragen. De eerste drie hoofddomeinen beantwoordt men in de meest rechtse kolom met een score van 1 tot en met maximaal 5. In sommige gevallen, zoals vraag 4, zal de maximaal mogelijke score lager liggen dan 5. Visueel kan men ervoor kiezen de scores ook in te kleuren. De input en individuele weging van de scores is gebeurd na een uitgebreide algemene literatuurstudie van verschillende soorten bronnen (onderzoekspapers, handboeken, webinars en seminars, commerciële literatuur) alsook gesprekken met experts (Bureau Bouwtechniek, Woema, Laminated Timber Solutions, Courtoy P., Vandeweyngaerde C., persoonlijke communicatie, 2025) en eigen werfbezoeken.

EXTERNE FACTOREN EN BLOOTSTELLING		SCORE 1	SCORE 2	SCORE 3	SCORE 4	SCORE 5	Score
1. Oriëntatie	Zuid	Oost	Zuidoost, Noordoost	Zuidwest, Noord	Noordwest, West		1
2. Seizoen tijdens opbouw	Interieur	Zomer	Lente	Herfst	Winter		2
3. Locatie van detail	Inpandig	Inpandig maar gevoelig voor WDR, slagregen	Inpandig, langdurig blootgesteld aan buitenomgeving (+7d)	Buitenschil	Nabij maaiveld		1
DETAILCOMPLEXITEIT EN ONTWERP		SCORE 1	SCORE 2	SCORE 3	SCORE 4	SCORE 5	Score
4. Aantal samenkomende structurele bouwelementen	1	2	3 of meer	-	-	-	2
5. Kops hout blootgesteld aan exterieur of fundering (incl. werffase)	Neen	-	-	-	Ja	-	1
6. Bouwnaden	Geen naden	Verticaal	Onder helling	Horizontaal	-	-	4
7. Drogingspotentieel in ruwbouw	Vrije droging mogelijk	-	Belemmerde droging (vb. spleten of dampremmende bescherming)	-	-	-	1
8. Drogingspotentieel met verdere lagen	Dampopen opbouw	-	Dampremmende opbouw	Dampdichte opbouw	Dampdicht	Risico op vocht in spleten	1
9. Schade door lekkages tijdens levensduur door technieken	Geen risico	Laag risico	-	-	Hoog risico	-	2
10. Risico op vochtinsijpeling in bouwnaden tijdens levensduur (los van technieken, beschouwd zonder bescherming)	Geen risico	Laag risico	-	-	Hoog risico	-	2
BLOOTSTELLING IN WERFFASE		SCORE 1	SCORE 2	SCORE 3	SCORE 4	SCORE 5	Score
11. Opslag van panelen	Just-In-Time Delivery (JIT)	Inpandige opslag	Best-Practise buitenopslag (-7d)	Best-Practise opslag Lange opslagtijd (+7d)	Naakte opslag	Naakte opslag Langere opslagtijd	1
12. Beschermingsgraad op de panelen	Waterslotenende fabrieksbescherming	-	-	-	Geen fabrieksbescherming voorzien	-	1
14. Tijdelijke bescherming in vorm van stellingszeil, tent of overkapping	Ja	Inpandig	Neen	-	-	-	2
BESCHOUWD DETAIL		Binnenwand - Binnenvloer					
PROJECTOMVANG							
Totale vloeroppervlakte (bruikbare vloeroppervlakte in m²)		280 m²					
Gebouwhoogte (maaiveld t.e.m. dakopstand of nokhoogte, excl. technieken)		6 m					
Ingeschatte duurtijd vooraleer wind-en waterdicht		4 weken					
GEVOLG OP RISICO-ANALYSE		Groot project Maximale score bij vraag 1, 2 en 3 en minimaal score 3 bij vraag 11.					
MOGELIJKHEID TOT FASERING							
Indien groot project, kan men de bouwplanning zo faseren dat men zones van max. 250m² binnen de 12 weken wind- en waterdicht kan maken?		Ja					
GEVOLG OP RISICO-ANALYSE		Origineel scoresysteem behouden					

RISICOSCORE

LOG SCORE

RISICOSCORE	1,28E+02	2,11
MAX. SCORE	2E+08	8,32
MIN. SCORE	2	0,30

	PREVENTIENIVEAU	LAAG
LAAG	0,30	2,77
MIDDELHOOG	2,78	5,55
HOOG	5,56	7,00
OVERMATIG	7,01	8,32

Tabel 7 - Risicomatrix voor aansluitingsdetails (Appendix B)

Bij het invullen van deze subvragen, is het belangrijk om het detail als een 'naakt' detail te gaan beschouwen. Men bekijkt het detail en de opbouw als het ware zonder bescherming, gezien de panelen ook zonder enige bescherming zullen geleverd worden. Bij sommige leveranciers is het mogelijk om reeds een coating of membraan fabrieksmatig te laten aanbrengen. Gezien deze beschermingen inherent zijn aan de panelen bij aankomst op de bouwplaats, worden deze wel meegenomen. Deze manier laat toe om een objectieve lezing te krijgen van het risico, zonder enige vorm van vooraf aangenomen beschermingsmethode.

Normaliter kunnen alle vragen binnen de 4 hoofddomeinen beantwoord worden vanuit de ontwerpgegevens. Bij ontstentenis van gegevens dient men uit te gaan van een worst-case scenario en deze subvraag een maximale score te geven. Iteratieve herziening doorheen het ontwerp-of uitvoeringsproces is hierna mogelijk.

De deelscores eerste drie hoofddomeinen worden met elkaar vermenigvuldigd en levert de totale risico-score. Vanwege het multiplicatief karakter zal dit getal maximaal 210 937 500 zijn. Vanuit de centrale limietstelling - overigens ook CLT genoemd binnen de Engelstalige statistiek - geldt dat wanneer een groot aantal onafhankelijke additieve effecten optelt, de som de vorm zal gaan aannemen van een normale verdeling. Echter zijn vele processen, zoals schade door vocht, niet additief maar multiplicatief en is daarom de centrale limietstelling uit de statistiek niet rechtstreeks toepasbaar. Als men echter het product neemt van vele onafhankelijke, positieve variabelen dan geldt dat het decimaal logaritme van dat product gelijk is aan de sommatie van de logaritmen (Kwak & Kim, 2017):

$$\log_{10}(X_1 * X_2 * ... * X_n) = \log(X_1) + \log(X_2) + \dots + \log(X_n)$$

Daardoor kan men indirect wel de centrale limietstelling toepasbaar en geldt: het decimaal logaritme van het product is normaal verdeeld, en dus is het product zelf lognormaal verdeeld. Concreet draagt dit mee dat de totale risico-score behapbaar kan worden door het decimaal logaritme (grondgetal 10) te nemen van deze score. Hiermee verkrijgen we een leesbare minimale score van 0.3 en maximale score van 8.32. Op basis hiervan worden de grenswaarden van de preventiecategorieën bepaald.

Alvorens met deze risico-score verder te gaan, dient het vierde hoofddomein (paars) omtrent de projectomvang nog aangevuld te worden. Dit geeft een beoordeling naar schaal van het project aan de hand van drie voldoende criteria:

- *Totale bruikbare vloeroppervlakte met als criterium 250m²:*
Dit wordt als aanname voor een ruime vrijstaande woning genomen en voor deze tool als grens tussen een klein en groot CLT-project (Roland R., persoonlijke communicatie, 4 april 2025).
- *Gebouwhoogte met als criterium 10m:*
Deze hoogte, tussen het laagste punt van het maaiveld tot en met de dakopstand of nokhoogte in geval van hellende daken, wordt gezien als de overgangshoogte van laagbouw naar middelhoogbouw. Dit is weliswaar in de context van brandveiligheid, maar kan hier als goede aanname gehanteerd worden (Federale Overheidsdienst Binnenlandse zaken, 1994).
- *Ingeschatte duurtijd vooraleer wind- en waterdicht met als criterium 12 weken, ofwel 1 seizoen:*
Deze maatregel is vaak vanuit het ontwerpproces lastig te begroten. In de vorm van een bouwteam, waar de aannemer snel bij het ontwerpproces betrokken is, kan dit soms wel. Indien dit niet te begroten valt door omstandigheden, leert te praktijk dat het vaak langer zal duren dan 12 weken alvorens de ruwbouwfase afgewerkt is (met name bij grotere projecten (Meulenbergs M., persoonlijke communicatie, 4 april 2025)).

De reden voor de integratie van projectomvang in deze risico-analyse is niet één op één te verklaren. Vanuit de bouwpraktijk blijkt, waarover meer te lezen valt in deel 6, dat de praktische haalbaarheid van een vochtbeheersplan vaak in het gedrang komt bij grotere projecten. Eens de schaal van het project één van de bovenstaande criteria overstijgt, is het simpelweg lastiger om de vele details op te volgen en tijdig te monitoren. Ten tweede heeft men minder vat op zaken als seizoen waarin men bouwt. Ten derde beweegt er veel meer op de werf en lopen er meer arbeiders op de bouwplaats, die nooit allen even bewust zijn van de risico's van bouwen met CLT, wat een risico stelt op de integriteit van beschermingsmaatregelen. Uiteraard is dit

bijzonder lastig om dit risico te kwantificeren in het kader van een risico-analyse. Daarom wordt gekozen dat de drie bovenstaande criteria dienen als een voldoende voorwaarde voor het aanpassen van het origineel scoresysteem. Indien een van de drie de schaal van een vrijstaand kleinschalig CLT-project overstijgt, zal een hogere risico-score moeten ingerekend worden in de categorie 'Externe factoren en blootstelling' (groen). Bovendien wordt dan de aanname genomen dat de panelen zullen gestockeerd worden op de site voor een zekere tijd.

Anderzijds draait de tool om het bewust maken van de risico's die verbonden zijn met een detail. Grotere projecten zijn echter niet steeds gedoemd om hogere scores op te leveren indien men ontwerpmatig slim omgaat met de bouwplanning. Er is daarom een stimulans ingewerkt in de tool om ontwerpmatig de globale grote structuur zo vorm te geven dat het mogelijk is om gefaseerd te gaan werken, en men daarbij onder de drie bovengenoemde criteria valt. Zo kan men de schaal gaan beperken, en daarmee wel garanderen dat er bijvoorbeeld in



de zomer kan gebouwd worden, er een beperkte hoeveelheid bouwactoren werken in die zone en is nauwgezette monitoring wel mogelijk. Deze faseerbaarheid is besproken in deel 6 en heeft als effect op de risico-matrix dat de initiële scores kunnen behouden worden, ondanks dat de projectomvang deze van een vrijstaand kleinschalig project overstijgt. Dit mondt indirect uit in een lagere risico-score dan wanneer men het gebouw ongefaseerd zou opbouwen, wat een lagere nood aan preventiemaatregelen kan teweegbrengen.

Na het invullen van het vierde hoofddomein en het eventueel aanpassen van de initiële score naar de invloed van de projectomvang, verkrijgt men de uiteindelijke totale risico-score met het bijhorende preventieniveau. In de digitale vorm van deze matrix gebeurt dit automatisch. Het aanbevolen preventieniveau, zijnde laag/middelhoog/hoog of ongeschikt dient men vervolgens mee te nemen naar de set van preventiematrices, teneinde een optimaal advies rond de beschermingsmethodiek, monitoring in uitvoering en maatregelen na bevochtiging te krijgen.

Preventiematrices

Het preventie-advies wordt opgebouwd aan de hand van drie preventiematrices: het CLT-paneeloppervlak, blootgesteld kops hout en bouwnaden. Deze zijn in onderstaande tabellen 7 tot 9 gepresenteerd en bijgevoegd als bijlage B. Deze opsplitsing is gegrond in het feit dat ieder van deze drie een andere methodiek vereist wat betreft beschermingsinstrumenten, monitoring en maatregelen na bevochtiging. De globale opzet blijft echter voor iedere matrix hetzelfde. Iedere matrix bestaat uit een ontwerpmatig luik (links) en uitvoeringstechnisch luik (rechts), elks bestaande uit een set algemene adviezen aangevuld met specifieke adviezen per preventieniveau. De algemene adviezen dienen ongeacht het geadviseerd preventieniveau nagestreefd te worden.

ONTWERPMATIG CLT-PANEEL			UITVOERINGSTECHNISCH CLT-PANEEL				
ALGEMEEN		PREVENTIE NIVEAU	BESCHERMINGSMETHODIEK	MONITORING		MAATREGELEN NA BEVOCHTING HOUT	ALGEMEEN
DAMPDICHTHEID Ieder element in aansluitingsdetail streeft een zo dampopen mogelijk karakter na (vb. Isolatie, membranen, tapes, gevelafwerking)		L	Naakt paneel	Visueel en voelen	Natuurlijk laten ventileren	Streef een Just-In-Time delivery na bij de leverancier.	
VERMID VOCHTINTRUSIE Streef naar hellingen in de panelen.			Hydrofoberingscoating	Oppervlaktmeting na bevochtiging	Drainage naar tappunten faciliteren (indien van toepassing)	Sla de panelen zoveel mogelijk inpandig op. Indien niet mogelijk: Best-Practice buitenopslag nastreven.	
VERMID HORIZONTALISERING Vermijd horizontale oriëntaties van panelen.		M	Ademend zelfklevend weersmembran	Dieptemeting vooraleer dampremmende laag over tegen plaatsen		Overloop de checklist voor ieder weekend of verlofdag.	
			Vb. (Semi-) Permeabel	Bovenstaande + dieptemeting na bevochtiging	Actief stagnerend water afvoeren naar buitenschil (drainage, afrekkers, eventueel doeken)	Voor een periodieke controle uit naar perforaties in (dampdichte) lag	
				Bovenstaande + dieptemeting per twee weken	Geforceerde ventilatie met droge lucht gericht naar bevochtigd element	Maak hijshaken een deel van het vochtbeheersplan. (vb. Doorboren, opvullen met stop, folie over)	
DROGGING FACILITEREN		H	Dampdichte membraan	Bovenstaande + dieptemeting wekelijks	Geforceerde ventilatie met droge lucht gericht naar bevochtigd element	VERKLEVING Brenge slechts bescherming aan op voldoende droge panelen (sub 20% MC). Anders zal de bescherming niet goed hechten. Verkleef de bescherming steeds goed met tapes aan de drager indien niet zelfklevend. Voorzie steeds de overlap volgens de technische fiche van de gekozen beschermingsmethodiek.	
Werf			Vb. Akoestische mat				
Afwerking			EPDM-membraan		Bouwdrogers aan gematigde temperatuur		
			Bitumeus (vloeibaar) membraan		Verwijderen van dampdichte membranen		
			PE of PP-Folie		Droging maximaal faciliteren		
SANITAIR LEIDEN Plaats deze zoveel mogelijk onder horizontale CLT-panels.			...			ADAPTIEVE WERFPLANNING Faciliteer planningswijzigingen bij sterke neerslagkans.	
ALTERNATIEF VBP Voorzie conservatievere opties bij hogere belasting dan verwacht.		ONGESCHIKT	Fundamentele heroverweging van materiaalkeuze nodig.	DISCLAIMER Indien een lager beschermingsinstrument dan het aanbevolen preventieniveau gekozen wordt, dient het uitvoeringstechnische luik strikt het aanbevolen niveau volgen.			
Maak de switch naar hogere preventieniveaus in uitvoering mogelijk.				Medium beschermingsinstrument gekozen na hoge risico-analyse Hoge uitvoeringstechnische luik te hanteren			
			Externe globale bescherming Vb. Tentoverkapping Stelling met zeilen				

Tabel 8 - Preventiematrix CLT-paneeloppervlak

ONTWERPMATIG BOUWNADEN			UITVOERINGSTECHNISCH BOUWNADEN		
ALGEMEEN	PREVENTIE NIVEAU	BESCHERMINGSMETHODIEK	MONITORING	MAATREGELEN NA BEVOCHTING HOUT	ALGEMEEN
OPTIMAL PANEL CONFIGURATION Streef in samenwerking en ingenieurs met de leverancier naar een minimaal (verschillend) aantal panelen. Dit vermindert drastisch het aantal bouwnaden, dus dus potentiële plekken van vochtaccumulatie. VERMID HORIZONTALE BOUWNADEN Bouwnaden zijn inherent aan detaillering. Toch kan het aantal verminderd worden door ontwerpmatige beslissingen, zoals een beperkt aantal door en oversteken, terrassen uit CLT, het aantal opleggingen te beperken. Indien structureel mogelijk, kan platformbouw ingewisseld worden voor een ballon-frame methode. Hier wordt een horizontale bouwnaad vervangen door een verticale.	L	Geen bescherming van bouwnaad	Visueel en voelen Oppervlaktmeting Dieptemeting vooraleer dampremmende laag die naad bedekt	Natuurlijke droging neemt te veel tijd in beslag. Eens bevochtigde bouwnaad, direct over te gaan naar middelhoge categorie	UITVOERINGSTOLLERANTIES Streef een goede uitlijning van de panelen na, zodanig dat er geen kleine horizontale uitsprongen zijn. Deze dienen als plaatsen van vochtphopping.
		M Tapes om bouwnaad af te sluiten (bij voorkeur dampopen) Dampopen membraan optrekken tot over bouwnaad en afspan tegen drager	Bovenstaande + dieptemeting na bevochtiging (max. 10cm van naad) Bovenstaande + dieptemeting per twee weken (max. 10cm van naad)	Geforceerde ventilatie met droge lucht gericht naar bouwnaad	EFFICIËNTIE VAN GEFORCEERDE DROGGING Vocht uit bouwnaden krijgen is bijzonder lastig en bijzonder tijdrovend. Geforceerde droging kan enigszins deze lange droogperiode inkorten. Overweeg daarom om snel na bevochtiging een droge luchtstroom te voorzien in werfphase.
	H	Dampdicht membraan optrekken tot over bouwnaad en afspan tegen drager Vloeibaar afdichtingsmembraan over de bouwnaad tegen drager	Bovenstaande + dieptemeting wekelijks Bovenstaande + Sensoren plaatsen kort boven naad	Verwijderen van dampdichte membranen Droging maximaal faciliteren Geforceerde ventilatie met droge lucht gericht naar bouwnaad Bouwdrogers aan gematigde temperatuur	DAMPDICHTE BESCHERMINGSLAGEN Indien dampdichte bescherming toegepast, dient deze op regelmatige basis gecontroleerd te worden op perforaties. Vocht die toch doorlekt, kan vervolgen niet meer drogen. ADAPTIEVE WERFPLANNING Faciliteer planningswijzigingen bij sterke neerslagkans.
		ONGESCHIKT Fundamentele heroverweging van materiaalkeuze nodig.	DISCLAIMER Indien een lager beschermingsinstrument dan het aanbevolen preventieniveau gekozen wordt, dient het uitvoeringstechnische luik strikt het aanbevolen niveau volgen. Bijvoorbeeld: Medium beschermingsinstrument gekozen na hoge risico-analyse Hoge uitvoeringstechnische luik te hanteren		

Tabel 9 - Preventiematrix blootgesteld kops hout

ONTWERPMATIG BLOOTGESTELD KOPS HOUT			UITVOERINGSTECHNISCH BLOOTGESTELD KOPS HOUT		
ALGEMEEN	PREVENTIE NIVEAU	BESCHERMINGSMETHODIEK	MONITORING	MAATREGELEN NA BEVOCHTING HOUT	ALGEMEEN
KOPS HOUT DETAILMATIG VERMIDJEN Indien structureel toepasbaar, pas de ballonframe methodiek toe in plaats van de platformbouw methode. Hierbij wordt kops hout achter een wand gestoken, waardoor dit niet blootgesteld is aan de omgeving. AFSCHOT IN KOPS HOUT VOORZIEN Indien mogelijk kan men helling voorzien in het kops hout, zodanig vloeibaar water gravitair kan afstromen van het kops hout in plaats van stagneren. (Vb. dakopstand)	L	Naakt paneel Hydrofoberingscoating	Visueel en voelen Oppervlaktmeting Dieptemeting vooraleer dampremmende laag over tegen plaatsen	Natuurlijke ventilatie	Breng zo snel mogelijk de bescherming aan op het droge kops hout Voorzie bij vloeren een kleine boordopstand. Stagnerend water op de vloer zal zo niet afstromen naar het kops hout, om vervolgens daar in te trekken. Belangrijk hierbij is wel om steeds
		M Ademend zelfklevend weersmembran + tapes op drager Vb. (Semi-) Permeabel	Bovenstaande + dieptemeting na bevochtiging Bovenstaande + dieptemeting per twee weken	Geforceerde ventilatie met droge lucht gericht naar kops hout	Overloop de checklist voor ieder weekend of verlofdag.
	H	Dampdichte membraan Vb. Wax-coating EPDM-membraan + tapes Bitumeus (vloeibaar) membraan (tapes)	Bovenstaande + dieptemeting wekelijks Bovenstaande + Sensoren plaatsen bij kritieke plekken	Verwijderen van dampdichte membranen Droging maximaal faciliteren Geforceerde ventilatie met droge lucht gericht naar kops hout Bouwdrogers aan gematigde temperatuur	VERKLEVING Brenge slechts bescherming aan op voldoende droge panelen (sub 20% MC). Anders zal de bescherming niet goed hechten op ruw kops hout. ADAPTIEVE WERFPLANNING Faciliteer planningswijzigingen bij sterke neerslagkans.
		ONGESCHIKT Fundamentele heroverweging van materiaalkeuze nodig.	DISCLAIMER Indien een lager beschermingsinstrument dan het aanbevolen preventieniveau gekozen wordt, dient het uitvoeringstechnische luik strikt het aanbevolen niveau volgen. Bijvoorbeeld: Medium beschermingsinstrument gekozen na hoge risico-analyse Hoge uitvoeringstechnische luik te hanteren		

Tabel 10 - Preventiematrix bouwnaden

Men leest iedere preventiematrix op horizontale manier en volgt het geadviseerde preventieniveau. Uiteraard kan men kiezen om een meer conservatieve beschermingsmethodiek te gaan hanteren, geïllustreerd via de stippellijnen. Vanuit projectbudgetten of diverse overwegingen kan een ontwerpsteam ook beslissen een lagere bescherming dan geadviseerd te gaan hanteren op een van de fronten, hetzij ontwerpmatig hetzij uitvoeringstechnisch. Het is dan echter van belang voor het andere luik wel minimaal het geadviseerde preventieniveau of strenger te hanteren.

Daarnaast wordt in het afwegingskader ook een vierde risicocategorie voorzien, namelijk 'ongeschikt'. Deze categorie is van toepassing wanneer, als gevolg van de combinatie van een bijzonder vochtgevoelig bouwdetail met een reeks accumulerende negatieve factoren in de risicomatrix, het risico op schade na bevochtiging dermate groeit dat een fundamentele heroverweging van de materiaalkeuze voor CLT op zijn plaats is. Een illustratief voorbeeld betreft het gebruik van CLT-vloeren in een natte ruimte, gecombineerd met een dampdichte vloer- en wandopbouw, waarbij de vloerplaat tevens uitkragend is om een balkon te realiseren en de bouwactiviteiten daarvoor gepland zijn in een winterperiode. Dergelijke cumulatie van risico verhogende factoren vereist een kritische reflectie of het detail niet beter gerealiseerd wordt met een alternatief constructiesysteem. Indien men in dergelijke ongeschikte omstandigheden toch kiest om met CLT verder te bouwen, is het aangewezen om het hoogste preventieniveau te hanteren. Bovendien dient bijkomend een vorm van externe bescherming voorzien te worden, zoals bouwen onder een tentstructuur of een (lokale) overkapping met adequate afwateringsmogelijkheden, beschreven in deelhoofdstuk 4.2.3.

De specifieke beschermingsadviezen voor het ontwerpmatige luik bestaan uit de verschillende beschermingsmogelijkheden, gepresenteerd onder deelhoofdstuk 3.2.3. Binnen het uitvoeringstechnische luik worden adviezen gevormd rond protocollen voor vochtmetingen en de nodige maatregelen mocht vocht zich nabij het bouwdetail toch gaan ophopen. De inhoud hiervan is gebaseerd op de inzichten uit hoofdstuk 4.4 en 4.5.

Interpretatie

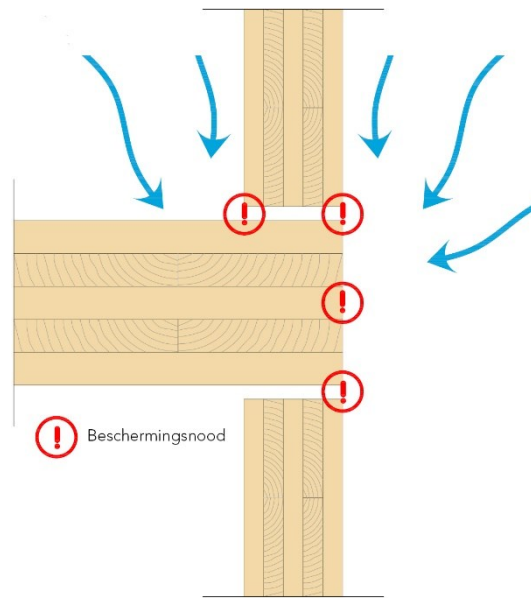
Vanuit de preventiematrices zou de ontwerper in staat moeten een uitspraak te doen op vlak van beschermingsmethodiek, monitoring en maatregelen na bevochtiging. Volgend uit de gevoeligheid van CLT als bouw materiaal in werffase, is het van belang deze uitspraak te doen voor minimaal twee details: één of meerdere details in werffase met (tijdelijke) bescherming van de panelen, bouwnaden en kops hout en een detail na oplevering.

Deze gehele ontwerptool zal uiteindelijk resulteren in een vochtbeheersplan voor dit specifieke bouwdetail, aangevuld met een grafische uitwerking ervan. Het getekende bouwdetail vormt immers het primaire communicatiemiddel op de bouwplaats tussen de verschillende bouwpartners. Daarom is het van essentieel belang dat alle informatie met betrekking tot de beschermingsmaatregelen duidelijk en correct wordt opgenomen in zowel de bestekken als de technische tekeningen (Bureau Bouwtechniek, persoonlijke communicatie, 4 april 2025).

In dat opzicht is het cruciaal om bij het ontwerpen van de beschermingsmaatregelen het bouwdetail doorheen de verschillende werffasen te beschouwen alsof het onder volledige regenbelasting staat. Door zich in te beelden waar vocht zich in die omstandigheden zou kunnen accumuleren, kan gericht worden bepaald waar aanvullende beschermingsmaatregelen noodzakelijk zijn.

Een illustratief voorbeeld hiervan is de aansluiting van een buitenwand op een vloer, schematisch voorgesteld in figuur 80. Waar men traditioneel vooral focust op de bescherming van de bouwknoop aan de buitenzijde van de gebouwschil, kan in de werffase ook vanuit de binnenzijde bevochtiging optreden. Dit is het geval wanneer het bovenliggende vloerpaneel nog niet geplaatst is, waardoor regeninslag van bovenaf de constructie kan binnendringen. Ook op dergelijke locaties is het bijgevolg van belang een bijkomende

beschermingsmaatregel te voorzien, zelfs al is het risico op bevochtiging via die route tijdens de gebruiksfase van het gebouw minimaal.



Figuur 80 – Beschermingsnood van aansluiting tussen CLT-vloeren en -buitenwanden.

Evalueer een bouwdetail in werffase alsof het overal rondom het detail kan regenen.



3.3.2. Illustratie van de ontwerptool – kritische bouwdetails

De werking van de ontwerptool en de bijhorende matrices komt het best tot uiting door deze te illustreren aan de hand van enkele specifieke aansluitingsdetails. Komend hoofdstuk beoogt dan ook op zuiver illustratieve wijze de werking van de tool te verduidelijken, en is geenszins bedoeld als dicterende handleiding voor de bescherming van deze specifieke details alsof deze unaniem toepasbaar zouden zijn.

De tool is immers ontworpen om aan te tonen hoe elk bouwdetail een unieke risico-inschatting vereist, bepaald door een samenspel van vier hoofddomeinen, waarbij de schaal en complexiteit van het bouwproject een bepalende factor vormen. Afhankelijk van deze projectspecifieke parameters kunnen gelijkaardige aansluitingsdetails nood hebben aan afwijkende beschermingsstrategieën. Aanvullend worden in dit deelhoofdstuk voor deze beschreven details specifieke aandachtspunten beschreven, waar men rekening mee moet houden op ontwerpmatig en uitvoeringstechnisch gebied.

3.3.2.1. Binnenwand – Tussenvloer

Projectgegevens:

Projectomvang:

- Eengezinswoning
- 190m² vloeroppervlakte
- 8.3m gebouwhoogte
- 7 weken ingeschatte bouwtijd vooraleer wind- en waterdicht

Externe factoren:

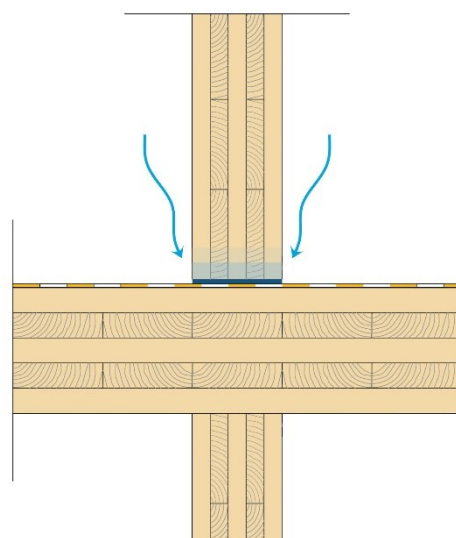
- Bouwen in zomer gegarandeerd
- Inpandig bouwdetail, zelfde week afgedekt met bovenliggende verdiepingsvloer
- Niet in buurt van doorvoeren of gevelopeningen

Opbouw in ontwerpfase:

- Droog vloersysteem
- Vloeropbouw met dampremmende lagen (OSB)

Gegevens werffase:

- Just-In-Time CLT-levering gegarandeerd
- Vloerpaneel fabrieksmatig beschermd met Hydrofoberingscoating (Lignopro® 850 CLT-Varnish)



Figuur 81 - Mogelijke vochtproblematiek: aansluiting binnenwand met vloerpaneel.

Risico-score

Men weet vanuit bovenstaande projectgegevens alle informatie nodig om de risicomatrix in te vullen. Mochten bepaalde gegevens niet gekend zijn, dient men uit te gaan van een worst-case scenario. Dit kan nadien via iteratieve herziening versoepeld worden. Tabel 12 geeft de ingevulde risicomatrix weer, waarbij een risico-score van 2.16 bereikt wordt. Hiermee wordt voor dit bouwdetail een laag preventieniveau geadviseerd.

EXTERNE FACTOREN EN BLOOTSTELLING		SCORE 1	SCORE 2	SCORE 3	SCORE 4	SCORE 5	Score
1. Oriëntatie	Zuid Interieur	Oost	Zuidoost, Noordoost	Zuidwest, Noord	Noordwest, West Horizontaal dakoppervlak		1
2. Seizoen tijdens opbouw	-	Zomer	Lente	Herfst	Winter		2
3. Locatie van detail	Inpandig Beschermd van externe factoren	Inpandig maar gevoelig voor WDR, slagregen	Inpandig, langdurig blootgesteld aan buitenomgeving (+7d)	Buitenschil	Nabij maaiveld		1
DETAILCOMPLEXITEIT EN ONTWERP		SCORE 1	SCORE 2	SCORE 3	SCORE 4	SCORE 5	Score
4. Aantal samenkomende bouwelementen	1	2	3 of meer	-	-		1
5. Kops hout blootgesteld aan exterieur of fundering (incl. werffase)	Neen	-	-	-	Ja		1
6. Bouwnaden	Geen naden	Verticaal	Onder helling	Horizontaal	-		4
7. Drogingspotentieel in ruwbouw	Vrije droging mogelijk	-	Belemmerde droging (vb. spleten of dampremmende bescherming)	-	-		3
8. Drogingspotentieel met verdere lagen	Dampopen opbouw	-	Dampremmende opbouw	Dampdichte opbouw	Dampdicht Risico op vocht in spleten		3
9. Schade door lekkages tijdens levensduur door technieken	Geen risico	Laag risico	-	-	Hoog risico		2
10. Risico op vochtinsijpeling in bouwnaden	Geen risico	Laag risico	-	-	Hoog risico		1
10. tijdens levensduur (los van technieken, beschouwd zonder bescherming)							
BLOOTSTELLING IN WERFFASE		SCORE 1	SCORE 2	SCORE 3	SCORE 4	SCORE 5	Score
11. Opslag van panelen	Just-In-Time Delivery (JIT)	Inpandige opslag	Best-Practice buitenopslag (-7d)	Best-Practice opslag Lange opslagtijd (+7d)	Naakte opslag Langere opslagtijd		1
12. Beschermingsgraad op de panelen	Waterafstotende fabrieksbescherming	-	-	-	Geen fabrieksbescherming voorzien		1
14. Tijdelijke bescherming in vorm van stellingszeil, tent of overkapping	Ja of inpandig	-	Neen	-	-		1
BESCHOUW DETAIL		Binnenwand - Tussenvloer aansluiting					
PROJECTOMVANG							
Totale bruikbare vloeroppervlakte (bruikbare vloeroppervlakte in m²)		190 m²					
Gebouwhoogte (maaiveld t.e.m. dakopstand of nokhoogte, excl. technieken)		8,3 m					
Ingeschatte duurtijd vooraleer wind- en waterdicht		7 weken					
GEVOLG OP RISICO-ANALYSE		Klein project Origineel scoresysteem behouden.					
MOGELIJKHEID TOT FASERING							
Indien groot project, kan men de bouwplanning zo faseren dat men zones van max. 250m² binnen de 12 weken wind- en waterdicht kan maken?							
GEVOLG OP RISICO-ANALYSE		Bovenstaand gevolg aanhouden					
RISICOSCORE							
		LOG SCORE					
RISICOSCORE		144					2,16
MAX. SCORE		2E+08					8,32
MIN. SCORE		2					0,30
		PREVENTIENIVEAU					LAAG
LAAG		0,30					2,77
MIDDELHOOG		2,78					5,55
HOOG		5,56					7,00
ONGESCHIKT		7,01					8,32

Tabel 11 - Ingevulde projectspecifieke risicomatrix voor de aansluiting van een binnenwand met een tussenvloer

Men merkt hier hoe de horizontale bouwnaad, in samenspel met de dampremmende opbouw de risico-score het sterkst beïnvloed. Hieruit snapt men dat dit de locatie is die mogelijks bescherming nodig heeft, maar slechts in beperkte mate.

Preventieadvies

Gezien dit bouwdetail geen blootgesteld kops hout kent, dienen slechts twee van de drie preventiematrices bekeken te worden. Deze zijn ingevuld weergegeven in tabel 13.

ONTWERPMATIG CLT-PANEEL			UITVOERINGSTECHNISCH CLT-PANEEL		
ALGEMEEN	PREVENTIE NIVEAU	BESCHERMINGSMETHODIEK	MONITORING	MAATREGELEN NA BEVOCHTING HOUT	ALGEMEEN
DAMPDICHTHEID Ieder element in aansluitingsdetail streeft ernaar naar:	L	Naakt paneel Hydrofobiseringscoating	Visueel en voelen Oppervlaktetelling na bevochtiging Dieptemeting vooraleer dampremmende laag over tegen plaatsen	Natuurlijk laten ventileren Drainage naar tappunten faciliteren (indien van toepassing)	Sreef een Just-In-Time delivery na bij de leverancier. Sla de panelen zoveel mogelijk inpandig op. Indien niet mogelijk: Best-Practice buitenschilden nastreven. Overloop de checklist voor ieder weekend of verlofslag.
VERMIJD VOCHTINTRUSIE Streef naar hellingen in de panelen. Vermijd horizontale oriëntaties van panelen.	M	Ademend zelfklevend weersmembran Vb. (Semi-) Permeabel	Bovenstaande + dieptemeting na bevochtiging Bovenstaande + dieptemeting per twee weken	Actief stagnerend water afvoeren naar buitenschil (drainage, afrekkers, eventueel doelen) Geforceerde ventilatie met droge lucht gericht naar bevochtigd element	Voer een periodieke controle uit naar perforaties in (dampdichte) lag Maak hijhaken een deel van het vochtbeheersplan. (vb. Doorboren, opvullen met stop, folie over)
DROGING FACILITEREN Werf: Vermijd dampdichte lagen tegen CLT, tenzij deze fabrieksgeplaatst of tegen voldoende droog paneel. Afwerking: Faciliteer in- en uitwaartse droging.	H	Dampdichte membraan Vb. Akoestische mat EPDM-membraan Bitumeus (vloeibaar) membraan PE of PP-Folie	Bovenstaande + dieptemeting wekelijks Bovenstaande + Sensoren plaatsen bij kritieke plekken	Geforceerde ventilatie met droge lucht gericht naar bevochtigd element Bouwdrogers aan gemiddelde temperatuur Verwijderen van dampdichte membranen Droging maximaal faciliteren	VERKLEVEN Brenge slechts bescherming aan op voldoende droge panelen (sub 20% MC). Anders zal de bescherming niet goed hechten. Verkleef de bescherming steeds goed met tapes aan de Voorzie steeds de overlap volgens de technische fiche van de gekozen beschermingsmethode.
SANITAIERE LEIDINGEN Plaats deze zoveel mogelijk onder horizontale CLT-panelen. ALTERNATIEF VBP Voorzie conservatieve opties bij hogere belasting dan verwacht. Maak de switch naar hogere preventieniveaus in uitvoering mogelijk.	ONGESCHIKT	Fundamentele heroverweging van materiaalkeuze nodig. Externe globale bescherming vereist Vb. Tentoverkapping Stelling met zeilen	DISCLAIMER Indien een lager beschermingsinstrument dan het aanbevolen preventieniveau gekozen bijvoorbeeld: Medium beschermingsinstrument gekozen na hoge risico-analyse Hoge uitvoeringstechnische luik te hanteren		
			ADAPTIEVE WERFPLANNING Faciliteer planningswijzigingen bij sterke neenslagans.		

ONTWERPMATIG BOUWNAADEN			UITVOERINGSTECHNISCH BOUWNAADEN		
ALGEMEEN	PREVENTIE NIVEAU	BESCHERMINGSMETHODIEK	MONITORING	MAATREGELEN NA BEVOCHTIGING HOUT	ALGEMEEN
OPTIMAL PANEL CONFIGURATION Streef in samenwerking en ingenieurs met de leverancier naar een minimaal (verschillend) aantal panelen. Dit vermindert drastisch het aantal bouwnaaden, dus dus potentiële plekken van vochtaccumulatie.	L	Geen bescherming van bouwnaad	Visueel en voelen Oppervlaktometing Dieptemeting binnen de 10cm van naad vooraleerdampremmende laag die naad bedekt.	Natuurlijke droging neemt te veel tijd in beslag Eens bevochtigde bouwnaad, direct over te gaan naar middelhoge categorie	UITVOERINGSTOLLERANTIES Streef een goede uitlijning van de panelen na, zodanig dat er geen kleine horizontale uitsprongen zijn. Deze dienen als plaatsen van vochtphoping.
VERMIJDEN HORIZONTALE BOUWNAADEN Bouwnaden zijn inherent aan detaillering. Toch kan het aantal verminderd worden door ontwerpmatige beslissingen, zoals een beperkt aantal door-en oversteken, terrassen uit CLT, het aantal opleggingen te beperken. Indien structureel mogelijk, kan platformbouw ingewisseld worden voor een ballon-frame methodiek. Hier wordt een horizontale bouwnaad vervangen door een verticale.	M	Tapes om bouwnaad af te sluiten (bij voorkeur dampopen) Dampopen membraan optrekken tot over bouwnaad en afspan tegen drager	Bovenstaande + dieptemeting na bevochtiging (max. 10 cm van naad) Bovenstaande + dieptemeting per twee weken (max. 10cm van naad)	Geforceerde ventilatie met droge lucht gericht naar bouwnaad	EFFICIËNTIE VAN GEFORCEERDE DROGING Vocht uit bouwnaden krijgen is bijzonder lastig en bijzonder tijdrovend. Geforceerde droging kan enigszins deze lange droogperiode inkorten. Overweeg daarom om snel na bevochtiging een droge luchtstroom te voorzien in werfphase.
	H	Dampdicht membraan optrekken tot over bouwnaad en afspan tegen drager Vloeibaar afdichtingmembraan over de bouwnaad tegen drager	Bovenstaande + dieptemeting wekelijks (max. 10cm van naad) Bovenstaande + Sensoren plaatsen kort boven naad	Verwijderen van dampdichte membranen Droging maximaal faciliteren Geforceerde ventilatie met droge lucht gericht naar bouwnaad Bouwdrogers aan gematigde temperatuur	DAMPDICHTTE BESCHERMINGSLAGEN Indien dampdichte bescherming toegepast, dient deze op regelmatige basis gecontroleerd te worden op perforaties. Vocht die toch doorlekt, kan vervolgens niet meer drogen. ADAPTIEVE WERFPLANNING Faciliteer planningswijzigingen bij sterke neerslagkans.
	ONGESCHIKT	Fundamentele heroverweging van materiaalkeuze nodig.	DISCLAIMER Indien een lager beschermingsinstrument dan het aanbevolen preventieniveau gekozen (bijvoorbeeld) Medium beschermingsinstrument gekozen na hoge risico-analyse Hoge uitvoeringstechnische luik te hanteren		

Tabel 12 - Ingevulde projectspecifieke preventiematrices voor de aansluiting van een binnenwand met een tussenvloer

Interpretatie van preventieadvies op bouwdetail

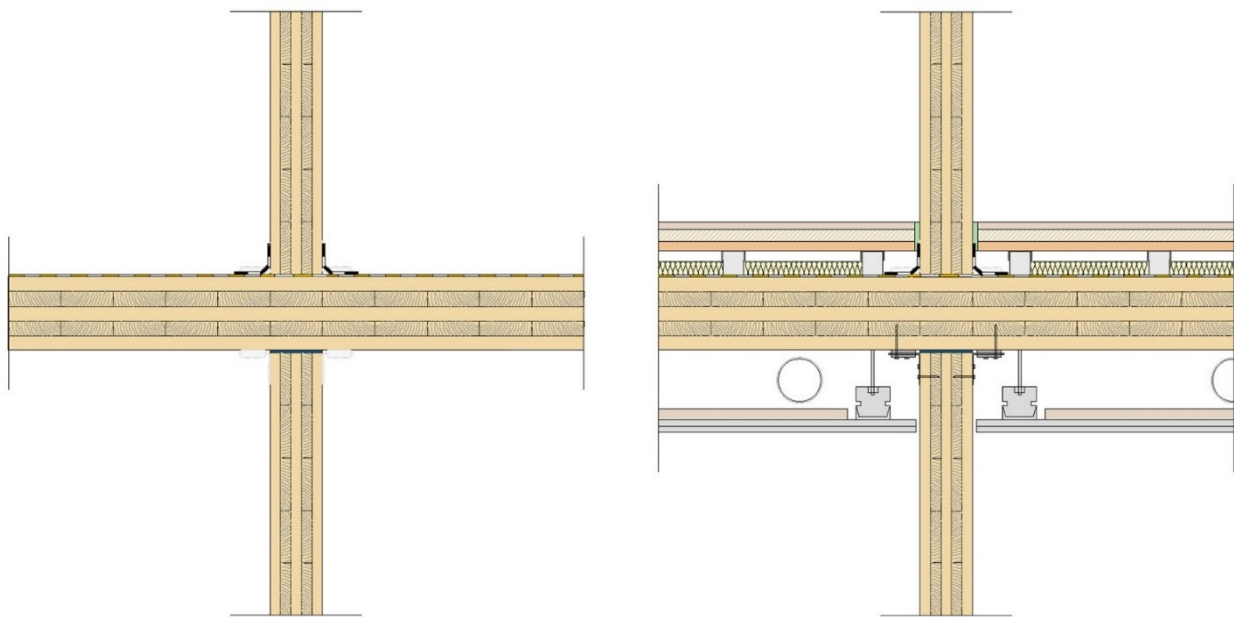
Beschermingsmethodiek

Gezien de panelen geleverd worden op de bouwplaats met een hydroberingscoating, zijn panelen voor ongeveer 12 weken beschermd tegen de weersinvloeden (Koch & Schulte, 2022). Dit lijkt voldoende te zijn, gezien dezelfde week nog de bovenliggende tussenverdieping geplaatst zal worden. In de werfplanning dient men op die manier te denken. De preventiematrix stelt binnen de lage categorie ook geen zwaardere beschermingsmethodiek voor.

De preventiematrix voor de bouwnaad van deze aansluiting vereist geen bescherming van de bouwnaad. Men kan echter een conservatieve houding nemen en, afhankelijk van de weersvoorspellingen tijdens de week waarin het bovenliggende paneel nog niet gemonteerd is, een tape gebruiken om deze naad af te plakken. Dit is bij voorkeur een tape met een dampopen karakter. Dit soort bescherming is voorgesteld in figuur 82. Dit toont zich grafisch in volgend bouwdetail in ruwbouwfase en een afgewerkte bouwdetail (Fig. 83):



Figuur 82 - Bescherming van een bouwnaad via een dampopen tape



Figuur 83 - Ontwerpdetail voor de aansluiting van een binnenwand met een tussenvloer in werffase (links) en afgewerkt (rechts).

Monitoring in uitvoering

Gezien de lage risico-score kan men begrijpen dat een periodieke metingen conservatief is. De enige plaats en moment waar een vochtmeting op zijn plaats is, is nabij de bouwnaad indien er vochtblootstelling rondom het detail heeft voorgedaan. Men kan als eerste een oppervlaktemeting gaan uitvoeren als eerste inschatting. Dit is eenvoudiger, minder invasief en sneller uitvoerbaar dan een dieptemeting en kan een inschatting geven of de bouwnaad vochtig is. In ieder geval wordt aangeraden een dieptemeting uit te voeren op correcte afstand van de bouwnaad, zijnde maximaal drie centimeter, vooraleer de vloer verder af te werken. Meer informatie valt te lezen in deel 4.4.2.

Maatregelen na bevochtiging van bouwdetail

Indien water zich ophoopt op de CLT-panelen, kan men – mits aanwezigheid van personeel op de bouwplaats – overgaan tot actieve waterverwijdering. Dit kan gebeuren door gebruik van een waterstofzuiger of door het aftrekken van het water naar een vooraf voorzien drainagepunt. Wanneer de panelen echter worden blootgesteld aan regenval tijdens weekends of verlofperiodes, is onmiddellijke interventie doorgaans niet vereist. De aanwezige hydrofobe coating op de panelen vertraagt de vochtopname en laat dankzij haar ademend karakter toe dat vocht in de tijd kan uitdrogen. Tijdelijke bevochtiging is op zich niet nefast voor de panelen, zolang er voldoende mogelijkheid tot droging blijft bestaan (Shane, 2024).

Indien metingen echter aantonen dat zich vocht heeft opgehoopt in de bouwnaad, kan men niet langer vertrouwen op natuurlijke droging en zijn laagdrempelige mitigatiemaatregelen ontoereikend. In dat geval dient men over te gaan tot een hoger preventieniveau, waarbij geforceerde ventilatie wordt aangewend om droging te verwezenlijken.

3.3.2.2. Schrijnwerkaansluiting

Projectgegevens

Projectomvang:

- Winkelpand, kleinschalig
- 200 m² vloeroppervlakte
- 6.5m gebouwhoogte
- 9 weken ingeschatte bouwtijd vooraleer totaal gebouw wind- en waterdicht

Externe factoren:

- Ruwbouwperiode tijdens de zomer
- Bouwdetail met zuid oriëntatie

Opbouw in ontwerpfase:

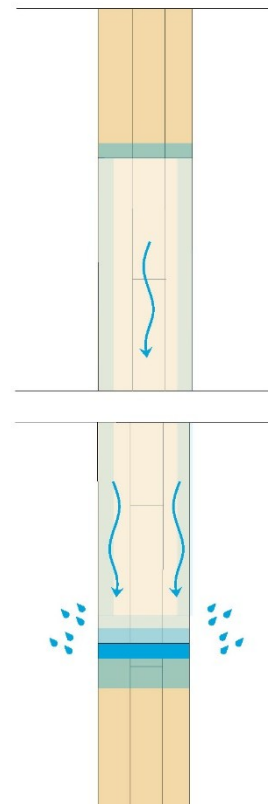
- Dampopen wandopbouw
- Gebruik van een regenscherm tegen de isolatie
- Dampscherm langs de binnenkant nodig vanwege vochtige ruimte

Gegevens werffase:

- Just-in-time delivery
- Geen fabrieksbescherming
- Geen externe globale bescherming voorzien (vb. stelling met doeken)

Risico-score

Tabel 12 geeft de ingevulde risicomatrix weer, waarbij een risico-score van 4.56 bereikt wordt. Hiermee wordt voor dit bouwdetail een middelhoog preventieniveau geadviseerd. Hierin merkt men dat het kops blootgesteld hout en de dampremmende opbouw aan de binnenzijde de risico-score verhogen. Daarenboven is de kans reëel dat doorheen de bouwphase of levensduur wat vocht tot bij het paneel zal geraken aan de CLT panelen, met name aan de onderzijde van het raam.



Figuur 84 - Mogelijke vochtproblematiek bij een schrijnwerkopening

EXTERNE FACTOREN EN BLOOTSTELLING		SCORE 1	SCORE 2	SCORE 3	SCORE 4	SCORE 5	Score
1. Oriëntatie		Zuid Interieur	Oost	Zuidoost, Noordoost	Zuidwest, Noord	Noordwest, West Horizontaal dakoppervlak	1
2. Seizoen tijdens opbouw		-	Zomer	Lente	Herfst	Winter	2
3. Locatie van detail		Inpandig Beschermd van externe factoren	Inpandig maar gevoelig voor WDR, slagregen	Inpandig, langdurig blootgesteld aan buitenomgeving (+7d)	Buitschil	Nabij maaield	4
DETAILCOMPLEXITEIT EN ONTWERP		SCORE 1	SCORE 2	SCORE 3	SCORE 4	SCORE 5	Score
4. Aantal samenkomende bouwelementen		1	2	3 of meer	-	-	1
5. Kops hout blootgesteld aan exterior of fundering (incl. werffase)		Neen	-	-	-	Ja	5
6. Bouwnaden		Geen naden	Verticaal	Onder helling	Horizontaal	-	4
7. Drogingspotentieel in ruwbouw		Vrije droging mogelijk	-	Belemmerde droging (vb. spleten of dampremmende bescherming)	-	-	1
8. Drogingspotentieel met verdere lagen		Dampopen opbouw	-	Dampremmende opbouw	Dampdichte opbouw	Dampdicht Risico op vocht in spleten	3
9. Schade door lekkages tijdens levensduur door technieken		Geen risico	Laag risico	-	-	Hoog risico	1
10. Risico op vochtinsijpeling in bouwnaden		Geen risico	Laag risico	-	-	Hoog risico	5
10. tijdens levensduur (los van technieken, beschouwd zonder bescherming)							
BLOOTSTELLING IN WERFFASE		SCORE 1	SCORE 2	SCORE 3	SCORE 4	SCORE 5	Score
11. Opslag van panelen		Just-In-Time Delivery (JIT)	Inpandige opslag	Best-Practice buitenopslag (-7d)	Best-Practice opslag Lange opslagtijd (+7d)	Naakte opslag Langere opslagtijd	1
12. Beschermingsgraad op de panelen		Waterafstotende fabrieksbescherming	-	-	-	Geen fabrieksbescherming voorzien	5
14. Tijdelijke bescherming in vorm van stellingszeil, tent of overkapping		Ja of inpandig	-	Neen	-	-	3
BESCHOUWD DETAIL		Schrijnwerkaansluiting buitenschil					
PROJECTOMVANG							
Totale bruikbare vloeroppervlakte (bruikbare vloeroppervlakte in m²)		200 m²					
Gebouwhoogte (maaield t.e.m. dakopstand of nokhoogte, excl. technieken)		6 m					
Ingeschatte duurtijd vooraleer wind- en waterdicht		9 weken					
GEVOLG OP RISICO-ANALYSE		Klein project Origineel scoresysteem behouden.					
MOGELIJKHEID TOT FASERING							
Indien groot project, kan men de bouwplanning zo faseren dat men zones van max. 250m² binnen de 12 weken wind- en waterdicht kan maken?							
GEVOLG OP RISICO-ANALYSE		Bovenstaand gevolg aanhouden					

Tabel 13 - Ingevulde projectspecifieke risicomatrix voor een schrijnwerkopening

Preventieadvies

Gezien dit bouwdetail geen bouwnaad tussen structurele elementen kent, kan deze preventiematrix achterwege blijven. De overige twee matrices zijn ingevuld weergegeven in tabel 13.

ONTWERPMATIG CLT-PANEEL			UITVOERINGSTECHNISCH CLT-PANEEL		
ALGEMEEN	PREVENTIE NIVEAU	BESCHERMINGSMETHODIEK	MONITORING	MAATREGELEN NA BEVOCHTIGING HOUT	ALGEMEEN
DAMPDICHTHEID Ieder element in aansluitingsdetail streeft een zo dampopen mogelijk karakter na. (vb. isolatie, membranen, tapes, gevelafwerking)	L	Naakt paneel Hydrofobiseringscoating	Visueel en voelen Oppervlaktmeting na bevochtiging Dieptemeting vooraleer dampremmende laag over tegen	Natuurlijk laten ventileren Drainage naar tappunten faciliteren (indien van toepassing)	Streef een Just-In-Time delivery na bij de leverancier. Sla de panelen zoveel mogelijk inpandig op. Indien niet mogelijk: Best-Practice buitenopslag nastreven. Overloop de checklist voor ieder weekend of verlofdag.
VERMIJD VOCHTINTRUSIE Streef naar hellingen in de panelen. Vermijd horizontale oriëntaties van panelen.		M Ademend zelfklevend weersmembraan Vb. (Semi-) Permeabel	Bovenstaande + dieptemeting na bevochtiging Bovenstaande + dieptemeting per twee weken	Actief stagnerend water afvoeren naar buitenschil (drainage, afrekkers, eventueel doeken) Geforceerde ventilatie met droge lucht gericht naar bevochtigd element	Voor een periodieke controle uit naar perforaties in (dampdichte) lag Maak hijshaken een deel van het vochtbeheersplan. (vb. Doorboren, opvullen met stop, folie over)
DROGING FACILITEREN Werf Afwerking	H	Dampdichte membraan Vb. Akoestische mat EPDM-membraan Bitumineus (vloeibaar) membraan PE of PP-Folie ...	Bovenstaande + dieptemeting wekelijks Bovenstaande + Sensoren plaatsen bij kritieke plekken	Geforceerde ventilatie met droge lucht gericht naar bevochtigd element Bouwdrogers aan gemiddelde temperatuur Verwijderen van dampdichte membranen Droging maximaal faciliteren	VERKELEVING Brenge slechts bescherming aan op voldoende droge panelen (sub 20% MC). Anders zal de bescherming niet goed hechten. Verkieft de bescherming steeds goed met tapes aan de drager indien niet zelfklevend. Voorzie steeds de overlap volgens de technische fiche van de gekozen beschermingmethodiek. ADAPTIEF WERFPLANNING Faciliteer planningswijzigingen bij sterke neerslagkans.
SANITAIRE LEIDINGEN Plaats deze zoveel mogelijk onder horizontale CLT-panelen. ALTERNATIEF VBP Voorzie conservatievere opties bij hogere belasting dan verwacht. Maak de switch naar hogere preventieniveaus in uitvoering mogelijk.	ONGESCHIKT	Fundamentele heroverweging van materiaalkeuze nodig.	DISCLAIMER Indien een lager beschermingsinstrument dan het aanbevolen preventieniveau gekozen wordt, dient het uitvoeringstechnische luik strikt het aanbevolen niveau volgen. Bijvoorbeeld: Medium beschermingsinstrument gekozen na hoge risico-analyse Hoge uitvoeringstechnische luik te hanteren		
			Externe globale bescherming Vb. Tentoverkapping Stelling met zeilen		

ONTWERPMATIG BLOOTGESTELD KOPS HOUT			UITVOERINGSTECHNISCH BLOOTGESTELD KOPS HOUT		
ALGEMEEN	PREVENTIE NIVEAU	BESCHERMINGSMETHODIEK	MONITORING	MAATREGELEN NA BEVOCHTIGING HOUT	ALGEMEEN
KOPS HOUT DETAILMATIG VERMIJDEN Indien structureel toepasbaar, pas de ballonframe methodiek toe in plaats van de platformbouw methode. Hierbij wordt kops hout achter een wand gestoken, waardoor dit niet blootgesteld is aan de omgeving.	L	Naakt paneel Hydrofobiseringscoating	Visueel en voelen Oppervlaktmeting Dieptemeting vooraleer dampremmende laag over tegen plaatsen	Natuurlijke ventilatie	Breng zo snel mogelijk de bescherming aan op het droge kopse hout Voorzie bij vloeren een kleine boordopstand: Stagnerend water op de vloer zal zo niet afstromen naar het kopse hout, om vervolgens daar in te trekken. Belangrijk hierbij is wel om steeds
AFSCHOT IN KOPS HOUT VOORZIEN Indien mogelijk kan men helling voorzien in het kops hout, zodanig vloeibaar water gravitair kan afstromen van het kops hout in plaats van stagneren. (Vb. dakopstand)	M	Ademend zelfklevend weersmembran + tapes op drager Vb. (Semi-) Permeabel	Bovenstaande + dieptemeting na bevochtiging Bovenstaande + dieptemeting per twee weken	Geforceerde ventilatie met droge lucht gericht naar kops hout	Overloop de checklist voor ieder weekend of verlofdag Voer een periodieke controle uit naar perforaties in (dampdichte) lagen en correcte hechting aan kopse hout.
	H	Dampdichte membraan Vb. Wax-coating EPDM-membraan + tapes Bitumineus (vloeibaar) membraan (+tapes)	Bovenstaande + dieptemeting wekelijks Bovenstaande + dieptemeting bij kritieke plekken Bovenstaande + Sensoren plaatsen bij kritieke plekken	Verwijderen van dampdichte membranen Droging maximaal faciliteren Geforceerde ventilatie met droge lucht gericht naar kops hout Bouwdrogers aan gematigde temperatuur	VERKLARING breng slechts bescherming aan op voldoende droge panelen (sub 20% MC). Anders zal de bescherming niet goed hechten op ruw kops hout. ADAPTIEVE WERFPLANNING Faciliteer planningswijzigingen bij sterke neerslagkans.
	ONGESCHIKT	Fundamentele heroverweging van materiaalkeuze nodig	DISCLAIMER Indien een lager beschermingsinstrument dan het aanbevolen preventieniveau gekozen wordt, dient het uitvoeringstechnische luik strikt het aanbevolen niveau volgen. (niet van toepassing) Medium beschermingsinstrument gekozen na hoge risico-analyse Hoge uitvoeringstechnische luik te hanteren		

Tabel 14 - Ingevulde projectspecifieke preventiematrices voor een raamopening

Interpretatie van preventieadvies op bouwdetail

Beschermingsmethodiek

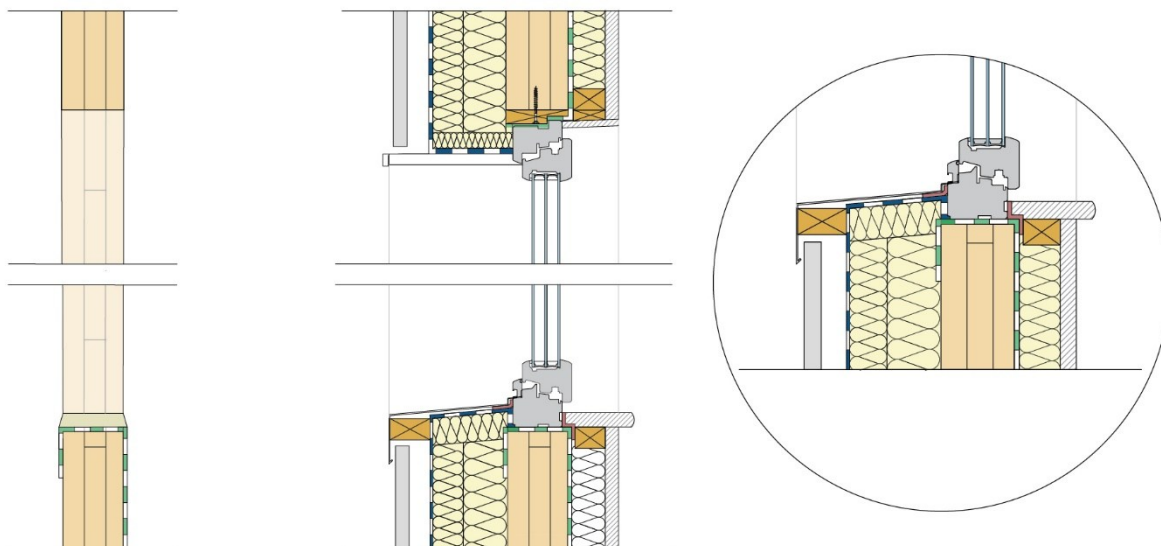
Het zij-oppervlak van het CLT-paneel kan men in deze opstelling naakt laten doorheen de werffase, gezien er een regenscherm zal voorzien zijn in de uiteindelijke opbouw. Idealiter wordt de isolatie en het regenscherm snel na montage van de panelen bevestigd, zodat deze lijn van defensie snel zijn functie kan vervullen.

Gezien de locatie in een vochtige ruimte, zal er een extra damprem nodig zijn. Daarom is het vanuit praktisch oogpunt eenvoudig om deze folie in werffase door te trekken over het kops hout aan de onderzijde van de opening, zoals geïllustreerd op figuur 86. Dit is de plaats in dit bouwdetail die doorheen de werffase de grootste vochtbelasting zal kennen, en waar vocht ook kan stagneren gezien de horizontale aard van het kops hout. Gezien hier een dampscherm wordt doorgetrokken, en dus weinig tot geen droging toelaat, dient de montage hiervan te gebeuren op een initieel droog paneel. Verder is het belangrijk de naden naar de opstaande kanten van de opening af te tapen en te verbinden met dit dampscherm. Mocht dit bouwdetail zich niet voordoen in een toekomstig vochtige ruimte, kan men ervoor kiezen om een ademende folie, zoals bijvoorbeeld een regenscherm, te voorzien over dit kopse hout en dit over te plooien. Mocht de plaatsing van het dampscherm niet in dezelfde dag gepland zijn, kan men dit ook hier overwegen. Men plaatst dan een dampopen folie over het kops hout, plooit deze over aan weerszijden, waarna men later het dampscherm aan de binnenzijde overzet. (Pröbel & Alsmarker, 2022; Kalbe et al., 2022a).

Om de tijdelijke bescherming in werffase van de gehele verdieping te voorzien, opteert men best om de schrijnwerkopening tijdelijk te sluiten door middel van een zeil, zoals in figuur 85 is voorgesteld. Dit vermijdt regendoorslag op de CLT vloeren en inpandige wandaansluitingen (Pröbel & Alsmarker, 2022).



Figuur 85 - Weersbescherming aan een schrijnwerkopening voor de inpandige delen



Figuur 86 - Ontwerpdetail voor een schrijnwerkaansluiting in werffase (links) en afgewerkt (midden en rechts).

Monitoring in uitvoering

Een middelhoge graad aan monitoring is aanbevolen voor dit soort bouwdetail vanuit de preventiematrices, met name aan de onderzijde van de opening. Dit houdt volgende reeks aan opvolging in zich:

- Visuele rondgang
- Tweewekelijkse periodieke dieptemeting, maximaal drie centimeter onder kops hout
- Dieptemeting binnen de 3cm na iedere notie van bevochtiging onder kops hout
- Dieptemeting alvorens plaatsen van volgende lagen en raamprofiel.

Maatregelen na bevochtiging van bouwdetail

Uiteraard dient men stagnerend water indien mogelijk te verwijderen bij aanwezigheid op de bouwplaats. Mocht vocht toch door het kops hout in het paneel getrokken zijn, is het aanbevolen om het tijdelijke zeil voor de schrijnwerkopening goed te verkleven en eventueel geforceerde ventilatie te gaan uitvoeren op het onderste deel van de raamopening afhankelijk van hoe lang deze opening nog bloot staat vooraleer het raamprofiel geplaatst zal worden.

3.3.2.3. Buitenwand - Tussenvloer

Projectgegevens:

Projectomvang:

- Meergezinswoning
- 960 m² vloeroppervlakte
- 9.5m gebouwhoogte
- 16 weken ingeschatte bouwtijd vooraleer totaal gebouw wind- en waterdicht
- Er zal gewerkt worden in kortere fasen, waarbij zones van 240m² in 4 weken wind- en waterdicht gemaakt worden.

Externe factoren:

- Ruwbouwperiode tijdens de lente
- Bouwdetail met zuidoost oriëntatie

Opbouw in ontwerpfase:

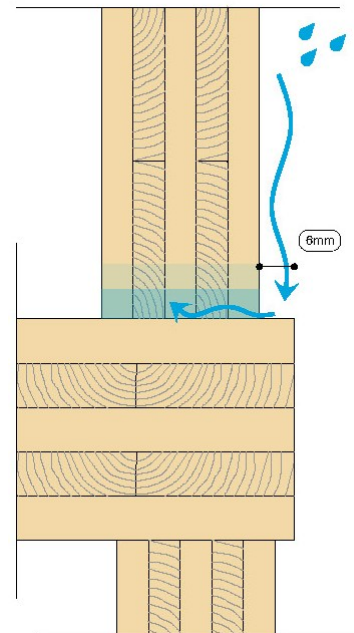
- Dampopen wandopbouw
- Gebruik van een regenscherm tegen de isolatie
- Droog vloersysteem

Gegevens werffase:

- In-situ opslag van de panelen, onbepaalde tijd
- Geen fabrieksbescherming
- Geen externe globale bescherming voorzien (vb. stelling met doeken)

Risico-score

Men weet vanuit bovenstaande projectgegevens alle informatie nodig om de risicomatrix in te vullen. Mochten bepaalde gegevens niet gekend zijn, zoals de opslagtijd van de panelen in dit geval, dient men uit te gaan van een worst-case scenario. Dit kan nadien via iteratieve herziening versoepeld worden. Tabel 14 geeft de ingevulde risicomatrix weer, waarbij een risico-score van 5.89 bereikt wordt. Hiermee wordt voor dit bouwdetail een hoog preventieniveau geadviseerd.



Figuur 87 - Mogelijke vochtproblematiek: aansluiting buitenwand met vloerpaneel. Hierin kan een uitkraging van slechts enkele millimeters aanleiding geven tot sterk verhoogde vochtaccumulatie.

EXTERNE FACTOREN EN BLOOTSTELLING		SCORE 1	SCORE 2	SCORE 3	SCORE 4	SCORE 5	Score
1. Oriëntatie	Zuid Interieur	Oost	Zuidoost, Noordoost	Zuidwest, Noord	Noordwest, West	Horizontaal dakoppervlak	3
2. Seizoen tijdens opbouw	-	Zomer	Lente	Herfst	Winter	-	3
3. Locatie van detail	Inpandig Beschermd van externe factoren	Inpandig maar gevoelig voor WDR, slagregen	Inpandig, langdurig blootgesteld aan buitenomgeving (+7d)	Buitenschil	Nabij maaiveld	-	4
DETAILCOMPLEXITEIT EN ONTWERP		SCORE 1	SCORE 2	SCORE 3	SCORE 4	SCORE 5	Score
4. Aantal samenkomende bouwelementen	1	2	3 of meer	-	-	-	3
5. Kops hout blootgesteld aan exterieur of fundering (incl. werffase)	Neen	-	-	-	Ja	-	5
6. Bouwnaden	Geen naden	Verticaal	Onder helling	Horizontaal	-	-	4
7. Drogingspotentieel in ruwbouw	Vrije droging mogelijk	-	Belemmerde droging (vb. spleten of dampremmende bescherming)	-	-	-	3
8. Drogingspotentieel met verdere lagen	Dampopen opbouw	-	Dampremmende opbouw	Dampdichte opbouw	Dampdicht	Risico op vocht in spleten	1
9. Schade door lekkages tijdens levensduur door technieken	Geen risico	Laag risico	-	-	Hoog risico	-	1
10. tijdens levensduur (los van technieken, beschouwd zonder bescherming)	Geen risico	Laag risico	-	-	Hoog risico	-	2
BLOOTSTELLING IN WERFFASE		SCORE 1	SCORE 2	SCORE 3	SCORE 4	SCORE 5	Score
11. Opslag van panelen	Just-In-Time Delivery (JIT)	Inpandige opslag	Best-Practice buitenopslag (-7d)	Best-Practice opslag Lange opslagtijd (+7d)	Naakte opslag Langere opslagtijd	-	4
12. Beschermingsgraad op de panelen	Waterafstotende fabrieksbescherming	-	-	-	Geen fabrieksbescherming voorzien	-	5
14. Tijdelijke bescherming in vorm van stellingszeil, tent of overkapping	Ja of inpandig	-	Neen	-	-	-	3

BESCHOUWD DETAIL	
PROJECTOMVANG	
Totale bruikbare vloeroppervlakte (bruikbare vloeroppervlakte in m²)	960 m²
Gebouwhoogte (maaiveld t.e.m.dakopstand of nokhoogte, excl. technieken)	9,5 m
Ingeschatte duurtijd vooraleer wind- en waterdicht	16 weken
GEVOLG OP RISICO-ANALYSE	Groot project Maximale score bij vraag 1, 2 en 3 en minimaal score 3 bij vraag 11.
MOGELIJKHEID TOT FASERING	
Indien groot project, kan men de bouwplanning zo faseren dat men zones van max. 250m² binnen de 12 weken wind- en waterdicht kan maken?	Ja
GEVOLG OP RISICO-ANALYSE	Origineel scoresysteem behouden

RISICOSCORE	LOG SCORE
RISICOSCORE	777600
MAX. SCORE	2E+08
MIN. SCORE	2

PREVENTIENIVEAU	HOOG
LAAG	0,30
MIDDELHOOG	2,78
HOOG	5,56
ONGESCHIKT	7,01

Tabel 15 - Ingevulde projectspecifieke risicomatrix voor de aansluiting van een buitenwand met een tussenvloer

Bij het invullen van deze matrix valt op dat de opslagtijd sterk doorweegt. Indien men een Just-in-Time delivery of een inpandige opslag kan garanderen, zal de totale risico-score afnemen tot onder de grens van het middelhoge preventieniveau. Dit zal zijn effecten hebben op de beschermingsmethodiek en bijkomstige de praktische en economische haalbaarheid.

Ondanks de projectomvang duidelijk boven de criteria gaat waarbij het garanderen van een robuuste bescherming en monitoringsschema voorbij gaat, dient men toch geen meerscore in te rekenen. Dit omdat het globale ontwerp van dit project door een slimme planning gefaseerd kan worden in kleinere deelzones. Dit soort 'Protection-by-Design' verhindert een nog hogere risico-score.

Preventieadvies

ONTWERPMATIG CLT-PANEEL			UITVOERINGSTECHNISCH CLT-PANEEL		
ALGEMEEN	PREVENTIE NIVEAU	BESCHERMINGSMETHODIEK	MONITORING	MAATREGELEN NA BEVOCHTIGING HOUT	ALGEMEEN
DAMPDICHTHEID Ieder element in aansluitingsdetail streeft een zo dampopen mogelijk karakter na. (vb. isolatie, membranen, tapes, gevelafwerking)	L	Naakt paneel	Visueel en voelen	Natuurlijk laten ventileren	Streef een Just-In-Time delivery na bij de leverancier.
VERMID VOCHTINTRUSIE Streef naar hellingen in de panelen.		Hydrofoberingscoating	Oppervlaktetelling na bevochtiging	Drainage naar tappunten faciliteren (indien van toepassing)	Streef een Just-In-Time delivery na bij de leverancier.
Vermijd horizontale oriëntaties van panelen.	M	Ademend zelfklevend weersmembraan	Dieptetelling vooraleer dampremmende laag over tegen	Bovenstaande + dieptetelling na bevochtiging	Maak hijskaken een deel van het vochtbeheersplan. (vb. Doorboren, opvullen met stop, folie over)
DROGING FACILITEREN Werf: Vermijd dampdichte lagen tegen CLT, tenzij deze fabrieksgeplaatst of tegen voldoende droog paneel. Afwerking: Faciliteer in- en uitwaartse droging. (Vb. geventileerde gevelafwerking)	H	Dampdichte membraan	Bovenstaande + dieptetelling wekelijks	Actief stagnerend water afvoeren naar buitenschil (drainage, afrekkers, eventueel doeken)	Voor een periodieke controle uit naar perforaties in (dampdichte) lag
SANITAIERE LEIDINGEN Plaats deze zoveel mogelijk onder horizontale CLT-panelen. ALTERNATIEF Vb: Voorzie conservatievere opties bij hogere belasting dan verwacht. Maak de switch naar hogere preventieniveaus in uitvoering mogelijk.	ONGESCHIKT	Vb. Aloëstische mat	Bovenstaande + dieptetelling per twee weken	Geforceerde ventilatie met droge lucht gericht naar bevochtigd element	Maak hijskaken een deel van het vochtbeheersplan. (vb. Doorboren, opvullen met stop, folie over)
		EPDM-membran		Bouwdrogen aan gemiddelde temperatuur	VERKLEEVING Breng slechts bescherming aan op voldoende droge panelen (sub 20% MC). Anders zal de bescherming niet goed hechten. Verkleef de bescherming steeds goed met tapes aan de drager indien niet zelfklevend. Voorzie steeds de overlap volgens de technische fiche van de gekozen beschermingsmethodiek.
		Bitumeus (vloeibaar) membraan		Bovenstaande + Sensoren plaatsen bij kritieke plekken	ADAPTIEVE WERKPLANNING Faciliteer planningwijzigingen bij sterke neerslagkans.
		FS of PP-folie		Verwijderen van dampdichte membranen	
		Fundamentele heroverweging van materiaalkeuze nodig.		Droging materiaal faciliteren	
		Externe globale bescherming Vb. Tentoverkapping Stelling met zeilen			
			DISCLAIMER Indien een lager beschermingsinstrument dan het aanbevolen preventieniveau gekozen wordt, dient het uitvoeringstechnische luik strikt het aanbevolen niveau volgen. Bijvoorbeeld: Medium beschermingsinstrument gekozen na hoge risico-analyse Hoge uitvoeringstechnische luik te hanteren		

ONTWERPMATIG BLOOTGESTELD KOPS HOUT			UITVOERINGSTECHNISCH BLOOTGESTELD KOPS HOUT		
ALGEMEEN	PREVENTIE NIVEAU	BESCHERMINGSMETHODIEK	MONITORING	MAATREGELEN NA BEVOCHTING HOUT	ALGEMEEN
KOPS HOUT DETAILMATIG VERMIJDEN Indien structureel toepasbaar, pas de ballonframe methodiek toe in plaats van de platformbouw methode. Hierbij wordt kops hout achter een wand gestoken, waardoor dit niet blootgesteld is aan de omgeving.	L	Naakt paneel Hydrofoberingscoating	Visueel en voelen Oppervlaktmeting Dieptemeting vooraleer dampremmende laag over tegen plaatsen	Natuurlijke ventilatie	Brenz op snel mogelijk de bescherming aan op het droge kops hout Voorzie bij vloeren een kleine boordopstand: Stagnerend water op de vloer zal zo niet afstromen naar het kops hout, om vervolgens daar in te trekken. Belangrijk hierbij is wel om steeds
AFSCHOT IN KOPS HOUT VOORZIEN Indien mogelijk kan men helling voorzien in het kops hout, zodanig vloeibaar water gravitair kan afstromen van het kops hout in plaats van stagneren. (Vb. dakopstand)	M	Ademend zelflevend weersmembran + tapes op drager (Vb. (Semi-) Permeabel)	Bovenstaande + dieptemeting na bevochtiging Bovenstaande + dieptemeting per twee weken	Geforceerde ventilatie met droge lucht gericht naar kops hout	Overloop de checklist voor ieder weekend of verlofdag. Voer een periodieke controle uit naar perforaties in (dampdichte) lagen en correcte hechting aan knopse hout
	H	Dampdichte membranen Vb. Wec-coating EPDM membranen + tapes Eumexous (vloerbaar) membranen (vloerbaar)	Bovenstaande + dieptemeting wekelijks Bovenstaande + dieptemeting per twee weken Bovenstaande + Sensoren plaatsen bij knopse plaatsen	Verwijderen van dampdichte membranen Droging maximaal faciliteren Geforceerde ventilatie met droge lucht gericht naar kops hout Bouwdrogers aan gematigde temperatuur	VERKLEINING Brenz slechts bescherming aan op voldoende droge panelen (sub 20% MC). Anders zal de bescherming niet goed hechten op ruw kops hout. ADAPTIEVE WERFPLANNING Faciliteer planningswijzigingen bij sterke neerslagkans.
	ONGESCHIKT	Fundamentele heroverweging van materiaalkeuze nodig	DISCLAIMER Indien een lager beschermingsinstrument dan het aanbevolen preventieniveau gekozen wordt, dient het uitvoeringstechnische luik strikt het aanbevolen niveau volgen. Bijvoorbeeld: Medium beschermingsinstrument gekozen na hoge risico-analyse Hoge uitvoeringstechnische luik te hanteren		

ONTWERPMATIG BOUWNAADEN			UITVOERINGSTECHNISCH BOUWNAADEN		
ALGEMEEN	PREVENTIE NIVEAU	BESCHERMINGSMETHODIEK	MONITORING	MAATREGELEN NA BEVOCHTING HOUT	ALGEMEEN
OPTIMAL PANEL CONFIGURATION Streef in samenwerking en ingenieurs met de leverancier naar een minimaal (verschillend) aantal panelen. Dit vermindert drastisch het aantal bouwnaden, dus dus potentiële plekken van vochtaccumulatie.	L	Geen bescherming van bouwnaad	Visueel en voelen Oppervlaktmeting Dieptemeting binnen de 3cm van naad vooraleerdampremmende laag die naad bedekt.	Natuurlijke droging neemt te veel tijd in beslag. Eens bevochtigde bouwnaad, direct over te gaan naar middelhoge categorie	UITVOERINGSTOLLERANTIES Streef een goede uitlijning van de panelen na, zodanig dat er geen kleine horizontale uitsprongen zijn. Deze dienen als plaatsen van vochttopping.
VERMIJDEN HORIZONTALE BOUWNAADEN Bouwnaden zijn inherent aan detaillering. Toch kan het aantal verminderd worden door ontwerpmatige beslissingen, zoals een beperkt aantal door-en oversteken, terrassen uit CLT, het aantal opleggingen te beperken. Indien structureel mogelijk, kan platformbouw ingewisseld worden voor een ballon-frame methodiek. Hier wordt een horizontale bouwnaad vervangen door een verticale.	M	Tapes om bouwnaad af te sluiten (bij voorkeur dampopen) Dampopen membranen optrekken tot over bouwnaad en afdagen tegen drager	Bovenstaande + dieptemeting na bevochtiging (max. 3 cm van naad) Bovenstaande + dieptemeting per twee weken (max. 3cm van naad)	Geforceerde ventilatie met droge lucht gericht naar bouwnaad	EFFICIËNTIE VAN GEFORCEERDE DROGING Vocht uit bouwnaden krijgen is bijzonder lastig en bijzonder tijdsroevend. Geforceerde droging kan enigszins deze lange droogperiode inkorten. Overweeg daarom om snel na bevochtiging een droge luchtstroom te voorzien in werffase.
	H	Dampdicht membraan optrekken tot over bouwnaad en afdagen tegen drager Vloerbaar afdichtingsmembran over de bouwnaad tegen drager	Bovenstaande + dieptemeting wekelijks (max. 3cm van naad) Bovenstaande + Sensoren plaatsen kort boven naad	Verwijderen van dampdichte membranen Droging maximaal faciliteren Geforceerde ventilatie met droge lucht gericht naar bouwnaad Bouwdrogers aan gematigde temperatuur	DAMPDICHTE BESCHERMINGSLAGEN Indien dampdichte bescherming toegepast, dient deze op regelmatige basis gecontroleerd te worden op perforaties. Vocht die toch doorlokt, kan vervolgens niet meer drogen. ADAPTIEVE WERFPLANNING Faciliteer planningswijzigingen bij sterke neerslagkans.
	ONGESCHIKT	Fundamentele heroverweging van materiaalkeuze nodig	DISCLAIMER Indien een lager beschermingsinstrument dan het aanbevolen preventieniveau gekozen wordt, dient het uitvoeringstechnische luik strikt het aanbevolen niveau volgen. Bijvoorbeeld: Medium beschermingsinstrument gekozen na hoge risico-analyse Hoge uitvoeringstechnische luik te hanteren		

Tabel 16 - Ingevulde projectspecifieke preventiematrices voor de aansluiting van een binnenwand met een tussenvloer

Interpretatie van preventieadvies op bouwdetail

Beschermingsmethodiek

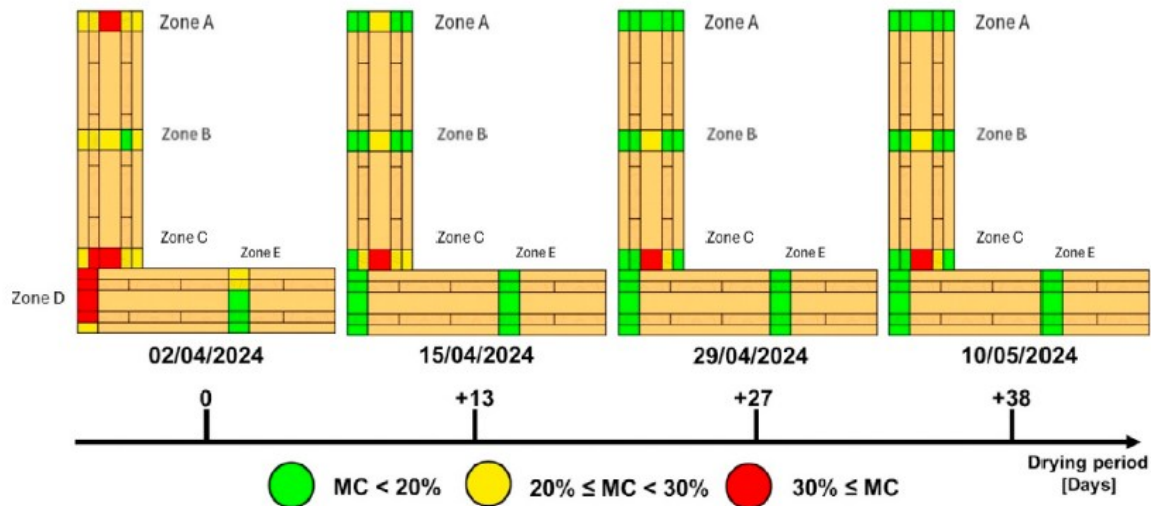
Deze casus illustreert hoe van het advies kan worden afgeweken mits gefundeerde redenen. In dit projectvoorbeeld is het zo dat men weinig zicht heeft op de werfopslag van de panelen in deze fase van het ontwerp. Indien men hiervoor een just-in-time delivery kan garanderen, zal de risico-score zakken met een advies voor een middelhoge beschermingsgraad. Daarom wordt gekozen om wat betreft de beschermingsmethodiek een categorie lager te gebruiken, die men later iteratief kan herzien.

Men weet dat de wandopbouw zal bestaan uit een dampopen opbouw, uitgerust met een regenscherm tegen de isolatie. Dit zal tijdens de levensduur dienen als defensie laag tegen regendoorslag tot aan het CLT-paneel. In werffase zal deze laag nog niet aanwezig zijn. Door de verticale aard van de panelen en het gegeven dat hout tegen de vezelrichting in veel minder en minder snel vocht zal opnemen, lijkt het hier voldoende om de individuele wandpanelen niet te gaan voorzien van een WRB. Het blijft echter wel belangrijk het kops blootgesteld hout adequaat te beschermen.

Dit blootgesteld kops hout zal beschermd worden met een ademend membraan, in tegenstelling tot het waterdicht en dampdicht membraan. Men gaat er hier van uit dat door het aanwezige regenscherm, de bevochtiging die doorslaat aan het kopse hout tijdens levensduur laag zal zijn. De voornaamste vocht opname aan dit blootgesteld kops hout is tijdens de werffase. Mocht er dan in deze fase toch vocht aan dit kops hout komen, of via de vloeropbouw - die overigens geen beschermingslaag draagt - doorsijpelen naar de kern, kan

dit vocht niet meer weg via het kops hout. Dit is tenslotte de vezelrichting die ook het meeste vocht uit de kern van het paneel kan doen uitdrogen.

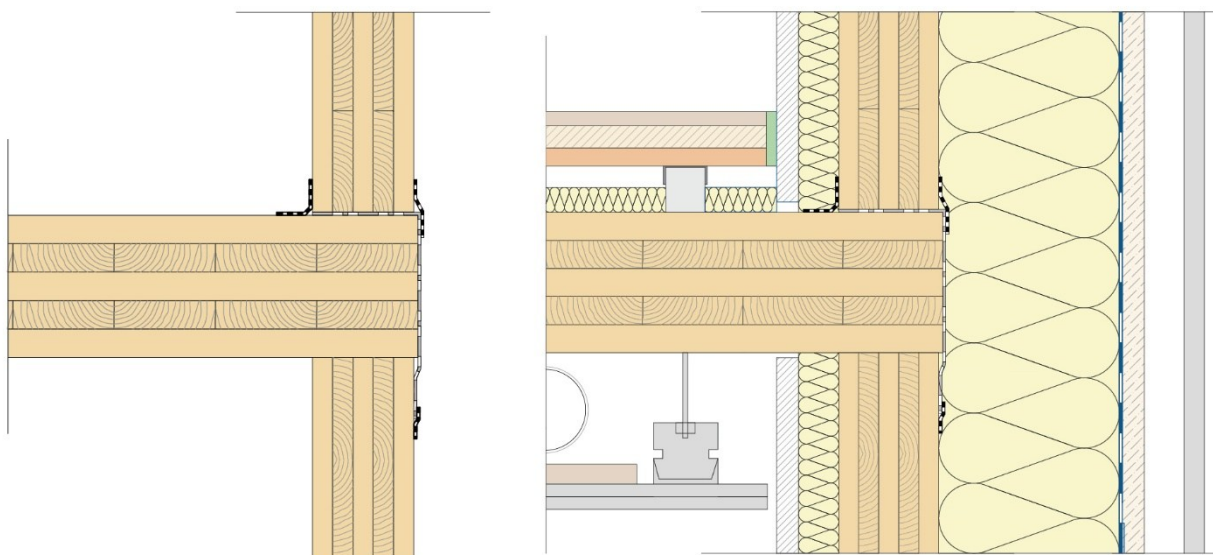
De bouwnaden zijn hierin de meest kritische plaatsen. Daniel F. Lima onderzocht het drogingspotentieel van dergelijke bouwnaad voor een constructie in Lissabon, waar de SCI index tevens ook boven de hoge grenswaarde van 65 ligt. Figuur 88 concludeert grafisch dit onderzoek, waaruit blijkt dat de bevochtiging in dit soort bouwnaden kan leiden tot langdurige hoge vochtgehalten.



Figuur 88 - Natuurlijk drogingsgedrag van een bouwnaad in het Portugese klimaat. Men ziet hoe de kern van het wandpaneel, waar kops hout blootgesteld werd aan water, maar droging verhinderd is door de bouwnaad, na ongeveer 40 dagen nog steeds te hoge vochtgehalten vertoont.

In dat opzicht is het belangrijk om deze bouwnaden goed te gaan beschermen. Figuur 89 illustreert hoe de bescherming van het kops hout met een ademend membraan ook de bouwnaden kan beschermen door deze door te trekken in de bovenste bouwnaad en over de onderste. Het risico op water dat tijdens werffase afstroomt van de wand richting de bouwnaad en vervolgens wordt ingezogen, is daarom nog niet verholpen. Daarom wordt bovenaan een extra tape voorzien de bovenste bouwnaad af te schermen. Onderaan wordt de folie van het kops hout verkleefd aan het onderste wandpaneel.

Bovendien kan men niet vergeten dat in werffase ook het de binnenzijde van dit detail aan neerslag onderworpen kan worden, zoals voorgesteld in figuur 80. Daarom dient ook de bouwnaad aan deze kant beschermd te worden met een waterdichtingstape.



Figuur 89 - Ontwerpdetail voor de aansluiting van een buitenwand met een tussenvloer in werffase (links) en afgewerkt (rechts).

Monitoring in uitvoering

Gezien de ontwerpmatige beschermingsmethodiek significant - maar weloverwogen - afwijkt van de geadviseerde beschermingsgraad, dient het uitvoeringstechnisch luik wel het geadviseerde preventieniveau te volgen. Dit houdt volgende reeks aan opvolging in zich:

- Visuele rondgang
- Wekelijkse periodieke dieptemeting binnen de 3cm van de bouwnaad
- Dieptemeting binnen de 3cm na iedere notie van bevochtiging in de bouwnaad
- Dieptemeting alvorens plaatsen van volgende lagen in de wand- en vloeropbouw

Maatregelen na bevochtiging van bouwdetail

Indien zich water ophoopt op de CLT-panelen, kan men - mits aanwezigheid van personeel op de bouwplaats - overgaan tot actieve waterverwijdering. Dit kan gebeuren door gebruik van een waterstofzuiger of door het afleiden van het water naar een vooraf voorzien drainagepunt.

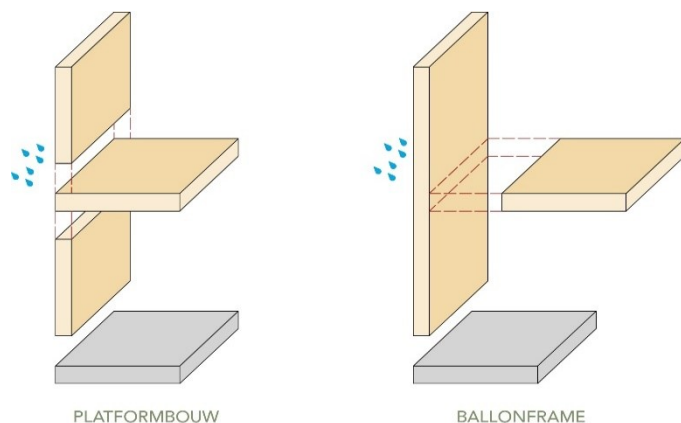
Indien metingen echter aantonen dat zich vocht heeft opgehoopt in de bouwnaad of via het kopse hout, kan men niet langer vertrouwen op natuurlijke droging. In dat geval overweegt men best om zo snel als mogelijk over te gaan naar geforceerde mechanische droging (deel 4.5.3.) door middel van ventilatoren gericht naar het bouwdetail. Idealiter gebeurt dit in zowel de ruimte boven als onder het vloerpaneel en houdt men dit aan tot wanneer het vochtgehalte onder 19% zit.

Specifieke overwegingen bij dit typedetail

Platformbouw versus ballonframe

Dit soort aansluitingen wordt in de internationale literatuur vaak beschouwd als een gevoelig bouwdetail. De platformbouwmethode, die meestal wordt gehanteerd, draagt in zich dat het vloerpaneel met de kopse kant blootgesteld staat aan het buitenklimaat. Dit zal tijdens de werffase een gevoelig punt vormen en telkens een correcte (tijdelijke) bescherming vereisen. In het ontwerp luik van de preventiematrices wordt ongeacht de risico-score aanbevolen de

hoeveelheid kops hout te gaan beschermen. In sommige gevallen is het nodig voor de horizontale stabiliteit van het gehele gebouw om doorlopende wanden te gaan voorzien. Denk hierbij aan liften, trappenhallen en schachten. De verbinding van vloerpanelen aan dergelijke doorlopende wandpanelen maakt dat het vloerpaneel niet meer loodrecht op de vezel wordt belast, wat structureel ten goede komt, maar ook dat er in sommige situaties minder kops hout blootgesteld zal worden aan de buitenomgeving. Dit is schematisch geïllustreerd in figuur 90. Indien dit structureel mogelijk is, draagt dit soort ballonframe bouwmethodes de voorkeur vanuit het oogpunt van vochtbeheersing.



Figuur 90 - Verschillende montagetechnieken en het verschil in blootstelling van kops hout (Alsmarker & Arkemi, 2024).

Omgang met kokers en schachten

Bovenstaand bouwdetail komt niet alleen voor aan de perimeter van het gebouw. Dergelijke platformbouwaansluitingen vind men ook vaak terug bij schachten. Intrinsiek verschilt dit niet van een buitenwand, en dient men dit ook te zien als een buitenschil. Vaak wordt de bovengeschetste beschermingsgraad hier echter niet toegepast, ondanks hemelwater op dezelfde manier zal afstromen op de wandpanelen van een schacht naar het blootgesteld kops hout. Het zou een evidentie moeten zijn dat het vochtbeheersplan voor dergelijk bouwdetail identiek is aan een equivalent detail aan de buitenzijde van het gebouw.

Uitvoeringsprecisie

Een rapport gepubliceerd door Tallinn University of Technology haalt terecht aan dat er een typisch risico schuilt bij dit soort bouwdetail. Ondanks dat CLT-structuren van in het ontwerpproces met bijzonder lage toleranties zijn vormgegeven, kan het zich voordoen dat de vloerplaat enkele millimeters uitsteekt in verhouding met bovenstaand wandpaneel. Dit kan zich gedragen als een 'ontvanger' van afstromend water van de wand in werffase, en uiteindelijk capillair opgezogen worden in de bouwnaad, waarna het maanden tot jaren kan duren vooraleer dit vocht kan uitdrogen. Daarom is het belangrijk om in de uitvoering strikt na te zien op deze bouwimperfectie om dit risico te vermijden. Een Best-Practice detail gebruikt bovenop nog een tape verkleefd op de wand en het vloerpaneel, zodanig dat deze bouwnaad beschermd is en pooling wordt vermeden (Kalbe et al., 2022a).



Figuur 91 - Pooling ter hoogte van de bouwnaad door uitvoeringsimperfecties (Kalbe et al., 2022a).

3.3.2.4. Buitenwand – Fundering

Projectgegevens:

Projectomvang:

- Eengezinswoning
- 140 m² vloeroppervlakte
- 7m gebouwhoogte
- 8 weken ingeschatte bouwtijd vooraleer totaal gebouw wind- en waterdicht

Externe factoren:

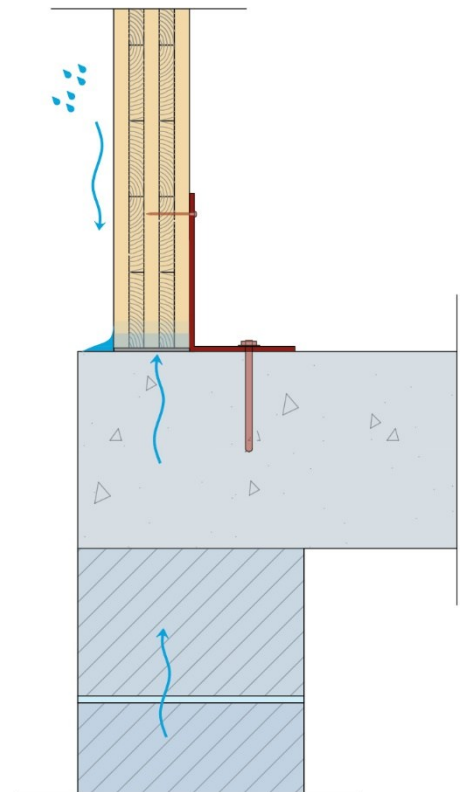
- Ruwbouwperiode tijdens de herfst
- Bouwdetail met noordwest oriëntatie
- Nabij maaiveld

Opbouw in ontwerpfase:

- Dampdichte opbouw aan muurvoet vanwege vochtresistente isolatie (XPS).
- Nat vloersysteem op gelijkvloers

Gegevens werffase:

- Opslag van de panelen in naburige loods
- Geen fabrieksbescherming
- Geen externe globale bescherming voorzien (vb. stelling met doeken)



Figuur 92 - Mogelijke vochtproblematiek: aansluiting buitenwand de fundering. Hier kan vocht samenhopen door een samenspel van opstijgend grondvocht, bouwvocht en afstromend hemelwater.

Risico-score

Men weet vanuit bovenstaande projectgegevens alle informatie nodig om de risicomatrix in te vullen. Mochten bepaalde gegevens niet gekend zijn, dient men uit te gaan van een worst-case scenario. Dit kan nadien via iteratieve herziening versoepeld worden. Tabel 16 geeft de ingevulde risicomatrix weer, waarbij een risico-score van 6.95 bereikt wordt. Hiermee wordt voor dit bouwdetail een hoog preventieniveau geadviseerd, en grenst men sterk tegen de grens van 'ongeschikt'.

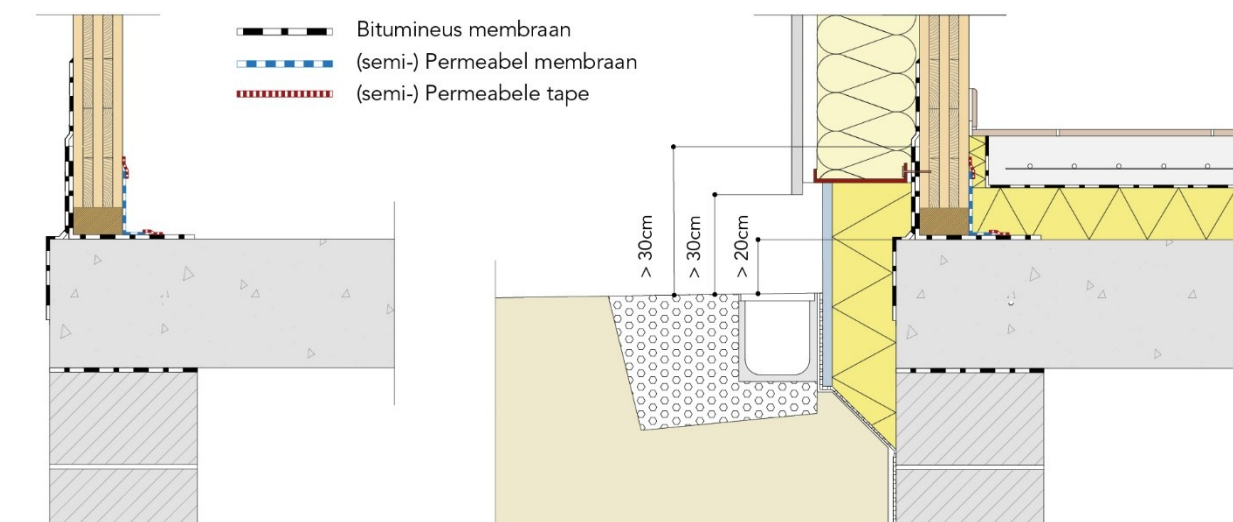
ONTWERPMATIG BOUWNADEN			UITVOERINGSTECHNISCH BOUWNADEN		
ALGEMEEN	PREVENTIE NIVEAU	BESCHERMINGSMETHODIEK	MONITORING	MAATREGELEN NA BEVOCHTIGING HOUT	ALGEMEEN
OPTIMAL PANEL CONFIGURATION Streef in samenwerking en ingenieurs met de leverancier naar een minimaal (verschillend) aantal panelen. Dit vermindert drastisch het aantal bouwnaden, dus dus potentiële plekken van vochtaccumulatie.	L	Geen bescherming van bouwnaad	Visueel en voelen Oppervlaktometing Dieptemeting binnen de 3cm van naad vooraleerdampremmende laag die naad bedekt.	Natuurlijke droging neemt te veel tijd in beslag Eens bevochtigde bouwnaad, direct over te gaan naar middelhoge categorie	UITVOERINGSTOLLERANTIES Streef een goede uitlijning van de panelen na, zodanig dat er geen kleine horizontale uitsprongen zijn. Deze dienen als plaatsen van vochtphoping.
VERMIDEN HORIZONTALE BOUWNADEN Bouwnaden zijn inherent aan detaillering. Toch kan het aantal verminderd worden door ontwerpmatige beslissingen, zoals een beperkt aantal door-en oversteken, terrassen uit CLT, het aantal opleggingen te beperken. Indien structureel mogelijk, kan platformbouw ingewisseld worden voor een ballon-frame methodiek. Hier wordt een horizontale bouwnaad vervangen door een verticale.	M	Tapes om bouwnaad af te sluiten (bij voorkeur dampopen) Dampopen membraan optrekken tot over bouwnaad en afzetten tegen drager	Bovenstaande + dieptemeting na bevochtiging (max. 3 cm van naad) Bovenstaande + dieptemeting per twee weken (max. 3cm van naad)	Geforceerde ventilatie met droge lucht gericht naar bouwnaad	EFFICIËNTIE VAN GEFORCEERDE DROGING Vocht uit bouwnaden krijgen is bijzonder lastig en bijzonder tijdrovend. Geforceerde droging kan enigszins deze lange droogperiode inkorten. Overweeg daarom om snel na bevochtiging een droge luchtstroom te voorzien in werfphase.
	H	Dampdicht membraan optrekken tot over bouwnaad en afzetten tegen drager Vloeibaar afdichtingsmembraan over de bouwnaad tegen drager	Bovenstaande + dieptemeting wekelijks (max. 3cm van naad) Bovenstaande + Sensoren plaatsen kort boven naad	Verwijderen van dampdichte membranen Droging maximaal faciliteren Geforceerde ventilatie met droge lucht gericht naar bouwnaad Bouwdrogers aan gematigde temperatuur	DAMPDICHTE BESCHERMINGSLAGEN Indien dampdichte bescherming toegepast, dient deze op regelmatige basis gecontroleerd te worden op perforaties. Vocht die toch doorkomt, kan vervolgens niet meer drogen. ADAPTIEVE WERFPLANNING Faciliteer planningswijzigingen bij sterke neerslagkans.
	ONGESCHIKT	Dampdicht membraan optrekken tot over bouwnaad en afzetten tegen drager Vloeibaar afdichtingsmembraan over de bouwnaad tegen drager	DISCLAIMER Indien een lager beschermingsinstrument dan het aanbevolen preventieniveau gekozen (niet aan te raden) Medium beschermingsinstrument gekozen na hoge risico-analyse Hoge uitvoeringstechnische luik te hanteren		

Tabel 18 - Ingevulde projectspecifieke preventiematrices voor de aansluiting van een buitenwand met de fundering

Interpretatie van preventieadvies op bouwdetail

Beschermingsmethodiek

Figuur 93 illustreert hoe het CLT paneel wordt opgetild door het plaatsen van een houten onderregel van hogere duurzaamheidsklasse (vb. lariks). Dit maakt dat het kops hout van het CLT paneel niet direct blootgesteld is aan de funderingsplaat, die rijk is aan bouwvocht en capillair vochttransport kan faciliteren. Dit opstijgend grondwater wordt ook verhinderd door een capillaire onderbreking aan het funderingsmetselwerk. Het aanzetpeil van deze houten stelregel ligt minstens 20 cm boven de afgewerkte buitenvloer, om het hout te beschermen van vocht nabij het afgewerkt grondpeil. Beide houten elementen worden beschermd door een bitumineus membraan tussen de betonplaat en de houten stelregel te plaatsen. Deze wordt verbonden met een doorlopend bitumineus of EPDM-membraan tot een hoogte van 30 cm boven het niveau van de buitenvloer. Op deze manier dient neerslag door twee lagen van defensie te treden alvorens via de buitenzijde aan de bouwnaad van het CLT-paneel te geraken. Tijdens werffase kan deze bouwnaad ook vanaf de binnenzijde bevochtigd worden. Indien bovenliggend vloerelement niet geplaatst wordt voor een eerstvolgende regenbui, kan met aangeraden zijn om een dampopen folie te plaatsen aan de binnenzijde van het paneel. Hierdoor is de bouwnaad langs beide kanten beschermd, maar kan mogelijke vochtintrusie vooralsnog uitdrogen (Douglas & Karacabeyli, 2013; Buildwise, 2022; Kalbe et al., 2020; Kalbe et al., 2022a; Gaspari et al., 2020).



Figuur 93 - Ontwerpdetail voor de aansluiting van een buitenwand met de fundering in werffase (links) en afgewerkt (rechts).

Monitoring in uitvoering

Een hoge graad aan monitoring is aanbevolen voor dit soort bouwdetail vanuit de preventiematrices, met name aan de bouwnaad. Dit houdt volgende reeks aan opvolging in zich:

- Visuele rondgang
- Wekelijkse periodieke dieptemeting binnen de 3cm van de bouwnaad
- Dieptemeting binnen de 3cm na iedere notie van bevochtiging in de bouwnaad
- Dieptemeting alvorens plaatsen van volgende lagen in de wand- en vloeropbouw

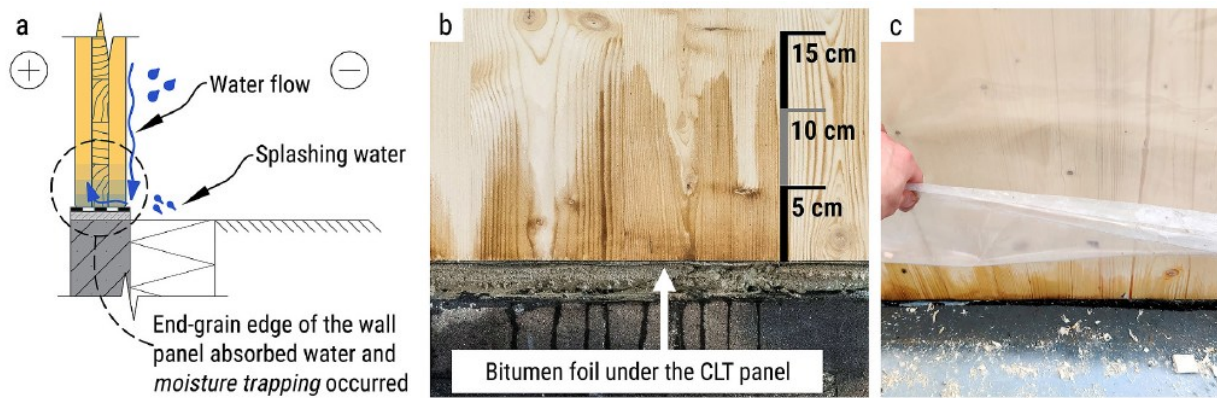
Maatregelen na bevochtiging van bouwdetail

Normaliter zou vocht zich niet in het kops houten kunnen trekken indien een EPDM-dichting en ademend membraan correct is aangebracht op een droog paneel. Indien dit toch het geval is, wacht een reeks lastige maatregelen. Als eerste dient men alle dampdichte lagen, inclusief deze vloeibare dichting zo goed als mogelijk te verwijderen. Om te voorkomen dat extra regenwater de naad bereikt, bouwt men best een tijdelijke afwatering rond de muurvoet met zeilen. Vervolgens gaat men zo snel mogelijk over naar geforceerde mechanische droging door middel van ventilatoren, eventueel samen met bouwdrogers en ontvochtigers, gericht op de naad. Over de manier waarom men best droging uitvoert, wordt ingegaan in deelhoofdstuk 4.5.3. Men dient deze droging aan te houden tot het vochtgehalte zich terug onder de 19% bevindt (Kalbe et al., 2022a).

Specifieke overwegingen bij dit typedetail

Bescherming kops hout

In de Belgische praktijk wordt vaak een simpele bitumineuze strip (DPC) onder het paneel geplaatst, zonder deze te laten omplooiën, om het kops hout te beschermen. Onderzoek door K. Kalbe, gevolgd door veldstudies onder leiding van T. Kalamees en V. Kukk, toonden meermaals aan dat dit efficiënt is tegen opstijgend water, maar bijzonder weinig effect heeft voor afstromend water dat alsnog in de bouwnaad tussen het CLT en het membraan zal trekken. Dit blijkt in werffase een grotere vochtbron dan grond- of bouwvocht komend uit de fundering (Kalbe et al., 2020; Kalbe et al., 2022a).



Figuur 94 - Aansluiting tussen een CLT buitenwand en de fundering (a). De bouwnaad werd toch blootgesteld aan overmatige hoeveelheden vocht ondanks de aanwezigheid van een DPC-strip onder het paneel (b & c). Capillair vocht uit het beton wordt zo wel tegengehouden, maar afstromend hemelwater kan eenvoudig tussen de strip en het CLT paneel opgezogen worden (Kalbe et al., 2022a).

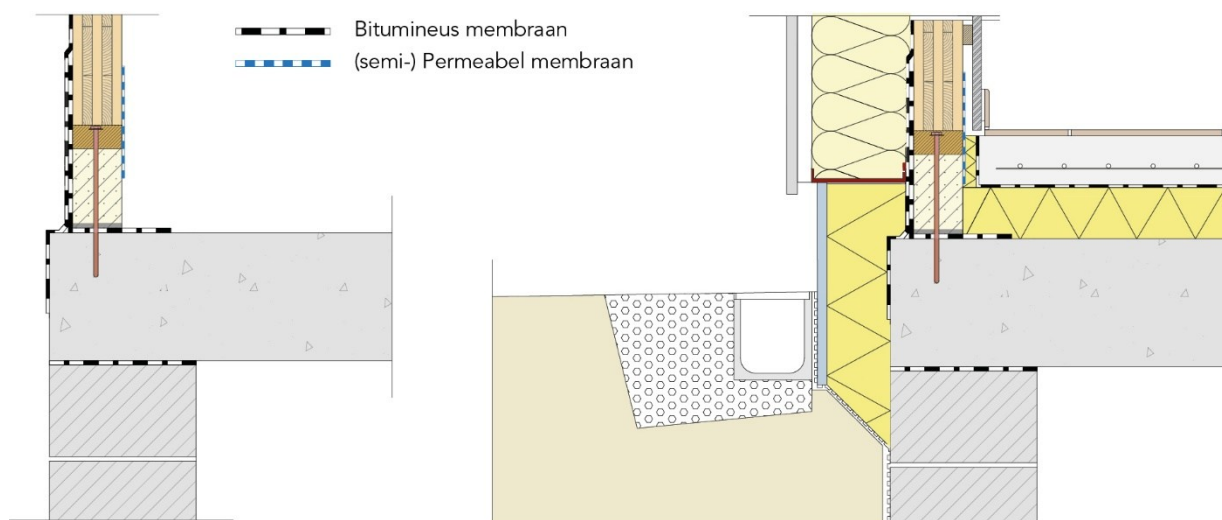
Aanzet CLT-paneel

Mocht er geen sprake zijn van een houten stelregel, zou het paneel in contact staan met de funderingsplaat. Dit zou de risicomatrix als gevolg hebben dat de score omhoog getrokken wordt tot de categorie 'ongeschikt'.

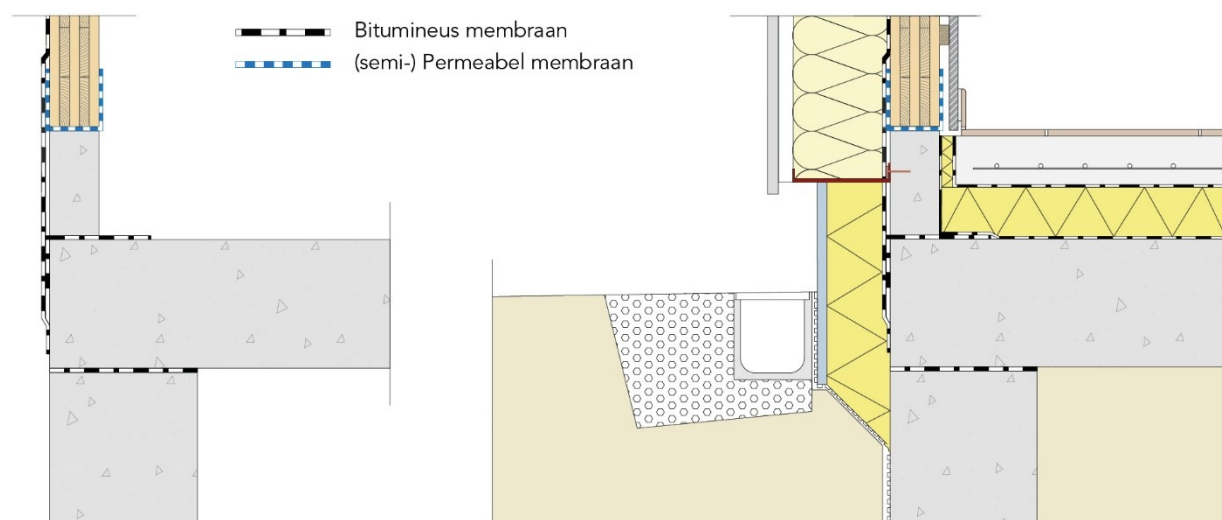
Onderzoeker en vochtexpert Nick Clifford raad hierbij extra aan, vanwege de plaatsing van dampdichte isolatiematerialen aan de buitenzijde, om het CLT paneel zoals in figuur 95 extra op te heffen, tot het zich in de 'klassieke' wandopbouw bevindt, waar de opbouw wel dampopen is naar de buitenzijde. Bovendien zal de aanzethoogte van paneel in dit geval hoger liggen dan de afgewerkte vloerplas, wat voordelig is in het geval van lekkages doorheen de levensduur. Dergelijke opstelling is verkrijgbaar op twee manieren. Een eerste, voorgesteld in figuur 96, is door een voorgeboord isolerend bouwblok te plaatsen tussen de houten stelregel en het beton. De houten stelregel is verankerd via ingebetonnerde draadstangen in de funderingsplaat. Figuur 95 en 97 tonen een eenvoudiger manier, door een betonnen opstand te realiseren. Hierin is het belangrijk om een goed aangebrachte dichting te hebben bij het kops hout, en een voldoende lange weerstandsweg (lengte van de weg met de minste thermische weerstand groter dan 1m) om het bouwdetail conform de EPB-regelgeving te voorzien (Bureau Bouwtechniek, persoonlijke communicatie, 4 april 2025; Alsmarker & Arkemi, 2024).



Figuur 95 - Ophoging van de CLT-panelen via een betonnen opstand. Hier wordt een afdichtingstrip tussen het paneel en het beton geplaatst om capillaire vochtaccumulatie tegen te gaan (Gustafsson, 2019)



Figuur 96 - Ontwerpdetail voor de aansluiting van een buitenwand met de fundering in werffase (links) en afgewerkt (rechts). Hier wordt gebruik gemaakt van een isolerend bouwblok om het CLT-paneel op te heffen tot boven de dampdichte isolatie en het afgewerkt vloerpad (Clifford, 2025a).



Figuur 97 - Ontwerpdetail voor de aansluiting van een buitenwand met de fundering in werffase (links) en afgewerkt (rechts). Hier wordt gebruik gemaakt van een betonnen opstand om het CLT-paneel op te heffen tot boven de dampdichte isolatie en het afgewerkt vloerpad. Hier dient men wel aandachtig te zijn dat aan de basisprincipes van de EPB-regelgeving voldaan wordt (Bureau Bouwtechniek, persoonlijke communicatie, 4 april 2025).

3.3.3. Analyse van de ontwerptool

Om de werking van de tool te evalueren, wordt in dit deelhoofdstuk een SWOT-analyse gemaakt. Hierin worden de sterktes (strengths), zwaktes (weaknesses), doorgroeimogelijkheden (opportunities) en valkuilen (threats) voorgesteld:

Sterkte van de tool

- De tool slaagt in zijn opzicht om een onafhankelijke en objectieve inschatting te maken van 'het risico op schade na bevochtiging' waarna het een advies genereert op voor een 'optimale' beschermingsgraad. Los van dit advies laat het de ontwerper nog steeds

toe om andere opties te bekijken en te overwegen, aangezien het één optie uitligt, maar daarmee de anderen niet uitsluit.

- Het toepassingsgebied van de tool is bewust breed getrokken naar iedere opbouw in een klassieke gebouwschil. Dit vult een leemte in de literatuur waar telkens dezelfde detailleringen bestudeerd of geïllustreerd worden, waardoor de lezer of ontwerper niet telkens weet hoe hij andere of specifieke details kan gaan beschermen. Onderzoeksliteratuur lijkt ervan uit te gaan dat de vertaalslag van een bestudeerd detail naar vochtbescherming eenvoudig kan plaatsvinden, wat in een bouwklimaat met beperkte ervaring in houtmassiefbouw geen sinecure is.
- De ontwerptool houdt rekening met de projectomvang en de daarbij horende praktische en economische haalbaarheid van beschermingsmethoden. Dit helpt mee aan de brug tussen theoretische onderzoeksliteratuur, Best-Practice handboeken en de effectieve Belgische bouwpraktijk. Daarnaast worden invloedsfactoren, zoals oriëntatie, opslagtijd en externe beschermingen (zoals een bouwtent), meegenomen in de bepaling van het risico die in de literatuur vaak worden genegeerd. Toch hebben deze factoren een sterke invloed op de nood op en het soort bescherming van een bouwdetail.
- Verschillende invloedsfactoren uit de vier hoofddomeinen werken multiplicatief ten opzicht van elkaar, en zo resulteren in een hogere risico-score. Dit is een goede weerspiegeling van wat er zich werkelijk op de bouwplaats kan voordoen, waar bepaalde factoren als een nadelige oriëntatie en blootgesteld kops hout de kans op vochtaccumulatie vergroten.

Zwaktes van de tool

- De tool an sich is een uitgebreid driestapssysteem: Men bepaalt de risico-score, evalueert hieruit het preventieadvies en maakt ten slotte een projectsafhankelijke interpretatie hiervan. Dit draagt met zich mee dat dit redelijk tijdsintensief is in een – reeds sterk veranderende – ontwerppraktijk met CLT. Het hoogtepunt van de projectarbeid ligt al vroeger, waarbij men hier nog eens extra tijd en moeite moet steken in het verkrijgen van een correct advies.
- In sommige gevallen, zoals bij het bouwdetail buitenwand-tussenvloer, is het advies soms minder toepasbaar dan een minder conservatieve optie. Dit is een gevolg van de universele toepasbaarheid. Het is daarom van belang dat de ontwerper telkens voldoende tijd steekt in een correcte interpretatie van het advies in combinatie met de projectgegevens en het specifieke bouwdetail
- De weging in de risico-matrix en de bijhorende preventieadviezen zijn zuiver op een algemene lezing van gekend bronmateriaal, gesprekken met experts en eigen werfopvolging. De CLT-bouw kent het laatste decennium een enorme groei, wat maakt dat de meeste schadegevallen zich ook pas stilaan zullen voordoen op het moment van schrijven. Er is reeds een grote hoeveelheid literatuur beschikbaar over het gedrag van panelen an sich, maar minder rondom de aansluitingen van onderlinge panelen. Het gedrag hiervan is namelijk steeds klimaatsafhankelijk, en dus lastiger te

beschrijven. De weging van de verschillende subcategorieën, met verschillende grijze velden, is daarom nog niet volledig gevalideerd.

- De detailleringstool vormt enkel een advies voor hout-op-houtverbindingen. Weinig projecten bestaan zuiver uit een houten constructie en bevatten bijvoorbeeld een betonnen kern of sokkel. Uit een gesprek met Bureau Bouwtechniek omtrent de praktische inzetbaarheid van deze tool, sprak men dat CLT meer en meer zal dienen in een vorm van hybride bouwen. Sommige beschermingsadviezen zijn hier niet op geformuleerd. Denk bijvoorbeeld over de aansluiting van een opgaand dampopen membraan van een vloerpaneel op een opgaande bestaande metselwerkwand. Deze membranen zullen niet optimaal verkleven en daarmee weinig efficiëntie aan de dag stellen. Hierrond is verdere ontwikkeling en onderzoek nodig, alvorens een passend advies op te stellen (Bureau Bouwtechniek, persoonlijke communicatie, 4 april 2025).

Verdere mogelijkheden met de ontwerptool

- Men dient zich ervan bewust te zijn dat deze tool een eerste worp is naar een vlotte ontwerppraktijk. Gezien de tool grotendeels gebaseerd is op een lezing van internationale Best-Practices en niet specifiek opgebouwd is uit de Belgische bouwcontext, dient men mee te nemen dat deze tool een *best-as-it-gets* startpunt is, maar dan een volgroeid ontwerpmedium. Met de steeds grotere verzameling aan literatuur en schadegevallen kan men de verschillende matrices verder gaan aanscherpen. De inhoud van de matrices dient verder kwantitatief onderbouwd te worden. Hiervoor zijn twee pistes denkbaar: als eerste kan men via een hele reeks aan Belgische praktijkvoorbeelden deze tool op verschillende bouwdetails gaan aftoetsen en de vergelijking maken tussen het preventieadvies, de werkelijk uitgevoerde beschermingsmethodiek en de efficiëntie hiervan. Indien men dit voor verschillende soorten projecten doet met een verschillende bouwplanning, kan men op basis hiervan de tool gaan finetunen. Een andere methode is om via hygrothermische simulaties het samenspel van verschillende maatregelen en invloedsfactoren te gaan aftoetsen. Heat-Air-Moisture, of kort HAM-simulaties kunnen hiervoor het gepaste medium zijn.
- Momenteel is deze tool ontwikkeld via Microsoft Excel en rekent die op een handmatige invoer van de gegevens. Mogelijks kan deze tool na optimalisatie gedigitaliseerd worden, om hiermee het gebruiksgemak te vergroten. Men kan zelfs zo ver gaan denken dat men een detail op bepaalde manier via CAD-software tekent, vervolgens via een plug-in de projectgegevens invult, en het beschermingsadvies direct geplot kan worden op het detail. Dit kan als gevolg hebben dat het arbeidsintensieve aspect van deze tool kan verlagen en het daarmee sneller deel wordt van het ontwerpproces tot een goed uitgewerkt vochtbeheersplan.

Valkuilen van de ontwerptool

- Gezien ieder project een positie inneemt op de budget-risico schaal, kan deze tool geen bindend karakter hebben. De voornaamste opzet is dan ook niet om te dicteren wat de bescherming voor het geanalyseerd bouwdetail moet zijn, maar eerder een bewustwording te scheppen over het risico dat dit bouwdetail loopt wanneer er verhoogde vochtblootstelling is. Dit heeft als gevolg dat er nog steeds een sterke interpretatie nodig is of de geadviseerde maatregelen wel passen voor dit detail, maar

ook of deze wel praktisch haalbaar zijn. Doorheen dit gedeelte interpretatie kan een ontwerper, zeker in een regio waar bouwen duur is en de kennis van houtmassiefbouw in de kinderschoenen staat, foute beslissingen maken. De tool is daarom geen garantie op een effectieve 'optimale' beschermingsmethodiek. Dit zal bij ontwerpers en houtbouwers door groeiende ervaring met CLT-projecten echter steeds minder gaan doorwegen.

3.4. Conclusie

Een CLT-constructie lijkt voor een minder ervaren ontwerper vaak afschrikwekkend, net vanwege de kleine buffer van CLT rondom vochtblootstelling. Het is een relatief nieuw bouw materiaal in een bouwcontext waar weinig ervaring is met hout(massief)bouw.

Desondanks is het van belang te beseffen dat de meeste plaatsen in een CLT-constructie weldegelijk een laag risico dragen rond vochtintrasie en -ophoping. Ieder project kent echter een aantal kritische zones en bouwdetails. Deze kan men allereerst gaan reduceren door een geoptimaliseerd ontwerpproces. Een houtmassiefbouwproject dient van bij aanvang geconcipeerd te worden als een houtmassiefbouwproject. Een geoptimaliseerd ontwerpproces, gevoed door een efficiënte samenwerkingsvorm tussen verschillende bouwactoren – die idealiter reeds ervaring hebben met de ontwerp mogelijkheden van houtmassiefbouw – kan het eerste overweldigend en onwetend gevoel rond CLT wegnemen.

Ten tweede reduceert een correct geconcipeerde gebouwschil, waarbij men globale principes zoals een dampopen karakter of meerdere lagen van defensie tegen vochtblootstelling introduceert, ook het aantal risicozones in een CLT-constructie.

Toch zullen er steeds details zijn die vanwege hun complexiteit, oriëntatie of opbouw inherent een groot risico dragen op schade na bevochtiging. Het zijn die kritische details waar uiteindelijk bij langdurige blootstelling schade zal optreden. Het zijn die zones waar een vochtbeheersplan een correcte uitspraak over dient te bieden rond de beschermingsmethodiek. Afgelopen deel 3.2 en 3.3 leverde een brede suggestie hoe men voor deze opbouwen en detailleringen een correcte opbouw en beschermingsgraad kan voorzien.

Deze correcte geconcipeerde opbouwen en bouwdetails dienen echter nog correct uitgevoerd te worden: een goed ontwerp is het groot werk, maar zonder doordachte uitvoering blijft het in het Belgische klimaat jammer genoeg slechts half werk. Vandaar is het belangrijk om naast de passieve vorm van bescherming ook een correcte actieve monitoring van deze kritische zones voor te schrijven in het VBP. De controle op de uitvoering van het ontwerp behoort tot heden in België ook tot het takenpakket van de architect. Gezien vochtbelasting op termijn kan leiden tot structurele schade, is het van groot belang voor deze architect om dit ook uitvoeringstechnisch nauw op te volgen. Daarom richt het volgende hoofdstuk zich op het aanrijken van enkele handvaten over hoe een bouwproject in CLT idealiter wordt uitgevoerd en opgevolgd in het licht van vochthuishouding.



DEEL 4

BELGISCH BEST-PRACTICE UITVOERING

4.1.	Werfvoorbereiding en transport	135
4.2.	Bescherming in-situ	138
4.3.	Handling en lifting van panelen	145
4.4.	Vochtmonitoring tijdens en na de bouwfase	147
4.5.	Maatregelen na bevochtiging	157
4.6.	Conclusie	162

Introductie

Voorheen in deze scriptie is meermaals beschreven dat het afschermen van CLT-panelen van bevochtiging een prioriteit moet zijn in het Belgische klimaat, zowel in werffase als levensduur. Dat dient in de eerste plaats voorkomen te worden door een goed geconcipieerd ontwerp. 'Protection-by-Design' is de grootste sleutel tot preventie tegen vocht en werd doorheen hoofdstuk 3 breed uitgelegd. Zelfs met een doordacht ontwerp op vlak van vochtbeheersing, dient men - zeker in het Belgische klimaat - er echter nog steeds vanuit te gaan dat een bepaalde kleine hoeveelheid vocht de panelen zal bereiken. Een nauwgezette uitvoering en opvolging is daarom de tweede belangrijke sleutel tot een vochtresistente CLT-constructie (E. Schmidt & Riggio, 2019).

Een vochtbeheersplan wordt idealiter opgesteld doorheen het ontwerpproces en is volledig uitgewerkt voor aanvang van de werken. Vooraleer het project de uitvoering nadert dient er een gedetailleerde beschrijving te zijn hoe tijdens de werffase zal omgegaan worden met het vochtige periodes, ongeacht het seizoen. Er dient een uitspraak te zijn hoe op eender welk moment tussen het vertrek van de panelen uit de fabriek en het opleveren van het gebouw zal omgegaan worden met vocht tijdens de werffase. Het is verder ook belangrijk, alvorens de werken aanvangen, te reflecteren over enkele nevenscenario's die zich kunnen voordoen. Een adaptief VBP is daarin een grote troef om een voorspelde verhoogde vochtbelasting voor te zijn.

Uit deze scriptie, waarbij literatuuronderzoek geflankeerd wordt met praktijkbezoeken aan projecten en gesprekken met professionelen, wordt duidelijk hoe er in het Belgische bouwklimaat een trage adaptatie is van nieuwe technische inzichten uit de onderzoekswereld. Dit wordt bevestigd door C. Tengberg en C. Hagentoft. Zij beschrijven in een enquête rond het gebruik van een bouwtent hoe inzichten in de praktijk rond vochtbeheersing bij CLT-bouw vaak groeien vanuit 'Trail & Error'. CLT-panelen tolereren echter dit soort aanpak niet vanwege hun vochtgevoeligheid. Zij beschrijven ook hoe men niet kan bouwen op de gebruiksvoorschriften vanuit de leverancier rond de vochtgevoeligheid van de geleverde panelen. Men stelt met andere woorden vast dat er een algemeen gebrek is aan concrete documentatie over een correcte bouwproces bij CLT-structuren en vocht. Productinformatie, zoals in figuur 98 vanuit drie leveranciers meegegeven, houdt het slechts op vage informatie zoals: "Bescherm tegen de weersomstandigheden", en gaat ervan uit dat de monteur zelf de invulling geeft hoe dit projectspecifiek wordt aangepakt. Ook onderzoekspapers behandelen dit soort topics minder, waardoor veel informatie vanuit handboeken of praktijkervaring dient te komen. (Svensson Tengberg & Hagentoft, 2020).

In een land met een slechts beperkte houtmassiefbouwervaring en een werfcultuur sterk gebouwd op de minder vochtgevoelige beton- en staalbouw, is een vlekkeloze uitvoering geen evidentie. Daarom richt dit hoofdstuk op het bieden van praktijkgerichte handvaten voor die uitvoeringsfasen. Het bundelt, vanuit informatie in praktijkbezoeken, lezingen, handboeken en onderzoeksliteratuur, 5 subthema's gaande vanaf het moment dat de panelen de fabrikant verlaten tot en het einde van de bouwphase en tracht zo een Best-Practice uitvoering te beschrijven.

	Supplier 1	Supplier 2	Supplier 3	EAD 130005-00-0304
Parameter				
Material, handling instructions (transport)	Must be protected from direct weathering. Can come briefly into contact with water.	Wrap elements. Take note of weather conditions while unloading.	Protect from precipitation and water.	No info
Material, handling instructions (storage)	Must be protected from direct weathering. Can come briefly into contact with water.	Protect from weather conditions	Protect from precipitation and water.	No info
Material, handling instructions (construction)	Must be protected from direct weathering. Can come briefly into contact with water.	Avoid water logging, maximum 18%MC when built in.	Detailed instructions for different approaches for weather protection, including verification. Reference to maximum 18%MC when built in.	No info
References, construction	No info	Yes. No given validation	No info	No info
Suggested building components	Applicable solutions	Applicable solutions	External reference	No info
Suggested details	Applicable solutions	Applicable solutions	External reference	No info
Maintenance instructions	Protect from moisture. Optimal 40-60%RH. Service class I and II	Service class I and II	Consider variations in climate. External reference to service class I and II.	Intended use 50 years. Service classes according to EN1995-1-1 clause 2.3.1.3 shall be given.
References, buildings	Yes. No given validation	Yes. No given validation	No info	No info

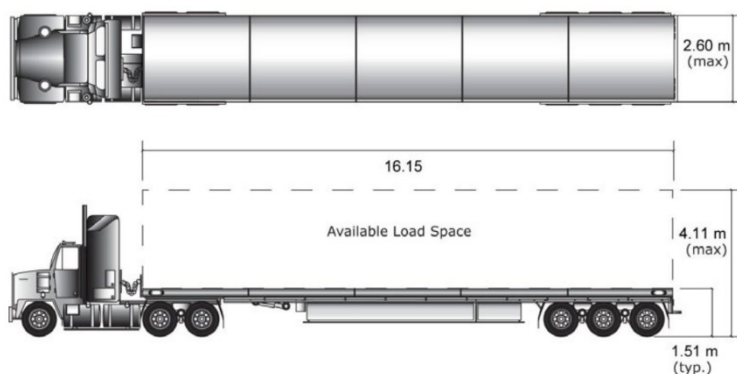
Figuur 98 - Informatie vanuit CLT-leveranciers omtrent uitvoeringstechnische aspecten. Het lichtgroene duidt op alle informatie die vanuit externe bronnen of ervaring een eigen vertaling in functie van het project vergt (Tengberg & Hagendoft, 2020).

4.1. Werfvoorbereiding en transport

4.1.1. Transport naar de bouwplaats

Een zorgvuldig vochtbeheer start reeds op het moment dat CLT-panelen het productiehuis verlaten. Aangezien veel producenten gevestigd zijn in Alpenregio's, de Baltische staten of Oost-Europa, leggen de panelen doorgaans een aanzienlijke afstand af vooraleer ze de Belgische bouwplaats bereiken.

Het transport gebeurt meestal via een 'flatbed' trailer (platte oplegger), zoals geïllustreerd in figuur 99. Dit type oplegger is langs alle zijden open, wat een vlotte montage op de werf faciliteert, maar de panelen tegelijk blootstelt aan neerslag vanuit alle richtingen. Om deze reden worden CLT-panelen bij de productie doorgaans gegroepeerd en verpakt in een waterdichte, maar dampdichte folie. Deze beschermfolie is echter kwetsbaar en kan bij het hijsen of stapelen beschadigd raken, wat vochttoetreding mogelijk maakt. Bij levering is het dan ook cruciaal om bij de chauffeur na te gaan of de panelen regen hebben gezien tijdens het transport, en om eventuele beschadigingen aan de verpakking te controleren en te documenteren, met het oog op aansprakelijkheid (Kalbe et



Figuur 99 - Flatbed-trailer met zijn bijhorende maximale afmetingen. Deze afmetingen leggen tevens de limiet op de lengte van de panelen in fabricage (Gagnon & Karacabeyli, 2019)

al., 2022a; Gagnon & Karacabeyli, 2019; B. Van Minnebruggen, persoonlijke communicatie, maart 2025).

Een alternatieve, meer vochtresistente transportwijze is via een *dry freight-trailer* (gesloten oplegger), waarbij panelen verticaal op hun kopse zijde worden geplaatst. Hoewel deze oplegger de afmetingen van de panelen meer beperkt, reduceert ze aanzienlijk het risico op bevochtiging. In de praktijk ligt de keuze voor het transportmiddel echter meestal bij de leverancier, waardoor het ontwerpteam hierop beperkte invloed heeft (Kalbe et al., 2022a).

De belangrijkste overweging bij het transport van de panelen is echter de leveringstiming. Hierin streeft men idealiter naar een 'Just-In-Time' of JIT-levering van de panelen. Dit houdt in dat door een efficiënte en goed bestudeerde bouwplanning de levering van de panelen gebeurt op het moment dat de CLT-installateur deze panelen nodig heeft in zijn/haar montagesequentie. De panelen worden vervolgens direct vanaf de oplegger via de kraan naar de juiste plaats getild. Hiermee spaart men een periode van opslag, waar zich bijzonder vaak de eerste vochtproblemen op de bouwplaats voordoen (Wagh Thistleton Architects, 2018; Gustafsson, 2019; Präbel & Alsmarker, 2022). Indien een JIT-levering niet mogelijk is, kan men overwegen de panelen te laten leveren bij een naburige loods of overdekte opslagplaats voor hetzelfde effect. Hoe dan ook is het niet aangeraden de levering meer dan een week voor de effectieve montage te voorzien. Daarvoor is een goede bouwplanning en afstemming met de leverancier vereist (Laminated Timber Solutions, persoonlijke communicatie, 9 april 2025).



Just-in-Time Delivery: de eerste sleutel tot droge, onbeschadigde CLT-panelen.

4.1.2. Solide werfplanning als basis

Bewustwording vanuit de werfplanning

De sleutel tot een succesvol bouwproject is ervoor zorgen dat de timing, inhoud en takenverdeling op elk niveau duidelijk is. Het is essentieel dat degenen die het werk plannen én degenen die het werk uitvoeren voor de aanvang van werken betrokken zijn en begrijpen hoe het probleem van vochtbescherming zal worden aangepakt – en waarom het een probleem kan vormen. Een gebrek aan overzicht, verwarde taakverdeling en onduidelijke communicatie kunnen een grote indirecte invloed hebben op de vochtbeheersing van een gebouw, ongeacht hoe weerstand biedend het ontwerp is (Präbel & Alsmarker, 2022).

De Belgische bouwsector is klassiek georganiseerd op taakbasis. Iedere taak wordt verdeeld in deeltaken, met telkens andere teams en arbeiders. Iedereen aanwezig op de bouwplaats heeft een zekere taak en focus. De meeste fouten in uitvoering gebeuren echter bij de overlap tussen verschillende teams. Communicatie op de werf van in de startblokken is daarom nodig om het gat te dichten tussen de verschillende verantwoordelijkheden. Dit kan gegarandeerd worden door breed uitgewerkte bouwplanning, waar bij het opstellen zowel ontwerper als uitvoerder(s) mee betrokken zijn. In de praktijk zal men niet kunnen vermijden dat verschillende teams aanwezig zijn op de site. Het is in dergelijke situaties belangrijk vanuit de bouwplanning te voorzien welke teams waar aanwezig zullen zijn en voor hoe lang. Idealiter zijn deze teams ervaren in de CLT-bouw. Dit kan men echter nooit garanderen in een internationale Belgische bouwcultuur met beperkte kennis over houtbouw (Präbel & Alsmarker, 2022).

In dit kader kan het nuttig zijn om vanuit de houtmonteur een gerichte scholing aan te bieden, gericht op de minder ervaren aanwezigen op de bouwplaats, bij de aanvang van hun werkzaamheden. Dit richt zich op het integreren van een bewustwording van de risico's met betrekking tot vocht en CLT in hun dagelijkse taken. Het verschaffen van praktische, projectspecifieke basisregels, alsook het stimuleren van de melding van wanpraktijken aan de houtinstallateur of werfleiding, dient eveneens als een actieve vorm van vochtbeheer en kan bijzonder effectief zijn. De volgende basisregels kunnen bijvoorbeeld worden uitgehangen bij de toegang tot de bouwplaats, verkondigd tijdens werfvergaderingen en toegelicht bij de start van de werkzaamheden (Bureau Bouwtechniek, Laminated Timber Solutions, persoonlijke communicatie, april 2025):

- Probeer zoveel mogelijk stagnerend water te melden bij de werfleiding of verwijder zelf indien mogelijk.
- Indien men krassen of doorboringen in beschermingsfolies ziet, meld dit bij de werfleiding of los ze zelf op. Voorzie als monteur dan op een vaste plaats een hoeveelheid tapes en membranen, waarmee deze zaken kunnen beschermd worden, of gebreken kunnen genoteerd worden.
- Vermijd het slepen van zaken over beschermde of gecoatte CLT-oppervlakken
- Indien een bebording maar half over doorvoering ligt voor weekend of het einde van de werkdag, zorg dat gaten volledig afgedekt zijn.
- Indien bouwdroger ergens lijkt te draaien voor niets, zet deze niet af. Deze zal daar met een reden staan draaien.
- ...

Vanuit een rapport van de Development Fund of Swedish Construction industry (SBUF), kan de weersinvloed op het project de efficiëntie tot 30% doen zakken en vertragingen doen oplopen. Wanneer het project visueel kan bekeken worden door vele ogen in plaats alles in handen te leggen van 1 partij, zal dit allereerst veel minder vochtproblematieken kennen en dus indirect de efficiëntie verhogen. Een heldere communicatie en werfplanning mondt zo indirect uit in besparingen (Pröbel & Alsmarker, 2022).

4.2. Bescherming in-situ

4.2.1. Best-Practice paneelopslag

Manier van opslag

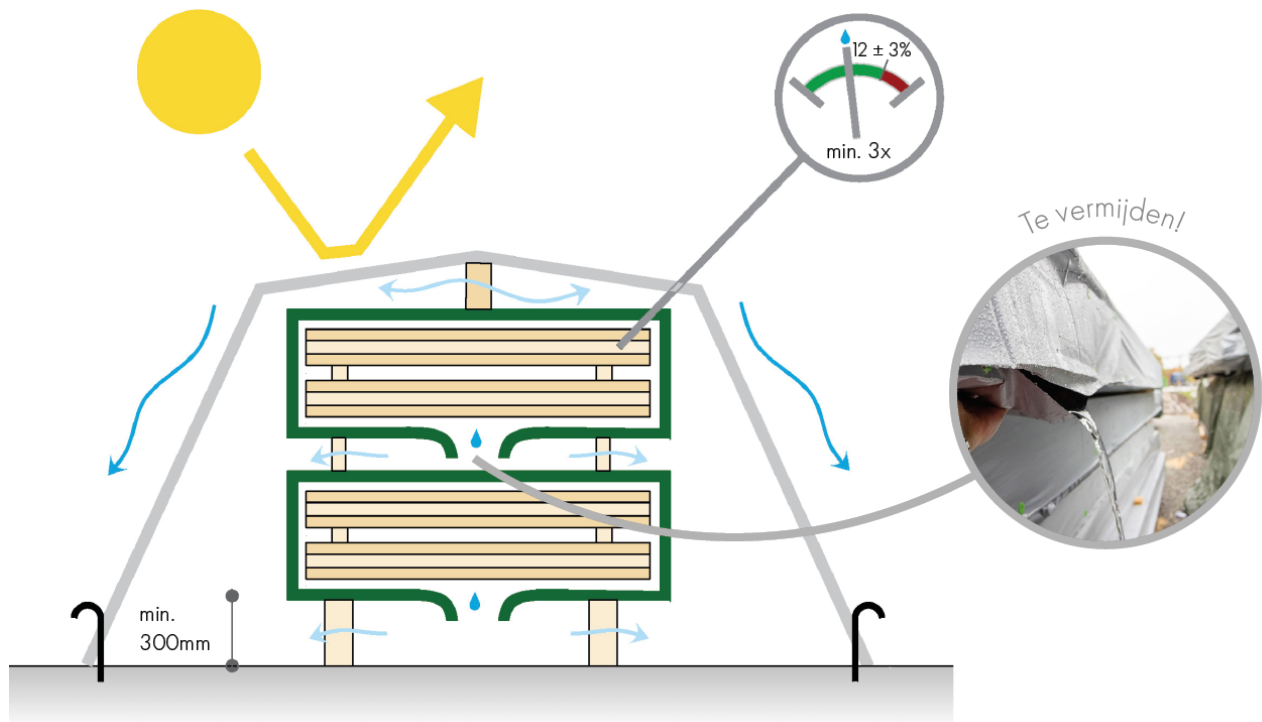
CLT-panelen kunnen reeds aanzienlijke hoeveelheden schade kennen enkel en alleen door een foutieve opslag. Dit gaat voornamelijk over verkleuring, delaminatie en vochtophoping. Toch wordt er vaak bijzonder weinig aandacht besteed aan de manier waarop en voor hoe lang panelen worden gestockeerd. Zoals eerder beschreven, streeft men idealiter naar een JIT-levering en hijst men direct de panelen van de oplegger naar de juiste plaats om vervolgens direct te monteren. Indien opslag van panelen nodig is, trekt men dit best niet langer dan een week om schade te voorkomen (Pröbel & Alsmarker, 2022; Van Minnebruggen B, persoonlijke communicatie, maart 2025).

Normaal zijn de panelen van de leverancier uit reeds op bepaalde manier gestapeld en ingepakt. Dit is meestal in een opake folie, vaak in een witte kleur. Dit resulteert namelijk in de minste fluctuaties in temperatuur. Gezien ze niet transparant zijn, zal er ook geen verkleuring plaatsvinden ten gevolge van UV-straling. De panelen zijn meestal per twee of drie verpakt in de volgorde van montage. Het is Best-Practice van de leverancier om de individuele panelen zelf op kleine houten latten te plaatsen om ventilatie toe te laten. Indien dit niet het geval is, is het extra belangrijk om zelf een Best-Practice opslag te gaan voorzien. Bij levering van de pakketten is het belangrijk om de staat van deze opake folie te evalueren en te vragen of er neerslag was tijdens het transport. Indien de folie gaten bevat, dient men deze zo snel mogelijk te herstellen door middel van een klassieke tape. Het is ook sterk aangeraden een steekproef aan dieptemetingen uit te voeren op de panelen en deze te documenteren. Mochten er zich vochtgehalten boven of onder de $12 \pm 3\%$ voordoen, dient men dit te melden aan de leverancier. Eens dit conform de bestelling is en er zich geen gaten in de folies bevinden kan men de panelen op de site gaan stockeren. Dit soort meting herhaalt men minstens voor montage van de panelen, bij langdurige opslag (>7 dagen) en vermoedens van bevochtiging. (Pröbel & Alsmarker, 2022; Gagnon & Karacabeyli, 2019).

Onderstaande figuur 100 illustreert een Best-Practice opslag. Tijdens het liften van de pakketten vanaf de oplegger naar de opslaglocatie snijdt men idealiter de pakken onderaan open. Dit garandeert een uitstroom en ventilatieopening voor mocht er zich toch vocht ophopen in de pakketten. Het eerste pakket dient een aanzethoogte te hebben van minimaal 300mm. Dit garandeert een goede ventilatie en kleiner risico tegen opspattend vocht. De bovenliggende pakketten worden ook gescheiden door afstandshouders. Deze kunnen echter kleiner zijn. Het is wel belangrijk om voldoende afstandshouders te voorzien om de belasting voldoende te spreiden. Om het gewicht op het onderste pakket onder controle te houden, dient men ervoor te zorgen dat er niet te veel panelen op elkaar gestapeld worden. Een veilige vuistregel hiervoor is een maximum van 5 CLT-panelen (Karacabeyli & Lum, 2022).

Bovenop de gestapelde pakketten spant men idealiter een extra tentzeil. Dit kan dienen als extra defensielijn, maar zorgt ook voor schaduw op de pakketten. Mocht dit er niet zijn, kan er vocht verdampen aan het horizontale vlak onder de pakketten en in de bovenliggende pakketten zich gaan opstapelen. Het is hierin belangrijk om opnieuw te kiezen voor een opaak zeil, die ver genoeg van de pakketten verankerd is, en waaronder nog steeds ventilatie mogelijk is. Daarom wordt geadviseerd op het bovenste pak ook afstand te vormen door een extra balk. Een bijkomend voordeel van dit tentzeil is dat arbeiders op de bouwplaats minder op de pakken gaan zitten of gereedschap leggen. Dit blijkt heel vaak een oorzaak voor kleine

scheuren in de individuele pakken (Pröbel & Alsmarker, 2022; Gagnon & Karacabeyli, 2019, Van Minnebruggen B, persoonlijke communicatie, maar 2025).



Figuur 100 - Schematische voorstelling van Best-Practice in-situ opslag van CLT-pakketten

Volgorde van opslag

Het lijkt triviaal wat voor effect de volgorde van stapeling van individuele pakketten heeft op de vochtbeheersing van CLT. Toch is het zo dat hier heel wat tijd, efficiëntie en vochtveiligheid te winnen valt. Het is een gebruikelijke praktijk om de leverancier te voorzien van de montagevolgorde van de bestelde panelen. Afhankelijk van een JIT-levering of in-situ opslag, zal de stapeling op de oplegger anders zijn:

- *JIT-levering:*
Hierin zullen de panelen in omgekeerde volgorde opgeladen worden dan deze gemonteerd worden. Dit maakt dat de panelen die als laatste op de oplegger worden geplaatst, als eerste zullen gemonteerd worden.
- *In-situ opslag:*
Gezien er nog een stap tussen het leveren en het monteren zit, zal de leverancier nu de pakketten stapelen in dezelfde volgorde van plaatsing. Dit betekent dat het laatst te monteren paneel ook het laatste geplaatst wordt. Zodat na het lossen en stockeren van de panelen op de site het eerst te plaatsen paneel opnieuw bovenaan ligt.

De reden waarom dit een effect kan hebben op de vochtbeheersing van de panelen ligt in de praktijk van het liften. Vaak wordt dit via spanbanden en -riemen gedaan. Dit maakt dat er bijzonder snel scheuren in de opake fabrieksfolie komt. Indien de panelen dan worden gestockeerd, kan er zich daar eenvoudig vochtinfiltratie voordoen. Het is dus Best-Practice om het aantal lifts van de pakketten en panelen tot een minimum te herleiden. In dat opzicht is het dus van belang om te communiceren aan de leverancier of de panelen zullen gestockeerd worden of direct gemonteerd vanaf de oplegger (Karacabeyli & Lum, 2022).

Tijdelijke opslag individuele panelen

Vaak worden de panelen uit hun fabrieksverpakking gehaald om ze vervolgens individueel te hijsen naar hun plaatsingslocatie. Daar worden ze soms tijdelijk gestockeerd, zoals geïllustreerd in figuur 101, kort voor montage. Meestal is dit bij wandpanelen. Ook in deze fase is het essentieel enkele principes rond opslag en ventilatie te hanteren, zeker bij vochtig weer.

De panelen worden best gespreid over de vloeroppervlakte om lokale overbelasting te vermijden. Hoewel het lichte gewicht van CLT dit risico beperkt, moet men steeds het draagvermogen van de onderliggende structuur in acht houden. Men voorziet idealiter steeds afstandshouders onder de panelen om ventilatie te garanderen. Bij regenweer en dergelijke kortstondige stockage is het cruciaal het kops hout tijdelijk af te screenen met een zeil. Wanneer vocht via kops hout wordt opgenomen en het paneel nadien aansluit tegen een ander paneel, kan het vocht in de bouwnaad immers niet snel genoeg uitdrogen (Gagnon & Karacabeyli, 2019; Lima et al., 2024).



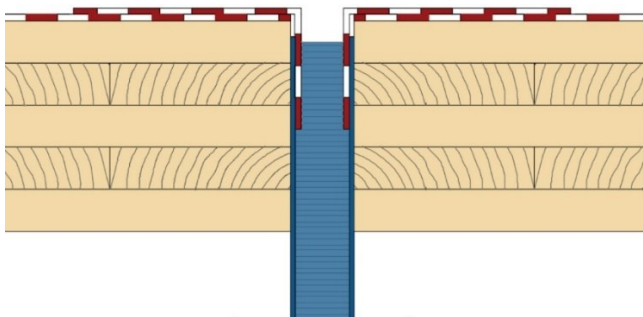
Figuur 101 - Tijdelijke kortstondige paneelopslag voor montage (Gagnon & Karacabeyli, 2019)

4.2.2. Actieve en passieve bescherming

Actieve bescherming

Passieve beschermingsmaatregelen zoals membranen, tapes, folies en coatings zijn erop gericht het benodigde actieve vochtbeheer tot een minimum te beperken. Toch is actieve opvolging in bepaalde uitvoeringsfasen van CLT-bouw onvermijdelijk. Daarom moet elk vochtbeheersplan ook een duidelijke omschrijving bevatten van welke vorm van actief vochtbeheer op welk moment noodzakelijk is.

Er bestaan twee courante strategieën voor actieve vochthuishouding, beiden gericht op het verwijderen van stilstaand water op horizontale CLT-oppervlakken. De meest laagdrempelige methode bestaat erin het water van de buitenschil af te leiden via aftrekkers en strategisch geplaatste drainagepunten. Hiervoor wordt lokaal een doorboring in het vloerpaneel voorzien. Zoals geïllustreerd in figuur 102, wordt een drainageslang door deze doorvoering geleid, waarvan het uiteinde bekleed is met een beschermfolie. Deze folie wordt aansluitend verkleefd aan het CLT-oppervlak of aan de beschermfolie van het paneel.



Figuur 102 - Doorvoering voor een drainagebuis, waarin een zelfklevend membraan verkleefd wordt op de bestaande bescherming van het vloerpaneel (links). Afvoer van bovenliggende vloer naar de buitenschil via drainagebuizen (rechts) (Design Museum Gent).

Een tweede methode om stagnerend vocht van horizontale panelen te verwijderen, is het gebruik van een bouwstofzuiger. Zoals geïllustreerd in figuur 103, wordt het overtollige water hiermee eenvoudigweg opgezogen. Het resterende vocht kan vervolgens via natuurlijke droging verdampen.



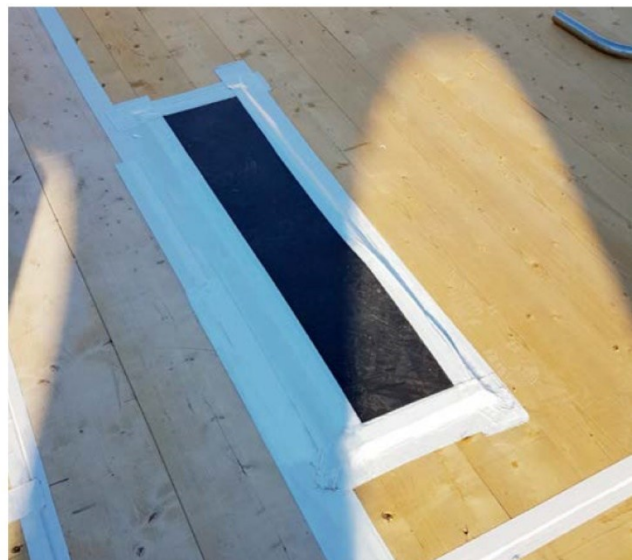
Figuur 103 - Gebruik van een bouwstofzuiger om overtollig stagnerend water op te zuigen (Pröbel & Alsmarker, 2022)

Naar aanleiding van een Zweeds veldonderzoek onder leiding van Å. Bolmsvik en C. Tengberg, waarin de effectiviteit van een bouwtent werd onderzocht, werd een CLT-monster verticaal opgesteld in het buitenklimaat, zodanig de invloed van stagnerend water geëlimineerd werd. Desondanks toonden zowel berekeningen op basis van een *mould-index* als microscopisch onderzoek aan dat schimmelvorming op het monster aanwezig was. Deze bevinding illustreert dat het manueel verwijderen van stilstaand water op CLT-panelen onvoldoende is om schimmelgroei volledig te vermijden. In vele gevallen dringt zich daarom de toepassing van passieve beschermingsmaatregelen op (Bolmsvik et al., 2023).

Passieve bescherming

De verschillende beschermingsinstrumenten werden reeds in hoofdstuk 3.2 en 3.3 beschreven. Het is belangrijk te beseffen dat er geen one-stop-shop oplossing bestaat wat betreft CLT-opbouwen en bouwdetails, gezien de keuze van beschermingsmethodiek van diverse factoren afhankelijk is. Unaniem geldt wel dat beschermingen niet aangebracht kunnen worden op panelen met een vochtgehalte boven de 20%. Dit is niet alleen omdat vocht daardoor ingekapseld kan geraken onder de bescherming, maar ook vanwege praktische uitvoerbaarheid: vooral tapes en membranen zullen nooit een goede hechting hebben op vochtige panelen. In dat geval werkt een bescherming soms avers, en houdt het vocht net vast terwijl vocht wel makkelijk onder de bescherming kan geraken (Pröbel & Alsmarker, 2022; Pro Clima, 2025b; Desmijter, N., persoonlijke communicatie, april 2025)

Passieve bescherming slaat echter niet zuiver op bescherming op de panelen. Een efficiënte, en vaak onderschatte, beschermingsmethode is om alle gevelopeningen, schachten en doorvoeringen tijdelijke af te sluiten via platen en zeilen. Dit zijn letterlijke gaten in de constructie, waardoor neerslag eenvoudig tot diep in het gebouw kan trekken (Pröbel & Alsmarker, 2022).



Figuur 104 - Tijdelijke bescherming van gevelopeningen, schachten en doorvoeringen (Pröbel & Alsmarker, 2022)

Het is belangrijk om periodiek, bijvoorbeeld voor ieder weekend, een inspectieronde op de bouwplaats in te lassen om de staat van de bescherming te controleren. Het is vrijwel onvermijdelijk kleine scheuren, krassen of perforaties te hebben te krijgen. Daarom is het van belang de bescherming zo snel mogelijk te repareren. Indien er neerslag onder de beschermingslaag is gekomen en deze niet permeabel is, dient men over te gaan tot herstellings- en drogingsmaatregelen. Dit dient dan ook opgenomen te zijn in een adaptief vochtbeheersplan (Pröbel & Alsmarker, 2022).

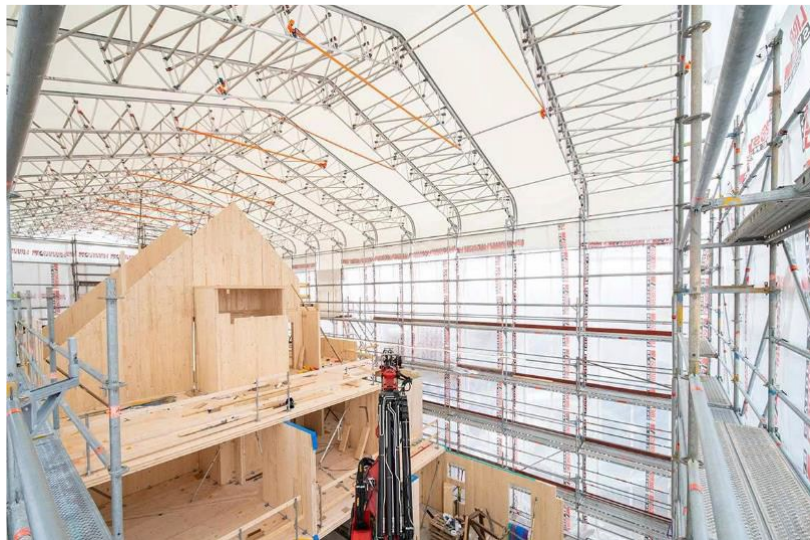
Adaptief vochtbeheersplan

Het is essentieel om zowel een globale als lokale beschermingsstrategie voor het gebouw te ontwikkelen. Een doordacht vochtbeheersplan houdt hierbij ook rekening met fallback-scenario's, voor het geval de neerslagintensiteit hoger blijkt dan vooraf ingeschat. Wanneer men bijvoorbeeld een lage beschermingsgraad voorziet omwille van zomerbouw, maar de betreffende zomer uitzonderlijk nat is, moet de beschermingsstrategie tijdig worden opgeschaald. De detailleringstool, die aanbevelingen formuleert op basis van beschermingsmethodiek, monitoring en nabehandeling bij bevochtiging, kan hierin een waardevol hulpmiddel zijn. Charlotte S. Tengberg stelt hierin voor om een optimale en alternatieve bouwplanning op te stellen, om dit soort beschermingsaanpassingen in te rekenen (Tengberg & Hagentoft, 2021).

4.2.3. Externe tijdelijke werfbescherming

Bouwtent

Binnen de Scandinavische houtmassiefbouwpraktijk wordt soms gebruik gemaakt van een externe tijdelijke bescherming in de vorm van een bouwtent. Dit reduceert het risico op overmatige bevochtiging bij de panelen en aansluitingen maximaal. Dit blijkt uit een Zweedse case-study van C. Tengberg. Hier werden de hygrothermische effecten van dergelijke externe werfbeschermingen onderzocht op 7 verschillende bouwprojecten, samen met een enquête over de werkomstandigheden onder dergelijke bouwtent. Hierin werden CLT-monsters zowel binnen als buiten de tent geplaatst, het vochtgehalte gemonitord en geanalyseerd of er na 2 tot 5 maand blootstelling schimmelgroei werd waargenomen (Bolmsvik et al., 2023).



Figuur 105 - Voorbeeld van een tijdelijke werfbescherming via een bouwtent (Layher, 2022)

Dit onderzoek concludeerde dat een bouwtent de vochtblootstelling op de CLT-bouw sterk kan verminderen. Een gemiddelde maandelijks hoeveelheid neerslag van 50-100 ton per 1000m² werf werd in Zweden afgeleid. 75% van de CLT-monsters in de buitenomgeving vertoonden schimmelgroei, terwijl geen enkel monster binnen de bouwtent dit vertoonde. Het onderzoek toont tevens ook aan dat de normaal sterk geografische spreiding van de projecten, met een verschillende hoeveelheid neerslag als gevolg, door dergelijke tent volledig wordt uitgemiddeld. Dergelijke bouwtent heeft dus een bijzonder voordelig effect op de vochtbeheersing van een project (Bolmsvik et al., 2023).

Bovendien blijkt uit de enquêtes en metingen dat de werkomstandigheden onder dergelijke bouwtent ook aangenamer zijn. CLT-oppervlakken zijn minder glad en er is een verschuiving van de piektemperatuur. Gemiddeld is de binnentemperatuur voor dit onderzoek slechts 0.6°C warmer en is de relatieve vochtigheid ongeveer 4% lager. Dit laatste is extra voordelig wat betreft natuurlijke droging van de panelen. Uit de enquêtes bleek er meer flexibiliteit en minder zorgen te zijn wat betreft vochtinrusie bij de panelen, en daardoor het project ook van hogere uitvoeringskwaliteit is. Het enige nadelige bleek het geluid van de zeilen die wapperen en een extra lastigheid bij het hijsen en monteren van de panelen via een hijskraan (Time et al., 2023; Bolmsvik et al., 2023).

Toch worden dergelijke tenten in niet-Scandinavische gebieden weinig tot niet toegepast. Dit omdat de impact van deze tent op de praktische, maar vooral economische, haalbaarheid

vaak overmatig is. Ondanks verschillende soorten bouwtenen bestaan, zoals een klimbescherming die enkel werkt als hoed boven de constructie, kiest men best vroeg in het ontwerpproces voor een bouwtent en rekent men dit in bij zowel de beschermingsmaatregelen als het projectbudget (Time et al., 2023).

Stellingen en tijdelijke overkappingen als tussenoplossing

Bouwtenen zijn bij grotere projecten zelden haalbaar, voornamelijk omwille van hun hoge kostprijs. Ondanks de duidelijke voordelen, wordt deze optie vaak vroegtijdig uitgesloten. Er bestaan echter schaalbare tussenoplossingen die vergelijkbare bescherming bieden. In veel gevallen zijn gevelstellingen een optie, waarop men zeilen bevestigt als externe barrière tegen slagregen, zoals geïllustreerd in figuur 106 (links). Als nevenkwestie kunnen deze zeilen bedrukt worden met reclame, wat een verdienmodel creëert en zo de kostprijs kan drukken. Een punt van aandacht blijkt de beperkte kennis over veilige verankering van stellingen in CLT-panelen, gezien de verhoogde windbelasting (Gagnon & Karacabeyli, 2019).

Een alternatieve oplossing bestaat erin lokaal risicovolle zones tijdelijk te overkappen, zoals in figuur 106 (rechts). Een kleine stellingstructuur met overspannen zeilen zorgt voor een correcte afwatering en levert daarmee een waardevol compromis tussen individuele paneelbescherming en een volledige bouwtent (Time et al., 2023). Bovendien vormt een bouwtent ook niet een optimale oplossing voor ieder detail. Een funderingsaanzet zal bijvoorbeeld minder baat hebben bij een klimbescherming. In dat soort gevallen is het budgetvriendelijker en efficiënter om lokaal een tijdelijke afkapping te maken door simpelweg zeilen te spannen boven dit bouwdetail.

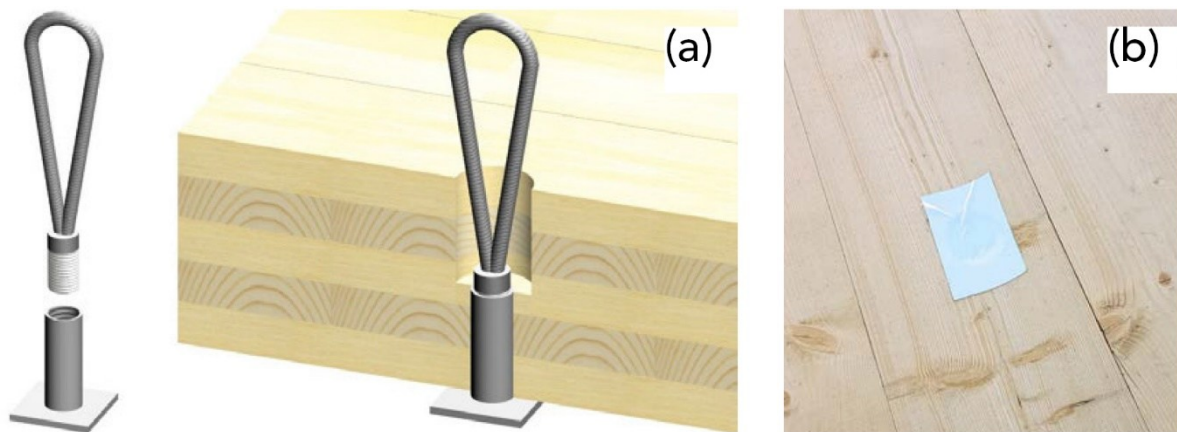


Figuur 106 - Tijdelijke werfbescherming via stellingen met zeilen rondom de hele structuur (links) (Gagnon & Karacabeyli, 2019) of lokale risicovolle zones (rechts) (Design Museum Gent).

4.3. Handling en lifting van panelen

Na dieptemetingen op een weloverwogen steekproef kan men de CLT-panelen naar hun positie hijsen, doorgaans via een torenkraan. De hijstechnieken zijn veelal overgenomen uit de betonbouw, waar prefab-elementen op vergelijkbare wijze worden gemonteerd. CLT profiteert van deze gevestigde methodes, al vereisen ze bijkomende maatregelen rond vochtresistentie, wat bij beton doorgaans overbodig is. Drie systeemgroepen uit deze betonbouw worden overgenomen voor het hijsen van CLT-panelen (Gagnon & Karacabeyli, 2019).

Contact-lifting geldt als de intrinsiek veiligste methode. Hierbij wordt gebruikgemaakt van de drukweerstand aan de onderzijde van het paneel. In de fabriek wordt een doorboring voorzien waarin een metalen voet met huls wordt geplaatst; daarin kan een stalen hijslus met schroefdraad worden ingedraaid (figuur 107a). Dit systeem is snel, veilig en herbruikbaar. De overblijvende opening over de volledige paneeldikte moet nadien beschermd worden, bij voorkeur met een dampopen membraan of tape (figuur 107b) (Gagnon & Karacabeyli, 2019).



Figuur 107 - Contact-lifting systeem (a) met bijhorende bescherming van de hijsput na het hijsen van het paneel (b) (Gagnon & Karacabeyli, 2019)

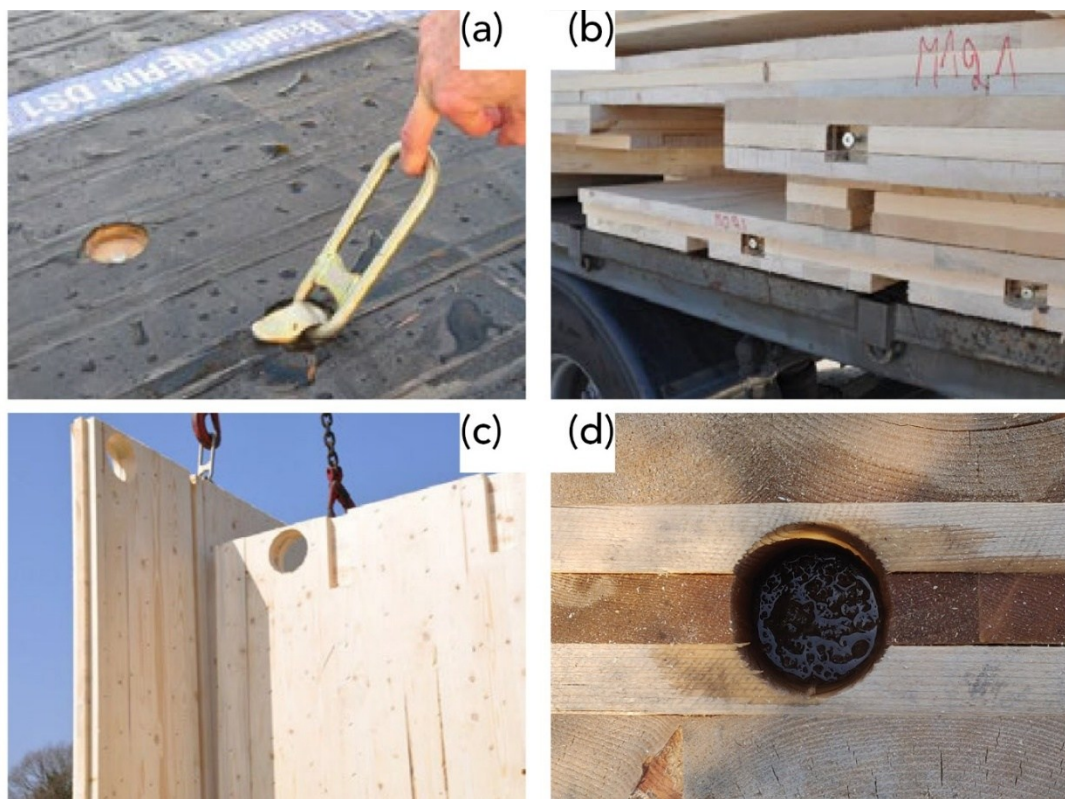
CLT-panelen kunnen ook gehesen worden met spanbanden (figuur 108). Deze techniek vereist geen doorboring en laat het paneel onbeschadigd, wat voordelig is bij zichtkwaliteit. Daarnaast is dit hijsstelsel het veiligst in het licht van vochtophoping. Het brengt echter een reëel veiligheidsrisico met zich mee, doordat de banden kunnen wegglijden, zeker wanneer lichtgewicht panelen gaan zwalpen door wind of hijsbewegingen. Om die reden wordt deze techniek nog zelden toegepast. (Gagnon & Karacabeyli, 2019). Bovendien is het niet eenvoudig de banden nog los te krijgen bij panelen die tegen elkaar worden geplaatst.



Figuur 108 - Hijssysteem met spanbanden onder het paneel (Gagnon & Karacabeyli, 2019)

Een derde categorie hijsystemen maakt gebruik van de uittrekweerstand van schroeven. Afhankelijk van het systeem wordt fabrieksmatig een nauwkeurige uitfrezing aangebracht, waarin een schroef wordt bevestigd. Deze kan zowel in de kopse als langse zijde van het paneel worden geplaatst (figuur 109b en c). Een hijsring wordt vervolgens aan de schroef

bevestigd, waarmee het paneel wordt gehesen (figuur 109a). Dit maakt de methode veilig, praktisch en snel inzetbaar. Aangezien de uitfrezing niet doorloopt tot aan de andere zijde van het paneel, ontstaat echter een risico op wateraccumulatie in dergelijke hijsput. Bovendien worden bij deze methode meerdere lamellen doorboord. Indien de hijsputten niet tijdig worden afgedicht met een dampopen tape of membraan, kunnen ze aanleiding geven tot versnelde vochtopname tot in de kern van het paneel, zoals geïllustreerd in figuur 109d (Design Museum Gent, 2025; Gagnon & Karacabeyli, 2019).



Figuur 109 – Schroefankers in de lange zijde van een CLT paneel, waar de schroef reeds gemonteerd is (a). Panelen bij levering waar de uitfrezing met fabrieksgeïnstalleerde schroef zichtbaar is in het kops hout (b). Het hijsen van een wandpaneel via de kopse zijden (c). Vochtaccumulatie in het kops hout door ophoping in de hijsput (d) (Design Museum Gent, 2025; Gagnon & Karacabeyli, 2019)

Ongeacht het hijsstelsel of de accessoires nodig om panelen correct te monteren - zoals tijdelijke schorings - dient er steeds aandacht te zijn bij iedere doorboring van een paneel. Deze kunnen zorgen voor lokale plaatsen van vochtaccumulatie, of splinters die membranen kunnen doorpensen bij het aanbrengen ervan. Tijdens werffase kan er ook voor gekozen worden om hijsputten volledig door te boren op plasvorming in de hijsput tegen te gaan en ventilatie langs de andere paneelzijde mogelijk te maken. Soms kunnen deze ook dienst doen als tijdelijke drainagepunten. Hoe dan ook dient er een uitspraak te zijn in het vochtbeheersplan rond deze doorboringen en dient deze gecommuniceerd te worden aan de montageploeg van de panelen (Gagnon & Karacabeyli, 2019).

4.4. Vochtmonitoring tijdens en na de bouwfase

4.4.1. Meetapparatuur

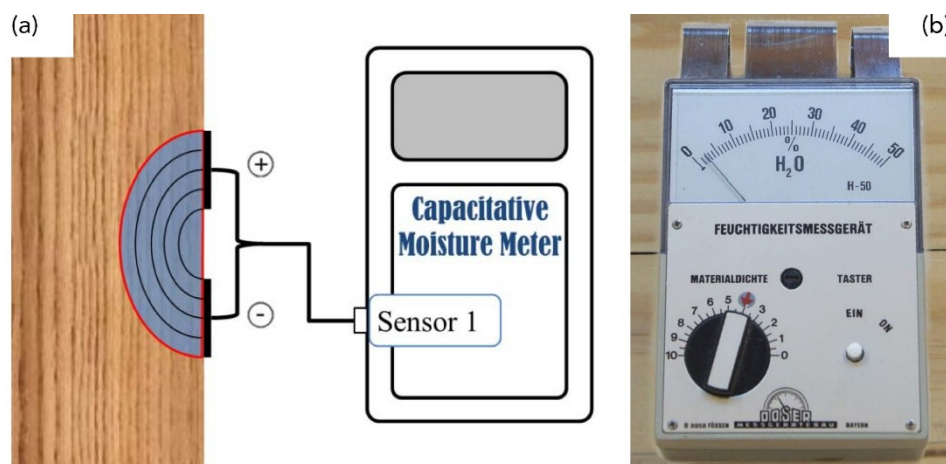
De meest precieze manier om vochtgehalten op te meten is aan de hand van een ovendroogmethode. Dit is een vorm van directe gravitaire vochtmeting, waarbij men een specimen weegt voor en na het drogen om hieruit het vochtgehalte af te leiden. Dit is uiteraard op de bouwplaats niet mogelijk. Daarom berust men voor de in-situ vochtmonitoring op indirecte vochtmeters, waarvan twee soorten het meest gebruikt worden:

Capaciteit-gebaseerde vochtmeters

Water vertoont uitgesproken diëlektrische eigenschappen ten opzichte van andere materialen zoals hout. De diëlektrische eigenschappen van hout veranderen evenredig met het vochtgehalte. De diëlektrische constante neemt toe naarmate het vochtgehalte stijgt. Bij dit soort metingen wordt een condensator op het houtoppervlak geplaatst, waarbij het hout fungeert als diëlektricum (zie figuur 110a). Een hoogfrequent signaal wordt aangebracht op de zendelektrode en ontvangen via de ontvangstelektrode (Dietsch et al., 2016).

Deze methode levert een aanvaardbare nauwkeurigheid op voor vochtgehalten tussen 5 % en het vezelverzadigingspunt, meestal rond de 28-30%. Het grootste voordeel ligt in het praktisch gebruiksgemak. Het is gemakkelijk, snel en vooral niet invasief. Dat heeft echter ook als gevolg dat enkel een meting van het houtvochtgehalte nabij het oppervlak (< 35 mm diep) mogelijk is (figuur 110a); het bepalen van een vochtgradiënt is hiermee lastig. De methode wordt hoofdzakelijk toegepast voor het meten van het vochtgehalte van dunnere houten elementen (Dietsch et al., 2016).

Deze meetmethode is gestandaardiseerd via EN 13183-3:2005 (CEN, 2005) en dient gekalibreerd te worden naar de houtsoort en densiteit. Dit laatste bleek uit een onderzoek van het Technical Research Centre of Finland (VTT) geen evidentie gezien de houtdensiteit lokaal sterk variabel kan zijn. Dit kan uiteindelijk leiden tot een grotere spreiding in meetresultaten met algemeen lagere waarden dan het werkelijk vochtgehalte (Forsén & Tarvainen, 2000).



Figuur 110 – Schematische weergave voor de werking van een capaciteit-gebaseerde vochtmeter (a). Commercieel verkrijgbare capaciteit-gebaseerde vochtmeter (b) (Dietsch et al., 2016).

Elektrische weerstandsmeters

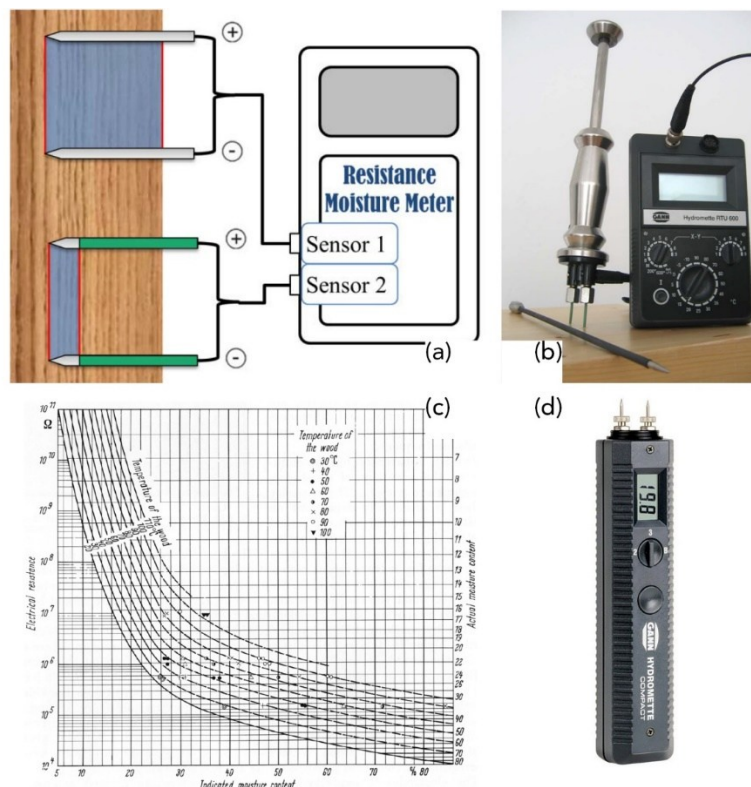
Deze indirecte methode maakt gebruik van de elektrische weerstand of geleidbaarheid van hout. Aangezien water een veel hogere geleidbaarheid heeft dan hout, stijgt de elektrische geleidbaarheid naarmate het vochtgehalte toeneemt. Door de gekende correlatie tussen

beide parameters kan het houtvochtgehalte rechtstreeks worden afgeleid. De methode levert een aanvaardbare nauwkeurigheid van $\pm 1,0\%$ op voor vochtgehalten tussen 6% en het vezelvezadigingspunt. Vochtgehalten boven deze waarden zullen niet nauwkeurig zijn, maar kunnen wel gebruikt worden om een zekere trend te snappen (Dietsch et al., 2016).

Ook deze meetmethode is gestandaardiseerd via EN 13183-2:2002 (CEN, 2002a) en dient nu gekalibreerd te worden naar de temperatuur van het materiaal. De geleidbaarheid stijgt naarmate de temperatuur stijgt. Via iso-curves zoals op figuur 111c kan het waargenomen vochtgehalte kalibreren met de houttemperatuur en -soort om zo het werkelijk vochtgehalte te verkrijgen. Professionele vochtmeters beschikken doorgaans over een functie voor automatische temperatuurcorrectie, die men vooraf invoert.

Er bestaan twee types vochtmeters die verschillen in meetdiepte. Oppervlaktemeters, zoals geïllustreerd in figuur 111d, zijn slechts beperkt inzetbaar bij CLT-elementen, aangezien enkel de oppervlaktelamella gemeten wordt (meestal 4mm). Ze zijn geschikt als snelle indicatietool om na te gaan of er bevochtiging heeft plaatsgevonden, maar bieden geen informatie over de diepere vochttoestand. Dieptemeters, doorgaans werkend volgens het slaghammerprincipe (figuur 111b), bereiken via metalen elektroden—meestal beperkt tot 6 cm vanwege het risico op plooien tijdens het inslaan—ook diepere lamella's, wat essentieel is bij CLT waar de kernvochtigheid vaak bepalend is.

Zoals figuur 111a aantoont, bestaan er twee methodes voor dieptemeting. Niet-geïsoleerde pinnen registreren de gemiddelde vochtigheid tussen de inslagpunt en het oppervlak. Geïsoleerde pinnen daarentegen maken een puntmeting mogelijk op specifieke diepte, zonder beïnvloeding door oppervlaktelamella's of aanwezige beschermlagen (Dietsch et al., 2016; Forsén & Tarvainen, 2000).



Figuur 111 - Schematische weergave voor de werking van een elektrische weerstandsmeter. Sensor 1 gebruikt geen geïsoleerde pinnen, waar dit bij sensor 2 wel zo is (a). Meestal is er slechts 1 sensor aanwezig. Een commercieel verkrijgbare dieptemeter via het slaghammerprincipe (b). Invloed van de temperatuur tussen het leesbare en effectieve vochtgehalte bij een vochtmeting (c). Een commercieel verkrijgbare oppervlaktemeter (d). (Dietsch et al., 2016; Repro GEO)

Beide meetmethoden zijn indirecte wegen om het vochtgehalte te meten en zijn daarbij sterk afhankelijk van hetzij de houttemperatuur hetzij de houtdensiteit. Uit een vergelijkende studie aan TU München, geleid door N. Flexeder, dient men te concluderen dat beide methoden slechts een inschatting bieden van het werkelijk vochtgehalte. Het is daarin echter wel belangrijk om de best mogelijke nauwkeurigheid na te streven, door het correct uitvoeren van vochtmetingen en zo de werkelijkheid het dichtst te benaderen (Flexeder & Schenk, 2022).

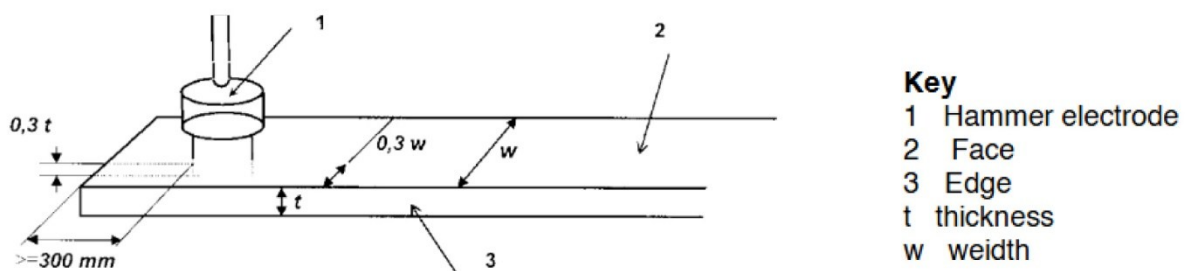
4.4.2. Correcte meetpraktijk

Het correct uitvoeren van een vochtmeting is geen sinecure. Binnen de huidige Eurocode zijn hiervoor wel standaardiseerde voorschriften opgesteld. Deze zijn opgesteld voor klassiek gezaagd hout, en daarom nog geen CLT. Dit hoofdstuk presenteert na een analyse van dit standaardprotocol een alternatief protocol voor het uitvoeren van vochtmetingen bij CLT-panelen, waardoor de werkelijke vochtigheid bij kritieke plaatsen beter kan worden gemonitord. Hier wordt uitgegaan dat de metingen worden uitgevoerd met een dieptemeting aan de hand van elektrische geleidbaarheid, gezien deze techniek meerdere lamella's kan meten en in de praktijk ook het vaakst wordt toegepast bij CLT-bouw.

4.4.2.1. Meetprotocol volgens Eurocode

EN 13183-2:2002 beschrijft een meetprotocol voor elektrische weerstandsmetingen, specifiek met geïsoleerde pinnen. De norm beschrijft dat voor aanvang de meter gekalibreerd dient te worden naar de houttemperatuur en -soort. Vervolgens worden de pinnen met de vezelrichting aan het oppervlak ingedruwd, loodrecht op het vlak. Sommige meters vergen een speciale hoek - zoals tussen de 20° en 30° - wat dan ook in de handleiding vermeld zal staan (CEN, 2002a).

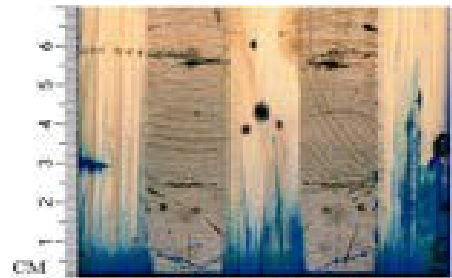
De positie waar de pinnen in het hout gedreven moeten worden, zijn bepaald volgens figuur 112. De pinnen dienen minstens 300mm van de paneelgrens ingedreven te worden tot een diepte van 30% van de plankdikte, met een afstand van 30% van de breedte van de plank. Dit gaat voor de duidelijkheid over een individuele plank of in het geval van CLT een individuele lamella. Men mag de pinnen niet inbrengen nabij kwasten, harszakken of andere defecten (CEN, 2002a).



Figuur 112 - Eurocode-protocol voor metingen met een elektrische weerstandsmeter (CEN, 2002)

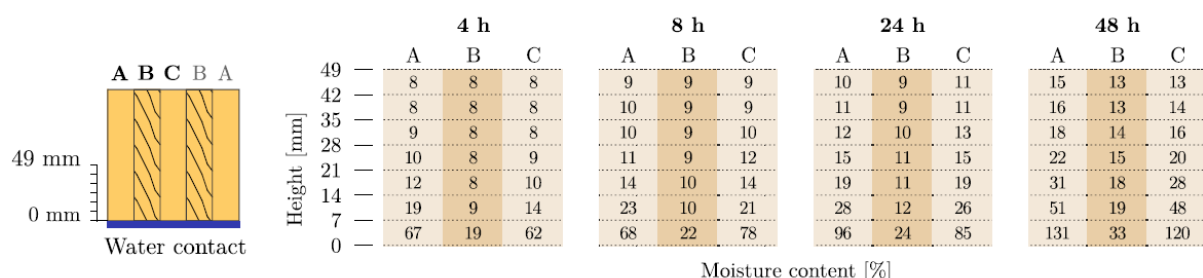
Bij gebrek aan recentere regelgeving wordt deze standaard vaak doorgetrokken naar EWP's zoals CLT, ondanks dat de toepasbaarheid daarvan niet in de norm beschreven staat. Wanneer men dit protocol echter logisch bekijkt in het licht van EWP's, kan dit nooit een representatieve waarde geven waarop monitoring van de structuur in werffase - en mogelijks erna - kan gebouwd worden. Dit vanwege twee redenen:

Ten eerste ligt, zoals in sectie 4.2.2. beschreven, de vochtproblematiek bij CLT-panelen voornamelijk bij langdurig hoge vochtgehalten in de kern van het paneel. Van daaruit ontstaan verschillende schadefenomenen door beperkte droging, waaruit na verloop van tijd houtdegradatie kan plaatsvinden. Het is daarom belangrijk niet enkel het vochtgehalte aan het oppervlak te monitoren, maar minstens even belangrijk om een idee te hebben van de vochtigheid in de kern van de panelen (Johns et al., 2024; Kalbe et al., 2024; Brandner et al., 2016; Wang, 2016b). Het vochtgehalte aan de oppervlakte schommelt veel meer en veel sneller dan de kern van het paneel. Gezien de norm geen informatie biedt over gelamelleerde houtconstructies, is hier geen info te vinden over welke diepte van een CLT-paneel moet gemonitord worden. Zelfs al neemt men 30% van de totale dikte in plaats van de dikte van een lamella, zal men bijvoorbeeld in het geval van een vijf-laags vloerpaneel van 250mm slechts op 78mm gaan meten. Wanneer men naar de kruislaagse samenstelling kijkt, zal dit vaak nog maar de tweede lamella zijn die net minder gevoelig blijkt aan vochtopname (Fig. 113). Er is met andere woorden geen informatie in de norm wat betreft de vereiste meetdiepte, waardoor de metingen 'subjectief' kunnen uitgevoerd worden en een laag vochtgehalte meten door een lamella die minder opzuigt terwijl de kern weldegelijk een hoger vochtgehalte kent (Fig. 113).



Figuur 113 - Vochtopname aan de kopse zijde van een CLT-paneel, gevisualiseerd via inkt. Men ziet het het vocht in de tweede en vierde lamella weinig tot niet in het paneel getrokken is, waar de middelste lamella weldegelijk tot 2cm in het paneel vocht opnam. Dit toont het belang om de juiste lamella te benaderen bij vochtmetingen (Kalbe et. al, 2024).

Een tweede tekortkoming van deze standaard ligt in de afstand van de paneelrand in combinatie met CLT-panelen. De norm beschrijft een minimale aanzethoogte op 300 mm van de paneelrand. K. Kalbe voerde een labotest uit naar de opsloringshoogte van CLT-panelen die met de kopse kant gedurende 48 uur in een waterbassin geplaatst waren (Fig. 102). Daaruit bleek dat de vochtgehaltenes boven de 28mm minder snel toenamen. Hoewel deze test slechts 48 uur duurde en het water tegen de zwaartekracht in diende opgezogen te worden, diende deze info voor Kalbe als basis om een tweedelig vochtcriterium bij metingen te voorzien voor het beoordelen van het vochtgehalte van kops hout (Kalbe et al., 2022a; 2024). Wanneer men met andere woorden de norm volgt en de meting aanvat op 300 mm, zal men weinig tot geen verhoging van vochtgehalte kunnen waarnemen, waardoor deze standaard eigenlijk irrelevant is voor het monitoren van CLT-constructies.

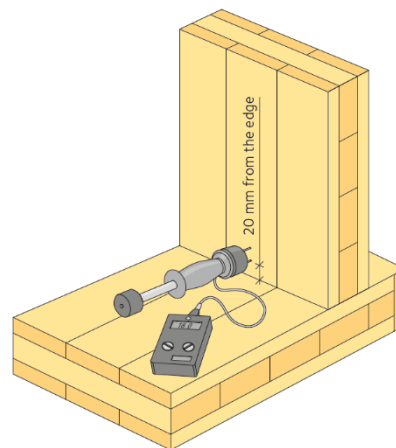


Figuur 114 - Opslorping van vocht aan de kopse zijde van een CLT-paneel na 4, 8, 24 en 48 uur. Hieruit blijkt dat de opslorping van water na 48 uur rijkt tot ongeveer 30mm. Dit gebruikt Kalbe als afstand vanaf de paneelrand voor het uitvoeren van een kwalitatieve vochtmeting (Kalbe et. al, 2024).

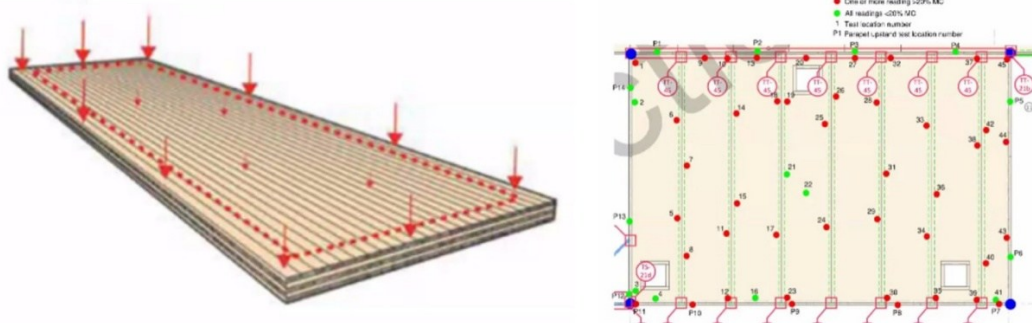
4.4.2.2. Geadviseerd meetprotocol voor CLT-panelen

Om een zo representatief mogelijk beeld te krijgen over de werkelijke vochtgehalten in CLT-panelen, wijkt men dus idealiter gedeeltelijk af van de voorziene meetstandaard. Ten slotte is men in het kader van een vochtbeheersplan op zoek naar zones in de constructie met kans op hoge vochtgehalten. Onderstaande paragraaf geeft een aanzet tot een meer precies meetprotocol specifiek voor CLT-structuren.

Er bestaat beperkte literatuur over de exacte locaties waar vochtmetingen in CLT moeten worden uitgevoerd. B. Time, N. Clifford en M. Caldwell benadrukken elk het belang van het identificeren van zones met het hoogste vochtrisico. Aangezien vocht volgens Clifford tot honderdmaal sneller wordt opgenomen via de longitudinale vezelrichting, blootgesteld aan de kopse zijden van het paneel, bevinden de meest kritieke meetzones zich volgens hem binnen 100 à 150 mm van paneelranden, openingen en doorvoeringen. Hoe dichterbij een bouwnaad na bevochtiging gemeten wordt, hoe representatiever het resultaat zal zijn voor het risico op schade. Dit komt overeen met bevindingen uit laboratoriumtesten van K. Kalbe en de aanbevelingen uit een Zweeds handboek (Kalbe et al., 2024; Gustafsson, 2019), waarin metingen binnen 20 à 30 mm van de rand worden geadviseerd (Fig. 115). Zoals figuur 116 illustreert, wordt een goede spreiding van metingen aan de randen nagestreefd, aangevuld met enkele metingen verder weg van de paneelrand. A. Blommaert toonde hierin namelijk aan dat, hoewel deze zones minder risico stellen op vochtophoping, men de blik niet zuiver op deze uiterste zones van de panelen mag fixeren. In een droogfase kan de buitenste paar centimeter namelijk al een stuk droger zijn dan verder in het paneel. Het is in dat opzicht van belang een idee te hebben of het paneel zich in opslorplings- of drogingsfase bevindt (Blommaert et al., 2025). Bovendien is het aangewezen ook enkele metingen in het midden van panelen te doen. Dit is met name relevant bij vloerpanelen, waar doorbuiging ter hoogte van de overspanning pooling kan veroorzaken, met risico op vochtinfiltratie. Ook vloerverbindingen in lijn dienen als meetpunt beschouwd te worden, aangezien zij eveneens paneelranden vormen. (Caldwell, 2025; Clifford, 2025c; Time et al., 2023).

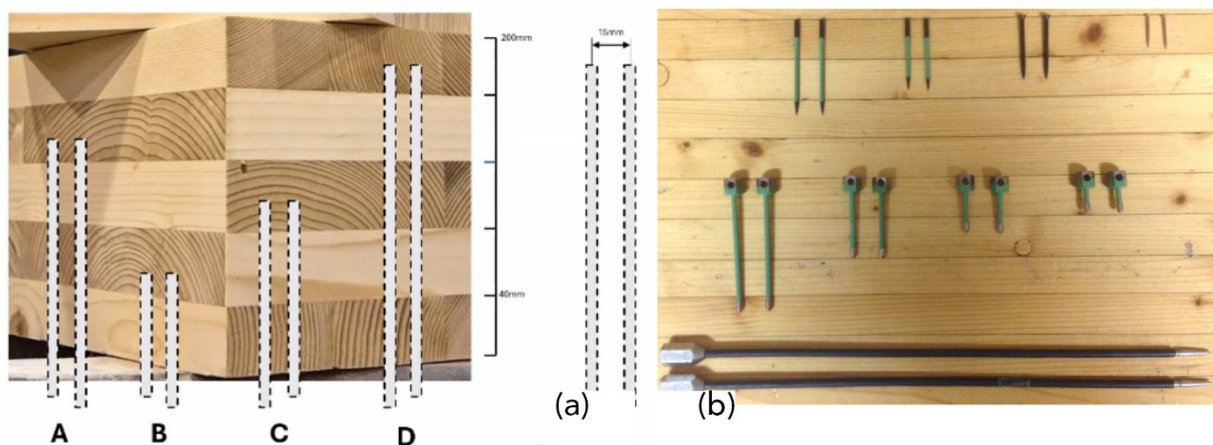


Figuur 115 -Vochtmetingen gebeuren idealiter op ongeveer 20 tot 30 mm van de paneelgrens. Zo wordt vermeden dat ogenblikkelijke bevochtiging, die snel zou kunnen drogen, wordt meegenomen. Tegelijkertijd vormt dit wel een beeld van de bevochtiging van de laatste 48 (Gustafsson, 2019; Kalbe et al., 2024)



Figuur 116 - Voorgestelde meetpunten bij een enkelvoudig vloerpaneel (links) en uitgevoerde vochtmetingen op een geheel verdiep (rechts). Dit zijn voorgestelde punten en hoeven uiteraard niet allemaal uitgevoerd te worden (Clifford, 2025c).

Wat betreft de meetdiepte geldt, net zoals voor de meetlocatie, dat gezocht moet worden naar het meest kritieke punt van het paneel. Figuur 117a illustreert hoe aan de linkerkzijde de tweede en vierde lamella het sterkst vocht zullen opnemen, maar deze aan de linkerkzijde net het minst gevoelig zijn. Het is dus van belang de lagenconfiguratie te snappen om een waardevolle meting uit te voeren. Indien dit niet gebeurt, kunnen lage vochtgehalten gemeten kunnen worden en een vertekend beeld ontstaan. Clifford benadrukt in zijn werk dat dit aspect in de praktijk vaak foutief wordt toegepast. Hij stelt dat in de meeste gevallen een slaghamer met pinnen van 4 cm, waar men bijvoorbeeld op 1,2 en 4 cm meet, volstaat om de praktische haalbaarheid te garanderen. Bij hoge meetwaarden kan vervolgens een nauwkeurige dieptemeting plaatsvinden met lange elektroden (onderaan figuur 117b). Deze worden eerst voorgeboord met een kleinere diameter en nadien met een slaghamer tot de gewenste diepte gebracht, om het plooiën van de elektroden te vermijden. Na de meting dienen de elektrodenholtes afgeplakt te worden met een tape of membraan (Clifford, 2025c). Bij vloerpanelen kan men ook opteren om vochtmetingen vanaf de onderzijde van het paneel uit te voeren. Dan doorboort men geen beschermingslagen en hoeft men achteraf ook niet te beschermen.



Figuur 117 - Een correct uitgevoerde meting zoekt steeds de meest kritische lamella. Afhankelijk van de oriëntatie en kruislaagse opbouw zal dit zorgen voor een verschillende meetdiepte (a). Die meetdiepte kan bereikt worden door het voorboren van kleine gaatjes, waarna met een slaghamer de gepaste elektroden worden gebracht tot de nodige diepte (b) (Clifford, 2025c).

Zoals gespecificeerd in hoofdstuk 3.2.2, worden vochtgehalten boven 19% als onaanvaardbaar beschouwd, gezien het verhoogde risico op schade aan CLT-panelen. Deze grenswaarde wordt dan ook vaak gehanteerd als criterium bij dieptemetingen en wordt algemeen erkend binnen academische literatuur en praktijkrichtlijnen (Wang, 2016a). Dit criterium is echter voornamelijk gebaseerd op onderzoek naar eendimensionale vochtopname. De Zweedse onderzoeker K. Kalbe wijst erop dat vochttransport via kopse zijden hierbij vaak buiten beschouwing bleef voor het opstellen van dit criterium, mede vanwege de complexiteit van de simulaties. Op basis van een tweedimensionale hygrothermische simulatie (IBK Delphin) ontwikkelde Kalbe een aanvullend criterium, specifiek voor vochtmetingen nabij kopse zijden en bouwnaden, zoals wandvloeraansluitingen:

- Op 10 mm van de paneelrand moet het vochtgehalte steeds lager zijn dan 25%.
- Indien het vochtgehalte op deze positie hoger is dan 19%, moet een tweede meting op 30 mm van de rand lager dan 16% blijven.

Dit strengere criterium weerspiegelt beter de verhoogde gevoeligheid van kopse zones voor vochtaccumulatie (Lima et al., 2024; Olsson, 2021). Hoewel het een relevante en aanvullende Best-Practice lijkt in monitoringstrategieën, lijkt verder onderzoek naar de praktische uitvoerbaarheid aangewezen. Zo kan de beperkte werkruimte nabij paneelranden, bijvoorbeeld bij vloer-wandconnecties, het uitvoeren van een slaghamermeting op 10 mm bemoeilijken. De kop van dergelijke vochtmeters (Fig. 111b of 115) is vaak cirkelvormig en heeft al een straal groter dan 10mm. Men zal dus nooit op 10mm van de rand kunnen meten in de praktijk. Een dieptemeting zoals deze in het Zweeds handboek wordt voorgesteld op 30 mm van de paneelrand of in geval van een bouwknoop zo dicht mogelijk tegen de bouwnaad lijkt haalbaarder (Kalbe et al., 2024; Gustafsson, 2019).

Het integreren van dergelijke meetprotocollen in een werfopvolging is niet vanzelfsprekend. N. Clifford stelt dat er een significant verschil bestaat tussen de waarde van gestructureerde vochtmetingen en willekeurige metingen zonder onderbouwde selectie en documentatie (Clifford, 2025c). In dat kader adviseert M. Caldwell om binnen een vochtbeheersplan vooraf strategische meetlocaties te definiëren waarop periodiek vochtmetingen plaatsvinden. Deze vaste meetpunten kunnen aangevuld worden met locaties die tijdens de werf als risicovol worden geïdentificeerd. Belangrijk hierbij te vermelden is dat men nooit een vochtmeting in dezelfde holtes mag doen van de vorige. Daarnaast adviseert Caldwell om binnen het VBP een invultemplate op te nemen waarmee systematische monitoring wordt gefaciliteerd. Zo kan doorheen de werffase een consistente dataset van vochtmetingen opgebouwd worden, die toelaat gefundeerde conclusies te trekken over het verloop van de vochttoestand (Caldwell, 2025). Figuur 118 illustreert een dergelijke ingevulde template, dat als lege variant werd opgenomen als bijlage C:

IN-SITU VOCHTMONITORING - REGISTRATIEFORMULIER			
ALGEMENE INFORMATIE			
Projectnaam	Sterrenwacht Campus Boekentoren		
Adres van de bouwplaats	Jozef-Plateaustraat 68, 9000 Gent		
Klant	Universiteit Gent		
	2/05/2025	12/05/2025	22/05/2025
MEETAPPARATUUR			
Gebruikt model	Gann Hydromette HT 65	Gann Hydromette HT 65	Gann Hydromette HT 65
Kalibratie temperatuur doorlopen?	Ja	Ja	Ja
Kalibratie houtsoort doorlopen?	Ja	Ja	Ja
MEETOMSTANDIGHEDEN			
Tijdstip test	14:00 - 15:30	16:00 - 16:50	9:00-9:30
Naam uitvoerder	Tomas De Landsheer	Tomas De Landsheer	Tomas De Landsheer
Buitentemperatuur	16°C	18°C	9°C
Relatieve vochtigheid rond paneel	79%	82%	77%
Weersomstandigheden tussen datum van meting en vorige meting	Buien gedurende twee dagen, droog op vrijdag hevige regen rest	Regenachtige periode dagelijkse neerslag	Hele tijd zonnig en droog
Zichtbare vochtigheid aan/rondom paneel	Hevig vochtige condities	Regenachtige condities	Droge condities
MEETRESULTATEN			
REFERENTIELOCATIE	V00.WP06.A08.B09		
PANEELCONFIGURATIE EN -DIKTE	120 mm [40/40/40]		
Vochtgehalte op meetdiepte			
10mm	17,80%	23,50%	17,20%
20mm	16,20%	22,80%	18,90%
40mm	15,70%	18,40%	20,80%
60mm	geen	16,70%	22,40%
Varia			
Vordering van werken t.h.v. meting	Montage van wandpaneel gisteren	Montage van rest van verdieping, uitharden van chape	Plaatsen van schrijnwerk en isolatie
Opmerkingen bij vochtmeting	-	verhoogde aandacht volgende week bij hoge gehalten dieptemeting verder dan 40 mm	Geforceerde droging op bouwnaad geplaatst.
Beeldmateriaal	nvt	nvt	nvt

Figuur 118 - Ingevuld monitoringsdocument als deel van een gedetailleerd vochtbeheersplan.

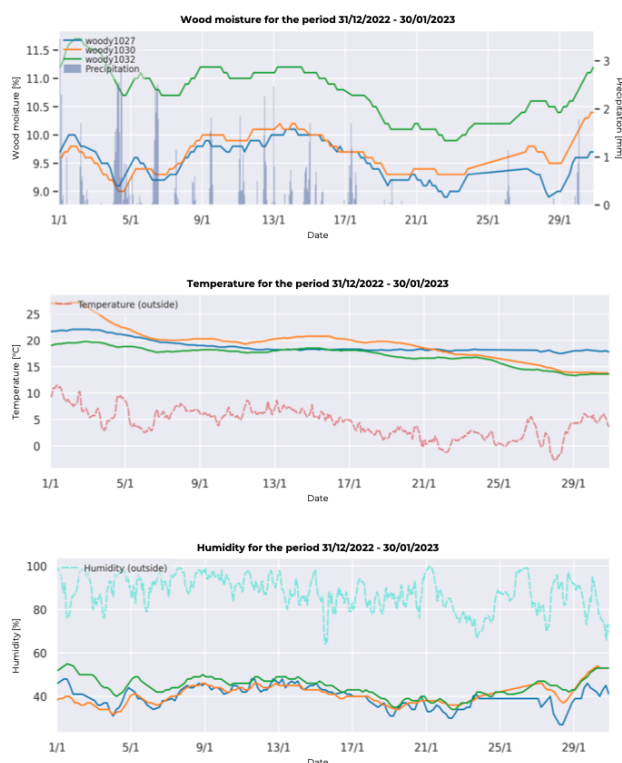
4.4.2.3. Toekomstig potentieel op normatief vlak

Volgens mandaat M/515 van de Europese commissie, zal de Eurocode 5 (EN 1995) een herziening krijgen, waarbij ook EWP worden besproken. In deze herziening zal een extra tak bijgevoegd worden onder de vorm van EN 1995-3: *Execution rules for the design of timber structures*. Dit luik zal onder meer behandelen hoe vochtmetingen bij CLT-panelen normatief dienen te verlopen, op welke diepte, wanneer er dient gemeten te worden en hoe deze resultaten te interpreteren zijn op vlak van monitoring. Dit zal onder meer gebaseerd zijn op dezelfde onderzoeksinzichten waarop deze scriptie gebouwd is en zal hopelijk een heldere lijn brengen wat betreft waardevolle vochtdata binnen de CLT bouw (Flexeder & Schenk, 2022). De Noorse standaard NS 3514:2020 en NS 3512 nemen gelamelleerde houtproducten wel al mee, maar deze standaarden lijken niet vrij toegankelijk buiten Noorwegen (Kellgren et al., 2023).

4.4.3. Sensoren als vroegtijdig detectiesysteem

Afgelopen decennium is er een boost geweest in de ontwikkeling van vochtsensoren. Dit maakt niet alleen dat er relatief weinig publicaties bestaan binnen onderzoeksliteratuur, maar ook het bestaan ervan niet breed gekend is in de bouwpraktijk. Toch kunnen ze zorgen voor een groot voordeel op vlak van monitoring tijdens en na de bouwfase bij CLT-projecten (Clifford, 2025a).

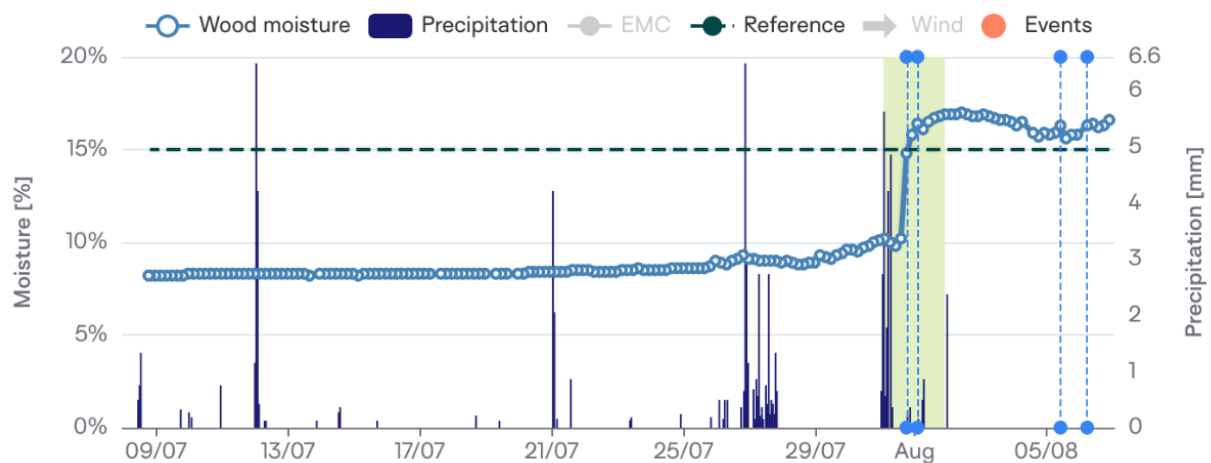
Het globale doel van vochtsensoren is het vermijden van schade door vochtophoping door het geven van een vroegtijdige waarschuwing. Het werkt volgens hetzelfde principe als een elektrische weerstandmeter, maar blijft aan de kritische punten hangen, en meet tot 24 metingen per dag. De sensoren zijn automatisch gekalibreerd voor de houtsoort en temperatuur. Initieel werkten de meters zoals een oppervlaktemeter, maar via de nieuwste technologie kan nu ook met diepteëlektroden tot 100mm gemeten worden. Dit laat toe om ook de kern van CLT-panelen op deze kritische plaatsen te monitoren, en dit over een batterijduur van maximaal tien jaar. Het systeem werd bestudeerd door Kellgren en Seeberg voor de bouwfase van een schoolgebouw in Noorwegen. Doorheen de bouwfase maakten de meldingen de houtbouwer alert op vochtindringingen, waarna hij deze kon drogen en achteraf strikter kon beschermen (Kellgren et al., 2023; Caldwell, 2025); Tector, 2025).



Figuur 119 - Meetresultaten afkomstig van een vochtsensor: vochtgehalte in het hout, temperatuur en relatieve vochtigheid (Tector, 2025)

De sensoren zijn capabel om het vochtgehalte te meten in het hout tot een nauwkeurigheid van 0.3% binnen de range van 8-27%. Tegelijkertijd meten deze de temperatuur, waarnaar automatisch gekalibreerd wordt, en de relatieve vochtigheid. Via een ingebouwd algoritme in de software van dergelijke sensoren, zal een Mould-index (MI) bepaald worden en beschreven worden via mould-curves. Ook andere risico-scores kunnen bepaald worden.

Er zijn klassieke meldingen standaard ingebouwd, zoals een sterke toename in vochtigheid. De gebruiker kan echter door de combinatie van vochtmeting, temperatuurmeting en relatieve vochtigheid ook zelf alerts gaan opstellen, zoals een melding bij een lichte toename van het vochtgehalte na een neerslaghoeveelheid hoger dan 2mm (Tector, 2024; Kellgren et al., 2023).



Figuur 120 - Voorstelling hoe de monitoring via een vochtsensor verloopt. Hier ziet men een piek in de neerslag (donkerblauw) wat leidt tot een verhoogd vochtgehalte nabij de sensor, boven de eigen gestelde grenswaarde van 15% (Tector, 2025).

De voordelen van dergelijke systemen zijn volgens N. Clifford en Timber Development UK niet te ontkennen. Het biedt de mogelijkheid tot een vroege waarschuwing wanneer vocht zich ophoopt in de constructies, het kan de kern van het paneel monitoren en geeft informatie over de bevochtigingshistoriek. Dit laatste kan verklaren waarom er zicht damp- of luchtlekages voordoen in de constructies en dit gedurende maximaal tien jaar. Zo kan men ook deze sensortechniek gaan gebruiken in de eerste gebruiksjaren van het gebouw. Dit kan zeker handig zijn wat betreft vochtige ruimten en lekkages bij technieken (veelal in hoeken, bochten of aansluitingen) (Caldwell, 2024; Clifford, 2025a).

Uiteraard is deze techniek bijzonder duur, en dient dit ingerekend te worden in het ontwerp en het vochtbeheersplan. Veelal heerst nog de perceptie volgens Clifford dat het inwerken van sensoren gelijk staat aan het toegeven dat het ontwerp niet vochtresistent is. Hij haalt aan dat ook verzekeraars in het Verenigd Koninkrijk bij CLT-bouw steeds meer een gefundeerde aanpak verwachten hoe de structuren droog zullen gehouden worden. Dergelijk systeem op de meest kritische punten kan hiertoe een tool zijn (Clifford, 2025a).

Vanwege dit hoge prijskaartje, wordt de techniek momenteel slechts bij risico- of eliteprojecten ingezet waar een hoog bedrag uitgeschreven is voor de vochtbeheersing van de constructie. Vanuit de praktijk is er ook weinig helderheid op waar deze sensoren moeten geplaatst worden. Dit komt door een combinatie van kennisgebrek waar de risicopunten zich bevinden, en de werkingsprincipes van dergelijke technologie. Marktleider in dit systeem, Tector, geeft aan de klanten als vuistregel bij platte daken het meeste sensoren te plaatsen (per 10-25m², nabij paneelranden), bij wandpanelen over het algemeen één sensor per 40m² (idealiter op 30mm van de paneelgrens of opening) en voor vloerpanelen om de 50m². Praktisch is het ook haalbaar om de elektroden verder te plaatsen dan de logger via kabels (figuur 121) (Tector, 2025; Vandewyngaerde C. persoonlijke communicatie, 9 april 2025).



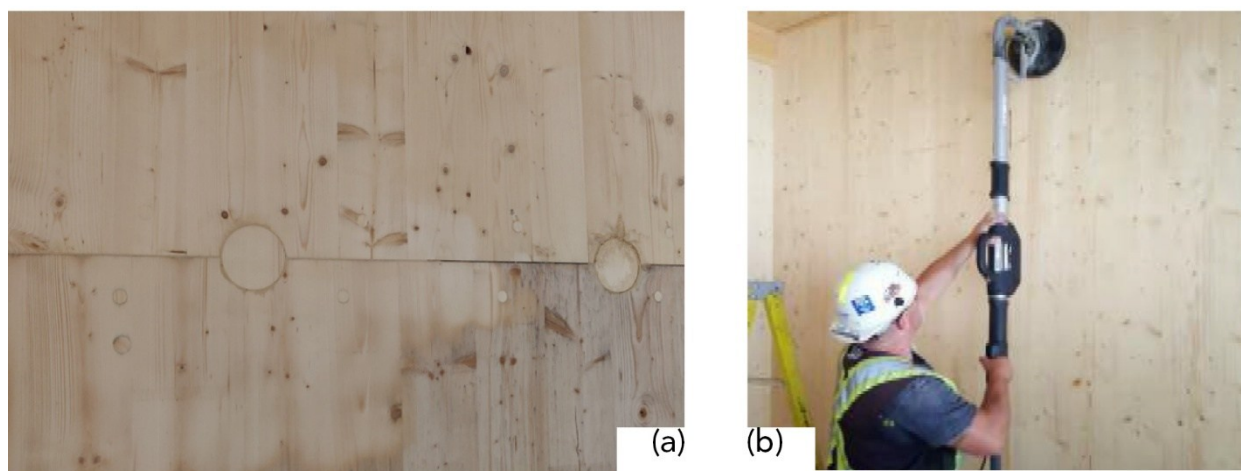
Figuur 121 - Vochtsensor met losgekoppelde elektroden, gemonteerd aan de onderzijde van een CLT-tussenvloer. De elektroden bevinden zich op 80mm (Tector, 2025)

4.5. Maatregelen na bevochtiging

4.5.1. Nood tot droging

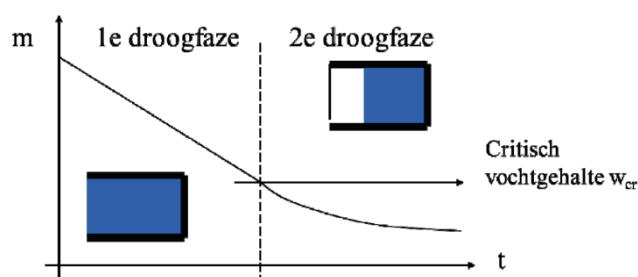
Onderzoeksliteratuur benadrukt het belang van een maximaal drogingspotentieel bij CLT-constructies. Jieying Wang stelt ter aanvulling van het Canadese CLT-handboek dat dit niet altijd een historische prioriteit was voor houtconstructies in het algemeen. Droging werd in het verleden minder problematisch geacht om drie redenen. Ten eerste is de gebouwschil aanzienlijk geëvolueerd: hedendaagse constructies zijn lucht- en dampdichter en sterker geïsoleerd, waar oudere opbouwen meer doorlatend waren. Ten tweede is de bouwsnelheid toegenomen, wat het beschikbare drogingsvenster vóór het dichtzetten van de structuur verkleint. Ten derde wordt CLT vandaag breder toegepast, soms zonder volledige kennis van materiaaleigenschappen en vochtgevoeligheid, wat leidt tot risico's op blootstelling en vertragingen. Verder verklaart Wang dat de nood tot droging van de panelen veel hoger is bij gelamelleerde massieve houten elementen dan bij traditionele houtskeletbouw. Een houtskeletbouwwand heeft namelijk een kleiner volume hout, maar een groot blootgesteld oppervlak van dit volume, waar dit bij CLT-constructies net omgekeerd is. Daarom kan vocht zich makkelijker ophopen in de panelen in plaats van snel uit te drogen (Wang, 2016a).

Bevochtiging kan leiden tot zichtbare verkleuringen, vlekvorming en (blauw)schimmel op CLT-panelen, vooral nabij funderingen, schrijnwerkopeningen en aansluitingen met metalen elementen. In de Belgische bouwcultuur waar CLT, ondanks aanbevelingen, vaak zichtbaar blijft, vereist dit na droging mogelijk het schuren van panelen (Fig. 122) –een tijdrovende en dure ingreep (Finch, 2022; Laminated Timber Solutions, persoonlijke communicatie, 4 april 2025).



Figuur 122 - Effect van wegschuren van vlekvorming en blauwschimmel van het onderste gedroogde CLT-paneel (links) (Design Museum Gent). Praktijk van het wegschuren van de bovenste laag van een CLT-paneel na vlekvorming (Finch, 2022).

Los van de evolutie naar meer performante gebouwen zijn bevochtigde panelen steeds een risico op houtaantasting, zoals in sectie 4.2.2. besproken. De panelen dienen op een efficiënte manier onder vochtgehalte van 19% te gaan vooraleer er deze dichtgezet worden met verdere (dampremmende) lagen. Het algemene drogingsmechanisme van poreuze materialen is complex en men dient dit te snappen om een optimale drogingsstrategie uit te werken. Het droogproces van een poreus materiaal verloopt in twee fasen. Tijdens de eerste droogfase bevindt het droogfront zich aan het oppervlak en vindt droging voornamelijk plaats via convectief damptransport, waarbij verdamping optreedt aan het materiaaloppervlak. In de tweede droogfase gebeurt de droging via dampdiffusie, waarbij het vocht zich vanuit het inwendige droogfront door het deels uitgedroogde materiaal naar het oppervlak verplaatst. Figuur 123 illustreert deze droogfasen. De eerste droogfase, waarbij het vocht zich aan het oppervlak bevindt, verloopt aanzienlijk sneller dan de tweede fase, waarin het vocht zich dieper in het materiaal bevindt. Dit maakt dat CLT panelen aanzienlijk trager uitdrogen dan dat ze vocht opnemen (Janssens, 2019; Habtie, 2022; Michiels & Debie, 2024).



Figuur 123 - Visuele ondersteuning van de eerste en tweede droogfase (Janssens, 2019).

4.5.2. Natuurlijke droging

De efficiëntie van natuurlijke droging bij CLT-panelen wordt bepaald door het interne vochtgehalte, de oppervlaktetemperatuur van het hout, de luchttemperatuur, de relatieve luchtvochtigheid en de mate van ventilatie. Optimale natuurlijke droging vereist het vermijden van bijkomende bevochtiging, het verhogen van de oppervlaktetemperatuur en het verzekeren van voldoende droge luchtcirculatie rond het houtoppervlak (Gagnon & Karacabeyli, 2019).

Om dit te faciliteren, dient de opbouw allereerst maximaal dampopen te zijn, zodat zowel in- als uitwaartse droging mogelijk blijft. In de werffase impliceert dit het wegnemen van dampremmende of waterdichte lagen, indien mogelijk, om directe blootstelling aan lucht en zonlicht toe te laten (Wang, 2016a). In het Belgische klimaat is natuurlijke droging enkel efficiënt indien het element zich in een waterdichte omgeving bevindt, aangezien langdurige droge periodes schaars zijn, zelfs in de zomer. Gezien het vochtige klimaat, en het feit dat natuurlijke droging van panelen aanzienlijke tijd vergt, kan men er van uitgaan dat ononderbroken natuurlijke droging enkel haalbaar is onder een gesloten, droge schil.

In het geval van natuurlijke droging in de buitenomgeving wordt aangeraden om dampremmende lagen boven en onder het paneel te verwijderen en tijdelijke, waterdichte bescherming (zoals zeilen) boven het paneel te voorzien. Donkere zeilen verhogen de temperatuur onder de zeilen bij bezonning, wat de droogcapaciteit bevordert. Cruciaal hierbij is voldoende luchtstroming om condensatie en een serre-effect te vermijden (Wang, 2016a; Courtoy P., persoonlijke communicatie, 19 maart 2025).

Tot slot kan ook de afwerkingsopbouw een remmende invloed hebben. Bij platte daken moet bijvoorbeeld aandacht worden besteed aan ballast of apparatuur die luchtcirculatie en stralingswarmte aan het oppervlak belemmert. Groendaken verlagen bijvoorbeeld de oppervlaktetemperatuur significant, wat het inwaarts droogvermogen van de dakopbouw beperkt. Dit zal zijn effect hebben op de droogsnelheid.

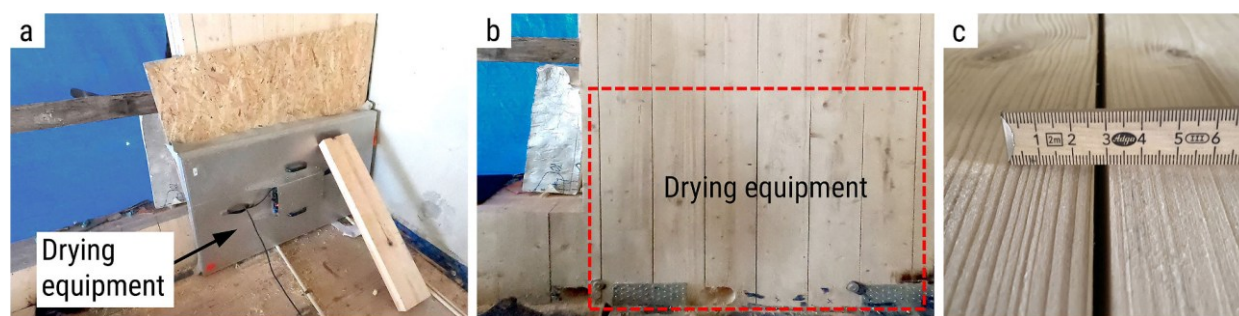
Samengevat vereist natuurlijke droging van CLT een dampopen ontwerp, gecontroleerde bescherming tegen herbevochtiging, voldoende luchtstroom en een hoge oppervlaktetemperatuur. Ideale omstandigheden voor natuurlijke droging volgens Wang is warme lucht (rond de 25°C) met een lage relatieve vochtigheid (< 65%) (Wang Jieying, 2020). Dit is in het Belgische klimaat geen evidentie door de hoge neerslagfrequentie en relatieve vochtigheid. Bij hevige bevochtiging van zones met een laag droogpotentieel - zoals bouwnaden - zal natuurlijke droging tot onder de grenswaarde van 19% zal lang duren, en zal leiden tot aanzienlijke vertragingen, met alle risico's op herhaaldelijke bevochtiging. Daarom zal men in dit soort situaties sneller overgaan tot vormen van geforceerde droging (Habtie, 2022; Gagnon & Karacabeyli, 2019).

4.5.3. Geforceerde droging

Best-Practice mechanische droging

Geforceerde of mechanische droging houdt het gebruik van ventilatoren in, al dan niet met toevoeging van warmte en ontvochtiging, om een droog en geventileerd klimaat rondom de panelen te garanderen. Om schade te voorkomen aan de panelen bij mechanische droging, dient de droogsnelheid weloverwogen te zijn door een correcte afstemming van drie parameters: relatieve vochtigheid van de lucht rondom de panelen, temperatuur en luchtstroming (Gagnon & Karacabeyli, 2019).

Indien de bevochtigde panelen te snel gaan drogen, kan dit aanleiding geven tot scheurvorming en delaminaties tussen de lamella's, wat op zijn beurt weer aanleiding geeft tot luchtlekken en vochtspaden voor verdere bevochtiging (Fig. 124c). De droogsnelheid dient dus op ieder moment gecontroleerd te zijn.



Figuur 124- Lokale drooginstallatie waar een te hoge temperatuur samen met te droge lucht gebruikt werd voor droging (a). Dit leidde tot zichtbare scheuren van >5mm (b en c) (Kalbe et. al 2022).

Nick Clifford stelt vanuit de praktijk vast dat het zuiver gebruik van een ventilator in een ruimte niet voldoende zal zijn voor een efficiënt droogproces, zeker wanneer er dampdichte lagen rondom de panelen zitten. Hetzelfde geldt voor zuiver een temperatuursverhoging in de ruimte. Daarom dienen als eerste alle dampremmende materialen verwijderd te worden indien mogelijk. Daarbij is er minstens een verhoogde luchtstroom richting het bevochtigde element nodig om een goede mechanische droging te faciliteren. In dat opzicht zijn

ventilatoren dus meestal de basis. Daaraan kan men vervolgens een bouwdroger en of verwarmer toevoegen (Fig. 125). Idealiter verspreid de bouwdroger lucht met een relatieve vochtigheid tussen de 40 en 60% en is de lucht in de te drogen zone niet warmer dan 25°C. Daarom kan men, indien mogelijk, ook de verwarmingsinstallatie van het gebouw gebruiken (Wang, 2016b; Habtie, 2022).



Figuur 125 - Combinatie van verwarmer (links), ventilator (midden) en bouwdroger (rechts) (Ivo Van Dooren, 2025)

In de eenvoudigste, maar minst efficiënte toepassing plaatst men de apparatuur vrijstaand in de ruimte, gericht op de vochtige zone (Fig. 126a). Een meer gerichte, energie- en tijdsefficiënte droging wordt echter bekomen door het creëren van een tijdelijke afgeschermd zone, waarin men een circuit van warme en droge lucht doet ontstaan. Dit beperkt de ventilatorgrootte, verhoogt de effectiviteit en verlaagt het energieverbruik. Dergelijke compartimentering kan gerealiseerd worden met zeilen of tijdelijke omkastingen (Fig. 126b en 126c). Hoewel dit een hogere werklast met zich meebrengt, bevordert het de controle over het droogproces. Bovendien vermindert het risico dat onwetende werfarbeiders de toestellen uitschakelen, bij gebrek aan inzicht in het doel van een ventilator (Clifford, 2025c; Gagnon & Karacabeyli, 2019; Finch, 2024; Laminated Timber Solutions, persoonlijke communicatie, 4 april 2025).



Figuur 126 - Mechansiche luchtstroming om bovenliggend vloerpaneel te drogen (a). Gerichte mechanische droging via zeilen (b). Gerichte mechanische droging aan stootbordverbindingen en dakranden via tijdelijke omkastingen (c). (Clifford, 2025c; Gagnon & Karacabeyli, 2019; Finch, 2024).

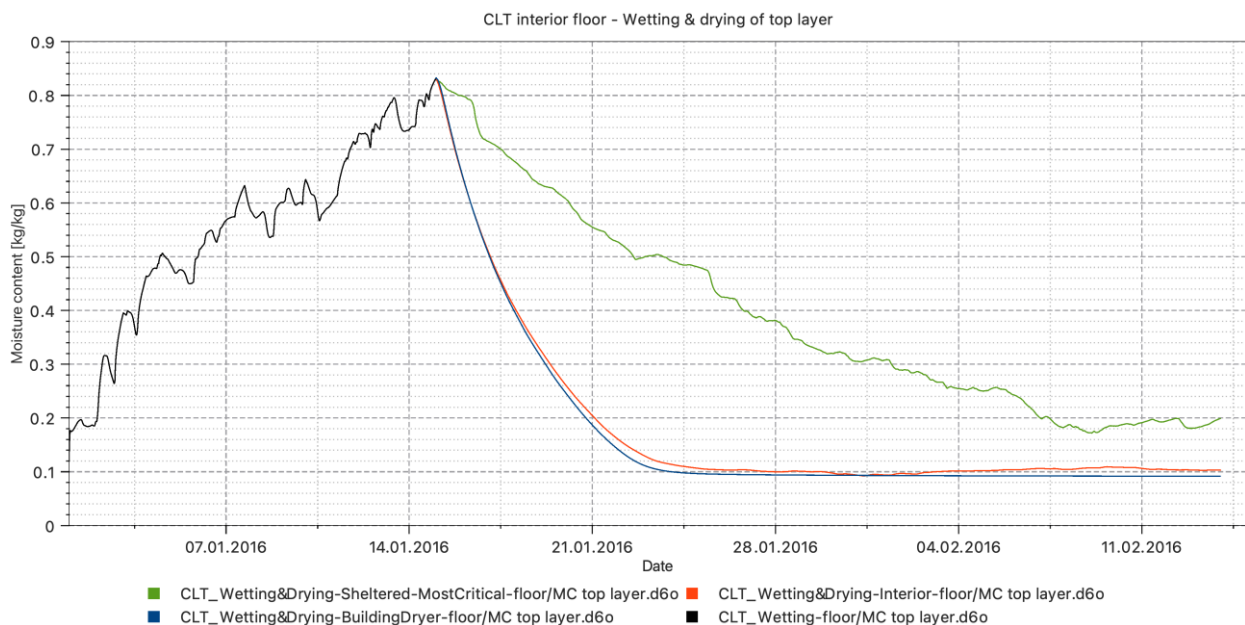
Efficiëntie van mechanische droging

Wanneer mechanische droging correct wordt toegepast, en dus geen scheurvorming en delaminaties veroorzaakt, kan dit een bijzonder efficiënte manier zijn om bevochtigde panelen terug onder het veilige criterium van 19% vochtgehalte te brengen. Dit illustreerde een studie door K. Habtie, waar de droogtijd via simulaties werd ingeschat en werd gelinkt aan de *Time of Wetness* (TOW 25/10) en het VTT Mould model (Habtie, 2022).

Zo simuleerde Habtie een onbeschermd vloerpaneel die een vochtigheid in de bovenste lamella kende van 82%. Vervolgens onderzocht hij de droogtijd van de panelen in verschillende situaties:

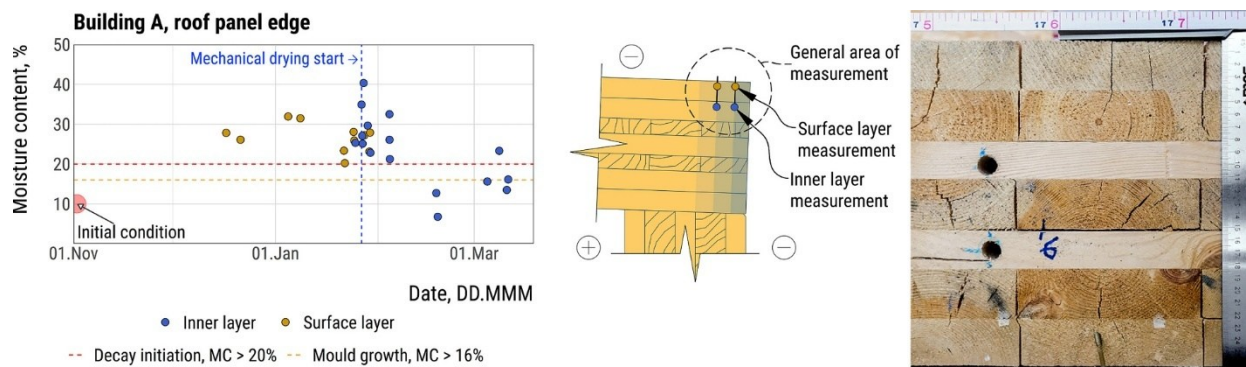
- Situatie 1: Overdekte bescherming, buitentemperatuur en -luchtvochtigheid
- Situatie 2: Binnenklimaat en gebruik van een bouwdroger
- Situatie 3: Natuurlijke droging in een verwarmd binnenklimaat

In situatie 1 had de bovenste lamella ongeveer 3 weken nodig voor een vochtgehalte lager dan 19%. Situatie 2 illustreerde dat dit door een Best-Practice droging tot minder dan een week kon gereduceerd worden. Dit maakt dat de voorzetting van de werken veel sneller kon. Zijn onderzoek toonde echter ook aan dat een bouwdroger-opstelling weinig verschil aantoonde met natuurlijke droging in een verwarmd binnenklimaat. Afhankelijk van de vooruitgang van de werken, kan dit dus ook een strategie zijn (Fig. 127) (Habtie, 2022).



Figuur 127 - Drogingscurve van een sterk bevochtigde bovenste lamella van een vloerpaneel. Men ziet dat de overdekte natuurlijke droging vanaf 15.01.2016 ongeveer 3 weken vereist om > 19% MC (groen), waar dit bij in pandige droging niet meer dan een week vergt (blauw en oranje) (Habtie, 2022)..

Het onderzoek van Habtie draait rond opbouwen en bekijkt geen bouwdetails. Een studie van K. Kalbe en T. Kalamees deed dit wel. Zij bestudeerden de bevochting van en de effecten op een onbeschermd dakpaneel in werffase, waarbij kops hout blootgesteld was aan de buitenomgeving. De dakopstand werd gerealiseerd waardoor er nauwelijks natuurlijke droging mogelijk was. Deze werd voor droging weer ontmanteld en elektrische verwarmers onder een zeil werden in rond deze bouwknoop aangebracht. Figuur 128 illustreert het moment en het effect van deze vorm van mechanische droging, maar ook het effect wat deze verhoogde temperatuur heeft op de scheurvorming van de lamellen (Kalbe et. al, 2022).



Figuur 128 - Gemonitord vochtgehalte bij het kops blootgesteld hout en het effect van mechanische droging op de tweede lamella (blauwe punten). Het gebruik van te hoge temperatuur voor een snelle droging resulteerde echter overmatige scheurvorming in de paneelgrens. (Kalbe et. al, 2022).

Conclusie voor geforceerde droging

De efficiëntie van mechanische droging boven natuurlijke is niet te ontkennen. Toch mag dit geen inherente techniek zijn om vocht uit de panelen te houden. Het vergt energie, inspectie en kan bij licht foutief gebruik zelfs leiden tot schade bij de panelen. Daarom dient men te onthouden dat geforceerde droging nog steeds een noodmaatregel is na bevochtiging van de panelen. De focus bij een vochtbeheersplan dient in de eerste plaats te liggen op 'Protection-by-Design', gecombineerd met een goede monitoring en opvolging. Dit zowel via passieve als actieve bescherming. Uiteraard moet er over kritische zones gereflecteerd worden en een strategie klaarstaan wat men dient te ondernemen bij overschreden vochtcriteria. De gekozen strategie binnen een VBP dient dan ook adaptief te zijn, indien blijkt dat de drogingstrategie (vb. natuurlijke inpandige droging) niet voldoende is.



Mechanische droging van CLT panelen dient steeds een noodmaatregel te zijn binnen een vochtbeheersplan, geen standaardpraktijk.

4.6. Conclusie

De grootste achilleshiel van de CLT-bouw in België ligt bij de vochtblootstelling in werffase (Blommaert et al., 2025). Dit is een dimensie die vaak onderschat wordt, maar net in dit klimaat de levensduur van een nieuwe constructie al kan hypothekeren (Viitanen et al., 2010). CLT-bouw tolereert geen 'trial-and-error' aanpak, wat andere constructiemethoden meer accepteren. Daarom is het van belang te streven naar een bescherming in bouwphase, waar voor aanvang duidelijk is hoe men bevochtiging bij de panelen zal beperken tijdens bouwphase en wat te doen wanneer de bevochtiging toch overmaats blijkt (Olsson, 2021).

Dit hoofdstuk beschreef vele aspecten die de vochtblootstelling beïnvloeden vanaf het moment dat de panelen de leverancier verlaten, tot en met het einde van de bouwphase. Het beschreef een Best-Practice bescherming, monitoring en drogingmethodiek. Over al deze aspecten dient idealiter een uitspraak te zijn in een projectspecifiek en adaptief VBP. Bescherming doorheen de bouwphase vormt, naast de ontwerpmatige bescherming, de andere zijde van de medaille tot een vochtresistent Belgisch CLT-project in België.



DEEL 5

CONCLUSIE VOOR HET VOCHTBEHEERSPLAN

5.1.	Kerngedachte VBP	164
5.2.	Aanbevolen VBP-inhoud	165

5.1. Kerngedachte VBP

Noodzaak en doelstelling van een VBP

Het gematigde en neerslagrijke Belgische klimaat vereist een verhoogde waakzaamheid omtrent vochtbeheer, in vergelijking met drogere of meer seizoensgebonden klimaatzones waar vochtproblematieken minder manifest zijn. In dergelijke contexten kan een soepelere omgang met vochtbescherming volstaan, maar voor CLT-projecten in België is een structurele aanpak essentieel.

Daarnaast ontbreekt bij een groot deel van de Belgische bouwactoren diepgaande expertise in vochtbeheersing bij houtmassiefbouw. Hoewel er binnen de Benelux enkele toonaangevende ontwerpers en aannemers actief zijn met doorgedreven ervaring en een onderbouwde werkethiek op dit vlak, betreedt een groeiend aantal nieuwe spelers de markt zonder deze opgebouwde kennis. Dit is het gevolg van de stijgende populariteit van CLT-constructies, waarbij de instroom van minder ervaren partijen toeneemt.

Een VBP biedt een kader om vochtgerelateerde risico's vanaf de ontwerpfase expliciet te benoemen en beheersmaatregelen planmatig vast te leggen. Het fungeert als instrument om kennisoverdracht te faciliteren, verantwoordelijkheden af te bakenen en de samenhang tussen ontwerpkeuzes en uitvoeringspraktijken te versterken.

Timing en actoren in de opmaak

De opmaak van een VBP start idealiter, zoals beschreven in deel 3.1.3., reeds in de vroege ontwerpfase. In eerste instantie is het een werkdocument dat de ontwerpintenties op vlak van vochtbeheer reflecteert. In deze fase ligt de verantwoordelijkheid voornamelijk bij het ontwerpteam, waarbij globale strategieën rond detaillering, opbouwkeuzes en oriëntatie met het oog op vochtbescherming worden vastgelegd.

Naarmate het project evolueert naar een aanbestedingsdossier (DO-fase), wordt het VBP verfijnd met input van bijkomende actoren, waaronder aannemers, uitvoerders en – bij voorkeur – ook producenten of montagepartners van CLT-elementen. Een vroege betrokkenheid is bijzonder waardevol om de uitvoerbaarheid van de bedachte maatregelen te evalueren en af te stemmen op de praktische realiteit van het project.

De complexiteit en schaal van het project bepalen de omvang van het VBP. Voor kleinere residentiële projecten kan een beknopt document volstaan, terwijl grotere of complexe projecten nood hebben aan een uitgebreide bundel met gefaseerde beheersmaatregelen en rollenverdeling.

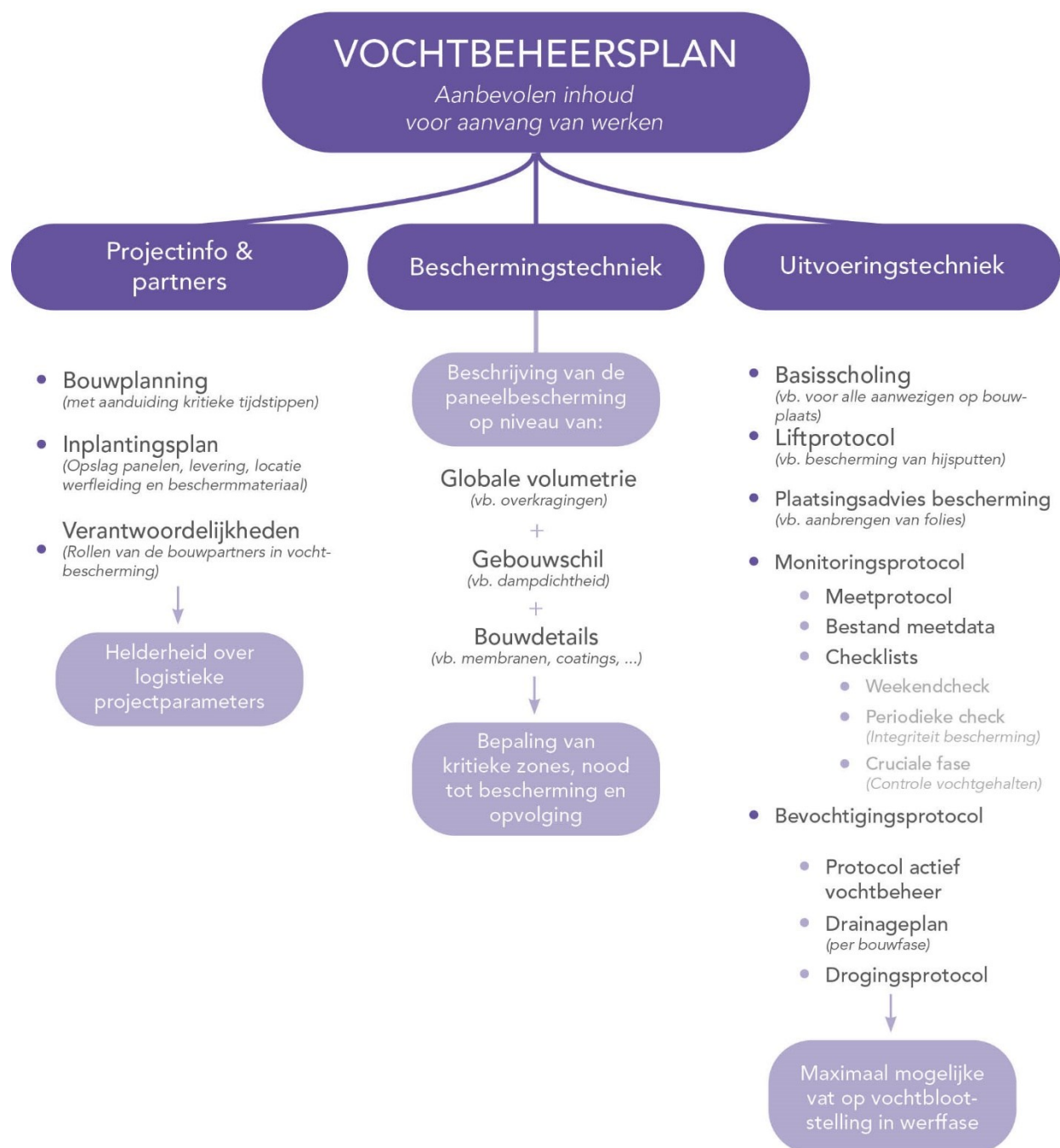
Het VBP als startvoorwaarde voor uitvoering

De Britse Structural Timber Association hanteert een duidelijke richtlijn: een volledig uitgewerkt VBP dient als startvoorwaarde op de uitvoeringsfase. Dit betekent dat alle relevante aspecten inzake vochtbescherming in de bouwfase idealiter op voorhand geëvalueerd en vastgelegd moeten zijn. CLT-constructies vereisen in dit opzicht een veel nauwgezetere aanpak dan conventionele bouwsystemen met steen, beton of staal. De beperkte tolerantie voor vochtindringing maakt namelijk dat improvisatie op de werf nagenoeg uitgesloten is (Structural Timber Association, 2022).

Kortom: een VBP mag geen vrijblijvende bijlage zijn, maar vormt best een structureel onderdeel van het voorbereidend bouwproces. Het resterende deel van dit hoofdstuk zal de aanbevolen inhoudelijke vereisten van een VBP verder uitwerken.

5.2. Aanbevolen VBP-inhoud

Figuur 129 illustreert hoe een gedetailleerd VBP bestaat globaal uit drie luiken: Project en partners, ontwerpmatige bescherming en uitvoeringstechnische bescherming. Elk luik bestaat uit een reeks onderwerpen waar een uitspraak dient op gemaakt te worden, idealiter in geschreven formaat. Dit laat toe alle partners na te lezen hoe de vochtthuishouding zowel ontwerpmatig als uitvoeringstechnisch in elkaar zit en wie welke rollen hierin draagt:



Figuur 129 – Aanbevolen, indicatieve, inhoud van een vochtbeheersplan.

5.2.1. Luik 1 - Projectinfo & partners

Bouwplanning

Voor de aanvang van werken wordt in een VBP idealiter een werfplanning gevoegd. Hierop staan cruciale momenten aangeduid wat betreft de vochtbeheersing, zoals bijvoorbeeld het moment dat een dakdichting geplaatst zal worden. Kort voor die momenten wordt dan best een vochtmeting voorgeschreven. C. Tengberg adviseert hierin een dubbele werfplanning: enerzijds een ideale geoptimaliseerde werfplanning en een alternatieve planning, waarbij marges zijn ingebouwd voor het geval vertragingen in een bepaalde fase zich voordoen (Tengberg & Bolmsvik, 2021).

Inplantingsplan

Een site-plan is een meerwaarde in een VBP, maar geen absolute must. Hierop kan aangeduid worden waar panelen zullen gestockeerd worden, waar de verantwoordelijken voor de vochtbeheersing te vinden zijn en waar systematisch beschermingsmaterialen te vinden zijn in geval van beschadiging.

Verantwoordelijkheden

Het belangrijkste deel van dit luik in een VBP is het vooraf bespreken van de rollen voor verschillende bouwpartners. Dit zal in de verloop van het project betwistingen duidelijker uitklaren. Uit een gesprek met Laminated Timber Solutions blijkt dit één van de drie meest wederkerende oorzaken bij vochtproblematieken. Iedere bouwpartner dient eenduidig te weten wat zijn/haar taak is op het vlak van vochthuishouding op de bouwplaats, en dit voor aanvang van de werken.

5.2.2. Luik 2 – Beschermingstechniek

Het tweede luik omvat een systematische ontwerpmatige analyse van de volledige constructie. Per bouwdeel en -detail wordt het risico op bevochtiging geëvalueerd, zowel in de verschillende bouwfasen als in gebruiksfase. Daarbij wordt ook nagedacht over mogelijke herstellende maatregelen bij vochtintrasie.

Een centrale vuistregel is dat op elk punt van de constructie een antwoord geformuleerd moet worden op de brede vraag "Wat als?": Wat als het regent tijdens de montage? Wat als er toch vocht doorsijpelt? En wat gebeurt er als een paneel nat is? Deze oefening legt kritieke zones bloot en vormt de basis voor gerichte beschermings- en opvolgingsstrategieën.

Hoe doordachter de bescherming vooraf is uitgewerkt, hoe beperkter de nood aan ingrepen tijdens uitvoering. Er zullen echter in ieder ontwerp steeds risicozones zijn. Het is dan cruciaal hiervoor net een goede opvolging beschreven te hebben. De analyse resulteert idealiter in een geschreven detailbundel van risicozones, die vervolgens beantwoord worden met passende maatregelen voor bescherming, monitoring en herstel. Dit is de kern van het VBP. Hierbij is het belangrijk, gezien het Belgische klimaat, de werffasen niet te onderschatten. Het vergeten van de tijdsdimensie aan een opbouw in de werffase is namelijk een andere van de drie meest voorkomende oorzaken voor vochtproblematieken bij CLT-bouw (LTS, persoonlijke communicatie, april 2025).

5.2.3. Luik 3 - Uitvoeringstechniek

Basisscholingsdocument

Een efficiëntiewinst tijdens werffase zal zich voordoen wanneer iedere aanwezige zich bewust is van de risico's van bevochtiging bij CLT. Indirect zal dit resulteren in een hogere voorzichtigheid. Daarom kan men een document opstellen waarin een zekere basisscholing voorzien is, zoals beschreven in deel 4.1.2.

Liftprotocol

Er dient een goede afweging gemaakt te worden van het hijssysteem, beschreven in deel 4.3. De keuze hierin zal bepalend zijn voor eventuele na-bescherming met een membraan over hijspuitten. Bovendien wordt ook hier best beschreven hoe panelen worden beschermd wanneer deze kortstondig worden gestockeerd alvorens te monteren, zoals beschreven in deel 4.2.1 en figuur 101.

Plaatsingsadvies bescherming

Hierin voegt men best de technische documentatie van de gebruikte beschermingsmaterialen. Deze zullen voorschriften geven zoals bijvoorbeeld de nodige overlapafstand. Algemeen dient wel benadrukt te worden dat het niet mogelijk is correct beschermingsmembranen aan te brengen op panelen met een hoger vochtgehalte dan 20%.

Monitoringsprotocol

Meetprotocol

Een meetprotocol staat beschreven onder deel 4.4.2.2. en beschrijft een alternatief aan de Europese norm vanuit literatuuronderzoek, specifiek voor CLT. In dit protocol is het belangrijk de verschillende meetlocaties aan te duiden (op plan en doorsnede), samen met de frequentie en de gewenste meetdiepte.

Bestand meetdata

Er is een groot verschil tussen solide gefundeerde meetdata en willekeurige meetinfo. Het is daarom belangrijk dit in een vast raamwerk te gieten, zoals de template beschreven in deel 4.4.2.2. Dit faciliteert het trekken van waardevolle conclusies rond vochtmonitoring.

Checklists

Weekendcheck

Dit is een lijst die men dient af te vinken vooraleer een verantwoordelijke partij de werf voor een weekend of verlofperiode verlaat, maar trekt zich evengoed door naar klassieke werkdagen waar een hevige nachtelijke regenval voorspeld is. Hier controleert men bij voorkeur integriteit van beschermingen, de aansluitingen van drainagepijpen en het afdekken van doorvoeren, schrijnwerkopeningen waar mogelijk en schachten.

Periodieke integriteitscheck

Dit soort controle loopt samen vaak samen met de periodieke vochtmetingen voor bepaalde kritische zones. Hier controleert men op doorboringen van membranen en tapes, een goede hechting, overlap... Verder oordeelt men hier ook over de performantie van bepaalde beschermingen en past deze adaptief aan in functie van de werkelijke vochtbelasting.

Checklist cruciale fasen

In lijn met de werfplanning zullen zich momenten voordoen waarna het lastiger wordt om de staat van de panelen te monitoren. Denk bijvoorbeeld aan het plaatsen van een dampscherm

bij een plat dak. Hier is het belangrijk enkele checks en metingen uit te voeren alvorens de werken verder aan te vatten. Als vochtgehaltes dan te hoog zijn, of beschermingen niet goed uitgevoerd, kan men dit nog retroactief bijstellen.

Bevochtigingsprotocol

Protocol actief vochtbeheer

Hiervoor kan men de inzichten, beschreven in deel 4.2.2. gebruiken waar verschillende opties voor actieve vochtthuishouding beschreven staan.

Drainageplan

Plan met aanduiding van risicozones voor waterstagnatie, de locatie van drainagepunten en de richting waarnaar het water zal afgestuurd worden. Hier dient ook een aanduiding te zijn of het water uit zichzelf naar het tappunt zal stromen wanneer het paneel in helling staat of er actief vochtbeheer nodig is.

Het is cruciaal om dit plan mee te laten evolueren met de bouwfasen. Het afstroomgedrag kan namelijk sterk veranderen door bijvoorbeeld uitvullagen.

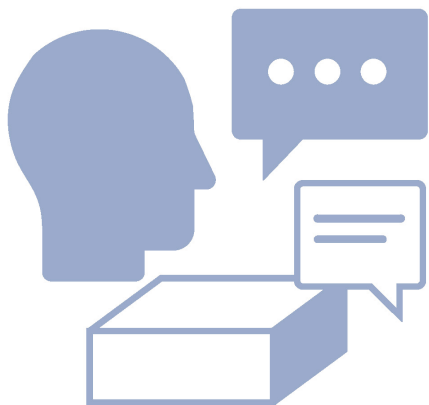
Drogingsprotocol

Hierin volgt een uitspraak over de manier van droging na bevochtiging, hetzij natuurlijk (4.5.2.) of mechanisch (4.5.3.). De keuze zal afhangen van het risico op *moisture traps* en schade.

5.2.4. Conclusie

De opgesomde elementen vormen een indicatief kader voor de inhoud van een gedetailleerd VBP, aan te vullen met projectspecifieke documenten, protocollen of checklists. Hoe vollediger dit plan is uitgewerkt vóór de start van de bouwfase, hoe vlotter het uitvoeringsproces zal verlopen, zonder bouwtechnische en communicatieve problemen.

Een robuust VBP vertrekt in se vanuit het vooraf doordenken van zoveel mogelijk scenario's via de centrale vraag "Wat als?". Tegelijk is het een dynamisch en adaptief document dat evolueert met nieuwe inzichten tijdens zoals ontwerp- als uitvoeringsfase. Zo kunnen beschermingsmaatregelen worden bijgestuurd of de meetintensiteit verhoogd waar nodig.



DEEL 6

PRAKTIJKINZICHTEN

6.1.	Introductie	170
6.2.	Design Museum Gent (DING)	170
6.3.	Gesprekken met professionals	189

6.1. Introductie

De inzichten uit bovenstaande delen zijn gebaseerd op een breed literatuuronderzoek uit verschillende types bronnen. Het bredere doel van deze scriptie is het communiceren aan Belgische bouwprofessionals van handvaten, tools en inzichten om de risico's van bouwen met CLT in België tot een minimum te reduceren. Daarom worden in dit hoofdstuk deze onderzoeksinzichten geprojecteerd op de huidige Belgische houtbouwcultuur, met als doel te evalueren hoe eenvoudig deze inzichten inzetbaar kunnen zijn in de brede Belgische bouwcultuur.

Dit werd benaderd via twee complementaire methoden: enerzijds via een doorgedreven werfopvolging van een grootschalig CLT-project, anderzijds via gesprekken met ervaren bouwprofessionals. Hun praktijkgerichte reflecties vormden een waardevolle aanvulling op de voorheen beschreven theoretische aanbevelingen.

6.2. Design Museum Gent (DING)

6.2.1. Projectgegevens

Het project DING (*Design in Gent*) vormt een ambitieuze uitbreiding van het Design Museum Gent, gericht op het versterken van de rol van design binnen de stad. DING wordt gerealiseerd als een hedendaags gebouw dat nieuwe functies introduceert, waaronder tentoonstellingsruimtes, een auditorium, educatieve ateliers en een designshop, maar ook de link lengt naar het dense Gentse stadsweefsel waarin het gelegen is.

Architecturaal beoogt het project een samenspel tussen circulariteit en duurzaamheid. Dit doet men enerzijds door een eigen gefabriceerde gevelsteen, gevormd vanuit Vlaamse afvalstromen. Anderzijds streeft men met dit project een pionniersrol na op vlak van houtmassiefbouw in België (Laporte, 2023).

Het DING is een bijzonder interessante case in het licht van CLT-bouw, zowel op vlak van ontwerp- als uitvoeringsproces. Niet enkel vanwege zijn ligging gelegen in de Gentse binnenstad, wat logistiek uitdagingen met zich meebrengt, maar ook vanwege het samenspel van verschillende actoren en het verloop van het bouwproces. Hoofdstuk 6.2. zal (contra)gewicht bieden aan de theoretische uiteenzetting van voorgaande delen, door een case-study van dit project.



Figuur 130 - Renderbeeld van het afgewerkte DING (Atama, 2023)

Projectgegevens

- *Locatie:* Drabstraat 2, 9000 Gent
- *Gebouwhoogte:* Ongeveer 25m, 6 verdiepingen
- *Vloeroppervlakte:* +- 170-390m²/verdiep
- *Opdrachtgever:* Design Museum Gent, Sogent
- *Hoofdaannemer:* Artes Depret - Woudenberg
- *Architect:* TRANS Architectuur | Stedenbouw, Atama Architecten
- *Ingenieur stabiliteit:* NEY & Partners
- *Montage CLT-panels:* Laminated Timber Solutions
- *Kostprijs:* €11.98 miljoen euro
- *Bouwperiode CLT:* 28 weken (incl. 4 weken stilstand)

6.2.2. Opvolging en methodiek

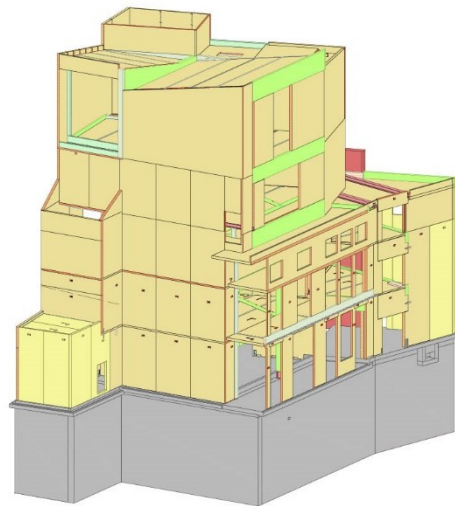
In het kader van deze scriptie werd de bouwplaats op regelmatige basis bezocht. Dit gebeurde in de periode tussen 14/02/2025 en 25/04/2025 (einde ruwbouwfase), waarin een tiental bezoeken plaatsvonden. Telkens wanneer in deze periode zich een hevige regenbui of cruciale fase in het bouwproces had plaatsgenomen werd er verslag genomen. De periode werd overigens gekenmerkt door een bijzonder droog voorjaar.

De studiemethodiek van deze casus rustte voornamelijk op gespreken met de twee belangrijkste actoren voor dit bouwproces, zijnde Artes Depret (hoofdaannemer) en Laminated Timber Solutions (LTS, montage CLT). Dit liet toe verschillende perspectieven op het project af te toetsen. De methodiek is aangevuld met geleide en zelfstandige rondgang doorheen het project, waarbij een beeldbank werd aangelegd. Verder was er aanwezigheid op de site bij het nemen van vochtmetingen door een extern aangeduide vochtexpert (P. Courtoy) en werden de projectgegevens en aansluitingsdetails zelfstandig overlezen. Om de structuur van deze scriptie te ondersteunen, hanteert de beschrijving van deze case dezelfde structuur als vorige hoofdstukken.

6.2.3. Protection-By-Design

6.2.3.1. Ontwerpproces, ervaring en verantwoordelijkheden

De bouwphase van het DING-project ging van start in 2023. Aangezien het ontwerpproces reeds enige tijd daarvoor plaatsvond, ligt de focus van dit praktijkhoofdstuk hoofdzakelijk op de uitvoeringsfase. Toch laten zowel de ontwerpdocumenten als de werfopvolging vermoeden dat het project gedragen werd door een breed gecoördineerd bouwteam. Opvallend was het gebruik van een eenzelfde gedetailleerd 3D-model door de werfleiding en CLT-montageploeg, gedetailleerd tot en met de bevestigingsmiddelen (figuur 131). Dit suggereert een voorafgaand geïntegreerd ontwerpproces, al kon dit binnen deze scriptie niet verder worden onderzocht.



Figuur 131 - Paneelmodel van het DING (LTS, 2025).

De betrokkenheid van verschillende partijen met uiteenlopende ervaring in CLT-bouw, gaf aanleiding tot interessante dynamieken. Zo beschikte het stabiliteitsbureau Ney & Partners WOW, maar vooral de montagefirma LTS, over vergaande expertise in houtmassiefbouw. Voor hoofdaannemer Artes Depret betrof het één van de eerste projecten waarin CLT op grote schaal werd toegepast. In lijn met de traditionele Belgische rolverdeling lag de coördinatie, inclusief deze van de vochthuishouding, bij hen als hoofdaannemer. In dit geval is het dus belangrijk dat deze partij zich, waar nodig, laat adviseren door partijen met meer ervaring. In dit project werd hiervoor deels teruggevallen op de montagefirma, die vanuit vakkennis waardevolle ondersteuning bood.

De praktijk toonde echter dat een helder VBP, met expliciete taakafbakening, ontbrak. Hierdoor ontstond onduidelijkheid over verantwoordelijkheden bij onder meer de bescherming van kopse paneelranden. De standaardpraktijk van LTS voorziet standaard dergelijke bescherming, maar deze bleek niet in de offerte opgenomen. Budgettaire afwegingen aan hoofdaannemerszijde leidden ertoe dat de bescherming hiervan achterwege diende te blijven, wat in enkele gevallen aanleiding gaf tot schade en discussie omtrent aansprakelijkheid. Deze situatie onderstreept het belang van het VBP als communicatief en coördinerend instrument dat dergelijke discussies in de toekomst kan vermijden.

Ook op het vlak van tijdelijke bescherming toonde de praktijk de nood aan duidelijke rolafspraken. Als zuivere montagepartij nam LTS dit standaard niet op in hun pakket, waardoor deze taak impliciet bij de hoofdaannemer terechtkwam. In dit project werd bescherming vaak samen opgevolgd vanuit een gedeelde verantwoordelijkheid, wat getuigt van betrokkenheid en vakethiek. Tegelijkertijd toont dit aan dat het toewijzen van een specifieke verantwoordelijke partij voor de controle van tijdelijke beschermingsmaatregelen in een VBP een zinvolle aanvulling zou zijn in toekomstige projecten.

Integreer verantwoordelijkheden over vochthuishouding in werffase mee in het VBP.



6.2.3.2. Vochtresistentie van het ontwerp

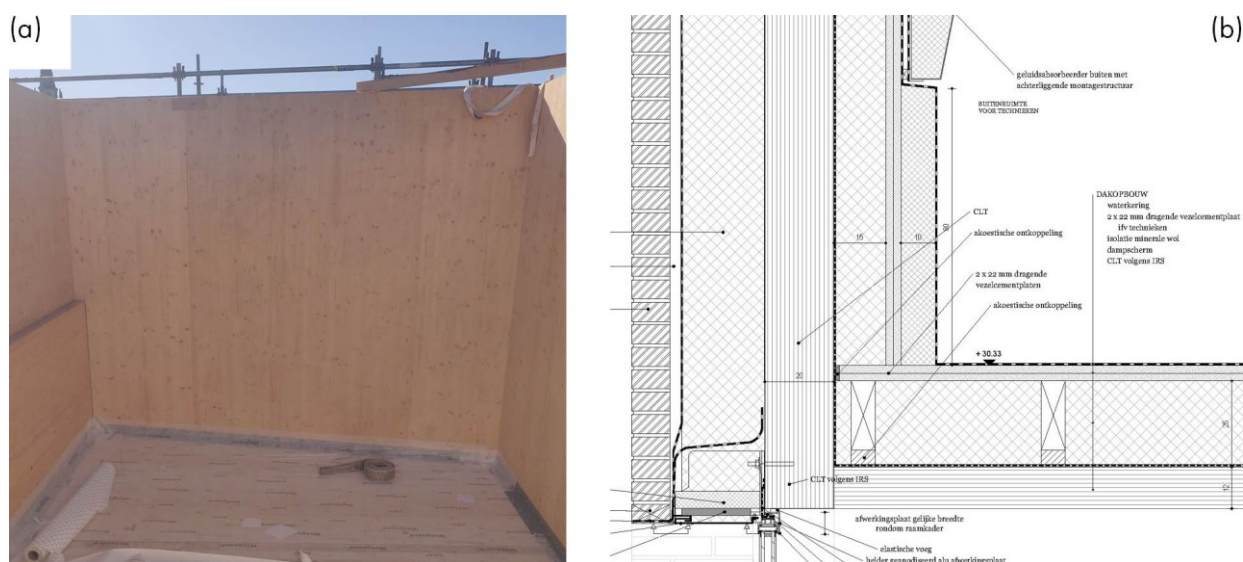
Over het algemeen zit het ontwerp naar vochtuishouding goed in elkaar. Dit bevestigt dat de architect en de studiedienst goed nagedacht hebben ten einde een maximaal vochtresistente gebouwschil te ontwerpen. Ten eerste is gekozen voor een dampopen wandopbouw met geventileerde gevelafwerking. Een tweede goede overweging is de keuze voor een droge vloeropbouw. Dit vormt een leidingenreservoir voor de museumruimtes via vizeldragers, maar liet tegelijkertijd bouwvocht van chape-werken achterwege. Ten derde is het interessant te zien dat waar mogelijk gebruik werd gemaakt van een ballon-frame montage. Dit volgt uiteraard uit het structureel ontwerp, maar stelt ook mogelijk - bijvoorbeeld in het geval van schachten en liftkokers - de hoeveelheid kops blootgesteld hout en horizontale bouwnaden te minimaliseren. Het is knap te zien dat architecturale beslissingen een inherente bescherming vormen tegen vochtindringing op de meest kritieke plaatsen zoals het dak. Hier werd de vochtblootstelling van een plat dak bijvoorbeeld sterk gereduceerd door een licht hellend dak met geïncorporeerde helling bij de panelen zelf (Fig. 131).

Desalniettemin zijn er zones binnen het ontwerp die een verhoogd risico op vochtaccumulatie en bijhorende schade vertonen. Een eerste aandachtspunt betreft het gebruik van CLT-panelen in zichtkwaliteit binnen de museumzones, waar het hout architecturaal wordt ingezet. Hoewel de beslissing om hout in de kijker te willen zetten begrijpelijk is, brengt ze verschillende bouw fysieke en uitvoeringstechnische uitdagingen met zich mee. Vanuit praktijkervaring benadrukt LTS vrij strikt dat zichtkwaliteit voor het Belgische klimaat een fabeltje is. Kleurverschillen door UV-belasting, uitloging van metaaloxiden of coatings, en lichte blauwschimmelvorming zijn veelvoorkomende fenomenen die het oppervlak visueel kunnen aantasten. Daarnaast blijven ook infrezingen voor verbindingen zichtbaar (zoals de Idefix-verbinding bij Fig. 132), net als krimp scheuren tussen afzonderlijke lamellen. Deze laatste kunnen zich bovendien versterken wanneer men de temperatuur of relatieve vochtigheid in de afwerkingsfase te abrupt verandert. Dit vormt een aandachtspunt ook nadat alle montage van de panelen voltooid is en deze ploeg niet meer aanwezig (LTS, persoonlijke communicatie, 4 april 2025).



Figuur 132 - Zichtkwaliteit CLT-wand aan het trappenhuis. Hierbij is de afdakap van de Idefix-verbinding sterk zichtbaar, die overigens veel groter uitgefreesd is dan nodig. Men ziet ook het kleurverschil tussen de twee panelen, waarbij het onderste paneel ook wat blauwschimmel vertoont. Dit kan eenvoudig afgeschuurd worden, om geen egaal afgewerkte wand te bereiken. Dit laatste kost heeft echter grote tijds- en financiële gevolgen.

Een tweede, meer uitgesproken risicozone ligt bij de technische zone op het dak. Er is een zone voorzien waar de technische installaties van het DING op het dak zullen geplaatst worden. Dit betekent dat de dakvloer in die zone horizontaal zal liggen. Bovendien wordt, om de visuele impact te minimaliseren, deze zone ingepakt door vier hoge wandpanelen. Onbewust heeft men hier een badkuip gevormd die bijzonder veel vocht kan samenhouden bij hoge regenval (figuur 133a). Dit soort zones vergt een grote precisie in bescherming en monitoring om te garanderen dat geen vochtophoping in de bouwnaden van de opstaande wanden zal stagneren. Opnieuw is dit een architecturale beslissing die een hoog risico teweegbrengt. Ontwerpmatig is gekozen het vloerpaneel te bevestigen aan het wandpaneel, wat een verticale bouwnaad maakt in plaats van een horizontale (figuur 133b). Dit is iets voordeliger wat betreft uitdroging na bevochtiging. Het risico op bevochtiging in de bouwnaad wordt daarom echter niet kleiner, waardoor een nauwkeurige en specifieke uitspraak wat betreft beschermingsmethodiek en monitoring in het VBP nodig is. Gezien er toch met een uitvulling via een houten structuur en tussenliggende isolatie wordt gewerkt had men het vloerpaneel ook in helling kunnen leggen, wat het mogelijke neerslag wederom naar één punt kon sturen, vanwaar het makkelijker kon draineren.

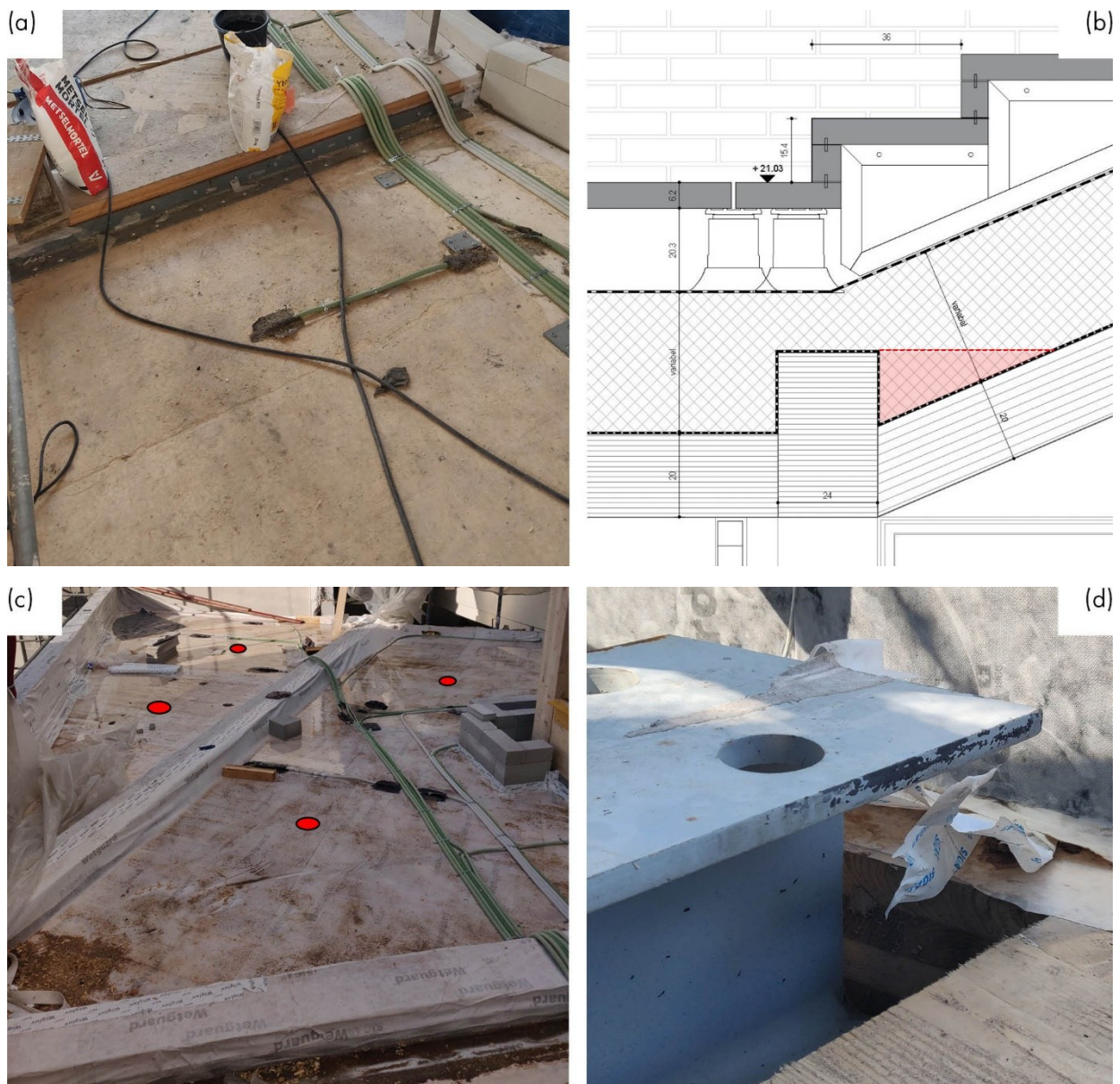


Figuur 133 - Technische buitenruimte (a) waar makkelijk water zich kan ophopen. Uitgetekend bouwdetail met twee lagen van defensie tegen vocht, zijnde een dampscherm + SIGA Wetguard op het paneel zelf, aangevuld met een afdichtingsmembraan (b) (Artes Depret, 2022)

Vanaf het vierde verdiep krimpt de footprint van het gebouw, waardoor een stuk dakterras zal gevormd worden (Fig. 131). Dit gehele dakvlak stelt een hoog risico op vochtaccumulatie. Figuur 134a illustreert hoe een glijvlak gevormd wordt. Neerslag kan en zal hier botsen tegen een LVL-balk. Dit is een ander soort EWP, wat gekend staat om zijn grote vochtopname en bijhorende zwelling. Ondanks dat het ontwerp hiermee rekening houdt door het overplooiën van een dampscherm, bleek dit nog niet het geval te zijn in werffase. Vocht kon daardoor in werffase ongestoord opgenomen worden door zowel de LVL-balk als het CLT-paneel door vochtintrusie in de bouwnaad, waarna het niet kon drogen. Men had dit kunnen vermijden door het gebruik van een hangende LVL-balk in de onderliggende binnenruimte, of door een (tijdelijke) opvulling te maken bij het glijvlak, beschermd met een membraan. Dit is aangeduid met de rode lijnen bij figuur 134b met de rode aantekeningen.

Dezelfde ontwerpmatige problematiek kan doorgetrokken worden over het gele dakvlak. Figuur 134c toont hoe meerdere kleine zwembaden gevormd worden door structurele balken die ingelegd zijn in het de dakpanelen. Deze zones zijn weliswaar ingepakt met een SIGA

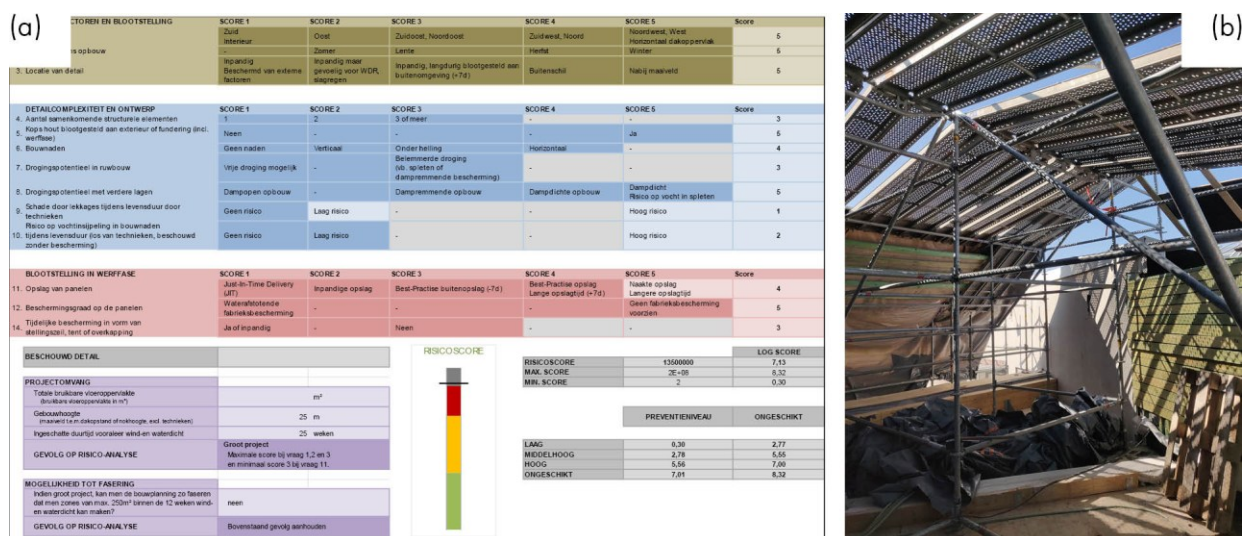
Wetguard. Dit membraan is echter niet volledig bestand tegen langdurig stagnerend water. Bovendien kan men bijzonder veel doorvoeringen zien, wat telkens kleine perforaties zijn in dit beschermingsmembraan. Stagnerend vocht kan zo bijzonder eenvoudig onder het membraan en vervolgens in het hout trekken. Bovendien liggen sommige balken ingewerkt in de panelen waardoor kops hout blootgesteld geraakt (figuur 134d). Dit zal zorgen voor een sterk versnelde vochtopname bij de dakpanelen. Vochtaccumulatie in dit soort panelen leidt hoe dan ook tot vertragingen op werffase, gezien deze met zekerheid voldoende droog dienen te zijn, vooraleer een dampscherm gemonteerd wordt. Dit soort ontwerpmatige zwembadvorming leidt tot een bijzonder lastige uitvoering en veel zorgen wat betreft monitoring en actief watermanagement en kon zeker beter geconcipeerd worden. Hoogstwaarschijnlijk zijn er solide redenen waarom deze structurele elementen op de dakvloer liggen in plaats van er onder, maar daarmee aanleiding geven tot zwembadvorming. Een remedie in werffase kon zijn om bij elk van deze baden een drainagepunt te steken, zodanig dat actief management op zijn minst mogelijk is.



Figuur 134 - Vochtproblematiek aan het platte dak op de derde verdieping: neerslag zal aflopen en nabij de aansluiting tussen het CLT-paneel en de onbeschermd LVL-balk insijpelen (a). Ondanks dat dit in het ontwerpdetail beschermd leek, is hier geen rekening gehouden met de tijdelijke bescherming. Men had de

gevoeligheid van de bouwnaad kunnen wegwerken met een tijdelijke structuur in werffase (b). Lichte neerslag leidt reeds tot pooling van water in deze zones. Een drainagepunt per bad is hiertoe een remedie maar geen oplossing (c). Door de vele doorvoeringen en imperfecties zal dit stagnerend water makkelijk tot onder de bescherming trekken, waarna het zones met blootgesteld kops hout zal vinden (d).

De problematiek, uitmondend uit het ontwerp, die zich voordoet bij dit dakvlak kan men volgens Laminated Timber Solutions doortrekken als rode draad doorheen het ontwerp. LTS beschreef hoe bij het ontwerp met veel principes inderdaad rekening was gehouden. Er is echter geen rekening gehouden met wat onder deel 3.2.3. benoemd was met de 4D-strategie. Het ontwerp heeft geen uitgeschreven plan of verhoogde aandacht rond vochtblootstelling tijdens verschillende werffasen en het samenspel tussen actieve en passieve maatregelen daarin. Naast het driedimensionaal ontwerp van de schil en bouwdetails, wat goed lijkt te zitten, is er weinig tot niet nagedacht over de vierde dimensie, zijnde de tijdsdimensie. Een goed uitgeschreven VBP houdt bij dit soort details even halt en reflecteert over hoe men dit tijdelijk kan gaan beschermen. Deze situatie heeft ertoe geleid dat noodmaatregelen in de vorm van een tijdelijke bouwtent en mechanische droging nodig waren, alvorens verder te kunnen werken. Had men de beschreven ontwerptool gebruikt, kon men voor deze situatie merken dat de categorie 'ongeschikt' bekomen werd (risico-score van 7.43; figuur 135a), waarna de nood voor een ander bouwsysteem of externe bouwtent geadviseerd werd. Dit laatste is uiteindelijk als noodmaatregel ingezet, in combinatie met geforceerde droging (figuur 135b). Had men dit van in het begin uitgevoerd, had mechanische droging niet nodig geweest en was er hoogstwaarschijnlijk ook geen sprake van vertraging.



Figuur 135 - Berekende risico-score voor het horizontale dakterras (a). De nood voor een externe bouwtent aan de hand van stellingen bleek nodig na herhaaldelijke bevochtiging van de panelen. Dit werd gerealiseerd door een stelling met zeilen over gespannen. Er werd ook mechanisch geventileerd onder deze zeilen (b).

Het is uiteraard onvermijdelijk om alle risicozones ontwerpmatig te elimineren. Net daarom is het van groot belang om in een uitgeschreven, bediscussieerd en overeengekomen VBP te beschrijven welke zones verhoogde aandacht vereisen en hoe deze beschermd en opgevolgd zullen worden. Daarbovenop is het van belang voor de aanvang van de bouwfase een aantal scenario's uit te denken bij deze details wat dient te gebeuren bij overmatige vochtblootstelling.

6.2.4. Bescherming doorheen de bouwfase

Dit hoofdstuk illustreert het praktisch verloop van de thema's besproken in deel 4. Daarom zal ook doorheen dit deelhoofdstuk dezelfde structuur aangehouden worden; van werfvoorbereiding tot en met maatregelen in het geval van bevochtiging.

Over het algemeen wees de hoofdaannemer bij het eerste bezoek op drie globale oorzaken die geleid hebben tot overmatige vochtaccumulatie op sommige locaties:

1. Timing:

Vanuit het ontwerp heeft men te hard gerekend op het snelle montageproces waar CLT-bouw voor gekend staat. De werfplanning was in sommige gevallen misschien te optimistisch opgesteld, veronderstellende dat alles goed zou verlopen.

2. Gebrek aan kennis en communicatie:

Meer bepaald over de (tijdelijke) vochthuishouding van de panelen doorheen verschillende bouwfasen. Zoals hierboven vermeld werd er ontwerpmatig weinig aandacht besteedt aan de bescherming in werffase. Hierdoor werd voornamelijk gewerkt met ad-hocmaatregelen, in combinatie met gebrekkige afstemming tussen partijen over de taakverdeling inzake vochtbeheer. Deze leemte in coördinatie leidde tot vertragingen, wat het spanningsveld rond timing verder versterkte.

3. Overschatten performantie van bepaalde beschermingsmethodieken:

Alle horizontale elementen waren fabrieksmatig voorzien van de SIGA Wetguard. Deze voorziet een zelfklevende weersbescherming, is licht ademend (μ d 3.5m), zonder een glad oppervlak te vormen. Anderzijds geraakt deze bijzonder snel beschadigd en biedt naar verluid ook geen wekenlange bescherming tegen stagnerend water. De combinatie van deze twee aspecten zorgde in situaties zoals in figuur 134 toch voor vochtintruusie op verschillende plekken.

Uit een gesprek met Laminated Timber Solutions blijkt dat dit herkenbare en wederkerende patronen zijn bij vele projecten. DING is hier geen uitzondering op de regel in de Belgische bouwcontext. Zo haalde LTS bijvoorbeeld een gelijkaardig project aan in Sint-Jans-Molenbeek, waarbij ook elk van deze drie oorzaken effectief resulteerden in structurele lignivore schimmelaantasting (Fig. 136) (Desmijter, N. , persoonlijke communicatie, 12 maart 2025).



Figuur 136- Vergevevorderde schimmelaantasting na enkele maanden door het gebrek aan beschermingsmaatregelen bij een project in Sint-Jans-Molenbeek. Men merkt aan een dakdoorvoer een meer bruinachtige verkleuring, wat het begin is van een aanval van lignivore schimmels die de houtstructuur veranderen.

6.2.4.1. Transport en leveringen van panelen

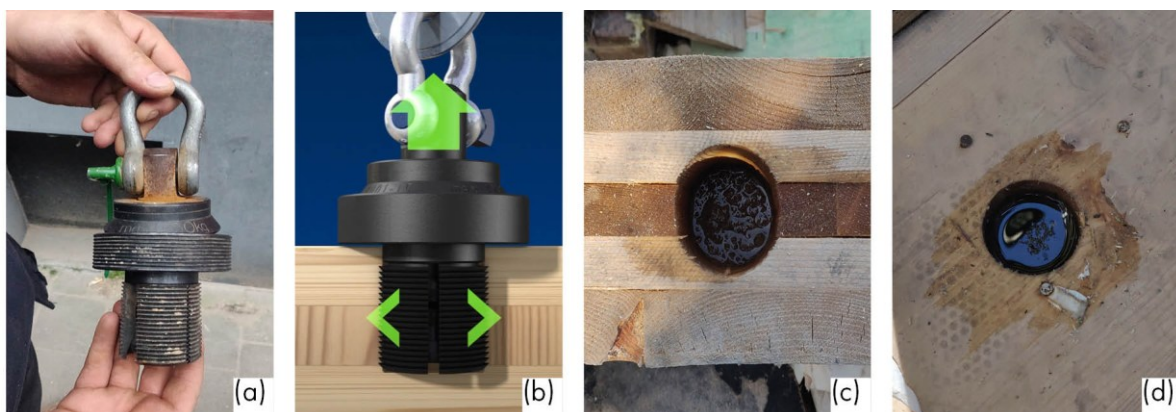
De CLT-panelen voor DING waren afkomstig van het Oostenrijkse KLH Massivholz. Gezien LTS een grote opslagplaats heeft, werden de panelen daar overdekt indien nodig. Dit maakt dat een opslag in-situ niet nodig was, wat tevens een grote uitdaging had gevormd binnen de dense binnenstad. Men kon hierdoor een JIT-delivery garanderen, wat bijzonder voordelig is voor de gezondheid van de panelen.

De klassieke opake en dampdichte fabriekspakken, die normaliter rond de panelen zitten, zijn niet meer aanwezig wanneer de panelen geleverd werden. Dit is omdat men bij LTS ervoor koos om in de eigen opslagplaats panelen te voorzien van beschermingsmembranen. Sommige grote wandpanelen werden voorzien van een Solitex Adhero 3000 ademend membraan. Alle vloerpanelen werden voorzien van een fabrieksmatige SIGA Wetguard. Belangrijk te vermelden is dat ook de kopse zijden van het paneel werden meegenomen in deze Wetguard. De panelen werden vervolgens geplaatst op een open flatbed-oplegger zonder verdere bescherming, gezien de oppervlakken toch beschermd zijn. Mocht het hevig regenen, verklaarde men dat er dan een extra zeil of andere oplegger gebruikt wordt, afhankelijk van de dimensies van de panelen.

Het transport, opslag en levering benadert met andere woorden de Best-Practice, beschreven onder hoofdstuk 4.

6.2.4.2. Handling & Lifting van panelen

Het hijsen van de panelen naar de exacte locatie gebeurde bijzonder vlot. Dit was ook nodig gezien de drukke passage in de nauwe Drabstraat. Men maakte hiervoor gebruik van een systeem genaamd Sihga Pick (Fig. 137a en b). Men steekt een anker in een voorgeboorde opening ($\varnothing 50$ mm). Door te trekken aan de hijshaak, zullen onderaan de verankering metalen delen in het hout worden geduwd. Men vertrouwt met andere woorden op axiale druk en wrijving in deze voorboring. Men kan zo tot wel 1025kg per hijspunt liften, wat ruim voldoende is voor CLT panelen (Sihga, 2016; 2022). Het laat toe zeer vlot, in dit project tien panelen per half uur, te hijsen naar de juiste plaats met een team van slechts drie personen: iemand aan de oplegger om de haken te bevestigen, een kraanbediener en iemand boven die de haken uithaalt.

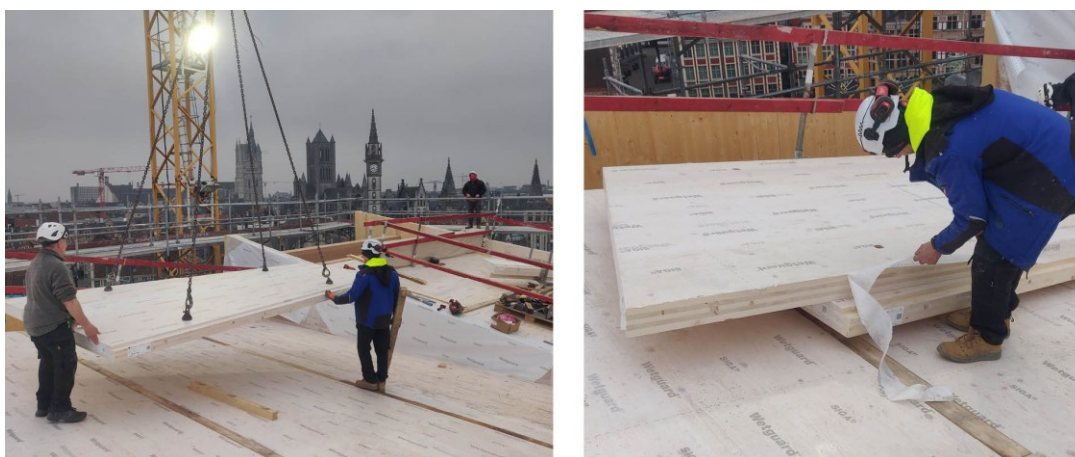


Figuur 137 - Sihga Pick hijshaken, gebruikt voor het liften van panelen voor het DING (a,b) (Sihga, 2016, 2022). Het effect wanneer deze boorgaten niet tijdig afgedekt worden (c,d).

Met deze techniek blijft men echter wel over met hijspuiten van 7cm diep, die men best direct na levering afsluit met een membraan eventueel voorafgegaan door een houten stop van dezelfde diameter of het doorboren van de opening. Een membraan werd meestal geplaatst,

al was dit niet altijd het geval. Op die plaatsen merkte men dat vocht zich hierin zal ophopen en insijpelen doorheen het paneel zoals zichtbaar op figuur 137c en d.

Panelen werden tijdelijk gestockeerd voor enkele uren. Gezien er op de dag van bezoek geen neerslag voorspeld was, kon men dit doen zonder enige vorm van bescherming (Fig. 138). Men verspreidde de panelen om lokale overbelasting te verspreiden. Opvallend was dat het dampopen membraan aan de kopse zijden onmiddellijk na levering werd verwijderd. Deze kopse zijde is nochtans het meest gevoelig voor vochtopname. De reden hiervoor lag in de praktische uitvoerbaarheid: het ontwerp hield geen rekening met de beperkte, maar niet-verwaarloosbare dikte van de folie. Deze veroorzaakte moeilijkheden bij het sluiten van lineaire paneelverbindingen. Meer doorslaggevend leidt de snel verrimpelende aard van het membraan tot risico op spleten en kieren, wat regendoorslag en een nog lastigere verwerkbaarheid in de hand kan werken. Men rekent dit dus best in tijdens het ontwerp. Op de vraag naar alternatieve bescherming voor kops hout werd vanuit de praktijk geen eenduidige oplossing aangereikt. Hoewel een coating theoretisch inzetbaar is, staat LTS hier terughoudend tegenover omwille van de beperkte effectiviteit, het dampremmend karakter en het risico op ongewenste esthetische uitloging. De voorheen benoemde paraffinewax kan hier een goed alternatief zijn (RDH Building Science, 2021b).



Figuur 138 - Lifting van dakpanelen met een torenkraan (a). Het fabrieksgemonteerd membraan aan de kopse zijde werd direct afgesneden bij aankomst op de site (b). Dit vanwege een lastige praktische montage.

6.2.4.3. Gehanteerde beschermingsmethodiek

De vochtthuishouding op de site werd geconcipeerd op drie niveaus: passieve paneel- en bouwnaadbescherming, globale externe bescherming en actieve vochtbeheersing. Elk van deze zal hieronder beschreven worden, alvorens over te gaan tot enkele specifieke risicozones, eigen aan dit project.

Passieve bescherming

Zoals eerder vermeld zijn alle horizontale panelen uitgerust met een zelfklevend membraan (SIGA Wetguard) vanuit de tijdelijke opslagplek bij LTS. Dit vormt vanaf start een bescherming en biedt weerstand tegen neerslag. Het membraan presteert echter minder bij langdurig stagnerend water, al zeker wanneer er door het werfverloop kleine perforaties komen in dit membraan (Fig. 139a). Bovendien wordt dit geadverteerd als dampopen membraan, al kent het toch een μ d-waarde van 3.5m wat het volgens tabel 2 in de categorie dampremmend plaatst (Douglas & Karacabeyli, 2013); SIGA, 2025). Dit kan een verklaring zijn waarom men soms na bevochtiging condensatie aan de onderzijde van het membraan kon merken. Uit gesprekken bleek dat geen enkele partij, buiten Desmijter Niels (werfleider bij LTS), hier

effectief van op de hoogte was. Cruciaal is ook de verbinding van deze vooraf beschermde panelen, waar bouwnaden namelijk steeds een risico tot 'moisture traps' vormen. Deze werden niet steeds, of niet tijdig genoeg, aangebracht waardoor vocht tot bij de onbeschermde paneelranden kan geraken. Dit was bijvoorbeeld het geval bij de stootbordverbindingen van dakpanelen. Op termijn werd hierover een membraan geplaatst, maar vocht kon zich voorafgaand makkelijk opstapelen. Bovendien voelde het stootbord zelf uit multiplex vochtig aan, aangezien het bij LTS buiten gestockeerd werd (Fig. 139c).



Figuur 139 - Werfbeschadiging van het beschermingsmembraan (a). Gebrekkige verbinding van datzelfde membraan met een bestaande metselwerkwand (b). Onbeschermde stootbordverbinding (c)

Deze case-study deed ook inzien dat een VBP ook dient te reflecteren over verbindingen van hout met andere materialen. Dat werd duidelijk door het opmerken van een gebrekkige verkleving van dit membraan aan bestaand metselwerk (Fig. 139b). In dit geval kwam neerslag via deze metselwerkwand naar beneden. Dit kon vervolgens eenvoudig doorlopen onder het membraan, waar het kops hout makkelijk bereikt kon worden. Een systeemtape of vloebare dichting als verbinding van het membraan met de wand had hier mogelijks een betere bescherming geweest. Hoe dan ook is een verhoogde monitoring hier essentieel.

Wandpanelen werden meestal onbeschermd gelaten. Door gravitaire afstroming vormt dit meestal geen risico (Clifford, 2025b). Panelen met een hoge vochtbelasting, vanwege de gebouwhoogte en oriëntatie, werden beschermd met een ander en meer dampopen zelfklevend membraan (μd -waarde = 0.4m) genaamd de Solitex Adhero 3000. Dit membraan is meer ademend dan de SIGA Wetguard, biedt een hogere luchtdichtheid en is meer bestand tegen UV, maar ook duurder. Daarom werd gekozen om dit niet door te trekken naar de vloerpanelen (Pro Clima, 2025a).



Figuur 140 - Gebruik van een dampopen zelfklevend membraan bij wandpanelen. Hier werd gebruik gemaakt van een extra strip bij nummer 1, en overlap die de bouwnaad bedekt bij nummer 2

Opvallend hier is de aanzethoogte van dit membraan bij sommige wanden. Het membraan schrijft een overlap in membranen voor van 15cm. Bij DING stopte de folie bij de noordelijke wand nog voor de bouwnaad bij beide panelen, om later hierover een extra slap over te spannen (situatie 1 bij figuur 140). Dit vanuit de motivatie dat het lastig uitvoerbaar is om panelen te monteren met een overlappend membraan, gezien deze tussen de panelen kan vast komen te zitten. Vervolgens zou het paneel opnieuw gedemonteerd moeten worden om het membraan ervantussen te halen. Wanneer door vertraging het bovenstaande paneel of extra strip niet direct wordt gemonteerd, of het regent tijdens montage, dan kan vocht makkelijk de bouwnaad intrekken, waarna het weken tot maanden kan duren vooraleer het vocht hierin uitdroogt. Ondanks de praktische lastigheden, volgt men toch hierbij beter de voorgeschreven gebruiksaanwijzing. Vermoedelijk werd dit dan ook, na een eigen opmerking gestaafd vanuit deze scriptie, bij de montage van een volgend paneel wel gedaan (nummer 2 figuur 140).

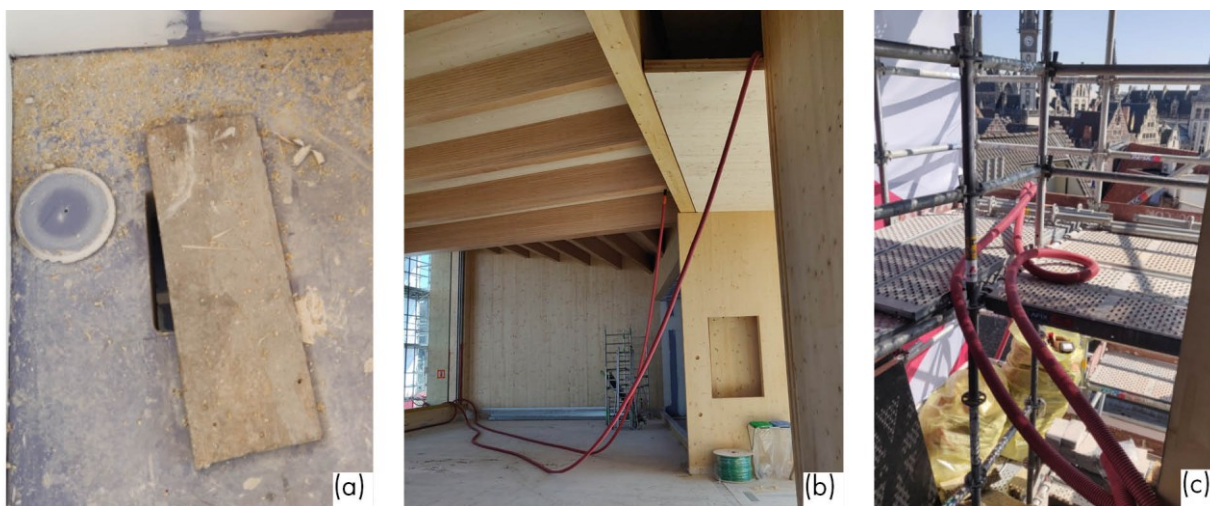
Kopse zijden, zoals openingen aan de liftschacht, en verkleefing van Wetguards nabij opgaande muren gebeurde met een SIGA Wigluv tape. Dit is een tape die inherent meer dampopen is dan de Wetguard met een μ d-waarde kleiner dan 2m.

Op sommige locaties bracht men een bitumineuze beschermingscoating aan, als bijvoorbeeld de verbinding van een tussenvloer met opgaande wand, om de bouwnaad af te schermen. Achteraf bleek dat deze coating vaak werd aangebracht nadat er bevochtiging had plaats gevonden, met als doel verdere bevochtiging te gaan vermijden. Men kan stellen dat dit een paniekmaatregel was.

Actief vochtbeheer

Onder de verschillende actoren was er een duidelijke bewustwording van de risico's die vocht vormt voor CLT-constructies. Zo verwees LTS expliciet zelf naar de studie van Olsson (2021), waarin wordt aangetoond dat schimmelaantasting reeds in microscopisch stadium ontstaat bij blootstelling zonder bescherming. Deze kennis vertaalde zich richting actieve maatregelen op de bouwplaats. Concreet werd bij dit project een werfroutine gehanteerd waarbij op vrijdagmiddag en maandagochtend een 'controle- en afdekrondgang' plaatsvond. Doorvoeringen werden bij dreigende neerslag tijdelijk beschermd, al bleken de schrijnwerkopeningen in dit project te groot hiervoor. De opvolgende ochtend werd de toestand van de werf opnieuw geëvalueerd en bij vaststelling van vochtintrusie of pooling werden actieve maatregelen getroffen.

De meest structurele vorm van actief vochtbeheer betrof het draineren van stagnerend water op tussenvloeren. Door paneelnaden of openingen kon regenwater zich ophopen op lagere verdiepingen, waarbij op een specifiek moment ongeveer 4 cm plasvorming werd vastgesteld. Per verdiep werden hiervoor twee afvoerpunten voorzien, zogenaamde 'tappers', verbonden met drainagebuizen naar de buitenschil. Gezien het vlakke karakter van tussenvloeren moest het water echter manueel naar deze punten geleid worden. Zowel LTS als Artes gaven aan dat dit proces intensief is: het actief verwijderen van water in kritieke zones (zoals Fig. 134c) kon bij hevige regenval tot twee keer per dag plaatsvinden en vergde telkens meerdere werkkrachten voor enkele uren. Er werd meermaals benadrukt dat een robuust systeem van gecombineerde vochtbescherming in de werffase goed en wel is, maar enkel haalbaar blijkt mits voldoende personele inzet, planning en budgettaire marge.



Figuur 141 - Doorvoering die bij de rondgang degelijk afgedekt dient te worden (a). Drainagebuizen van het dakverdiep (b) die uiteindelijk de neerslag naar de buitenomgeving afleiden (c).

Globale externe bescherming

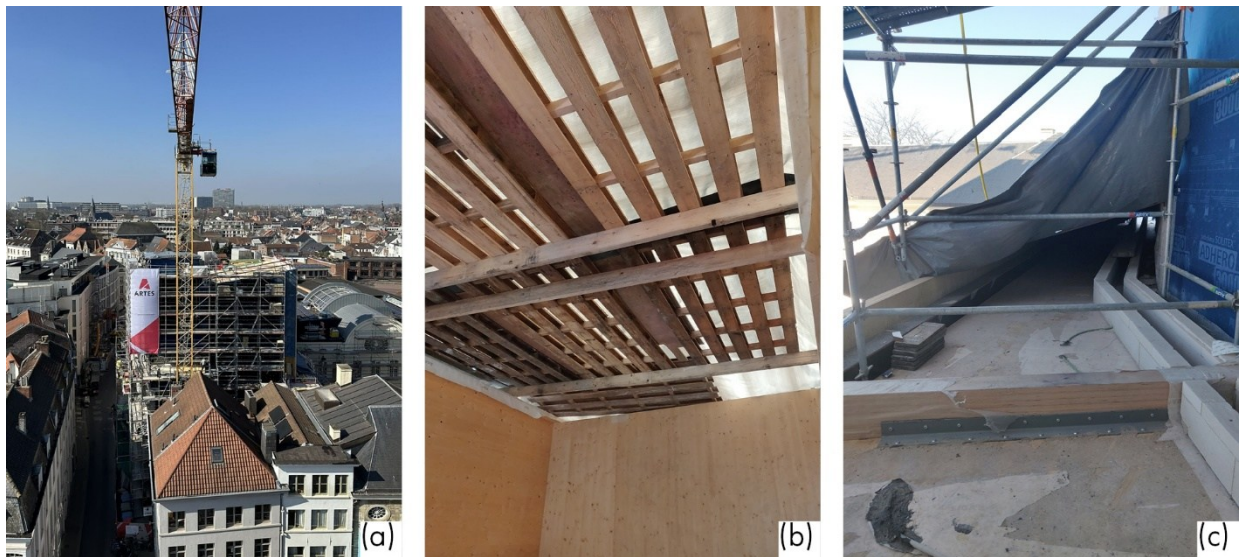
Timing kan beschouwd worden als een vorm van externe bescherming. In een gefaseerde orde afwerken van een bouwlaag met bovenliggende vloeren en wanden vormt een efficiënte strategie om de onderliggende CLT-structuur tegen vochtblootstelling te beschermen. Deze aanpak werd bewust gehanteerd door de hoofdaannemer, met de nadruk op een snelle wind- en waterdichting van het geheel. Hoewel dit een solide basis biedt, blijft het systeem kwetsbaar bij onvoorziene regenval of uitvoeringsvertragingen. Zo werd tijdens een hevige regenbui waterinfiltratie vastgesteld via stootbordverbindingen, wat leidde tot verhoogde vochtgehaltes (max. 44%) op de aansluiting tussen een glulambalk en de onderliggende CLT-vloer (Fig. 142). Een strategie die uitsluitend op snelheid berust, volstaat dus niet; het dient aangevuld te worden met passieve en actieve maatregelen, en waar nodig bijkomende externe bescherming. Zoals LTS treffend samenvatte: "Hoe complexer en vergevorderd het project, hoe lastiger om te begrijpen van waar het vocht nu daadwerkelijk komt" (LTS, persoonlijke communicatie, 4 april 2025).



Figuur 142 - Verkleuring nabij een aansluiting van een glulambalk met een tussenvloer als gevolg van vochtintrasie. Mechanische droging was vereist om de hoge vochtgehaltes (max. 44%) te doen dalen.

Tijdens de uitbouw van de gebouwschil werd rondom de perimeter van het DING een stelling geplaatst. Hoewel het inzetten van een bouwtent logistiek en financieel complex is, kan een stelling met zeildoeken een haalbaar alternatief vormen. Zoals besproken in deel 4.2.3 kan dit de vochtbelasting op geveldelen aanzienlijk reduceren. In dit project werd echter afgezien van deze zeilen, mede door onzekerheid bij de hoofdaannemer omtrent de structurele verankering ervan in de CLT-structuur. Zo ontbrak kennis over parameters zoals het maximaal toegelaten oppervlak per bevestigingspunt in functie van windbelasting. Het toevoegen van

zeilen verhoogt deze belasting aanzienlijk en kan, bij ongunstige weersomstandigheden, leiden tot lokale instabiliteitsrisico's. Niettemin had een zeilbekleding mogelijk de regendoorslag via schrijnwerkopeningen kunnen beperken, al zou het effect daarvan in een dense stedelijke context waarschijnlijk beperkt blijven.



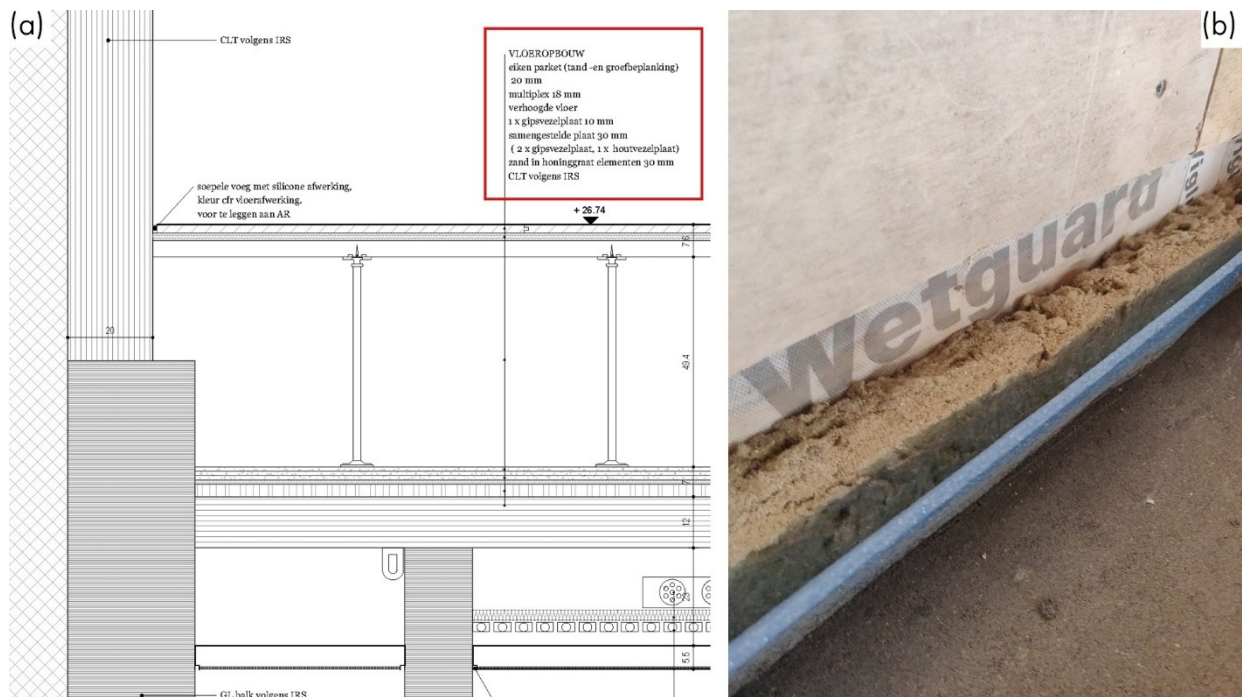
Figuur 143 - Stellingen van het DING zonder zeilgebruik (a). Laagdrempelige tijdelijke overkapping (b, c).

Zones die voorheen hoge vochtgehalten toonden of zones van mogelijke zwembadvorming kregen verhoogde aandacht. Van zodra mogelijk werd hier een tijdelijke stelling gebruikt (Fig. 135b) of een tijdelijke constructie (Fig. 143b en c) met overgespannen zeilen. Dit illustreert goed hoe een globale bouwtent inderdaad voor deze schaal van projecten een aanzienlijke meerkost is, maar een externe bescherming niet steeds zoveel hoeft te kosten. De technische zone werd simpelweg beschermd door een hands-on constructie van paletten, maar bleek bijzonder efficiënt te zijn. Dit soort maatregelen zal ervoor zorgen dat de initiële bouwplanning kan aangehouden worden, zonder de aanzienlijke meerkost van een bouwtent.

6.2.4.4. Specifieke risico-zones

Natte versus droge vloersystemen

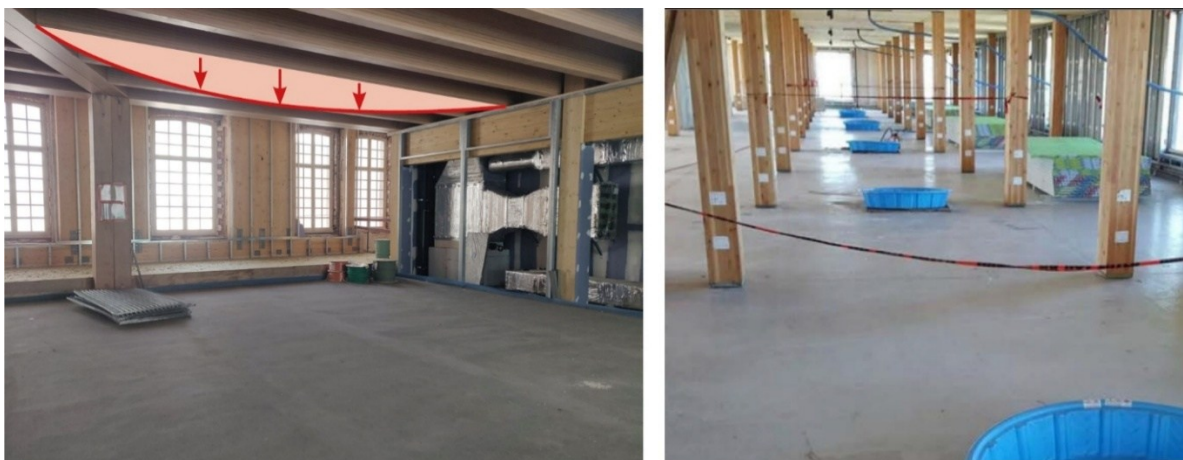
Het initiële ontwerp voorzag een droog vloersysteem (Fig. 144a), wat rond vochtbeheersing de voorkeur geniet boven natte systemen. Een chapelaag is immers een open cellulaire structuur dat vocht kan opnemen en vasthouden, en kan functioneren als een dampdichte, natte spons in contact met de CLT-tussenvloer. Bovendien brengt het storten van chape bijkomend bouwvocht in het gebouw. Hoewel de vloeren uitgerust waren met een Wetguard-membraan, vormen de vele perforaties hierin alsnog een risico op vochtaccumulatie onder de chape. Door een ontwerpwijziging werd vanuit akoestische overwegingen uiteindelijk toch gekozen voor een nat vloersysteem, met als voorwaarde dat het vochtgehalte van de CLT-panelen bij uitvoering onder de 14% zou liggen. Deze drempel is bijzonder streng en in de praktijk niet altijd haalbaar, noch noodzakelijk. 16% had een evenwaardige veiligheid geleverd, die praktisch veel sneller haalbaar is. Volgens de uitvoerende partijen illustreert dit de kloof tussen onderzoeksinzichten (RDH Building Science, 2021b) en de wijze waarop CLT vandaag in België wordt voorgeschreven. In dit specifieke project bleken de vloerpanelen op het moment van uitvoering grotendeels voldoende droog, waardoor de nodige inspanning om dit criterium te behalen beperkt bleef (LTS, persoonlijke communicatie, 19 maart 2025).



Figuur 144 - Initieel ontworpen droge vloeropbouw (a). Deze werd vervangen door een nat vloersysteem in volgorde: Wetguard - Akoestische isolatie - Beschermingsfolie - Chapelaag (b).

Doorbuiging vloerpaneel

Door de overspanning in de museumruimten is enige doorbuiging van vloerpanelen en balken mogelijk. Hoewel dit doorgaans constructief verwaarloosbaar is, vormt het bij CLT in combinatie met stagnerend water een potentieel risico. Neerslag die zich op tussenvloeren ophoopt, zal zich verzamelen op de laagste punten en daar in de panelen kan dringen of via naden doorsijpelen naar het onderliggende verdiep. Dit effect wordt versterkt wanneer de chape reeds geplaatst is, aangezien water dan moeilijk kan ontsnappen. Een pragmatische oplossing is het strategisch plaatsen van opvangbekkens op deze locaties bij verhoogde neerslagkans. Ook op de DING-werf werd vastgesteld dat water, ondanks de aanwezigheid van Wetguard-membranen, door naden ter hoogte van het midden van de overspanning tot op het onderliggende niveau doorsijpelde. Dit illustreert dat dergelijke membranen onvoldoende bescherming bieden bij langdurige stagnatie, en dat de zones met maximale doorbuiging verhoogde aandacht verdienen binnen monitoring en vochtbeheer.



Figuur 145 - Schematische voorstelling van de doorbuiging van een balk en vloerpaneel in het DING (a). Een laagdrempelige wateropvang via kinderswembadjes, gebruikt voor de doorsijpeling bij bouwnaden op te vangen in het toonaangevende modelproject van Brock-Commons (University of British Columbia, 2018).

Trappenhuizen en schachten in werffase

De trappenzones vormden binnen dit project een aandachtspunt op het vlak van waterafvoer. Deze zones bleven gedurende langere tijd open, waardoor neerslag via de trappenkokers tot diep in de constructie kon doordringen. Gezien de beperkte uitvoerbaarheid van drainagetappers in deze zones, werd gekozen voor een pragmatische oplossing waarbij zeilen over de trappen werden gespannen, zodat het water als een glijbaan werd afgeleid (Fig. 146, linksonder). In de meeste gevallen leidde dit water naar een nabijgelegen drainagepunt, zij het op een vlak paneeloppervlak. Hierdoor werd het vocht alsnog in de constructie geleid, met risico op accumulatie in bouwnaden. Bijzondere aandacht was nodig rond de aanwezigheid van een zichtbare trap in LVL, een materiaal dat gevoelig is voor vochtopname. Ook deze werd ingepakt, maar het afstromende water werd opnieuw naar onderliggende CLT-panelen geleid. Daar werd weken later bij het uitsnijden van een stuk CLT een kletsnatte bouwnaad gevonden. Vanuit VBP-oogpunt is het essentieel om dergelijke waterafvoer via trappenkokers proactief te voorzien van geschikte drainagepunten. Zonder deze maatregelen is het risico op verhoogde vochtgehalten aan de voet van de trap aanzienlijk.



Figuur 146 - Zeilengebruik in trappenhuizen. Hierdoor wordt neerslag afgeleid tot diep in de constructie, waarna een goede drainage nodig is. Tegelijkertijd ziet men ook het kleurverschil bij de panelen ten gevolge van bevochtiging en UV-straling en zijn de ldefix-verbindingen zichtbaar.

6.2.5. Vochtmonitoring en opvolging tijdens werffase

Na de voltooiing van het gelijkvloers kende het DING-project een langdurige onderbreking van enkele maanden, veroorzaakt door foutief gedimensioneerde CLT-panelen (Fig. 147a). Naast het belang van nauwkeurige ontwerpcoördinatie en fabricatieplanning bij CLT-bouw (cf. deel 3.1.1.), resulteerde deze vertraging in een langdurige blootstelling van reeds gemonteerde panelen aan weersinvloeden. Dit is visueel merkbaar aan verkleuring en blauwschimmelvorming op de panelen van het gelijkvloers, met name in zones zoals de liftkoker (Fig. 147b).

Als reactie op deze situatie werd de aandacht voor vochtmonitoring in de bouwphase aanzienlijk opgevoerd. LTS voerde wekelijks vochtmetingen uit, aangevuld door een onafhankelijke tweewekelijkse controle door vochtexpert P. Courtoy. De metingen vonden plaats op risicolocaties, zones met eerdere overbevochtiging, en panelen die later een dampdichte opbouw zouden krijgen. Hierbij werd via slaghamerelektroden op dieptes van 1 cm, 2 cm en 4 cm gemeten. Na elke meting werden de perforaties in het membraan afgedicht met een Wetguard-herstelling. Als grenswaarde werd een maximum vochtgehalte van 19% gehanteerd, conform gangbare literatuur (Fig. 147c). De meetresultaten werden zorgvuldig gedocumenteerd in een Exceloverzicht, gecorreleerd aan temperatuur en relatieve

luchtvochtigheid. Verdere constructie werd pas hervat wanneer de gemeten panelen onder deze drempelwaarde bleven. In zijn geheel benaderde de werf op het vlak van vochtmonitoring nauwgezet de principes van Best-Practice.



Figuur 147 - Stilstand van de werf na montage van het gelijkvloers (a) (Atama, 2023). Bijgevolg kenden de reeds gemonteerde panelen hoge vochtgehalten en verkleuring waarna mechanische droging vereist was (b). Vochtmetingen worden volgens een correct protocol uitgevoerd nabij paneelranden op verschillende dieptes (c). Verhinderde drainage door onnauwkeurigheden van arbeiders (d).

Systematisch werd ook een rondgang gemaakt om de staat van de beschermingsfolies en tapes te bekijken en waar nodig te herstellen. Op vlak van opvolging, kon men slechts 1 iets beter doen, zijnde de scholing van arbeiders uit verschillende bouwplegen. Men kon ervoor opteren om enkele regels breed te communiceren wat betreft vochtbeheersing. Zo kan men arbeiders bijbrengen perforaties in folies zelf te repareren of te melden, doorvoeringen af te dekken voor het einde van de werkdag en obstructies voor een vlotte drainage te vermijden. Zo lagen soms zaken, zoals FJI-liggers op het dak, in de weg waardoor neerslag niet vlot tot het drainagepunt kon geraken (Fig. 147d).

6.2.6. Maatregelen na bevochtiging

Op momenten van regendoorslag en stagnerend water in de constructie heerste er vaak een dubio. Enerzijds wil men verder vochtintrusie gaan vermijden voor bijkomende waterdichtingen aan te brengen. Anderzijds bedekt men zo bouwnaden en panelen, die mogelijks al verhoogde vochtgehalten kennen door deze regenval. Dit ziet men bijvoorbeeld bij de aansluiting van sommige tussenvloeren met opgaande wanden, waar een vloeibare waterdichting is aangebracht (Fig. 148a). Klassieke dampopen membranen en tapes blijven namelijk niet voldoende kleven bij hogere vochtgehalten, waardoor deze geen optie vormen op het moment van bevochtiging. Dit soort paniecreacties dienen vermeden te worden. Men

beschermt de aansluitingen wel tegen verdere bevochtiging, maar laat ook geen droging in de tijd meer toe. Men maakt met andere woorden eigenlijk de situatie erger. Daarom is men in dit soort situaties aangewezen op actief vochtbeheer, eerder dan deze paniekoplossingen.



Figuur 148 - Aanbrengen van bitumineuze waterdichtingen bij een bouwnaad om verdere bevochtiging tegen te gaan (a). Mechanische droging via een geforceerde luchtstroom (b). Tijdelijke overkapping in de buitenomgeving om een droge luchtstroom hierdoor te sturen zonder verdere bevochtiging. De membranen zijn hier verwijderd voor optimale droging.

Wat betreft droging na bevochtiging is men bij LTS sterk bewust van de risico's van mechanische droging. Men weet dat dit dient te gebeuren aan juiste RV en temperatuur. Men trekt dit zelfs door naar adviezen eens LTS niet meer aanwezig zal zijn op de werf, zoals bij droging van ruimtes bij pleisterwerken. Hier zal men vaak mechanische droging toepassen, wat kan leiden tot krimpscheuren in het hout. Men stelt daar dat de panelen voor aanvang van droging voor het pleisterwerk al voldoende droog moeten zijn. Zo niet zal men de structuur letterlijk horen kraken. Een algemene techniek is dus om de structuur zo snel mogelijk wind- en waterdicht kan krijgen, zodanig dat de panelen tegen dit punt voldoende droog zijn.

Een waardevol inzicht rond deze mechanische droging kwam opnieuw van LTS. Zij verklaarden dat mechanische droging met verhoogde temperatuur in sommige gevallen net voordeliger is voor de schimmelaangroei. Schimmels kennen een ideale groeicultuur rond de 20-25°C, wat net de target-temperatuur is voor mechanische droging. Als er reeds schimmelgroei aanwezig is, kan dit dus net een verhoogd risico brengen eerder dan een positief resultaat. Daarom werden voor dit project uit voorzorg geen verwarmingselementen gebruikt. Anderzijds blijkt het uit voorgaand literatuuronderzoek dat snelle en efficiënte droging primeert. Het is belangrijker om zo snel mogelijk het vochtgehalte tot onder het criterium van 19% te brengen, eerder dan zich zorgen te maken over de kortstondige leefomstandigheden voor schimmels en houtrotmechanismen (Kalbe et al., 2022a; Habtie, 2022; Wang, 2016b).

Ventilatoren vormden hier het voornaamste instrument voor droging. Deze werden gewoon opgesteld in de ruimte van de vochtige zone, en soms erboven (Fig. 148b). Dit blijkt niet steeds even efficiënt. Niet alleen omdat er geen lokale luchtstroom is, maar tevens omdat arbeiders en derden telkens de ventilator afzetten omdat deze vaak 'in het niets' zit te blazen. Een simpele melding op de ventilator of stopcontact hierover kan dit echter makkelijk vermijden. In buitenopstellingen werd er wel een lokale zone gevormd door overkappingen te maken en vervolgens lucht hieronder te blazen (Fig. 148c). Waar sterk bevochtigd, werden Wetguards en beschermingen verwijderd, om optimale droging te faciliteren. Dit had een noemenswaardig effect.

6.2.7. Conclusie van deze case-study

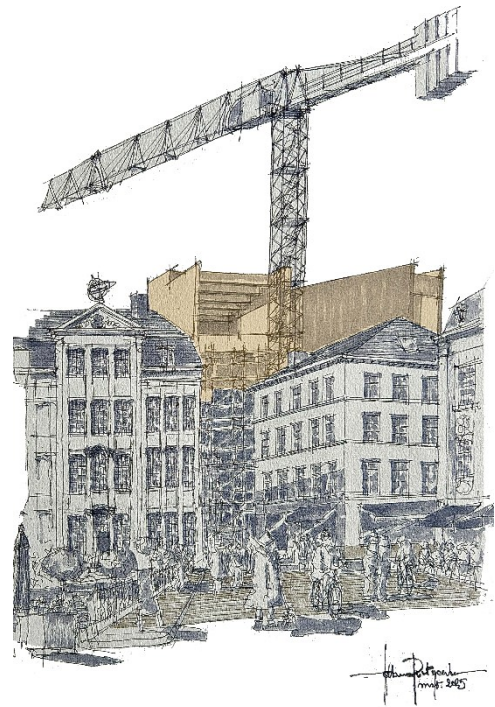
Uit de werfopvolging blijkt dat het DING-project een toonaangevende realisatie is binnen de Belgische houtmassiefbouw. Het getuigt van een ambitieus ontwerp en kan een pioniersrol vervullen in de toepassing van CLT, mede door de aandacht voor diverse ontwerpmatige thema's zoals besproken in hoofdstuk 3. De gebouwschil is over het algemeen doordacht geconcipeerd, al blijven bepaalde zones – zoals het platte dak op de derde verdieping – kwetsbaarder door hun detaillering. De voornaamste oorzaak van vochtgerelateerde risico's ligt echter niet in het ontwerp als zodanig, maar in het ontbreken van een reflectie op de tijdsdimensie van de uitvoering. Details die in afgewerkte toestand performant zijn, blijken tijdens de werffase vaak gevoeliger voor vochtintrasie door een gebrek aan bescherming in die fase.

Er werd in het ontwerp te veel vertrouwd op sommige beschermingslagen, zoals SIGA Wetguards, die onder langdurige waterstagnatie en bij veelvoorkomende perforatie snel hun effectiviteit verliezen. Anderzijds viel op dat LTS een hoge mate van expertise aan de dag legde en deze doeltreffend communiceerde naar de hoofdaannemer. Zowel de logistiek, vochtmonitoring als opvolging benaderden een Best-Practice. Belangrijk blijft echter het vooraf vastleggen van rollen en verantwoordelijkheden, evenals het voorzien van elementaire opleiding voor alle betrokkenen op de werf. Dit is de meest eenvoudige maatregel tot een meer vochtresistente bouwphase.

De grootste vochtbelasting ontstond na een langdurige werfonderbreking als gevolg van fout gedimensioneerde panelen, wat het belang van precisie in het ontwerpproces onderstreept. De resterende vochtproblemen waren lokaal en contextueel van aard, maar daarom niet minder doorslaggevend. Ondanks deze problematieken waren alle panelen bij het afronden van deze scriptie voldoende droog, mede dankzij een droog voorjaar en intensieve opvolging. Dit toont aan dat, mits strikte monitoring, de vochtproblematiek beheersbaar blijft – al vereist dit een aanzienlijke inzet.

LTS verwoordde dit treffend: “in een ideale wereld zou men met een vingervinger alle bescherming kunnen aanbrengen, maar ook weer verwijderen.” Hoewel dit utopisch is, kunnen lokale bouwtenen of eenvoudige stellingzeilen reeds een betaalbaar en doeltreffend alternatief vormen, waar een globale bouwtent een te hoge meerkost en logistieke uitdaging zou zijn.

Tot slot bracht deze casus specifieke inzichten aan het licht die niet in literatuur zijn beschreven, maar voortkomen uit zuivere expertise en praktijkervaring. Deze zijn doordrongen van praktijkervaring en vormen een mooie aanvulling op deze literatuur, en hebben een wezenlijk effect op de globale of lokale vochtbeheersing van het project. Daarom is het bijzonder nuttig gebleken deze casus te spiegelen aan de theoretisch voorgestelde Best-Practice, en draagt het op een andere manier bij aan de bewustwording voor de noodzaak van een gedetailleerd en adaptief VBP voor aanvang van de werken.



Figuur 149 - Schets van het DING in zijn stedelijke context (Rutgeers, 2025)

6.3. Gesprekken met professionals

Om de relevantie van de bestudeerde onderzoeksinzichten te projecteren op de huidige Belgische bouwcultuur, werden in het kader van deze scriptie enkele interviews ingepland. De insteek was telkens een ander thema, maar mondde vaak uit in een bredere waardevolle discussie over diverse topics in de CLT-bouw. Komend hoofdstuk betreft een naslagwerk van de meest pertinente gespreksonderwerpen, met als doel deze te spiegelen aan de onderzochte internationale bronnen.

6.3.1. Bureau Bouwtechniek

6.3.1.1. Omgang met de ontwikkelde detailleringstool

De initiële opzet van het gesprek met Bureau Bouwtechniek (BB) was het presenteren van de detailleringstool, beschreven in deel 3.3. Het was een vorm van wederzijdse interesse, gezien BB mogelijks baat heeft bij een adviseringstool voor CLT-bouwdetails maar anderzijds deze scriptie baat kan hebben aan praktijkgefundereerde opmerkingen hierover.

De tekening als medium

De tool bleek voor BB een interessant instrument in het kweken van een bewustwording van het risico op schade tussen verschillende ontwerp- en bouwpartners. Anderzijds stelt men vast dat de effectieve detailtekening altijd het medium bij uitstek zal zijn voor communicatie op de bouwplaats. Aankoopdiensten van grote aannemingsbedrijven werken volgens bestekken. Bijgevolg moet het maximaal nodige van een scenario in het VBP beschreven staan in dergelijke bestekken. Dit betekent dat ieder detail voor zijn set aan projectgegevens, telkens het maximale zal moeten volgen. Men kan met andere woorden niet iets minder conservatief gaan voorschrijven, zoals onder hoofdstuk 3.3.2. soms werd gehanteerd. Men stelde dat men ervan kan uit gaan dat indien een bepaalde maatregel niet beschreven staat, deze ook niet al toegepast worden.

Dit leidde tot een bredere vraag of dergelijke visie geen struikelblok vormt op het gebruik van CLT. BB erkent hierin dat aannemers in België inderdaad zuiver de risico's rond CLT-gebruik bekijken en dergelijke vergaande beschermingsmethodiek en opvolging inderdaad een struikelblok kan vormen voor de ontwikkeling van CLT-bouw. Anderzijds zal bij dergelijke verregaande bescherming, minimaal deze geadviseerd met de detailleringstool, misschien met CLT op de juiste manier gebouwd worden.

BB zag met andere woorden de tool eerder de omgekeerde richting: vanuit het ontwerp dient men de maximale bescherming op de tekening en in de bestekken te voorzien. Mocht een aannemer met zekerheid kunnen garanderen dat bijvoorbeeld JIT-leveringen mogelijk zijn, dat er een lokale bouwtent is nabij een bouwdetail of dat er in een bepaald seizoen kan gebouwd worden, kan men op die manier aan 'valued-out engineering' doen, en bepaalde maatregelen achterwege laten. Dit is dan mooi meegenomen in de prijssetting van de aannemer en het verloop van de werf, maar initieel dient alles voorzien te zijn. De tool maakt ook deze omgekeerde denkpiste mogelijk. Initieel voorziet men een worst-case scenario bij ontstentenis van informatie, om vervolgens aan iteratieve herzieningen van het VBP te doen tijdens de bouwfase.

Iteratieve karakter

Dit bovengenoemde adaptieve karakter van de detailleringstool en breder het nodige VBP is cruciaal voor een vlot bouwproces. BB bevestigt dat geen enkele werf loopt zoals verwacht. Om dan al in ontwerpfase in twee richtingen, hetzij meer of minder conservatief, een kaart achter de hand te hebben is een enorme troef voor de vlotheid van de bouwfase met CLT.

In een droog klimaat kan men met meer zekerheid een bepaalde beschermingsmethodiek vastleggen. Het vochtige Belgische klimaat laat dit niet toe; het kan nu eenmaal in de zomer ook drie maand vochtig zijn. Als men dan niets heeft ingerekend, kan snel het verwijt komen dat het detail of breder het ontwerp niet resistent is. Daarom is het van belang alles te voorzien wat betreft vochtbeheersing, om vervolgens bij gunstigere omstandigheden te profiteren van lagere beschermingsmethodes. Dit geldt volgens hen vooral bij grote projecten.

Projectomvang

In lijn met de gesprekken met LTS tijdens de werfbezoeken werd de projectomvang als bepalende factor in beschermingsstrategieën besproken. Vanaf een bepaalde schaal kan men een aantal factoren in deze tool niet meer garanderen, zoals de externe factoren of de duurtijd van paneelopslag. Daarom werd, zoals beschreven in deel 3.3.1. aan de ontwerptool vierde hoofdcategorie toegevoegd. Deze houdt rekening met de projectgrootte op basis van drie voldoende voorwaarden. Indien één van deze overschreden wordt, zal dit uitmonden in een hogere risico-score van gemiddeld 20% met een hoger preventieadvies als gevolg.

BB bevestigt dat het in de ontwerpfase geen moeite heeft met een conservatievere houding aan te nemen. Het ziet de tool als een bewustwording van het risico, waarbij de projectomvang een bepalende factor is. Anderzijds wezen ze op een stimulans om gefaseerd te gaan bouwen, om zo het risico op bevochtiging sterk te verminderen.

6.3.1.2. Bredere dialoog

Het gesprek rond de tool mondde breder uit in een spontane focusgroep. Tijdens dit gesprek werd de brug tussen onderzoeksinzichten en Best-Practices naar de Belgische bouwpraktijk besproken.

Huidige Houtmassiefbouwpraktijk in België

De brug van toonaangevend onderzoek naar de effectieve bouwpraktijk lijkt volgens BB nog bijzonder wankel. Slechts een beperkte groep aannemers en architecten weet volgens hen hoe correct te bouwen met hout. Tijdens het gesprek met BB kwamen dezelfde verklaringen naar boven die gemaakt worden in de praktijkhandleiding van INBO en de podcast door Houtconnect (Polspoel et al., 2024; INBO, 2021):

- Net als de case-study van het DING blijkt het zeer vaak voor te komen dat er weinig tot geen aandacht besteed is aan de tijdsdimensie in werffase. Dit is tevens net de periode waar de panelen zich het meest kwetsbaar tonen. Belgische CLT-projecten, zoals het DING, zullen slechts tot een goed einde komen als er voldoende maatregelen genomen worden voor de bescherming in werffase.
- Nog veel te vaak wordt een ontwerp initieel bedacht vanuit een 'traditioneel' constructiesysteem, waarna op een later moment de transitie wordt gemaakt naar een houtbouw. Op die manier houdt men minimaal rekening met globale ontwerpmatige beschermingen die het hout vanuit het ontwerp kunnen beschermen. Zaken als

schachten, trappenhuizen en patio's brengen vocht tot diep in constructies in werffase maar worden vaak op de foute manier geconcipeerd in ontwerpfase.

- CLT wordt te vaak ingezet op plaatsen waar het niet aangewezen is. BB haalde hierin zelf de voorbeelden van muurvoeten, platte daken en vloeren in badkamers aan. Men dient er in België vanuit te gaan dat panelen vochtig zullen worden, maar deze zones dragen daarbovenop een sterk verhoogd risico op schade na bevochtiging vanwege de aanwezigheid van dampremmen of een verhoogd risico op lekkages doorheen de levensduur. In België wordt tevens CLT bij voorkeur in het zicht gelaten. Andere landen hebben regels hierop wat betreft performantie, maar ook de flexibiliteit van bepaalde ruimten wordt sterk beperkt met bijvoorbeeld vaste plaatsen van stopcontacten.
- Aannemers werken nog te veel volgens de klassieke werkmethode waar men weinig op elkaar ingespeeld is en simpelweg verder bouwt op de problemen van anderen. Praktische implementatie van een bouwteam zal ook het ontwerpen met CLT bevorderen.
- Er is een te beperkte focus op een basisscholing voor iedereen aanwezig op de bouwplaats wat betreft vochtbeheersing. Er bevinden zich te veel arbeiders op de werf die zich van geen gevaar bewust zijn wat betreft de vochtgevoeligheid van CLT.

Los van de individuele werken tussen ontwerpteam en aannemerij, is volgens BB ook de communicatie tussen verschillende partijen over vochtbeheersing vaak afwezig. Te vaak wordt een VBP achterwege gelaten en wordt er amper gesproken over verschillende rollen en verantwoordelijkheden wat betreft de beschermingsstrategie. Als dit al gebeurt, blijft dit meestal in-house bij een bepaalde bouwpartner, mede vanuit de gefaseerde samenwerkingsvorm eigen aan de Belgische bouwcultuur. BB verklaart echter dat steeds meer een geïntegreerd ontwerpproces naar boven komt in houtbouwprojecten, gezien de verschillende partners de voordelen ervan inzien. De evolutie verloopt echter traag.

Internationale voorsprong in de werffase

BB legde ook de linken naar enkele bouwculturen, meestal noordelijk van België, waar enkele praktijken in de kaart spelen van vochtresistente CLT-bouw. Deze hebben allen een effect op het uitvoeringsgemak tijdens bouwphase.

In het licht van de extra subcategorie omtrent faseerbaarheid van grote projecten in de detailleringstool, werd gekeken naar de Nederlandse en Canadese bouwcultuur. Daar wordt veel vaker gefaseerd gebouwd met CLT. Op die manier krijgt men sneller een gebouwdeel wind- en waterdicht, wat de totale vochtbelasting sterk vermindert. Een grotere winst valt misschien te boeken in de daaruit volgende verantwoordelijkheden. Een zonering tijdens werffase laat toe alle verantwoordelijkheid wat betreft vochtbeheersing in één enkele hand te leggen, die hier tevens zijn eigen planning kan hanteren. Gezien de meeste schadenfenomenen op een werf zich net voordoen in de interactie tussen verschillende ploegen, kan via zones de integriteit van een VBP meer nageleefd worden, met een lager risico tot gevolg. Een mooi projectvoorbeeld is hier het project van Brock Commons in Vancouver. Hier werd het gebouw in zones van 3 bouwlagen verdeeld, die men binnen een beperkt aantal weken wind- en waterdicht gemaakt werden via een doorgedreven DfMA-strategie waar gefabriceerde gevelpanelen zeer snel een solide gebouwschil vormden (Fig. 150) (IStructE, 2017; University of British Columbia, 2018, 2024).



Figuur 150 - De studentenhuysvesting van Brock Commons. Hier werd gewerkt met zones van 3 bouwlagen met als doel de vochtblootstelling sterk te reduceren (IStructE, 2017).

Tijdens het gesprek werd het belang van scholing voor alle aanwezigen op de bouwplaats benadrukt, zoals ook besproken in deel 4.1.2. Veel alledaagse handelingen kunnen onbedoeld schade toebrengen aan het beschermingsmembraan van CLT-panelen. Een arbeider die een zware balk over een vloerpaneel schuift in plaats van optilt, kan bijvoorbeeld een scheur veroorzaken die bij de volgende regenbui tot vochtintrusie leidt. In regio's met meer ervaring in CLT-bouw wordt dergelijke scholing reeds toegepast. Hoewel dit in België nog beperkt is, vormt het een relevante stap richting een uitvoerbaar en effectief VBP. Het stimuleren van meldingen bij beschadigingen of eenvoudige herstellingen op de werf kan hieraan bijdragen. Simpele ingrepen, zoals het voorzien van een doos met tapes en membranen op een vaste locatie nabij de verantwoordelijken, gekoppeld aan bewustwording van de risico's voor alle aanwezigen, kunnen de bescherming aanzienlijk verbeteren.

Er werd ook gekeken naar de Zweedse bouwcultuur, meer bepaald rond de aanwezigheid en detailgraad van een VBP. Daar bestaat het ByggaF-raamwerk, een Zweedse afkorting voor 'Build Moisture Safe'. Het beschrijft een methode om constructies te beschermen tegen vocht, hierrond te documenteren en te communiceren. De meeste thema's uit dit raamwerk zijn ook in deze scriptie behandeld. Het framework is echter niet specifiek gericht op houtbouw, al wordt CLT wel expliciet vermeld als toepassingsvoorbeeld. Verder legt het een sterke focus op een correcte documentatie in werffase, door verschillende templates aan te bieden. Het is in lijn met de uitspraak van Nick Clifford die hij stelt dat er een groot verschil is tussen gestructureerde vochtdata en willekeurige. De maatregelen die voorgesteld worden zijn gebaseerd op een uitgebreide voorafgaande risico-analyse. Gezien deze norm toepasbaar moet zijn voor ieder soort constructie, blijft deze analyse vaak te generiek om tot adequate maatregelen te komen. Verder onderzoek blijkt nodig te zijn om het ByggaF-raamwerk specifiek uit te werken voor verschillende soorten constructiemethoden, en voor andere bouwklimaten dan het Zweedse. Deze scriptie biedt via de detailleringstool een worp naar een risico-analyse in de ontwerpfase voor CLT-bouw. De methode is in Zweden vertaald naar een algemene 'Industry Standard' en biedt tevens ook scholing in vochtexpertise. In 2019 telde Zweden hierdoor 144 vochtexperts (Mjörnell & Gustavsson, 2019; Lund University of Technology, 2013; Mjörnell & Olsson, 2019).

6.3.1.3. Globale conclusie vanuit BB

Het gesprek met BB bood waardevolle inzichten om de in deze scriptie behandelde literatuur te toetsen aan de praktijkervaring van bouwprofessionals actief in grootschalige Belgische projecten. Uit het gesprek kwam naar voren dat binnen de Belgische bouwcultuur het toepassen van CLT in grote projecten voorlopig gepaard blijft gaan met terughoudendheid. Volgens BB zijn aannemers zich voornamelijk bewust van de aanzienlijke risico's die CLT-bouw in een vochtig klimaat met zich meebrengt. Tenzij men over specifieke ervaring beschikt, die momenteel in België grotendeels afwezig is, zal men BB middelgrote tot grote projecten vaak als risicovol inschatten.

Er werd gesuggereerd dat de in deze scriptie ontwikkelde risico-analysetool, evenals de voorgestelde inhoud voor een adaptief en projectspecifiek VBP, een nuttige bijdrage kunnen leveren aan die bewustwording van de risico's binnen de sector. Hoewel CLT-bouw een verhoogde kwetsbaarheid voor vocht met zich meebrengt, werd aangegeven dat dit risico beheersbaar blijft mits een correcte voorbereiding, afstemming en uitvoering volgens Best-Practice richtlijnen. Daar ligt de sleutel tot een bredere inzetbaarheid van CLT in België, wat deze scriptie tracht te adresseren.



Figuur 151 - Luchtbeeld van het Design Museum Gent, deels onderwerp van de kennissessie bij Bureau bouwtechniek (De Cleene M, 2025)

6.3.2. Diverse gesprekken

In het kader van deze scriptie werd ook met verschillende andere bouwprofessionals gesproken. De meeste inzichten waren bijzonder specifiek en zijn daarom doorheen deze scriptie als bronmateriaal gebruikt onder de vorm van 'persoonlijke communicatie'. Hieronder wordt kort hun positie beschreven, wat hun relevantie uitdrukt over dit onderwerp:

1. Colin Vandewyngaerde

Voormalig Design & Solutions Engineer bij Laminated Timber Solutions, met een bijzondere expertise in de ingenieurs- en stabiliteitstechnische kant van CLT-bouw. Binnen LTS voerde hij onder meer experimenteel onderzoek uit rondom indringsnelheid van vocht bij CLT voor verschillende coatings. Bovendien doceerde Vandewyngaerde basiscursussen 'Bouwen met CLT' voor bachelorstudenten industrieel ingenieur en het NAV. Vandaag is hij mede vennoot bij RTBPlus.

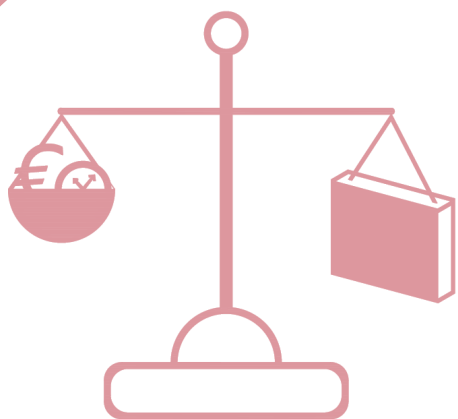
Er volgde een kort gesprek over diverse thema's rond de vochtbeheersing bij CLT-bouw zoals impregnaties en fabrieksbescherming, opslagmogelijkheden in-situ, monitoring via sensoren, het uitvoeren van vochtmetingen, verantwoordelijkheden op de bouwplaats, maar ook bouwtechnische thema's zoals de uitvoering van CLT bij platte daken.

2. Niels Desmijter

Desmijter was werkzaam als werfleider bij de montageploeg van de CLT-panelen bij het DING. Er volgden vele praktische en projectspecifieke gesprekken, maar ook inzichten over andere projecten met vochtproblematieken en het uitvoeren van vochtmetingen. Uit een passie voor houtbouw, bouwde Desmijter zelf een expertise op rond vochthuishouding bij massief houten constructies en verdiept zich in nieuwe houtbouwtechnieken zoals Lignatur houtelementen.

3. Baldwin Van Minnebruggen

Van Minnebruggen is projectingenieur bij Woema, een aannemer gespecialiseerd in houtmassiefbouw. Zijn achtergrond als schrijnwerker en industrieel ingenieur, gecombineerd met eerdere ervaring als arbeider bij Woema, stelt hem in staat om werkvloerinzichten te vertalen naar aangepaste communicatie en beschermingsmaatregelen voor CLT. Tijdens een sitebezoek aan een project met CLT-tussenvloeren werd ingegaan op Woema's Protection-by-Design-aanpak, met nadruk op 'co-design', systematische vochtmetingen na levering en gefaseerde uitvoering. Door zones na twee weken wind- en waterdicht te maken, werd het grootschalige project opgesplitst in beheersbare eenheden ter bevordering van vochtbeheersing.



DEEL 7

MAATSCHAPPELIJKE REFLECTIE

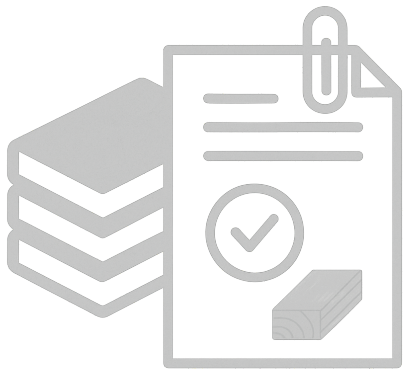
De bouwsector staat voor grote uitdagingen binnen de bredere klimaatopgave. De sector is verantwoordelijk voor een 40% van de wereldwijde CO₂-uitstoot en wordt daardoor terecht geïnvesterd in de transitie naar duurzamere maatschappelijke modellen. bio-gebaseerde materialen en circulaire bouwstrategieën winnen aan belang, en constructiesystemen zoals CLT-bouw passen binnen dat verhaal. CLT-panelen slaan CO₂ op en zijn geschikt voor een efficiënte en snelle bouwwijze. Daarmee vormen ze een duurzaam alternatief voor gangbare materialen zoals beton of staal, die net aanzienlijke hoeveelheden CO₂ uitstoten in productie.

Toch blijkt de toepassing van CLT-bouw in België voorlopig beperkt. Uit het onderzoek voor het schrijven van deze scriptie komen voor mij twee verklaringen naar voren. Ten eerste ontbreekt het aan een lokale verankering van de materiaalketen. Er is weinig Belgische bosbouw die hout oplevert geschikt voor CLT-productie, waardoor zowel het materiaal, productie- en verwerkingskennis, maar ook de expertise hoe te bouwen met CLT uit het buitenland moet komen. Dat maakt CLT-projecten al voor drie cruciale posten afhankelijk van buitenlandse actoren, wat de opbouw van lokale expertise bemoeilijkt. Toch zijn stilaan er bewegingen merkbaar: er wordt in de buurlanden onderzocht hoe lokaal hout kan worden ingezet als constructiehout en er ontstaan initiatieven rond circulair CLT (C-CLT), al blijft dit voorlopig beperkt tot pilootprojecten en onderzoeksinitiatieven.

Een tweede, meer doorslaggevende, remmende factor is het beperkte vertrouwen maar vooral de geringe kennis en ervaring met houtmassiefbouw binnen de Belgische bouwcultuur. De kennis over CLT is vaak versnipperd en reikt zelden tot in de diepte. Thema's zoals detaillering, vochtthuishouding en werforganisatie krijgen in veel (professionele) opleidingen of bouwpraktijken slechts beperkt aandacht. Dat vormt een risico, want net deze aspecten zijn bepalend voor het welslagen van een CLT-project binnen ons klimaat. De bouwsector kan zich bij dit constructiesysteem minder veroorloven om al doende te leren. Kortom: het vraagt om meer bewustwording en bijscholing bij ontwerpers, aannemers en ingenieurs.

Deze thesis probeerde daartoe een bijdrage te leveren door theoretische onderzoekskennis over vochtbeheersing bij CLT-bouw toegankelijk te maken, te koppelen aan praktijkervaringen en te vertalen naar bruikbare hulpmiddelen. De risico-analysetool en de inleiding tot het vochtbeheersplan zijn daarbij bedoeld als stappen richting een meer systematische en robuuste toepassing van CLT in België. Dat gebeurt vanuit een eigen sterke overtuiging dat ook voor België CLT bouwtechnisch potentieel biedt en (opnieuw) naast de meer vertrouwde bouwmethoden kan gaan staan, mits het correct wordt ingezet en beschermd in zowel ontwerp als uitvoering. Voorbeelden zoals het Design Museum in Gent tonen aan dat het mogelijk is om ook in een vochtig, hoogstedelijk Belgisch klimaat kwaliteitsvolle CLT-projecten te realiseren.

Om CLT-bouw echt te verankeren in de Belgische context, zijn beleidsmaatregelen zoals CO₂-heffingen of subsidiestelsels niet voldoende. De kern van de vooruitgang ligt mijns inziens ook bij scholing: niet alleen bij professionals via beroepsverenigingen, maar evenzeer binnen de opleidingen architectuur en ingenieurswetenschappen. Waar beton- en staalstructuren diepgaand aan bod komen, blijft hout vaak onderbelicht. In landen als Finland en Duitsland – waar ik zelf ervaring kon en zal opdoen – bestaan gespecialiseerde richtingen en vakgroepen die jonge ontwerpers en ingenieurs opleiden tot houtbouwexperten. Ook in België is zo'n structurele kennisopbouw noodzakelijk, willen we de voordelen van dat geprefabriceerd bouwen met CLT ten volle benutten. Er blijkt echter wel steeds meer animo onder jonge professionals en studenten voor houtbouw, waar stelselmatig naar geluisterd wordt door bijvoorbeeld hervormingen van opleidingen en avondscholingen. Stelselmatig zal de kennis van CLT in vochtige klimaten zich zo gelukkig verder ontwikkelen.



DEEL 8

BIBLIOGRAFIE EN ADDENDA

- 8.1. Bibliografie
- 8.2. Addendum: praktijkgids
- 8.3. Bijlagen

8.1. Bibliografie

- Alsmarker, T., & Arkemi, A. (2024). *Guide to CLT in the early stages*. Swedish Wood. www.swedishwood.com.
- ASBP. (2018). *Case Study - Highpoint Terrace*. The Alliance for Sustainable Building Projects. <https://asbp.org.uk/case-studies/highpoint-terrace>
- ASHRAE/ANSI. (2021). *ANSI/ASHRAE Standard 160-2021: Criteria for moisture-control design analysis in buildings*.
- Azhar, S. (2011). *Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry* (Vol. 11, Nummer 3).
- Binderholz. (2024). *Binderholz CLT BBS - Products*. <https://www.binderholz.com/en-us/products/clt-bbs/>
- Blocken, B., & Carmeliet, J. (2004). A review of wind-driven rain research in building science. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 92(13), 1079–1130. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2004.06.003>
- Blommaert, A., Steeman, M., & Van Den Bossche, N. (2025). Modeling Moisture Accumulation and Decay Potential in Cross-Laminated Timber Wall Assemblies Exposed During the Construction Phase. *Buildings*, 15(7). <https://doi.org/10.3390/buildings15071075>
- Bolmsvik, A., Eriksson, O., Tengberg, C. S., & Johansson, P. (2023). Weather protection at the construction site: Work environment and conditions for moisture and mould growth on massive timber. *Journal of Physics: Conference Series*, 2654(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2654/1/012042>
- Brandner, R., Flatscher, G., Ringhofer, A., Schickhofer, G., & Thiel, A. (2016). *Cross Laminated Timber (CLT): Overview and Development*. (Vol. 74). European Journal of Wood and Wood Products.
- Brimblecombe, P., & Richards, J. (2023). Köppen climates and Scheffer index as indicators of timber risk in Europe (1901–2020). *Heritage Science*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s40494-023-00992-7>
- Brischke, C., Niklewski, J., & van Niekerk, P. B. (2021). Estimating the service life of timber structures concerning risk and influence of fungal decay—A review of existing theory and modelling approaches. In *Forests* (Vol. 12, Nummer 5). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/f12050588>
- Buildwise. (2022). CLT-constructies: essentiële punten om in acht te nemen (Buildwise contact september-oktober 2022). *Buildwise contact*.
- Buildwise. (2023). *Fasering in de bouw*.
- Caldwell, M. (2024). *Moisture management during construction*. www.timberdevelopment.uk
- Caldwell, M. (2025, april 2). *Moisture Management During Construction: as viewed from a designers' perspective*. University of Bath.

- Cappellazzi, J., Konkler, M. J., Sinha, A., & Morrell, J. J. (2020). Potential for decay in mass timber elements: A review of the risks and identifying possible solutions. In *Wood Material Science and Engineering* (Vol. 15, Nummer 6, pp. 351-360). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/17480272.2020.1720804>
- Carll, C. G. (2009). *Decay Hazard (Scheffer) Index Values Calculated from 1971-2000 Climate Normal Data*. www.fpl.fs.fed.us.
- CEN. (2002a). *EN 13183-2:2002, Moisture content of a piece of sawn timber - Part 2: Estimation by electrical resistance method*.
- CEN. (2002b). *EN1990:2002: Basis of structural design*.
- CEN. (2005). *EN 13183-3:2005, Moisture content of a piece of sawn timber - Part 3: Estimation by capacitance method*.
- Chiniforush, A. A., Valipour, H., & Akbarnezhad, A. (2019). Water vapor diffusivity of engineered wood: Effect of temperature and moisture content. *Construction and Building Materials*, 224, 1040-1055. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.08.013>
- Clausen, C. A., & Yang, V. (2007). Protecting wood from mould, decay, and termites with multi-component biocide systems. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 59(1), 20-24. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2005.07.005>
- Clifford, N. (2025a). *Ways to simplify moisture-mitigation for key risk-areas in CLT Buildings*.
- Clifford, N. (2025b, maart 10). *Mass Timber Construction Challenges and Insurance Perspectives*. Mass Timber Moisture Club.
- Clifford, N. (2025c, april 2). *Mass Timber & Moisture: Managing & Monitoring Moisture for CLT Projects*. TIAS(UK).
- Cornick, S., & Alan Dalgliesh, W. (2003). A moisture Index to Characterize Climates for Building Envelope Design. *Journal of Thermal Envelope and Building Science*, 27(2), 151-178. <https://doi.org/10.1177/109719603036210>
- De Ligne, L. (2021). *Fungal susceptibility of Bio-based Building materials*. Ghent University.
- De Schutter, G. (2023). *Betontechnologie*. Universiteit Gent.
- De Vos, J., Blommaert, A., & Van Den Bossche, N. (2020). *Current Topics and Trends on Durability of Building Materials and Components*.
- De Vree, J. (2017). *Dampdiffusie en dampdiffusieweerstand*. <https://www.joostdevree.nl/shtmls/dampdiffusie.shtml>
- De Vree, J. (2019). *Dampopen bouwen*. https://www.joostdevree.nl/shtmls/dampopen_bouwen.shtml
- De Vree, J. (2025). *warmtegeleidingscoëfficiënt λ* . <https://www.joostdevree.nl/shtmls/warmtegeleidingscoefficient.shtml>
- Deloz, M., & Casteleyn, L. (2022). *STL Standaard Taken Lijst (NL) Toelichting*.

- Dietsch, P., Franke, S., Franke, B., Gamper, A., & Winter, S. (2016). *Methods to determine wood moisture content and their applicability in monitoring concepts*.
- Dillen, M., Masschelein, H., Bosschem, J., & Baetens, K. (2016). *Werken in Bouwteam: een innovatief bouwproces*.
- Douglas, B., & Karacabeyli, E. (2013). *CLT: Cross Laminated Handbook, US edition* (US Edition). www.awc.org
- Eastman, C. M. . (2012). *BIM Handbook : a Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*. Wiley.
- EcoTraject. (2016). *Isolatatiematerialen algemeen*.
- ETA Danmark A/S. (2014). *Europäische Technische Bewertung ETA-14/0160*.
- Eurban. (2018). *Highpoint Terrace*. <https://www.eurban.co.uk/project/highpoint-terrace/>
- Eurban. (2025). *Timber Engineering and BIM - Benefits of BIM* . <https://www.eurban.co.uk/industry-insights/timber-engineering-and-bim-2/>
- European Waterproofing Association AISBL. (2021). *Review of Durability of Bitumen Waterproofing*.
- Federale Overheidsdienst Binnenlandse zaken. (1994). *Koninklijk besluit van 7 juli 1994 tot vaststelling van de basisnormen voor de preventie van brand en ontploffing waaraan de gebouwen moeten voldoen*.
- Finch, G. (2022, april 5). *Mass Timber Moisture Management Planning*. RDH.
- Flexeder, N., & Schenk, M. (2022). *Moisture Monitoring Techniques for the Protection of Timber Structures*. <https://doi.org/10.14459/2022md1687361>
- Forest & Wood Products Australia. (2022, juli 21). *Advocating The Environmental Benefits of Timber in Construction* [Broadcast]. <https://fwpa.com.au/podcast/ep-05-advocating-the-environmental-benefits-of-timber-in-construction/>
- Forsén, H., & Tarvainen, V. (2000). *Accuracy and functionality of hand held wood moisture content meters*.
- Gagnon, S., & Karacabeyli, E. (2019). *Canadian CLT Handbook - 2019 Edition* (Karacabeyli Erol & Gagnon Sylvain, Red.; Vols. 1 & 2). FPIInnovations. <https://web.fpinnovations.ca/clt/>
- Gard, W. F., Ehmcke, G., & van de Kuilen, J.-W. (2024). *Lecture on Durability of timber (and timber structures)*.
- Gaspari, A., Giongo, I., & Piazza, M. (2020). A Risk-Based Approach for Quantifying Durability and Life-Expectancy of the Wall-Foundation Construction Detail in Timber Buildings. *Current Topics and Trends on Durability of Building Materials and Components - Proceedings of the 15th International Conference on Durability of Building Materials and Components, DBMC 2020, 1877-1884*. <https://doi.org/10.23967/dbmc.2020.004>
- Gaspari, A., Giongo, I., & Piazza, M. (2021). A risk-based approach for timber building decay prediction. *Procedia Structural Integrity*, 37(C), 811-819. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2022.02.013>

- Geodiode. (2025). *The Köppen-Geiger Climate Classification System*. <https://360.org/koppen-classification/>
- Gustafsson, A. (2019). *The CLT Handbook - CLT structures, facts and planning*. Swedish Wood. www.traguiden.se,
- Habtie, K. (2022). *Hygrothermal behaviour of CLT: investigation of moisture tolerance through experiments and simulations*. Ghent University.
- Hall, S. (2020, juli 6). *Cross Laminated Timber (CLT) for Passive Houses*. Renew.
- Hansen, E., Fernando, S., Schwarzmann, G., Rainer, J., Abdouli, M., De Amicis, R., Geisel, J., Gitt, N., Igarashi, T., Jahan, M., Orskaug, T., Riggio, M., & Muszynski, L. (2017). *Insights into the Global Cross-Laminated Timber Industry*. <https://doi.org/10.22382/bpb-2017-008>
- Hazleden, D. G., & Morris, P. I. (1999). *Designing for Durable Wood Construction: the 4Ds*.
- Hershfield, M. (1992). *Moisture in Canadian Wood Frame House Construction*.
- Hershfield, M. (1994). *A study of the rainscreen concept applied to cladding systems on wood frame walls*.
- HoutInfoBois. (2022). *Toestand van de Houtbouw in België 2011-2022*.
- HoutInfoBois. (2024). *Toestand van de houtbouw in België 2011-2024*. 13-14.
- Hovde, P. J. (2002). *The Factor Method For Service Life Prediction From Theoretical Evaluation To Practical Implementation*.
- Hukka, A., & Viitanen, H. A. (1999). A mathematical model of mould growth on wooden material. In *Wood Science and Technology* (Vol. 33). Springer-Verlag.
- Hurmekoski, E. (2017). *How can wood construction reduce environmental degradation?*
- Hyams, A., Watts, S., & Sweet, J. (2020, juli 30). *Cost model: CLT frame buildings*. Building. <https://www.building.co.uk/cost-model-clt-frame-buildings/5107248.article>
- Imamura, F. B. T., Chen, Y., Deng, L., & Chui, Y. H. (2024). Moisture and mould growth risk of cross-laminated timber basement walls: Laboratory and field investigation. *Construction and Building Materials*, 428. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136150>
- INBO. (2021). *Cross Laminated Timber - Handleiding voor Architecten en Bouwkundigen*. INBO. www.inbo.com
- ISO. (2011). *ISO15686-1:2011: Buildings and constructed assets - Service Life Planning - Part 1: General principles and Framework*.
- IStructE. (2017). *Construction Innovation: TallWood House, Winner for the award of Construction Innovation*. <https://www.istructe.org/structural-awards/projects/2017/tallwood-house-at-brock-commons/>
- Jabre, L. (2024). A partir de quand les bâtiments publics devront-ils intégrer des matériaux biosourcés ou bas carbone? *La Gazette*. <https://www.lagazettedescommunes.com/918268/a-partir-de-quand-les->

batiments-publics-devront-ils-integrer-des-materiaux-biosources-ou-bas-carbone/?utm_source=chatgpt.com

- Janssens, A. (2022a). *Vochtbeheersing in Gebouwen: transport van waterdamp*.
- Janssens, A. (2022b, september 30). *Stationaire Warmtegeleiding en de Wetten van Fourier*. Universiteit Gent.
- Janssens, A. (2022c, november 18). *Vochtbeheersing in gebouwen: Vocht- en ventilatiebalans; Beheersing van oppervlaktecondensatie en schimmel*.
- Johns, D., Richman, R., & Lawrence, C. (2024). Assessing the effectiveness of cross-laminated timber (CLT) roof assembly moisture control and mitigation strategies: A field laboratory. *Construction and Building Materials*, 457. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.139409>
- Kalbe, K., Kalamees, T., Kuk, V., Ruus, A., & Annuk, A. (2022a). Wetting circumstances, expected moisture content, and drying performance of CLT end-grain edges based on field measurements and laboratory analysis. *Building and Environment*, 221. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109245>
- Kalbe, K., Kalamees, T., Kuk, V., Ruus, A., & Annuk, A. (2022b). Wetting circumstances, expected moisture content, and drying performance of CLT end-grain edges based on field measurements and laboratory analysis. *Building and Environment*, 221. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109245>
- Kalbe, K., Kuk, V., & Kalamees, T. (2020). *Identification and improvement of critical joints in CLT construction without weather protection*. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/2020172>
- Kalbe, K., Kuk, V., & Kalamees, T. (2023). Influence of CLT Wetting During the Construction Phase on the Crack Formation and Air Leakages in the CLT. *AIP Conference Proceedings*, 2918(1). <https://doi.org/10.1063/5.0171342>
- Kalbe, K., Pärn, R., Ruus, A., & Kalamees, T. (2024). Enhancing CLT construction - Hygrothermal modelling, novel performance criterion, and strategies for end-grain moisture safety. *Journal of Building Engineering*, 98. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.111411>
- Karacabeyli, E., & Lum, C. (2022). *Technical Guide for the Design and Construction of Tall Wood Buildings in Canada Special Publication SP-543E*.
- Kellgren, L. V., Seeberg, A. C., Hagle, D., Øvregård, J., & Rasmussen, J. (2023). A moisture management strategy for CLT using sensor technology to create a robust Norwegian school. *13th World Conference on Timber Engineering, WCTE 2023*, 6, 3868-3873. <https://doi.org/10.52202/069179-0503>
- Kiiski, V. (2023). *Moisture control in mass timber construction projects*. Aalto University.
- KLH. (2024). *Protective Coatings and Surface Refinement*. KLH.
- Koch & Schulte. (2022). *LignoPro 851 CLT-Varnish UV*.
- Koninklijk Meteorologisch Instituut (KMI). (2024). *Het Belgisch klimaat*. <https://www.meteo.be/nl/klimaat/klimaat-van-belgie/het-belgische-klimaat-maand-na-maand/algemeen>

- Kukk, V., Bella, A., Kers, J., & Kalamees, T. (2021). Airtightness of cross-laminated timber envelopes: Influence of moisture content, indoor humidity, orientation, and assembly. *Journal of Building Engineering*, 44. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102610>
- Kukk, V., Kalamees, T., & Kers, J. (2019). The effects of production technologies on the air permeability and crack development of cross-laminated timber. *Journal of Building Physics*, 43(3), 171–186. <https://doi.org/10.1177/1744259119866869>
- Kukk, V., Kaljula, L., Kers, J., & Kalamees, T. (2022). Designing highly insulated cross-laminated timber external walls in terms of hygrothermal performance: Field measurements and simulations. *Building and Environment*, 212. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108805>
- Kwak, S. G., & Kim, J. H. (2017). Central limit theorem: The cornerstone of modern statistics. *Korean Journal of Anesthesiology*, 70(2), 144–156. <https://doi.org/10.4097/kjae.2017.70.2.144>
- Laminated Timber Solutions. (2019). *Ontwerpen met CLT*. www.laminatedtimbersolutions.be
- Laminated Timber Solutions. (2024). *Hoe sterk is CLT?* <https://www.laminatedtimbersolutions.be/nl/veelgestelde-vragen/hoe-sterk-is-clt>
- Laporte, K. (2023). *De Nieuwe Vleugel: DING*. <https://www.designmuseumgent.be/ding>
- Laverge, J. (2024). *De Architectenwet*.
- Lepage, R. (2012). *Moisture responses of wall assemblies of cross-laminated timber construction in cold climates*. University of Waterloo.
- Lima, D. F., Duarte, S., Branco, J. M., & Nunes, L. (2024). Mass Timber Buildings: The associated risks of rainwater exposure during construction in the Portuguese climate. *Journal of Building Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.111110>
- Liu, J., Yue, K., Xu, L., Wu, J., Chen, Z., Wang, L., Liu, W., & Lu, W. (2020). Bonding performance of melamine-urea-formaldehyde and phenol-resorcinol-formaldehyde adhesive glulams at elevated temperatures. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 98. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2019.102500>
- Loss, C., Hossain, A., & Tannert, T. (2018). Simple cross-laminated timber shear connections with spatially arranged screws. *Engineering Structures*, 173, 340–356. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.07.004>
- Lstiburek, J. (2010). *The perfect wall*.
- Lund University of Technology. (2013). *Industry standard-ByggaF 1 (translation)*.
- MacLeamy, P. (2004). *Collaboration, Integrated Information and the Project Lifecycle in Building Design, Construction and Operation*.
- Maeyaert, S. (2025, mei 7). *Het bouwteam: Samen bouwen aan iets moois*. Furnibo NV.
- Marranzini, D., Iovane, G., Cascini, L., Landolfo, R., Nicolella, M., & Faggiano, B. (2023). A methodology for the service life estimation of timber structures. *Life-Cycle of Structures and Infrastructure Systems - Proceedings of the 8th International*

Symposium on Life-Cycle Civil Engineering, IALCCE 2023, 3793-3799.
<https://doi.org/10.1201/9781003323020-465>

- McClung, R., Ge, H., Straube, J., & Wang, J. (2014). Hygrothermal performance of cross-laminated timber wall assemblies with built-in moisture: Field measurements and simulations. *Building and Environment*, 71, 95-110.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.09.008>
- McClung, V. R. (z.d.). *Digital Commons @ Ryerson Field Study of Hygrothermal Performance of Cross-Laminated Timber Wall Assemblies with Built-In Moisture*.
<http://digitalcommons.ryerson.ca/dissertations>
- Michaux, B. (2022). CLT-constructies: essentiële punten om in acht te nemen. *WTCB Contact*.
- Michiels, J., & Debie, W. (2024). *Vochtgehalten in CLT-constructies tijdens werffase: Casestudie naar de identificatie en analyse van kritische punten*. Ghent University.
- Mjörnell, K., & Gustavsson, T. (2019). *ByggaF - A Method to Include Moisture Safety in the Construction Process*.
- Mjörnell, K., & Olsson, L. (2019). Moisture Safety of Wooden Buildings-Design, Construction and Operation. *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering*, 1(24), 29-35. <https://doi.org/10.5755/j01.sace.24.1.22341>
- Morris, P. I. (2000). *Understanding Biodeterioration of Wood in Structures*.
- National Research Council of Canada. (2021). *Characterization of hygrothermal properties of CLT: Report to FPInnovations*.
- Netwerk Architecten Vlaanderen. (2024, november 8). *De toekomst van de architectenwet*.
- Nguyen, L. (2022). *Digital optimisation workflow in early project phases and what it can bring when looking at the MacLeamy curve*.
- Oliveira, G. L., De Oliveira, F. L., & Brazolin, S. (2018). Wood preservation for preventing biodeterioration of Cross Laminated Timber (CLT) panels assembled in tropical locations. *Procedia Structural Integrity*, 11, 242-249.
<https://doi.org/10.1016/j.prostr.2018.11.032>
- Olsson, L. (2020). *Moisture safety in CLT construction without weather protection-Case studies, literature review and interviews*. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/2020172>
- Olsson, L. (2021). CLT construction without weather protection requires extensive moisture control. *Journal of Building Physics*, 45(1), 5-35.
<https://doi.org/10.1177/1744259121996388>
- Optoppen.org. (2024). *Germany Policies: City Policies for wood construction*.
<https://www.optoppen.org/country-policies/germany#:~:text=400km%20from%20Freiburg,-,Hamburg,new%2C%20non%2Dresidential%20buildings>.
- Passive House Institute. (2024). *Passive House Requirements*.
https://passiv.de/en/02_informations/02_passive-house-requirements/02_passive-house-requirements.htm?utm_source=chatgpt.com

- Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(5), 1633-1644. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
- Peralta, P. N. (2001). Wood: Diffusion and Permeability. In *Encyclopedia of Materials: Science and Technology* (Second Edition, pp. 9622-9626). North Carolina State University.
- Polspoel, W., Bylemans, H., Jacobs, I., & Geerts, F. (2024, augustus 19). *Houtconnect | Bouwen met hout: waarom en waarop moet je letten?* . https://www.circubuild.be/nl/podcasts/bouwen-met-hout-waarom-en-waarop-moet-je-letten/?utm_source=newsletter&utm_campaign=20241001_NL
- Present, P. (2022, oktober 7). *BIM Intro and Revit Basics*. University Ghent.
- Pro Clima. (2025a). *Solitex Adhero 3000 Technical Data Sheet*.
- Pro Clima. (2025b). *Verwerkingsaanwijzingen Solitex Adhero 3000*.
- Pröbel, J., & Alsmarker, T. (2022). *Moisture-proof CLT construction without a full temporary shelter*. www.traguiden.se,
- Ranefjärd, O. (2024). *Investigating Bio-Based Insulation*. Lund University.
- RDH Building Science. (2021a). *Mass Timber Building Enclosure Best Practice Design Guide - A guide for designers, construction professionals, and building developers*.
- RDH Building Science. (2021b). *Moisture Risk Management Strategies for Mass Timber Buildings - A guide for designers, construction professionals, and building developers*.
- Rijksoverheid Nederland. (2024). *CO2-heffing voor industrie* . <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/co2-heffing-voor-industrie>
- Rothoblaas. (2025). *VGU 45° Washer for VGS | Technical Sheet*. <https://www.rothoblaas.com/products/fastening/screws/vgu>
- Rubel, F., & Kotteck, M. (2010). *Observed and projected climate shifts 1901-2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification*. University of Veterinary Medicine Vienna. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2010/0430>.
- Sanna, F. (2018). *Timber modern methods of construction: a comparative study*.
- Scheffer, T. (1971). A Climate Index for Estimating Potential for Decay in Wood Structures Above Ground. In *FOREST PRODUCTS JOURNAL* (Vol. 21, Nummer 10).
- Schmidt, E. L., Riggio, M., Barbosa, A. R., & Mugabo, I. (2019). Environmental response of a CLT floor panel: Lessons for moisture management and monitoring of mass timber buildings. In *Building and Environment*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.11.038>
- Schmidt, E., & Riggio, M. (2019). Monitoring moisture performance of cross-laminated timber building elements during construction. *Buildings*, 9(6). <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS9060144>

- SDG21. (2024). *Hamburg Timber Construction Subsidy Increased*.
<https://sdg21.eu/en/blog/hamburger-holzbauforderung-erhoeht>
- Setliff, E. C. (1987). *Wood Decay Hazard in Canada Based on Scheffer's Climate Index Formula*.
- Shane, C. (2024, juli). *Mass Timber Moisture Management*. RDH.
- Siau, J. F. (1984). *Transport processes in wood*. Springer-Verlag.
- SIGA. (2025). *SIGA Wetguard Technical Data Sheet*.
- Siga Swiss. (2020a). *SIGA Swiss: Airtightness Checklist*.
- Siga Swiss. (2020b, januari 21). *The Ultimate Guide to Nearly Zero Energy Buildings*.
- SIGA Swiss. (2024). *Technical Guide: Weatherproofing and Airtightness for Mass Timber - Protect building materials from the weather and deliver an airtight construction*. Siga Swiss.
- Sihga. (2016, januari 29). *Sihga Pick* [Broadcast].
<https://www.youtube.com/watch?v=TAesz3iuxpA>
- Sihga. (2022). *Sihga Pick Technical Data Sheet*.
- Sihga. (2023). *IdeFix® DWD TECHNISCHE DATENBLATT*. www.sihga.com
- Silva, A., & Prieto, A. J. (2021). *Modelling the service life of timber claddings using the factor method* (Vol. 37, Nummer 102137). Build. Eng. .
- Skaar, C. (1988). *Wood-water relations*. Springer-Verlag.
- Skogstad, H. B., Gullbrekken, L., & Nore, K. (2011). *Air leakages through cross laminated timber (CLT) constructions*.
- Stabilame. (2017). *Houten bouwsystemen*.
- Stamm, A. J. (1964). *Wood and cellulose science*. Ronald Press.
- Stora Enso. (2020). *CLT by Stora Enso: Construction*.
- Stora Enso. (2024). *Stora Enso Locations*. <https://www.storaenso.com/en/about-stora-enso/stora-enso-locations>
- Structural Timber Association. (2017). *Robustness of CLT structures - Key principles for moisture durability*.
- Structural Timber Association. (2022). *Moisture management strategy: Process guidance for structural timber building*.
- Svensson Tengberg, C., & Hagentoft, C.-E. (2020). *Relying on reference cases when evaluating new technical solutions? Evaluation of technical documentation in a case study; Relying on reference cases when evaluating new technical solutions? Evaluation of technical documentation in a case study*.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/2020172>
- Technical University of Graz. (2014). *Air Permeability Test on a Test Object in Accordance with ÖNORM EN 10026 and ONORM EN 12114*. Technical University of Graz.

- Tector. (2024). *Detect Moisture to protect buildings & budgets: Tested and proven sensor created for long battery life.*
- Tector. (2025). *Proactive moisture detection for sustainable, durable buildings.* <https://www.tector.com/solution>
- Tengberg, C. S., & Bolmsvik. (2021). Impact on a CLT structure concerning moisture and mould growth using weather protection. *Journal of Physics: Conference Series*, 2069. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2069/1/012017>
- Tengberg, C. S., & Hagentoft, C. E. (2021). Risk assessment framework to avoid serial failure for new technical solutions applied to the construction of a clt structure resilient to climate. *Buildings*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/buildings11060247>
- Time, B. (2020). *Climate adaptation of wooden Buildings - Risk reduction by moisture control.*
- Time, B., Andenæs, E., Karlsen, T., Geving, S., & Kvande, T. (2023). Moisture safety strategy for construction of CLT structures in a coastal Nordic climate. *Journal of Physics: Conference Series*, 2654(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2654/1/012041>
- TNO. (2024, juni 27). *TNO en The Urban Woods zetten met primeur belangrijke stap richting bouwen met circulaire materialen.* <https://www.tno.nl/nl/newsroom/insights/2024/06/circulaire-bouwmaterialen/>
- Udele, K., Ayanleye, S., Nasir, V., Zhang, X., & Militz, H. (2022). Durability and protection of mass timber structures: A review. *Build. Eng.*, 46.
- University of British Columbia. (2018). *Case Study: Brock Commons Tallwood House—Design and Preconstruction Overview.*
- University of British Columbia. (2024). *Case Study: Brock Commons Tallwood House—Construction Overview.*
- US Department of Agriculture. (2010). *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material* (Centennial Edition). www.fpl.fs.fed.us.
- Van Acker, J., Xiuping, J., Durimel, M., De Ligne, L., & Van den Bulcke, J. (2021). Combining wood protection options to enhance resistance against decay and improve fire safety of Engineered wood products like CLT. In *PloS One* (Vol. 136, Nummer 3).
- Van De Kuilen, J.-W., & Gard, W. (2023, mei 26). *Lecture on Service Life Prediction Models for Timber Structures.* Technische Universität München, TU Delft.
- Van de Kuilen, J.-W., Gard, W. F., & Ehmcke, G. (2024, juni 10). *Timber in Construction: Lecture on Durability Durability of timber (and timber structures).* TU München, TU Delft.
- Viitanen, H., & Ritschkoff, A.-C. (1991). *Mould Growth in Pine and Spruce Sapwood in Relation to Air Humidity and Temperature.* Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Products.
- Viitanen, H., Toratti, T., Makkonen, L., Peuhkuri, R., Ojanen, T., Ruokolainen, L., & Räisänen, J. (2010). Towards modelling of decay risk of wooden materials. *European Journal of Wood and Wood Products*, 68(3), 303-313. <https://doi.org/10.1007/s00107-010-0450-x>

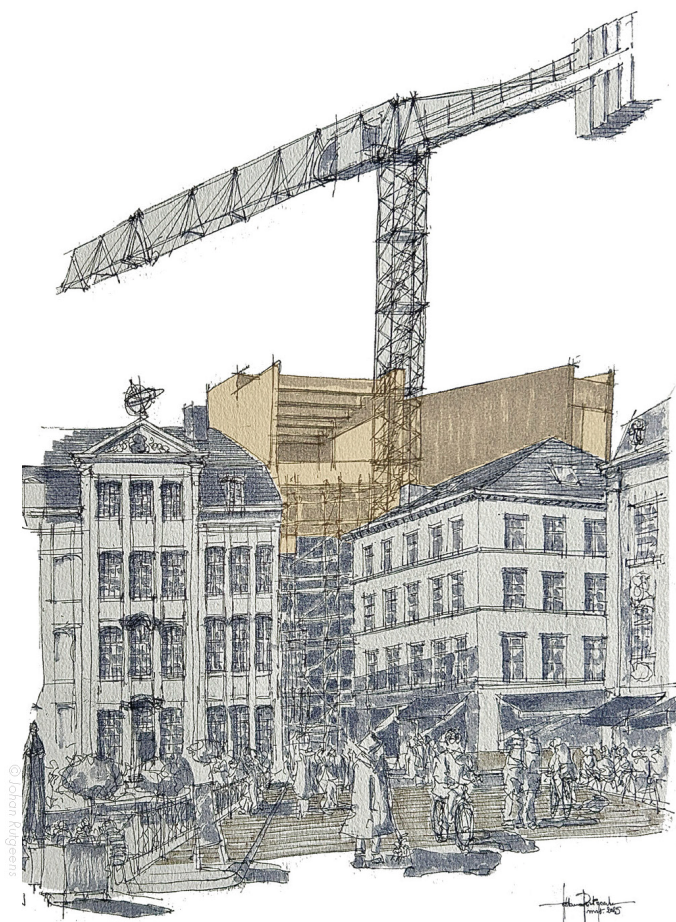
- Vlaamse Overheid. (2025). *Luchtdichtheid: geldend voor alle bouwaanvragen*. EPD-pedia. <https://www.vlaanderen.be/epb-pedia/gebouw/luchtdichtheid>
- Vlaamse overheid. (2025). *Luchtdichtheid, geldig voor alle bouwaanvragen*. <https://www.vlaanderen.be/epb-pedia/gebouw/luchtdichtheid>
- Wang, J. (2016a). *Guide for On-site Moisture Management of Wood Construction*. www.fpinnovations.ca.
- Wang, J. (2016b). *On-Site Moisture Management of Wood Construction*.
- Wang, J., & Morris, P. I. (2008). *Effect of Climate Change on Above-Ground Decay Hazard for Wood Product According to the Scheffer Index*.
- Wang Jieying. (2020). *Construction Moisture Management - Cross Laminated Timber*. www.fpinnovations.ca
- Waugh Thistleton Architects. (2018). *UK CLT Handbook*.
- WoodWorks, & Wood Products Council. (2022). *US Mass Timber Construction Manual* (First Edition). <https://www.woodworks.org/mt-construction->
- WTCB. (2006). *TV 229 Groendaken*.
- WTCB. (2014). *ETICS op houtskeletbouw*. *WTCB Contact* 2014/4.
- WTCB. (2015). *TV 255 Luchtdichtheid van gebouwen*.
- WTCB. (2022). *TV 280 Het platte dak (herziening van de TV 215)*.
- Yoo, J., Chang, S. J., Yang, S., Wi, S., Kim, Y. U., & Kim, S. (2021). Performance of the hygrothermal behavior of the CLT wall using different types of insulation; XPS, PF board and glass wool. *Case Studies in Thermal Engineering*, 24. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.100846>

8.2. Addendum: Vochtbeheersingsgids

*Compacte A5-formaat bijlage
Gericht naar de bouwpraktijk*

*Bevat behapbare handvaten, concepten en vuistregels
voor het ontwerp- en bouwproces met CLT in het vochtige Belgische klimaat*

<https://zenodo.org/records/15333140>



VOCHTBEHEERSINGSGIDS

Tomas De Landsheer

2024-2025

Addendum aan een bredere masterscriptie:

Bouwen met CLT: een analyse voor een Best-Practice ontwerp- en bouwpraktijk

BOUWEN MET
CROSS-LAMINATED TIMBER

INHOUD

1. CLT & VOCHTGEVOELIGHEID	1
1.1. Cross-laminated Timber	1
1.2. Voordelen met CLT-bouw	1
1.3. Uitdagingen voor CLT-bouw	2
1.4. Hygisch gedrag van CLT	2
1.5. Vocht als ingrediënt voor houtaantasting	3
2. CLT-BOUWEN IN BELGIË	4
2.1. Klimatologische ligging	4
2.2. Belgisch bouwklimaat	5
2.3. Probleemstelling	6
3. BEST-PRACTICE: ONTWERP	7
3.1. (Vocht)Bewust ontwerproces	7
3.2. Vochthuishouding in de gebouwschil	9
3.3. Vochtbeheersingsprincipes bij standaardopbouwen	17
3.4. Detaillering en aansluitingsprincipes	24
4. BEST-PRACTICE: VOCHTBEHEERSPLAN ALS SLEUTEL	35
4.1. Vochtbeheersplan als werkinstrument	35
4.2. Aanbevolen inhoud	35
5. BEST-PRACTICE: UITVOERING	37
5.1. Werfvoorbereiding en transport	37
5.2. Bescherming in-situ	38
5.3. Hissen en handling van panelen	40
5.4. Vochtmonitoring tijdens bouwfase	40
5.5. Maatregelen na bevochtiging	43
6. CONCLUSIE	45
7. REFERENTIES EN LITERATUUR	46

COLOFON

Auteur:	Tomas De Landsheer
Instituut:	Universiteit Gent
Achtergrond:	Deze vochtbeheersingsgids vormt een addendum aan een gelijknamige masterscriptie, ingedend tot het behalen van de academische graad van Master of Science in de ingenieurswetenschappen en architectuur: architectuurontwerp en bouwtechniek.
Begeleidingscommissie:	Prof. dr. ir.-arch. Nathan Van Den Bossche ir.-arch. Anke Blommaert
Publicatiedatum:	22/05/2025
Bijlagen:	De volledige scriptie kan, samen met digitale tools en praktijkgerichte documenten geconsulteerd worden via onderstaande link of QR-code. https://zenodo.org/records/15333140



De auteur geeft de toelating om deze publicatie voor consultatie beschikbaar te stellen en delen van de masterproef te kopiëren voor persoonlijk gebruik. Elk ander gebruik valt onder de bepalingen van het auteursrecht, in het bijzonder met betrekking tot de verplichting de bron uitdrukkelijk te vermelden bij het aanhalen van resultaten uit deze publicatie.

Deze publicatie is te goedertrouw geproduceerd en is zuiver informatief. De auteur sluit alle aansprakelijkheid uit en is niet verantwoordelijk voor enige direct, indirecte of gevolgschade die ontstaat in verband met het vertrouwen op deze publicatie.

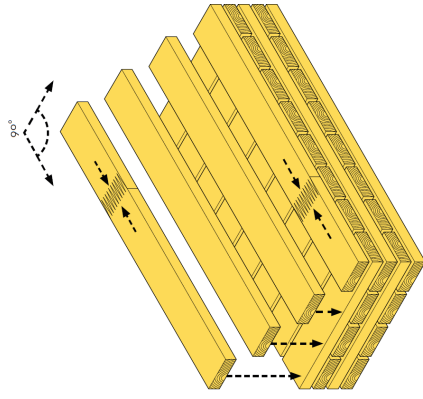
Deze masterproef vormt tevens een onderdeel van een examen. Eventuele opmerkingen die door de beoordelingscommissie tijdens de mondelinge uiteenzetting van de masterproef werden geformuleerd, werden niet verwerkt in deze publicatie.

1. CLT & VOCHTGEVOELIGHEID



1.1. Cross-Laminated Timber

Cross-laminated Timber (CLT) is een structureel **paneel** opgebouwd uit **kruislings verlijmde lagen** massief hout (lamella's), waarbij elke laag haaks op de vorige wordt gelegd. Dit zorgt voor hoge vormstabiliteit en sterkte in beide richtingen. Een paneel bestaat uit minstens drie lagen en behoort tot de familie van **Engineered Wood Products (EWP)**. Dankzij zijn maatvastheid en dragend vermogen wordt CLT breed toegepast als wand-, vloer- en dakconstructie in zowel residentiële als utilitaire gebouwen [1].



Schematische voorstelling opbouw CLT - © Waugh Thistleton Architects

1.2. Voordelen met CLT-bouw

CLT-panels kennen zowel op paneelniveau en als bouwmethodiek bijzondere voordelen:

- CLT wordt gekenmerkt door een lager eigengewicht dan zijn 'concurrerende' bouwmethoden. Dit zorgt niet enkel voor een vlottere montage, maar ook indirect voor fundering [2].
- Vanwege de kruislaagse verlijming zijn panelen bijzonder stijf en dimensioneel stabiel. Panelen kunnen daarom als diafragma werken in een structureel systeem [3].
- De geprefabriceerde aard van de panelen resulteert in een snelle en precieze montage in combinatie met een kleinere montageploeg. Dit resulteert indirect in kostenbesparingen [2,4].

- Als product van duurzaam bosbeheer staat CLT in voor een CO₂-opslag, terwijl beton- en staalproductie gigantische hoeveelheden CO₂ uitstoot [2,5].
- Onderzoek toonde aan dat leven en werken in houten gebouwen psychos- en fysiologisch welzijn van de bewoners of gebruikers stimuleren [6].

1.3. Uitdagingen voor CLT-bouw

- Er is op moment van schrijven nog geen Eurocode die het ontwerp met CLT-panelen omarmt.
- Gezien hout een natuurlijk, organisch en licht materiaal is, stelt het specifieke eisen naar brandveiligheid en akoestische prestaties [5].
- Europese CLT-panelen worden meestal gemaakt in centraal-Europa. Transport naar België knaagt aan het duurzaamheidsaspect van CLT-bouw. Bovendien zit ook de meeste expertise in deze landen [31].
- CLT is een zeer vochtgevoelig materiaal. Het neemt zeer eenvoudig vocht op, maar door zijn massieve aard houdt het dit langer vast. Dit kan uiteindelijk leiden tot structurele schade [3,7-9].

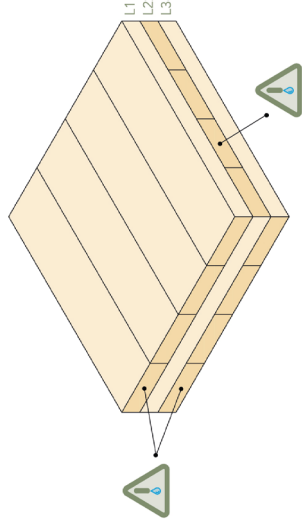
1.4. Hygrisch gedrag van CLT

Vocht nabij CLT-panelen kan diverse oorsprongen hebben: neerslag, waterdamp in de lucht, lekkages of bouwvocht. Neerslag is in het Belgische klimaat de meest significante vochtbron. Een belangrijk inzicht is dat niet zozeer de absolute neerslaghoeveelheid bepalend is voor de vochtbelasting, maar eerder de neerslagfrequentie. De tijdsverhouding tussen bevochtig- en drogingsfasen is hierin van belang [1, 10-11].

Hout is een **hygroscopisch materiaal**. Het heeft een inherent vermogen om vocht aan te trekken en op te slaan. Vochtgehalten in het hout zullen na verloop van tijd echter steeds in evenwicht zijn met de omgeving waarin het hout zich bevindt. Dit wordt het evenwichtvochtgehalte (EMC) genoemd. Veel fysische en mechanische eigenschappen van CLT zijn sterk afhankelijk van het vochtgehalte. Deze zullen het meest variabel zijn onder het vezelvezelzadigingspunt (FSP) wat, afhankelijk van de houtsoort, gemiddeld rond de 30% ligt [12-13].

Vanuit de anatomische vezelopbouw van hout zal vochtname veel significanter zijn aan de **kopse zijden** van CLT-panelen. Langa deze richting kan vocht tot wel 100 keer sneller opgenomen worden. Vochtblootstelling aan deze paneelzijden is dus sterk doorslaggevend voor het vochtgehalte van het paneel, maar ook de gevolgen bij langdurige vochtblootstelling [14-15].

Vanwege de massieve aard en kruislaagse oriëntatie van een paneel zal CLT een **bufferende reactie** vertonen: Het vochtgehalte in de buitenste lamellen kan sterk fluctueren, maar het duurt een stuk langer voordat de paneelkern op deze blootstelling zal reageren. Ook in de omgekeerde weg zal het langer duren voordat vocht in deze kern weer zal uitdrogen [16-17].



Schematische doorsnede van een driedraags CLT, met aanduiding van leeg hout.

1.5. Vocht als ingrediënt voor houtaantasting

Vochtaccumulatie in panelen kan zorgen voor verschillende schademechanismen, die steeds dras- tischer worden naarmate de structuur langer staat blootgesteld aan overmatige vochtgehaltes. Er doet zich steeds een typische **sequente** voor aan voorschrijdende schade-phenomenen [10].



HOGERE TOT LAGERE KANS VAN OPTREDEN ALS GEVOLG VAN BEVOCHTING IN WERF-FASE

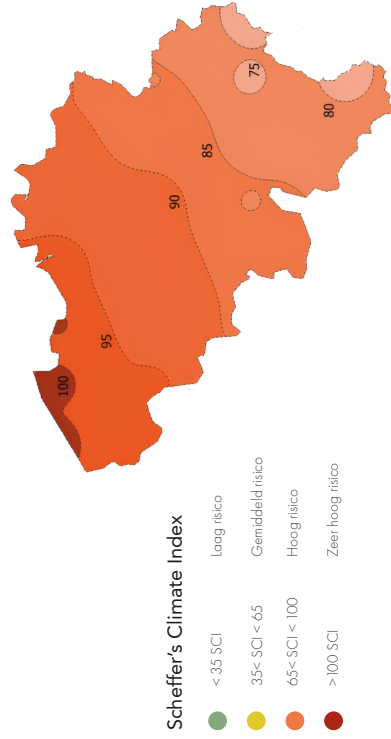


2. CLT-BOUWEN IN BELGIË

Hoewel houtskeletbouw in België veruit de meest gebruikte houtbouwmethode is in België, groeit het aandeel houtmassiebouw jaarlijks [22]. Toch blijft men in België eerder terughoudend ten opzichte van massief hout als bouw materiaal ter vervanging van een metselwerk- of betonconstructie. Veelal hoort men dat België nu eenmaal niet het juiste klimaat heeft voor houtbouw. Deze uitspraak draagt een zekere waarheid die enerzijds gegrond is vanuit zuiver klimatologische gegevens, maar ander- zijds ook in het licht van het huidige houtmassiebouwklimaat in België kan gezien worden.

2.1. Klimatologische ligging

In de bredere scriptie, horend bij deze praktijkids, wordt internationaal en divers biomateriaal met elkaar vergeleken om op die manier een Best-Practice voor te schrijven voor de Belgische CLT-bouw. Om dit te kunnen doen werd een objectieve klimaatvergelijking gemaakt aan de hand van de Scheffer's Climate Index. Dit is een score die, op basis van de buitentemperatuur en neerslagfrequentie, het relatieve risico op houtrotschimmels in kaart brengt. Waarden boven de SCI 65 staan garant voor een hoog risico op houtrot bij langdurige vochtblootstelling [23].



Het vermoeden dat België, gezien zijn klimaat, niet de meest gunstige condities biedt voor houtbouw, wordt bevestigd door de SCI-simulatie die in alle gevallen een waarde boven de 65 opleveren. Vergelijkbare regio's zijn de oostkust van de VS, de Canadese westkust, de noordkust van Australië, Ierland en het Verenigd Koninkrijk [24]. Ondanks dit verhoogd risico toont elk van deze regio's wel een uitgebouwde houtmassiebouwcultuur met referentieprojecten en bouwtechnisch onderzoek.

2.2. Belgisch bouwklimaat

België en Nederland zijn van oudsher gekenmerkt door de beschikbaarheid van klei, zand en grind via de vele rivieren. Deze mineralen vormden een toegankelijke bron voor bouwmaterialen, wat leidde tot de ontwikkeling van een sterke baksteencultuur. Later kwam ook hennip de betonbouw. België bouwde een sterke expertise uit als pionier in de gewapende betonconstructies. Ondertussen groeide België ook tot toonaangevend staalproducent.

Door het gebrek aan bosbouw voor constructiehout ontwikkelde zich hier de expertise rond houtbouw niet in die mate als de beton- en staalbouw. Hierdoor is hout als een van de 'traditionele' bouwmethoden wat op de achtergrond komen te staan. Vandaag wordt echter steeds meer teruggegrepen naar houtbouw in het licht van een duurzamer gebouwbestand. Toch heersen er onder verschillende bouwactoren diverse bezwaren rond houtbouw [5]:

Opdrachtgever

Ondanks dat een duurzaam gebouw een bouwheer kan enthousiasmeren, zal het kostenplaatje altijd de bovenhand nemen wanneer er knopen moeten worden doorgemaakt. Wanneer men zuiver de materiaalkost in rekening brengt, klopt het inderdaad dat CLT duurder is dan bijvoorbeeld metselwerk of beton. Gevolgen uit de geprefabriceerde aard of huurinkomen door snellere oplevering worden bijvoorbeeld meestal niet meegenomen.



Ontwikkelaar / Belegger / Corporaties

Hoewel de 'onzichtbare' voordelen, zoals verbeterde concentratie en welzijn in houten gebouwen, steeds meer onderzocht en bevestigd worden, blijven ontwikkelaars en private beleggers sceptisch over de waardevastheid van deze constructies. CLT wordt vaak gezien als een 'le innovatieve' oplossing die zich nog niet bewezen heeft in onze regio, wat leidt tot terughoudendheid in de implementatie ervan. Een CO₂-heffing of subsidie voor het gebruik van hout - zoals reeds toegepast in andere Europese landen - kan hierin wel een stimulans zijn.



Architect en ingenieur

Een ontwerpproces in CLT vergt vanuit zijn geprefabriceerde aard een heel andere aanpak. Hier zal het zwaartepunt van de ontwerparbeid vroeger in het proces liggen. Bovendien moeten het ontwerp ook volledig uitgewerkt zijn vooraleer de panelen besteld worden, gezien er op de bouwplaats geen veranderingen aan de panelen mogelijk zijn. Dit kan overveldig lijken. Bovendien vergt een ontwerp in CLT niet alleen verhoogde aandacht naar veiligheidsaspecten, maar tevens ook een andere aanpak rond brandveiligheid en akoestische performance.



Aannemer

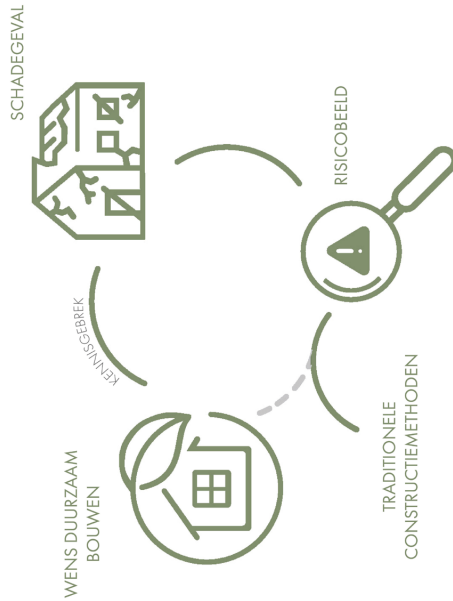
Het voornaamste bezwaar van aannemers is hun beperkte ervaring met CLT, dat als risicovol bouwstelsel wordt gezien door de kans op waterschade tijdens bouwfasen. Dit vraagt om extra beschermingsmaatregelen en specifieke technische kennis, zoals rond bouwvolgorde en vochtbeheersing. Aangezien opleidingen in België schaars zijn, blijven aannemers vaak terughoudend of rekenen ze deze risico's door in hun prijs, wat CLT-projecten duurder maakt dan 'traditionele' bouwsystemen.



2.3. Probleemstelling

Concluderend kan gesteld worden dat de bezwaren tegen houtmassiefbouw, gecombineerd met een gebrek aan beleidsmatige maatregelen en het historisch verworven kennisgebrek binnen België, een vicieuze cirkel in stand houden. Er is wel degelijk een brede wens naar een duurzaam gebouwbestand, waarbij houtmassiefbouw als een potentieel instrument wordt gezien. Het gebrek aan kennis over de juiste toepassing van dit materiaal in het vochtige klimaat resulteert echter vaak in vertragingen en/of schadegevallen. Dit kennisgebrek onder verschillende actoren leidt ertoe dat er meer negatieve nieuwskoppen verschijnen dan succesvolle referentieprojecten. Het risicobeeld rond houtmassiefbouw blijft hierdoor te groot, wat de bezwaren tegen dit type bouwmethoden in stand houdt. Bij een volgend project zullen betrokken partijen dan ook sneller terugvallen op de vertrouwde traditionele bouwmethoden, waardoor CLT in België het moeilijk blijft hebben.

Het restant van deze praktijkreis reikt de voornaamste basisprincipes aan om een vochtresistent CLT-project na te streven. Het ontwikkelen van een **VochtheersPlan (VBP)** in combinatie met een weerstandsbiedend ontwerp, zal hierin de sleutel blijken.



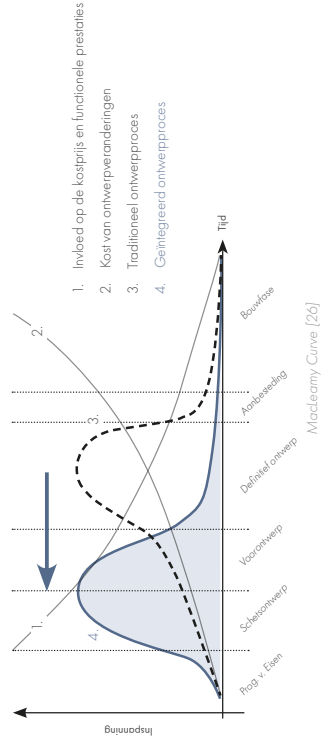


3. BEST-PRACTICE ONTWERP

3.1. (Vocht)Bewust ontwerpproces

3.1.1. Verschuiving van het tijdsfad

CLT-panelen worden beschouwd als hoogindustrieel vervaardigde producten, helgeen impliceert dat alle ontwerp- en detailspecten volledig dienen te worden **uitgewerkt vóór bestelling** en productie. Hierdoor verschuift een significant deel van de ontwerpspanning naar het vroege stadium van het project. Deze tijdsdruk wordt versterkt door de lange fabricage- en levertijden, zeker binnen de Belgische context, waar panelen meestal uit centraal Europa geleverd worden. Eventuele fouten of afwijkingen in paneelafmetingen die pas na de bestelling of tijdens de werfphase aan het licht komen, kunnen aanzienlijke financiële en operationele consequenties hebben [25].



3.1.2. Geïntegreerd ontwerpproces

Een ontwerpstrategie die zich sterk focust op geoptimaliseerde prefabricatie, modulariteit en een reductie van de assemblagetijd - en dus ook vochtblootstellingstijd - wordt benoemd als een **'Design for Manufacturing and Assembly' -strategie (DfMA)**. Dit soort ontwerp impliceert een heel andere ontwerppraktijk die op weerstand bots binnen het Belgische lineair ontwerp- en bouwproces [17].

Belgisch traditioneel ontwerpproces

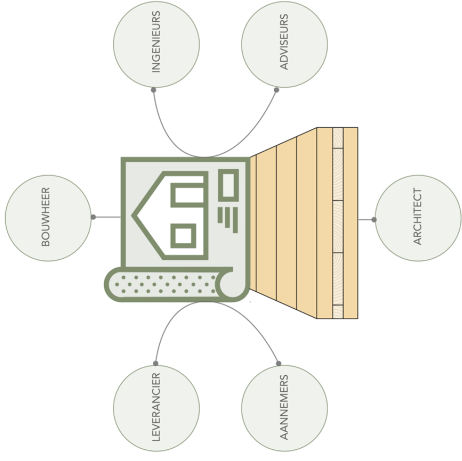
Een traditioneel Belgisch ontwerpproces is sterk gefaseerd, waarbinnen ontwerp en uitvoering strikt gescheiden blijven. Volgend op een opstellen van een programma van eisen komt het schetsontwerp, gevolgd door een voorontwerp, definitief ontwerp, bestek en aanbesteding. De architect ontwerpt een gebouw en zoekt slechts expertise bij derden op het moment dat dit écht nodig is.

De verbodering tussen dergelijke lineaire processtructuur en een DfMA-strategie is niet evident. De noodzaak om ontwerpbeslissingen aanzienlijk vroeger in het proces vast te leggen verschuift niet enkel de ontwerpspanningen naar een eerder stadium, maar verhoogt tevens de complexiteit en verantwoordelijkheden van het initiële ontwerpteam. Dit is problematisch in een Belgische bouwcontext waarin expertise in CLT nog relatief beperkt aanwezig is. Hierdoor ontstaat een paradox: enerzijds vereist een optimaal prefabricatieproces een vroege en diepgaande integratie van verschillende kennisgebieden, anderzijds biedt de traditionele Belgische bouwcultuur hier nauwelijks (kennis)ruimte voor. In de praktijk leidt deze discrepantie vaak tot een verhoogde werkdruk bij architecten en ingenieurs, die geacht worden een grotere mate van technische detaillering en coördinatie te leveren, ondanks zij vaak niet over alle nodige kennis beschikken. Dit heeft indirect ook sterk zijn impact op de vochtresistentie van ontwerpen [27-30].

Internationale aanpak via het bouwteam

In regio's waar houtmassiefbouw meer is ingeburgerd werken architecten, ingenieurs, aannemers, leveranciers én producenten vanaf de vroege ontwerpfase nauw samen om zo ontwerpplaat bij de architect te reduceren en het kennisgebrek op te vullen. Het laat toe om in de conceptuele fase cruciale ontwerpbeslissingen af te stemmen op de technische en logistieke randvoorwaarden. Zo kunnen paneelafmetingen, verbindingstechnieken en montagesstrategieën - soms zelfs in overleg met de ervaren producent als onderaannemer - worden geoptimaliseerd, waardoor efficiëntie in zowel productie als uitvoering wordt gewaarborgd [5].

De samenwerkingsvorm die hiervoor meestal gekozen wordt is deze van een **bouwteam**. Diverse expertise wordt zo ook vroeger ingeschakeld en ontlast zo het initiële ontwerpteam. De stap naar een Shared-BIM methode is hierin snel gezet. Het garandeert een gestroomlijnde communicatie, actuele ontwerpdocumenten en er is een mogelijkheid tot clash-detectie. Dit maakt mogelijk om ontwerpplaten die men anders pas tijdens uitvoering merkt vroegtijdig te zien, wat bij een DfMA-strategie essentieel is [25,28].



3.2. Vochthuishouding in de gebouwschil

3.2.1. Vocht als gebouwslast

De gebouwschil vormt de fysieke scheiding tussen geklimatiseerde en ongeklimatiseerde ruimten. Ze bestaat uit een samengestelde opbouw van materiaallagen die instaan voor de regulatie van warmte-, lucht- en vochoverdracht, en vervult daarnaast functies zoals brand- en geluidsisolatie. Tijdens haar gebruiksduur wordt de gebouwschil blootgesteld aan uiteenlopende omgevingsinvloeden, waaronder thermische belasting, drukverschillen, brand- en vooral vochtbelasting.

Binnen deze context blijken CLT-panelen bijzonder gevoelig voor vocht: langdurige blootstelling aan verhoogde vochtgehaltes kan leiden tot groeiende schadefenomenen en, in het uiterste geval, materiaaldegradatie en structurele schade door houtrot [Ols, 21].

Vochtbronnen

Neerslag:

Het Belgische gematigde zeeklimaat wordt gekenmerkt door een hoge neerslagfrequentie, gespreid over het volledige jaar. Niet de intensiteit en absolute neerslaghoeveelheid, maar de frequentie van regenbuien is bepalend voor de vochtblootstelling van CLT-structuren. Cruciaal is de balans tussen bevochtigings- en droogfasen: de duur van de vochtbelasting en de momenten waarop de structuur effectief kan drogen. De verspreiding van neerslag over de tijd is bepalend voor het droogpotentieel [10-12];

Waterdamp:

Hout is een hygroscopisch materiaal en neemt waterdamp op of staat deze af, via diffusie of convectie, in functie van de relatieve luchtvochtigheid (RV) in zijn omgeving. Het Belgische klimaat kent doorgaans hoge RV-waarden: gemiddeld 85-90% in de winter en 65-75% in de zomer.

Bij CLT kan schimmelvorming verder groeien bij langdurige blootstelling aan omgevingsdamp met een RV >85%. Waterdamp kan bovendien ook intern worden gevormd door gebouwsgebruik [12].

3.2.2. Effecten van vocht op de gebouwschil

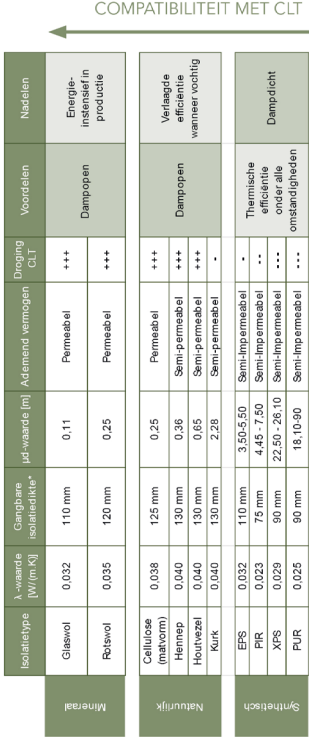
Langdurige vochtblootstelling bij CLT-panelen kan ernstige gevolgen hebben. Alleen al hierom dient vocht absoluut uit CLT-opbouwen gehouden te worden en is een goede vochtbeheersing - zowel in bouw- als operationele fase - noodzakelijk [1,15]. Dit vormt de kern van deze gids en de omgang hiermee in de gebouwschil zal doorheen deze gids beschreven worden. Vocht kan, naast een mogelijke schimmelaantasting van de structuur ook nog secundaire effecten teweeg brengen:

Thermische prestaties van een CLT-gebouwschil

Het zacht hout dat wordt toegepast in CLT-panelen heeft een intrinsiek lage warmtegeleidingscoëfficiënt λ , variërend tussen 0,10 en 0,18 W/(m·K) afhankelijk van de gebruikte densiteit van het hout. De lijnlijgen hebben hierop een verwaarloosbare invloed [32]. Deze λ -waarde ligt aanzienlijk lager dan bij conventionele structurele materialen zoals gewapend beton of metselwerk. Afhankelijk van de paneeldikte kan CLT hierdoor een substantiële bijdrage leveren aan de thermische weerstand van de gebouwschil [12]. Dit kan resulteren in een lagere vereiste isolatiedikte, of net het bijdragen aan het bereiken van een passief- of BENI-label.

Uiteraard zal bijkomende isolatie nodig zijn, die zich idealiter langs de buitenzijde van het CLT-paneel bevindt. Het hout blijft op die manier warm, wat het risico op inwendige condensatie op de koude zijde van het paneel verkleint. Een goede vuistregel is dat de buitenisolatie minstens 50% van de totale R-waarde van de opbouw opneemt [3,7-8].

CLT presteert minder goed in combinatie met synthetische isolatiematerialen zoals PUR of XPS, omwille van hun hoge dampdichtheid. Om de droogcapaciteit van de opbouw te optimaliseren, verdient isolatie op minerale of natuurlijke basis de voorkeur. Bepaalde bio-gebaseerde isolatiematerialen, zoals hennep of cellulose, stellen zich net als CLT gevoelig op naar vocht. Hun thermische en hygrische prestaties nemen aanzienlijk af bij verhoogde vochtgehaltes. Dit onderstreept het belang van een ontwerp en uitvoering die vochttoetreding tot de gebouwschil maximaal beperken [32-34].

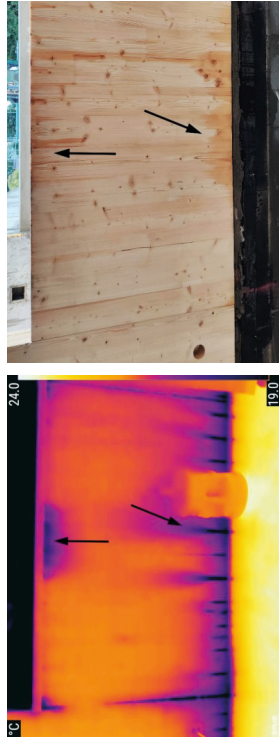


* Voor de minimale isolatiedikte werd gebruik gemaakt van een wandopbouw bestaande uit volgende lagen, met een U-waarde van 0,18 W/m²K: Gipsplaat (100mm) - Luchtspouw (40mm) - Regenscherm (3mm) - Isolatie (efh.) - CLT (120mm) - Elektrospouw (30mm) - Gipsplaat (12mm). De bekomen dikte is afgerond naar de dichtstbijliggende gangbare isolatiedikte.

Lucht- en dampdichtheid van CLT-opbouwen

Vanaf een drielaags CLT met dikte 80mm kan men volgens technische fiches en labo-testen een voldoende lucht- en dampdichtheid verwachten [35]. Diffusieweerstanden (μ -waarde) van 50m maken dat in de meeste gevallen - los van vochtige ruimten - geen extra dampscherm nodig is. Hetzelfde geldt voor luchtdichtheid: een aparte luchtdichtheid is enkel vereist bij de aansluitingen met andere panelen of bouwelementen [3,7/12].

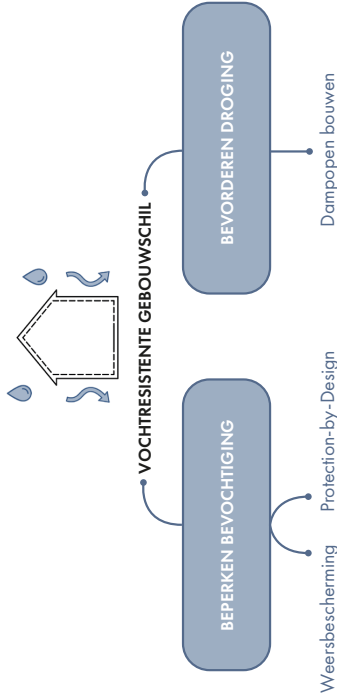
Veldtesten illustreren echter dat bevochtiging in weffase sterk inbreuk kan doen van deze theoretische parameters. Wanneer doorheen de bouwfase panelen **cyclische bevochtiging** en droging ondergaan, zullen **krimpscheuren** ontstaan. Deze kunnen zorgen voor paden tussen verschillende lamellen waar zowel lucht als damp door kan trekken. Onderstaande afbeelding toont aan dat hoewel de globale lucht- en dampdichtheidsreizen werden behaald, lokale damp- en luchtlekken zichtbaar zijn. Men mag dus enkel rekenen op de theoretische waarden als men garantie kan bieden dat de panelen – met name het kopse hout – niet overmatig blootgesteld zullen worden aan neerslag in weffase. De effectieve lucht- en dampdichtheid van de panelen zal dus indirect afhangen van de detailgraad en naleving van een vochtbeheersplan [36].



Luchtlekken in de afgewerkte gebouwschil ten gevolge van cyclische bevochtiging in weffase - © K. Kolbe

3.2.3. Beheersing van vocht in de gebouwschil

De sleutel tot een vochtresistente gebouwschil is het **beperken van bevochtiging** en het **maximaliseren van droging**. Een doordachte opbouw voorkomt in eerste instantie dat vocht binnendringt. Aangezien in het Belgische klimaat absolute waterdichtheid moeilijk haalbaar is, moet het systeem ook in staat zijn om eventueel binnengedrongen vocht efficiënt uit te doen drogen.



Weersbescherming

CLT-panelen kunnen op verschillende manieren beschermd worden, afhankelijk van hun risicoprofiel en toepassing. Onderstaande figuren illustreren de meest voorkomende instrumenten. Over het algemeen bestaan er 4 soorten bescherming: **membranen, tapes, codings en matten**. Deze kunnen nog verder gecategoriseerd worden vanuit 3 criteria: de dampdichtheid, de bevestigingstechniek en hun relevant gebruik. De tabel op volgende pagina geeft een overzicht van deze maatregelen [8].

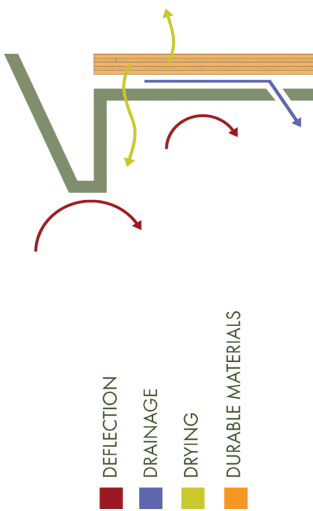
	Dampopen tape aan paneelranden		Losliggende akoestische mat met gelapte randen
	Hydrofobe coating op paneel		Impermeabel Zelfklevend membraan
	Semi-impermeabel zelfklevend membraan		Permeabel Zelfklevend membraan

SOORT BESCHERMING	ADEMCAPACITEIT	BEVESTIGING
Dampdicht losliggend membraan	Dampdicht	In-situ installatie Losliggend
Dampdicht Zelfklevend membraan	Dampdicht	In-situ of fabrieks- installatie
Dakafdichtingsmembraan (vb. SBS)	Dampdicht	In-situ > fabrieksinstallatie
Dampremmend zelfklevend membraan	Dampremmend	In-situ < fabrieksinstallatie
Dampopen zelfklevend membraan	Dampopen	In-situ of fabrieks- geïnstalleerd
Waterdichtingstape	Dampdicht	In-situ installatie
Dampopen tape	Dampopen	In-situ installatie
Parralnewax aan kops hout	Dampdicht	Meestal fabrieks- installatie
Hydrobeberingscoating	Afhankelijk van product	Meestal fabrieks- installatie
Akoestische mat (losliggend of zelfklevend)	Dampdicht	In-situ installatie

TOEPASSING	VOORDELEN	NADELEN
- Meestal als bache gebruikt in noodgevallen (verticaal en horizontaal) - Gebruik als tellingsdook of fenzeil - Tijdelijke bescherming	- Intriniek waterdicht - Prijs	Horizontaal gebruik, glad en risico op scheuren en vochtcumulatie onder membraan. Bovendien ook ballast nodig op membraan in dat geval.
- Gebruik in daken wanneer fabrieksinstallatie - Tegelijkertijd luchtdichtingsfolie en damp scherm - Tijdelijke bescherming als deel van opbouw	- Hoge waterdichtheid - Tijdelijke en permanent - Breed verspreide opties in markt	<18% MC vereist vooraleer afdekken. Daaron best fabrieksge- apliceerd - Risico op micro-scheuren bij damp samen met zombelasting
- Gebruik op platte daken - Tegelijkertijd luchtdichtingsfolie en damp scherm - Tijdelijke bescherming als deel van opbouw	- Robuust voor ongeveer 30 jaar - Tijdelijke en permanent - Breed verspreide opties in markt	- Risico op vechtophoging onder matten (vermijding (vb. UV arioling of belasting) <18% MC vereist vooraleer afdekken. Daaron best fabrieksge- apliceerd
- Weersbescherming als deel van opbouw - Tegelijk luchtdichtingsfolie inden goede uitvoering - Zeer breed toegepast (vloeren, wanden)	- Houdt regenbui efficiënt tegen - Kan nog (bepakt) drogen na bevochtiging	- Vereist ondoordichtig ofslapende of overlappende naden en opvolging - Slechts vochtremmend en niet bestand tegen pooling water Bepaalde dragingsmogelijk
- Ademende weersbescherming als deel van opbouw - Tegelijkertijd luchtdichtingsfolie - Zeer breed toegepast in praktijk (vloeren, wanden)	- Zeer efficiënt in verticale toe- passing, minder bij horizontale (pooling) - Laat uildrogen van structuur loe en stoot water tegelijkertijd karbon- dig af	- Vocht kan lang lange blootstelling aldrig mispalen - Zeer snel beschadigd en verimpeld - Kan niet verkleefd worden op vochtige oppervlakken
Aansluitingen en hoeken direct na montage of bij voldoende droge panelen (<18% MC)	Extra zekerheid op bescherming van bouwnaad tegen bevochtiging	- Vocht kan door microscheuren aldrig door paneel komen. Verhin- dende droging. - Hechting lastig op vochtig hout en ruwe materialen
Aansluitingen en hoeken na of met risico op, beschadiging. Bouwnaad. Beschien- ing tegen vocht en draagvermogen, maar toch droging (gedeeltelijk) faciliteren	Noodoplossing indien vochtoc- cumulate in bouwnaad plaats- gevonden.	- Vocht kan door microscheuren als- nog door paneel komen. Droging wel mogelijk. - Hechting lastig op vochtig hout en ruwe materialen
Bescherming van kops hout van CLT-panelen (soms zuiver tijdens werfphase en/of op- slag)	Kops hout wordt ondoordringbaar voor vocht.	- Weinig ingeburgerd bij fabrikanten - Zeer snel beschadigd - Sterk afhankelijk van dikte van wax en ruwheid van kops hout.
Hydrobebering van het paneeloppervlak ter vervanging van membraan. Vormt een film over het oppervlak. Kan ook bij kops hout gebruikt worden, maar is minder efficiënt.	- Geen nodige overlap in naden, geen risico op impelverming - Fabrieks-aangebracht: inherente bescherming aan paneel	- Niet toepasbaar bij panelen met hoge afwerkingsgraad - Kan glad zijn bij vorst - Performantie sterk afhankelijk van productant
Gebruikt als akoestische isolatie onder dekvlies of chape. Bijkomstig effect is tijdelijke bescher- ming van panelen tegen weersinvloeden. Daar- voor dienen de naden goed afgetapt of over- lappend te liggen.	Bijkomstig vochtbeheer in naden. Het is belangrijk om de mat met name bij stralen van hybride vloer, dekvlies of invullinglaag	- Risico op vechtophoging onder matten bij slecht ingevoerde naden - Snel beschadigingen in werfphase <18% MC nodig vooraleer plaatsen.

Protection-by-Design

Om een goed ontworpen gebouwschil te voorzien, kan men de **4D strategie** van Hazleden hanteren. Men dient te reflecteren hoe het ontwerp van een opbouw elk van deze punten adresseert [37].



Deflectie

Gevelafwerkingen, maar ook architecturale ingrepen zoals dakoversteken, balkons en overkragingen houden regen legen en vormen een eerste verdedigingslinie van de gebouwschil en kan, bij een doordacht ontwerp, naar schatting meer dan 90% van de neerslag afhouden. Afhankelijk van de gekozen afwerking (vb. metselwerk) zal de opbouw deze neerslag ophouden, wat dan weer een extra vochtbelasting met zich meebrengt [38]. Een goede reflectie over het soort afwerking is aanbevelen.

Drainage

Wanneer water doorheen de eerste waterafstotende laag penetreert, dient het zo snel als mogelijk afgedragen te worden. De efficiëntste manier om dit te doen is via een geventileerde afwateringssponw in combinatie met een tweede waterafstotende laag, vaak een regenscherm of onderdakfolie.

Droging

Het is van essentieel belang dat de geringe hoeveelheid vocht die de structurele kern bereikt, ongeacht de infiltratieroute, via de opbouw van de gebouwschil heilzi in- of uitwaarts kan uitdagen tot een veilig vochtgehalte bij evenwichtsomstandigheden.

Duurzaam materiaalgebruik

Wanneer de eerste drie D's er niet in slagen om vocht effectief buiten het CLT-paneel te houden, wordt de intrinsieke vochtbestendigheid van het materiaal aangesproken. CLT kan redelijk wat vochtblootstelling aan, zolang het maar tijdig kan uitdagen. Daarvoor is een dampopen schil vereist.

3D + Tijdsdimensie

Bij het bouwen met CLT in een vochtig klimaat is ook de tijdelijke opbouw in weffase bijzonder kritisch, zeker bij horizontale oppervlakten en bouwnaden die gevoelig zijn voor wateraccumulatie. Ook de beperkte levensduur van beschermlagen, zoals dakmembranen, vereist strategische planning over de voorziene gebouwevensduur. Een robuuste opbouw anticipeert daarom niet alleen op 3D-details, maar ook op veranderende vochtbelasting in de tijd, met name in de bouwfase.

Dampopen bouwen

In het geval dat vocht ondanks verschillende lijnen van defensie toch de panelen bereikt, is het belangrijk droging door de opbouw niet te verhinderen. Vrijwel iedere publicatie omtrent het hydrothermisch gedrag van CLT-opbouwen zweert daarom op het **nasreven van dampopen constructies**. Dit betekent concreet dat de **samenstellende lagen naar buiten toe een steeds lagere dampdiffusieweerstand** hebben. De mate waarin bepaalde lagen weerstand bieden aan de diffusie wordt gekarakteriseerd door de 'equivalente laagdikte' of μ d-waarde (idem aan Sd-waarde). Onderstaande tabel geeft een criterium voor het beoordelen van de dampweerstand [7-8, 10, 15, 39-43].

Criterium	Dampopen	Dampweerstand	Voorbeeldmateriaal
$\mu d < 0.35m$	Dampopen	Permeabel	Minerale wol
$0.35m < \mu d < 3.5m$	Dampremmend	Semi-permeabel	Wetgarde weerfolie
$3.5m < \mu d < 35m$	Dampdicht	Semi-impermeabel	CLT*
$\mu d > 35m$	Dampdicht	Impermeabel	CLT*, EPDM

*: μ d-waarde CLT afhankelijk van interne configuratie en dikte

In de meeste gevallen is het CLT-paneel de laag met de hoogste dampdichtheid. Een drielaagspaneel van met een dikte van 10cm krijgt al snel een μ d-waarde van meer dan 50m, en is dus dampdicht. Dit betekent dat in de meeste gevallen geen extra dampscherm in de opbouw nodig is. Hier geldt opnieuw dat cyclische bevochtiging en droging tijdens de weffase ervoor kunnen zorgen dat de inherente dampdichtheid sterk aangetast wordt [8,36,44-45].

Relatieve vochtigheid [%]	100 mm	150 mm	Diffusieweerstandsgetal CLT-paneel [m]
20	58,28	87,41	200 mm
50	11,28	16,65	116,55
80	3,50	5,14	23,31
			6,86

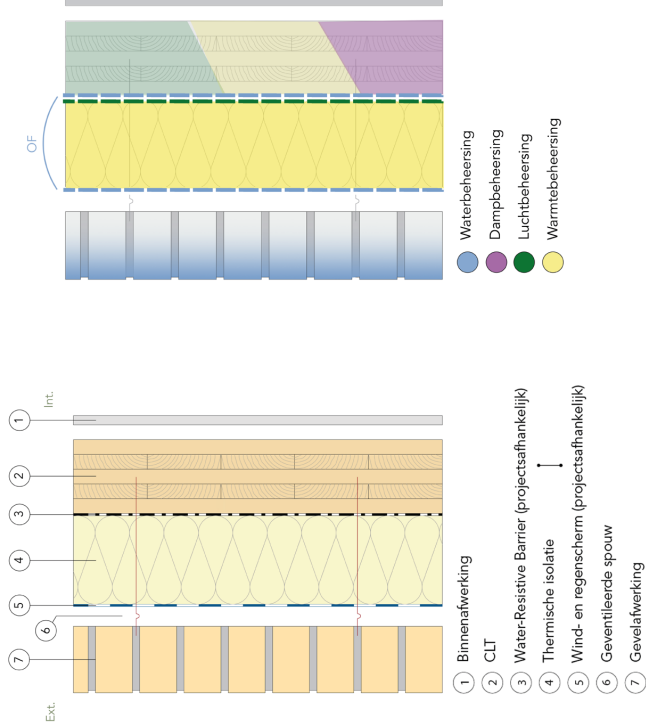
Een ideale dampopen constructie faciliteert dus zowel **in- en uitwaartse droging**. Onderzoek heeft echter aangetoond dat de diffusieweerstand van CLT-panelen sterk **afhankelijk is van de relatieve vochtigheid** van de binnenomgeving. Dit heeft te maken met het vochttransport in de capillaren van het hygroscopisch materiaal. In vochtige ruimtes, zoals keukens en badkamers, zal de relatieve vochtigheid een dermate groot effect hebben op de diffusieweerstand van een CLT-paneel dat men niet meer kan rekenen op zijn functie als damprem. In dat geval is een **dampscherm tegen de warme zijde van het paneel** aangeraden. Anderzijds kan men zich afvragen of het gebruik van CLT-panelen - met name vloerpanelen - wel aangewezen is. In situaties zoals revenstaand beeld kan waterinfiltratie namelijk een groot bijkomend vocht risico vormen [3,15,46].



Vergevorderd houtal in een vochtige ruimte

3.3. Vochtbeheersingsprincipes bij standaardopbouwen

3.3.1. Buitenwand



Binnenvoering

In België lopen we graag te koop met het gebruik van CLT, en kiezen we ervoor om dit zichtbaar te laten. De fabrikant voorziet hierin ook 3 uitvoeringskwaliteiten. Regio's met een meer uitgebouwde CLT-bouwpraktijk zetten echter een limiet op het aantal zichtbare panelen in een ruimte, niet alleen vanwege een brandveiligheids- en akoestisch perspectief, maar ook vanwege hun uitvoerings- en onderhoudsgevoeligheid. In combinatie met het bouwen in een vochtig klimaat, zal dit een sterk nauwgezette opvolging vereisen om de initiële kwaliteit te behouden [3,17].

CLT Paneel

Afhankelijk van de belasting op het paneel, zal een CLT-paneel een andere dikte aannemen. Dit is steeds afhankelijk van het project. Omwille van damp- en luchtdichtheid wordt altijd minimaal een drielaags CLT-paneel van 80mm voorgeschreven [43].

Water-Resistive-Barrier of regenscherm

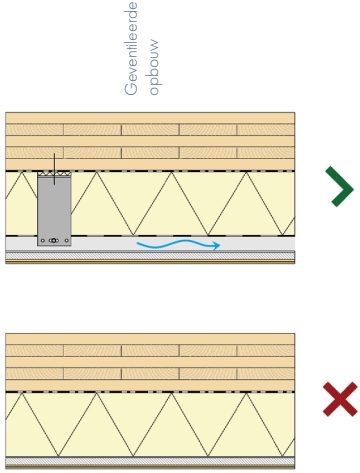
Een WRB is een weerschermd membraan die men direct verkleeft tegen de panelen (met een vochtgehalte lager dan 20%). Dit betekent dat de panelen reeds in werfase beschermd zijn tegen neerslag. Anderzijds is het isolatiepakket dan in de afgewerkte opbouw niet beschermd tegen neerslag. Een regenscherm daarentegen wordt geplaatst tegen de koude zijde van de isolatie. Deze beschermt dan weer niet de CLT-panelen in werfase. De keuze welk van de twee zich het meest leent hangt af van de ingeschatte vochtblootstelling enerzijds, en het gekozen isolatiemateriaal anderzijds. Vochtgevoelige isolatiematerialen, zoals cellulose of houtwol, hebben meer baat bij een regenscherm dan een isolatiepakket van minerale wol. Een **Best-Practice** is echter om de **kop- en voetaansluitingen van CLT-panelen steeds te gaan beschermen met een WRB**. Zowel het regenscherm als het WRB dienen in ieder geval een dampopen karakter te hebben [3,47].

Isolatiepakket

Het isolatiepakket aan de buitenzijde staat garant voor minimaal 50% van de totale R-waarde van de wand. De isolatie is bij voorkeur minimaal semi-permeabel tot dampopen en continu aangebracht. Platen of panelen dragen de voorkeur boven losse isolatie (vb. cellulose, hennep), gezien hier geen secundaire structuur vereist is [743].

Gevelafwerking

Er leeft vaak de misvatting dat houtmassiefbouw specifieke beperkingen oplegt aan gevelafwerkingen. Niets is minder waar. Wel functioneren CLT-wandopbouwen optimaal bij het gebruik van een geventileerde gevelafwerking. Ten eerste laat het een drainage toe van vocht die zowel vanuit neerslag of diffusie in de opbouw is geraakt. Ten tweede draagt het bij aan de thermische stabiliteit en beperkt het mogelijke oververhitting. Als derde tempert een spouw de drukverschillen over een wandopbouw, wat de lucht- en dampstroming ten goede komt. Vanwege die redenen hebben CLT opbouwen en een trapssystemen zoals ETICS een lastig huwelijk. Niet alleen voorzien ze geen spouw, maar wordt er meestal gekozen voor een dampdicht isolatiemateriaal zoals EPS. Een gelijkwaardige gevelafwerking is wel mogelijk door het gebruik van een secundaire structuur (vb. SIS of CLS). In opstelling met secundaire structuren gebruikt men idealiter een WRB eerder dan een regenscherm [3, 48-49].

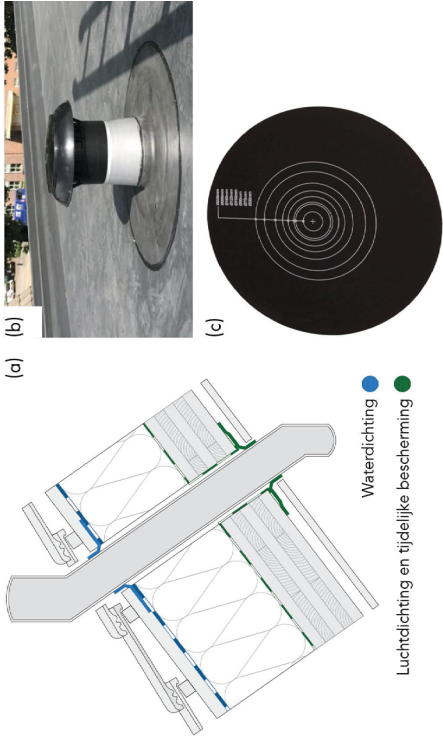


3.3.2. Hellend dak

In essentie vertoont een hellend dakopbouw een grote **gelijkenis met een wandopbouw**. Niet zoals bij een verticaal georiënteerde structuur, wordt ervoor gezorgd dat de dakhelling voldoende afschat heeft om de afvoer van neerslag via gravitatie te waarborgen, waardoor stagnatie van water wordt vermeden. Cruciaal hierbij is de detaillering van de **aansluitingen** tussen dakpanelen onderling en met andere gebouwonderdelen om vochtaccumulatie binnen de bouwruimten te voorkomen. Vanwege de grotere overspanningen en de verhoogde buigbelastingen zijn CLT-panelen in een dakopbouw doorgaans dikker dan in een wandtoepassing. Een minimale dikte van 15 cm wordt in dit opzicht als een richtwaarde beschouwd.

Een Best-Practice voor een hellende dakopbouw kan bijgevolg worden beschouwd als een licht gedraaide wandopbouw, met een vergelijkbare functionele geloofwaardigheid van de barrièrelagen. Ook hier wordt een geventileerde dakafwerking aanbevolen, in combinatie met een aan de buitenzijde gepositioneerd thermisch isolatiepakket en een weerbestendig membraan (WRB) of onderdakfolie ter bescherming van de CLT-structuur. Meestal wordt hier een onderdakfolie gebruikt.

De continuïteit van barrièrelagen verdient bijzondere aandacht ter hoogte van openingen, schachten en doorvoeringen. In dergelijke situaties geniet een **EPDM-manchet** de voorkeur: een elastisch membraan met een kleinere diameter dan de leiding, waardoor een knellende afdichting ontstaat [43].



Aansluiting van de gebouwschil op een doorvoering (a).
Dit kan door middel van tapes naar gebeurt idealiter via een manchemembraan, hier EPDM (b en c).

3.3.4. Platte daken

Platte dakconstructies vormen **een van de hoogste risico's** op vochtaccumulatie in CLT-panelen, mede door de vrijwel volledig horizontale ligging van de panelen, in combinatie met een dampdichte opbouw. Tijdens de werfphase kunnen deze panelen, bij het ontbreken van tijdige en adequate bescherming, reeds aanzienlijke vochtabsorptie ondergaan. Later in de bouwphase worden de panelen doorgaans afgedekt met **hoogdampdichte afdichtingsmembranen**. In grootschalige projecten resulteert dit in uitgebreide lengtes aan **naadverbindingen**, welke potentieel kritieke punten vormen voor vochtindringing. Tevens nemen de penetraties voor **verankering van technische installaties** toe, wat onvermijdelijk leidt tot doorboringen in de dakvloer en afdichtingslaag, waardoor de kans op vochtintruste significant wordt verhoogd [15].

Zelfs een kleine perforatie of een ongedugelijke overlap tussen afdichtingsstroken kan resulteren in vochtindringing, waarna uitwaartse droging van de panelen vrijwel onmogelijk wordt. Door de aanzienlijke dikte van CLT-panelen is ook de droogsnelheid van vocht inwaarts vaak onvoldoende om houtrot te voorkomen. Bovendien is de **levensduur van afdichtingslagen** zonder structureel onderhoud meestal korter dan de verwachte levensduur van het gebouw, wat de waterdichtheid doorheen de levensduur onder druk zet [50]. Om deze redenen wordt voor het gebruik van CLT als dragende vloer in platte dakconstructies door vochtexperts gewaarschuwd [1,5,51].

Het risico is dus onmiskenbaar hoog en vormt, samen met situaties nabij het maaiveld of in vachtige ruimten, een van de grootste uitdagingen in de opbouw van een vochtresistente gebouwschil. Desalniettemin kan het worden toegepast indien een strikt protocol en aandachtspunten wordt gevolgd, waarin ontwerp, uitvoering en onderhoud integraal zijn afgestemd op het voorkomen van vochtproblemen [8]:

Helling in het CLT-paneel
Traditioneel wordt **afschot** bij platte daken gerealiseerd via een secundaire hellingslaag of isolatie met geïntegreerde helling. Wanneer men echter de vierde dimensie – de tijd – bereikt, wordt het afschat idealiter in de dragende CLT-dakvloer zelf geïntegreerd. Dit zorgt ervoor dat water tijdens de werfphase afstroomt naar een beperkt aantal zones, bijvoorbeeld nabij een drainagepunt, wat de monitoring vereenvoudigt. Dit principe vormt een treffend voorbeeld van Protection-by-Design. Deze aanpak is echter enkel mogelijk wanneer het hellings/lak architecturaal meegenomen is en/of het plafond niet zichtbaar blijft; aangezien de helling dan ook binnenin waarneembaar is [15].

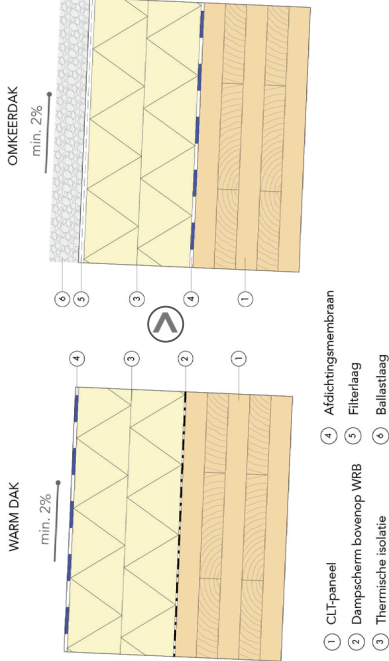
Verhoogde opvolging in werfphase

Het platte dak is typisch een van de zones die, vanwege zijn risicoprofiel, het meeste nood heeft aan een goede monitoring in werfphase. Het is belangrijk goed **meetprotocol en -frequentie** voor te schrijven in een vochtbeheersplan, maar ook actief waterbeheer voor te schrijven in deze zones. Het is aangeraden in werfphase voldoende **drainagepunten** te voorzien in de CLT-panelen, van waaruit water met een tijdelijk buizenstelsel weg van de buitenschil gestuurd wordt. Idealiter gebeurt de drainage op een passieve manier zonder het aftrekken van water op de panelen door arbeiders, door het inwerken van een helling in werfphase.

Gepaste keuze van dakopbouw

Een groot deel van het risico op schade aan bevochtiging hangt af van de keuze van dakopbouw. Hier geniet het klassieke **warm dak de grootste voorkeur**. De voornaamste reden zijde dat men hier minstens **twee lagen van defensie** kan inbouwen. Het is Best-Practice om een dampopen membraan aan te brengen op de panelen om deze te beschermen in weffase. Bij voldoende droge panelen (<6%) kan men op het weersmembraan een dampscherm aanzetten, die men verbindt met de afdichting. Een tweede reden is de **mogelijke inspectie doorheen de levensduur** op de staat van de afdichting. Anderzijds zal deze dakafdichting een kortere levensduur hebben door betreding en UV-belasting [50]. Omkeerdaken beschermen de afdichting, waardoor deze langer meegaat. Anderzijds zal systematische inspectie niet mogelijk zijn, en is er geen optie tot tweede lijn van defensie [16].

In beide gevallen is er een verhoogde aandacht nodig ter hoogte van **doorvoeringen en verankeringen** in de dakvloer. Deze zullen doorpoansingen van de afdichting betekenen, die in correcte overlap waterdicht moeten gemaakt worden. Inspectie zal tijdens weffase steeds een grote prioriteit zijn [8].



Het is sterk **afgeraden om groendaken** te gaan toepassen bij CLT dakvloeren. Beiden hebben namelijk tegenstrijdige belangen; waar een groendak voor de gezondheid van de vegetatie net lucht wil vasthouden, tolereert CLT vochtafaccumulatie totaal niet. Bovendien bufferen groendaken sterk de oppervlaktetemperatuur van de afdichting en de onderliggende CLT-dakvloer. Een hogere oppervlaktetemperatuur door rechtstreekse bezonning, faciliteert op z'n minst nog inwaartse droging. Dit valt grotendeels weg bij groendaken, waardoor vocht nog lastiger uit de structurele drager zal geraken [15].



3.3.3. Tussenvloeren

Tussenvloeren ondervinden op het vlak van vochtbeheer in de afgewerkte constructie doorgaans minder impact van externe weersinvloeden, aangezien ze omgeven zijn door andere gebouwonderdelen. Hierdoor wordt de noodzaak tot tijdelijke bescherming van vloeren vaak **onderschat**. Eens de panelen zicht in een wind -en waterdichte zone bevinden, kunnen de panelen inderdaad drogen tot hun veilig evenwichtsvochtgehalte.

In een vochtig klimaat kan het echter niet voorkomen worden dat een vloer (langdurig) wordt blootgesteld aan atmosferische invloeden tijdens de weffase. Dit kan het gevolg zijn van vele oorzaken zoals logistieke vertragingen, een gebrek aan uitvoeringsroutine, of een bijzonder natte bouwperiode. Binnen een dergelijke context fungeert een vloeropbouw in de weffase niet anders dan een tijdelijk plat dak. Men kan bij tussenvloeren niet zoals bij platte daken, wat verder besproken wordt, een dischot gaan realiseren door de panelen zelf onder een hoek te plaatsen. De horizontaliteit van de CLT-panelen verhoogt het risico op plasvorming aanzienlijk [10,6]. Daarom houdt men bij tussenvloeren best vast aan volgende hanthvaten:

Verkiees een drage vloeropbouw

Problematiek van natte vloersystemen

Natte, vaak cemengebonden, vloersystemen hebben zeker hun bestaansreden bij CLT-vloeren. Het kan structureel voordelig werken en het draagt bij aan de brandtechnische en akoestische performance. Bij het uitvoeren van dergelijke vloeren komt een **grote hoeveelheid bouwvocht** bij de panelen. Tijdens het uithardingsproces bevindt er zich met andere woorden een vochtige spons op het paneel. Indien het paneel daar niet tegen beschermd is, zal het veel van dit bouwvocht opnemen in de bovenste lamellen.

Bovendien is deze chapelaaq vaak **sterk dampremmend**, wat droging langs deze paneelzijde uitsluit. Vloerpanelen hebben een gemiddelde dikte van 250 mm, waardoor droging langs de andere zijde doorgaans te traag zal verlopen.

Mocht tijdens weffase neerslag vallen op deze dekvloer, waartoe de kans in België zeker reëel is, zal deze **open cellulaire laag** opnieuw langdurig als **spons** werken en zal mechanische droging nodig zijn. Een van de voordelen van CLT-bouw, zijnde een snelle montage wordt ook deels teniet gedaan door het vereiste uithardingsproces bij natte vloeropbouwen [10,41].

Toch een chapelaaq nodig?

Soms is het vanuit structureel, brandtechnisch of akoestisch oogpunt nodig om toch cementdragende dekvloer te voorzien. Hou dan rekening met volgende punten [12, 51]:

- Zorg dat het CLT-vochtgehalte voor het gieten van de dekvloer zich onder de **16%** bevindt. Zo heeft men enige buffer in het geval bouwvocht toch doorheen de bescherming zou treden.
- Rechtsreeks contact tussen het paneel en de dekvloer is sterk afgeraden. Gebruik steeds een goed **waterwerend membraan** met voldoende overlap bij de naden. De dampdichtheid speelt minder een rol, waardoor akoestische matten of PE-folie met afgelapte naden ook een optie zijn.
- Wanneer passend in het akoestisch concept, overweeg een **grindlaag** tussen het beschermingsmembraan en de dekvloer. Dit kan werken bijdragen aan het massa-veer-massaconcept en vormt tegelijk afstand tussen het paneel en de mogelijke vochtige spons.

Technieken bij vloeropbouwen

Los van de keuze voor een nat of droog vloersysteem, is een doordachte positionering van leidingen en technieken, maar ook van natte ruimtes in de ontwerpfase, essentieel om de risico's op vochtschade als gevolg van lekkages te minimaliseren.

Allereerst reduceert een goed ontwerper de horizontale leidinglengte tot een minimum door vochtige ruimten zoveel als mogelijk boven elkaar te plaatsen. Ideeliter zijn deze ruimtes gekoppeld aan een verticale schacht. Hoe groter de lengte aan sanitaire leidingen, des te meer risico op lekkages.

Los daarvan bestaat de meest robuuste strategie erin om **sanitaire leidingen langs de onderzijde van het CLT-vloerpaneel** te laten verlopen, in een technisch verlaagd plafond. Het vormt sneller een waarschuwing bij lekkages en laat inspectie en onderhoud toe.

Verbindingstechniek van vloerpanelen

Vloerpanelen moeten in lijn met elkaar worden verbonden om een structureel efficiënte krachtenoverdracht te waarborgen, in de praktijk blijkt echter dat de sterkte van de **verbindingstechniek ongetoetst en evenredig is met de gevoeligheid voor vindringdring**. De keuze van de meest geschikte verbindingstechniek dient dan ook in de ontwerpfase afgestemd te worden op zowel de structurele vereisten als de potentiële vochtbelasting binnen de specifieke bouwcontext [10].

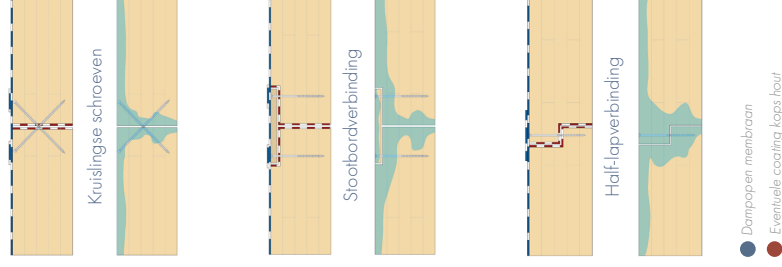
De meest efficiënte verbinding naar vochtbeheer verkrijgt men door het simpelweg verbinden van twee panelen met **kruisingschroeven** die men onder een hoek plaatst. Dit is echter slechts mogelijk bij laae lasten.

De **stootbordverbinding**, bestaande uit een multiplexplaatje, wordt gemiddeld het vaakst toegepast en vormt een goed evenwicht, mits een goede bescherming bovenop de panelen.

Een **half-lapverbinding** kan structureel grote lasten overdragen door de oplegging, maar vormt een horizontale bouwnaad in de kern van het paneel. Drogend is bijzonder lastig en vocht kan zich hier ophopen. Dit soort verbinding wordt best vermeden indien mogelijk.

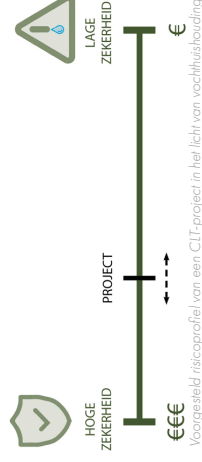
Idexx-verbinding

Een nieuw soort verbinding met een beter evenwicht tussen structureel gedrag en vochtresistentie is in opmars. Hierbij wordt een cirkel uitgereisd aan het oppervlak van het CLT-paneel, van waaruit schroeven onder verschillende hoeken worden ingebracht in een radiale configuratie [89a].

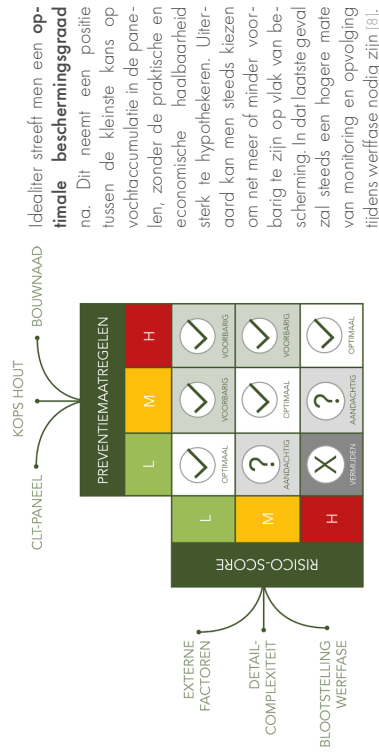


3.4. Detaillering en aansluitingsprincipes

Aansluitingspunten van panelen vormen meestal de meest kritische zones voor vochtproblematieken. Het voorzien van een adequate bescherming van CLT-aansluitingsdetails begint daarom bij een fundamentele bewustwording van het lokaal risico op schade ten gevolge van bevochtiging. Dit risico wordt bepaald door een complex samenspel van **externs weersomstandigheden**, de blootstelling tijdens de **werfphase** en de **inherente complexiteit** van het detail. Deze factoren kunnen tevens een accumulerend effect op elkaar uitoefenen. Een doordacht ontwerper begrijpt bijvoorbeeld hoe een bouwphase tijdens de winterperiode, waarbij kops hout langdurig wordt blootgesteld aan het buitenklimaat, nefast kan zijn voor de vochtaccumulatie ter hoogte van het aansluitingsdetail. Bovendien is de ernst van bevochtiging afhankelijk van de contactlocatie van het vocht en de CLT. Hierin kan een onderscheid gemaakt worden tussen het **paneelopervlak**, blootgestelde **kopse paneelzijden** en paneeluitendes in contact met andere elementen waardoor deze een **bouwnaad** vormen.

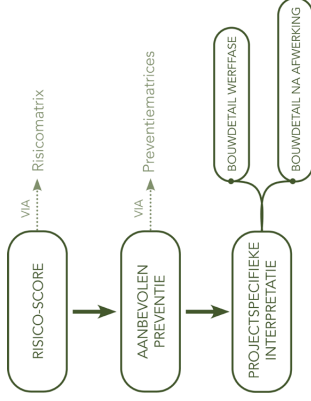


Doorheen het ontwerpproces dient een bewustwording van het lokaal schaderisico na bevochtiging geschept te worden. Er wordt hier bewust gesproken over **'schaderisico na bevochtiging'**, meer dan risico op bevochtiging. Men kan in België namelijk aannemen dat CLT-panelen in werfstate niet zullen worden, ongeacht het seizoen. Bovendien is ieder CLT-project anders, en stelt zich op een andere manier op naar vochtbeheersing tijdens de werfstate. Dit is sterk afhankelijk van de kennis en ervaring van zowel ontwerpteam als aannemer (s) maar ook van de beschikbare budgetten.



3.3.1. Detailleringstool

Internationale literatuur beschrijft systematisch de bescherming van terugkerende kritische details, met de veronderstelling dat ontwerpers deze verhalen naar hun projectspecifieke situatie. Door de variërende vochtbelasting en detailcomplexiteit is dit echter geen evidentie, zeker niet in de Belgische bouwcontext waar kennis vaak ontbreekt. Daarom ontwikkelde onderliggende scriptie een universeel framework in de vorm van een ontwerptool, toepasbaar op elk type aansluiting tussen CLT-panelen, dat een advies formuleert voor een optimale beschermingsgraad.



Drietrapsprincipe van de detailleringstool

De detailleringstool werkt volgens een **drietrapsprincipe**. Als eerste brengt het via een **risico-analysematrix** het risico op schade na bevochtiging objectief in kaart. Dit vormt een risico-score, die men meeneemt naar een set **preventiematrices**. Hierin wordt met deze score een 'optimaal' beschermingsadvies voorgesteld voor zowel het oppervlak van het CLT-paneel, als voor eventuele kops blootgesteld hout en bouwmaterialen. Het is vervolgens aan het ontwerpteam om hierover te reflecteren en afhankelijk van hun toelaatbare risico's en budgetten een keuze van **preventiemaatregelen** te nemen. Dit zal uiteindelijk resulteren in een details voor de verschillende werfases, wanneer de panelen – al dan niet naakt – blootgesteld staan aan het buitenklimaat, en een afgewerkt detail. De tool kan een waardevol instrument zijn in het opstellen van een robuust vochtbeheersplan voor de constructie. Daarenboven kan deze tool ook mee evalueren doorheen het ontwerpproces. Zo kan een situatie zich voordoen dat vanwege veranderingen op de werf, het bouwseizoen verschuift en hogere bevochtigingsrisico's met zich meedraagt. Deze tool maakt **iteratieve herzieningen mogelijk**, waardoor bijvoorbeeld preventiemaatregelen wat betreft monitoring en maatregelen na bevochtiging kunnen geïmplementeerd worden doorheen het bouwproces. Anderzijds dient men bij een gebrek aan gegevens uit te gaan van het meest nadelige scenario in de risicoanalyse. Wanneer later in het ontwerpproces dit gegeven wel gekend is, kan men opnieuw een iteratieve herziening van de tool doornemen, en mogelijks de hoeveelheid preventiemaatregelen gaan versoepelen.



In het kader van deze vochtbeheersingsgids wordt de werking van deze tool geïllustreerd aan de hand van een specifieke case-study. Deze tool is beschikbaar voor eigen gebruik, en is te vinden via onderstaande link. Daarbij bevinden zich andere documenten gericht op de ontwerp- en uitvoeringspraktijk bij CLT-constructies:

<https://zenodo.org/records/15333140>

De tool is nog niet verder optimaal afgewerkt voor aansluitingen tussen bestaande constructies en CLT.

Toepassingsvoorbeeld: Buitenvand-Tussenvloer

Projectgegevens

Projectgegevens

- Meergezinswoning
- 960 m² vloeroppervlakte
- 9,5m gebouwhoogte
- 16 weken ingeschatte bouwtijd vooraleer wind- en waterdicht
- Faseering in zones van 240m², elks 4 weken durend.

Externe factoren:

- Ruwbouwfase tijdens lente
- Zuidoost oriëntatie

Opbouw in ontwerpfase

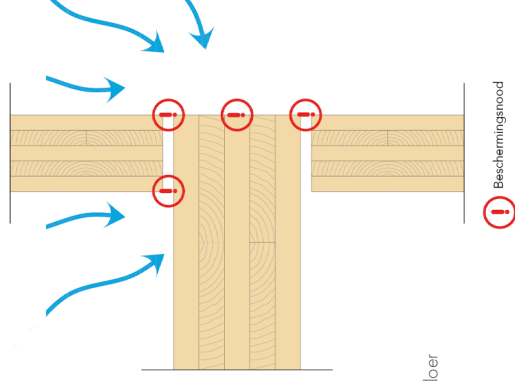
- Dampopen wandopbouw
- Gebruik van regenscherm tegen isolatie
- Vloersysteem met cementgebaseerde dekvloer

Gegevens werfse

- In-situ paneelopslag, onbepaalde tijd
- Geen fabrieksbescherming
- Geen externe globale bescherming (vb. seltling met zellen)

Risicomatrix

De matrix omvat vier hoofdcategorieën: externe factoren en blootstelling (groen), detailcomplexiteit en -ontwerp (blauw), blootstelling in werfse (roos) en projectomvang (paars). Elke categorie bevat subragen met een score tussen 1 en een vast maximum. Eerst worden de drie eerste categorieën ingevuld, waarbij het detail in 'naakte' toestand wordt beoordeeld—zonder bijkomende bescherming, behalve fabrieksmatig aangebrachte membranen of coatings. Bij ontbrekende informatie wordt uitgegaan van een worst-case scenario. Iteratieve herziening tijdens ontwerp of uitvoering blijft achteraf mogelijk om het effect van bepaalde ontwerpbeslissingen af te toetsen. De categorie projectomvang wordt nadien ingevuld: overlijgt het project één van drie schaalcriteria, dan wordt de risico-score verhoogd omwille van complexere opvolging, langere opslag of beperkte controle op het bouwseizoen en omstandigheden (vb. meer passage op werf). Faseerbaarheid kan dit verzwarend effect op de totaalscore echter neutraliseren, wat deze tool aanmoedigt. In dit voorbeeld resulteert het invullen van de projectgegevens - geïllustreerd op volgende bladzijde - in een uiteindelijke risico-score van 5.89, wat wijst op een hoog risico op schade na bevochtiging. Dit zal dienen als aanzet voor de tweede stap in de tool, zijnde de preventiematrices.



EXTERNE FACTOREN EN BLOOTSTELLING					SCORE 1	SCORE 2	SCORE 3	SCORE 4	SCORE 5	Score
1. Oriëntatie	Zuid	Oost	Zuidoost, Noordoost	Zuidwest, Noord	Noordwest, West					
2. Seizoen tijdens opbouw	Interieur	Zomer	Lente	Herfst	Winter					
3. Locatie van detail	Inpandig Beschermd van externe factoren	Inpandig maar gevoelig voor WDR, slagregen	Inpandig, langdurig blootgesteld aan buitenomgeving (+7d)	Buitenschil	Nabij maaiveld					
DETAILCOMPLEXITEIT EN ONTWERP					SCORE 1	SCORE 2	SCORE 3	SCORE 4	SCORE 5	Score
4. Aantal samenkomende bouwelementen	1	2	3 of meer	-	-					
5. Kops hout blootgesteld aan exterieur of fundering (incl. werfphase)	Neen	-	-	-	Ja					
6. Bouwnaden	Geen naden	Verticaal	Onder helling	Horizontaal	-					
7. Drogingspotentieel in ruwbouw	Vrije droging mogelijk	-	Belemmerde droging (vb. spleten of dampremmende bescherming)	-	-					
8. Drogingspotentieel met verdere lagen	Dampopen opbouw	-	Dampremmende opbouw	Dampdichte opbouw	Dampdicht Risico op vocht in spleten					
9. Schade door lekkages tijdens levensduur door technieken	Geen risico	Laag risico	-	-	Hoog risico					
10. Risico op vochtinsijpeling in bouwnaden	Geen risico	Laag risico	-	-	Hoog risico					
10. tijdens levensduur (los van technieken, beschouwd zonder bescherming)	Geen risico	Laag risico	-	-	Hoog risico					
BLOOTSTELLING IN WERFfase					SCORE 1	SCORE 2	SCORE 3	SCORE 4	SCORE 5	Score
11. Opslag van panelen	Just-in-Time Delivery (JIT)	Inpandige opslag	Best-Practice buitenopslag (-7d)	Best-Practice opslag Langere opslagtijd	Naakte opslag					
12. Beschermingsgraad op de panelen	Waterafstotende fabrieksbescherming	-	-	-	Geen fabrieksbescherming voorzien					
14. Tijdelijke bescherming in vorm van stellingszeil, tent of overklapping	Ja of inpandig	-	Neen	-	-					
BESCHOUWD DETAIL					Buitenwand - Tussenvloer					LOG SCORE
PROJECTOMVANG										5,89
Totale bruikbare vloeroppervlakte (bruikbare vloeroppervlakte in m²)					960 m²					8,32
Gebouwhoogte (maaiveld t.o.m. dakopstand of nokhoogte, exkl. technieken)					9,5 m					0,30
Ingeschatte duurtijd vooraleer wind-en waterdicht					16 weken					
GEVOLG OP RISICO-ANALYSE					Groot project Maximale score bij vraag 1, 2 en 3 en minimaal score 3 bij vraag 11.					PREVENTIENIVEAU
MOGELIJKHEID TOT FASERING										LAAG
Indien groot project, kan men de bouwplanning zo faseren dat men zones van max. 250m² binnen de 12 weken wind- en waterdicht kan maken?					Ja					MIDDELHOOG
GEVOLG OP RISICO-ANALYSE					Origined scoresysteem behouden					HOOG
										ONGESCHIKT
										2,77
										5,55
										7,00
										8,32

RISICOScore



Het preventie-advies wordt opgebouwd aan de hand van **drie preventiematrices**: het CIL-paneeelopervlak, blootgesteld kops hout en bouwvaden. Deze zijn uitgewerkt voor het toepassingsvoorbeeld op volgende pagina's. Deze opsplitsing is gegond in het feit dat ieder van deze drie een andere methodiek vereist wat betreft beschermingsinstrumenten, monitoring en maatregelen na bevochtiging. De globale opzet blijft echter voor iedere matrix hetzelfde, ledere matrix bestaat uit een **ontwerpmatig luik** (links) en **uitvoeringstechnisch luik** (rechts), elks bestaande uit een set **algemene adviezen** aangevuld met **specifieke adviezen** per preventie niveau. De algemene adviezen dienen ongeacht het geadviseerd preventie niveau nagestreeft te worden.

Preventiematrix oppervlak CLT

Preventiematrix oppervlak CLT

ONTWERPMATIG BLOOTGESTELD KOPS HOUT		
ALGEMEEN	PREVENTIE NIVEAU	BESCHERMINGSMETHODEK
KOPS HOUT DETALMATIG VERMIJDEN Indien structureel toepasbaar, pas de balloonframe methodek toe in plaats van de platformbouw methode. Hierbij wordt kops hout echter een wand gestoken, waardoor dit niet blootgesteld is aan de omgeving.	L	Naakt paneel Hydrofobiseringscoating
	M	Ademend zelfklevend weersmembraan + tapes op drager Vb. (Semi-)Permeabel
AFSCHOT IN KOPS HOUT VOORZIEN Indien mogelijk kan men helling voorzien in het kops hout, zodanig vloeibaar water gravitaal kan afstromen van het kops hout in plaats van stagneren. (Vb. dakopstand)	H	Dampdichte membraan Vb. Wax-coating EPDM-membraan + tapes Bluminox (vloeibaar membraan (Tapes))
	ONGESCHIKT	Fundamentele heroverweging van materiaalkeuze nodig.
Preventiematrix Blootgestelde kopse paneelzijde		

ONTWERPMATIG BOUWNADEN		
ALGEMEEN	PREVENTIE NIVEAU	BESCHERMINGSMETHODEK
OPTIMAL PANEL CONFIGURATION Streef in samenwerking en ingenieurs met de leverancier naar een minimaal (verschillend) aantal panelen. Dit vermindert drastisch het aantal bouwnaden, dus dus potentiële plekken van vochtaccumulatie.	L	Geen bescherming van bouwnaad
	M	Tapes om bouwnaad af te sluiten (bij voorkeur dampoppen) Dampopen membraan optrekken tot over bouwnaad en afslaan tegen drager
VERMIJDEN HORIZONTALE BOUWNADEN Bouwnaden zijn inherent aan detaillering. Toch kan het aantal verminderd worden door ontwerpmatige beslissingen, zoals een beperkt aantal door-en oversteken, terrassen uit CLT, het aantal opleggingen te beperken. Indien structureel mogelijk, kan platformbouw ingewisseld worden voor een ballon-frame methodek. Hier wordt een horizontale bouwnaad vervangen door een verticale.	H	Dampdicht membraan optrekken tot over bouwnaad en afslaan tegen drager Vloeibaar afsluitingsmembraan over de bouwnaad tegen drager
	ONGESCHIKT	Fundamentele heroverweging van materiaalkeuze nodig.
Preventiematrix Bouwnaden		

UITVOERINGSTECHNISCH BLOOTGESTELD KOPS HOUT

MONITORING

Visueel en voelen

Oppervlaktmeting

Dieptemeting vooraleer dampremmende laag over tegen plaatsen

Bovenstaande + dieptemeting na bevochtiging

Bovenstaande + dieptemeting per twee weken

MAATREGELEN NA BEVOCHTIGING HOUT

Natuurlijke ventilatie

Geforceerde ventilatie met droge lucht gericht naar kops hout

Verwijderen van dampdichte membranen
Drogend maximaal faciliteren

Geforceerde ventilatie met droge lucht gericht naar kops hout

Bouwdrogers aan gematigde temperatuur

DISCLAIMER

Indien een lager beschermingsinstrument dan het aanbevolen preventieniveau gekozen wordt, dient het uitvoeringstechnische luik strikt het aanbevolen niveau volgen.
Bijvoorbeeld:
Medium beschermingsinstrument gekozen na hoge risico-analyse
Hoge uitvoeringstechnische luik te hanteren

ALGEMEEN

Breng zo snel mogelijk de bescherming aan op het droge kops hout.
Voorzie bij vloeren een kleine boordopstand:
Stagereend water op de vloer zal zo niet afstromen naar het kops hout,
om vervolgens daar in te trekken. Belangrijk hierbij is wel om steeds adequate drainage te voorzien zodat geen bad gevormd wordt.
Overloop de checklist voor ieder weekend of vrijdagdag.
Voor een periodieke controle uit naar perforaties in (dampdichte) lag en correcte hechting aan kops hout.

VERKLEVENING

Breng slechts bescherming aan op voldoende droge panelen (uub 20% MC).
Anders zal de bescherming niet goed hechten op raw kops hout.
ADAPTIEVE WERPLANNING
Faciliteer planningswijzigingen bij sterke neerslagkans.

UITVOERINGSTECHNISCH BOUWNADEN

MONITORING

Visueel en voelen

Oppervlaktmeting

Dieptemeting binnen de 3cm van naad vooraleerdampremmende laag die naad bedekt.

Bovenstaande + dieptemeting na bevochtiging (max. 3 cm van naad)

Bovenstaande + dieptemeting per twee weken (max. 3cm van naad)

MAATREGELEN NA BEVOCHTIGING HOUT

Natuurlijke droging neemt te veel tijd in beslag.
Eens bevochtigde bouwnaad, direct over te gaan naar middelhoge categorie

Geforceerde ventilatie met droge lucht gericht naar bouwnaad

Verwijderen van dampdichte membranen
Drogend maximaal faciliteren

Geforceerde ventilatie met droge lucht gericht naar bouwnaad

Bouwdrogers aan gematigde temperatuur

DISCLAIMER

Indien een lager beschermingsinstrument dan het aanbevolen preventieniveau gekozen wordt, dient het uitvoeringstechnische luik strikt het aanbevolen niveau volgen.
Bijvoorbeeld:
Medium beschermingsinstrument gekozen na hoge risico-analyse
Hoge uitvoeringstechnische luik te hanteren

ALGEMEEN

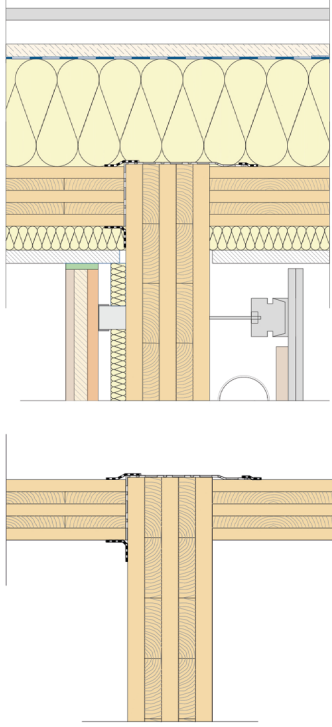
Streef een goede uitlijning van de panelen na, zodanig dat er geen kleine horizontale uitsprongen zijn. Deze dienen als plaatsen van vochtphoping.
Vocht uit bouwnaden krijgen is bijzonder lastig en bijzonder tijdrovend.
Geforceerde droging van enigzins deze lange droogperiode inkorten.
Overweeg daarom om snel na bevochtiging een droge luchtstroom te voorzien in verhuiss.

EFFICIËNTIE VAN GEFORCEERDE DROGING

Indien dampdichte bescherming toegepast, dient deze op regulatieve basis gecontroleerd te worden op perforaties. Vocht die tocht doorloopt, kan vervolgens niet meer drogen.
ADAPTIEVE WERPLANNING
Faciliteer planningswijzigingen bij sterke neerslagkans.

Projectspecifieke interpretatie

Vanuit de preventiematrices zou de ontwerper in staat moeten een uitspraak te doen op vlak van beschermingsmethode, monitoring en maatregelen na bevochtiging. De tool zal resulteren in een vochtbeheersplan voor dit specifieke bouwdetail, uitgekend in een detail in de verschillende werffasen en als afgewerkt bouwdetail. De grafische tekening vormt namelijk steeds het communicatiemiddel bij uitstiek. Bovendien dient ook de monitoring en maatregelen na bevochtiging beschreven te zijn in aparte technische documenten.



Vorgesteld bouwdetail voor de aansluiting van een buitenwand met een tussenvloer

Beschermingsmethode:

Een reflectie over de projectgegevens (specifiek het regenscherm en fasebaarheid), maakt dat er afgevoelen wordt van het preventieadvies. Zo is er geen membraan voorzien voor het verticaal paneeloppervlak. De kopse zijde van het vloerpaneel wordt beschermd met een dampopen membraan, die verkleefd wordt op het onderste wandpaneel en doorgetrokken wordt in de bovenste bouwnaad. Gezien de gevoeligheid van bouwnaden wordt iedere toegang tot de bouwnaad afgetapet. Bij voorkeur met een ademende tape ($\mu d < 3,5m$).

Monitoring:

Gezien de ontwerpmatige beschermingsmethode significant – maar weloverwogen – afwijkt van de geadviseerde beschermingsgraad, dient het uitvoeringstechnische luik wel minimaal het geadviseerde preventieniveau te volgen.

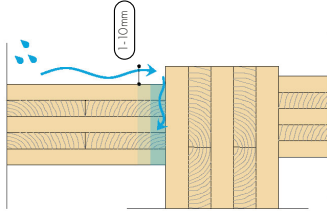
Dit houdt in dat er een periodieke visuele rondgang en dieptemeting, tot in de carterre lamella, nodig is binnen de 3cm van de bouwnaad. Hetzelfde geldt na ieder vermoeden van bevochtiging in de bouwnaad en alvorens het plaatsen van dampremende lagen in de opbouw.

Maatregelen na bevochtiging:

Bij waterophoping op CLT-panelen kan indien personeel aanwezig is, actief worden ingegrepen via een waterstofzuiger of door afwatering naar een voorzien drainagepunt. Indien vocht zich opstapelt in de bouwnaad of kopse zijde, volstaat natuurlijke droging niet en is mechanische droging met gerichte ventilatie aanbevelen, boven én onder het paneel, tot het vochtgehalte onder 19% zakt. Afhankelijk van de ernst van de bevochtiging, kan men een tijdelijk afgebakende zone met platen of zellen vormen met een geforceerde droge luchtstroom.

Bijkomende overwegingen bij dit typedetail

Ieder bouwdetail is specifiek in het licht van vochtbeheersing. Dat maakt dat voorgaand universeel framework nooit een volledig aansluitend preventieadvies kan geven. Een kritische reflectie van het ontwerpteam blijft hierin een nodige voorwaarde. Dergelijke reflectie kan leiden tot bijkomende specifieke voorschriften. Een voorbeeld van dergelijke bijkomende opmerkingen ligt bijvoorbeeld in de **uitvoeringstoleranties** van bepaalde bouwdetails:



Imperfecties in uitvoering die een groot effect hebben op de vochtboostelling in de bouwnaad - © K. Kolbe

Ondanks dat CLT-structuren van in het ontwerpproces met bijzonder lage toleranties zijn vormgegeven, kan het zich voordoen dat de vloerplaat enkele millimeters uitsijkt in verhouding met bovenstaand wandpaneel. Dit kan zich gedragen als een 'ontvanger' van distanderend water van de wand in werffase, en uiteindelijk capillair opgezogen worden in de bouwnaad, waarna het maanden tot jaren kan duren vooraleer dit vocht kan uitdrogen. Daarom is het belangrijk om in de uitvoering strikt na te zien op deze bouwimperfectie om dit risico te vermijden. Een best-practice detail gebruikt bovenop nog een tape verkleefd op de wand en het vloerpaneel, zodanig dat deze bouwnaad beschermd is en pooling wordt vermeden [50].

Conclusie

De ontwikkelde ontwerploop beoogt in eerste instantie **bewustwording** te creëren rond het risico op schade na bevochtiging van CLT-bouwdetails. In bredere zin wil dit instrument bijdragen aan de integratie van vochtbeheersing als essentieel aandachtspunt binnen het Belgische ontwerpproces. Slechts door vochtbeheer – zowel tijdens de werffase als over de levensduur – structureel te agenderen, kan een duurzame en robuuste CLT-bouwpraktijk in België worden gerealiseerd.

Deze tool vormt daarbij een belangrijk onderdeel van het bredere **VochtBeheersPlan (VBP)**, dat als sturend document het ontwerp versterkt, bouwpartners op eenzelfde lijn plaats en de uitvoering gericht ondersteunt. De implementatie en opvolging van een dergelijk plan biedt dan ook het potentieel om de Belgische CLT-bouw naar een hoger en professioneler niveau te tillen.



4. VOCHTBEHEERSPLAN ALS SLEUTEL TOT BEST-PRACTICE

4.1. Vochtbeheersplan als werkinstrument

Een vochtbeheersplan (VBP) is een **projectgebonden instrument** dat vochtgerelateerde risico's systematisch benoemt en beheersmaatregelen vastlegt vanaf de ontwerpfase. Het doel is kennisoverdracht te faciliteren, verantwoordelijkheden af te bakenen en de samenhang tussen ontwerp en uitvoering te versterken. De opmaak start idealiter in de vroege ontwerpfase als werkdocument binnen het ontwerpteam, waarin globale strategieën rond detaillering, opbouwkeuzes en oriëntatie worden vastgelegd. Naarmate het project evolueert richting uitvoeringsdossier, wordt het plan idealiter **verfijnd met input van aannemers, houtbouwers en andere uitvoerders** en – indien mogelijk – CLT-producenten of montagepartners [5,7,8,10,41,53].

De school en complexiteit van het project bepalen de reikwijdte van het VBP. Kleine projecten valsgaan met een beknopte versie, terwijl grotere dossiers nood hebben aan een uitgebreide bundel met gefaseerde maatregelen en duidelijke rolverdeling. Een volledig uitgewerkt VBP kan als **startvoorwaarde voor de uitvoering** gezien worden. Bij CLT-bouw, waar de tolerantie voor vocht bijzonder laag ligt, is improvisatie op de werf immers uitgesloten. Een VBP hoort in ons klimaat dus geen vrijblijvende bijlage te zijn, maar een essentieel onderdeel van het bouwvoorbereidend traject.

4.2. Aanbevolen inhoud

Luik 1: Projectinfo & Partners

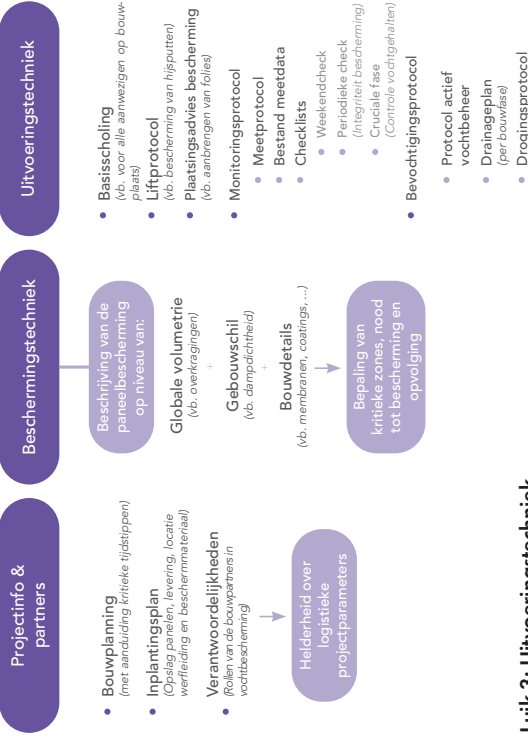
Eén van de drie meest voorkomende oorzaken van vochtproblematieken bij CLT structuren ligt bij een gebrek aan duidelijkheid over de **rollen van iedere bouwpartner** in relatie tot de vochtbehouding in werffase. Daarom is het van belang om voor aanvang te bespreken wie welke taken zal uitvoeren. Dit zal betwistingen in het geval van vochtintusie tijdens de bouwphase verminderen [41,53].

Een aantal logistieke projectdocumenten kunnen een onderdeel vormen van een VBP. Een **bouwplan-ning** met aanduiding van de fasen (vb. plaatsen van een afdichting) die draging later zullen verinderen. Cruciale momenten, zoals leveringen van panelen, kunnen hierop aangeduid staan. Een **sieplan** is daarin aanvullend, waarbij de leverings- en opslagplaats van de panelen aangeduid staat.

Luik 2: Beschermingstechniek

Per bouwdeel en -detail wordt het risico op bevochtiging geëvalueerd, zowel in werffase als in gebruiksfase. Daarbij wordt ook nagedacht over mogelijke herstellende maatregelen bij vochtintusie. Een centrale vuistregel is dat op elk punt van de constructie een antwoord geformuleerd moet worden op de vraag **“Wat als?”** Wat als het regent tijdens de montage? Wat als er toch vocht doorsijpelt? En wat gebeurt er als een paneel nat is? Deze oefening **legt kritieke zones bloot** en vormt de basis voor gerichte beschermings- en opvolgingsstrategieën. Idealiter resulteert het in een **detailbundel** [53].

VOCHTBEHEERSPLAN Aanbevolen inhoud voor aanvang van werken



Luik 3: Uitvoeringstechniek

Een geïntegreerd ontwerproces laat toe om uitvoerende partijen vroegtijdig te betrekken, wat de praktische en economische haalbaarheid van de vochtbehouding verhoogt. In samenspraak kunnen zo sturende documenten worden opgesteld door het ontwerpteam, met als doel een vlotte bouwphase te garanderen:

Het uitvoeringstechnische luik van een VBP bestaat vooral uit een reeks concrete **protocollen**. Deze geven vooraf duidelijke richtlijnen over hoe het project op vlak van vochtbeheer aangepakt moet worden. Denk aan afspraken over de montage van panelen, het aanbrengen van beschermlagen, de manier en frequentie van vochtmetingen en rondgangen, of welke maatregelen nodig zijn wanneer er toch vocht in een bepaalde zone terechtkomt.

Zowel de detailbundel als deze protocollen zijn best **adaptief** [15]. Als de werfomstandigheden veranderen of de vochtblootstelling hoger blijkt dan voorzien, kunnen beschermings- en monitoringsstrategieën tijdig worden bijgesteld. Zo kan bijvoorbeeld een alternatieve bouwplanning worden voorzien voor wanneer bepaalde fasen vertraging oplopen. In wat volgt, worden enkele principes en praktische handvaten aangereikt voor deze uitvoeringstechnische protocols in een VBP:

5. BEST-PRACTICE UITVOERING



De eerder beschreven 'Protection-by-Design' vormt de grootste sleutel tot preventie tegen vocht. Zelfs met een doordacht ontwerp op vlak van vochtbeheersing, dient men er echter nog steeds vanuit te gaan dat een bepaalde kleine hoeveelheid vocht de panelen zal bereiken. Een **nauwgezette uitvoering en opvolging** is daarom de tweede belangrijke sleutel tot een vochtresistente CLT-constructie. Dit deel zal enkele praktische principes uitleggen voor een Best-Practice uitvoeringsproces, gaande van de levering van de panelen tot de monitoring in levensduur:

5.1. Werfvoorbereiding en transport

Leveringstiming

In het beste geval worden panelen geleverd op de dag van montage: **Just-In-Time Delivery**. Hiermee vermijdt men een opslagperiode, waar zich vaak de eerste vochtproblemen op de bouwplaats voordoen. Hiervoor is een goede bouwplanning en afstemming met de leverancier vereist. Een tijdelijke opslagplaats op een naburig overdekte plaats is equivalent [53].



Staat van de panelen bij aankomst

Gezien CLT meestal geleverd wordt uit centraal Europa, vraagt men best of de panelen tijdens het transport neerslag hebben gezien. Verder controleert men ook best op beschadigingen van de verpakkingfolie (indien aanwezig). Deze folies zijn vaak niet ademend maar wel zeer snel gescheurd. Om betwistingen te vermijden, voert men best een vochtmeting uit op de panelen kort na levering. Het vochtgehalte dient $12 \pm 3\%$ te zijn [3].



Alle neuzen in één richting

De sleutel tot een succesvol bouwproject is ervoor zorgen dat de timing, inhoud en **takenverdeling** op elk niveau worden gecommuniceerd vooraleer de bouwfase aan te vallen. Bespreek wie verantwoordelijk is voor de het aanbrengen en monitoren van de bescherming, wie metingen uitvoert... [53]



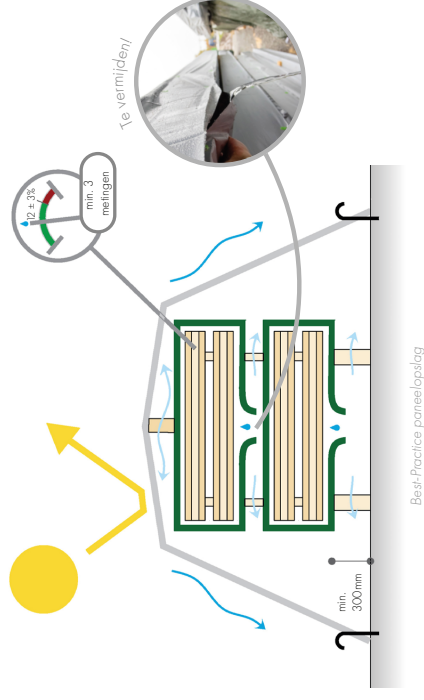
Basisscholing

De meeste schadegevallen bij CLT-projecten ontstaan aan de interfaces tussen verschillende bouwpartners [54]. In dit licht kan een gerichte scholing door de houtmonteur aan minder ervaren werfmedewerkers een belangrijke rol spelen. Door hen bewust te maken van de vocht risico's en het aanbrengen van duidelijke, projectspecifieke basisregels kunnen fouten en schade door onwetendheid vermeden worden. Daarnaast vormt het actief stimuleren van meldingen van wanpraktijken bij de verfleiding of de houtinstallateur een efficiënte aanvulling op het bestaande vochtbeheer [55].



5.2. Bescherming in-situ

5.2.1. Best-Practice paneelopslag



Opslagwijze

Indien panelen toch moeten opgeslaan worden op de site, is dit vaak zo kort mogelijk en onder volgende omstandigheden [3, 54]:

- Opake fabrieksverpakking wordt onderaan doorsneden. Dit garandeert uitstroom en ventilatie.
- Het onderste pakket heeft een aanzethoogte van minimaal 300mm. Een goede vuistregel om overbelasting te vermijden is om niet meer dan 5 panelen te stapelen.
- Er worden afstandhouders gebruikt tussen de pakketten om ventilatie te faciliteren.
- Een extra tentzeil is zeer voordelig om afwatering en schaduw bij de panelen te voorzien en beschadigingen in de folie te vermijden. Er dient echter steeds voldoende ventilatie mogelijk te zijn.

Volgorde van stapelen

De stapelvolgorde van CLT-panelen beïnvloedt de vochtveiligheid meer dan vaak gedacht. Bij Just-in-Time levering worden panelen omgekeerd gestapeld, zodat het eerst te monteren paneel bovenaan ligt. Bij in-situ opslag wordt net de plaatsingsvolgorde gevolgd. Zo vermijdt men extra hefbewegingen die de beschermfolie kunnen beschadigen en vochtinruste kunnen veroorzaken. Communiqueer dus steeds aan de leverancier of panelen meteen gemonteerd worden of tijdelijk opgeslagen [3, 54].

Tijdelijke opslag individuele panelen

Panelen worden vaak uit hun verpakking gehaald om tijdelijk gestockeerd te worden kort voor montage, vooral bij wandpanelen. Spreid deze panelen over de vloer om overbelasting te vermijden en plaats afstandhouders voor ventilatie. Bij regenweer is het cruciaal om het kopshout tijdelijk af te dekken met een zeil, om vocht opname via de gevoelige kopse zijde te vermijden. Deze zone vormt na montage namelijk een bouwnaad, waaruit vocht zeer traag kan drogen [11], [6].

5.2.2. Passieve bescherming

Passieve Paneelbescherming

CLT-panelen kunnen beschermd worden met membranen, tapes, coatings of matten. Er bestaat niet zo iets als een one-stop-shop oplossing: **het juiste hulpmiddel moet gekozen worden op de juiste plaats én het juiste moment**. Dat laatste is van belang gezien de meeste beschermingsmaterialen hechten zich slecht op panelen met een vochtgehalte boven 20% [3], 54-56].

Daarnaast leert de praktijk dat de prestaties van deze beschermingsmiddelen vaak worden overschat. De kleinste perforaties – vaak onvermijdelijk op een werf – kunnen de waterdichtheid beschreven in technische fiches ernstig aantasten [3], 57]. Daarom is een goede opvolging nodig om de voorgeschreven waterdichtheid zoveel mogelijk te behouden.

Passieve Projectbescherming

Passieve bescherming slaat echter niet zuiver op bescherming op de panelen. Er zijn ook methoden om grotere delen van het project te gaan beschermen. Vooral in Scandinavische landen maakt men soms gebruik van een **bouwtent**. Wanneer men gaat bouwen onder een tent, krijgt men hetzelfde effect als een extra tentzeil bij het oplossen van panelen: het afweren van neerslag. Onderzoek toonde aan dat dit bijzonder efficiënt is [57]. Niet alleen zien de panelen in eerste plaats minder neerslag. Ook de omgevingsparameters - zoals relatieve vochtigheid en temperatuur - zijn aangenamer. Bovendien zijn de panelen minder glad. Dit laat toe om de snelheid van CLT-bouw maximaal te benutten.



Vollgedige bouwtent
© Högakretell



Lokale bouwtent
(Design Museum Gent)



Tijdelijk dichtgegewerkte openingen
© Gustafsson, A.

Ondanks hun bewezen efficiënt worden dergelijke tenten in niet-Scandinavische gebieden weinig tot niet toegepast. Dit is omdat de impact van deze tent op de praktische, maar vooral economische, haalbaarheid vaak overmatig is. Er bestaan echter **schaalbare tussenoplossingen** die vergelijkbare bescherming bieden. In vele gevallen is bijvoorbeeld reeds een **gevelstelling** nodig voor het uitbouwen van de gebouwschil. Indien men doeken aan deze stelling bevestigt - weliswaar rekeninghoudend met bijkomende windbelasting op de stelling - kan dit een extra laag van defensie vormen voor gevelpanelen. Andere zones kunnen bijvoorbeeld baat hebben bij een **lokale stelling met zeilen**. Door de grote hoeveelheid wind-driven-rain in België kan het ook helpen om **schrijnwerkopeningen tijdelijk af te dichten**. Al deze vormen van globale bescherming zijn meer hands-on en praktisch meer haalbaar.

5.3. Hijsen en handling van panelen

Er bestaan verschillende hijsystemen, elk met een eigen draagcapaciteit. De keuze van het systeem ligt meestal bij de plaatter. Toch is het ene systeem vochtveilig(er) dan het andere. Vaak vereist het hijspunt een doorboring in het paneel om een schroef of hijsconsale te verankeren. Deze doorboring stelt zich bijzonder gevoelig op voor vochtopname, zeker wanneer ze niet volledig door het paneel loopt. In dat geval ontstaat een 'badje' waar water zich kan ophopen en in het paneel kan trekken. Het is daarom cruciaal om **hijsputten** onmiddellijk na montage af te dekken met een membraan of tape [3], en in indien mogelijk **doorboren** zodat er geen badvorming mogelijk is.



Lifting met wrijvingshaken
(Design Museum Gent)



Hijspunt met vochtopname
(Design Museum Gent)



Beschermde hijsput kort na plaatsing
© Gustafsson, A.

5.4. Vochtmonitoring tijdens de bouwfase

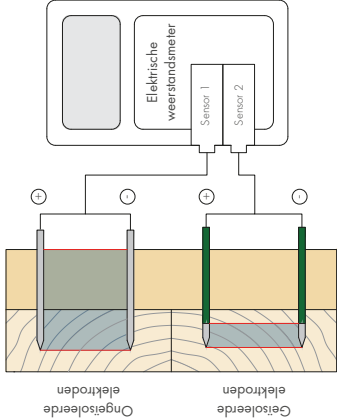
5.4.1. Aanbevolen vochtmeter

Vochtmeters zijn het instrument bij uitstek om de ernst van bevochtiging in te schatten. Bij CLT-panelen is vooral het vochthehalte in de verschillende lamellen en dieptes van belang. Na regen zal de buitenste lamella snel vocht opnemen én drogen, terwijl de kern vaak weken tot maanden nodig heeft om onder de veilige grens van 19% te geraken [9- 11].

Daarom zijn oppervlaktevochtmeters, zoals capaciteitsmeters of weerstandsmeter met korte elektroden, eerder indicatief. Idealer werkt men met een **elektrische weerstandsmeter met inslaande elektroden via een slaghamerprincipe**. De elektrodenlengte, en dus meetdiepte wordt afgestemd op de lamelconfiguratie. Dit type meter moet vóór gebruik worden gekalibreerd op houtsoort en temperatuur [58-60]. Achteraf dient men de inslagaten van de elektroden weer te beschermen met tape of membranen.



Slaghamermeter - © Dietrich, P.



De keuze van elektroden is ook van belang voor een correct meetresultaat. Nevenstaande figuur illustreert hoe geïsoleerde elektroden het mogelijk maken een gerichte vochtmeting uit te voeren op een specifieke diepte. Dit maakt dat het vochtgehalte van bovenliggende lamellen of de elektrische geleiding van eventuele membranen of coatings niet wordt meegenomen [58].

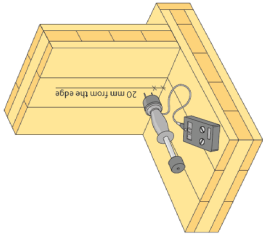
5.4.2. Correcte meetpraktijk

Meetlocatie

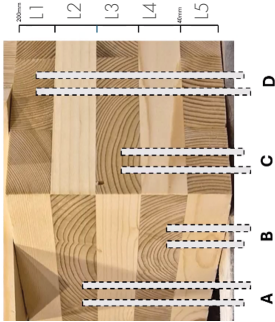
Het meetprotocol beschreven in de NBN-norm [61] is, vanwege een irrelevante aanelhoogte, niet direct toepasbaar voor CLT-panelen. Op basis van labo testen, werd een ideaal aanzeipunt bepaald voor een slaghamermeting. Algemeen bevindt de meest kritieke zone zich binnen de 15cm van de paneelrand. In of kort na bevochtiging, meet men idealiter zo kort mogelijk (2-3cm) van de paneelrand. Indien men vermoedt dat het paneel in droogfase zit, gaat men idealiter aanvullend meten op ongeveer 10cm. Zo weet men of het vochtgehalte dieper in het paneel hoger ligt dan aan de rand [36, 43, 62].

Meetdiepte

De geringe voorgeschreven meetdiepte in de norm is ook hier niet relevant, aangezien men bij CLT vooral geïnteresseerd is in het vochtgehalte van de kern. Bovenste lamella's drogen sneller uit, zeker bij ademende opbouwen. Daarom moet men gericht meten in de meest gevoelige lamella: degene die vocht opneemt in vezelrichting maar beperkt van uitdrogen door onliggende lagen. Afhankelijk van de opbouw en oriëntatie van het paneel kan deze lamella verschillen. Links op nevenstaande figuur meet men idealiter lamella 2 en 4, waar dit rechts net 1, 3 en 5 is. Een ondoordachte meetdiepte levert zo mogelijk een misleidende vochtgehalte op [33,42-43].



Aangewezen meetlocatie - © Gustafsson, A.



Verschillende meetdieptes - © Clifford, N.

Meetfrequentie en spreiding

De meetfrequentie wordt bepaald in het VBP en hangt dus steeds af van het risico-profiel. Bij elk vermoeden van bevochtiging, en vóór het aanbrengen van dampremmende lagen, is een meting echter zeker nodig. Zorg voor een goede spreiding: nabij en verder van aansluitingen, en in het midden van overspanningen. Meetgaten mogen niet hergebruikt worden [32,33, 42]. Indien mogelijk, meet men best vanaf de onderzijde van vloerpanelen om membranen niet te doorboren.

Criterium en monitoring

Er is een groot verschil tussen willekeurige en onderbouwde vochtdata. Wanneer men systematisch rond dezelfde punten in de vastgelegde spreiding metingen uitvoert en daarbij goed de omgevingsparameters bij noteert in een meegroeibestand - zoals hieronder geïllustreerd - is het mogelijk waardevolle conclusies te trekken. Zo kan men bijvoorbeeld zien of een paneel zich in vochtopname-fase (eerste twee kolommen) of drogingsfase (laatste kolom) bevindt [31, 42].

IN-SITU VOCHTMONITORING - REGISTRATIEFORMULIER						
ALGEMENE INFORMATIE						
Projectnaam	Sternenwacht Campus Boekentoren					
Adres van de bouwplaats	Jozef Plateastraat 68, 9000 Gent					
Klant	Universiteit Gent					
MEETAPPARATUUR	2/05/2025	12/05/2025	22/05/2025			
Gebruikt model	Gann Hydromette HT 65	Gann Hydromette HT 65	Gann Hydromette HT 65			
Kalibratie temperatuur doorlopen?	Ja	Ja	Ja			
Kalibratie foutsoort doorlopen?	Ja	Ja	Ja			
MEETOMSTANDIGHEDEN						
Tijdstip test	14:00 - 15:30	16:00 - 16:50	9:00-9:30			
Naam uitvoerder	Tomas De Landsheer	Tomas De Landsheer	Tomas De Landsheer			
Buitentemperatuur	16°C	18°C	9°C			
Relatieve vochtigheid rond paneel	79%	82%	77%			
Weersomstandigheden tussen datum van meting en vorige meting	Buiten gedurende twee dagen, droog op vrijdag hevige regen rest	Regenachtige periode dagelijkse neerslag	Hele tijd zonnig en droog			
Zichtbare vochtigheid aan/rondom paneel	Hevig vochtige condities	Regenachtige condities	Droge condities			
MEETRESULTATEN						
REFERENTIELOCATIE	V00.WP06.A08.B09					
PANEEELCONFIGURATIE EN -DIKTE	120 mm [40/40/40]					
Vochtgehalte op meetdiepte	17,80%	23,50%	17,20%	18,90%	20,80%	22,40%
10mm	16,20%	22,80%	18,90%	17,20%	18,90%	20,80%
20mm	15,70%	18,40%	20,60%	16,70%	18,90%	22,40%
40mm	15,70%	18,40%	20,60%	16,70%	18,90%	22,40%
60mm	geen	16,70%	22,40%	16,70%	18,90%	22,40%
Varia						
Vordering van werken t.h.v. meting	Montage van wandpaneel gisteren	Montage van rest van verdieping, uitharden van chape	Platen van schrijnwerk en isolatie			
Opmerkingen bij vochtmeting	-	verhoogde aandacht volgende week bij hoge gehalten dieptemeting verder dan 40 mm	Geforceerde droging op bouwraad geplaatst.			
Beeldmateriaal	nvt	nvt	nvt			

Illustratief voorbeeld van een logbestand van vochtmetingen

Opkomst van vochtsensoren

Het afgelopen decennium kende een sterke ontwikkeling in vochtsensoren, met als doel schade te vermijden via vroegtijdige waarschuwing. Ze werken volgens hetzelfde principe als een elektrische weerstandsmeter, maar blijven op kritieke punten zitten en voeren tot 24 metingen per dag uit op vaste diepte. Zo kan men de bevochtigingshistoriek in real-time opvolgen. Deze technologie is duur en moet daarom tijdig ingecalculeerd worden in het ontwerp en VBP. Ondanks dat deze techniek een hoge efficiëntie kan hebben, is verder onderzoek nodig naar de optimale plaatsingsfrequentie voor betrouwbare toepassing [33, 42, 63].

5.5. Maatregelen na bevochtiging

Na bevochtiging is er vaak een nood tot droging om de panelen niet langdurig boven een vochtgehalte van 19% te houden. Vocht verlaat CLT-panelen namelijk aanzienlijk **trager dan dat het vocht opneemt**. Dat volgt uit bouw fysieke drogingsprincipes bij poreuze materialen, bestaande uit twee droogfasen. De tweede berust zuiver op dampdiffusie, wat bijzonder traag verloopt. Anderzijds staat een bouwproces met CLT net gekend om zijn uitvoeringsnelheid [9,40].

In tegenstelling tot houtskelebouw, dat zich kenmerkt door een gering houtvolume met een relatief grote blootgestelde oppervlakte, hebben CLT-panelen een omgekeerde verhouding: een groot volume met relatief beperkte oppervlakteblootstelling. Dit belemmert het droogvermogen aanzienlijk. In combinatie met het vochtige Belgische klimaat en het verhoogde risico op schimmelaantasting, resulteert dit in een grotere noodzaak tot actieve droging dan bij conventionele houtskeleconstructies. Droging kan, afhankelijk van de ernst van de bevochtiging, op twee manieren gebeuren [64]:

5.5.1. Natuurlijke droging



Ieder droogproces heeft nood aan drie ingrediënten:

- Voldoende **droge omgeving** [onder de 65% relatieve vochtigheid] [64]
- **Luchtstroming**
- Voldoende hoge **omgevingstemperatuur**



Om maximale droging langs alle paneelzijden toe te laten dienen, zoveel als mogelijk, dampremmende lagen tijdelijk verwijderd te worden. In het vochtige en neerslagrijke Belgische klimaat zal natuurlijke droging enkel voldoende snel zijn in een, al dan niet tijdelijke, gesloten omgeving.



Indien men toch berust op natuurlijke droging in de buitenomgeving, voorziet men best een zwart zeil (hogere temperatuur onder het zeil) in helling boven de bevochtigde zone, waarbij voldoende luchtstroming is voorzien. Dit zeil dreineert niet enkel toekomstige neerslag, maar zorgt bij bezonning ook voor een hogere omgevingstemperatuur onder het zeil, wat de droging bevordert [31, 64].

5.5.2. Geforceerde mechanische droging

Geforceerde droging houdt het gebruik van **ventilatoren** in, al dan niet met **toevoeging van warmte** en **ontvochtiging**, om een droog en geventileerd klimaat rondom de panelen te garanderen. Om kringscheuren te voorkomen aan de panelen bij mechanische droging, dient de **droogsnelheid weloverwogen** te zijn door een correcte afstemming van drie parameters: relatieve vochtigheid van de lucht rondom de panelen, temperatuur en luchtstroming

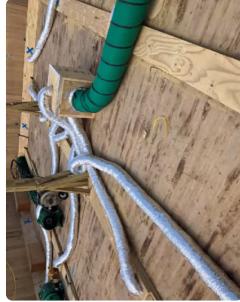


Verwarmer, ventilator en ontvochtiger - © Ivo Van Dooren

Het gebruik van een ventilator is de meest veilige optie, gezien dit zuiver voor een luchtstroming zorgt. Wanneer men een gesloten zone kan garanderen, is dit vaak een tussenoplossing tussen natuurlijke en mechanische droging. Vanaf men echter temperatuur en/of ontvochtiging in het spel brengt, wordt het risico aanzienlijk groter dat de toplaella van het paneel aanzienlijk sneller zal drogen dan de rest van het paneel. Dit zal resulteren in interne spanning, die uiteindelijk zorgen voor kringscheuren, wat op hun beurt weer voor eenvoudige paden voor vocht- en luchtinrusie vormen. Daarom is het nodig de droogsnelheid in te perken. Dit kan door de **relatieve vochtigheid van de omgevingslucht tussen de 40 en 60%** te houden en de **luchttemperatuur nooit warmer dan 25°C** [15,64].



Ventilator gericht naar plafond (Design Museum Gent)



Geforceerde droging in tijdelijke onkastingen © Cliford N.



Delaminatie door overmatig drogen - © K. Kalbe

In de eenvoudigste, maar minst efficiënte toepassing plaatst men de apparatuur vrijstaand in de ruimte, gericht op de vochtige zone. Een meer gerichte, energie- en tijdsefficiënte droging wordt echter bekomen door het creëren van een **tijdelijke afgeschermd zone**, waarin men een circuit van warme en droge lucht doet ontstaan. Dit beperkt het benodigde luchtvolume, verhoogt de effectiviteit en verlaagt het energieverbruik. Dergelijke compartimentering kan gerealiseerd worden met zeilen of tijdelijke onkastingen [15]. Men dient echter te onthouden dat eender welke vorm van droging slechts een noodmaatregel is, en ten allen tijde dient vermeden te worden.

6. CONCLUSIE

De bouwsector staat voor grote uitdagingen binnen de bredere klimaatopgave. De sector is verantwoordelijk voor een 40% van de wereldwijde CO₂-uitstoot en wordt daardoor terecht geïsoleerd in de transitie naar duurzamere maatschappelijke modellen. Bio-gebaseerde materialen en circulaire bouwstrategieën winnen aan belang, en constructiesystemen zoals CLT-bouw passen binnen dat verhaal. CLT-panelen slaan CO₂ op en zijn geschikt voor een efficiënte en snelle bouwwijze. Hierdoor vormen ze een duurzaam alternatief voor gangbare materialen zoals beton of staal, die net aanzienlijke hoeveelheden CO₂ uitstoten in productie.

Toch blijkt de toepassing van CLT-bouw in België vandaag eerder beperkt. Er blijkt een beperkt vertrouwen onder bouwprofessionals waar vooral de geringe kennis en ervaring met houthoutmassiebouw binnen de Belgische bouwcultuur aan de oorzaak ligt. De kennis over CLT is vaak versnipperd en reikt zelden tot in de diepte. Thema's zoals detaillering, vochtbeheer en veiligheid krijgen in veel (professionele) opleidingen en bouwpraktijken slechts geringe aandacht. Dat vormt een risico, want net deze aspecten zijn bepalend voor het welslagen van een CLT-project binnen ons klimaat. De bouwsector kan zich bij dit constructiesysteem minder veroorloven om al doende te leren. Kortom: het vraagt om meer bewustwording en bijscholing bij ontwerpers, aannemers en ingenieurs.

Dit addendum, en de achterliggende bredere scriptie, hoopt deze kennis onder bouwprofessionals op te wekken en daarmee bij te dragen aan een de Belgische houtbouwcultuur. De vochtgevoeligheid van CLT-panelen is een uitdaging, maar dient niet gezien te worden als een slagboom. Het volgen van de juiste ontwerpregels, het ontwikkelen, aanpassen en naleven van een projectspecifiek vochtbeheersplan (VBP) en het correct vastleggen van de verantwoordelijkheden op de bouwplaats blijken hierin sleutels te zijn tot meer vochtresistente Belgische CLT-projecten.



[Beeld: Michel De Cleene]
Design Museum Gent

7. REFERENTIES EN LITERATUUR

- Olsson, L. (2020). Moisture safety in CLT construction without weather protection-Case-studies, literature review and interviews. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/2020172>
- Waugh Thisleton Architects. (2018). UK CLT Handbook.
- Gagnon, S., & Karacabeyli, E. (2019). Canadian CLT Handbook - 2019 Edition (Karacabeyli Erol & Gagnon Sylvain, Red., Vols. 1 & 2). FPinnovations. <https://web.fpinnovations.ca/clt/>
- ASBP. (2018). Case Study - Highpoint Terrace. The Alliance for Sustainable Building Projects. <https://asbp.org.uk/case-studies/highpoint-terrace>
- INBO. (2021). Cross laminated Timber - Handleiding voor Architecten en Bouwkundigen. INBO. www.inbo.be
- Forest & Wood Products Australia. (2022). Advocating The Environmental Benefits of Timber in Construction. <https://fwpa.com.au/podcast/ep-05-advocating-the-environmental-benefits-of-timber-in-construction/>
- RDH Building Science. (2021a). Mass Timber Building Enclosure Best Practice Design Guide - A guide for designers, construction professionals, and building developers.
- RDH Building Science. (2021b). Moisture Risk Management Strategies for Mass Timber Buildings - A guide for designers, construction professionals, and building developers.
- Habibie, K. (2022). Hygrothermal behaviour of CLT: investigation of moisture tolerance through experiments and simulations. Ghent University.
- Shane, C. (2024, juli). Mass Timber Moisture Management. RDH.
- Lima, D. F., Duarte, S., Branco, J. M., & Nunes, L. (2024). Mass Timber Buildings: The associated risks of rainwater exposure during construction in the Portuguese climate. Journal of Building Engineering. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.111110>
- Douglas, B., & Karacabeyli, E. (2013). CLT: Cross Laminated Handbook, US edition (US Edition). www.awc.org
- US Department of Agriculture. (2010). Wood Handbook: Wood as an Engineering Material (Centennial Edition). www.fpl.fs.fed.us
- Van de Kuilen, J.-W., Gard, W. F., & Elmcke, G. (2024, juni 10). Timber in Construction: Lecture on Durability Durability of timber (and timber structures). TU München, TU Delft.
- Clifford, N. (2025, april 2). Mass Timber & Moisture: Managing & Monitoring Moisture for CLT Projects. TIAS(UK).
- Johns, D., Richman, R., & Lawrence, C. (2024). Assessing the effectiveness of cross-laminated timber (CLT) roof assembly moisture control and mitigation strategies: A field laboratory. Construction and Building Materials, 457. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.139409>
- Laminated Timber Solutions. (2019). Ontwerpen met CLT.
- Hukka, A., & Vitanen, H. A. (1999). A mathematical model of mould growth on wooden material. In Wood Science and Technology (Vol. 33). Springer-Verlag.

19.	Vitonen, H., & Ritschkoff, A.-C. (1991). Mould Growth in Pine and Spruce Sapwood in Relation to Air Humidity and Temperature. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Products.	38.	Van den Bossche, R. (2024). Innovatief gevelsysteem met metselwerk en biobased isolatie: hygrothermische evaluatie via experimenten en HAM-simulaties
20.	Clausen, C. A., & Yang, V. (2007). Protecting wood from mould, decay, and termites with multi-component biocide systems. <i>International Biodeterioration and Biodegradation</i> , 59(1), 20–24. https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2005.07.005	39.	De Vree, J. (2017). Dampdiffusie en dampdiffusiecoëfficiënt. RDH.
21.	Morris, P. I. (2000). Understanding Biodegradation of Wood in Structures.	40.	Janssens, A. (2021). Syllabus Bouwfysische Aspecten van Gebouwen. Universiteit Gent.
22.	HoutInfoBois. (2022). Toestand van de Houtbouw in België 2011-2022.	41.	Finch, G. (2022, april 5). Mass Timber Moisture Management Planning. RDH.
23.	Scheffer, T. (1971). A Climate Index for Estimating Potential for Decay in Wood Structures Above Ground. In <i>FOREST PRODUCTS JOURNAL</i> (Vol. 21, Nummer 10).	42.	Caldwell, M. (2025, april 2). Moisture Management During Construction: as viewed from a designers' perspective. University of Bath.
24.	Brimblecombe, P., & Richards, J. (2023). Köppen climates and Scheffer index as indicators of timber risk in Europe (1901–2020). <i>Heritage Science</i> , 11(1). https://doi.org/10.1186/s40494-023-00992-7	43.	Gustafsson, A. (2019). The CLT Handbook - CLT structures, facts and planning. Swedish Wood. www.traguiden.se .
25.	Karacabeyli, E., & Lum, C. (2022). Technical Guide for the Design and Construction of Tall Wood Buildings in Canada Special Publication SP-543E.	44.	McClung, R., Ge, H., Straube, J., & Wang, J. (2014). Hygrothermal performance of cross-laminated timber wall assemblies with built-in moisture: Field measurements and simulations. <i>Building and Environment</i> , 71, 95–110
26.	Macleanmy, P. (2004). Collaboration, Integrated Information and the Project Lifecycle in Building Design, Construction and Operation.	45.	Lepage, R. (2012). Moisture responses of wall assemblies of cross-laminated timber construction in cold climates. University of Waterloo.
27.	Deloz, M., & Casteleyn, L. (2022). STL Standaard Taken Lijst (NLI) Toelichting.	46.	Chiniforush, A. A., Valipour, H., & Akbarnezhad, A. (2019). Water vapor diffusivity of engineered wood: Effect of temperature and moisture content. <i>Construction and Building Materials</i> , 224, 1040–1055.
28.	Buildwise. (2023). Fasering in de bouw.	47.	Olsson, L. (2021). CLT construction without weather protection requires extensive moisture control. <i>Journal of Building Physics</i> , 45(1), 5–35
29.	Dillen, M., Masschelein, H., Boschman, J., & Baetens, K. (2016). Werken in Bouwteam: een innovatief bouwproces.	48.	WTCB. (2014). ETICS op houtskeletbouw. WTCB Contact 2014/4.
30.	Netwerk Architecten Vlaanderen. (2024, november 8). De toekomst van de architectenwet.	49.	Michaux, B. (2022). CLT-constructies: essentiële punten om in acht te nemen. WTCB Contact.
31.	Laminated Timber Solutions, persoonlijke communicatie, februari - april 2025	50.	Kalbe, K., Kukk, V., & Kalamees, T. (2020). Identification and improvement of critical joints in CLT construction without weather protection
32.	Blommaert, A., Steeman, M., & Van Den Bossche, N. (2025). Modeling Moisture Accumulation and Decay Potential in Cross-Laminated Timber Wall Assemblies Exposed During the Construction Phase. <i>Buildings</i> , 15(7).	51.	Sora Enso. (2020). CLT by Sora Enso: Construction.
33.	Clifford, N. (2025b, maart 10). Mass Timber Construction Challenges and Insurance Perspectives. Mass Timber Moisture Club.	52.	Sihga. (2022). Sihga Pick Technical Data Sheet.
34.	Kukk, V., Kalljula, L., Kers, J., & Kalamees, T. (2022). Designing highly insulated cross-laminated timber external walls in terms of hygrothermal performance: field measurements and simulations. <i>Building and Environment</i> , 212.	53.	Structural Timber Association. (2022). Moisture management strategy: Process guidance for structural timber building.
35.	Sora Enso. (2025, februari 14). CLT by Sora Enso Technical brochure.	54.	Pröbel, J., & Alsmar, T. (2022). Moisture-proof CLT construction without a full temporary shelter
36.	Kalbe, K., Kukk, V., & Kalamees, T. (2023). Influence of CLT Wetting During the Construction Phase on the Crack Formation and Air Leakages in the CLT. <i>AIP Conference Proceedings</i> , 2918(1).	55.	Bureau Bouwtechniek, Persoonlijke communicatie, 4 april 2025
37.	Hazleden, D. G., & Morris, P. I. (1999). Designing for Durable Wood Construction: the 4Ds.	56.	Woema, Persoonlijke communicatie, april 2025
		57.	Bolmsvik, A., Eriksson, O., Tengberg, C. S., & Johansson, P. (2023). Weather protection at the construction site: Work environment and conditions for moisture and mould growth on massive timber. <i>Journal of Physics: Conference Series</i> , 2654(1).
		58.	Dietsch, P., Franke, S., Franke, B., Gamber, A., & Winter, S. (2016). Methods to determine wood moisture content and their applicability in monitoring concepts.

59. Flexeder, N., & Schenk, M. (2022). Moisture Monitoring Techniques for the Protection of Timber Structures.
60. Forsén, H., & Tarvainen, V. (2000). Accuracy and functionality of hand held wood moisture content meters.
61. CEN. (2002a). EN 13183-2:2002, Moisture content of a piece of sawn timber - Part 2: Estimation by electrical resistance method.
62. Tømte, B., Andersen, E., Karlén, T., Geving, S., & Kvalø, T. (2023). Moisture safety strategy for construction of CLT structures in a coastal Nordic climate. *Journal of Physics: Conference Series*, 2654(1).
63. Kellgren, L. V., Seeborg, A. C., Hagle, D., Øvregård, J., & Rasmussen, J. (2023). A moisture management strategy for CLT using sensor technology to create a robust Norwegian school. 13th World Conference on Timber Engineering, WCTE 2023, 6, 3868–3873.
64. Wang, J. (2016a). Guide for On-site Moisture Management of Wood Construction.

CROSS-LAMINATED TIMBER (CLT) HEEFT ZICH ONTWIKKELD TOT EEN DUURZAAM BOUWMATERIAAL MET SIGNIFICANTE VOORDELEN WAARONDER CIRCULARITEIT EN CO₂-OPSLAG. ONDANKS GROEIENDE BELANGSTELLING BLIJFT DE TOEPASSING IN BELGIË BEPERKT. HET VOCHTIGE BELGISCHE KLIMAAT VORMT EEN RISICO VOOR DIT MATERIAAL, ZOWEL TIJDENS CONSTRUCTIE ALS GEDURENDE DE LEVENSDUUR.

DE BELGISCHE BOUWPRAKTIJK MIST MOMENTEEL EEN SAMENHANGEND KADER VOOR VOCHTBEHEERSING BIJ CLT-PROJECTEN. KENNIS OVER RISICODETAILS EN BESCHERMINGSMETHODEN IS VERSNIJDEN EN NIET STRUCTUREEL INGEBOED IN BOUWPROCESSEN. VERANTWOORDELIJKHEDEN ROND VOCHTBEHEERSING ZIJN VAAK ONDUIDELIJK, WAT LEIDT TOT IMPROVISATIE - IETS WAT CLT GEZIEN ZIJN VOCHTGEVOELIGHEID NIET TOELAAT.

DE ACHTERLIGGENDE SCRIPTIE AAN DEZE GIDS BRENGT, GEBASEERD OP LITERATUURSTUDIE, INTERVIEWS EN PROJECTOPVOLGING, DEZE PROBLEMATIEK IN KAART EN REIKT OPLOSSINGEN AAN OP ONTWERP, UITVOERINGS- EN ORGANISATORISCH NIVEAU. EEN VOCHTBEHEERSPLAN (VBP) BLIJKT HIERBIJ ESSENTIEEL DE STUDIE TOONT AAN DAT DUURZAME CLT-BOUW IN BELGIË HAALBAAR IS MITS SYSTEMATISCHE VOCHTBEHEERSING VANAF DE ONTWERPFASE, EN DRAAGT ZO BIJ AAN DE PROFESSIONALISERING VAN HOUTMASSIEBOUW IN ONS LAND.

DIT ADDENDUM VERTAALT DE VOORNAAMSTE INZICHTEN NAAR PRAKTIJKGERICHTE HANDVATEN IN EEN VOCHTBEHEERSINGSGIDS.

Bijlage A: Risicomatrix Detailleringstool

EXTERNE FACTOREN EN BLOOTSTELLING		SCORE 1	SCORE 2	SCORE 3	SCORE 4	SCORE 5	Score
1. Oriëntatie	Zuid Interieur	Oost	Zuidoost, Noordoost	Zuidwest, Noord	Noordwest, West	Horizontaal dakoppervlak	5
2. Seizoen tijdens opbouw	-	Zomer	Lente	Herfst	Winter		5
3. Locatie van detail	Inpandig Beschermd van externe factoren	Inpandig maar gevoelig voor WDR, slagregen	Inpandig, langdurig blootgesteld aan buitenomgeving (+7d)	Buitenschil	Nabij maaiveld		5

DETAILCOMPLEXITEIT EN ONTWERP		SCORE 1	SCORE 2	SCORE 3	SCORE 4	SCORE 5	Score
4. Aantal samenkomende structurele elementen	1	2	3 of meer	-	-	-	3
5. Kops hout blootgesteld aan exterieur of fundering (incl. werfphase)	Neen	-	-	-	Ja	-	5
6. Bouwnaden	Geen naden	Verticaal	Onder helling	Horizontaal	-	-	4
7. Drogingspotentieel in ruwbouw	Vrije droging mogelijk	-	Belemmerde droging (vb. spleten of dampremmende bescherming)	-	-	-	3
8. Drogingspotentieel met verdere lagen	Dampopen opbouw	-	Dampremmende opbouw	Dampdichte opbouw	Dampdicht	Risico op vocht in spleten	5
9. Schade door lekkages tijdens levensduur door technieken	Geen risico	Laag risico	-	-	Hoog risico	-	5
Risico op vochtinsijpeling in bouwnaden	Geen risico	Laag risico	-	-	Hoog risico	-	5
10. tijdens levensduur (los van technieken, beschouwd zonder bescherming)	Geen risico	Laag risico	-	-	Hoog risico	-	5

BLOOTSTELLING IN WERFPHASE		SCORE 1	SCORE 2	SCORE 3	SCORE 4	SCORE 5	Score
11. Opslag van panelen	Just-In-Time Delivery (JIT)	Inpandige opslag	Best-Practise buitenopslag (-7d)	Best-Practise opslag	Naakte opslag	Langere opslag	5
12. Beschermingsgraad op de panelen	Waterafstotende fabrieksbescherming	-	-	-	Geen fabrieksbescherming	voorzien	5
14. Tijdelijke bescherming in vorm van stellingszeil, tent of overkapping	Ja of inpandig	-	Neen	-	-	-	3

RISICOSCORE

BESCHOUWD DETAIL		RISICOSCORE	210937500	LOG SCORE
		MAX. SCORE	2E+08	8,32
		MIN. SCORE	2	0,30

PREVENTIENIVEAU		ONGESCHIKT
LAAG	0,30	2,77
MIDDELHOOG	2,78	5,55
HOOG	5,56	7,00
ONGESCHIKT	7,01	8,32

MOGELIJKHEID TOT FASERING	
Indien groot project; kan men de bouwplanning zo faseren dat men zones van max. 250m² binnen de 12 weken wind- en waterdicht kan maken?	
GEVOLG OP RISICO-ANALYSE	Bovenstaand gevolg aanhouden

Matrix 1: CLT-paneeloppervlak



Toegang tot digitale documenten

<https://zenodo.org/records/15333140>

Matrix 2 en 3: Blootgesteld kops hout en bouwnaden

ONTWERPMATIG BLOOTGESTELD KOPS HOUT				UITVOERINGSTECHNISCH BLOOTGESTELD KOPS HOUT			
ALGEMEEN		PREVENTIE NIVEAU	BESCHERMINGSMETHODIEK	MONITORING		MAATREGELEN NA BEVOCHTIGING HOUT	ALGEMEEN
KOPS HOUT DETALMATIG VERMIJDEN Indien structureel toepasbaar, pas de ballonframe methodiek toe in plaats van de platformbouw methode. Hierbij wordt kops hout achter een wand gestoken, waardoor dit niet blootgesteld is aan de omgeving. AFSCHOT IN KOPS HOUT VOORZIEN Indien mogelijk kan men helling voorzien in het kops hout, zodanig vloeibaar water gravitaïr kan afstromen van het kops hout in plaats van stagneren. (Vb. dakloptand)		L	Naakt paneel Hydrofobiseringscoating	Visueel en voelen Oppervlaktometing	Natuurlijke ventilatie		Bring zo snel mogelijk de bescherming aan op het droge kops hout. Voorzie bij vloeren een kleine boordopstand: Stagnerend water op de vloer zal zo niet afstromen naar het kops hout, om vervolgens daar in te trekken. Belangrijk hierbij is wel om steeds adequate drainage te voorzien zodat geen bad gevormd wordt. Overloop de checklist voor ieder weekend of verlofdag. Voer een periodieke controle uit naar perforaties in (dampdichte) lagen en correcte hechting aan kops hout.
		M	Ademend zelflevend weersmembraan + tapes op drager Vb. (Semi-) Permeabel	Bovenstaande + dieptemeting na bevochtiging Bovenstaande + dieptemeting per twee weken	Geforceerde ventilatie met droge lucht gericht naar kops hout		
		H	Dampdichte membraan Vb. Wax-coating EPDM-membraan + tapes Bitumineus (vloeibaar) membraan (+tapes)	Bovenstaande + dieptemeting wekelijks Bovenstaande + Sensoren plaatsen bij kritieke plekken	Verwijderen van dampdichte membranen Drogend maximaal faciliteren Geforceerde ventilatie met droge lucht gericht naar kops hout Bouwdrogen aan gematigde temperatuur		
ONGESCHIKT		Fundamentele heroverweging van materiaalkeuze nodig.		DISCLAIMER		Indien een lager beschermingsinstrument dan het aanbevolen preventieniveau gekozen wordt, dient het uitvoeringstechnische luik strikt het aanbevolen niveau volgen. Bijvoorbeeld: Medium beschermingsinstrument gekozen na hoge risico-analyse Hoge uitvoeringstechnische luik te hanteren	
ONTWERPMATIG BOUWNADEN				UITVOERINGSTECHNISCH BOUWNADEN			
ALGEMEEN		PREVENTIE NIVEAU	BESCHERMINGSMETHODIEK	MONITORING		MAATREGELEN NA BEVOCHTIGING HOUT	ALGEMEEN
OPTIMAL PANEL CONFIGURATION Streef in samenwerking en ingenieurs met de leverancier naar een minimaal (verschillend) aantal panelen. Dit vermindert drastisch het aantal bouwnaden, dus dus potentiele plekken van vochtaccumulatie. VERMIJDEN HORIZONTALE BOUWNADEN Bouwnaden zijn inherent aan detaillering. Toch kan het aantal verminderd worden door ontwerpmatige beslissingen, zoals een beperkt aantal door-en oversteken, terrassen uit CLT, het aantal opleggingen te beperken. Indien structureel mogelijk, kan platformbouw ingewisseld worden voor een ballon-frame methode. Hier wordt een horizontale bouwnaad vervangen door een verticale.		L	Geen bescherming van bouwnaad	Visueel en voelen Oppervlaktometing	Natuurlijke droging neemt te veel tijd in beslag. Ens bevochtigde bouwnaad, direct over te gaan naar middelhogte categorie		Streef een goede uitlijning van de panelen na, zodanig dat er geen kleine horizontale uitsprongen zijn. Deze dienen als plaatsen van vochtphoping. EFFICIËNTIE VAN GEFORCEERDE DROGING Vocht uit bouwnaden krijgen is bijzonder lastig en bijzonder tijdsdrovend. Geforceerde droging kan enigszins deze lange droogperiode inkorten. Overweeg daarom om snel na bevochtiging een droge luchtstroom te voorzien in werf fase.
		M	Tapes om bouwnaad af te sluiten (bij voorkeur dampoppen) Dampoppen membraan optrekken tot over bouwnaad en aftappen tegen drager	Bovenstaande + dieptemeting na bevochtiging (max. 3 cm van naad) Bovenstaande + dieptemeting per twee weken (max. 3cm van naad)	Geforceerde ventilatie met droge lucht gericht naar bouwnaad		
		H	Dampdicht membraan optrekken tot over bouwnaad en aftappen tegen drager Vloeibaar afdichtingmembraan over de bouwnaad tegen drager	Bovenstaande + dieptemeting wekelijks (max. 3cm van naad) Bovenstaande + Sensoren plaatsen kort boven naad	Verwijderen van dampdichte membranen Drogend maximaal faciliteren Geforceerde ventilatie met droge lucht gericht naar bouwnaad Bouwdrogen aan gematigde temperatuur		
ONGESCHIKT		Fundamentele heroverweging van materiaalkeuze nodig.		DISCLAIMER		Indien een lager beschermingsinstrument dan het aanbevolen preventieniveau gekozen wordt, dient het uitvoeringstechnische luik te hanteren Bijvoorbeeld: Medium beschermingsinstrument gekozen na hoge risico-analyse Hoge uitvoeringstechnische luik te hanteren	

Bijlage C: Template monitoringsdocument

IN-SITU VOCHTMONITORING - REGISTRATIEFORMULIER			
ALGEMENE INFORMATIE			
Projectnaam			
Adres van de bouwplaats			
Klant			
MEETAPPARATUUR	[DD.MM.JJJJ]	[DD.MM.JJJJ]	[DD.MM.JJJJ]
Gebruikt model			
Kalibratie temperatuur doorlopen?			
Kalibratie houtsoort doorlopen?			
MEETOMSTANDIGHEDEN			
Tijdstip test			
Naam uitvoerder			
Buitentemperatuur			
Relatieve vochtigheid rond paneel			
Weersomstandigheden			
Zichtbare vochtigheid aan/rondom paneel			
MEETRESULTATEN			
REFERENTIELOCATIE			
PANEELCONFIGURATIE EN -DIKTE			
Vochtgehalte op meetdiepte			
10mm			
20mm			
40mm			
Verdere dieptes [specificeer]			
Varia			
Vordering van werken t.h.v. meting			
Opmerkingen bij vochtmeting			
Beeldmateriaal			



Toegang tot digitale documenten

<https://zenodo.org/records/15333140>