

Preamble

The topic of energy within military infrastructure is not only a technically relevant subject, but also a field that I have come to find particularly meaningful throughout my professional and academic journey. During my experience within the infrastructure department, I have increasingly observed how energy, often treated as a background utility, has become a decisive factor in both operational effectiveness and long-term sustainability.

What particularly drew me to this research is the inherent tension between two objectives that are both essential yet not always aligned: achieving climate neutrality and guaranteeing resilience. Military infrastructure must function under all circumstances, including crisis situations, while at the same time adapting to stringent environmental targets and evolving regulatory frameworks. Bridging this gap requires not only technical solutions, but also a more integrated way of thinking about infrastructure, energy systems, and operational requirements. This thesis represents my attempt to contribute to that reflection by combining insights from construction, HVAC, and electrical engineering into a coherent approach.

This work would not have been possible without the guidance and support of several people. I would like to express my sincere gratitude to my supervisors, Professor dr. ir. Michaël Daenen and LtCol dr. ir. Bart Janssens, for their continuous support, critical insights and constructive feedback throughout the development of this thesis. I would also like to thank Bavo Verbrugge, Ruth Appeltans, Pascal Barbary, and Wim Willems for generously sharing their expertise and insights. Their contributions have been invaluable in shaping both the direction and the quality of this work.

I would also like to acknowledge the contribution of various external companies and professionals who were willing to share their knowledge and experience on specific technical aspects. In particular, I would like to thank organizations such as IFTECH, QERN, TPF Utilities, Siemens, TPF Engineering, Concrete house, Willy Naessens nv, SWECO, RelyEZ and VEB for their openness and valuable input. These exchanges helped ground the research in practical reality and enriched the technical depth of the work.

Finally, I would like to thank my wife and daughter for their patience, understanding and support. They have given me the time and space needed to work on this thesis, often making personal sacrifices that made this effort possible.

Through this thesis, I hope to provide not only a technical contribution, but also a reflection on how energy can be approached as a central element in the design of resilient and future-oriented military infrastructure especially now that the Belgian military is entering a decisive investment cycle.

Contents

Preamble	1
List of tables	5
List of figures	8
Glossary	9
Abstract	11
1 Introduction	13
1.1 Background	13
1.2 Scope of the Thesis	14
1.3 Preview	15
2 Sizing the transition challenge	17
2.1 Introduction	17
2.2 The infrastructure patrimony	17
2.2.1 Energy consumption	18
2.3 3 Track Policy	19
2.4 Investments in the infrastructure	20
2.4.1 Investment planning	20
2.4.2 DRFM	21
2.4.3 Renovating or rebuilding	22
2.5 Sizing the military grid	23
2.6 Conclusion	23
3 National military infrastructure	25
3.1 Introduction	25
3.2 Masterplan	25
3.2.1 Base definition	26
3.2.2 Creating and maintaining the masterplans	28
3.3 Current design criteria	30
3.3.1 Design flow	31
3.4 Revision of internal technical instructions	31
3.5 Standardised building blocks	34
3.5.1 Standardised and modular administration or lodging facilities	35

3.6	Geothermal heat networks	38
3.6.1	Open loop and closed loop systems	38
3.6.2	Centralised or decentralised	41
3.6.3	High CAPEX	42
3.6.4	Underground conditions	42
3.6.5	Conclusion	43
3.7	Conclusion	43
4	Conceptualisation of a resilient national military electricity grid	45
4.1	Introduction	45
4.2	Components of a microgrid	45
4.2.1	Energy storage	47
4.2.2	Energy backup power sources	52
4.3	Current status	56
4.3.1	Masterplan	56
4.3.2	Maintenance and upgrades	56
4.3.3	Technical documentation	56
4.3.4	The Internet of Things	57
4.4	Future outlook	59
4.4.1	Conceptual representation of the military electrical grid	59
4.4.2	Technical instructions - NI2	61
4.4.3	Combining electricity and IT	61
4.5	Possible roadmap for implementation	61
4.6	Potential future outlook	64
4.7	Conclusion	65
5	Conclusion	67
	References	72
A	Consulted external parties	73
B	Listing of the internal technical instructions (NI2)	75
C	Elements for masterplanning	76
D	Cost references used for technology assessment	80
E	Elements for public tenders	81
F	NI2 - Energiepolitiek	82

List of Tables

3.1	Simplified breakdown of the outsourced study for the military barracks in Peutie.	29
3.2	Simplified master planning scope matrix.	30
3.3	List of existing reviewed NI2 without their annexes.	30
3.4	Cost breakdown of the modular building concept for administration.	35
B.1	Listing of existing NI2 without their annexes	75
C.1	Master planning scope matrix	76
D.1	Literature cost references and indexed costs used in the thesis	80

List of Figures

2.1	Growth outlook from 2025 to 2034 for the BE MOD.	18
2.2	This figure presents the distribution of total energy consumption (≈ 770 GWh) across operational domains for 2023. Infrastructure accounts for the largest share (48%), followed by air operations (42%), while land (8%) and naval activities (2%) contribute marginally. The outer ring further details the contribution of individual energy carriers.	18
2.3	Representation of the total CO ₂ emissions based on the energy consumption in infrastructure. The actual consumption (blue) is compared to the overall ambition to obtain neutrality by 2040 (orange) and the 3 Track Policy (grey).	19
2.4	Representation of 3 Track Policy.	20
2.5	Indication of cost per square meter of total building area. In blue the Min and Max values from real projects are represented. In green the estimated lowest value and real upper values are represented for the DRFM project.	23
3.1	Conceptual representation of the different layers that form the Masterplan of a military barracks.	27
3.2	Simplified representation of the design flow for infrastructure projects.	31
3.3	Simultaneity factor of electric vehicles charging obtained from different literature reports [1].	33
3.4	Result of the TCO calculation done in the Excel for 3 fictional scenarios.	34
3.5	Indication of cost per square meter of total building area. In blue the Min and Max values from real projects are represented. In green the estimated lowest value and real upper values are represented for the DRFM project. In red a possible prefabricated build is represented.	34
3.6	Frontal schematic representation of a 3 story building consisting of the base modules with base functionalities (e.g. lodging) (red), supporting functionalities (e.g. hallway, stairs) (green) and technical functionalities (purple).	35
3.7	Schematic representation of 3 base modules transformed into single rooms with individual bathrooms.	36
3.8	Schematic representation of 3 base modules transformed into 4 person rooms with individual bathrooms.	36
3.9	Schematic representation of 3 base modules transformed into 6 person rooms with individual bathrooms.	37
3.10	Schematic representation of 3 base modules transformed into administrative work islands or meeting rooms.	37
3.11	Schematic representation of an open loop geothermal system [2].	39
3.12	Schematic representation of a closed loop geothermal system [2].	40

3.13	Representation of open loop system potential in Belgium (Flemish region) [3]. . .	41
4.1	Conceptual representation of a microgrid and its different components [4].	46
4.2	Conceptual representation of energy storage systems and their energy capacity [5].	47
4.3	Schematic of flow batteries [6].	48
4.4	Conceptual representation of a Flywheel energy storage [7].	50
4.5	Conceptual representation Compressed Air Energy Storage [8].	50
4.6	Scoring chart for different energy storage options based on the selected KPI. . . .	51
4.7	Overall Scoring chart for different energy storage options based on the selected KPI.	51
4.8	Scoring chart for different energy generator options based on the selected KPI. . .	55
4.9	Overall Scoring chart for different energy generator options based on the selected KPI.	55
4.10	Real visualisation of an internal MV-grid and the available technical details. . . .	57
4.11	Conceptual representation of an open loop medium voltage grid consisting of 5 secondary substations with local back-up power, grid back-up storage elements, grid back-up power elements and renewable energy sources.	60
4.12	Roadmap representation to transform the existing MV-grid towards a microgrid capable version.	61
4.13	Overview of the technical plans to be created for the electrical grid.	62
4.14	Simulation results to define the size of the storage needed from an economic stand- point.	63
4.15	Conceptual representation of different technical systems creating a redundant and resilient infrastructure to support operational effectiveness.	64

Glossary

Abbreviation	Meaning
AC	Alternating Current
AI	Artificial Intelligence
BE MOD	Belgian Ministry of Defence
BESS	Battery Energy Storage System
BMS	Building Management System
CAES	Compressed Air Energy Storage
CAPEX	Capital Expenditure
CHP	Combined Heat and Power
DBFM	Design–Build–Finance–Maintain
DC	Direct Current
DER	Distributed Energy Resources
DGMR C&I	Directorate General Material Resources – Construction and Infrastructure
DHW	Domestic Hot Water
DNO	Distribution Network Operator
DRFM	Design–Renovate–Finance–Maintain
EED	Energy Efficiency Directive
EMS	Energy Management System
EPB	Energy Performance of Buildings
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive
EPC	Energy Performance Contract
ESCO	Energy Service Company
ESO	Energy Saving Opportunity
EU	European Union
EUR	Euro
FECF	Federal Energy and Climate Plan
FinCo	Financing Company
FM	Facility Management
FPS	Federal Public Service
GHG	Greenhouse Gas
GRO	GRO Sustainability Framework for the Three Belgian Regions
GWh	Gigawatt-hour
HDPE	High-Density Polyethylene

Continued on next page

Abbreviation	Meaning
HHV	Higher Heating Value
HVAC	Heating, Ventilation and Air Conditioning
IBP	Infra Business Plan
IEA	International Energy Agency
IED	Industrial Emissions Directive
ILIAS	Internal asset management system of Belgian Defence
IRR	Internal Rate of Return
IT	Information Technology
KPI	Key Performance Indicator
kVA	Kilovolt-ampere
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt-hour
LV	Low Voltage
MatBeh	Material Resource Manager
MV	Medium Voltage
MVA	Megavolt-ampere
MW	Megawatt
NBN	Bureau for Standardisation (Belgium)
NECP	National Energy and Climate Plan
NEN 2767	Standard for condition assessment of buildings and installations
NI2	Internal Technical Instructions
OpCo	Operational Company
OT	Operational Technology
PCC	Point of Common Coupling
PDS	Project Data Sheet
PEMFC	Proton Exchange Membrane Fuel Cell
PPA	Power Purchase Agreement
PPP	Public-Private Partnership
PubCo	Public Company
PV	Photovoltaic
RES	Renewable Energy Sources
ROM	Rough Order of Magnitude
SF	Simultaneity Factor
SMES	Superconducting Magnetic Energy Storage
SMR	Small Modular Reactor
SOFC	Solid Oxide Fuel Cell
TCO	Total Cost of Ownership
TES	Thermal Energy Storage
TNO	Transmission Network Operator
TRL	Technology Readiness Level
UPS	Uninterruptible Power Supply
USD	United States Dollar
VEB	Vlaams Energie Bedrijf

Abstract

Belgian military infrastructure is entering a decisive investment cycle in which new-build projects, major renovations and electrical modernisation must support both climate objectives and operational resilience. This thesis addresses two questions: (1) which energy design criteria should guide defence infrastructure projects and (2) how an existing medium-voltage network can evolve into a resilient microgrid.

The study combines analysis of internal documentation and processes with a literature review and market consultations.

First, the future planning process for military barracks is evaluated, alongside the internal technical design instructions. These instructions are updated to reflect recent HVAC developments. Cost-reduction strategies and a decision-support approach for early design stages are discussed, including an assessment of simplified modular building concepts and the outsourcing of geothermal energy systems.

Second, the thesis explores the adaptations needed to the medium-voltage network. The increasing integration of distributed energy sources, reliability demands and exposure to cyber risks require rethinking traditional networks. A conceptual framework is developed to convert the existing medium-voltage network into a resilient microgrid, including definitions, key components and a step-by-step roadmap.

Overall, the thesis provides practical design improvements for the cost-efficient implementation of military energy systems. Proposed measures include savings of up to 53% for new-build projects.

Chapter 1

Introduction

1.1 Background

The European Green Deal, embedded in the European Climate Law, defines a legally binding pathway for the European Union to reach climate neutrality by 2050 [9]. As part of this trajectory, an intermediate objective has been set to reduce greenhouse gas (GHG) emissions by at least 55% by 2030 relative to 1990 levels [10]. Achieving these targets requires not only a transformation of energy supply systems but also a substantial reduction in overall energy demand. In this context, the European legislative framework has been reinforced through revisions of key directives, including the Energy Efficiency Directive (EED) and the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) [11],[12]. These instruments emphasise the pivotal role of the building sector, which is responsible for a significant share of energy consumption and emissions within the Union [13].

The challenge is further compounded by the characteristics of the existing building stock. A considerable proportion of buildings currently in use exhibit poor energy performance, and many of them are expected to remain operational well beyond mid-century. Consequently, improving the energy efficiency of existing infrastructure is widely recognised as a cornerstone of European climate policy [14]. This is particularly relevant for public building portfolios, which often consist of diverse and ageing assets that must be upgraded while remaining operational.

To ensure coordinated implementation of these objectives, Member States are required to develop National Energy and Climate Plans (NECPs), which outline national targets as well as the policies and measures needed to achieve them [15]. In Belgium, the preparation and execution of the NECP are characterised by a multi-level governance structure. Regional authorities are responsible for defining and enforcing building energy performance requirements, whereas the federal government retains decision-making authority over the assets it owns or manages, including military infrastructure, subject to compliance with regional regulations [16].

In addition to regulatory drivers, recent geopolitical developments have introduced a second major influence on infrastructure planning. The war in Ukraine and tensions affecting global energy supply routes have exposed the vulnerability of energy systems and reinforced the importance of energy security [17]. Against this backdrop, Belgium has decided to strengthen its defence capabilities, with plans to increase the size of the armed forces from approximately 28.000 to 43.000 personnel [18]. This expansion entails a corresponding growth in infrastructure requirements,

including housing, operational facilities, and support services.

The combined effect of climate policy and geopolitical developments places the Belgian Defence in a complex transition phase. On the one hand, it must significantly reduce the environmental impact of its infrastructure in line with European objectives. On the other hand, it must expand and adapt its facilities to meet evolving operational needs, all while ensuring a secure and resilient energy supply. These dual pressures result in increasing energy demand and heightened requirements for reliability and autonomy at the military barracks level.

In light of the substantial investments required for both infrastructure expansion and energy renovation, the present moment represents a critical decision point. The strategies adopted today will shape not only the environmental performance of military infrastructure, but also its long-term resilience and cost efficiency. Ensuring that these investments are guided by coherent, forward-looking principles is therefore essential to successfully integrate the energy transition within the Belgian armed forces.

1.2 Scope of the Thesis

The previous section outlined the broader context in which Belgian Defence must evolve its infrastructure, driven by both European climate policy and geopolitical developments. While these dynamics create a wide-ranging transformation challenge, the scope of this thesis is deliberately limited to a number of key aspects that are considered both critical and actionable within the current context. In particular, the work focuses on two complementary domains: the standardised conception of national infrastructure and the transformation of the internal medium-voltage (MV) electrical grid into a resilient microgrid.

The first part of this thesis addresses the design and development of national infrastructure projects, including both new constructions and renovations. These projects are guided by national requirements that aim to support long-term climate ambitions. However, in practice, the design process remains largely decentralised and project-specific. Individual projects are typically led by designated technical personnel, either internally or in collaboration with external design teams such as architects and engineering consultants. While this approach allows for flexibility, it also introduces variability in design outcomes. In the absence of clearly defined and consistently applied guidelines, design choices are often influenced by individual experience or preferences, which may lead to inconsistencies in performance and cost-inefficiency.

This situation underlines the need for a more structured and standardised approach to infrastructure design. Such an approach should provide clear guidance during the early stages of project development, ensuring alignment with overarching energy and climate objectives while maintaining the specific functional requirements of military buildings. The first part of this thesis therefore aims to analyse existing design practices and identify opportunities to improve the consistency and effectiveness of energy-related design decisions across projects.

The second part of this thesis focuses on the internal medium-voltage electrical grid, which forms the backbone of energy distribution within military installations. The increasing integration of renewable energy sources introduces both opportunities and challenges in this context. On the one hand, locally generated renewable energy can reduce dependence on external supply and fossil fuels. On the other hand, without adequate control mechanisms, the variability of these sources

may affect the stability and reliability of the internal grid, particularly during disturbances or external grid outages.

In its current configuration, the internal MV grid is not designed to actively manage distributed generation, storage systems, and varying load profiles. This creates potential imbalances between production and consumption, especially under islanded operating conditions. However, this also presents an opportunity to rethink the design of the electrical infrastructure. By evolving towards a microgrid architecture, capable of operating both connected to and independently from the public grid, it becomes possible to enhance resilience, optimise the integration of renewable energy, and reduce reliance on conventional backup systems.

This thesis therefore explores how such a transition towards a resilient microgrid can be achieved within the specific context of the Belgian Defence.

By focusing on these two domains, building design and electrical infrastructure, this work aims to provide a coherent framework for implementing the energy transition within military infrastructure. The interaction between these domains is essential: energy-efficient buildings contribute to reducing demand, while resilient electrical systems ensure a reliable and sustainable energy supply. Together, they form the basis for a future-oriented infrastructure that supports both environmental objectives and operational requirements.

1.3 Preview

In the following chapters the two research questions will be further elaborated. The thesis starts with a general overview of the current situation of Belgian military infrastructure, the energy consumptions and existing policies. Next, the first domain of national infrastructure is further explored and improvements are suggested. Following this chapter is the discussion on the current state of the medium voltage grid and the roadmap to transform it. Combining both chapters a short outlook is given on how these different suggestions for improvement are layered on a military barracks. Finally, the thesis ended with an overall conclusion.

The content is based on internal discussions, market consultations (see annex A), literature review and personal experience. The thesis is written for the general public and will therefore explain, in a simplified way, the internal military structure active in certain domains that are linked to the thesis subject. Also, certain sensitive elements are not included in the open version of this thesis but are only submitted internally.

Chapter 2

Sizing the transition challenge

2.1 Introduction

To understand the scope of military infrastructure some indicative numbers are provided and discussed in the following segments. It is important to note that the exact numbers vary in time and cannot be used outside of this thesis.

2.2 The infrastructure patrimony

Although the Belgian Ministry of Defence (BE MOD) has, in 2025, 41 main active sites, the total amount of terrains amounts to 277. A big portion of those are non-build-up areas and are often in concession to a third entity. The total amount of buildings under the responsibility of the BE MOD circles around 4858.

The new plan ("kwartierplan 2.0") announced on 20 March 2026 within Belgian politics [19], showed the intent of increasing the capacity of the BE MOD. This increase results in a significant impact, amongst others, on national infrastructure. In order to house the new capabilities - materials - and the increase of personnel, the need for new or renovated infrastructure increases. Globally the number of active sites would increase from 41 to 54 by 2034. The complete impact on infrastructure is, however, not yet defined as this plan is currently being developed. Nevertheless, even without the final number of new buildings known, it is safe to assume that the impact on buildings and the energy consumption will be significant. This growth is represented in figure 2.1.

		2025		2034
	Barracks	41	↗	54
	Personnel	~28.000	↗	~43.000
	Buildings	4.858		?
	Primary Energy	490,2 GWh		?

Figure 2.1: Growth outlook from 2025 to 2034 for the BE MOD.

2.2.1 Energy consumption

The current energy consumption of the BE MOD is represented in figure 2.2. It shows the usage per energy type divided over infrastructure and different operational domains grouped into air, land and naval activities. Of the total energy consumed by the BE MOD, the infrastructure accounts for 48%.

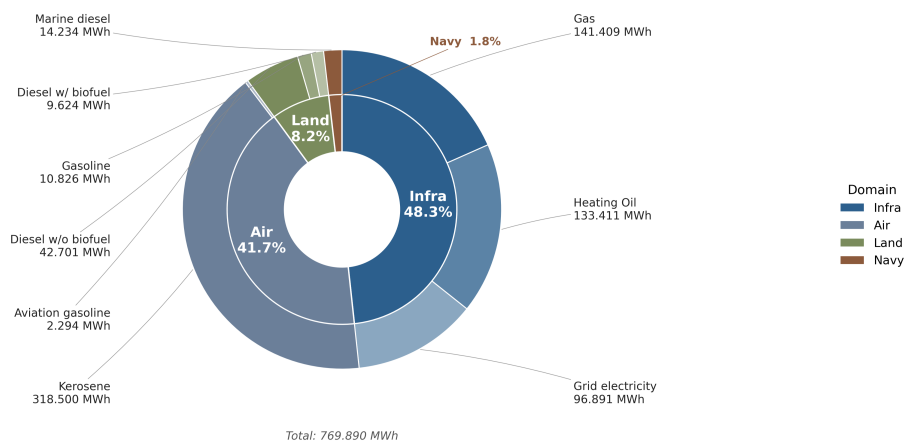


Figure 2.2: This figure presents the distribution of total energy consumption (≈ 770 GWh) across operational domains for 2023. Infrastructure accounts for the largest share (48%), followed by air operations (42%), while land (8%) and naval activities (2%) contribute marginally. The outer ring further details the contribution of individual energy carriers.

An overall ambition, set by the Belgian federal government in the Federal Energy and Climate Plan (FECp), envisions to obtain CO₂ neutrality by 2040 for the emissions linked to the consumed energy in buildings. The BE MOD created the 3 Track Policy, part of an overall climate plan, to align its infrastructure with this ambition and structurally reduces the emissions. Furthermore, the energy consumed by the BE MOD is yearly reported to the FPS Public Health and allows a clear tracking of the reduction of emissions year by year. The overall trend of the ambition, the current 3 Track policy and the actual heading is represented in figure 2.3. Although recent progress is better than the calculated reductions in the 3 Track Policy, a big effort remains to be made in order to obtain the final goal.

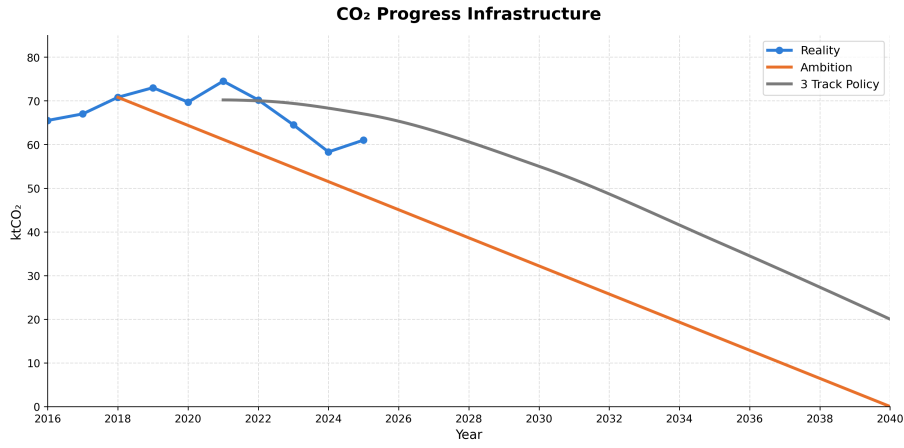


Figure 2.3: Representation of the total CO₂ emissions based on the energy consumption in infrastructure. The actual consumption (blue) is compared to the overall ambition to obtain neutrality by 2040 (orange) and the 3 Track Policy (grey).

2.3 3 Track Policy

The Belgian Defence aligns its infrastructure portfolio with national and European climate legislation through a structured three-track policy, represented in figure 2.4, aimed at reducing CO₂ emissions from its buildings. This approach provides a comprehensive framework addressing both management and performance aspects of the energy transition.

The first track focuses on **data management**, with the objective of improving and facilitating the monitoring of energy consumption across the entire building stock. By enhancing data availability and quality, this track enables more informed decision-making, supports performance tracking, and allows for the identification of inefficiencies and optimisation opportunities.

The second track targets **energy performance** and constitutes the core of the decarbonisation effort. It aims at reducing energy consumption in both existing and newly constructed infrastructure through improved building envelopes, efficient HVAC systems, and optimised technical installations. This track represents the largest potential for energy savings but also requires substantial investments and increased personnel resources. Given the scale and age of the existing building stock, upgrading infrastructure to modern energy performance standards significantly impacts both capital expenditure and operational capacity.

The third track focuses on the deployment of **renewable energy** sources, with the goal of reducing dependence on fossil fuels. This includes the integration of on-site renewable energy generation such as photovoltaic systems, as well as the exploration of other renewable and low-carbon energy solutions. By complementing demand reduction measures, this track contributes to the overall decarbonisation of the infrastructure portfolio.

Currently, the Belgian Defence real estate portfolio is estimated at approximately 10 billion EUR (2024), of which only about 20% consists of relatively recent and energy-efficient buildings. To align the remaining 80% of the infrastructure with climate ambitions, a significant and sustained financial effort is required. It is estimated that an additional investment of approximately 200 million EUR per year on top of the already planned 200 million EUR annually, would be necessary over the next 20 years (excluding inflation). With this increased budgetary effort, Belgian Defence could achieve climate neutrality for its building stock by approximately 2040–2042.

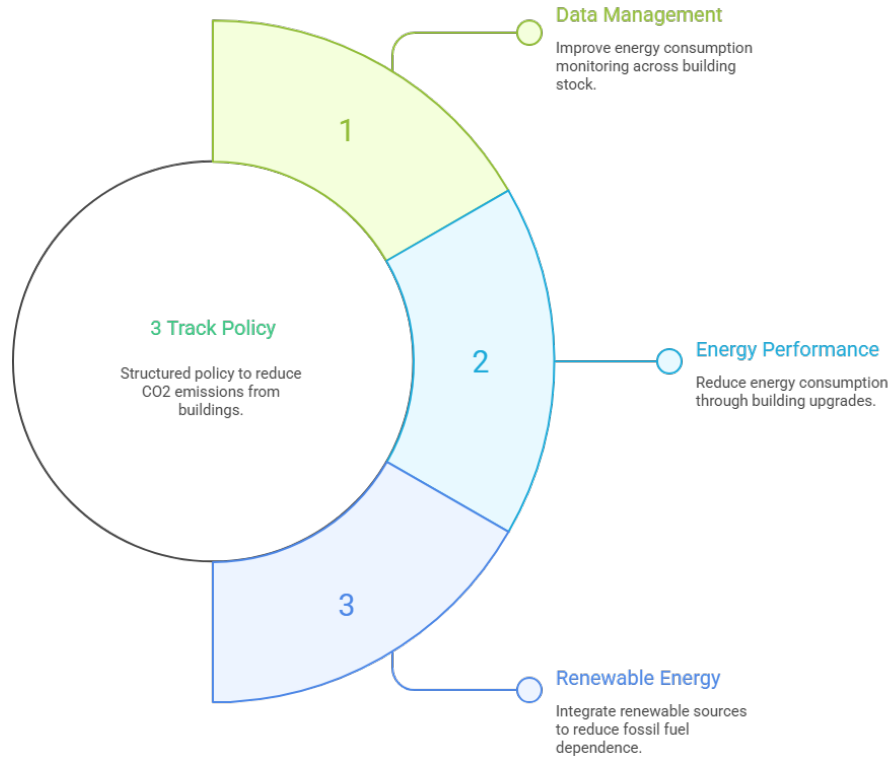


Figure 2.4: Representation of 3 Track Policy.

To successfully implement this transition, it is essential that the proposed budgets are secured and indexed in accordance with the political plans. In parallel, the continued rollout of the DRFM (Design, Renovate, Finance, Maintain) framework is required to enable large-scale energy renovations of the existing building stock. Together, these financial and organisational mechanisms form the backbone of the 3-track policy and are critical to achieving long-term climate objectives while maintaining operational readiness.

2.4 Investments in the infrastructure

2.4.1 Investment planning

The Infra Business Plan (IBP) recaps the infrastructural projects for the upcoming 5 years. Hence, it is a listing of projects that are being executed and does not list the total of future projects that are required to meet the operational needs or the climate targets.

Internally the budget is roughly spread amongst 3 categories: New Cap, Old Cap and Energy projects. The first, New Cap, holds the infrastructure projects that are needed to integrate new capabilities (material or personnel) into certain barracks. The second, Old Cap, holds all projects that aim to modernise the existing infrastructure. Lastly, the third category aims to renovate buildings from an energy standpoint. Although there is an overlap between the last two, their budgets are listed separately.

The general rule of thumb of 40-40-20 is used to divide the total budget over the 3 categories. Since almost half the budget is needed to incorporate new military capabilities, there is a need to use other methods to speed up the renovation projects of the existing infrastructure. A possible avenue is the use of Public-Private-Partnerships (PPP) which are under development in the

2.4.2 DRFM

The Design–Renovate–Finance–Maintain (DRFM) framework was initiated by the Belgian federal government following approval by the Council of Ministers on 23 July 2021 [20], as part of a broader effort to accelerate the energy renovation of public buildings. This initiative responds to the urgent need to improve the energy performance of an ageing public building stock, reduce greenhouse gas emissions and comply with European climate objectives. Within Belgian Defence, the DRFM concept has been adopted as a strategic instrument to address the large-scale renovation challenge of its infrastructure portfolio, which is characterised by a high proportion of outdated and energy-inefficient buildings.

At its core, the DRFM model is based on an integrated contractual approach that combines the design, renovation, financing, and long-term maintenance of buildings within a single framework. This approach differs fundamentally from traditional public procurement methods, where these activities are typically separated. By bundling these responsibilities, DRFM enables a lifecycle-oriented perspective in which performance, cost-efficiency, and risk allocation are considered holistically. A key principle of the model is the transfer of significant technical and financial risks to private partners, thereby reducing the burden on public entities while incentivising performance-driven delivery.

The governance structure supporting DRFM is built around a combination of public and private actors. A central public entity (PubCo) is responsible for coordinating the programme, managing contracts, and ensuring alignment with public objectives. Operational project companies (OpCo), typically structured as public-private partnerships, are tasked with the execution of renovation projects and the management of contractual relationships with energy service companies (ESCOs). Financing is organised through a dedicated entity (FinCo), which mobilises capital from institutional investors and provides the necessary funding for the renovation works. This multi-layered structure is designed to facilitate large-scale implementation while ensuring compliance with public procurement rules and financial regulations. This was the initial structure in 2023 but the final form is currently being further developed and the final form is not yet defined.

In terms of scale, the DRFM programme for Belgian Defence is particularly ambitious. Current projections indicate that approximately 30 military sites, grouped into around 24 clusters, could be included in the programme. These clusters represent more than 2,000 buildings and a total floor area exceeding 2 million square meters. The associated investment volume is estimated at over 2 billion EUR, with a programme duration extending over approximately 40 to 45 years. The expected outcomes include significant reductions in energy consumption (up to 80%), greenhouse gas emissions, and operational energy costs, thereby contributing substantially to the long-term objective of achieving climate neutrality within the Defence infrastructure portfolio.

An important characteristic of the DRFM approach is its ability to accelerate the renovation rate compared to a “business-as-usual” scenario. By grouping projects into clusters and leveraging private-sector expertise and financing, the programme aims to complete a large share of the required renovations within a timeframe of approximately 42 years. This contrasts sharply with traditional approaches, where renovation timelines are often constrained by annual budget cycles and limited internal resources. Furthermore, the use of performance-based contracts, such

as Energy Performance Contracts (EPC) and Public-Private Partnerships (PPP), ensures that energy savings and service levels are contractually guaranteed over the long term. Furthermore, the Eurostat guidelines on EPC and PPP allow for an off-balance treatment (this means they are not counted to the national debt) of the loans engaged to realise the renovations.

It must be emphasised, however, that the figures and projections presented remain indicative at this stage. The final structure of the DRFM framework has not yet been fully defined, and several key elements—including contractual models, financial arrangements, and risk-sharing mechanisms—are still subject to further development. In addition, the first pilot projects, referred to as “start clusters”, have yet to be fully implemented. These pilot initiatives are intended to validate the underlying assumptions of the DRFM model, including its economic viability, technical feasibility, and organisational complexity.

Consequently, DRFM should currently be regarded as a promising but evolving instrument within the broader energy transition strategy of Belgian Defence. Its successful implementation will depend on the outcomes of the pilot phase, the maturity of the market for integrated energy renovation services, and the ability of all stakeholders to collaborate within a long-term, performance-oriented framework. If successfully deployed, DRFM has the potential to significantly transform the way military infrastructure is designed, renovated, and managed, aligning operational requirements with sustainability objectives in a coherent and scalable manner.

2.4.3 Renovating or rebuilding

With the DRFM framework, initial theoretic estimates are made to size the financial scope of the whole project. An important aspect, however, remains undefined and that is the cut-off value (e.g. expressed per square meter) when to switch from a renovation plan towards a rebuild option. Within the DRFM framework the renovating costs are expressed in 3 types: low - medium - heavy and estimated per building type. The total cost of the pilot case for DRFM surpasses these values and already reaches 2579,85 EUR per square meter.

Based on recent internal projects (from 2021 and onwards), an estimate is made of the cost per square meter of new-building surface area. This value is compared to the initial estimates made in DRFM and those obtained through the pilot case. Although, the BE MOD conducts building projects with different specific functions (e.g. munition storage, weapon storage), the projects in administrative buildings or lodging facilities can be seen as conventional building projects without many additional specific military requirements. Hence, only these types were compared based on executed projects. These values are represented in figure 2.5.

Some key insights are obtained from this comparison. First, the overall cost of new-buildings within the BE MOD over recent projects reaches high values per square meters with a high spread. Second, the estimated cost and real renovation cost of DRFM is almost double. Third, both programs, new-build and renovations show a clear overlap indicating that there is a possible cut-off value to define when to opt for renovating or rebuilding. This will be further discussed in Chapter 3.

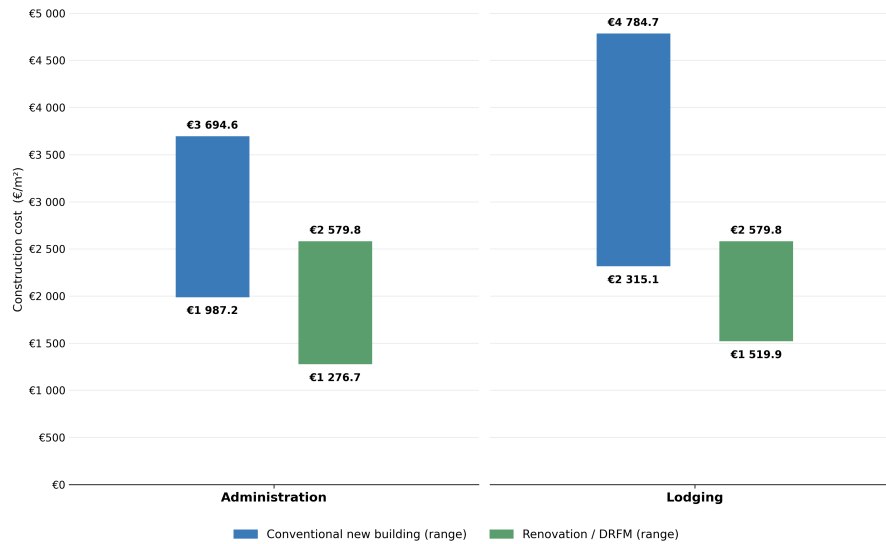


Figure 2.5: Indication of cost per square meter of total building area. In blue the Min and Max values from real projects are represented. In green the estimated lowest value and real upper values are represented for the DRFM project.

2.5 Sizing the military grid

The BE MOD currently counts around 119 connections to the external electricity grid. However, this number evolves with the reopening of certain areas as stated in the 'kwartierplan 2.0'. These external connections, most on medium voltage (MV), are further distributed on site by an own internal MV grid. This internal grid is comprised of around 335 cabins, varying in age and size (kVA).

The last few years the BE MOD had to conduct multiple projects with the Transmission Network Operator (TNO) and Distribution Network Operator (DNO) in order to upscale the available power for its barracks. These projects, ranging up to 3-5.5 million EUR (See annex F), are needed to follow the increased electrification within the barracks. These projects are not only costly but also take time before the necessary works are completed. Thus potentially impacting infrastructure projects if not completed on time. Furthermore, for the first time in the last decade a request for upscaling was rejected¹ and only a flexible power supply was possible. This meant that the BE MOD had to be able to control its consumption and downscale in power usage when asked by the DNO. With the current technical installations and control systems in place, this was not possible. This clearly showed that there is a need to transform the current installations towards a more flexible and controllable version whilst maintaining operational effectiveness.

2.6 Conclusion

This chapter shows that the energy transition of the BE MOD is a large-scale strategic challenge rather than a purely technical one. The size of the patrimony, the expected growth of active sites, and the high share of older buildings make clear that isolated renovation projects will not be sufficient. Achieving climate neutrality for building-related energy use by 2040 will require a long-term and coordinated approach.

¹Not feasible to execute within the next 5 years

The 3 Track Policy provides a useful structure by combining better energy data, improved building performance, and renewable energy production. However, its success depends on stable funding, sufficient personnel, and effective implementation mechanisms. In this context, DRFM can become an important tool to accelerate renovations, although its final impact and quality will depend on the outcome of the initial projects.

The chapter also highlights the need for clear investment priorities. The choice between renovation and rebuilding must be based on cost, energy performance, operational needs, and long-term value. At the same time, the growing electrification of infrastructure increases pressure on the military electricity grid, making energy planning and infrastructure planning inseparable.

Overall, the Belgian Defence can only meet its climate objectives if the transition is managed as an integrated programme. Reliable data, secured budgets, clear renovation priorities and grid capacity will all be necessary to reduce emissions while maintaining operational readiness.

Chapter 3

National military infrastructure

3.1 Introduction

The new plan ("kwartierplan 2.0") announced on 20 March 2026 within Belgian politics [19], showed the intent of increasing the capacity of the BE MOD. This increase results in a significant impact, amongst others, on national infrastructure. In order to house the new capabilities - materials - and the increase of personnel, the need for new or renovated infrastructure increases. If the numerous infrastructure projects are launched in the near future, it is today that the correct design decisions can make a lasting impact on the durability of those buildings.

This chapter will focus on the current design landscape for national infrastructure and explore possible improvements. First it will discuss how the future infrastructural outlook is presented. Next, the technical design guidelines for infrastructure projects are discussed and suggestions for improvement are made. Furthermore, the chapter will discuss an alternative construction process to simplify, reduce cost and speed up basic new-build projects through standardised building blocks. Lastly, the integration of geothermal energy within the military barracks is explored.

3.2 Masterplan

How a military barracks looks today might be completely different from the expected end-state, guided by external obligations (e.g. climate ambitions) or internal needs (e.g. housing of new personnel or capabilities). This transition towards the future outlook is presented in the masterplan of a barracks.

The masterplan should hold all the information linked to infrastructural changes in the barracks. However, a clear definition and complete plan doesn't currently exist and the masterplans today represent the planned changes (projects listed on the approved IBP), or potential changes that are to be included in an upcoming IBP. It does not represent a complete list of changes that are needed to completely renovate the barracks up to the actual standards of climate targets over a wider set of domains (e.g. energy, environment, mobility).

Every masterplan is attributed to a person within the Infrastructure department of the BE MOD (DGMR C&I-I). This person, in addition to other tasks, has to update the plan in accordance

to the new IBP or with other defined requirements for the units residing in the barracks. Nevertheless, masterplanning in a military environment is quite difficult and subject to change. New material or an increasing number of personnel continuously changes the requirements for the existing infrastructure.

The question arises how these plans can be created, improved and maintained over time. In the following sections, a potential base definition and planning structure is proposed to look for a cost efficient and clear approach to overcome this challenge.

3.2.1 Base definition

A good starting point is to create a base definition of the components and requirements of a masterplan so that we can identify what tasks are to be executed and which ones could possibly be outsourced. Ideally, the masterplan should also partially be decoupled from the changing military environment in order to make it persistent over a longer time period (e.g. 20 years). Hence, the suggested definition separates the masterplan in different layers. Each layer is divided in a light and heavy version of which the content is discussed in the next sections.

Definition – Barracks Masterplan

A barracks masterplan is an integrated strategic planning framework that provides a comprehensive long-term vision for the development, transformation and operational evolution of a military site. It combines the current state analysis of infrastructure, energy systems and environmental conditions with future-oriented development scenarios in order to support coherent decision-making across operational, technical and spatial domains.

The masterplan is structured around four superposed layers which all have their own purpose and lifetime and reduce the need of frequent renewal due to organisational change. The proposed definition for a masterplan and its structure is showcased in figure 3.1.

- ***As-Is Layer*** – a baseline assessment of the existing situation, including infrastructure assets, utility networks, energy performance, environmental characteristics and spatial organisation of the barracks.
- ***Potential Layer*** – an exploratory and strategic layer identifying opportunities for improvement and future development across multiple domains such as infrastructure modernisation, energy transition, environmental integration, resilience, mobility and operational support functions.
- ***Infrastructure Business Plan Layer*** – a programmatic layer consolidating ongoing, planned and future infrastructure projects, investments and renovation initiatives in order to align financial planning, project prioritisation and phased implementation with the broader strategic vision.
- ***Military Usage Layer*** – an operational layer representing the current and projected deployment of military units, capabilities and functional requirements within the barracks, ensuring that spatial and infrastructural developments remain aligned with defence missions and organisational transformation.

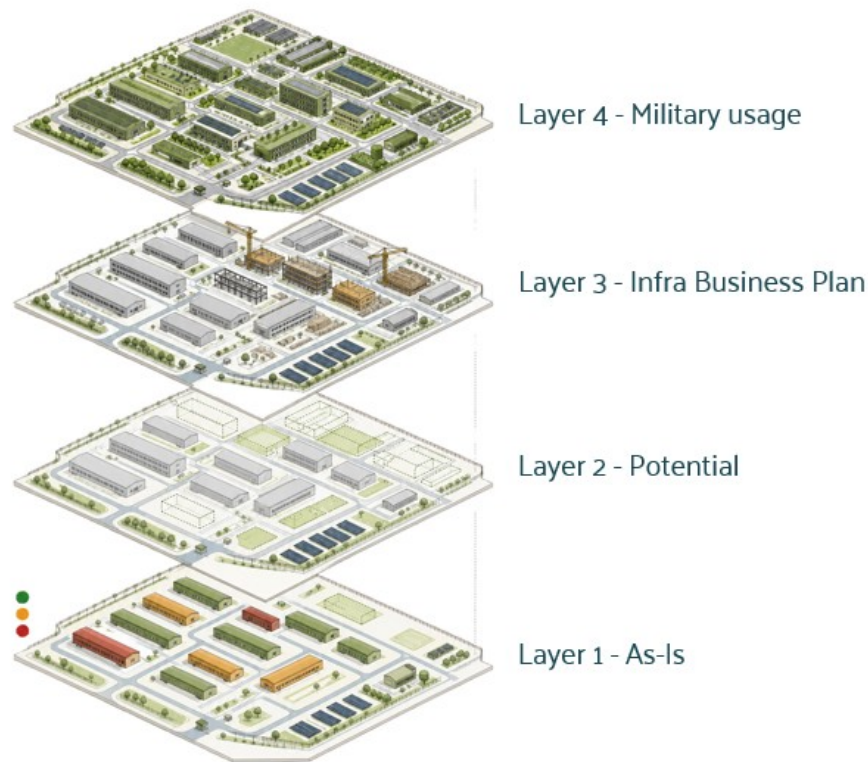


Figure 3.1: Conceptual representation of the different layers that form the Masterplan of a military barracks.

Layer 1 - As-is

The As-is situation should describe the current layout and status of the barracks. The idea is to get a good understanding of the actual state of the buildings, energy and environment present. The final product of this study should be a graphical representation in powerpoint and a textual form to describe the executed study. Since the As-is layer focusses on the measured values or technical details of the installation, it is not very susceptible to change and can be updated at a larger interval (e.g. 5-10 years). The complete content of the layer in its light and heavy version is included in annex C.

Layer 2 - Potential

The Potential layer bases itself on the first layer and describes what actions are to be taken in order to take the current situation towards a desired end state. This layer, however, is governed mainly by objectively measured technical details and not by the desired Military usage. Therefore, this layer is not very susceptible to change and can also be updated at a larger interval (e.g. 5-10 years). The complete content of the layer in its light and heavy version is included in annex C.

Layer 3 - Infra Business plan

The Infra Business Plan layer visualises the validated business plan for the upcoming 5 years in a graphical way and lists potential requests expressed by the housing unit or other entities within the BE MOD. This layer will be updated yearly to showcase evolution in the execution of the infra projects.

Layer 4 - Military usage

This layer showcases the current military occupation and usage and lists potential shortcomings for the current and future usage (e.g. additional lodging capacity needed). Secondly, it showcases the desired end-case linked to the strategical vision of the BE MOD with a listing of shortcomings for a desired end-state.

3.2.2 Creating and maintaining the masterplans

Before moving on to the creation and maintaining of the masterplans it is important to mention some organisational background. Hence, the 2 programs that can be linked to the masterplans are briefly discussed. Furthermore, the final creation and maintaining of the masterplans will not lead to the creation of the necessary plans for all barracks within a short (3-5 years) time period, but will only provide a structural approach.

Neighbouring programs

The Facility Management contracts (FM contract) that the BE MOD puts in place combine the externalisation of different facilitating tasks to support a barracks (e.g. kitchen, lodging,...) but also incorporates technical maintenance with the integration of an Energy Performance Contract (EPC). Within this program the contractor needs to update the NEN2767¹-score halfway the contract and at the end to assure that he meets the technical requirements in the contract (e.g. average score = 3).

In order to publish a FM contract the technical requirements need to be written and describe the energy saving opportunities (ESO) within the barracks. The BE MOD uses the framework contracts of the 'Vlaams Energie Bedrijf' (Framework contract VEB). This preliminary study tasks a study agency to gather the necessary information on the barracks (e.g. energy consumptions, technical plans, building information, recent works,...). In addition to the site visits they also evaluate the current and short term future usage if defined by the BE MOD to incorporate it in the final Energy Saving Opportunity-list (ESO). Furthermore, a NEN2767 audit is conducted to evaluate the buildings and technical installations to give the contractors during the tender phase a standardised baseline of the technical installations.

Creation of masterplans

Currently the masterplans are mainly constructed in house and capture only the aspects of the IBP-layer. A last outsourced version was made for the barracks in Peutie by Archipelago and Tractabel to incorporate more technical building details, environmental aspects, mobility,... The cost of the outsourced project in Peutie can be summarised in Table 3.1. It is important to note that the contractors for this study used data and benchmarks from their studies conducted within the Framework contract VEB for the BE MOD in preparation for the FM contracts (and DRFM project).

The project in Peutie showed that certain factual aspects are feasible to outsource (e.g. energy consumption profiles, NEN2767 audits,...) while the integration of the military outlook, susceptible to a lot of change due to the geopolitical environment, is more difficult. Within phase 1

¹Official Dutch norm to measure objectively the state of technical installations and buildings

of the study almost all elements are covered within the Framework contract VEB study done in preparation for FM-contracts. This excludes the thematic analysis of certain non-energetic domains like ecological or landscape aspects. Nevertheless, by slightly changing the required output forms from the Framework contract VEB and adding the additional requirements, the Framework contract VEB study could almost entirely cover the phase 1 analysis regarding the as-is situation. If the creation of Layer 1 for the masterplan is merged into the Framework contract VEB trajectory for FM, a base rate of 3 barracks per year can be obtained whilst reducing the study cost by roughly 136.500 EUR per barracks (if conducted under the same conditions as Peutie) by removing the necessity of an additional phase 1 study. Over the 41 existing barracks this could roughly amount to a saving of 5.6 million EUR.

Table 3.1: Simplified breakdown of the outsourced study for the military barracks in Peutie.

Phase	Name	Content	Price
1	Initial Analysis	Defining 15 base type buildings to reduce workload and cost	136.500
		Data collection (technical data, plans, audits,...)	
		Site visits (visual inspections)	
		Thematic analysis (ecological, existing infrastructure, transition under military chance, water, soil, landscape,...)	
2	Development of 3 transition scenarios	Deciding on renovating or new constructions	103.000
		Improvements to landscape, mobility, water, energy	
		Budget assessment with benchmarks	
3	Single detailed transition scenario	Elaborating on chosen scenario	75.500
		MER-screening	
		Phasing of works	

Maintaining the masterplans

Once created the different layers of the masterplan need to be updated and maintained. There are currently no contracts in place that cover this requirement within the BE MOD. Nevertheless, there is an opportunity in a symbiosis with the FM-contracts that could create a first outsourced update of Layer 1 and 2. Within the FM-contract, the contractor is obligated to execute a new NEN-2767 audit halfway and at the end of the contractual period. This audit could be used to update the information on Layer 1 (potentially a part of Layer 2 if desired). Since the cost of this audit is already covered within the FM-contract a small adaptation has to be made to define the format of the output besides the NEN 2767 format. Furthermore, the EPC part of the contract obligates a continuous monitoring of energy consumption and maintaining a correct inventory of all technical installations on site.

Possible outlook

Using the given definition for the masterplan and its different layers and using the opportunities in the neighbouring programs, it is possible to create a coherent flow in creating and updating masterplans. Besides this flow it is always possible to deviate from the battle rhythm (3 barracks per year in FM) when the operational need is justified. In the table ?? the different vectors are listed that can be used to create the Layer I and II of the masterplans. These actors are listed

below. For the Layer III it is managed within the infrastructure department and the Layer IV is completely in the hands of the operational units.

- **VEB** – The framework contract with the VEB currently used for the preparation of FM contracts
- **VEB+** – An addition to the existing framework contracts of the VEB that should be easily included within the existing study.
- **New tender** – A new public tender to complete the listed studies. This could also be included in a VEB+ after consultation

Table 3.2: Simplified master planning scope matrix.

Domain	Layer I		Layer II	
	Light	Heavy	Light	Heavy
Buildings & Technical Systems	VEB	VEB+	VEB	VEB+
Energy	VEB	VEB	VEB	VEB+
Water	-	VEB+	-	VEB+
Mobility	-	New tender	-	New tender
Environment and Surroundings	-	New tender	-	New tender
NEN 2767	VEB	VEB	-	-
General	-	-	-	New tender

Table 3.2 shows that a lot of study elements are already covered by the current studies conducted to prepare the FM contracts and adding some subjects to these studies could be cost effective (e.g. as site surveys are already included). Furthermore, the framework contracts of the VEB are already in place and can be easily used by the BE MOD without having a long public tender process to conduct.

3.3 Current design criteria

Within the infrastructure department of the BE MOD, current standards called ‘NI2’ are used as technical guidelines for all infrastructure projects. These NI2 are either used internally, by an entity called DGMR C&I and CC-Infra, to conceptualise projects or are published in public tenders for external parties to align their designs with the prerequisites of the BE MOD. The existing NI2 cover divers topics that are relevant to the design process of buildings. Table 3.3 depicts those topics that are linked to energy and will be analysed in the scope of this thesis. A full listing of the NI2 can be found in annex B.1.

However, it is import that these NI2 hold significant additional information that is not covered in other law or norms applicable in overall Belgian construction.

Table 3.3: List of existing reviewed NI2 without their annexes.

NI2 code	Full name	Translation	Version
NI2 G (A1)-08	Opstellen en goedkeuren van een PDS	Creation and approval for project data sheets	05/2021
NI2 G (A1)- 04	EPB eisen	EPBD	11/2020
NI2 G (A1)- 15	Energiepolitiek	Energy policy	09/2023
NI2 T (52.0)-02	Dimensionering van de SWW installaties	Dimensioning of domestic hot water (DHW)	03/2021
NI2 T (67.0)-01	BMS	Building Management System	09/2020

3.3.1 Design flow

In the "NI2 G (A1)-8 Opstellen en goedkeuren PDS" the complete design flow and responsibilities is described. Below a reduced form are described in order to understand the basic flow. Omitting strategic choices within the BE MOD that impact personnel and material and the political approval chain, the elaboration of an infrastructure project can be described in the following 5 steps on which different actors play a key role.

First the functional requirement for the project is expressed by the client (a military unit that will mainly use the building) and is written down in a Project Data Sheet (PDS) by a material resource manager (MatBeh). This PDS will circulate within the infrastructure department (DGMRC&I-I) where other MatBeh, responsible for other domains, can give input and comments on the PDS. It will also circulate towards other departments like environment to receive specific guidelines. This first internal check makes sure that everyone is aware of the upcoming project and can plan accordingly but also create an internal cross-check that the draft of the project aligns with all internal policies in their respective fields.

In a second step, technical requirements, the PDS gets transferred to the CC-Infra (internal study centre of the BE MOD) where architects and engineers will translate the functional requirements into initial technical specifications. Next, this can then be either further elaborated internally or can be outsourced to an external study contractor. In both cases by the end of this step the complete technical specifications for the building are drafted.

In a fourth step the technical specifications get annexed to an administrative part to form a complete tender document that will be published on the public market to receive bids from different contractors.

Finally the project gets awarded to a contractor and the execution starts under the monitoring of a project lead from CC-Infra.

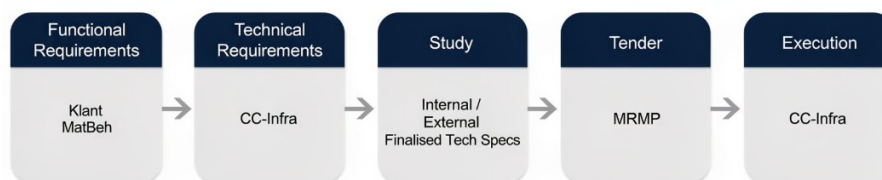


Figure 3.2: Simplified representation of the design flow for infrastructure projects.

Although not all other actors were mentioned in this design flow, an important adaptation in the new proposed version of this NI2, is the participation of the IT-department (CIS) is further elaborated as the rising digitalisation requirements in buildings increases the need for a direct and close input on the projects.

3.4 Revision of internal technical instructions

The internal technical instructions, covering a wide range of design expectations for buildings, complement existing norms and legislation to implement lessons learned from previous projects or to realise a coherent vision throughout multiple projects. It remains, however, important to

continuously update these instructions to remain in compliance with norms and legislation but also in order to follow technological developments in the industry.

Certain elements of the changes applied are further highlighted below. Only the instruction on the energy policy is added in annex to this thesis (see annex F). This instruction elaborates mainly on HVAC elements and how to incorporate the overarching ambition of climate neutrality.

GRO

A section was added to implement the Belgian "Gro 3 Gewesten" framework into the projects. It links the different levels of GRO to the internal PDS process and defines what elements are to be finalised at which stage of the project. The overall scoring ambitions remains "Better" without a specification on which subcriteria additional scorings are needed. This will remain in hands of the design and build partner to further elaborate.

EPB

The NI2 G (A1)- 04 EPB, was integrated in the energy policy. This will allow the removal of the NI2 G (A1)- 04, thus reducing the number of directives.

It also underlines that the BE MOD accepts that the EPB calculation might give a remark on the fact that the renewable energy criteria is not met since individual building projects often don't receive the approval to place solar PV on their rooftops. The reason behind this is that the BE MOD contracted the placement of solar PV for a whole barracks through, mainly, Power Purchase Agreements (PPA). These projects fully cover the capacity, limited by the distribution net operator (DNO), and block further placement of PV panels. The current version of the EPB legislation doesn't allow the incorporation of PV panels that were already placed before starting the new projects and are not part of the same construction.

Geothermal energy

The preference for closed loop systems was removed and both systems, closed and open, are allowed. The difference between both systems is further discussed in section 3.6. Furthermore, a section was added to clearly represent the intent of reaching 100 % Geothermal base energy.

Use of heat exchangers

A section was added to the technical instructions to discuss the use of heat exchangers when new buildings are being coupled onto an internal heat grid. When the internal grid is not from a renewable source and functions at temperatures above 45°C then the heat exchangers are mandatory. When the internal grid operates at low temperatures (below 45°C), only decoupling vanes with a bypass are placed in order isolate the building from the distribution net.

Charging stations

A missing element in the roll-out plan was the simultaneity factor (SF) that was to be used when installing charging stations within projects.

According to literature, multiple tests were conducted to evaluate how the SF evolves when the number of charging posts increases. The graph in figure 3.3 combines different reviews and

showcases clearly that the SF drops when the number of charging posts for electric vehicles increases.

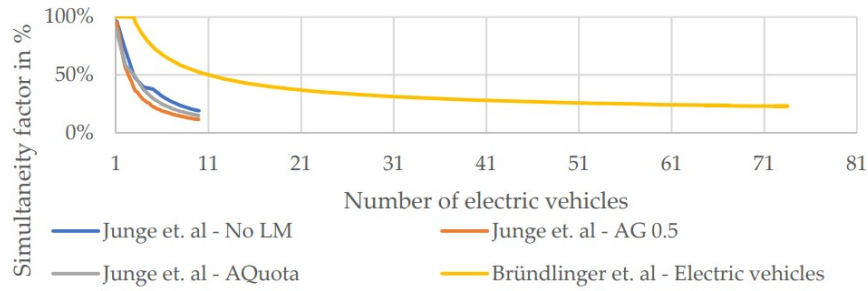


Figure 3.3: Simultaneity factor of electric vehicles charging obtained from different literature reports [1].

Applying this to the BE MOD the SF can be fixed at 30%. Even if a single project only installs one or 2 charging posts, the overall installation for a military barracks will be much higher.

Total Cost of Ownership

At the beginning of the design process when a mere sketch of the overall design is available, important choices are made about which direction the eventual design will evolve. Choices as to the total window surface, the type of heating and cooling used,... have a strong impact on the lifecycle cost of a building. To try and guide these decisions, a calculation tool is made that is able to calculate the estimated total cost of ownership (TCO) of a building design. This is useful when analysing Design-Build tenders where every offer can be evaluated by the same rules in order to define the overall best (lowest TCO) design.

The tool is a simple excel file with different tabs that calculates the total heat and cooling load, domestic hot water load, transforms it into a fictive energy bill and evaluates it over a period of 50 years. Although maintenance is also included, this is only used when evaluating Design-Build-Maintain tenders because there the maintenance price is objectively defined. In those cases individual replacement costs of technical installations are not to be counted in the TCO itself.

The result of the calculation is shown in figure 3.4. It illustrates how 3 fictional solutions to a certain project using different energy types, yield different TCO values. More details about the TCO-calculation can be found in the 'how to' document within the NI2 listed in annex F).

Investeringskost project		Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
	Totale investeringskost [Incl BTW]	€ 1.250.000	€ 1.100.000	€ 1.100.000
Energiebehoefen project		Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
	Verbruik Elektriciteit [kWh/jaar]	45813,41	0,00	0,00
	Verbruik Aardgas [kWh/jaar]	0,00	203615,14	198722,34
	Verbruik Stookolie [kWh/jaar]	0,00	0,00	22500,00
	Verbruik Water [m³/jaar]	1,00	1,00	1,00
	Elektrisch vermogen [kVA]	1,00	0,50	0,50
	Verwarmings- en koelbehoefte [kWh]	165253,62	165253,62	158977,87
	Verwarmingsbehoefte SWW [kWh]	18000,00	18000,00	18000,00
Onderhoudskosten project				
	Onderhoudskost per jaar [Incl BTW]	0,00	0,00	0,00
TCO				
	Total Cost of Ownership	€ 3.181.815	€ 3.646.201	€ 3.642.107

Figure 3.4: Result of the TCO calculation done in the Excel for 3 fictional scenarios.

3.5 Standardised building blocks

The buildings costs for new buildings, as shown in figure 3.5, are often high as they undergo a complete design process and incorporate small design changes which makes each project unique. Combined with the significant growth of the BE MOD in the upcoming years, the impact on the overall budget has still to be estimated. Each cost reduction on the unit price can therefore amount to significant budget savings.

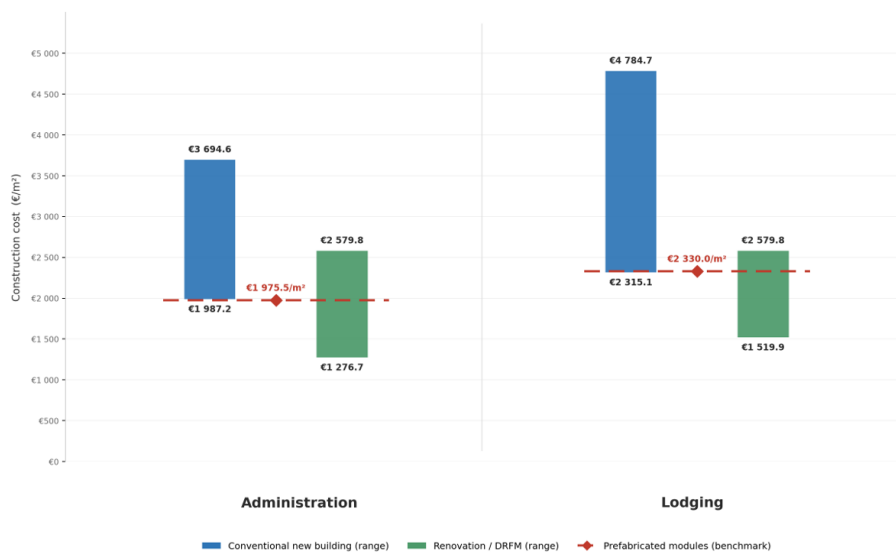


Figure 3.5: Indication of cost per square meter of total building area. In blue the Min and Max values from real projects are represented. In green the estimated lowest value and real upper values are represented for the DRFM project. In red a possible prefabricated build is represented.

Currently, CC-Infra (internal study agency of the BE MOD) is creating standardised room descriptions in order to structure future projects. To further limit the overall budget impact, research was done concerning construction with standardised building blocks that can be created based on these room descriptions or can be left to a Design-Build process in a public tender. Inspired by the tender to create modular hangars, a possibility arises to use the same base concrete

structure to create administrative or lodging facilities. After an initial market consultations, an indicative price was obtained to create these modular blocks. The price breakdown is shown in table 3.4 and the comparison with the reference costs for new constructions and renovations is given on 3.5. This comparison showcases the potential to use this building concept on a broader scale.

Table 3.4: Cost breakdown of the modular building concept for administration.

Cost part	Price in EUR/m ²	Explanation
Demolition of previous building	50	Estimated value which is highly influenced by size and building materials
Base building cost	932	Based on an offer received through market consultations
Finishing works and HVAC	993.5	Based on existing new-build projects, 1987 EUR/m ² ; under this estimate, it represents 50% of the building cost
Total	1975.5	Potential cost for the complete building

Creating a public tender where the building blocks are bought with a high Rough order of Magnitude (ROM), could further reduce the overall price and allow fast construction. The tender could define different base layouts for the blocks ranging from support functions (e.g hallways and stairs) to main functions (e.g. 4 people bedrooms). Conceptually this is represented in figure 3.6. Using this form of contract the creation of a building would be very fast and straightforward as only the main functionalities are to be defined (10x single rooms, 5x double rooms,...) and the contractor can start its project.

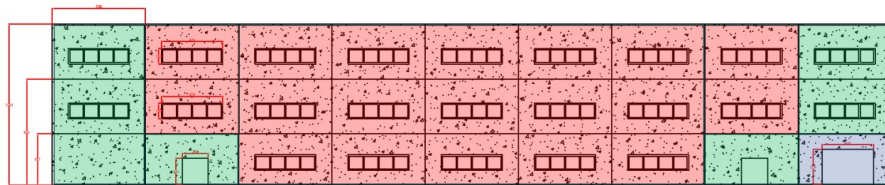


Figure 3.6: Frontal schematic representation of a 3 story building consisting of the base modules with base functionalities (e.g. lodging) (red), supporting functionalities (e.g. hallway, stairs) (green) and technical functionalities (purple).

3.5.1 Standardised and modular administration or lodging facilities

As a starting point the base structure was defined as 7,20 x 12m which is based on the conventional sizes of prefabricated slabs of 1,20 x 12m. The height is set at 3,70m to ensure enough free space for HVAC or other technical installations with the possibility of a lowered false ceiling to enhance the finished look.

From these base modules, different constellations are drawn to meet different requirements in administrative or lodging facilities. In figures 3.7, 3.8, 3.9, 3.10, different schematics of usage types are drawn into the same set of base modules to indicate feasibility. These schematics are merely a conceptual representation and can not be used for construction purposes.

During the tender the BE MOD could opt for a Design-Build where the contractor has to design its own solutions for the desired use cases. This would allow an even further economic

optimization based on existing partnering subcontractors.

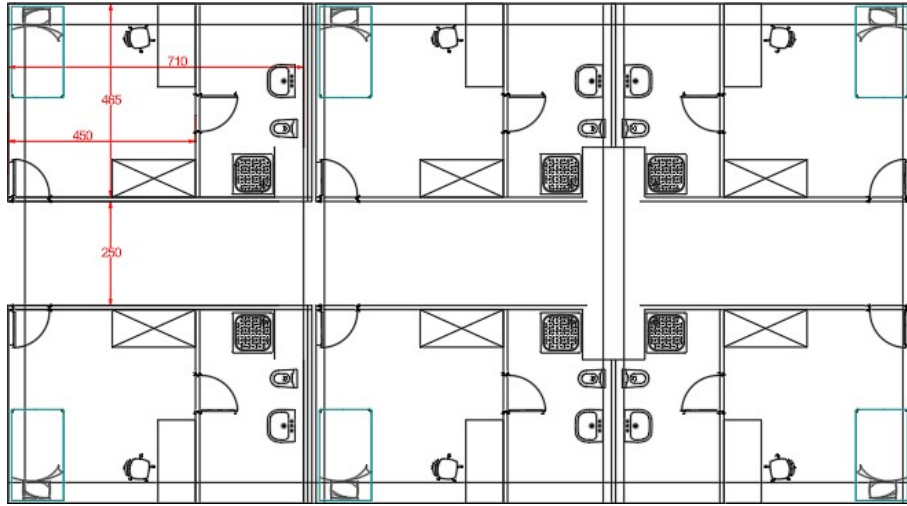


Figure 3.7: Schematic representation of 3 base modules transformed into single rooms with individual bathrooms.

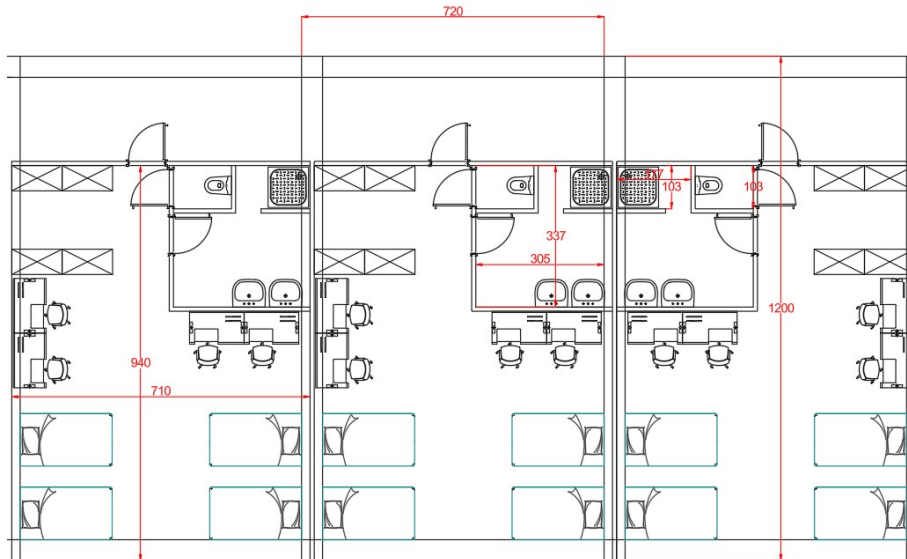


Figure 3.8: Schematic representation of 3 base modules transformed into 4 person rooms with individual bathrooms.

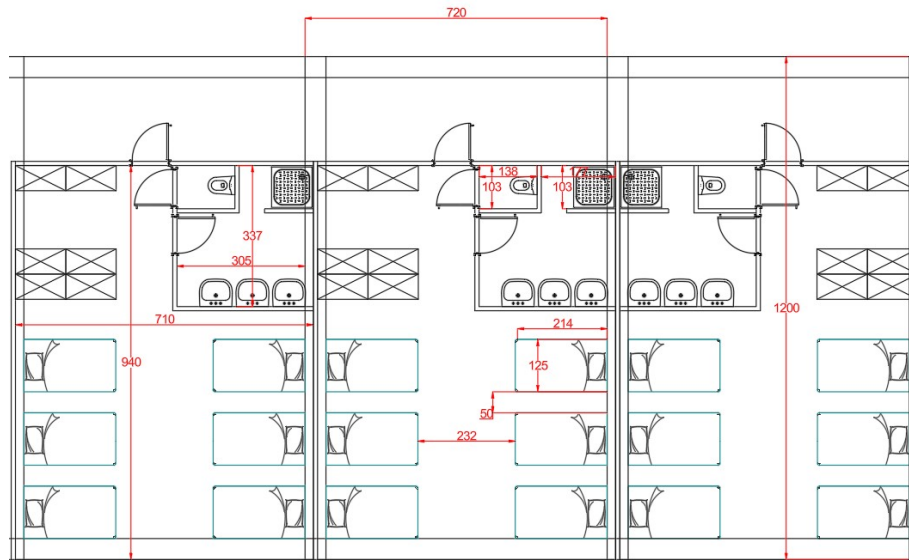


Figure 3.9: Schematic representation of 3 base modules transformed into 6 person rooms with individual bathrooms.

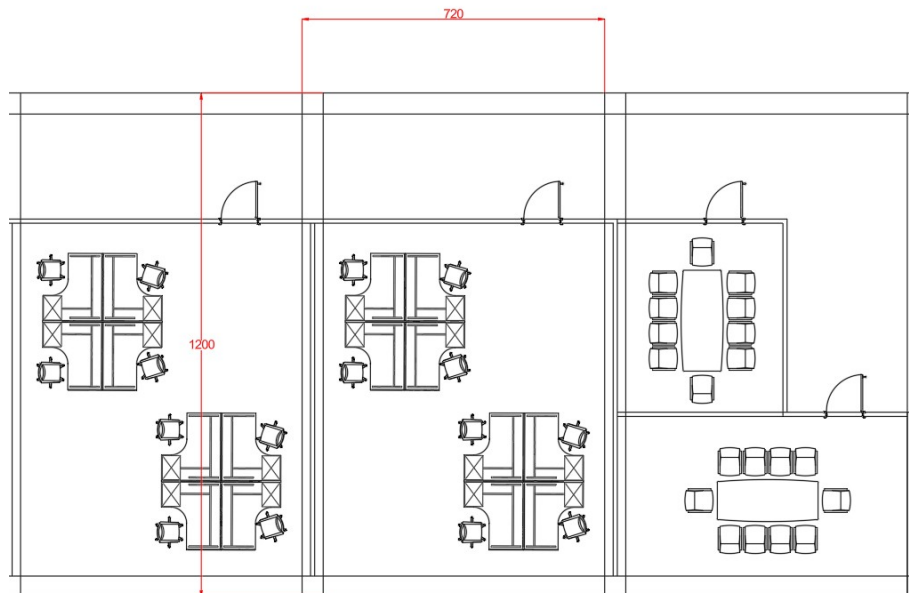


Figure 3.10: Schematic representation of 3 base modules transformed into administrative work islands or meeting rooms.

3.6 Geothermal heat networks

When requiring new-build projects to integrate geothermal energy, a few main discussions arise. The first is about centralising or decentralising the production sites. The second is about the high CAPEX to realise geothermal systems and the third is linked to the uncertainty of the underground conditions. Before diving into these main topics, a general overview is given about open loop and closed loop systems.

3.6.1 Open loop and closed loop systems

Geothermal heat pump systems use the relatively stable temperature of the ground or groundwater as a source of heat in winter and as a heat sink in summer. Instead of producing heat directly by combustion, the system transfers heat between the building and the ground by means of a heat pump. During the heating season, low-temperature heat is extracted from the ground and upgraded to a useful temperature level for space heating or domestic hot water. During the cooling season, the process can be reversed, so that heat from the building is rejected back to the ground. This principle makes geothermal systems particularly suitable for buildings with low-temperature heating systems and high-temperature cooling systems, such as radiant floors, concrete core activation, chilled ceilings or other large-surface heat emitters [21][22].

A distinction is usually made between open loop and closed loop geothermal systems. In an open loop system, groundwater is used directly as the heat exchange medium. Water is abstracted from an aquifer through one or more extraction wells, passed through a heat exchanger or heat pump, and then discharged again, usually through reinjection wells or, where permitted, to surface water. Because groundwater has a relatively stable temperature and a high heat transfer capacity, open loop systems can achieve high efficiencies and may require less drilling infrastructure than a closed loop borehole field with the same thermal capacity [23] [2].

However, the performance of an open loop system, represented on 3.11 is strongly dependent on the local hydrogeological conditions. A suitable aquifer must be present, the groundwater flow rate must be sufficient, and the chemical and biological quality of the groundwater must be compatible with the installation. If the water contains minerals or suspended particles, problems such as scaling, corrosion, clogging or biological fouling may occur. In addition, the abstraction and reinjection of groundwater normally require permits and environmental assessment, because the system interacts directly with the groundwater body. For this reason, open loop geothermal energy can be very attractive for large buildings or sites, but only when a detailed site investigation confirms that the aquifer can provide the required flow rate without unacceptable environmental effects [2].

A closed loop geothermal system works in a different way (see figure 3.12). Instead of pumping groundwater, a heat transfer fluid circulates through sealed underground pipework. The pipes can be installed horizontally in trenches, vertically in boreholes, or in some cases in a pond or lake. Heat is exchanged through the pipe wall between the circulating fluid and the surrounding ground. Since the fluid remains inside a closed hydraulic circuit, the system normally does not abstract groundwater and has no direct contact with the aquifer. This makes closed loop systems less dependent on groundwater availability and often simpler with respect to water protection and permitting requirements [21, 2].

The main difference between the two systems is therefore not the heat pump itself, but the

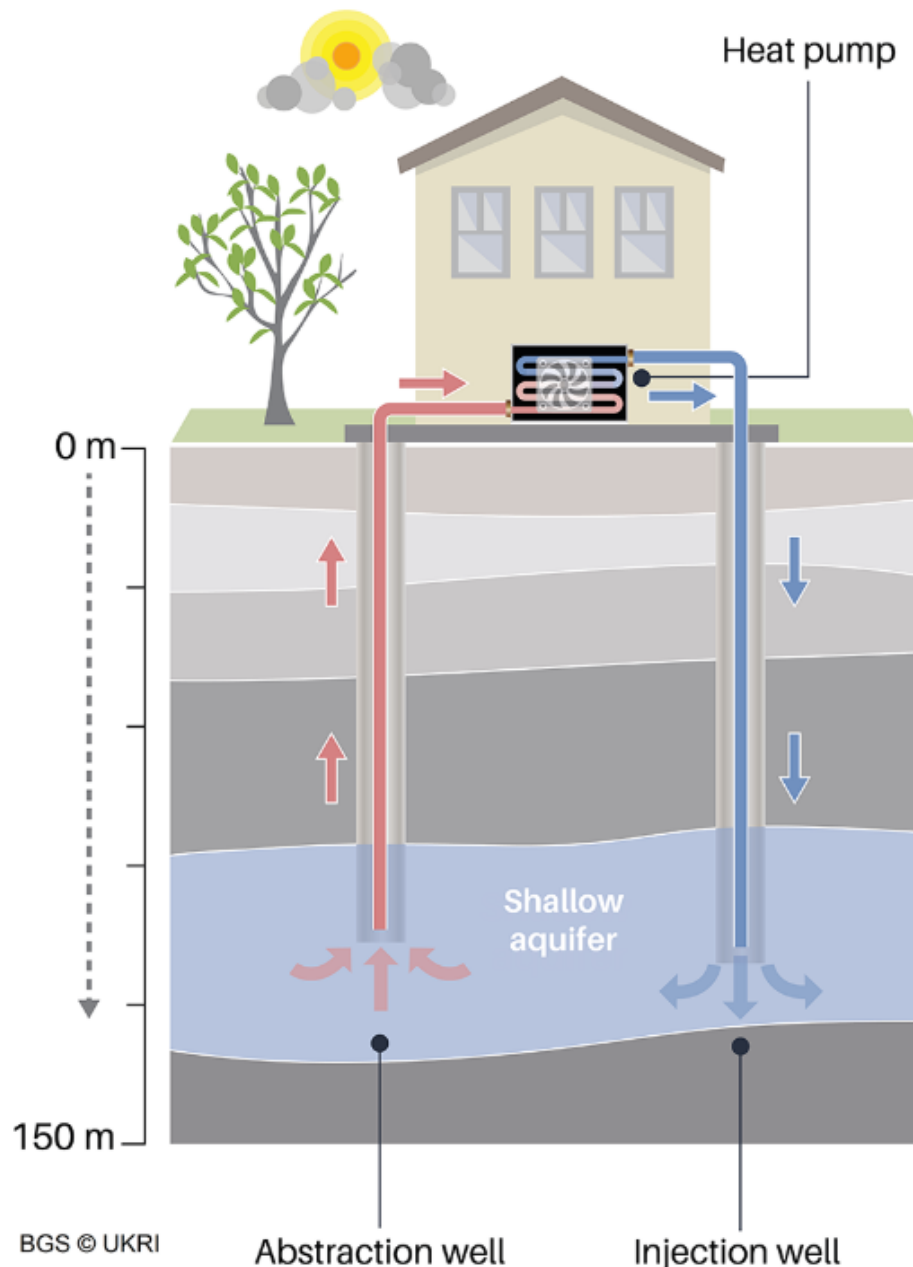


Figure 3.11: Schematic representation of an open loop geothermal system [2].

method by which heat is exchanged with the ground. Open loop systems exchange heat by moving groundwater through the system, while closed loop systems exchange heat through buried pipework without direct groundwater abstraction. This leads to different advantages and limitations.

Open loop systems can offer high thermal performance and a compact installation when groundwater conditions are favourable, but they involve greater hydrogeological uncertainty and require more attention to water quality, abstraction limits and reinjection conditions. For Belgium, the map in figure 3.13 indicates the variability in the feasibility of open loop systems depending on the region.

Closed loop systems are generally more predictable and can be applied on a wider range of sites, but they usually require more drilling depth, borehole spacing or land area to reach the same thermal capacity [23],[2].

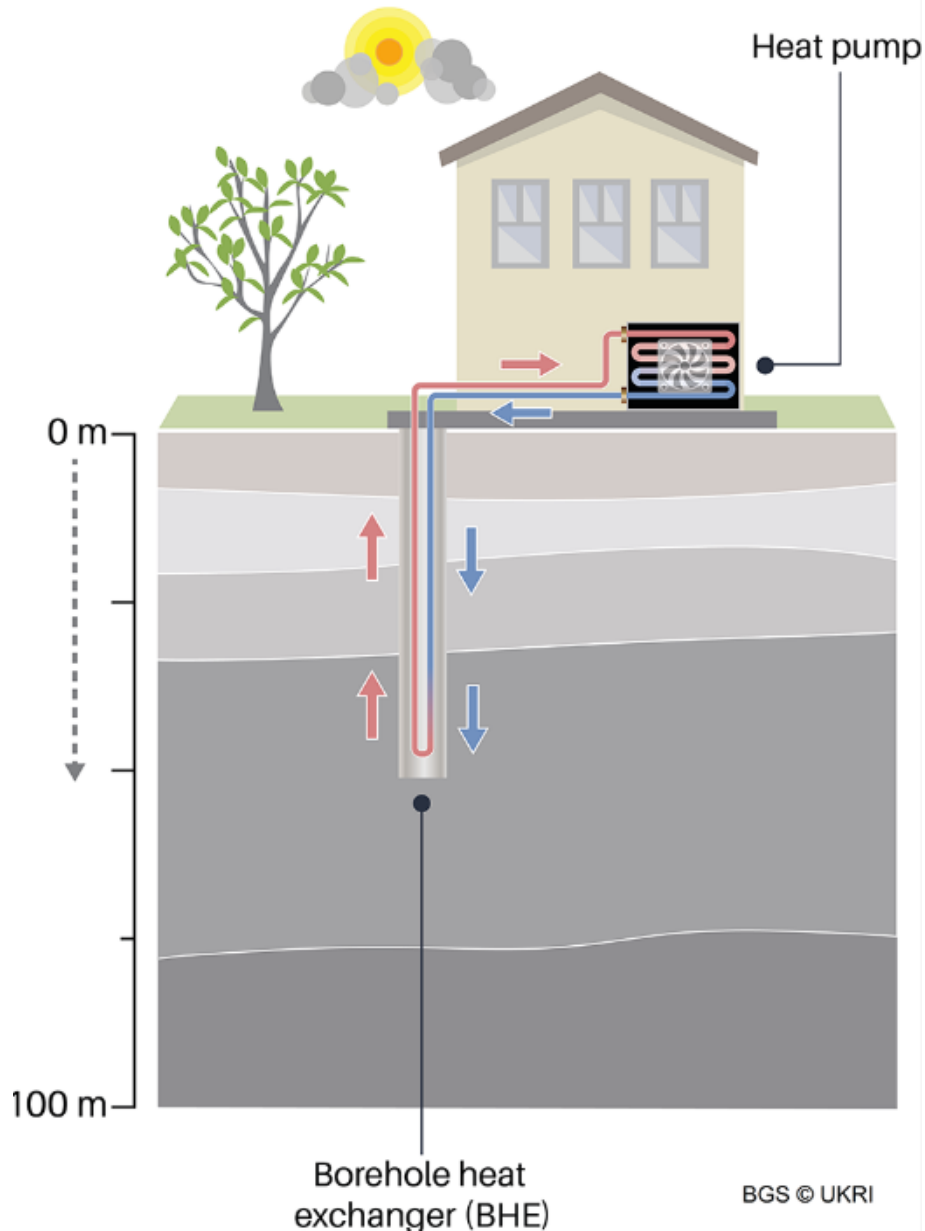


Figure 3.12: Schematic representation of a closed loop geothermal system [2].

Neither system is universally better than the other. Open loop geothermal systems are often preferable for large buildings with high and relatively balanced heating and cooling demands, especially where a productive aquifer is available and the regulatory context allows groundwater abstraction and reinjection. In such cases, the system can deliver good efficiency with a limited number of wells. Closed loop geothermal systems are often more suitable where groundwater conditions are uncertain, where water protection is sensitive, or where a robust and low-maintenance system is preferred. For projects aiming to reduce operational carbon emissions, the choice between an open loop and a closed loop geothermal system should therefore be made through a site-specific feasibility study. This study should include the building's heating and cooling load profiles, the expected annual balance between heat extraction and heat rejection, geological and hydrogeological conditions, available land area, drilling constraints, groundwater protection requirements, maintenance implications and life-cycle cost.

In practice, the best system is not necessarily the one with the highest theoretical efficiency,

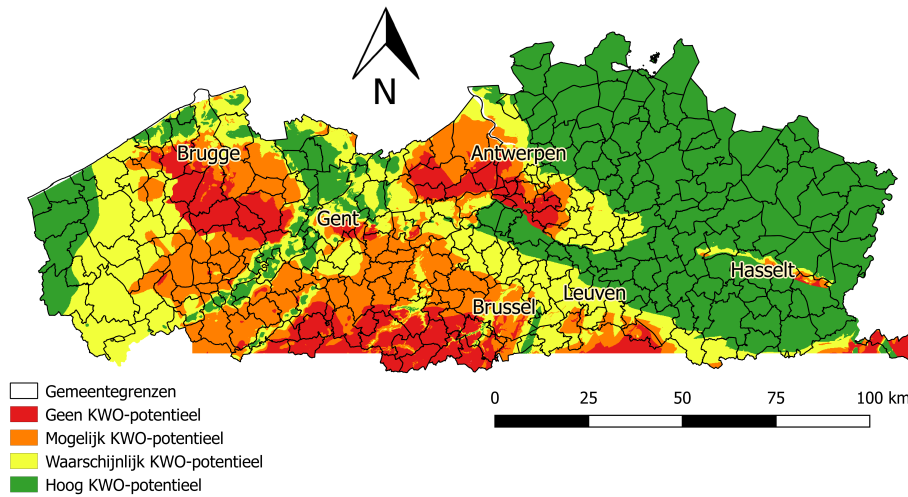


Figure 3.13: Representation of open loop system potential in Belgium (Flemish region) [3].

but the one that combines reliable long-term performance, acceptable environmental impact, manageable technical risk and compatibility with the building's decarbonisation strategy.

3.6.2 Centralised or decentralised

When geothermal energy is considered for a military barracks, an important design choice is whether the system should be developed per building or at the level of the entire site. Both options are technically possible, but they lead to a different investment profile and a different way of managing the technical risk.

A **decentralised** approach means that each building receives its own heat pump installation and its own geothermal source, either through a closed loop borefield or an open loop groundwater system. This has the advantage that the installation can be designed and tendered together with the building project itself. The scope is clear, the responsibility is limited to one project and there is no need to construct a larger distribution network between different buildings. For isolated buildings, or for projects that are far away from the main technical zones of the barracks, this can be a logical solution.

The disadvantage is that the same design exercise has to be repeated for every project. Each building requires its own source sizing, technical room, control strategy and maintenance approach. This can result in duplicated installations and in a less efficient use of the available underground potential. It also means that every separate project has to deal with the same uncertainty regarding the subsurface conditions. In practice, this uncertainty is often translated into additional design margins or risk premiums in the tender price.

A **centralised** system starts from a different logic. Instead of treating every building separately, the barracks is considered as one thermal system. One or more geothermal energy centres are then used to produce heat and cold for several buildings through a heat network. This creates the possibility to size the installation based on the combined demand of the site, taking into account simultaneity between buildings and future extensions. It also allows the geothermal source to be developed in phases. The first phase could serve a limited number of buildings, while later phases can connect additional infrastructure when renovation or new-build projects are executed.

From a technical point of view, this centralised concept is attractive for compact barracks with

several buildings that have a stable heating and cooling demand. It can also be useful when future energy-intensive functions are expected, such as data centres, workshops or other technical installations. A heat network can then become part of the long-term energy infrastructure of the site, in the same way as the medium-voltage grid or the data network.

3.6.3 High CAPEX

The main difficulty is the initial CAPEX. A centralised geothermal system requires more than only boreholes or wells and heat pumps. It also requires a distribution network, substations, control systems, hydraulic separation, civil works and space for future expansion. If only one or two buildings are connected in the first phase, the investment can seem disproportionate compared to a decentralised solution. This is one of the reasons why geothermal heat networks are difficult to realise when they are financed only through the budget of a single building project.

To reduce this CAPEX impact, the option of outsourcing heat and cold as a service to an ESCO was explored. In such a model, the geothermal source, the energy centre and possibly the heat network are not developed as a classical investment within each building project. Instead, an external party can finance, build, operate and maintain the installation, while the BE MOD pays for the delivered heat and cold through a long-term service contract (15-25 years). This shifts part of the upfront investment and technical performance risk away from the individual infrastructure project. It also creates an incentive for the operator to maintain the system properly, because the delivered energy service becomes the contractual output. Once the Layer 1 and Layer 2 of the masterplan are finished, it is possible to publish a tender for a geothermal energy partner for a whole barracks. The unit price, part of the tendering process, can be linked to the overall investment cost and a predefined Internal Rate of Return (IRR) given by the contractor. If the BE MOD wants to expand the network, the additional development cost combined with the IRR and the remaining duration of the contract, can clearly define the new unit prices for the delivered heat and cold.

The contract must clearly define availability, temperature levels, expansion possibilities, maintenance responsibilities, metering, indexation and the conditions for connecting future buildings. However, it does make the centralised concept easier to implement from a project-budget point of view. Instead of asking each building project to carry the full investment of the geothermal infrastructure, the heat network can be treated as a site-level utility that grows with the barracks over time.

3.6.4 Underground conditions

A last design issue is the uncertainty of the underground conditions. For closed loop systems, the thermal conductivity of the ground determines how much heat can be exchanged per meter of borehole. If this value is overestimated, the borefield can become too small and the heat pump performance will deteriorate over time. If it is underestimated, too many boreholes may be installed, which increases CAPEX unnecessarily. For open loop systems, the uncertainty is even more direct. The available groundwater flow, water quality and the possibility to reinject the water determine whether the system can deliver the required thermal power. These parameters depend strongly on local geology and can change significantly from one site to another.

This uncertainty cannot be fully solved during the early conceptual phase, but it can be reduced.

For that reason, elements were prepared to create a public tender for thermal response testing. The purpose of such a tender is to measure the relevant ground parameters before the final design of the geothermal installation is fixed. A thermal response test can provide site-specific values for ground thermal conductivity and borehole thermal resistance. These values allow the designer to size the borefield with less uncertainty and reduce the need for excessive safety margins.

For open loop systems, similar early investigations are needed, but the focus shifts more towards hydrogeology. The key questions are whether a sufficient water flow is available, whether the water quality is compatible with the installation, and whether extraction and reinjection can be permitted without unacceptable environmental impact. In that sense, the choice between open loop and closed loop geothermal energy is not only an efficiency or cost question. It is also a question of how much subsurface uncertainty the project is willing to accept.

3.6.5 Conclusion

The practical conclusion is that geothermal energy should preferably be considered early in the masterplanning process. If the decision is taken late, the available space for borefields, technical rooms and distribution pipes may already be limited by other projects. Early planning also makes it possible to compare decentralised and centralised solutions over a longer period instead of only comparing the investment cost for the first building. From an operational and redundancy standpoint, creating one single centralised system could become a single point of failure. Especially if the system provides the technical cold energy to server rooms or other critical installations. To have best of both worlds it would be good to create two or more centralised hubs for big barracks while in smaller barracks a single hub can be accepted if the redundancy is integrated on system level (e.g. multiple pumps,...).

For small or isolated buildings, a decentralised geothermal solution can still be the simplest option. For larger and more compact barracks, a centralised heat network is more interesting because it can reduce duplicated installations, prepare future connections and support the transition towards low-temperature heating and cooling. The higher initial CAPEX and the uncertainty of the underground conditions remain the two main barriers. In this work, these barriers were addressed by exploring two practical measures: a public tender for thermal response testing to reduce design uncertainty, and an ESCO-based heat and cold service model to reduce the direct CAPEX burden for individual infrastructure projects.

3.7 Conclusion

To transform military infrastructure into a reliable, functional, and climate-neutral entity, several improvements can be implemented to accelerate the process. Nevertheless, it is important to mention that available budget will always play a defining role in the overall feasibility.

To start, the concept of masterplans can be adapted to be split in distinct parts: an objectively defined as-is situation and action item list linked to overall environmental and energy requirements, a potential estimate of further development options to increase its capability to hold personnel and material, the internal listings of upcoming infrastructure projects and a potential future outlook of military usage.

Reducing the complexity of internal technical instructions and shifting towards a more standard

approach of basic building constructions could reduce the overall cost and increase the rollout speed of transformations.

Outsourcing internal heat networks based on geothermal energy in an ESCO-form, could further increase the rollout speed of a climate transition with a reduced CAPEX whilst preparing the installation for future energy heavy installations e.g. data centres. This solution can also grow flexibly with the barracks throughout upcoming years.

Chapter 4

Conceptualisation of a resilient national military electricity grid

4.1 Introduction

This chapter focuses on the current outlook of the internal medium-voltage (MV) grid. It explores the adaptations needed to create a resilient electricity system capable of integrating renewable energy sources (RES) and ensuring a continuous power flow during external grid failures.

In a first part it will describe the basic components of a microgrid and discuss potential energy sources and energy storage systems. In a second part it will describe the current landscape of the MV-grid within the barracks of the BE MOD. In a third part the future outlook is described followed by a potential roadmap for implementation.

4.2 Components of a microgrid

The literature defines a microgrid in different ways but according to a paper on the Operation of a multiagent system for microgrid control [24] a microgrid is a possible future energy system paradigm formed by the interconnection of small, modular generation units (micro-turbines, fuel cells, PV, etc.), storage devices (flywheels, energy capacitors and batteries) and controllable loads in low voltage distribution systems. Such systems can be operated interconnected to the power grid, or islanded, if disconnected from the grid.

In figure 4.1, the conceptual build up is represented with a Point of Common Coupling (PCC), different RES, a storage element, critical and non-critical loads and a control unit. The current representation uses an AC-bus whereas a DC-bus could also be possible. Nevertheless, since all current MV installations of the BE MOD use an AC-bus, the DC-bus will be omitted as an option as the transition towards it would mean a complete replacement of existing installations.

Some key characteristics for a microgrid according to [4]:

- It supervises the electrical components such as powers, voltages and frequencies by means of monitors;
- it has a PCC in a distribution network for connecting and disconnecting the grid utility;

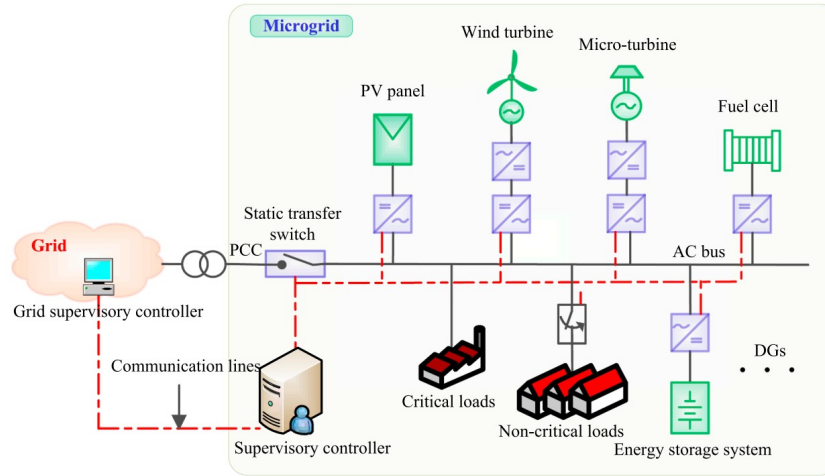


Figure 4.1: Conceptual representation of a microgrid and its different components [4].

- it is a subset of LV or MV distribution networks;
- it consists of generation units, a hierarchical control approach, power consumption places and energy storage systems;
- it facilitates an UPS to, at least, the highest priority loads during a grid failure or power quality degradation;
- it has two operating modes: (1) grid-connected; and (2) islanded or standalone (autonomous);
- it acts as a single controllable entity from a grid perspective;
- it generates the required reference voltage and frequency in an islanded operation;
- it is constructed in a defined location which can be in a distribution network or remote area;
- it has the necessary protection schemes;
- it controls the power supply during both grid-connected and islanded operations;
- it adjusts to abnormal situations (unintentional islanding or faults);
- it uses local information to control the power flow;
- it may provide electrical energy and thermal energy (hot and/or cold) simultaneously.

In the next sections different energy storage and backup sources are discussed. The idea is to find a good configuration that would be suitable for the national infrastructure of the BE MOD. In order to do this a scoring card was made to rank different technologies on topics that are more relevant in a military setting. Some elements that are important when selecting a system:

- **Technology Readiness Level (TRL)** - Defence infrastructure should rely on proven technologies with predictable performance and a low implementation of risks
- **Security of supply** - To represent the certainty of obtaining fuel, spart parts, technical support during crises or disruptions

- **Resilience contribution** - To evaluate the ability to support islanding operation, black-starts and redundancy
- **Maintenance** - To evaluate the personnel requirements or specialist knowledge to intervene on the system
- **TCO** - To evaluate an estimated cost of the system

The cost evaluation is explained in annex D and indexes the price from its reference year to 2026 at 2% per year and transforms USD to EUR at 0.866 EUR/USD. This puts the costs at a same reference value but doesn't take in account technological evolutions (e.g. cost reductions in manufacturing, raw material costs,...). Hence the values are not to be used as absolute but merely as an indication of where the technology might stand compared to others.

4.2.1 Energy storage

Energy storage is a key component of the microgrid as it takes over the grid forming function during islanding mode. A resilient microgrid must usually address three different time domains: (i) sub-second power quality and no-break continuity for sensitive loads, (ii) minute-to-hour balancing and black-start support during islanding, and (iii) multi-hour endurance support that reduces diesel fuel consumption and maintains critical operations through longer upstream outages. The literature is consistent that no single storage technology dominates all three domains. The optimal design is generally a layered or hybrid architecture in which energy-oriented and power-oriented devices are coordinated by the EMS [25] [5] [26].

The main subdivision in possible solutions is based on the form of stored energy as shown in figure 4.2.

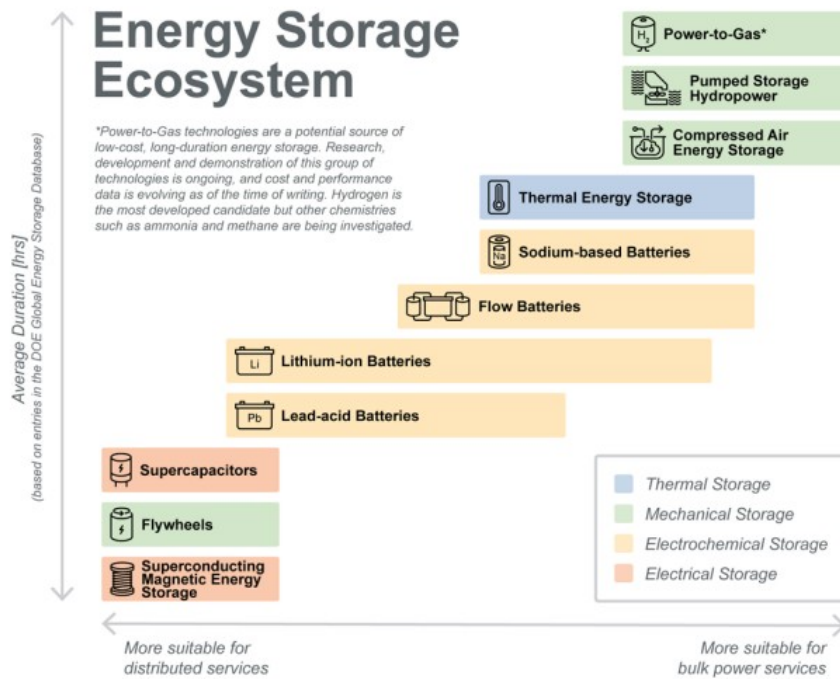


Figure 4.2: Conceptual representation of energy storage systems and their energy capacity [5].

Electrochemical storage

Electrochemical storage remains the core option for site-scale microgrids because it combines controllability, compactness and modular deployment. Redox-flow batteries, see figure 4.3 are especially attractive when the site needs daily deep cycling, high PV absorption and storage durations beyond the typical 2-4 hour lithium-ion range. Their main engineering advantage is the decoupling of power and energy: stack size determines power, while tank size determines energy. The utility-scale flow batteries are roughly at 468,18 - 998,78 EUR/kWh (see annex D), with sub-second to second response, 65%-70% round-trip efficiency and around 15 years lifetime; older vanadium-flow literature gives indicative effective energy densities of about 15-25 Wh/L and more than 10,000 cycles. [5] [27]

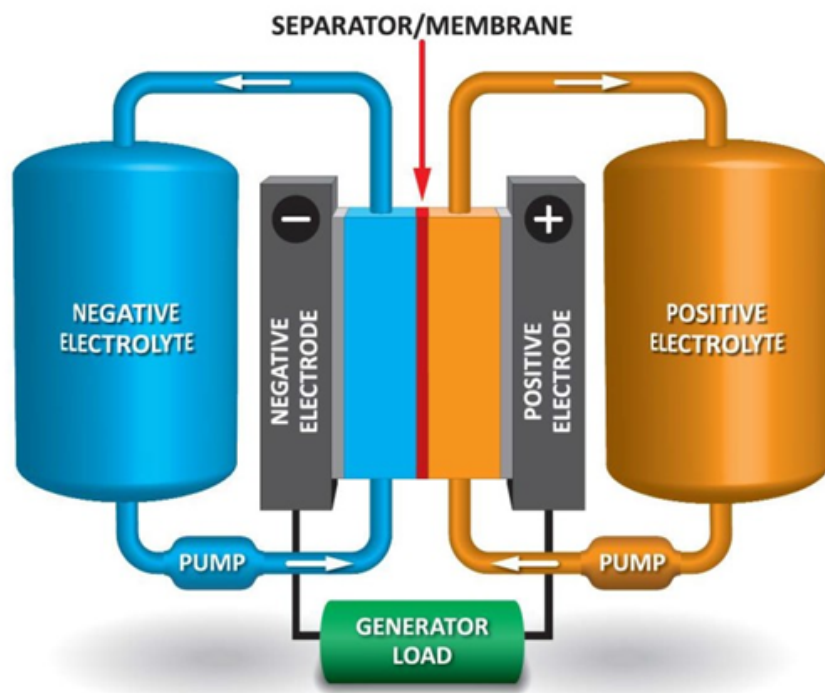


Figure 4.3: Schematic of flow batteries [6].

Sodium-ion batteries are emerging as a strategically interesting military option because they rely on abundant sodium-based feedstocks, offer improving low-temperature performance and have a safety profile that is often judged more forgiving than conventional lithium-ion cells. IRENA reports commercial sodium-ion cells up to 175 Wh/kg, 80% capacity retention after about 4,000-5,000 cycles, and average cell costs around 75–98 EUR/kWh (see annex D), with further reduction expected as production scales [28]. All-solid-state batteries are promising because they can improve intrinsic safety and volumetric or gravimetric energy density, but current reviews still identify interface stability, manufacturability, pressure management and cost as barriers to near-term stationary deployment. Their potential price is estimated around 78,02 EUR/kWh (see annex D). They should therefore be monitored as a future upgrade path rather than selected as the baseline technology for present Belgian military projects [29].

Lithium-ion batteries are currently the reference technology for short- and medium-duration electrical storage in site-scale microgrids. Their main advantage is not that they are the cheapest

storage medium, 295,8 EUR/kWh (see annex D), for every duration, but that they combine high round-trip efficiency, fast inverter response, modular construction and a mature commercial supply chain. For a military site that has to operate both grid-connected and islanded, this makes lithium-ion storage a practical candidate for frequency support, grid-forming operation, peak shaving, PV self-consumption and black-start assistance. In most stationary applications the battery is not installed as a stand-alone component, but as a battery energy storage system (BESS), including battery racks, power conversion system, battery management system, HVAC, protection devices, fire detection and the local control layer that communicates with the microgrid EMS [30],[31].

The supply-chain aspect is also relevant. Lithium-ion batteries have become the dominant technology partly because of the rapid growth of electric vehicles and global manufacturing capacity. This creates cost advantages, but also exposes projects to critical-material risks and geopolitical dependency. The DOE lithium-battery blueprint explicitly identifies secure access to raw and refined materials, reduced dependence on scarce materials such as cobalt and nickel, and battery recycling as strategic priorities [32]. For a Belgian military microgrid, this supports the preference for commercially mature, serviceable and well-documented systems, and it argues against selecting a highly optimised but difficult-to-maintain battery chemistry unless there is a clear operational reason.

Electrical storage

Electrical storage technologies sit at the opposite end of the design space: they deliver exceptional power but very limited stored energy. Supercapacitors typically operate over seconds to a few minutes, react in sub-second time, and are reported by NREL at about 92% round-trip efficiency with 10-15 years lifetime, but their cost per stored kilowatt-hour remains extremely high. Recent reviews still cite low energy density, commonly around 5-10 Wh/kg for Electric Double-layer capacitors but at a high cost 1034,95 EUR/kWh (see annex D) [5], [33]. They are therefore best used as ride-through or pulse-power devices placed in front of batteries, UPS converters or fast motor loads. Superconducting Magnetic energy Storage (SMES) offers similar ultra-fast response with even higher power quality value. NREL reports sub-second reaction, about 97% round-trip efficiency and 20-year lifetime, but system-level costs remain high and cryogenic cooling adds operational complexity. For a military barracks, SMES is technically attractive for niche power-quality problems, but difficult to justify as a mainstream storage backbone [5] [26].

Mechanical storage

Mechanical storage technologies deserve attention because they can add resilience without relying on large electrochemical inventories. Flywheels, see figure 4.4, are well suited to absorb short transients, stabilize inverter-dominated islanding events and reduce battery stress. NREL cites seconds-to-minutes duration, sub-second response, 86%-96% efficiency and a nominal 20-year lifetime. Review literature reports indicative specific energy from about 5 to 100 Wh/kg depending on rotor design, with the practical limitation that self-discharge is high and cost per stored kWh (451,59 EUR/kWh, see annex D) remains far above batteries [5],[34].

Compressed Air Energy Storage (CAES), represented in figure 4.5 occupies the long-duration end of the spectrum. Reports show several-hours-to-days power duration at a high initial cost 778,18 EUR/kWh (see annex D), but deployment generally requires suitable underground caverns and,

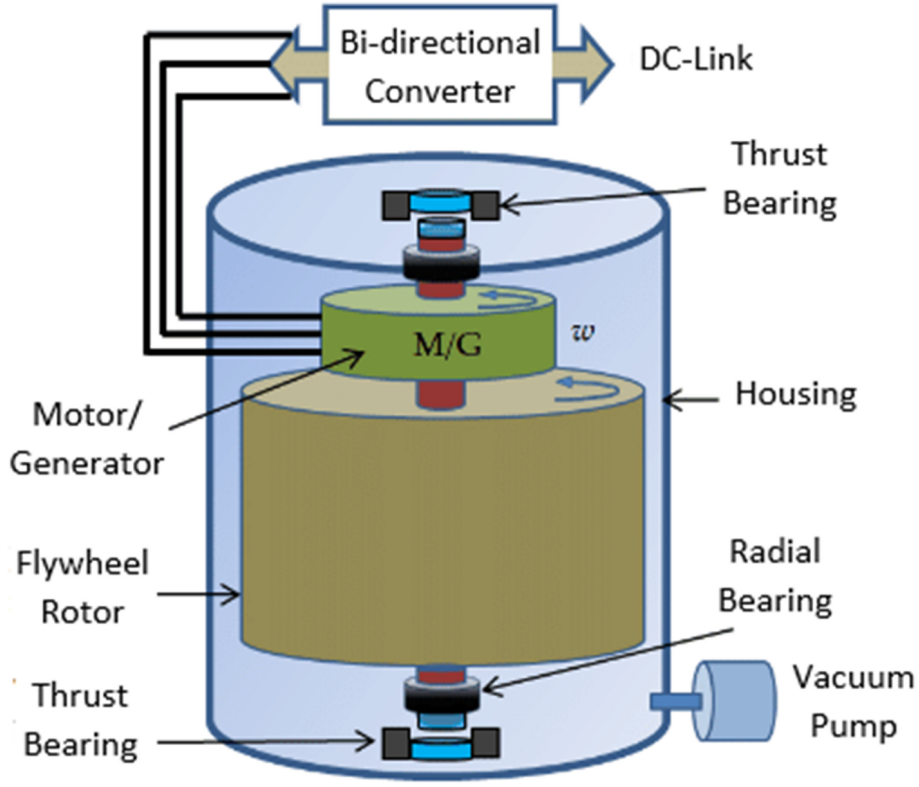


Figure 4.4: Conceptual representation of a Flywheel energy storage [7].

in classic diabatic designs, often depends on fuel during discharge [5] [26]. CAES is highly linked to the geological conditions thus making it more difficult to integrate widely as a storage system.

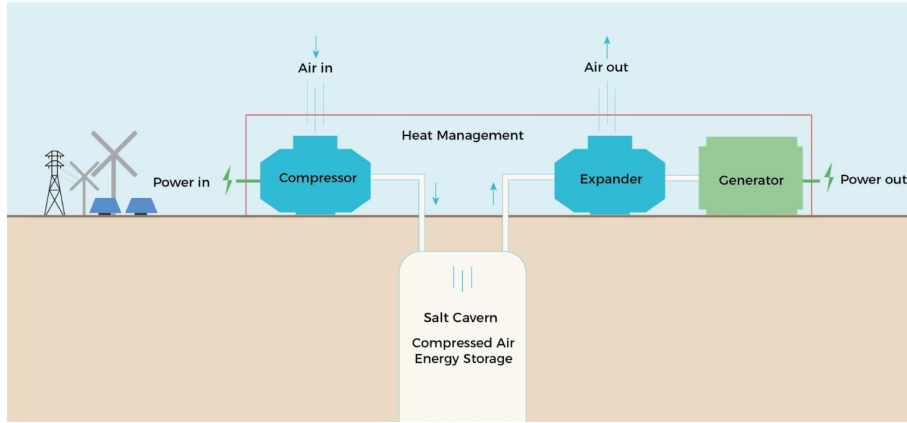


Figure 4.5: Conceptual representation Compressed Air Energy Storage [8].

Thermal storage

Thermal storage must also be considered because the first research question of this thesis concerns buildings as much as power systems. Sensible and latent thermal energy systems (TES) are already mature in HVAC practice, while thermochemical and pumped-thermal electricity storage remain less mature but promise attractive low-cost long-duration energy shifting. For site microgrids, TES is not a substitute for electrical backup of critical loads, but it can materially reduce electrical peak demand and generator fuel use by shifting heating and cooling production, especially when coupled with electrified HVAC and future heat networks [26] [35] [36].

Conclusion

The comparison of figure 4.6 and 4.7 indicates that the best storage choice for a resilient military microgrid is not a single technology but a deliberately layered portfolio. For a transition period, where the MV-grid is being transformed but not all functionalities of a microgrid are in place, the recommendation is to implement primarily electrochemical storage systems (batteries). Once a fully operational microgrid has been put in place, and the grid failings become more frequent, other storage systems as flywheels or supercapacitors could be justified if millisecond-to-second continuity of sensitive loads needs to be maintained. Thermal energy storage can be used in a geothermal context to provide heating and cooling to buildings but should not yet be used to support the electrical grid directly and is therefore omitted from the final scoring chart.

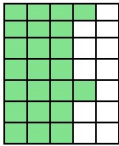
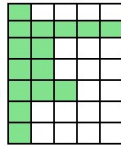
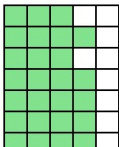
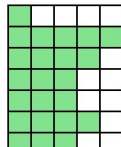
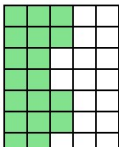
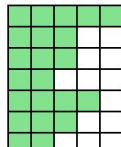
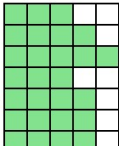
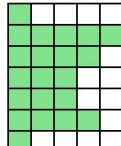
Redox-flow batteries	Capacity Power TRL Security of Supply Resilience contribution Maintenance TCO		23/35	Superconducting Magnetic Energy Storage	Capacity Power TRL Security of Supply Resilience contribution Maintenance TCO		15/35
Sodium-ion batteries	Capacity Power TRL Security of Supply Resilience contribution Maintenance TCO		26/35	Flywheels	Capacity Power TRL Security of Supply Resilience contribution Maintenance TCO		23/35
All-solid state batteries	Capacity Power TRL Security of Supply Resilience contribution Maintenance TCO		18/35	Compressed Air Energy Storage	Capacity Power TRL Security of Supply Resilience contribution Maintenance TCO		22/35
Lithium-ion batteries	Capacity Power TRL Security of Supply Resilience contribution Maintenance TCO		27/35	Supercapacitors	Capacity Power TRL Security of Supply Resilience contribution Maintenance TCO		23/35

Figure 4.6: Scoring chart for different energy storage options based on the selected KPI.

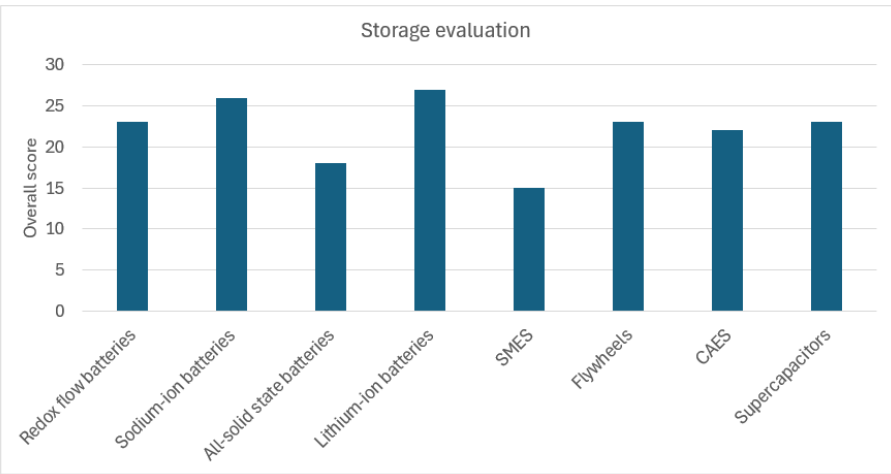


Figure 4.7: Overall Scoring chart for different energy storage options based on the selected KPI.

4.2.2 Energy backup power sources

Storage alone does not create endurance. For a resilient military microgrid, generation assets must be selected by the desired duration in islanded mode, the quality of the required power, the available fuel logistics, and the thermal loads present on site. In practical terms, generation technologies complement the storage hierarchy already discussed in the previous section: batteries and power-electronic assets stabilise the first seconds and minutes, while firm generation determines whether the site can sustain operations for many hours, several days, or longer [37], [38]. The engineering objective is therefore not to identify one single solution, but to group a set of solutions whose response speed, fuel autonomy, maintainability and signature match the load of a military barracks.

Fuel cells

Fuel cells are among the most attractive low-emission options for resilient microgrids because they are modular, electrically efficient and acoustically quiet. The literature distinguishes mainly between proton-exchange membrane fuel cells (PEMFC), which operate at low temperatures, respond relatively quickly and are well suited to dynamic operation, and solid oxide fuel cells (SOFC), which operate at high temperature and are slower to start but offer superior fuel flexibility (can use hydrocarbons instead of solely pure hydrogen) and strong combined-heat-and-power (CHP) performance. The U.S. EPA catalog reports fuel-cell electrical efficiencies of roughly 30-63% (HHV) and overall CHP efficiencies of 55-80%, while larger prime-power systems achieve high part-load efficiency and low local pollutant emissions [39]. The SOFC in the Saffraanberg military campus reaches an efficiency of around 55 % which confirms the values out of literature but sits below the envisioned 60%.

Complementary stationary-fuel-cell assessments report current large-scale system CAPEX typically around the order of 1.556–3.952 EUR/kW (see annex D), whereas small building-scale systems remain substantially more expensive [40] [41]. For military sites, this makes fuel cells especially relevant for quiet critical-load support, black-start support when paired with grid-forming inverters and batteries, and efficient co-generation on sites where heat demand remains material throughout the year [42] [40] [41]. The SOFC in Saffraanbarg sits around 7.000 EUR/kW which is higher than the reported range but this included all additional adaptations needed. Their main weaknesses are fuel logistics, hydrogen storage volume, impurity sensitivity and stack replacement cost. Although fuel logistics and hydrogen storage can be omitted if the fuel cell operates on natural gas. Here the system is not climate neutral, but with existing gas connections in multiple barracks it could be a better alternative, due to efficiencies, than a gas piston engine.

Piston engines

Conventional piston engines remain the benchmark technology for assured electrical supply on most critical sites, and they should not be discarded simply because the long-term decarbonisation objective is stronger. They start very quickly, tolerate modular N+1 layouts, black-start well, and handle step changes in load better than most alternatives. The U.S. EPA catalog reports electrical efficiencies of roughly 27-41% (HHV), overall CHP efficiencies of 77-80%, start-up times around 10s and typical installed CHP costs of 1.137 EUR/kW (see annex D) for reciprocating engines [39]. For Belgian military infrastructure this technology remains the reference for mission assurance, especially if future procurement shifts toward Hydrotreated-Vegetable-Oil-ready,

biomethane-ready or dual-fuel units to reduce dependence on fossil diesel. The drawback is obvious: engines impose acoustic, thermal and emission signatures, require secure fuel supply chains, and only contribute to decarbonisation if the fuel pathway itself is low-carbon. Nevertheless, the technology remains easy to implement and to maintain.

Gas turbines

Microturbines and small gas turbines occupy a middle position between engines and fuel cells. They generally offer lower electrical efficiency than large engines, but they have relatively few moving parts, low local emissions, acceptable maintenance profiles and useful CHP integration when there is a steady heat sink. The EPA catalog and DOE CHP guidance indicate microturbine electrical efficiencies around 22-28% (HHV), overall CHP efficiencies around 63-70%, start-up times of about 60 s and installed costs in the range of about 1.437 EUR/kW (see annex D) for small CHP installations [39], [43]. Their fuel flexibility can also be attractive: natural gas, synthetic gas, landfill gas and certain liquid-fuel pathways are possible depending on the machine and pretreatment. For military campuses they are technically credible where a steady thermal load exists, for example district heating, laundries, kitchens, workshops or hospital-like functions, but they are usually less attractive than engines for very fast emergency pick-up and less attractive than fuel cells when a low acoustic signature is decisive.

Biomass systems

Biomass- and biogas-fuelled CHP systems are relevant because they convert locally stored chemical energy into dispatchable electricity and heat and can reduce lifecycle emissions when the fuel supply is genuinely sustainable. Best-practice reviews from IEA Bioenergy emphasise that decentralised biomass CHP can achieve high total efficiency and improve local energy autonomy, but they also underline the penalties of fuel handling, combustion complexity, emissions control, ash management and site logistics [44]. Costs reported are still high: 4.230–7.560 EUR/kWe (see annex D). For the BE MOD a biomass based system should not be the first choice unless clear and secure logistical chains are in place on a Belgian level in order to assure a continuous availability of bio-fuel or bio-gas.

Small modular reactors

Nuclear microreactors and other very small modular reactors (SMR) deserve a separate assessment because they address a different resilience timescale altogether. Recent U.S. and international sources describe microreactors as systems typically producing about 1-20 MW of electrical and/or thermal output, with some programmes defining the upper bound at 50 MWe, and refuelling intervals of roughly 2-10 years [45] [46] [47]. This makes them conceptually attractive for remote bases or mission-critical installations that require very long endurance with limited fuel convoys. Defence literature also frames them explicitly as an energy-assurance technology for critical military sites [46] [47]. However, the same sources highlight major barriers: licensing, public acceptance, physical protection, cyber-secure remote operation, emergency planning, waste strategy, procurement complexity and very high first-of-a-kind project risk. Besides the barriers, there is also a technical limitation for them to be used within the BE MOD. The smallest microreactor currently operates at 1MWe. This means the military barracks needs to have a baseload of 1MWe in order for the microreactor to operate effectively and avoid continuous

start-stop cycles. Although some barracks have grid connection points ranging between 8-10 MVA, the RES on site significantly lower the continuous baseload. Furthermore, the current price outlook for SMR is estimated between 6–16 million EUR/MW (see annex D).

For the BE MOD, nuclear microreactors should therefore be treated as a strategic long-horizon option rather than a near-term design criterion for ordinary barracks. Their relevance is highest for national pilot programmes or exceptionally critical, isolated installations. It is currently much lower for routine modernisation, or augmenting redundancy and resilience.

Hydrogen internal combustion engines

A final group of options is emerging rather than fully established: hydrogen internal-combustion engines, ammonia-fuelled turbines or solid oxide fuel cells, and reversible solid-oxide systems that couple electrolysis and power generation. These technologies are strategically interesting because they could translate stored hydrogen or ammonia into long-duration resilient generation with lower carbon emissions than diesel. Yet for near-term military microgrids in BE MOD they remain secondary choices because the supply chains, safety cases, commercial product availability and maintenance ecosystems are not yet as mature as for engines, batteries and standard fuel-cell platforms [42] [41]. The ongoing study in Saffraanberg, in collaboration with KU Leuven, tests these water electrolyzers to create hydrogen and generate power (electrical and heat) for buildings. For large-scale applications, the current yield is too low, but for deployed environments, the applicability can be examined further.

Conclusion

The comparison of figure 4.8 and 4.9 leads to a practical conclusion. The best near-term generation architecture for a resilient Belgian military microgrid is usually a layered combination rather than a single prime mover. First, batteries and power electronics should provide fast frequency and voltage support. Second, one or more mature dispatchable units, most often piston engines in the current fleet, progressively shifted toward low-carbon fuels where feasible, should secure black-start and multi-day endurance. Third, where the site has a stable thermal demand and high power-quality requirements, fuel cells or CHP microturbines can improve efficiency, reduce acoustic signature and lower fuel consumption. Nuclear microreactors remain a potentially transformative long-duration option, but not yet a routine estate-level design choice.

For that reason, the preferred ranking for Belgian military sites is:

- Piston engines
- Gas turbines
- Fuel cells

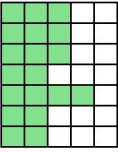
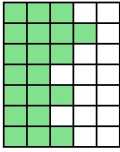
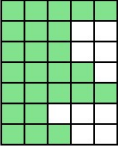
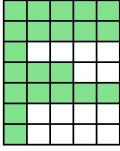
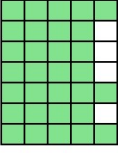
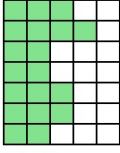
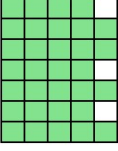
Fuel cells (hydrogen based)	Capacity Power TRL Security of Supply Resilience contribution Maintenance TCO		19/35	Biomass	Capacity Power TRL Security of Supply Resilience contribution Maintenance TCO		20/35
Fuel cells (carbon based)	Capacity Power TRL Security of Supply Resilience contribution Maintenance TCO		25/35	Small Modular Reactors	Capacity Power TRL Security of Supply Resilience contribution Maintenance TCO		21/35
Gas turbines	Capacity Power TRL Security of Supply Resilience contribution Maintenance TCO		31/25	Hydrogen combustion engines	Capacity Power TRL Security of Supply Resilience contribution Maintenance TCO		19/35
Piston engines	Capacity Power TRL Security of Supply Resilience contribution Maintenance TCO		32/35				

Figure 4.8: Scoring chart for different energy generator options based on the selected KPI.

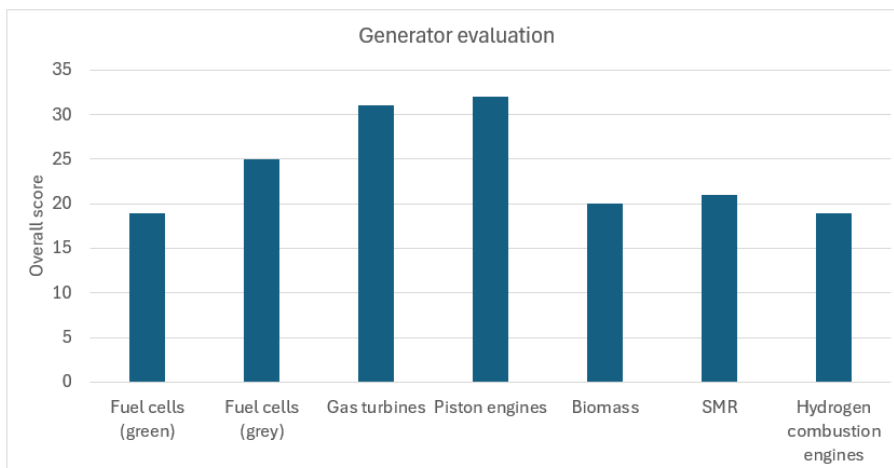


Figure 4.9: Overall Scoring chart for different energy generator options based on the selected KPI.

4.3 Current status

The current BE MOD MV grid is mainly outdated and not ready for a quick and easy transformation into a microgrid. In the following sections some main aspects are discussed.

4.3.1 Masterplan

As part of the masterplan for a military barracks, the future outlook for its electrification is currently not (or partially) described. The current information lists the identified or ongoing projects in the near future (e.g. increasing the power of the main grid connection). In terms of lower-level planning, the internal MV-grid is only reactive and not made preemptively. When a MV-cabin has to be replaced, a check is done to see if it is future proof based on the existing IBP. But the main drivers to replace it are after a negative legal inspection, the installation of RES, the installation of charging posts or an infrastructure project that needs an increased power connection due to the electrification.

Aligned with the definition of Masterplans given in a previous chapter, the current state of the MV-grid should be integrated in the Layer 1 and the potential upscale, linked to free space inside a cabin, cable cross sections and legal compliance, in Layer 2.

4.3.2 Maintenance and upgrades

The BE MOD uses 3 main vectors to maintain and update/upgrade its MV-installations.

The first one is the general maintenance contract called UTO (Uitbating & Technisch Onderhoud – Exploitation and Technical maintenance), which encompasses almost all technical installations for multiple military barracks within one contract. This allows for a 24/7 coverage on defects, lowers response times and overall cost. The downside is that the replacement of MV-installations is a costly project (200-400k EUR) which impacts budget availability heavily.

The second one is the FM-contract which encompasses the same tasks as the UTO but limited to one main barracks. Here the replacement cost has an even bigger budget impact since the budget size of FM is lower than UTO.

The last and third one is OO-E (Open Overeenkomst Elektriciteit – Open agreement electricity) which was initially designed for LV interventions, but can also intervene on MV-installations. However, this contract doesn't have a maintenance part and can thus solely be used on a project basis after which the installation is given over to either the FM or UTO contract for maintenance.

The biggest advantage of using the first 2 contracts for MV adaptations is that the internal coordination (impact of electrical downtime on other technical installations) is managed within one and the same contractor. This means the BE MOD doesn't need to take additional precautions to execute the works without risking operational downtime. Besides these main vectors, for bigger projects, some MV-elements get replaced within a larger project (e.g. DBFM).

4.3.3 Technical documentation

For most of the existing MV-installations the technical documentation is not always available. These appear as administrative remarks on legal inspections but also make masterplanning difficult for multiple installations spread over the whole national territory. For upgrade/replaced

cabins, the documentation is collected and stored in the internal asset management system of the BE MOD (ILIAS). Nevertheless, for maintenance contracts the updating of plans is often not executed properly.

Schematic representations of the whole grid are even less common, example in figure 4.10 and hold little information like cabin size and build-up, cable type and sections, data connections or inspection status.

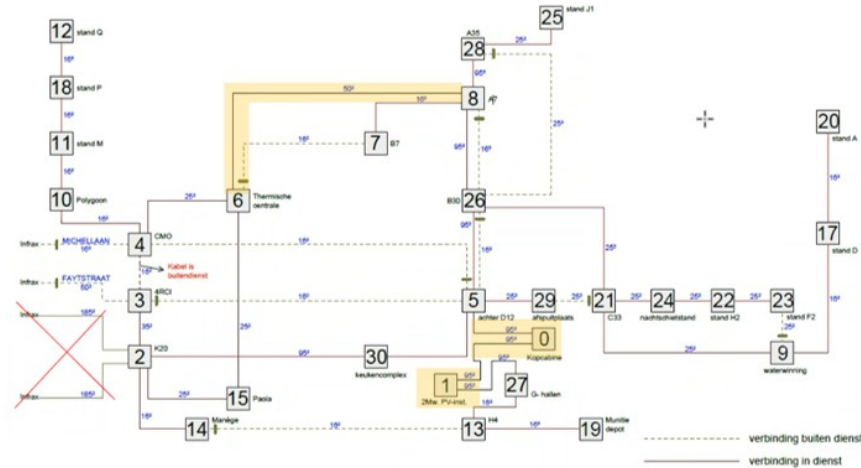


Figure 4.10: Real visualisation of an internal MV-grid and the available technical details.

Besides the technical data linked to the physical installation, an additional gap is the categorisation of critical or non-critical installations. Although this could be seen as secret information, in order to transform into a microgrid this information is needed in order to size the energy sources and storages, get control units installed and size the transition cost of a whole barracks.

4.3.4 The Internet of Things

The energy transition of military infrastructure is not only a question of replacing fossil-fuel systems with renewable or low-carbon technologies. It also requires a substantial increase in digital coordination between technical installations. Photovoltaic systems, battery energy storage systems, medium-voltage substations, heat pumps, emergency generators, electric-vehicle charging infrastructure and building management systems all need to exchange data if they are to operate as one coherent energy system. In a microgrid context, this communication is even more important, because the system must be able to balance production and demand, manage storage, support islanded operation and maintain critical loads during external grid disturbances.

Currently this cross communication is provided through an internet connection called "Internet of Things" (IoTNet). This virtually separated network works behind the overall firewalls of the BE MOD and under its continuous internal supervision. However, the steep rise of systems requiring access to this IoTNet puts a significant strain on the organization that was not conceived to support this transition and way of working.

Cybersecurity under AI pressure

This growing dependence on data communication creates a clear cybersecurity challenge. Many of the assets involved in the energy transition belong to the domain of operational technology (OT).

Unlike conventional office IT systems, OT systems monitor or control physical processes. A cyber incident in such an environment can therefore have physical consequences, such as the incorrect operation of switchgear, the loss of battery control, the disruption of emergency power systems or the failure of automated load-shedding logic. The National Institute of Standards and Technology (NIST) explicitly stresses that OT security must take into account not only confidentiality, but also safety, availability, reliability and the physical effects of cyber compromise. [48]

The risk is increased by the convergence between IT and OT. Older technical installations were often relatively isolated and locally managed. Modern energy systems, by contrast, frequently depend on remote monitoring, vendor maintenance, software updates, cloud dashboards, predictive maintenance tools and API-based integration. These functions can improve efficiency and reduce operational costs, but they also introduce new dependencies. A poorly secured remote-access connection, an unmanaged software component or an insufficiently segmented technical network can become an entry point for a wider cyber incident. For that reason, cybersecurity should not be treated as an additional layer after the design of the energy system has been completed. It must be included as a design criterion from the start, together with energy performance, redundancy and operational resilience.

The role of artificial intelligence makes this issue more urgent. AI can support defensive cybersecurity by helping analysts detect anomalies, correlate logs, identify vulnerabilities and prioritise patching. However, the same capabilities can also be used to accelerate offensive cyber activities. Anthropic’s Project Glasswing, which provides selected partners with access to Claude Mythos Preview for cybersecurity research, illustrates this dual-use character. The project is presented as a defensive initiative aimed at finding and fixing vulnerabilities in important software systems [49]. At the same time, Anthropic has described Claude Mythos Preview as a model with strong coding, reasoning and cybersecurity capabilities, including the ability to assist in vulnerability discovery and exploit development [50]. The relevance for military energy infrastructure is not that such a model directly attacks microgrids, but rather that it reveals how rapidly vulnerability discovery can be scaled with AI. Future adversaries may therefore be able to identify weaknesses in technical networks faster than traditional security processes can remediate them.

For military infrastructure, this development supports a cautious architectural principle: technical energy networks should be separated from operational military networks wherever possible. A strict physical air gap remains valuable for the most sensitive operational environments, especially where compromise could affect command, security or safety-critical functions. In practice, however, a complete air gap is not always compatible with the requirements of modern energy management. Microgrids need measurement data, maintenance access and coordination between distributed assets. The design challenge is therefore not simply to disconnect everything, but to define which data exchanges are necessary, which are unacceptable and which require strong control measures. Furthermore, the execution of firmware updates on the technical installations needs to be assured in order to reduce the number of malicious pathways into the network.

The energy transition therefore increases the importance of cybersecurity in military infrastructure. More communication is necessary to operate a flexible and resilient energy system, but every additional connection also creates a potential pathway for compromise. Artificial intelligence strengthens both sides of this equation: it can improve cyber defence, but it can also increase the speed and scale of vulnerability discovery. For this reason, the transformation of a medium-voltage network into a resilient microgrid should be accompanied by a cybersecurity ar-

chitecture that separates operational and technical networks, limits cross-domain communication and applies OT-specific security standards. Only then can the benefits of digital energy management can be achieved without exposing mission-critical infrastructure to unnecessary cyber risk.

Possible alternatives from an infrastructural standpoint

In the current design process the existing technical instruction that describes the process of a PDS, didn't include the important role the IT-department needs to play. In an updated version of the flow, added to the technical instruction, their participation on bigger projects is now included.

Nevertheless, with the increased growth of data-connected support systems and the rise of cyber security threats the BE MOD faces a choice:

- Insource: increase the number of technical IT personnel to support different projects, maintenance and oversee security
- Outsource: Find a contractual partner responsible for installing, maintaining and updating a physically separate network dedicated for technical systems.

From an infrastructural standpoint, preference is given to an outsourced alternative where a single contractor is responsible for each military barracks. This contractor handles the physical installation of cables and switches, configures the internal network, and oversees system updates. Transforming a virtual IoTNet into a physically separated network with its own fiber connections and switches will not happen immediately. However, if the overall vision for the network integration of technical systems is adapted, the necessary changes can be integrated into upcoming infrastructural projects, such as doubling the network connections, so that a final transition to an external partner is possible.

In this transition, it is important to outsource this network management aligned with at least the physical boundaries of a military barracks and not limited by a single infrastructural project (e.g. DBFM). Since maintenance contracts, energy monitoring contracts, energy supply contracts, renewable energy sources or storage are all managed at barracks level, further separating the internal technical network into smaller pieces will only increase the complexity of a complete overall management.

The other option, Insource, would significantly increase the number of technical people needed to work in support of infrastructural projects and management with little, besides security, return for the BE MOD.

4.4 Future outlook

4.4.1 Conceptual representation of the military electrical grid

The current military electrical medium-voltage grid (internal grid), has been initially conceived with the sole purpose of providing the required electricity to different installations and buildings. Throughout the years, increasing electrical demand necessitated changes which were always built on a base design that was not conceptualized to function as an eventual microgrid. Hence, the internal grid is a combination of an open loop system with antenna connections to certain areas.

A conceptual representation of a functional microgrid is represented in figure 4.11.

Local back-up power

The existing local back-up systems to support critical installations on low voltage side remain in place and will not be integrated in the overall functioning of the microgrid. These elements are highly distributed over the whole barracks and are not easily integrated in a microgrid configuration. Furthermore, their power or energy storage capacities are mostly limited as they support one, or a few, critical installations for a short time period.

Grid back-up storage

Divided over more than one secondary substation, the back-up storage systems take the grid forming role. Their size can be linked directly to either an economical case, to optimize the own consumption of renewables on site and do peak shaving in order to reduce grid connection costs, or envision long time islanding operation during external grid blackouts.

Grid back-up power

Grid backup power, unlike decentralized backup systems, aims to ensure a continuous flow of electricity when intermittent sources like solar panels are not providing the necessary power. These systems are not designed to keep the barracks 100% functional as if in normal conditions, but support critical installations and ensure operational readiness.

Renewable energy sources

Different forms of renewable energy like solar or wind can be envisioned. In the current installations, these systems are mainly designed from an economical standpoint (maximise auto-consumption to 70%) and could be further elaborated once a complete microgrid has been established.

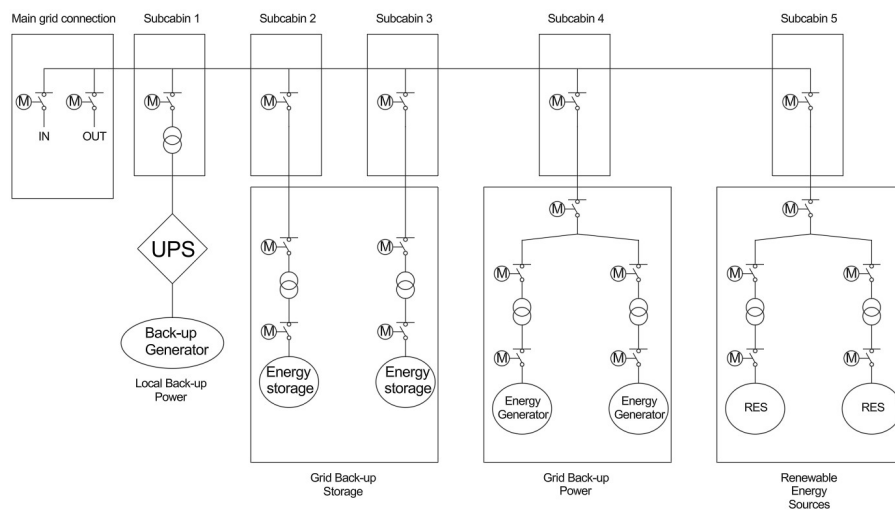


Figure 4.11: Conceptual representation of an open loop medium voltage grid consisting of 5 secondary substations with local back-up power, grid back-up storage elements, grid back-up power elements and renewable energy sources.

4.4.2 Technical instructions - NI2

In the existing technical instructions, there were no technical requirements listed for medium voltage installations. Hence, conceptual build ups for different power ratings have been added. These instructions rely on the existing norms of e.g. Synergrid which apply for main grid connected cabins but can also be used for internal secondary substation.

Furthermore, instructions related to data connection (fiber) ensure that the secondary substation can be operated from a distance and function in a microgrid constellation.

4.4.3 Combining electricity and IT

Due to the electrification and legacy electrical underground cables, a lot of interconnections on the internal loop are or need to be replaced. These works often go hand-in-hand with directional drilling, which, in addition to raw material costs, makes the project quite expensive.

In order to expedite the data connectivity of the cabins, and subsequently other technical installations, it is proposed to integrate the installation of HDPE tubing with the new electrical cables. These tubings can later be used to place fiber connections and interconnect the different MV-cabins whilst creation the option to obtain a physically separated fiber network which can be used solely for technical installations.

4.5 Possible roadmap for implementation

The roadmap to implement different changes with the aim of transforming the existing MV-grid towards a more resilient system covers multiple parallel pathways which can be mostly integrated simultaneously. The overall flow is represented in figure 4.12 and the different elements are further elaborated below.

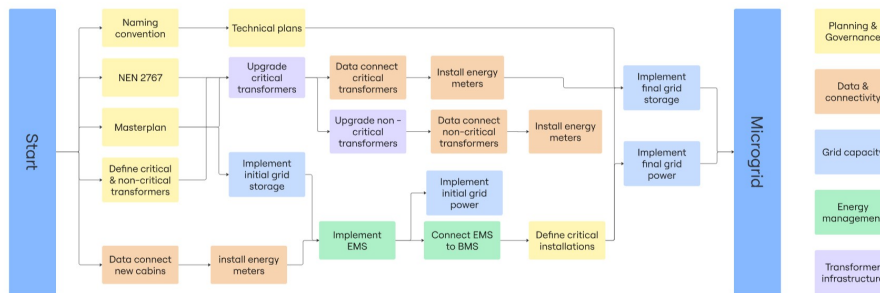


Figure 4.12: Roadmap representation to transform the existing MV-grid towards a microgrid capable version.

Naming conventions & technical plans

Initial layout plans for each internal grid must be created by implementing the naming convention outlined in the technical instructions. These plans will illustrate interconnections, power capacities, cable types, available free space, and the connected buildings. The naming convention has been added to the Technical Instruction on Energy policy together with a conceptual representation of a global plan. The concept of these technical plans is showcased in figure 4.13.

This work can be integrated in the Layer 1 Masterplan as-is assessment and will support the other steps in the process.

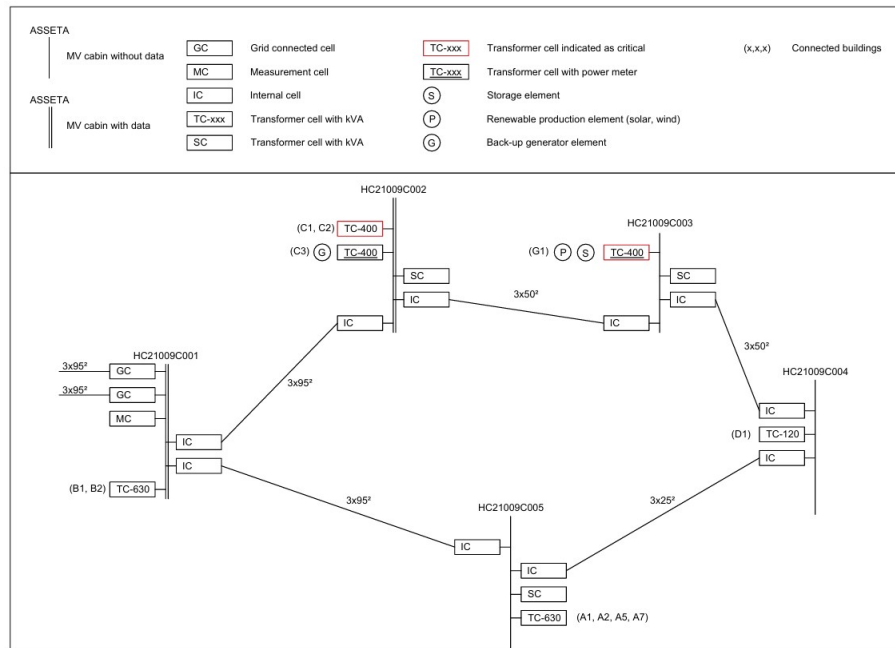


Figure 4.13: Overview of the technical plans to be created for the electrical grid.

Masterplan & NEN2767

Here Layer 1 and Layer 2 masterplans for MV-installations are established to clearly scope the current state and the potential upgrades needed. The current state will be described in the NEN2767 audit on the technical installation, this will clearly list the shortcomings of the existing installation. Besides the actual current state and listings of the needed works, attention has to be spent on the future outlook, masterplan, of the barracks to incorporate future electrification as much as possible in MV-cabins when ordering corrective maintenance on them.

Define Critical and non-critical transformers

Within the existing MV-network, categorise transformers as being critical or non-critical. A critical transformer is to be seen as a transformer that feeds an area or installation that is not able, by its own local back-up power, to overcome a power outage of 4 hours of which the downtime creates a serious operational impact on the barracks. Possible areas to be considered critical (for example datacenters, command & control, support systems like cooling installations, guard houses).

Since the low voltage side is often not controllable (controllable breakers), at this stage the whole transformer is considered critical. If no measured energy data is available, the baseload is considered 60 % of the max transformation power. All other transformers are, in a first stage, considered non-critical.

Upgrade critical and non-critical transformers

Once the identification is made which installations are critical, the MV-cabin has to be upgraded. Besides legal compliance, the critical transformers need to be equipped with a controllable circuit

breaker and power meters. Secondly, the non-critical transformers need to undergo the same upgrade. It isn't until all transformers, or MV-cabins, can be controlled from a distance that the overall operations of a microgrid can function. Nevertheless, in a first stage the manual operation of breakers would allow a same functional outcome.

Data connection of critical and non-critical transformers

Once all critical transformers are defined, the fiber connections can be put in place in order to allow remote ¹ access and monitoring.

Implement initial or final grid storage and power

The implementation of grid storage and power is separated in an initial and a final step. This is done because the complete installation can only be dimensioned when all elements to support a microgrid are in place (controllers, definitions of critical subsystems,...).

The initial storage can be dimensioned based on an economic case where the BE MOD aims to augment the auto-consumption (AC) of its renewable energy sources on site. For this, a small simulation tool was made in Excel to quickly identify the size of the BESS (kWh and kW) that could support a given barracks under its current consumption and generation data. The result of a simulation for a day is depicted in figure 4.14. These initial storage installations can be integrated in the current Energy Performance Contracts that are put in place to reduce emissions in military barracks as part of the overall maintenance contracts. The sizing tool allows to make a rough estimate of the size and cost of an installation in order to integrate it into the public tender.

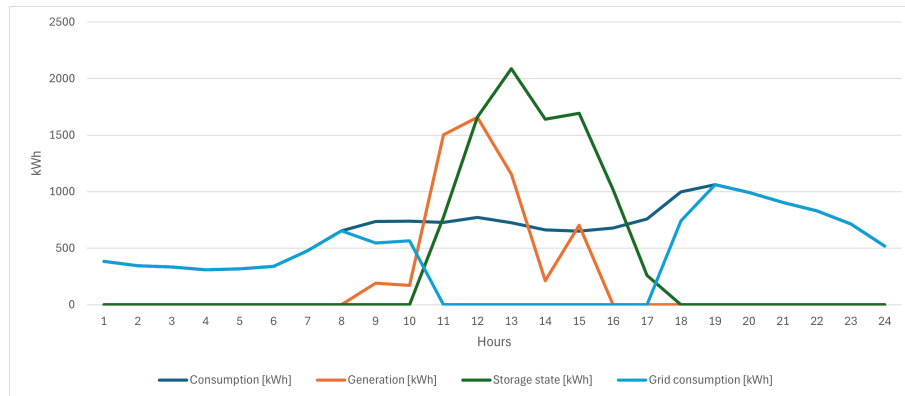


Figure 4.14: Simulation results to define the size of the storage needed from an economic standpoint.

EMS into BMS connections

Once the different data connections are made and measurements are possible on production or generation elements combined with consumptions over transformers, the installation of an Energy Monitoring System (EMS) can be realised. This EMS is not only capable to report different consumptions, such as the national EMS currently in place in the BE MOD, but it should be able to control the circuit breakers in order to steer the internal grid in case of blackouts.

¹Remote is to be considered within the boundaries of the barracks but on the local network

In a second stage the EMS could be further connected to Building Management Systems (BMS), which are controlling lower level technical installations like heat pumps, to allow further control on the consumption profile. After this stage the EMS could signal the BMS to turn off the heating so that the electrical load of the building further decreases before having to cut the whole building from electricity in case of grid unbalance.

4.6 Potential future outlook

From an infrastructural standpoint, this thesis brings together some practices that, when implemented, transform the infrastructure and the technical systems around it into a redundant and resilient system ready to support operational needs. When considering to construct a new barrack some key elements, from the previous sections, can be combined into one schematic outlook. This is represented in 4.15 and contains the following elements:

- **MV-loop** – The medium voltage loop, with a main connection and different secondary substations, is equipped with measurement equipment and controllable circuit breakers.
- **Dedicated data connection** – Together with MV-lines, the fiber connections are drawn throughout the barracks. Connecting not only the MV-cabins themselves, but providing data connections to neighbouring technical installations within buildings.
- **Renewable energy sources, storage and backup** – distributed over multiple MV-cabines the renewable sources, storage and backup solutions are integrated to support the overall functionality of the barracks. Complementary, sensitive equipment receives a direct UPS and back-up generator.
- **Centralised geothermal energy** – Centralised geothermal stations assure the supply of heat and cold to buildings or other technical systems. Potentially outsourced to ESCO, this allows low cost installations and maintenance.
- **Standardised constructions** – Standardised constructions dominate the total build-up area to lower CAPEX

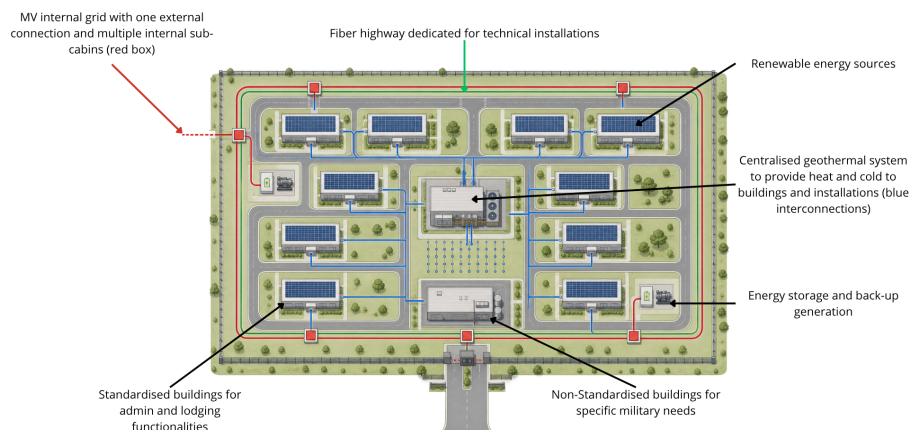


Figure 4.15: Conceptual representation of different technical systems creating a redundant and resilient infrastructure to support operational effectiveness.

4.7 Conclusion

This chapter examined how the existing medium-voltage network within Belgian Defence could evolve towards a resilient microgrid architecture. The literature review showed that a microgrid is not simply a collection of renewable energy sources and batteries, but rather an integrated system in which generation, storage, loads and control mechanisms work together to maintain stability under different operating conditions.

The comparison of storage and backup technologies highlighted that there is no universal solution that meets all operational requirements. Each technology offers advantages for a specific application, whether it concerns short-term power quality, longer-duration energy supply or black-start capabilities. For the Belgian Defence context, mature and commercially available technologies remain the most realistic option in the short term, while newer concepts such as hydrogen-based systems and microreactors should primarily be regarded as longer-term developments.

The analysis of the current MV-grid also revealed that the main challenge is not limited to the electrical infrastructure itself. The lack of detailed planning, standardised documentation, measurement data and communication networks creates barriers to the implementation of advanced grid functionalities. As a result, the transition towards a microgrid should be approached as a gradual process rather than a single infrastructure project.

The roadmap proposed in this chapter therefore focuses on progressive improvements. By combining upgrades to the electrical network with increased digitalisation, energy management capabilities and revised technical standards, the Belgian Defence can create the foundations for a more resilient and flexible energy system. Such an approach allows investments to be spread over time while steadily increasing the ability of military sites to operate independently when required.

Chapter 5

Conclusion

The starting point of this thesis was the observation that the Belgian Defence is entering a period of significant infrastructure investment. At the same time, it faces two challenges that are not always easy to reconcile: reducing the environmental impact of its infrastructure and guaranteeing operational continuity under all circumstances. This research therefore focused on two questions: how energy-related design decisions for military infrastructure can be improved, and how the existing medium-voltage electrical network can evolve into a more resilient energy system.

The first part of the thesis examined how infrastructure projects are currently planned and designed. Although the Belgian Defence already has technical guidelines and energy objectives in place, the analysis showed that there is still room for improvement. Several practical improvements were identified, including a clearer masterplanning methodology, updates to internal design instructions, and the adaptation of tools that support decision-making during the early stages of a project. Particular attention was given to modular construction concepts and geothermal energy solutions. These measures have the potential to reduce costs considerably while maintaining the required performance and functionality.

The second part of the thesis focused on the internal medium-voltage network. The increasing electrification of buildings, the growing presence of renewable energy sources, and the rising importance of cybersecurity are changing the role of the traditional medium-voltage network. Rather than functioning solely as a distribution system, the network will increasingly need to manage generation, storage, and critical loads in a coordinated way. To address this evolution, a conceptual framework was developed for transforming the existing network into a resilient microgrid. The proposed approach combines distributed energy resources, energy storage, backup generation, and intelligent control systems to improve both flexibility and resilience.

The recommendations presented in this thesis are intended to be practical, but they should be seen as a starting point rather than an ultimate solution. Energy-related technologies, artificial intelligence, and cybersecurity risks are evolving rapidly. Their implementation should therefore not be treated as a one-time exercise, but as a process that requires monitoring, validation, and adjustment over time. Future work should first focus on pilot projects in real military environments. These projects should make it possible to assess the feasibility, cost impact, and operational consequences of modular building concepts, geothermal energy systems, and medium-voltage network transformations before wider implementation.

In addition, the evaluation of building and energy performance should be embedded in a yearly review cycle. This annual evaluation should assess whether design criteria, technical instructions, energy targets, and microgrid development steps remain aligned with technological progress and operational requirements. Linking pilot projects to a yearly evaluation would also allow the Belgian Defence to move gradually from conceptual recommendations to practical implementation, while retaining the flexibility needed to adapt when technologies, regulations, or operational needs change.

In conclusion, the energy transition of Belgian Defence infrastructure should not be viewed solely as an environmental obligation. It is also an opportunity to modernise the infrastructure portfolio, improve resilience, and strengthen operational readiness. If approached in a structured and coordinated manner, the investments made today can deliver benefits for decades to come and help create military infrastructure that is sustainable, resilient, and prepared for future challenges.

References

- [1] C. Hecht, J. Figgner, and D. U. Sauer, “Simultaneity factors of public electric vehicle charging stations based on real-world occupation data,” *World Electric Vehicle Journal*, vol. 13, no. 7, 2022.
- [2] British Geological Survey, “Geothermal Technologies.” <https://www.bgs.ac.uk/geology-projects/geothermal-energy/geothermal-technologies/>, 2024. Accessed: 2026-05-10.
- [3] Smartgeotherm, “Smart geotherm.” <http://smartgeotherm.be/achtergrond-waterdoorlatendheid/figs-kwo-map/>, 2026. Accessed: 2026-05-10.
- [4] M. A. Hossain, H. R. Pota, M. J. Hossain, and F. Blaabjerg, “Evolution of microgrids with converter-interfaced generations: Challenges and opportunities,” *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 109, pp. 160–186, 2019.
- [5] T. Bowen, I. Chernyakhovskiy, K. Xu, S. Gadzanku, and K. Coney, “USAID grid-scale energy storage technologies primer,” tech. rep., National Renewable Energy Laboratory, July 2021. Accessed: 2026-04-03.
- [6] Danish Energy Agency and Energinet, “Technology data for energy storage,” tech. rep., Danish Energy Agency and Energinet, 2024. Technology catalogue and data sheet for energy storage technologies.
- [7] M. Daoud, A. Abdel-Khalik, A. Elserogi, S. Ahmed, and A. Massoud, “Flywheel energy storage systems,” *Handbook of Clean Energy systems*, 2015.
- [8] Storelectric Ltd, “Store electric.” <https://storelectric.com/electricity-storage/>, May 2026.
- [9] European Parliament and Council of the European Union, “Regulation (eu) 2021/1119 establishing the european climate law.” <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32021R1119>, 2021.
- [10] European Commission, “Fit for 55 package.” https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_21_3541, 2021.
- [11] European Parliament and Council of the European Union, “Directive (eu) 2024/1275 on the energy performance of buildings,” 2024.
- [12] European Parliament and Council of the European Union, “Directive (eu) 2023/1791 on energy efficiency,” 2023.
- [13] European Commission, “Energy performance of buildings,” 2023.

- [14] International Energy Agency, “Buildings – tracking clean energy progress,” 2023.
- [15] European Parliament and Council of the European Union, “Regulation (eu) 2018/1999 on the governance of the energy union,” 2018.
- [16] Belgian Federal and Regional Governments, “Belgium national energy and climate plan 2021–2030,” 2019.
- [17] International Energy Agency, “Energy security,” 2022.
- [18] Belgian Ministry of Defence, “STAR plan – strategic vision for defence,” 2022.
- [19] Defensie, “Strategische visie defensie 2025 - bijlage kwartierplan.” https://www.mil.be/media/gszhydaz/kwartierplan-annexe_d-nl.pdf. Accessed: 2026-06-02.
- [20] FOD Kanselarij van de Eerste Minister, “Energetische renovatie van overheidsgebouwen.” <https://news.belgium.be/nl/energetische-renovatie-van-overheidsgebouwen>. Accessed: 2026-06-02.
- [21] U.S. Department of Energy, “Geothermal Heat Pumps.” <https://www.energy.gov/energysaver/geothermal-heat-pumps>, 2024. Accessed: 2026-05-10.
- [22] European Commission, “Geothermal Energy.” https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/geothermal-energy_en, 2024. Accessed: 2026-05-10.
- [23] International Ground Source Heat Pump Association, “About Geothermal.” <https://igshpa.org/about-geothermal/>, 2024. Accessed: 2026-05-10.
- [24] A. Dimeas, “Operation of a multiagent system for microgrid control,” *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol. 20, pp. 1447 – 1455, 09 2005.
- [25] D. A. Elalfy, E. Gouda, M. F. Kotb, V. Bureš, and B. E. Sedhom, “Comprehensive review of energy storage systems technologies, objectives, challenges, and future trends,” *Energy Strategy Reviews*, vol. 54, p. 101482, 2024.
- [26] K. E. Hurst, M. Springer, H. Wikoff, K. Cory, D. Garfield, M. Ruth, and S. B. Reese, “Industrial energy storage review,” tech. rep., National Renewable Energy Laboratory, Oct. 2024. Accessed: 2026-04-03.
- [27] N. Poli, C. Bonaldo, M. Moretto, and M. Guarnieri, “Techno-economic assessment of future vanadium flow batteries based on real device/market parameters,” *Applied Energy*, vol. 362, p. 122954, 2024.
- [28] International Renewable Energy Agency, *Sodium-ion Batteries: A technology brief*. International Renewable Energy Agency, 2025.
- [29] V. Balaraman and S. L. K. C., “Beyond lithium-ion: emerging frontiers in next-generation battery technologies,” *Frontiers in Batteries and Electrochemistry*, vol. 3, 2024.
- [30] National Renewable Energy Laboratory, “Grid-scale battery storage: Frequently asked questions,” Tech. Rep. NREL/TP-6A20-74426, National Renewable Energy Laboratory, 2019.
- [31] W. Cole and A. Karmakar, “Cost projections for utility-scale battery storage: 2023 update,” Tech. Rep. NREL/TP-6A40-85332, National Renewable Energy Laboratory, 2023.

- [32] Federal Consortium for Advanced Batteries, “National blueprint for lithium batteries 2021–2030,” tech. rep., U.S. Department of Energy, 2021.
- [33] K. H. Loh, J. Liew, L. Liu, Z. Goh, M. Pershaanaa, F. Kamarulazam, S. Bashir, K. Ramesh, and S. Ramesh, “A comprehensive review on fundamentals and components of zinc-ion hybrid supercapacitors,” *Journal of Energy Storage*, vol. 81, p. 110370, 2024.
- [34] X. Li and A. Palazzolo, “A review of flywheel energy storage systems: state of the art and opportunities,” *Journal of Energy Storage*, vol. 46, p. 103576, 2022.
- [35] S. Roger-Lund, J. Darkwa, M. Worall, J. Calautit, and R. Boukhanouf, “A review of thermochemical energy storage systems for district heating in the UK,” *Energies*, vol. 17, no. 14, 2024.
- [36] R. A. Younis, E. Touti, M. Aoudia, W. Zahrouni, A. I. Omar, and A. H. Elmetwaly, “Innovative hybrid energy storage systems with sustainable integration of green hydrogen and energy management solutions for standalone PV microgrids based on reduced fractional gradient descent algorithm,” *Results in Engineering*, vol. 24, p. 103229, 2024.
- [37] S. Booth, J. Reilly, R. Butt, M. Wasco, and R. Monohan, “Microgrids for energy resilience: a guide to conceptual design and lessons from defense projects,” tech. rep., National Renewable Energy Laboratory, Jan. 2020.
- [38] J. J. Cook, C. Volpi, E. Nobler, and K. Flanegin, “Check the stack: An enabling framework for resilient microgrids,” tech. rep., National Renewable Energy Laboratory, Oct. 2018.
- [39] K. Darrow, R. Tidball, J. Wang, and A. Hampson, “Catalog of CHP technologies,” tech. rep., US Environmental Protection Agency, Mar. 2015.
- [40] National Renewable Energy Laboratory, “1–10 kW stationary combined heat and power systems status and technical potential,” tech. rep., National Renewable Energy Laboratory, Nov. 2010.
- [41] M. Wei, “Reversible fuel cell cost analysis and megawatt PEM cost analysis for H₂ grid storage systems,” tech. rep., US Department of Energy, May 2022.
- [42] D. Akinyele, E. Olabode, and A. Amole, “Review of fuel cell technologies and applications for sustainable microgrid systems,” *Inventions*, 2020.
- [43] US Department of Energy, “Review of combined heat and power technologies,” tech. rep., US Department of Energy, Nov. 1999.
- [44] R. Padinger, S. Aigenbauer, and C. Schimdl, “Best practice report on decentralized biomass fired CHP plants and status of biomass fired small- and micro scale CHP technologies,” tech. rep., International Energy Agency, 2019.
- [45] International Atomic Energy Agency, *Advances in Small Modular Reactor Technology Developments*. IAEA Advanced Reactors Information System, 2018.
- [46] M. J. Culler, J. E. Oncken, K. R. Stevens, and T. A. Ulrich, “Risk analysis for remote operation of microreactors,” tech. rep., Idaho National Laboratory, Oct. 2024.
- [47] Office of the Deputy Assistant Secretary for Environment Safety and Infrastructure, “Micro-reactor pilot - faq.” <https://www.eielson.af.mil/Portals/40/ENVIRONMENT/>

Micro-Reactor/DAF%20Micro-Reactor%20FAQs_July%202024.pdf?ver=WxYE0p_6THNEufI3DiyBlw%3D%3D, July 2024.

- [48] K. Stouffer, V. Pillitteri, S. Lightman, M. Abrams, and A. Hahn, “Guide to operational technology (OT) security,” NIST Special Publication 800-82 Rev. 3, National Institute of Standards and Technology, 2023.
- [49] Anthropic, “Project Glasswing: Securing critical software for the AI era.” <https://www.anthropic.com/project/glasswing>, Apr. 2026. Accessed: 2026-05-30.
- [50] Anthropic, “Claude mythos preview.” <https://red.anthropic.com/2026/mythos-preview/>, Apr. 2026. Accessed: 2026-05-30.
- [51] International Renewable Energy Agency, “Sodium-ion batteries: A technology brief,” tech. rep., International Renewable Energy Agency, 2025.
- [52] EASE and EERA, “European energy storage technology development roadmap: 2017 update,” tech. rep., European Association for Storage of Energy and European Energy Research Alliance, 2017.
- [53] Danish Energy Agency and Energinet, “Technology data for generation of electricity and district heating,” tech. rep., Danish Energy Agency and Energinet, 2024. Technology catalogue and data sheet for electricity and district heating generation.
- [54] J.-P. Ikonen, T. J. Lindroos, H. Kirppu, P. Kössi, R. Naeraa, H. H. Lindboe, and T. Bjørn, “Small modular reactors in Denmark: A technology and cost review,” tech. rep., Ea Energy Analyses and VTT Technical Research Centre of Finland for the Danish Energy Agency, 2026.

Appendix A

Consulted external parties

Siemens - 02/12/2026

Discussion on the principle of Smart Infrastructure and how electrification and automation can play its role. The meeting was to explore the feasibilities of EMS-systems to support microgrid functionalities and integrate these systems with existing BMS.

QERN - 06/03/2026

Discussion on the general design process of buildings and what elements are import to include in public tenders in regard to technical requirements.

Regie der Gebouwen - 09/02/2026

Discussion on their directive on durability that is being used for public tenders and the role and impact of the DRFM project on their infrastructure.

Willy Naessens NV - 30/03/2026 - 17/04/2026

Discussion on the possibilities of prefabricated constructions and how circularity and climate ambitions could be translated quickly in fast and cost effective constructions. Furthermore, potential lay-outs were discussed to shape these modules.

TPF Utilities - 01/04/2026

Discussion on how microgrids and the EMS could be installed and maintained and how the electrification shifts the technical installations on a military barracks.

TPF Engineering - 01/04/2026

Discussion on the transformation of an internal MV-grid into a microgrid based on an executed project in Belgium. Key steps and elements were discussed together with a possible roadmap.

Concrete House - 03/04/2026

Discussion on the possibilities of prefabricated constructions and how circularity and climate ambitions could be translated quickly in fast and cost effective constructions.

SWECO - 15/04/2026

Discussion on the advantages of outsourcing preliminary studies on masterplanning or electrification on military sites before tendering microgrids or geothermal (through ESCO).

IFTECH - 14/04/2026 & 16/04/2026

Discussion on the difference between open and closed loop systems combined with the advantages of both. Furthermore, the ESCO concept for geothermal energy was discussed based on reference tenders.

RelyEz - 06/05/2026

Discussion on the installation of utility scale battery systems through direct investments or within EPC.

Vlaams Energie Bedrijf - 07/05/2026

Discussion on the possibility to enlarge the scope of the current use of the framework contracts to implement EPC contracts within the BE MOD. This with the aim to integrate certain deliverables of the masterplan layers within these studies.

Appendix B

Listing of the internal technical instructions (NI2)

NI2 code	Full name
NI2 G (A0)- 01	Algemene verklaring en nummering van de richtlijnen
NI2 G (A1)- 01	Beleid Infra Defensie deel 1
NI2 G (A1)- 02	Beleid Infra Defensie deel 2
NI2 G (A1)- 04	EPB eisen
NI2 G (A1)- 08	Opstellen en goedkeuren PDS
NI2 G (A1)- 10	Opdrachten studiebureau
NI2 G (A1)- 13	Beheer van een projectplatform
NI2 G (A1)- 14	PID
NI2 G (A1)- 15	Energiepolitiek
NI2 G (A3)-02	MOD SfB NL
NI2 G (A3)-03	Stabiliteit - Programma van eisen
NI2 I 94-01	Sanitaire uitrustingen
NI2 T (52.0)-01	Sanitair Warmwater legionellose
NI2 T (52.0)-02	Dimensionering van de SWW installaties
NI2 T (56.0)-01	Eisen betreffende het binnenklimaat in gebouwen
NI2 T (57.0)-01	Ontwerp en dimensionering van ventilatiesystemen
NI2 T (57.0)-02	Technische voorschriften betreffende de luchtgroepen
NI2 T (57.0)-03	Technische voorschriften betreffende de ventilatoren
NI2 T (57.0)-04	Technische voorschriften betreffende de ventilatiekanalen
NI2 T (57.0)-05	Technische voorschriften betreffende de ventilatiemonden
NI2 T (57.0)-06	Technische voorschriften betreffende de luchtfilters
NI2 T (57.0)-07	Technische voorschriften betreffende de warmtewisselaar
NI2 T (63.0)-01	Verlichtingsniveaus van de lokalen
NI2 T (63.0)-02	Ontwerp van de binnenverlichting
NI2 T (63.0)-03	Ontwerp van veiligheidsverlichting
NI2 T (67.0)-01	BMS (NL)
NI2 T (96.0)-01	Ontwerp van de buitenverlichting
NI2 T (96.0)-02	Technische specificaties voor de buitenverlichting

Table B.1: Listing of existing NI2 without their annexes

Appendix C

Elements for masterplanning

Table C.1: Master planning scope matrix

Domain	Task / Scope item	Layer I		Layer II	
		Light	Heavy	Light	Heavy
Buildings Technical Systems	& Sys- Building files:	x	x		
	• Year of construction				
	• Basic function				
	• Heating status				
	• Surface areas				
	• Building plans				
	• General known issues				
	Building files:		x		
	• Fire safety				
	• Accessibility				
	• Asbestos inventory				
	• Compliance status, including electrical inspection, fire safety, Legionella and refrigerants				
	Definition of reference buildings:	x	x		
	• Buildings with similar physical, energetic or functional characteristics				

Domain	Task / Scope item	Layer I		Layer II	
		Light	Heavy	Light	Heavy
	Technical inventory:	x	x		
	• Heating, ventilation, cooling, electricity and water • Building management system • Renewable energy • Capacities of heating and cooling installations • Medium-voltage cabins • HVAC diagrams • Medium-voltage district sketch in accordance with NI2 Energy Policy				
	List of recently executed works/projects	x	x		
	Comfort levels within buildings	x	x		
	Priority compliance works:				x
	• Electrical compliance • Fire safety • Legionella • Elevators • Other statutory requirements				
	Analysis and evolution of building functions:				x
	• Analysis of current use and possible improvements • Analysis of adaptability within the existing building envelope • Analysis of possible extensions, including additional buildings based on available floor area, maximum three storeys				
	Assessment of demolition/new construction versus renovation				x
Energy	Energy consumption and CO ₂ emissions	x	x		
	Energy baselines	x	x		
	Measurement and Verification plan	x	x		
	Significant Energy Users	x	x		
	Energy saving opportunities aiming at a maximum 60% reduction, including CAPEX and impact:				x
	• Boiler room renovations • External envelope insulation • Window and joinery insulation • Relighting • Installation of renewable energy • Installation of energy storage				

Domain	Task / Scope item	Layer I		Layer II	
		Light	Heavy	Light	Heavy
	Energy saving opportunities aiming at 100% reduction, including CAPEX and impact:			x	x
	• Boiler room renovations • External envelope insulation • Window and joinery insulation • Relighting • Installation of renewable energy • Installation of energy storage • Centralisation or decentralisation of heating and cooling				
Water	Analysis of rainwater drainage:	x			
	• Roof areas • Paved surfaces • Buffer volumes				
	Analysis of sewerage system:	x			
	• Separate or combined sewer system • Connections • Discharge points				
	Analysis of infiltration capacity and soil type		x		
	Improvement works for water management:				x
	• Rainwater recovery • Depaving • Infiltration zones • Phasing linked to other works, such as road-works				
Mobility	Analysis of the existing situation:	x			
	• Current access points for pedestrians, cyclists and vehicles • Parking facilities • Bicycle facilities, including charging points and bicycle parking				
	Future mobility plan				x
Environment and Surroundings	Physical components of the district:	x			
	• Topography • Built environment • Soil contamination				
	Analysis of soil certificates	x			
	Analysis of refrigerant inventory	x			
	Green structure:	x			
	• Vegetation and related landscape elements				

Domain	Task / Scope item	Layer I		Layer II	
		Light	Heavy	Light	Heavy
NEN 2767	Environmental Impact Assessment				x
	Biodiversity measures				x
	HVAC systems	x	x		
	Electrical installations	x	x		
	Building envelope	x	x		
General	Long-term maintenance plan				x
	Phasing plan for the works to be executed, including associated cost estimate				x

Appendix D

Cost references used for technology assessment

Table D.1: Literature cost references and indexed costs used in the thesis

Technology	Cost found in literature	Reference	Cost used in thesis
Redox-flow batteries	450 EUR/kWh - 960 EUR/kWh EUR2024	[6]	468,18 - 998,78 EUR/kWh, indexed from 2024 to 2026 at 2%/year
Sodium-ion batteries	80–105 USD/kWh for sodium-ion cells, USD2022	[51]	75–98 EUR/kWh, indexed from 2022 to 2026 at 2%/year and converted at 0,866 EUR/USD
All-solid-state batteries	80 USD / kWh USD2020	[6]	78,02 EUR/kWh, indexed from 2020 to 2026 at 2%/year and converted at 0,866 EUR/USD
Lithium-ion batteries	290 EUR/kWh for grid-scale Li-ion system cost, EUR2025	[6]	295,8 EUR/kWh, indexed from 2025 to 2026 at 2%/year
Supercapacitors	1000 USD/kW USD2017	[52]	1034,95 EUR/kW, indexed from 2017 to 2026 at 2%/year and converted at 0,866 EUR/USD
Flywheels	360 EUR/kWh, EUR2020	[6]	451,59 EUR/kWh, indexed from 2020 to 2026 at 2%/year
Compressed Air Energy Storage (CAES)	691 EUR/kWh, EUR2020	[6]	778,18 EUR/kWh , indexed from 2020 to 2026 at 2%/year
Fuel cells	1.382 EUR/kW for PEM fuel cell CHP and 3.509 EUR/kW for biogas SOFC, EUR2020	[53]	1.556–3.952 EUR/kWe, indexed from 2020 to 2026 at 2%/year
Piston engines	1.010 EUR/kW for gas engine CHP, EUR2020	[53]	1.137 EUR/kW, indexed from 2020 to 2026 at 2%/year
Gas turbines	1,276 EUR/kW for small and micro gas turbines, EUR2020	[53]	1,437 EUR/kW, indexed from 2020 to 2026 at 2%/year
Biomass systems	3.760–6.720 EUR/kW for medium and small biomass CHP using wood chips, EUR2020	[53]	4.230–7.560 EUR/kW, indexed from 2020 to 2026 at 2%/year
Small modular reactors	6–16 MEUR/MWe for projected first units around 2030	[54]	6–16 MEUR/MWe. No indexation applied

Appendix E

Elements for public tenders

Geothermal energy - Thermal response testing

Elements for a public tender were submitted internally but are not disclosed in this thesis.

Modular building concept

Elements for a public tender were submitted internally but are not disclosed in this thesis.

Appendix F

NI2 - Energiepolitiek

INHOUDSOPGAVE

1. DOEL VAN DE RICHTLIJN.....	8
2. TOEPASSINGSGEBIED.....	8
3. AFKORTINGEN.....	8
4. DE ENERGIEPOLITIEK VAN DEFENSIE.....	9
a. EPC Publieke gebouwen.....	9
b. GRO.....	9
i. Concept.....	9
ii. GRO binnen het aanbestedingsproces van Defensie.....	10
iii. Beoordeling.....	10
iv. Verwachtingen van Defensie.....	10
c. EPB-regelgeving.....	11
5. SELECTIE VAN DE UITVOERINGSSCENARIO'S.....	11
a. Total Cost of Ownership (TCO).....	11
b. Energieprijzen.....	12
c. CO2 valorisatie.....	12
d. Valorisatie elektrisch vermogen.....	12
e. Valorisatie van de onderhoudskost.....	12
6. SPECIFIEKE INSTALLATIES.....	13
a. Fotovoltaïsche zonnepanelen.....	13
i. Politiek.....	13
ii. Technische specificaties.....	13
b. Ruimteverwarming en sanitair warm water.....	13
i. Gebruik van fossiele brandstoffen.....	14
ii. Keuze van het systeem voor warmteproductie.....	14
iii. Keuze van de afgiftesystemen.....	16
iv. Scheiding productie en distributie.....	16
v. Sanitair warm water (SWW).....	17
vi. Afweging tussen verwarmingseisen en belasting van het elektriciteitsnet.....	18
c. Koeling.....	18
i. Politiek.....	18
ii. Werkwijze.....	18
iii. Passieve maatregelen.....	19
iv. Adaptieve koeling.....	20
d. Ventilatie.....	21

e.	Regenwaterrecuperatie.....	21
i.	Politiek.....	21
ii.	Technische specificaties.....	21
f.	Laadpalen voor voertuigen.....	21
i.	Politiek.....	21
ii.	Gelijktijdigheid.....	22
iii.	Technische vereisten voor de laadpalen.....	22
g.	Hoogspanningscabines.....	22
i.	Politiek.....	22
ii.	Technische vereisten voor de hoogspanning (HS).....	22
h.	Noodstroom.....	22
i.	Politiek.....	22
i.	Building Management System (BMS).....	23
i.	Politiek.....	23
ii.	Technische vereisten voor de BMS.....	23
7.	ENERGIEOPVOLGING BINNEN DEFENSIE.....	23
a.	Wettelijk verplichte energieopvolging.....	23
b.	Bijkomende energieopvolging.....	24
c.	Datacommunicatie van de verbruiksgegevens.....	25
i.	Algemene voorstelling van de dataflow.....	25
ii.	Wijze van communicatie.....	26
iii.	Vorm en inhoud van de datatransfert en andere technische vereisten.....	26
8.	BIJLAGEN.....	27
a.	Bijlage 1: Fiche PV.....	27
i.	PV-generatoren.....	27
ii.	Bevestiging.....	27
iii.	Bekabeling van de gelijkstroomzijde.....	27
iv.	Bekabeling van de wisselstroomzijde.....	28
v.	Netkoppeling.....	28
vi.	Aarding.....	29
vii.	Omvormer.....	29
viii.	Weerkaatsing (indien in de buurt van militaire vliegvelden).....	29
ix.	Monitoring.....	30
b.	Bijlage 2: Fiche laadpalen.....	31
i.	Algemeen beleid.....	31

ii.	Technische specificaties eigen aan de laadpaal.....	31
iii.	Technische specificaties eigen aan de voorzieningen voor laadpalen.....	31
iv.	Fysieke beveiliging van de laadpaal.....	31
v.	Bepaling van de locatie van de laadpaal of de voorzieningen voor laadpalen.....	32
c.	Bijlage 3: Hoogspanning.....	33
i.	Hoofdcabine.....	33
ii.	Secundaire cabines.....	37
iii.	Prefab cabine.....	37
iv.	HS-bekabeling.....	37
v.	Algemene technische vereisten.....	37
vi.	Aardingsconfiguratie.....	38
vii.	Technische plannen & schema's.....	38
d.	Bijlage 4: Total Cost of Ownership.....	40
i.	Tab – Base.....	40
ii.	Tab – Verwarming.....	40
iii.	Tab – SWW.....	42
iv.	Tab – TCO scen.....	42
v.	Tab – Project.....	42
e.	Bijlage 5: Geothermie.....	44
i.	EED berekening.....	44
ii.	Boringen.....	44
iii.	Collectorput.....	44
iv.	Collector.....	44
v.	Debietlancering per boring.....	44
vi.	Materiaal van leidingen.....	44
vii.	Leidingtracés.....	44
viii.	Invoer technische ruimte.....	44
ix.	Hydraulische koppeling.....	45
x.	UV-desinfectie van het gesloten circuit.....	45
xi.	Vacuümontluchter.....	45
xii.	Elektronische opvolging.....	45
f.	Bijlage 5: Fiche Smart Metering.....	46
i.	Implementatiemethodiek IoTNet.....	46
ii.	Vorm en inhoud van de gegevensoverdracht.....	46

iii. Technische specificaties voor de gegevensoverdracht.....	47
iv. Topologie van de werken.....	48
v. Technische vereisten voor de meters.....	48
vi. Communicatieprotocol.....	49
g. Bijlage 6: Overzicht bodemonderzoeken.....	50
h. Bijlage 4: Building Management System.....	50
i. Functionaliteiten van het BMS.....	50
ii. Wijze van communicatie.....	50
iii. Implementatiemethodiek IoTNet.....	50
iv. Netwerkconfiguratie binnen het IoTNet.....	51

1. DOEL VAN DE RICHTLIJN

Deze richtlijn geeft de energiepolitiek en de energieopvolging binnen Defensie weer voor nieuwbouw- of renovatieprojecten.

Daarbij wordt er in de richtlijn een opsplitsing gemaakt tussen het beleid en enkele technische specificaties die als bijlage worden toegevoegd.

Opgelet, deze richtlijn bevat voor wat betreft de technische specificaties alleen een paar aandachtspunten. Het is de taak van de ontwerper om de technische specificaties volledig te beschrijven in het bestek en om alle eisen en functies te vermelden die nodig zijn voor de "goede werking" van de besproken technieken en om te beantwoorden aan de eisen en specifieke functies die worden beschreven in dit document.

2. TOEPASSINGSGEBIED

Deze richtlijn is van toepassing vanaf de publicatiedatum op de volgende projecten:

- Nieuwbouw of ingrijpende energetische renovatie (IER) die EPB-plichtig worden geacht volgens de richtlijnen van het betrokken Gewest.
- Renovaties die niet EPB-plichtig zijn. In dit geval zijn de onderstaande technische vereisten van toepassing indien de renovatie de besproken systemen omvat. Uitzonderingen hierop worden enkel aanvaard als de technische uitwerking ervan niet mogelijk is of de budgettaire impact meer dan 50% van het voorziene renovatiebudget beslaat.

Deze richtlijn is van toepassing op de nog op te starten projecten, projecten die op de publicatiedatum nog in de PDS fase zitten en projecten die op de publicatiedatum in schetsontwerp zitten voor zover dit budgetair en planningsgewijs nog mogelijk is.

3. AFKORTINGEN

(S)COP	(Seasonal) Coefficient of performance
AMR	Automatic Meter Reading
BEO	Bodem energieopslag
BMS	Building Management System - Gebouwbeheerssysteem
CAPEX	Capital expenditure, investeringen in vernieuwingsprojecten
CMI	Configuration Management Infrastructure, intern online platform voor het delen van bepaalde documenten.
DB(F)(M)(O)(E)	Design & Build project met een optioneel deel Finance, Maintain, Operate en Energy
EED	Earth Energy Designer
EPB	Energieprestatie en binnenklimaat
EPC	Energieprestatiecertificaat
IER	Ingrijpende energetische renovatie (in het Waals Gewest: "Bâtiment assimilé à du neuf" of "BAN")
KWO	Koude-warmte opslag
LA	Leidend ambtenaar
LAS	Leidend ambtenaar studie
LTA	Lichttoetredingsfactor
MatBeh	Materiaalbeheerder
OPEX	Operational expenditure, operationele uitgaven
PDS	Project data sheet

PID	Postinterventiedossier
PV	Fotovoltaïsche panelen
SWW	Sanitair warm water
TBW	Technisch bestek van de werken
TCO	Total cost of ownership
TVT	Terugverdiëntijd
VRF	Variable Refrigerant Flow
VRV	Variable Refrigerant Volume
WKK	Warmtekrachtkoppeling
ZTA	Zonnetoetredingsfactor

4. DE ENERGIEPOLITIEK VAN DEFENSIE

Defensie engageert zich om de energietransitie versneld door te voeren in lijn met de geldende nationale en Europese richtlijnen, en het strategische objectief om tegen 2040 over een CO₂-neutraal gebouwenpark te beschikken.

De energiepolitiek die Defensie daarvoor hanteert, is de rechtstreekse toepassing van het Penta Energetica. De Penta Energetica wordt als leidraad gebruikt voor de energiezuinige ontwerpen van de gebouwen¹.

1. De ontwerpen worden geoptimaliseerd qua compactheid en flexibiliteit.
2. Vrije energie uit de natuur gebruiken (zonnewinsten, daglicht...).
3. Investeren in passieve technieken zoals goede isolatie, constructieve zonwering en voldoende massa zodat de behoefte aan actieve energie wordt beperkt.
4. Nadien de energiebehoefte aanvullen met hernieuwbare energiebronnen.
5. De overblijvende primaire energiebehoeften worden gedekt door het gebruik van efficiënte installaties.

Deze filosofie dient gerespecteerd te worden binnen elke grote renovatie of voor elke nieuwbouw.

Daarbij is het belangrijk om niet enkel te kijken naar de energie-impact van het betrokken gebouw (of cluster van gebouwen) onderhevig aan deze renovatie/nieuwbouw maar naar de volledige energiebehoefte van het kwartier waarbinnen het project plaatsvindt.

Enkele concepten en technieken worden verder besproken. Niet besproken concepten en technieken worden daarom niet uitgesloten en mogen steeds onderzocht worden.

a. EPC PUBLIEKE GEBOUWEN

Voor alle nieuwbouwprojecten of IER projecten zal er binnen de opdracht ook een EPC publieke gebouwen worden opgemaakt. Dit verslag zal minstens worden opgehangen in de hoofdingang en digitaal aangeleverd worden in het PID.

b. GRO

i. Concept

De GRO vormt tijdens het ontwerpproces een handleiding om het ambitieniveau voor een duurzaam project vast te leggen. De enorme hoeveelheid aan duurzaamheidsaspecten werd verzameld en gereduceerd tot een eenvoudig en beheersbare tool.

In de nieuwbouwprojecten en de IER projecten zullen de criteria van de GRO 3 Gewesten maximaal verwerkt worden.

¹ [penta energetica – GRO tool \(gro-tool.be\)](https://gro-tool.be)

ii. GRO binnen het aanbestedingsproces van Defensie

GRO Levels	Interne projecten met interne studie	Interne projecten met externe studie	DB(F)M
Level 0 – Contextanalyse	Deel PDS1	Deel PDS1	Deel PDS1 & PDS2 (Evtl met Sp StB)
Level 1 – Concept	Deel PDS2	PDS2 (Evtl met Sp StB)	PDS2 (Evtl met Sp StB)
Level 2 - Design	Vanaf Precontractuele fase (Offertes + BAFO)	Vanaf Precontractuele fase (Offertes + BAFO)	Vanaf Precontractuele fase (Offertes + BAFO)

(a) Level 0 – Contextanalyse

Een cartografie van de opportuniteiten en de beperkingen van de site (en desgevallend het bestaande gebouw) om de compatibiliteit van het project te beoordelen.

Om dit level uit te voeren dient de excel LEVEL 0 – Contextanalyse van de GRO vervolledigd te worden.

Voor een project met meerdere gebouwen en/of gemengde gebouwfunctie wordt er gewerkt met één enkele overzichtsfile.

De Objectieve analyse van de locatie verwijst minimaal naar het niveau kwartier en kan bijgevolg hergebruikt worden bij toekomstige projecten in datzelfde kwartier.

(b) Level 1 – Concept

Het opstellen van een holistisch concept, ambities voor de prestatieniveaus en maatregelen die voor alle thema's zullen worden toegepast.

Om dit level uit te voeren dient de excel LEVEL 1 – CONCEPT van de GRO vervolledigd te worden. Hier dient Defensie aan te geven welke subcriteria gebruikt zullen worden in de verdere aanbesteding.

Bij het behouden van criteria dienen ook de rekenfiles (LEVEL 2) bekeken worden om de informatie (LEVEL 1) aan te leveren.

(c) Level 2 – Design

De realisatie van het project en de beoordeling van de duurzaamheid in het volledige proces, dankzij aangetoonde prestatieniveaus.

Om dit level uit te voeren dient de excel LEVEL 1-2 – Overzichtsfile van de GRO vervolledigd te worden en gestaafd met de verschillend rekenfiles van de GRO per gebruikt subcriterium.

iii. Beoordeling

Per criterium worden er binnen de GRO enkele eisen voorgesteld waaraan het criterium wordt getoetst. De mate waarin aan bepaalde eisen wordt voldaan bepaalt de score (Goed, Beter, Uitstekend, Geen punten) voor het criterium.

Binnen de aanbesteding (of intern project) dient Defensie aan te geven welke globale score zij wenst te behalen en/of er minimeisen worden opgelegd per subcriterium.

De staving van de score per weerhouden subcriterium loopt via de rekenfiles van de GRO.

iv. Verwachtingen van Defensie

Defensie ambieert een gemiddelde score van **Beter** voor een **nieuwbouwproject**.

Subcriteria waarvoor geen eis wordt opgelegd binnen deze richtlijn, zijn vrij in te vullen door de inschrijver (of worden vastgelegd door de Aanbestedende overheid bij een intern project).

De eisen per rubriek die worden hernomen binnen een bestek, een DB(F)(M) project of een offerte worden gekozen door de MatBeh of de LA van het project. Zij kunnen dus de eisen verlagen en/of verhogen indien hiervoor een gegronde reden kan worden voorgelegd (bv een verbod op PV binnen het project omdat er een PV installatie op kwartierniveau bestaat of gepland is (zie §6.a) zal niet **noodzakelijk** toelaten om op ENE2 een score uitstekend te bekomen).

De voorgestelde eisen binnen deze richtlijn worden hernomen in de onderstaande tabel. Een korte uitleg over de eisen staat hieronder hernomen. De individuele eisen zijn van toepassing voor **nieuwbouwprojecten** alsook voor **IER projecten**.

c. **EPB-REGELGEVING**

Waar de nieuwbouw of renovatie EPB-plichtig wordt gezien (cfr de Gewestelijke voorschriften), zal Defensie zich oplijnen met de geldende eisen hiervan met uitzondering van de zonnepanelen (zie §6.a).

Gezien de ambitie van Defensie om te beschikken over een klimaatneutraal gebouwenpark worden de geldende EPB-regels verstrengd volgens het GRO-criterium ENE1 voor minstens alle projecten die EPB plichtig zijn.

Enkel voor het luik hernieuwbare energie wordt er een uitzondering besproken (details zie §6.a) waarbij de installatie van PV-panelen niet altijd zal worden toegestaan binnen het project. Dit omdat Defensie een nationale roll-out voorziet waarbij grote PV-parken worden geïnstalleerd. Het uitblijven van hernieuwbare energie binnen het project zal een verstrenging van de EPB-eis tot gevolg hebben. Daardoor zal het project moeten voldoen aan de meest strenge eis tussen:

- ENE1
- Verstrenging van het E-peil binnen de EPB door het uitblijven van hernieuwbare energie.

5. SELECTIE VAN DE UITVOERINGSSCENARIO'S

Bij nieuwbouwprojecten, DB(F)(M)(O)(E) projecten (of gelijkaardig) dient de vergelijking tussen bepaalde uitvoeringsvarianten geanalyseerd te worden aan de hand van een TCO berekening. Bij een TCO berekening wordt naast het totale investeringsbudget ook gekeken naar de energiekosten verbonden aan het verbruik, de CO2-uitstoot, onderhoudskosten, elektrisch vermogen... Dit laat toe om de beste oplossing (en niet noodzakelijk de oplossing met een beperkter investeringsvolume) te selecteren.

a. **TOTAL COST OF OWNERSHIP (TCO)**

Om de vergelijking tussen de verschillende projecten maximaal te standaardiseren wordt er via deze richtlijn een Excel template aangeleverd die kan dienen als basis voor de vergelijking. De TCO kijkt naar de totale kost (OPEX+CAPEX) van het project over een bepaalde looptijd. De MatBeh of de LA mag velden toevoegen aan het Excel bestand als er andere significante kosten zijn voor het project en als er aanzienlijke verschillen zijn tussen de verschillende uitvoeringsscenario's.

In de Excel template voor de TCO vergelijking worden de volgende zaken in acht genomen:

- De totale investeringskost die nodig is om het project te realiseren (CAPEX);
- Het theoretisch energieverbruik van het nieuwe of gerenoveerde gebouw
 - o Ofwel afkomstig uit een EPB-bestand,
 - o Ofwel via een schatting van het warmteverlies (tabblad in het Excel bestand),
 - o Ofwel via een eigen berekening of inschatting.
- De theoretische energiekost met de vastgelegde prijzen uit deze richtlijn (OPEX)

- De valorisatie van de CO2 uitstoot (OPEX)
- De valorisatie van het elektrisch vermogen van het project (CAPEX)
- De valorisatie van de onderhoudskost van het nieuwe of gerenoveerde gebouw (OPEX)

De excel en de gebruikswijze zijn te vinden in bijlage XXX

b. ENERGIEPRIJZEN

Bij berekeningen van een TCO of een eenvoudige TVT zal er steeds gewerkt worden met de volgende bedragen voor de energieprijzen (ref 2023) waarna een indexatie wordt toegepast. Voor nieuwe berekeningen wordt de indexatie bepaald aan de hand van de gezondheidsindex en bedraagt de inflatie voor de toekomstige inschattingen 2%.

2025	Eenheidsprijs Incl. BTW	BTW aandeel
Elektriciteit afname	200 EUR / MWh	21%
Elektriciteit injectie	0 EUR / MWh	21%
Gas afname	75 EUR / MWh	21%
Stookolie	1,10 EUR / l (per liter)	21%
Water afname	5,2 EUR / m ³	6%

c. CO2 VALORISATIE

Bij TCO-berekeningen mag de CO2-uitstoot gevaloriseerd worden volgens 50 EUR Excl BTW/etCO2 uitstoot met gebruik van onderstaande emissiefactoren:

Energiedrager	Coefficiënt (etCO2/kg)
Elektriciteit Grijs	0,00023
Elektriciteit Groen	0
Stookolie	0,000264
Gas	0,000198

Het leveringscontract van Defensie voorziet de levering van 100% groene elektriciteit. Daardoor mag de energiedrager 'Elektriciteit Groen' gebruikt worden voor de berekeningen.

d. VALORISATIE ELEKTRISCH VERMOGEN

Het theoretisch bepaald elektrisch vermogen dat een project zal nodig hebben zal gevaloriseerd worden aan: 100 EUR Excl BTW / kVA²

Deze kVA houdt rekening met het vermogen van de voorziene technische installaties en het vermogen nodig voor de andere verbruikers.

e. VALORISATIE VAN DE ONDERHOUDSKOST

Dit onderdeel is optioneel en mag dus op 0 EUR geplaatst worden indien er geen staafbare getallen beschikbaar zijn voor de MatBeh of de LA. Zodra er een werkbare benchmark beschikbaar is dan zal dit toegevoegd worden.

Er zal niet gewerkt worden met prijzen/m² of procenten van de totale CAPEX van het gebouw. Defensie acht deze gegevens niet correct voor haar patrimonium.

² Zeebrugge: 5,5 Mio voor 10,5 MVA (van 4MVA) = 524 EUR / kVA

Florennes: 3 Mio voor 10 MVA = 300 EUR / kVA

Kleine Brogel: 3,2 Mio voor 8 MVA (van 1,6 MVA) = 400 EUR / kVA

6. SPECIFIEKE INSTALLATIES

a. FOTOVOLTAÏSCHE ZONNEPANELEN

De EPB-regelgeving raadt vaak aan om fotovoltaïsche panelen te plaatsen bij nieuwbouw om een E-peil onder de drempelwaarde te bekomen. Voor Defensie is het echter belangrijk dat een zonnepark (bij installatie en indien mogelijk) gedimensioneerd wordt op basis van de elektriciteitsbehoefte van het volledige kwartier met een autoconsumptiegraad van $\pm 80\%$. Dit wil zeggen dat er vaak meer panelen geplaatst dienen te worden dan voorgeschreven binnen de EPB.

Verder is het ook belangrijk om steeds te kijken of dergelijk zonnepark al aanwezig (of gepland) is binnen het kwartier. Als dit het geval is dan dient er steeds nagegaan te worden of de bijkomende panelen (vereist door de EPB op een enkel gebouw) de business case van het totale park niet negatief zouden beïnvloeden.

Ondanks de verschillende regelgevingen in de 3 gewesten (het Vlaams Gewest, het Waals Gewest en het Brussels Hoofdstedelijk Gewest) opteert Defensie voor een nationale politiek voor de installatie van PV-panelen om zich verder op te lijnen met de ambities van het Nationaal Energie- en Klimaat plan en het STAR³-plan van de Minister van Landsverdediging.

De installatie van de zonnepanelen wordt in aparte projecten uitgevoerd door MRC&I-I/S/T (mrci-energie@mil.be). Bijgevolg is het voor elk nieuwbouwproject, IER project of klein renovatieproject verboden om bijkomende fotovoltaïsche panelen te voorzien binnen de opdracht. Enkel op tegenbericht van MRC&I-I/S/T (mrci-energie@mil.be), via de PDS, kan het alsnog worden toegelaten om de panelen toch te voorzien.

Door de verplichting van het Energiedecreet (Vlaams Gewest) dienen de gebouwen van Defensie tegen 2025 te beschikken over een PV-installatie (Wp/m²). Echter voorziet de huidige EPB-regelgeving in het Vlaams Gewest niet de mogelijkheid om een bestaande installatie mee in rekening te brengen in de berekening. Deze problematiek werd voorgelegd aan het VEKA maar hiervoor is er nog geen algemene uitzonderingsregel toegevoegd aan de regelgeving.

i. Politiek

Het algemeen verbod op fotovoltaïsche panelen binnen kleine aparte projecten komt doordat Defensie maximaal inzet op een budget neutrale installatie via "Power Purchase Agreements" die de installatie van het basispotentieel maximaal zal verwezenlijken tegen 2025.

Uitzonderingen hierop worden toegelaten als het voorliggende project een volledige renovatie van een kwartier voorziet.

Wel dient elk nieuwbouwproject de mogelijke plaatsing van fotovoltaïsche panelen te voorzien in de stabiliteitsstudie en dienen er wachtkokers geplaatst worden naar het dak om de installatie nadien te vergemakkelijken.

Door het verbod op de panelen binnen de (kleine) projecten, zal er een penalisatie worden opgelegd binnen het EPB-verslag. Defensie aanvaardt deze non-conformiteit en volgt de verstrenging op het E-peil die ze zal trachten te behalen door de toepassing van andere verbeteringen (luchtdichtheid, technieken, isolatie...)

ii. Technische specificaties

Zie Bijlage 1: Fiche PV

b. RUIMTEVERWARMING EN SANITAIR WARM WATER

Defensie wenst maximaal in te zetten op de elektrificatie van haar warmteproductie om zo onafhankelijk te worden van fossiele brandstoffen. Afwijkingen ten opzichte van deze politiek worden toegelaten op voorwaarde dat wegens technische en/of operationele beperkingen niet

³ STAR: Security & Service – Technology - Ambition - Resilience

kan worden voldaan aan de vereisten van het gebouw. Elke afwijking dient steeds aangevraagd en overlegd te worden met MRC&I-I/Q&M.

i. Gebruik van fossiele brandstoffen

Voor nieuwbouwprojecten wordt het gebruik van fossiele brandstoffen voor verwarming niet langer toegelaten.

Voor IER projecten wordt opgelegd dat stookolie niet meer wordt toegelaten als energiedrager. Dit vergt echter een globale benadering van de renovatie waarbij er niet enkel gekeken wordt naar functiewijzigingen of esthetische aspecten, maar waarbij maximaal wordt gewerkt volgens het Penta Energetica. Indien de afgiftesystemen binnen het project worden aangepast dan zullen deze steeds gedimensioneerd worden op lage temperaturen (<45°C) en wordt de voorkeur gegeven aan systemen die zowel kunnen koelen als verwarmen.

Aardgas mag nog worden gebruikt, maar onder volgende voorwaarden:

- Aardgas mag enkel nog toegepast worden in combinatie met warmtepompen (hybride installatie waarbij de warmtepomp in de basiswarmtelast voorziet en de gasketel bijspringt voor de piekvraag)
- Aardgas mag enkel toegepast worden binnen renovatieprojecten waarin de bestaande distributie- en afgiftesystemen van de verwarming behouden blijven, en de studiefase uitwijst dat het gebruik van een warmtepomp als enige installatie voor warmteproductie niet opportuun is (vb. te hoog benodigd temperatuur-regime)
- Nieuwe gasaansluitingen zijn nog steeds toegestaan voor gebruik in renovatieprojecten.
- In kader van WKK's

ii. Keuze van het systeem voor warmteproductie

Warmtepompen

In lijn met het verbod op fossiele brandstoffen, wordt voor alle nieuwbouwprojecten en IER projecten de warmtepomp opgelegd als vertrekpunt voor warmteproductie. Wanneer de studiefase aantoont dat er toch gewerkt moet worden met een hybride variant dan kan de LAS afwijken van deze regel.

De gebruikte warmtepompen dienen van het modulerende type met frequentiegestuurde compressor of een meertrapsstelsel te zijn, wat een werking bij een deellast toelaat. Dit levert een aanzienlijk voordeel op energetisch vlak en maximaliseert de levensduur van de warmtepomp.

Er dient nog een verder onderscheid gemaakt te worden tussen de verschillende types warmtepompen op basis van de warmtebron en het warmtevoerende medium. De naamgeving van het type warmtepomp bestaat telkens uit de combinatie 'warmtebron – warmtevoerend medium'. **Defensie spreekt geen voorkeur uit tussen BEO en KWO maar in functie van de locatie zal het ene systeem beter geschikt zijn dan het andere:**

- Keuze van de warmtebron:
 - o Bodem: Bodem energie opslag (BEO) – gesloten circuit
 - Verticaal captatienet
 - Horizontaal captatienet
 - o Grondwater: Koude-warmte opslag (KWO) – open circuit
 - Verticaal captatienet

Voor **nieuwbouwprojecten** dient men steeds te vertrekken van een Bodem-Water warmtepomp en dient het studie bureau aan te tonen dat deze techniek niet past bij het project alvorens naar een alternatief over te stappen. **De voorkeur van Defensie is steeds vanuit het vertrekpunt om 100% Bodem/Water te behalen. Om technische redenen kan er gewerkt worden met een hybride vorm (Bodem/Water + Lucht/Water).**

Dit wil zeggen dat de geschiktheid van de grond moet onderzocht worden in de studiefase van het project. De resultaten van de studie worden steeds toegevoegd aan het CMI zodat deze kunnen dienen als basis voor toekomstige projecten in hetzelfde

kwartier. Verder dient er ook een EED-berekening uitgevoerd te worden waarbij het evenwicht van het BEO-veld verzekerd dient te worden (min 5°C bodemtemperatuur na 50 jaar).

Voor **IER projecten** wordt er geen verplicht Bodem-Water vertrekpunt opgelegd en dient de studie uit te wijzen welke oplossing tot de beste TCO komt binnen de eventuele andere grenzen van de opdracht.

Beide analyses dienen steeds gemaakt te worden in functie van de volgende parameters:

- De (S)COP
- Het geothermisch potentieel in functie van geografische ligging
- De beschikbaarheid van watervoerende lagen voor KWO
- De wetgeving aangaande het gebruik en oppompen van grondwater
- De nood aan verwarming en/of koeling
- De beschikbare ruimte op de site
- De TVT, waarbij de TVT korter moet zijn dan de nominale levensduur van de installatie⁴
- Het masterplan van het militair kwartier:
 - o Het aantal te vernieuwen gebouwen binnen de omvang van het project
 - o De opportuniteit voor centrale warmteproductie (aanleg BEO-/KWO-veld)
 - Indien deze reeds aanwezig is in het kwartier moet er samen met MRC&I-I/S/T gekeken worden of er nog verwarming- of koelvermogen beschikbaar is om hierop aan te sluiten.

Het is ook aangewezen voorafgaandelijk de plannen af te toetsen met de visie van de vergunningverlenende overheid in de specifieke gevallen van BEO en KWO, gezien de milieu-impact.

De boringen voor een BEO- of KWO-installatie worden bij voorkeur buiten de gebouwcontouren gepland. Het plaatsen van boringen onder gebouwen of verhardingen kan overwogen worden als aanvulling op de buiten het gebouw gelegen boringen wanneer de beschikbare ruimte onvoldoende blijkt te zijn., maar enkel mits een duidelijke technische motivatie en na voorafgaande goedkeuring.

Keuze van het warmtevoerend medium:

- Water
- Lucht
- (koelmiddel)

Bij de keuze van het warmtevoerend medium wordt de voorkeur gegeven aan water in combinatie met afgiftesystemen op lage temperatuur (**maximum 45°C met voorkeur voor 35°C**). Ten opzichte van een luchtverdeling heeft het gebruik van water, gezien de hogere warmtecapaciteit van water, het voordeel dat het warmtetransport efficiënter kan gebeuren, met kleinere leidingdiameters, kleinere debieten en een beperktere pompenergie als gevolg.

In bepaalde toepassingen is het gebruik van meerdere gedistribueerde binnenunits aangesloten op een gemeenschappelijke buitenunit interessant (multisplit VRV of VRF-systeem). Hierbij wordt op lokaal niveau de lucht als warmtevoerend medium gebruikt, terwijl de energie (koude of warmte) wordt verdeeld via het koelmiddel van de warmtepomp.

Alternatief voor warmtepompen

Wanneer voor bepaalde kwartieren duurzame alternatieven beschikbaar zijn, mogen deze ook naar voor geschoven worden. Concreet betreft het hier warmtenetten met restwarmte of geothermie als voornaamste energiebron.

Alternatieven dienen geval per geval bekeken te worden tijdens de studiefase.

Warmterecuperatie

⁴ Nominale levensduur van HVAC-installatie: 15 jaar

Warmterecuperatie van interne processen wordt eveneens aangemoedigd. Wanneer voor bepaalde gebouwen binnen Defensie (vb. datacenters, werkplaatsen) de mogelijkheid bestaat om warmterecuperatie te integreren in het algemene verwarmingssysteem, dan dient dit mee opgenomen te worden in de kosten-batenanalyse.

Wanneer het nominale thermische vermogen van de toestellen in een serverroom of datacenter > 25kW (of het equivalent van ± 5 serverracks), moet het opgenomen worden in de kosten-baten analyse (om te bepalen of de constante warmteproductie nuttig aangewend kan worden).

iii. Keuze van de afgiftesystemen

De efficiëntie van de warmtepomp (uitgedrukt door middel van de (S)COP), is sterk afhankelijk van het gevraagde temperatuurregime. De toepassing van een lager temperatuurregime leidt tot een significante toename van de COP, wat een reductie in het energieverbruik met zich meebrengt.

Ook bij warmtenetten is het minimaliseren van de retourtemperatuur van groot belang. Warmtenetbeheerders kunnen met een lage retourtemperatuur zorgen voor kleinere diameters in de distributieleidingen en de pompenergie sterk reduceren, wat voor hen economisch voordelig is. In vele gevallen wordt de klant gestimuleerd die retourtemperaturen zo laag mogelijk te houden aan de hand van een variabele energieprijis op basis van de retourtemperatuur. De klant is bijgevolg eveneens belanghebbende bij het verlagen van het temperatuurregime.

Op basis van die argumenten wordt opgelegd om maximaal te werken met afgiftesystemen die werken op lage temperatuur (maximum 45°C) en die ook de mogelijkheid bieden om te koelen. De volgende lijst bevat de afgiftesystemen die bij voorkeur worden toegepast (van hoog naar laag):

- Klimaatplafonds/-balken
- Vloer- en/of muurverwarming
- Betonkernactivering

Als er binnen het project toch gekozen wordt voor een systeem dat niet in staat is om te verwarmen en te koelen dan dient dit bijkomend verantwoord te worden waarom men hiervoor kiest (bv radiatoren).

Binnen de verschillende projecten is er een keuzemogelijkheid binnen de verschillende afgiftesystemen (gestaafd door een TCO of functionele behoeften). Wel geeft Defensie enkele voorkeursoplossingen per type gebouw. Hiervan mag afgeweken worden indien er een technische verantwoording is;

Gebouwtype	Warmtebron	Medium	Afgiftesysteem
Logementsblok	Bodem	Water	Klimaatplafonds + evtl elektrische verwarming

iv. Scheiding productie en distributie

Voor **nieuwbouwprojecten en IER projecten** is het verplicht om de productie en de distributie van de warmte van elkaar te scheiden door de plaatsing van een warmtewisselaar. Zodoende behoudt Defensie de flexibiliteit om gebouwen later mee aan te sluiten op een intern warmtenet (restwarmte, geothermisch...).

Hiervan kan afgeweken worden indien:

- Het gaat over een laag temperatuur geothermischveld: hier zijn enkel afsluitkranen te voorzien tussen het gebouw en het geothermisch veld

Aansluiting op een bestaand oud warmtenet binnen het kwartier

- Als het nieuwbouwproject of het IER project aangesloten wordt op een bestaand (oud) warmtenet (niet geothermisch) van het kwartier dan blijven de volgende zaken steeds te voorzien:

- o De plaatsing van een warmtewisselaar tussen het gebouw en het warmtenet
- o De plaatsing van vuilafscheiders voor en achter de warmtewisselaar
- o De dimensionering van het verwarmingscircuit in het gebouw op een temperatuur van maximaal 45°C en een zo laag mogelijke retourtemperatuur

v. Sanitair warm water (SWW)

Gebouwen van Defensie hebben over het algemeen een specifiek verbruiksprofiel voor SWW, waarbij SWW voornamelijk punctueel nodig is (collectieve sport, douchen op het einde van de dienst, leegstand door manoeuvres en kampperiodes...). Hoge temperaturen en tijdelijk hoge debieten zijn nodig om aan de behoefte te voldoen en een correcte legionellapreventie toe te laten.

Aangezien warmtepompen efficiënter werken naarmate het temperatuurkoppel daalt, is het 24/7 voorzien van SWW aan de hand van de warmtepomp, die ook instaat voor de ruimteverwarming, geen energetisch efficiënte keuze.

Het wordt daarom aangeraden om de warmteproductie voor ruimteverwarming en SWW van elkaar te scheiden aan de hand van twee individuele systemen voor nieuwbouw projecten en IER projecten. Zo kan een standaard warmtepomp (of een ander systeem) voorzien worden voor de ruimteverwarming, die in het stookseizoen aan een lage temperatuur efficiënt warmte kan genereren. Daarnaast kan voor de SWW-behoefte een hoge temperatuur warmtepomp voorzien worden. In het kader van legionellabestrijding wordt voor het SWW een temperatuur van 70°C aangeraden (of één van de alternatieve maatregelen hieronder beschreven). Als de hoge temperatuur warmtepomp deze temperatuur niet kan leveren, dan is het toegestaan een bijkomende weerstandsverwarming te voorzien om het bijkomende vermogen te leveren.

Voor **kleine renovaties** (niet IER volgens EPB) is het gebruik van een gasboiler nog steeds toegelaten als oplossing voor SWW-productie, al dient de voorkeur gegeven te worden aan de hoge temperatuur warmtepomp.

Een bijkomend voordeel van twee onafhankelijke systemen is dat – in het geval van warmtepompen die passieve of actieve koeling toelaten – de warmtepomp voor ruimteverwarming in de zomerperiode kan instaan voor koeling, terwijl de productie van SWW mogelijk blijft door middel van de secundaire warmtepomp. Aangezien een warmtepomp niet gelijktijdig kan koelen en verwarmen (tenzij mits integratie van een inefficiënte elektrische weerstandsverwarming), is dit niet mogelijk wanneer zowel ruimteverwarming als SWW voorzien worden vanuit een enkele warmtepomp.

Goedgekeurde, alternatieve beheerstechnieken ter bestrijding van legionella zijn ook toegelaten. Hierbij moet er, in functie van de in de goedkeuring beschreven toepassingsvoorwaarden, niet permanent aan het criterium van temperatuurbeheersing voldaan worden. Deze installaties moeten evenwel zo gebouwd zijn dat zij de standaardmaatregel kunnen realiseren. Bijvoorbeeld bij defecten van het toestel dat instaat als alternatieve beheersmaatregel of bij vaststelling van Legionella na een staalname.

Met oog op de keuze van het permanente legionellabeheersysteem dient er door het studie bureau een kosten-batenanalyse opgesteld te worden. Hierbij wordt rekening gehouden met:

- De verbruikskosten voor het verwarmen van het SWW;
- De meerkost verbonden aan het transport, de opslag en de afvoer van de (eventuele) gevaarlijke chemische stoffen zoals chloor;
- Het elektrisch verbruik van de (eventuele) doseerinstallaties;
- De meerkost voor het opvolgen van de correcte werking van het alternatieve beheerssysteem en het onderhoud ervan.

Defensie wil geen zonnecollectoren binnen haar infrastructuur voor het SWW.

vi. Afweging tussen verwarmingseisen en belasting van het elektriciteitsnet

De toenemende elektrificatie binnen de projecten zal een bijkomende belasting teweegbrengen op het elektriciteitsnet. Het is daarom belangrijk om de afgiftemedia van de warmtepompen ook te valoriseren op elektrisch piekvermogen.

De dimensionering van het verwarmingstoestel dient berekend te worden via de norm NBN EN12831 (Methode voor de berekening van de ontwerpwarmtebelasting) om overdimensionering te beperken.

De keuze van het afgiftemedia/brandstof wordt gemaakt aan de hand van een TCO berekening. De laagste TCO verkiest de voorkeur van uitvoering.

c. KOELING

i. Politiek

Gezien de hogere luchtdichtheid van hedendaagse gebouwen, de integratie van oververhitting als parameter voor de EPB-eisen, de hogere bezettingsgraad en rekening houdend met het vooruitzicht op een stijgende wereldtemperatuur wordt adaptieve koeling voorzien binnen de gebouwen van Defensie in onderstaande gevallen.

Voor **nieuwbouwprojecten en IER projecten** zal er steeds gewerkt worden met de onderstaande werkwijze:

- De afgiftesystemen worden voorzien om te kunnen verwarmen en te koelen;
- Passieve maatregelen worden geïmplementeerd om de koelvraag te beperken;
- Adaptieve koeling wordt voorzien via onderstaande prioriteiten
 - o Prio 1: Passief (bv nachtkoeling, regeneratie BEO-veld...)
 - o Prio 2: Actief (bv om binnen de comfortklassen te vallen zie punt ii.)

Voor **kleine renovatieprojecten** worden nieuwe afgiftesystemen voorzien om te kunnen verwarmen en te koelen maar zal adaptieve actieve koeling maar voorzien worden indien de gebouwschil van het gebouw ook wordt aangepakt. In onderstaande gevallen kan hierop een uitzondering worden toegelaten:

- Voor technische redenen bij hoge interne warmteafgifte (datacenters, medische doeleinden, horeca voor lokalen met opgelegde temperatuur volgens HACCP (Hazard Analysis Critical Control Point))
- Voor comfortkoeling van personeel, op voorwaarde dat het gaat om een dienst die 24/7 bemand wordt en waar als gevolg van de veiligheidsfunctie van het lokaal geen ramen geopend kunnen worden

ii. Werkwijze

Elk **nieuwbouwproject of IER project** dient in de studiefase onderworpen te worden aan een dynamische studie voor oververhitting volgens de normen NBN EN 16798-1:2019 en NBN EN 16798-2:2019. Voor deze studie dient enkel de periode van 1 mei tot en met 30 september gesimuleerd te worden. Hierbij dienen de bouwparameters ingevoerd te worden zoals deze voorzien zijn voor de uitvoering (isolatiekarakteristieken schildelen, zontoetredingsfactor beglazing, interne warmtewinsten, geplande passieve maatregelen...). Een dynamische simulatie dient uitgevoerd te worden voor verschillende lokalen in functie van hun oriëntatie. Minimaal drie relevante lokalen (bv burelen, vergaderzalen, leslokalen, onderrichtszalen...) met verschillende oriëntatie (1 x oostgericht, 1 x zuidgericht, 1 x westgericht) dienen gesimuleerd te worden.

Om de studie maximaal af te stemmen op de ligging van het gebouw, dienen gemiddelde temperatuursgegevens op uurbasis gebruikt te worden van het dichtstbij gelegen weerstation van de meest recente dataset (TMYx⁵). De temperaturen van deze dataset worden op vraag van Defensie verhoogd met 1,5°C⁶.

⁵ TMYx – Typical Mean Year [climatewebsite\WMO Region 6 Europe\BEL Belgium \(onebuilding.org\)](https://climatewebsite.wmo.int/Region_6_Europe/BEL_Belgium/onebuilding.org)

⁶ In navolging van de verschillende klimaatscenario's wordt er geopteerd om het meest gunstige scenario RCP2.6 (Representative concentration pathway, 2,6W/m² toename tegen 2100 cfr [untitled \(ipcc.ch\)](https://www.ipcc.ch/)) als referentie te nemen, dat uitgaat van een stijging van de gemiddelde temperatuur in België tot 1,5°C tegen 2050

Om oververhitting kostenefficiënt te bestrijden dienen bijkomende maatregelen iteratief geïmplementeerd te worden in de studie volgens de bovenstaande politiek (§6.c.i.)

Als uitkomst van de analyse dienen volgende comforteisen gerespecteerd te worden (cfr NBN EN 16798-1:2019).

- Nieuwbouwprojecten en IER projecten: minimum categorie II (Medium)

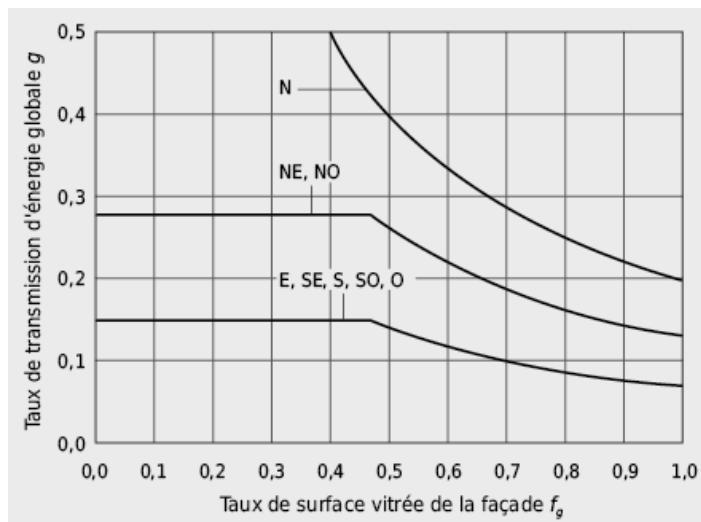
In functie van de omvang van de koelbehoefte (lokaal of algemeen), dient punctueel bekeken te worden of de actieve koeling centraal of decentraal voorzien wordt.

iii. Passieve maatregelen

Minimaal dienen de volgende passieve maatregelen bestudeerd te worden om tot de gevraagde comforteisen te komen:

- Zonwering: De voorkeur ligt op passieve structurele zonweringselementen zoals dakoversteken en horizontale lamellen, gezien het verminderde risico op pannes of een gebrekkige werking als gevolg van een slechte regeling. Voor bestaande gebouwen vormen gemotoriseerde windvaste screens een goede oplossing. Ook een oordeelkundige toepassing van hoog selectieve beglazing met hoge daglichttoetreding (LTA) en lage warmtetoetreding (ZTA of g-waarde), al dan niet in combinatie met externe zonweringselementen, kan in bepaalde gevallen toegepast worden. **Voor administratieve ruimtes wordt een voorkeur gegeven aan (bijkomende) zonnewering aan de binnenzijde om reflectie op schermen te verminderen.**
- Passieve koeling:
 - o Via warmtepomp: wanneer voor de verwarming geopteerd wordt voor een warmtepomp van het type BEO of KWO en er wordt gebruik gemaakt van hoog temperatuur koelsystemen, dan kan deze per definitie passieve koeling genereren (koude uit de ondergrond wordt via een circulatiepomp en een warmtewisselaar overgedragen aan de binneninstallaties. De eerder vermelde afgiftesystemen die op lage temperatuur werken, zijn ook in staat om efficiënt passief te gaan koelen.

Opgelet: uitgezonderd bepaalde VRV of VRF-systemen en 4-pijps warmtepompen kunnen warmtepompen niet gelijktijdig koelen en verwarmen. Als gebruik wordt gemaakt van BEO of KWO én er is een permanente technische koelbehoefte, dan dient de technische koeling steeds afzonderlijk bestudeerd te worden.
 - o Via nachtventilatie: passieve koeling kan tevens voorzien worden aan de hand van nachtventilatie. Hierbij wordt de koelere buitenlucht van 's nachts gebruikt om de binnenomgeving af te koelen buiten de normale gebruiksuren. Om dit efficiënt te laten werken, dienen de debieten van het ventilatiesysteem hier specifiek op berekend te zijn (georiënteerd op de debieten van de hygiënische ventilatie). Wanneer een ventilatiesysteem D met warmterecuperatie voorzien wordt in het ontwerp, dient deze voorzien te zijn van een zomerbypass.
 - o Via Canadese put: indien geen warmtepompen van type BEO of KWO worden gebruikt én nachtventilatie voor onvoldoende afkoeling zorgt om tot het gewenste comfortniveau te komen, kan een Canadese put ook aangewend worden als passieve maatregel.
- Beglazing: De oppervlakte en zontoetredingsfactor g van de beglazing van een gevel moeten beantwoorden aan de vereisten van Figuur 1: Maximale verhouding raamoppervlakte en g-factor beglazing in functie van geveloriëntatie. Concreet moeten grote zongerichte raampartijen vermeden worden en dient de beglazing voldoende zonwerend te zijn in functie van de oriëntatie. Opmerking: de in de figuur opgegeven g-waarden gelden bij gebruik zonder externe zonwering en gaan gepaard met onaanvaardbaar lage LTA-waarden. Bij gebruik van externe zonnewering kan beglazing met hogere g-waarde toegepast worden.



Figuur 1: Maximale verhouding raamoppervlakte en g-factor beglazing in functie van geveoriëntatie

iv. Adaptieve koeling

Wanneer uit de oververhittingsstudie blijkt dat adaptieve koeling voor comfort noodzakelijk is, dient de energetische voetafdruk geminimaliseerd te worden. Om de koelbehoefte te dekken moeten de volgende opties volgens onderstaande prioriteit worden toegepast:

- Prioriteit 1, een reversibele warmtepomp.

Door het omkeren van de warmtepompcyclus, kan een reversibele warmtepomp ook warmte onttrekken aan de binnenomgeving en bijgevolg actief gaan koelen. Wanneer de bovenvermelde passieve maatregelen correct worden toegepast, zou het koelvermogen van een reversibele warmtepomp die gedimensioneerd werd op de verwarmingsbehoefte, voldoende moeten zijn om het nodige (actieve) koelvermogen te leveren. Indien het koelvermogen van de warmtepomp onvoldoende is voor een volledige koeling kan de reversibele warmtepomp nog steeds ingezet worden als topkoeling om de grootste pieken af te vlakken.

Naar afgiftesystemen toe dient voor de lokalen met grote koelbehoefte de voorkeur gegeven te worden aan systemen die gebruik maken van convectie (ventiloconvectoren, klimaatplafonds of klimaatbalken). Voor de andere ruimtes (burelen) kan doorgaans gebruik gemaakt worden van energie-efficiënte laagvermogen/hoge temperatuur koelsystemen, zoals betonkernactivering en vloerverwarming/koeling.

- Prioriteit 2, een onafhankelijke koelinstallatie.

Als een reversibele warmtepomp niet toegepast kan worden, kan een onafhankelijke koelinstallatie geplaatst worden om de koelbehoefte te dekken. Een kosten-batenanalyse dient uit te maken wat de meest geschikte oplossing is:

- o Wanneer actieve koeling noodzakelijk blijkt te zijn in een groot deel van het gebouw, geniet het voorzien van een centrale basiskoeling op de ventilatielucht voor alle lokalen de voorkeur. Een relevant lokaal dient dan gekozen te worden als referentie voor de sturing van de koelinstallatie. Naargelang de koelbehoefte wordt deze basiskoeling aangevuld met lokale afgiftesystemen zoals ventilo-convectoren, klimaatbalken of klimaatplafonds.
- o Wanneer de oververhittingsstudie uitwijst dat koeling slechts plaatselijk noodzakelijk zou zijn of in het geval van kleinere gebouwen, dan mag deze koelbehoefte gedekt worden aan de hand van een (multi-)splitsysteem. Aangezien splitsystemen lucht-luchtwarmtepompen zijn, kunnen deze ook instaan voor de verwarming van de desbetreffende lokalen, om op die manier de centrale verwarmingsinstallatie kleiner te kunnen dimensioneren.

- o Wanneer omgekeerd voor de verwarming een VRV of VRF- of 4-pijps lucht/water warmtepompsysteem voorzien wordt, dan mag dit systeem uiteraard ook gebruikt worden als voornaamste koelsysteem.

d. VENTILATIE

Zie de richtlijn NI2 T (57.0)-01

e. REGENWATERRECUPERATIE

i. Politiek

Voor nieuwbouwprojecten en IER projecten zal er steeds regenwaterrecuperatie voorzien worden waarbij een 2^{de} (gescheiden) watercircuit wordt voorzien om het geschikte sanitair (bv. toiletten) erop aan te sluiten.

De regenwaterput wordt altijd voorzien van een niveausensor die de waterstanden communiceert zoals beschreven in het deel energieopvolging (§7)

Om een goede dimensionering voor nieuwbouwprojecten mogelijk te maken, zal er in de studiefase steeds een berekening gemaakt worden aan de hand van de Sirio-tool (van Sumaqua) of gelijkaardig.

ii. Technische specificaties

Voor de verschillende installaties gekoppeld aan het waterverbruik binnen een kwartier moeten de volgende documenten toegepast worden:

- Het repertorium van Belgaqua⁷ (en haar werkbladen)
- NBN EN 1717

f. LAADPALEN VOOR VOERTUIGEN

i. Politiek

Om eenduidigheid te scheppen in onderstaande tekst wordt er vertrokken van de veronderstelling dat **1 laadpaal** beschikt over **2 laadpunten**.

Het aantal laadpalen en laadpunten:

Voor **nieuwbouwprojecten** en **IER projecten** worden de onderstaande stappen doorlopen om het aantal laadpalen te bepalen die in het kader van het project geplaatst kunnen worden.

- Stap 1: Is de parking gekoppeld aan het gebouw en gerealiseerd binnen het project, dan moet er minstens 1 laadpaal geplaatst worden en moet er per parking voor een administratief militair voertuig (witte vloot) 1 laadpunt voorzien worden.
- Stap 2: Is de parking, gekoppeld aan het gebouw en gerealiseerd binnen het project, groter dan 10 parkeerplaatsen (inclusief de plaatsen voor militaire voertuigen) dan moet men voor 25%⁸ van het aantal parkeerplaatsen een laadpunt voorzien. Van dit aantal mogen de geplaatste laadpunten uit stap 1 afgetrokken worden.

Voor **kleine renovatieprojecten** (alles wat niet IER is) worden geen eisen opgelegd aan het aantal laadpalen en laadpunten tenzij de omvang van de werken ook raakt aan de parking van het gebouw (zie hieronder)

Het plaatsen van de laadpalen

Voor **nieuwbouwprojecten** en **IER projecten** zal de volledige installatie van de laadpalen gebeuren binnen het project. De vereisten van de laadpalen worden vermeld in Bijlage 2: Fiche laadpalen.

⁷ [BELGAQUA - Home](#)

⁸ De regelgeving in de 3 Gewesten is echter verschillend m.b.t. het aantal laadpunten te voorzien per parking. De vermelde regeling is toe te passen voor heel Defensie binnen alle Gewesten.

Voor **kleine renovatieprojecten** (alles wat niet IER is) zullen, Wanneer de parking deel uitmaakt van de omvang van de werken, zullen enkel de voorzieningen geplaatst worden (details zie Bijlage 2: Fiche laadpalen) maar zal de installatie van de laadpaal gebeuren buiten het project.

Voor de 3 verschillende type projecten (nieuwbouw, IER en kleine renovaties) zullen er **geen laadpalen geplaatst worden in ondergrondse parkings**. Alle uitzonderingen hierop dienen aangevraagd te worden bij MRC&I-I/Q&M. In het geval van een uitzondering moet altijd het advies van de lokale brandweer gevraagd worden.

ii. **Gelijktijdigheid**

Elke laadpaal installatie zal steeds de bekabeling, veiligheidsautomaten en transformator zo voorzien dat er op maximaal vermogen gewerkt kan worden.

De laadpalen zelf zullen voorzien worden van een sturing die toelaat om de vermogens te verlagen tijdens piekperiodes. Dit met het oog op het capaciteitstarief (indien van toepassing) en een flexibiliteit in het totale aansluitvermogen van het kwartier.

Voor het meetellen van het nodige vermogen voor het laadpalenpark zal er gewerkt worden met een gelijktijdigheidsfactor van 0,3

iii. **Technische vereisten voor de laadpalen**

Zie Bijlage 2: Fiche laadpalen

g. HOOGSPANNINGSCABINES⁹

i. **Politiek**

Voor **nieuwbouwprojecten en IER projecten** zal er steeds afgetoetst worden of de stijging van het elektrische vermogen nog beschikbaar is op de naburige HS-cabine. Indien het vermogen niet voldoende is dan zal er binnen het project een bijkomende post geplaatst worden conform de technische vereisten.

Voor **kleine renovatieprojecten** (alles wat niet IER is) zal de vermogensverhoging eveneens gecontroleerd worden op vlak van beschikbaarheid maar zullen de aanpassingen aan het HS-net niet uitgevoerd worden binnen het project.

ii. **Technische vereisten voor de hoogspanning (HS)**

Zie Bijlage 3: Hoogspanning

h. NOODSTROOM

i. **Politiek**

Voor **nieuwbouwprojecten en IER projecten** zal de noodstroom binnen het project voorzien worden indien het toepassing van het gebouw dit vereist.

Voor **kleine renovatieprojecten** zal er geen noodstroombestemming worden uitgevoerd. Tenzij er technische elementen worden geïnstalleerd die vereisen om te beschikken over een No-Beak of Short-break.

⁹ Binnen deze tekst zal er steeds gesproken worden over hoogspanning hoewel het grootste deel van de installaties valt onder middenspanning. Er wordt dus enkel onderscheid gemaakt tussen laagspanning en hoogspanning (incl middenspanning).

i. **BUILDING MANAGEMENT SYSTEM (BMS)**

i. Politiek

Voor **nieuwbouwprojecten en IER projecten** zal de volledige installatie en configuratie van de BMS gebeuren binnen het project. De oplevering van de installatie kan enkel gebeuren na een functionaliteitstest van de installaties en validatie door de onderhoudsfirma verantwoordelijk voor de installatie.

Voor **kleine renovatieprojecten** (alles wat niet IER is) is de BMS enkel te voorzien indien de vernieuwing van technische installaties deel uitmaken van de renovatie.

ii. Technische vereisten voor de BMS

Zie NI2 BMS

7. **ENERGIEOPVOLGING BINNEN DEFENSIE**

De onderstaande politiek en werkwijze is van toepassing voor **nieuwbouwprojecten en IER projecten**. Voor **kleine renovatieprojecten** moeten enkel de geïnstalleerde meters voldoen aan de technische vereisten van deze richtlijn.

Voor het bepalen van het meetplan dat de energieopvolging moet mogelijk maken wordt er gewerkt aan de hand van 2 stappen:

- De wettelijk verplichte energieopvolging
- De bijkomende energieopvolging

Naast de vereisten voor het meetplan zijn er ook te respecteren richtlijnen m.b.t. de datacommunicatie van de verbruiksgegevens en de op te leveren documentatie.

a. **WETTELIJK VERPLICHTE ENERGIEOPVOLGING**

Toepassing van de strengste regelgeving van het gewest.

De belangrijkste verplichtingen op dit gebied vloeien voort uit de EPB-regelgeving die te vinden is in de volgende documenten (de laatste versie van die documenten of de vervanging ervan is altijd van toepassing):

- Bijlage 1 van **het besluit van de Waalse regering van 28 maart 2013** betreffende de toekenning van subsidies aan publiekrechtelijke personen en niet-commerciële instellingen voor de uitvoering van studies en werken voor de verbetering van de energieprestatie en het rationeel energiegebruik in de gebouwen (UREBA). (**niet verplicht voor Defensie**)
- Bijlage C4 van het besluit van de Waalse regering van 15 mei 2014 en zijn wijzigingen tot uitvoering van het decreet van 28 november 2013 betreffende de energieprestatie van gebouwen.
- Besluit van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering van 21 juni 2018 en zijn wijzigingen betreffende de voor de verwarmingssystemen en klimaatregelingssystemen van gebouwen geldende EPB-eisen bij hun installatie en tijdens hun uitbatingperiode.
- Energiebesluit van de Vlaamse regering van 19 november 2010 en zijn wijzigingen, in het bijzonder Bijlage XII - Systeemeisen.

Ter herinnering schetsen we de grote lijnen:

De regelgeving onderscheidt 3 categorieën van technische installaties volgens grootte en verbruik, waarvoor ze bepaalt of een energiemeting verplicht is en in welke vorm die moet gebeuren.

Het gaat hier om verwarmingsketels, warmtepompen, verluchtinstallaties, installaties voor koudeproductie...

De meting gebeurt per EPB-eenheid.

De 3 categorieën van technische installaties zijn:

- Kleine installaties: geen meting.
- Middelgrote installaties: meting energieverbruik (brandstof, elektriciteit...) + (alleen in Brussel) energieboekhouding.
- Grote installaties: idem middelgrote installaties + meting thermische energie (geproduceerde energie) + uitsluitend in Brussel de "volledige" energieboekhouding.

Opgelet: de drempels voor de categorieën verschillen per gewest.

Ook met de verplichtingen die worden opgelegd door andere gewestelijke regelgeving (bv. de PLAGE-regelgeving) wordt rekening gehouden in deze paragraaf

b. BIJKOMENDE ENERGIEOPVOLGING

Naast de geldende regelgevingen, of wanneer deze niet van toepassing zijn op het project, heeft Defensie enkele bijkomende vuistregels voor het bepalen van de op te volgen energiestromen en onder welke vorm. De volgende 4 stappen laten toe om enkele punten te identificeren die dienen toegevoegd te worden aan het meetplan.

- **Stap 1: Algemeen**
 - o De hoofdverbruiken van het kwartier (water, gas, elektriciteit en stookolie) dienen steeds opgevolgd te worden op niveau van het kwartier.
 - Water: Digitalisatie van de hoofdmeter nadat de netbeheerder de puls toegankelijk heeft gemaakt.
 - Elektriciteit: Digitalisatie van de hoofdmeter nadat de netbeheerder de puls heeft toegankelijk gemaakt. In geval van een AMR dan zullen de verbruiksgegevens ontvangen worden via de netbeheerder.
 - Gas: Digitalisatie van de hoofdmeter nadat de netbeheerder de puls heeft toegankelijk gemaakt. In geval van een AMR dan zullen de verbruiksgegevens ontvangen worden via de netbeheerder.
 - Stookolie: De stookolieciternes dienen steeds uitgerust te zijn met een sensor (optisch of druk) die in staat moet zijn om het volume in de tank op te volgen.
- **Stap 2: In functie van het BVO (Bruikbare Vloer Oppervlakte):**
 - o BVO tussen [1 m², 250 m²]
 - Er wordt geen aparte monitoring van de energiestromen op niveau gebouw vereist.
 - o BVO tussen [250 m², 2500 m²]
 - Minstens opvolging van HVAC (energie- en warmtebron), elektriciteit en water op niveau van gebouw.
 - Waterteller (koud en warm)
 - o Opvolging van het debiet [m³]
 - Binnenkomst gebouw
 - Brandnet indien aanwezig
 - Koppeling van het sanitair koud water met de productie voor sanitair warm water
 - Verbruik regenwater
 - Stand regenwateropslag
 - Gasteller
 - o Opvolging van het debiet [m³]
 - Binnenkomst gebouw
 - Per groot productie-element van SWW of verwarming (tenzij er maar 1 toestel aanwezig is in het gebouw).
 - Elektriciteit

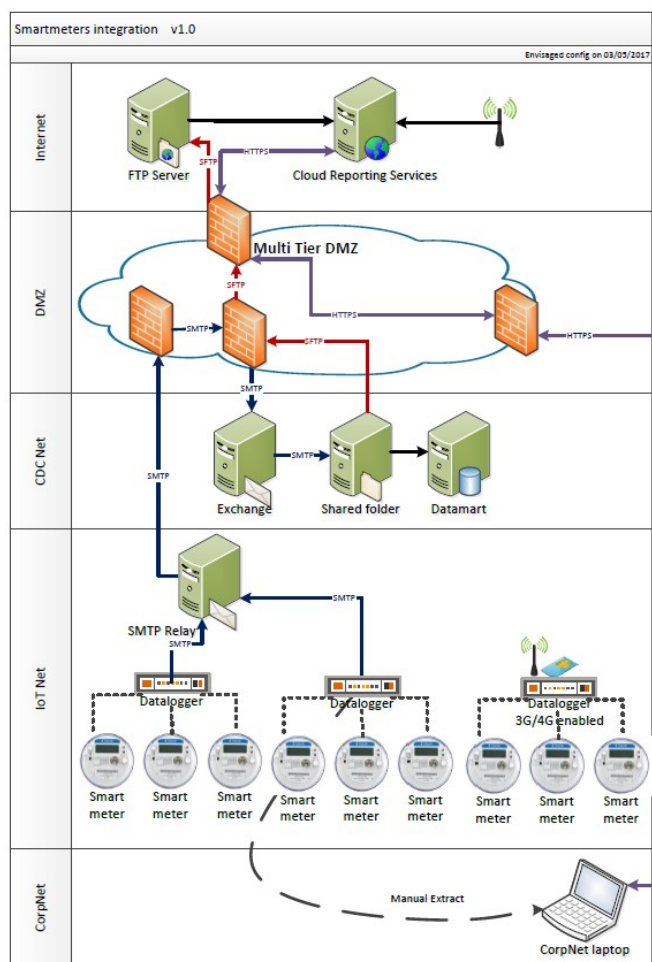
- o Opvolging van het verbruik [kWh] en stroomsterkte [A]
- Stookolie
 - o Opvolging van het verbruik per stookinstallatie [Liter]
- Calorie
 - o Opvolging van de distributie en productie van warmte of koude [kWh]
- o BVO tussen [2500 m², ...[
 - Minstens het verbruik voor het volledige gebouw en per zone van de verschillende stromen.
 - Het gebouw wordt onderverdeeld in "zones" met een maximale nuttige oppervlakte van 2500 m². De zonering moet gebeuren volgens de geldende regels voor de EPB-indeling en/of de geometrische kenmerken van het gebouw: vleugels, verdiepingen... Voor elk van deze zones geldt de toepassing van de energiestromen zoals beschreven in het punt BVO tussen [250 m², 2500 m²] hierboven. Er kan afgeweken worden van deze regel als hiervoor een duidelijke verantwoording is.
 - *Bv: Een nieuwe loods van totaal 3000m² beschikt over een administratief deel van 250m² en de rest (2750m²) is onderhoudsloods. De opdeling valt hier enkel tussen admin en loods en er worden geen bijkomende meters geplaatst om de loods (>2500m²) nog eens op te splitsen gezien het beperkt energieverbruik.*
- **Stap 3: In functie van technieken of significante (industriële) verbruikers**
 - o Voor alle hoogspannings- en middenspanningkabines moeten minstens de verbruiken (kWh), de stroomsterkte (A) per fase en de cos phi opgevolgd worden.
 - o Voor alle significante reactieve vermogens moeten minstens de verbruiken (kWh), de stroomsterkte (A) per fase en de cos phi opgevolgd worden.
 - o Voor alle significante inductieve vermogens moeten minstens de verbruiken (kWh), de stroomsterkte (A) per fase en de cos phi opgevolgd worden.
- **Stap 4: In functie van opwekking**
 - o Alle technieken die energie opwekken (fotovoltaïsche zonnepanelen, WKK, warmtepompen...) dienen bijkomend opgevolgd worden. Daarbij is de filosofie dat minstens de input en output van de systemen moet worden opgevolgd, bijvoorbeeld voor een gasketel:
 - Input: gas [m³]
 - Output: warmte [kWh]

C. DATACOMMUNICATIE VAN DE VERBRUIKSGEGEVENS

Alle geïnstalleerde meetinstrumenten dienen in staat te zijn om hun meetgegevens te communiceren naar Defensie. De manier waarop deze communicatie dient te gebeuren staat uitgelegd in de volgende paragrafen.

i. Algemene voorstelling van de dataflow

Het netwerk van Defensie (CDN of Corporate Defense Network) beschikt over een virtueel netwerk IoTNet (Internet of Things). Binnen deze virtuele opsplitsing kunnen digitale meters hun meetgegevens communiceren. Wanneer een nieuw meettoestel aangekoppeld dient te worden op dit IoTNet, moet de inschrijver de nodige verbindingen maken om deze communicatie mogelijk te maken. Hiervoor wordt er bij de digitale meter (smart meter) een gateway en datalogger voorzien. In het geval dat het kwartier al over een communicerende datalogger of BMS beschikt dan kunnen de gateways hiernaar gericht worden.



Figuur 3: Overzicht van de netwerkstructuur

ii. Wijze van communicatie

De voorkeur gaat uit naar een bekabelde verbinding met het netwerk (IoTNet¹⁰) van Defensie. Hiervoor dient de inschrijver de meter-gateway-datalogger/BMS-Defensie flow te installeren en te configureren. Om hiervan gebruik te kunnen maken dient specifieke informatie van de toestellen die wensen te communiceren met het netwerk van Defensie, op voorhand overgemaakt worden aan Defensie om de configuratie in het IoTNet toe te laten. Zodra de configuratie door Defensie wordt uitgevoerd zal het IP-adres overgemaakt worden aan de opdrachtnemer. De werkwijze staat beschreven in Bijlage 3: Hoogspanning.

Wanneer door de aard van de constructie er geen bekabelde verbinding mogelijk is, kan men werken met draadloze alternatieven (GPRS, SigFox, LoRa...) om de dataverbinding tot stand te brengen. In geval van GPRS zal Defensie de SIM-kaarten hiervoor aanleveren en in eigen beheer houden.

In beide gevallen is het belangrijk dat de data steeds eigendom van Defensie is en dataloggers of BMS steeds rechtstreeks trachten te communiceren naar Defensie.

iii. Vorm en inhoud van de datatransfert en andere technische vereisten

Zie Bijlage 3: Hoogspanning

¹⁰ IoTNet: Internet of things; virtueel gescheiden netwerk voorzien voor de communicatie van technische installaties.

8. BIJLAGEN

a. BIJLAGE 1: FICHE PV

i. PV-generatoren

- PV-modules met kristallijn silicium zonnecellen voor het opwekken van elektriciteit. De fotovoltaïsche modules dienen naar grootte en inplanting gecoördineerd te worden met de toestand van het dak. Daarbij worden mono- en polykristallijn silicium toegelaten.
- De PV-panelen beantwoorden aan de volgende certificatie en homologatie:
 - o Vigerende Belgische en Europese normering
 - o TUV-certificatie IEC 61215/ IEC 61730- 1/2, (naast elektrische prestaties ook vochtbestendigheds-, extreme temperatuurschommelingen- en hagelbestendigheidstest)
 - o Tier-1 Bankability
 - o De panelen maken deel uit van het PV-Cycle recyclagesysteem
- Het minimum rendement: 14%
- De maximale vermogentemperatuurcoëfficiënt: 0,5%/°C
- De minimale productieggarantie: 10 jaar
- De minimale vermogengarantie: minimum 80% na 20 jaar
- De maximale tolerantie op het piekvermogen: -2/+5%
- Het aantal by-passdiodes per module: ≥ 3

ii. Bevestiging

- Modules moeten bevestigd worden volgens de voorschriften van de fabrikant. De stabiliteit en waterdichtheid van het dak moeten gegarandeerd blijven. De nodige maatregelen moeten hiervoor getroffen worden en deze maatregelen zijn inbegrepen in de aanneming.
- Alvorens de uitvoering te beginnen, moeten de technische fiches van alle elementen ter goedkeuring worden voorgelegd aan de architect, de bouwheer (vertegenwoordigd door de leidend ambtenaar) en het studiebureau.
- Het materiaal van de constructie en het bevestigingsmateriaal is aluminium of roestvast staal.
- Ondersteunende structuren zullen worden geaard, zoals bepaald door het AREI (verbinding en aarding van metalen structuren).

iii. Bekabeling van de gelijkstroomzijde

- Elke kabel naar de omvormer moet genummerd zijn.
- De nummering moet opgenomen worden in het PID.
- De bekabeling op het dak wordt in één centrale draadgoot gelegd. De goot is voldoende ruim bemeten (minimale reserve van 50%), wordt op regelmatige afstand gefixeerd met gewichten (geen bevestiging door de dakschil) en is aangepast aan de omstandigheden (buitenopstelling). Benodigde hulpstukken zijn van dezelfde kwaliteit en hetzelfde materiaal als de draadgoot. Een as-built schema en as-built detailplannen worden toegevoegd aan het PID.
- De bekabeling op de gevel gebeurt in een volledig afgesloten (inclusief deksel) kabelgoot. De goot is voldoende ruim bemeten (minimale reserve van 50%) en wordt op regelmatige afstand gefixeerd. Benodigde hulpstukken zijn van dezelfde kwaliteit en hetzelfde materiaal als de kabelgoot. Een as-built schema en as-built detailplannen worden toegevoegd aan het PID.
- Binnen het gebouw wordt zowel de horizontale als de verticale bekabeling in een door de opdrachtnemer voorziene goot gelegd. De goot is voldoende ruim bemeten (minimale reserve van 50%). De kabels worden op regelmatige afstanden aan de goot bevestigd. Een as-built schema en as-built detailplannen worden toegevoegd aan het PID.

- In de aansluitkast dienen plus- en min-klemmen ruimtelijk gescheiden te worden om een kortsluiting te voorkomen. Wanneer een van de klemmen loskomt, moet het uitgesloten zijn dat de polen elkaar kunnen raken.
- Stringdiodes ter bescherming tegen overstroom bij beschaduwing of kortsluiting mogen niet toegepast worden.
- In systemen met meerdere parallelle strings dienen de stringleidingen beveiligd te worden tegen overstroom met smeltveiligheden op plus en min. De smeltveiligheden mogen achterwege blijven wanneer de stringleidingen gedimensioneerd zijn voor de maximaal mogelijke overbelastingsstroom. In dit geval dient door schriftelijke verklaring van de moduleproducent ook aangetoond te worden dat de modules deze stroom in negatieve richting kunnen dragen.
- De doorsnede van elke stringleiding en de gelijkspanningshoofdleiding moet zodanig gekozen worden dat bij de nominale stroom in het maximumvermogenspunt (Engels: maximum power point of MPP) de som van de spanningsval op deze twee leidingen voor alle strings minder dan 2% van de nominale MPP-spanning bedraagt.
- In de buitenomgeving worden UV-bestendige en gegarandeerde waterdichte kabels gebruikt. Kabels geïnstalleerd op daken moeten geschikt zijn voor een temperatuurbereik van -20°C tot 80°C. Dit geldt ook voor het gebruikte installatiemateriaal (bv. kabelgoten).
- De kabelgoten zijn in aluminium, gegalvaniseerd staal of roestvast staal (RVS). Specifieke aandacht wordt besteed aan de te gebruiken bevestigingsmiddelen. Deze moeten gevrijwaard worden van elektrochemische verbindingen die de kwaliteit van de structuur kan verminderen door corrosie.
- De bekabeling (zowel AC als DC) heeft een levensduurgarantie van minstens 10 jaar.
- Een schakelaar die de DC-zijde (panelen en invertor) zichtbaar onderbreekt is in de invertor geïntegreerd.

iv. Bekabeling van de wisselstroomzijde

- Deze paragraaf handelt over de levering en de plaatsing van de bekabeling tussen de omvormer en de groene elektriciteitsteller, en tussen de teller en het elektriciteitsinjectiepunt, een verdeelbord, aansluitingselementen, kabelwegen, AC-aansluiters, AC-schakelaars, een ontkoppelingsrelais, net als alle nodige elementen om de inwerkingstelling volgens het AREI mogelijk te maken.
- De opdrachtnemer plaatst indien mogelijk de kabels via de bestaande wegen en/of in de valse plafonds en/of in kabelbanen en kabelgoten.
- De werken omvatten de elektriciteitswerken tot en met de scheider in het algemeen laagspanningsbord.
- De kabels zijn gedimensioneerd op basis van de spanningswaarde en de maximale stroom onder de STC-voorwaarden (Standard Test Condition) met toepassing van de klassieke bestaande correctiefactoren:
 - o Coëfficiënt rekening houdend met het aantal gelegde kabels
 - o Omgevingstemperatuur
 - o Kabeltype

v. Netkoppeling

- De installatie van een ontkoppelingsrelais is wettelijk verplicht voor sommige types van PV-installaties. Deze zorgt ervoor dat de selectiviteit van het elektrisch net behouden blijft, dat de veiligheid van de personen die op het elektrisch distributienet werken gegarandeerd is en dat de installatie beschermd is tegen bepaalde situaties op het net, zoals het defaseren. Deze verplichting maakt deel uit van de aanbevelingen van de Distributienetbeheerder.
- De opdrachtnemer neemt zelf contact op met de Distributienetbeheerder om een erkend ontkoppelingsrelais te verkrijgen en te plaatsen. Zie de lijst van Synergrid (www.synergrid.be (zoek op “erkende materialen” en vervolgens “lijst van ontkoppelingsrelais”)).

- De netontkoppelingsinstallatie is voorzien van een as-built dossier met o.a. goedgekeurd keuringsattest, stuurschema's, elektrische schema's, technische fiches en gebruikshandleiding. Dit as-built dossier wordt toegevoegd aan het PID.
- Alle verplichtingen en toebehoren voor de aansluiting op het elektriciteitsnet zijn inbegrepen in de opdracht. De opdrachtnemer verbindt zich ertoe om alle noodzakelijke contacten te leggen met de distributienetbeheerder ten behoeve van het aansluiten van de PV-installatie door de distributienetbeheerder.

vi. Aarding

- De aarding van de gehele installatie zal door de opdrachtnemer worden aangesloten op het bestaande aardingsnet van het gebouw, in overeenstemming met het AREI en de norm NBN EN 62305.

vii. Omvormer

- Het betreft een driefasige omvormer.
- Het dimensioneren, leveren en plaatsen van de centrale inverter(en) of omvormer(s) voor de omzetting van gelijkspanning naar wisselspanning maakt deel uit van de opdracht.
- De hele installatie zal maar 1 merk van omvormers hebben.
- De omvormers moeten aan de volgende certificatie en homologatie beantwoorden:
 - o Technisch Reglement Distributie Elektriciteit (TRDE) (Bepaald door regulator zoals de VREG)
 - o Aansluitreglement van de distributienetbeheerder
 - o De geldende Belgische, Europese en internationale normen
 - o Netbewaking en –beveiliging (ENS)
 - o Europese Conformiteit (CE certificaat)
 - o Netwerkinterface: internationale norm IEC 61727
- Voor de omvormerberekening moeten de volgende parameters gebruikt worden:
 - o Het minimum EU-rendement: 97%
 - o Het maximum verbruik in nachtmodus: 1W
 - o De minimum productiegarantie: 5 jaar
- Het maximaal AC-vermogen is gelegen tussen 80 en 110 % van het piekvermogen van de aangesloten fotonvoltaïsche installatie.
- Elke inverter dient zodanig gedimensioneerd te worden dat zijn MPP-trackingbereik de MPP-spanning van de fotonvoltaïsche installatie bij -10°C tot +70°C omvat.
- Wanneer lucht kan stromen langs de achterkant van de fotonvoltaïsche panelen, mag 60°C als maximale temperatuur verondersteld worden.
- De maximale toegelaten ingangsspanning van elke inverter dient groter te zijn dan de open-klemspanning van de fotonvoltaïsche installatie bij -10°C en 1.000 W/m². Als de gelijkspanningszijde en de wisselspanningszijde van de inverter niet galvanisch gescheiden zijn, moet dit aangegeven worden op de inverter.
- De invertoren zijn geschikt voor buitenopstelling en worden bij voorkeur ook buiten het beschermd volume geplaatst. De invertoren zijn voorzien van de nodige aansluiting voor datalogging.

viii. Weerkaatsing (indien in de buurt van militaire vliegvelden)

- Defensie volgt de bestaande regelgeving en best beschikbare technieken bij burgerluchthavens en buitenlandse vliegvelden aangevuld met de richtlijnen uitgevaardigd door ASD (MITS 23-50115447) en hernomen in het document hieronder:



Solar panels glare
assessment guidance

ix. Monitoring

- De productiegegevens moeten van op afstand uitgelezen kunnen worden. Er wordt een monitoringapparaat voorzien voor het inlezen en bewaren van alle beschikbare meetgegevens en instellingen van de inverter(en) van de PV-installaties.
- De monitoringapparatuur moet minimaal de volgende gegevens inlezen, bewaren en doorgeven:
 - o actuele, dagelijkse en totale elektriciteitsproductie per 15 minuten,
 - o status- en foutmeldingen,
- Voor de datatransmissie naar Defensie wordt verwezen naar de richtlijn NI2 T (67.0)-01 BMS
- Het monitoringapparaat moet compatibel zijn met ModBus of M-Bus of voorziet rechtstreeks een SFTP.
- Kenmerken:
 - o verbinding met alle invertoren per gemeenschappelijk aansluitpunt (m.a.w. 1 monitoring per aansluitpunt),
 - o intern geheugen + mogelijkheid tot uitbreiding via extern geheugen,
- interne modem en netwerkaansluiting. Het monitoringssysteem dient minstens te voldoen aan een nauwkeurigheidsklasse 1.
- Het monitoringsysteem dient beschikbaar en operationeel te zijn voor de opdrachtgever gedurende de volledige levensduur van de PV-installatie en dit zonder enige meerkost.
- Het monitoringsysteem dient volledig operationeel te zijn uiterlijk bij de voorlopige oplevering en dus voor de aanvang van de stroomafnameovereenkomst.

b. BIJLAGE 2: FICHE LAADPALEN

i. Algemeen beleid

- De laadpalen die geplaatst worden worden afgestemd op de reeds aanwezige laadpalen in het kwartier. Zodoende blijft het onderhoud van de laadpalen per kwartier uniform en vermijden we een wildgroei aan verschillende merken. De input hiervoor kan per project opgevraagd worden bij MRC&I-I/S/T.

ii. Technische specificaties eigen aan de laadpaal

- **Laadsystemen 400V+N 32A met 2 laadpunten, 22kW per laadsysteemaansluiting en 11kW per laadpunt**
- Een nulgeleider is verplicht,
- **Elke laadpaal** zal een aparte elektrische kring hebben,
- Elk laadpunt is afzonderlijk beveiligd met een C-curve stroomonderbreker die geschikt is voor de gewenste stromen en een aardlekschakelaar van 30 mA die ook beschermt tegen DC-lekkage.
- De laadpaal moet beschikken over een modem met toegankelijke simkaartslot. De simkaart wordt voorzien door Defensie en is aan te vragen bij MRC&I-I/S/T
- De laadpaal is uitgerust met een connector categorie 6A/klasse EA die bekabeling type 22AWG en 26AWG kan ontvangen. Een « Punchdown » tool mag niet gebruikt worden om de kabels te connecteren.
- De laadpaal is uitgerust met een RFID-kaartlezer
- De laadpaal beschikt over een kabelvergrendelingsmechanisme die vanop afstand kan losgekoppeld worden. Bij een stroomonderbreking dient het mechanisme automatisch te openen.
- De laadpaal moet minimaal de protocol OCPP 1.6-JSON volgen en upgradable zijn naar OCPP 2.0.1
- De laadpalen worden fysiek gelinkt tussen elkaar met utp kabels van minstens categorie 6A
- De laadpaal wordt beschermd door een beschermbeugel, geel-zwart gemarkeerd, van minstens hxb = (600x750)mm en een diameter van minstens 50mm.
- **De laadpaal staat minstens op 2m van het dichtstbijzijnde gebouw**

iii. Technische specificaties eigen aan de voorzieningen voor laadpalen

- Ondergrondse wachtbuizen van min 63mm diameter met trekkabel per laadpaal
- De wachtbuizen dienen voorzien te worden tussen het ALSB van het gebouw en de plaats van de toekomstige laadpaal.

iv. Fysieke beveiliging van de laadpaal

- Elke laadinstallatie beschikt over een fysieke bescherming om de laadpaal te beschermen. Hiervoor zijn enkele mogelijkheden toegelaten
 - o Kunststof horizontale wheelstop
 - Min hoogte 10cm
 - Min breedte 140cm
 - Min 80cm tussen de laadpaal en het centrum van de barrière
 - 1 stuk gecentreerd tov de laadpaal

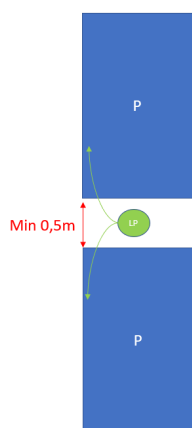
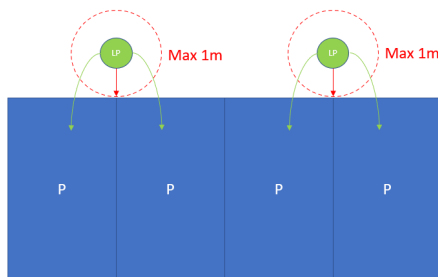


o Verticale beschermepaal

- Min impactweerstand 0.5 kJ
- Min hoogte 100cm
- Min 40cm tussen de laadpaal en het centrum van de barrière
- 2 stuks per te beschermen kant van de laadpaal

v. Bepaling van de locatie van de laadpaal of de voorzieningen voor laadpalen

- Een laadpunt mag niet meer dan 1m verwijderd zijn van de parking waarvoor hij voorzien is.
- Wanneer een laadpunt tussen 2 parkings komt te staan dan wordt er minstens 50cm ruimte geteld tussen de parkeerplaatsen om de paal te plaatsen
- Een mogelijke opstelling van de laadpaal ter illustratie van bovenstaande regels:

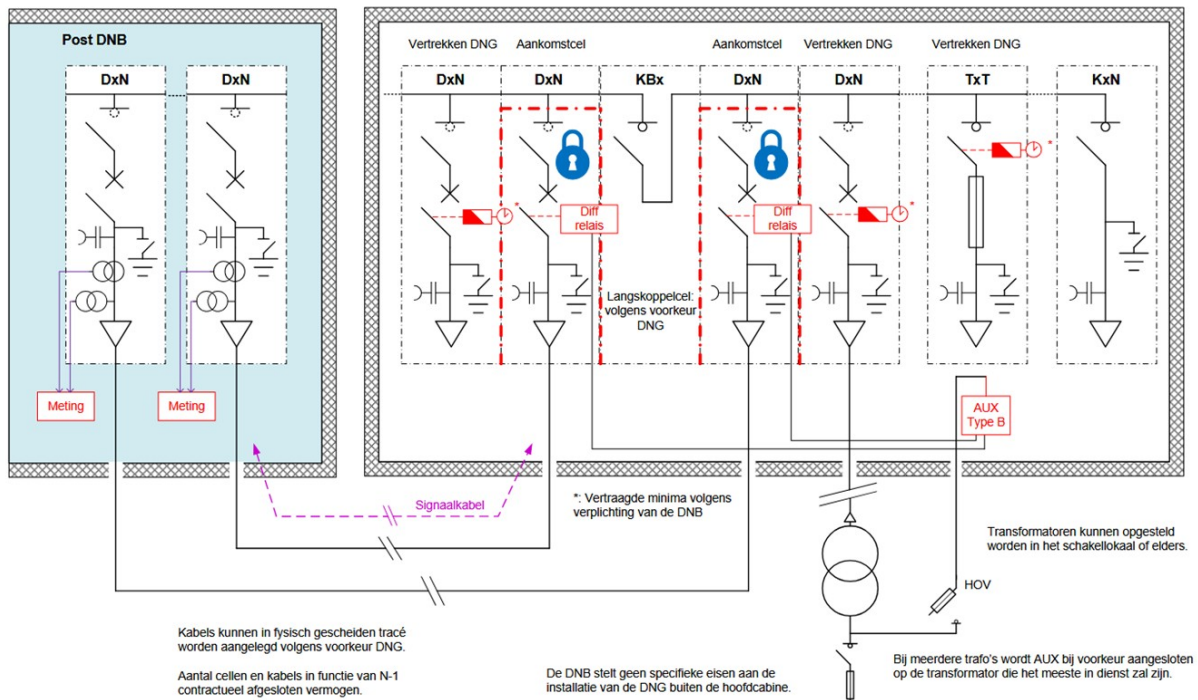


c. BIJLAGE 3: HOOGSPANNING

i. Hoofdcabine

- De plaatsing van een nieuwe hoofdcabine zal steeds besproken worden met MRC&I-I/S/T (energie@mil.be) zodat de omvang en locatie duidelijk kan afgesproken worden en compatibel is met de toekomstvisie van het kwartier.
- De installaties is steeds Synergrid conform en voorziet de mogelijkheid om hernieuwbare energiebronnen mee op aan te sluiten.
- De cabine wordt steeds voorzien van een Fiber Optic verbinding

(a) kopcabine hoog aansluitvermogen [$P > 5\text{MVA}$]



- Definitie: kopcabine voor één of meerdere interne lus(sen). Verwachte totale piekstroom groter dan 300 A (= 5,2 MVA @10kV of 7,8 MVA @ 15kV)
- Zijn rechtstreeks via een differentiaalbundel (2 a 3 driedfasige verbindingen) op MS in N-1 verbonden met een onderstation HS/MS.
- Gevoed door kabels minimum Al 3x1x400mm² (395 A permanent = 6,8 MVA @10kV of 10,2 MVA @ 15kV), maximum Al 3x1x630mm² (520A permanent = 9MVA @ 10kV / 13,5MVA @ 15kV)
- Alle aankomsten (typisch: 2, kan eventueel: 3) zijn uitgerust met een vermogensschakelaar en beveiliging d.m.v. een IED.
- Alle vermogensschakelaars van de aankomsten zijn vanop afstand bedienbaar.
- Railstel minimum 1250 A, maximum 3150 A.
- Alle schakelmateriaal en railstel minimum 17,5 kV, ongeacht het spanningsniveau DNB (10-15kV).
- Steeds voorzien voor afname en injectie en dus altijd voorzien voor decentrale productie.
- Meting op HS maar zal in onderstation gebeuren om de kabelverliezen ook te meten.
- Dataverbinding naar onderstation vragen om gebruikerspoort (A1) en/of pulsen uit te lezen.

- Alle vertrekken zijn uitgerust met een vermogensschakelaar en beveiliging d.m.v. een IED.
- De vermogensschakelaars vormen voor de lus geen single point of failure, gezien je van de andere kant zou kunnen voeden, maar deze kunnen wel uitrijdbaar zijn.
- Er kunnen meerdere vertrekken zijn, er kunnen ook meerdere lussen zijn.
- Alle vertrekken worden uitgevoerd door middel van vermogensschakelaars met beveiliging d.m.v. een indirect beveiligingsrelais.
- Per vertrek zal een maximum van 5 MVA aan opgesteld trafovermogen worden in acht genomen.
- Er zal één reserve (vermogensschakelaar of disjuncteur) cel worden voorzien. Deze is reeds uitgerust met vermogensschakelaar en beveiligingsrelais.
- Er is minstens één langskoppelcel voorzien. Deze kan minimaal dezelfde stroom voeren als het railstel.
- Lussen worden verdeeld zodat elks van de twee uiteinden van de lus bij open langskoppeling gevoed kan worden door de andere aankomstcel.
- In geval van meer dan 8 vertrekcellen (inclusief reservecellen) zal het railstel worden opgebouwd volgens een lus, door middel van toevoeging van een tweede langskoppeling. Er zal dan tevens brandcompartimentering worden voorzien tussen de 2 segmenten die gevormd worden bij open langskoppelingen.
Motivering: 8 vertrekcellen aan +/- 5 MVA trafovermogen per vertrekcel maakt reeds 40 MVA aan opgesteld trafovermogen dat bij één brand verloren kan gaan.
- Een transformator MS/LS zal in de cabine voorzien worden en dient minstens voor de hulpvoeding van alle componenten in de cabine aanwezig. Deze transformator zal steeds aan het railstel gekoppeld worden door middel van een vermogensschakelaar en beveiliging d.m.v. een indirect beveiligingsrelais, identiek aan deze gebruikt in de rest van de cabine. Motivering: dit fungeert tevens als een actieve reserve. De transformator bevindt zich in hetzelfde lokaal als de cel waarmee hij aan het railstel is gekoppeld.
- Moet voldoen aan de EU F-gas regulation (EU) 2024/573, geen gebruik van SF6.
- Moet minstens voldoen aan IAC AFLR20kA/1s volgens IEC 62271-200, om veilige operatie te verzekeren wanneer men voor het schakelmateriaal staat.
- Elke reserve cel is voorzien van een spanningsaanduiding. De stand kan worden doorgezonden.
- Er is steeds een minimumspanningsbeveiliging nodig op de vermogensschakelaars (inschakelpieken voor DNB vermijden)
- Steeds een vermogensschakelaar met:
 - o Ingestelde homopolaire beveiliging
 - o Vertraagde minima volgens verplichting DNB
- Eén LSS voor en na de VS die vrijeschakelen en aarden van VS mogelijk maakt. (kan deels via uitrijdbare VS bekomen worden)
- Beveiligingstoestellen op 110VDC met hulpvoeding en batterij met autonomie 24h.

(b) kopcabine gemiddeld aansluitvermogen [$1\text{MVA} < P < 5\text{MVA}$]

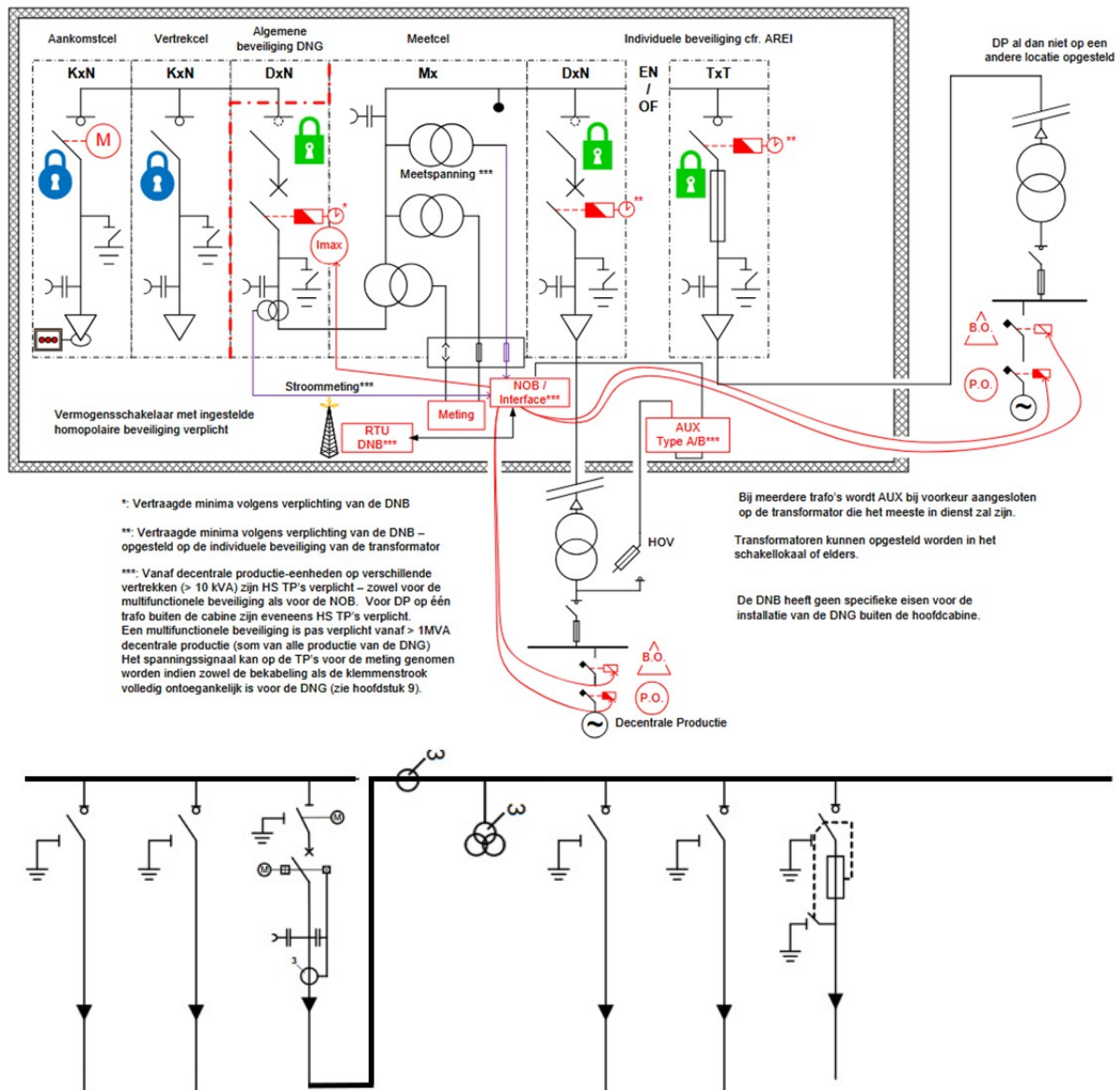


Figure 1: Voorbeeld van een kopcabine gemiddeld vermogen

- Definitie: kopcabine van één beperkte interne lus met orde grootte 5 à 10 cabines.
- Worden typisch door de DNB ingelust in een distributielus van de DNB.
- Gevoed door DNB kabels minimum $\text{Al } 3 \times 1 \times 95 \text{ mm}^2$ (190 A permanent = 3,3 MVA @10kV of 4,9 MVA @ 15kV), maximum $\text{Al } 3 \times 1 \times 240 \text{ mm}^2$ (395 A permanent = 6,8 MVA @10kV of 10,2 MVA @ 15kV)
- 2 cellen met lastscheidingsschakelaars voor DNB, gemotoriseerd en vanop afstand bedienbaar. (eis DNB)
- Railstel minimum 630 A, maximum 1250 A.
- Alle schakelmateriaal en railstel minimum 17,5 kV, ongeacht het spanningsniveau DNB (10-15kV).
- Steeds voorzien voor afname en injectie = altijd voorzien voor decentrale productie.
- Meetcel op HS, vragen om gebruikerspoort (A1) en/of pulsen uit te kunnen lezen.

- Eén vermogensschakelaar en beveiliging d.m.v. een IED.
- Vermogensschakelaar vormt een single point of failure dus deze moet ofwel eenvoudig vervangbaar zijn ofwel moet de gehele RMU
- Er kunnen meerdere vertrekken zijn, er kunnen ook meerdere lussen zijn.
- Een transformator MS/LS zal in de cabine voorzien worden en dient minstens voor de hulpvoeding van alle componenten in de cabine aanwezig. Deze transformator kan aan het railstel gekoppeld worden met behulp van een lastscheider met zekeringen. Indien er twee transformatoren aan het railstel gekoppeld worden dient men voor elks een vermogensschakelaar en beveiliging d.m.v. een indirect beveiligingsrelais te voorzien.
- Er moet één reserve transformator cel worden voorzien.
- Er kan één reserve kabelcel met lastscheidingschakelaar worden voorzien.
- Moet voldoen aan de EU F-gas regulation (EU) 2024/573, geen gebruik van SF6.
- Moet minstens voldoen aan IAC AFLR20kA/1s volgens IEC 62271-200, om veilige operatie te verzekeren wanneer men voor het schakelmateriaal staat.
- Elke kabelcel is voorzien van een digitale kortsluitverklapper. De stand kan worden doorgezonden.
- De reserve transformatorcel is voorzien van een spanningsaanduider. De stand kan worden doorgezonden.
- Steeds een minimumspanningsbeveiliging nodig op vermogensschakelaar kant net (inschakelpieken voor DNB vermijden)
- Steeds een vermogensschakelaar met:
 - o Ingestelde homopolaire beveiliging
 - o Vertraagde minima volgens verplichting DNB
- Eén LSS voor en na de VS die vrijschakelen en aarden van VS mogelijk maakt. (kan deels via uitrijdbare VS bekomen worden)
- Beveiligingstoestellen op 110VDC met hulpvoeding en batterij met autonomie 24h.

(c) kopcabine laag aansluitvermogen [$P < 1\text{MVA}$]

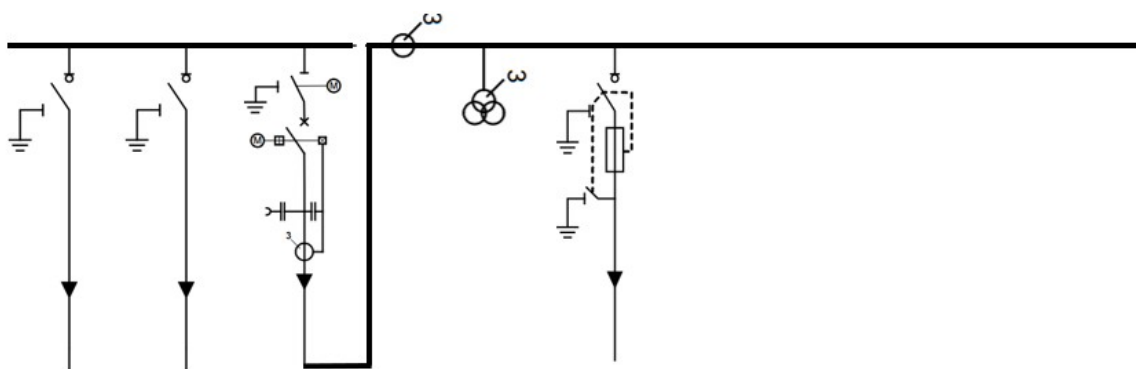


Figure 2: Voorbeeld van een kopcabine laag vermogen

- Definitie: kopcabine zonder interne lus met 1 of enkele trafo's
- Worden door de DNB ingelust in een distributielus van de DNB.

- Gevoed door DNB kabels minimum Al 3x1x95mm² (190 A permanent = 3,3 MVA @10kV of 4,9 MVA @ 15kV), maximum Al 3x1x240mm² (395 A permanent = 6,8 MVA @10kV of 10,2 MVA @ 15kV)
- Steeds voorzien voor afname en injectie = altijd voorzien voor decentrale productie.
- 2 cellen met lastscheidingsschakelaars voor DNB, gemotoriseerd en vanop afstand bedienbaar. (eis DNB)
- Railstel 630 A
- Alle schakelmateriaal en railstel minimum 17,5 kV, ongeacht het spanningsniveau DNB (10-15kV).
- Meetcel op HS, vragen om gebruikerspoort (A1) en/of pulsen uit te kunnen lezen.
- Moet voldoen aan de EU F-gas regulation (EU) 2024/573, geen gebruik van SF6.
- Moet minstens voldoen aan IAC AFLR20kA/1s volgens IEC 62271-200, om veilige operatie te verzekeren wanneer men voor het schakelmateriaal staat.
- Een transformator MS/LS zal in de cabine voorzien worden en dient minstens voor de hulpvoeding van alle componenten in de cabine aanwezig. Deze transformator kan aan het railstel gekoppeld worden met behulp van een lastscheider met zekeringen. Indien er twee transformatoren aan het railstel gekoppeld worden dient men voor elks een vermogensschakelaar en beveiliging d.m.v. een indirect beveiligingsrelais te voorzien.

ii. Secundaire cabines

- De installaties is steeds AREI conform en in de geest van Synergrid.
- De cabine voorziet de mogelijkheid om hernieuwbare energiebronnen mee op aan te sluiten.
- Secundaire cabines worden bij voorkeur uitpandig gebouwd in prefab cabines (zie hieronder).
- De belasting van een transformator wordt berekend op een 60% belasting tenzij ze geplaatst zijn voor een specifieke technische installatie (bv zonnepanelen, laadpalen, datacenter,...)
- De cabine voorziet steeds een vertrek en aankomst in hoogspanning om zich in de bestaande HS-lus te kunnen integreren.
- De cabine wordt voorzien van een fiber Optic verbinding naar het aan te sluiten gebouw.

iii. Prefab cabine

- Prefab cabine wordt steeds voorzien van een extra lege transformatorcel om uitbreidingen in de toekomst mogelijk te maken.
- De cabine wordt uitgevoerd in een RAL 6005 (mosgroen)

iv. HS-bekabeling

- De HS-bekabeling zal steeds een sectie hoger geplaatst worden dan het geplaatst transformatorvermogen in de aan te sluiten cabine.

v. Algemene technische vereisten

- De cabine voorziet steeds een vertrek en aankomst in hoogspanning om zich in de bestaande HS-lus te kunnen integreren. Met op elk vertrek een schakelaar om de cabine te kunnen isoleren.

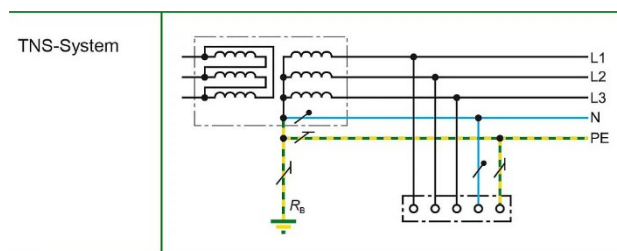
- De cabine voorziet een directionele overstroom- en afstandsbeveiliging met mogelijkheid tot communicatie (IEC 61850 protocol)

vi. Aardingsconfiguratie

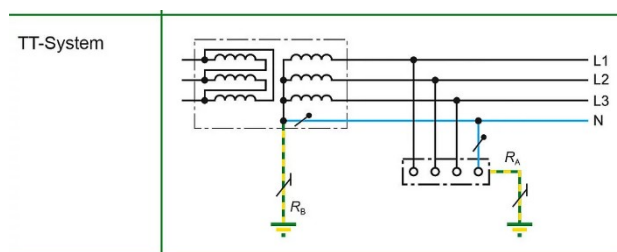
De aardingsconfiguratie zal steeds bepaald worden door het aardingstype van de dichtstbijzijnde elektrische component van de interne distributie en/of lijnt zich op met het type van de hoofdcabine.

(a) TN-S

Voorkeursoplossing voor de HS-cabines binnen Defensie indien het net zo is doorgetrokken in het kwartier.



(b) TT



vii. Technische plannen & schema's

Naast de wettelijke vereiste documenten die nodig zijn voor de keuringen of andere verplichtingen, wenst Defensie nog een bijkomende situatieschets die onderstaande elementen herneemt. Het doel van dit schema is een algemeen overzicht te bekomen van het militair kwartier.

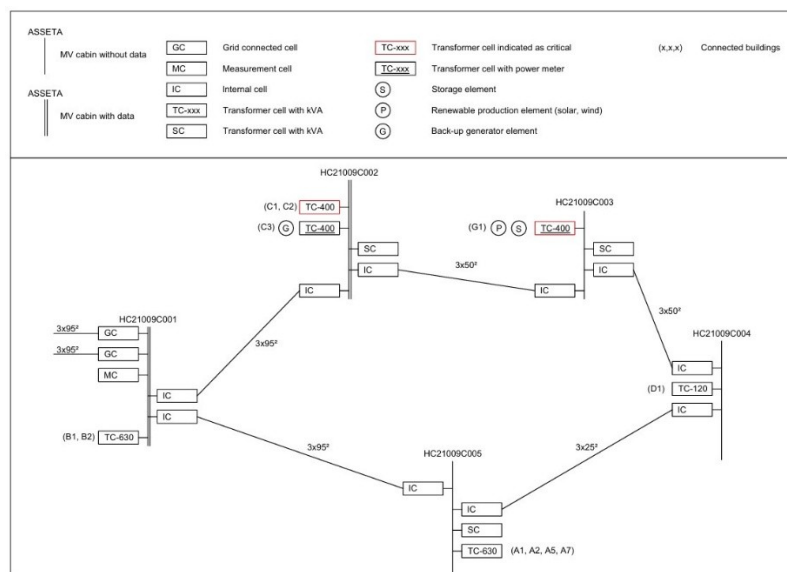
(a) Legende

- Middenspanningscabines worden voorgesteld door 1 of 2 verticale lijnen. Dit om aan te geven of ze zijn verbonden met een fiberbekabeling of niet. Verder wordt ook de ASSETA code, opgelegd door Defensie, weergegeven op de schets.
- Elke cell binnen een cabine wordt schematisch weergegeven via een rechthoek met onderstaande benamingsconventie. Bijkomende veiligheidscellen worden niet weergegeven.
 - o GC – Grid connected cell
 - o MC – Measurement cell
 - o TC – Transformer cell
 - o SC – Spare cell
 - o IC – Internal connection cell
- De Transformer cell (TC) wordt verder aangevuld met het geïnstalleerd vermogen van de transformator en wordt onderlijnd indien hij is uitgerust met een power meter.

- Back-up elements (bv. generators), storage elements (bv. UPS) en production elements (bv. solar, wind, fuel cells,...) worden weergegeven achter elke TC cell.
- Gebouwen of belangrijke installaties worden weergegeven tussen haakjes bij de bijhorende TC.
- De kabelverbindingen tussen de verschillende cabines worden gelabeld met de nodige technische informatie.

(b) Schets

- De algemene schets ziet er uit zoals op onderstaande figuur. Deze wordt aangeleverd in een exploiteerbaar formaat (e.g. .dwg) zodat aanpassingen aan het netwerk eenvoudig kunnen aangevuld worden op de schets.



d. BIJLAGE 4: TOTAL COST OF OWNERSHIP

De TCO-berekening gebeurt aan de hand van een Excel van Defensie. Deze laat toe op een objectieve en uniforme inschatting te maken van de TCO.

Over het algemeen dient de gebruiker van de Excel enkel groene velden aan te passen.

i. Tab – Base

- Deze tab bevat de vertrekgegevens voor de energieverbruiken, emissiefactoren en indexaties die verder gebruikt worden in de berekeningen.
- De gebruiker dient:
 - o De gezondheidsindex van het projectjaar kan worden ingevuld in het groene veld.

Basisgegevens Defensie (NI2)	
Basis Energieprijzen (excl. BTW)	
Referentiejaar energieprijzen	2025
Elektriciteit afname	165,29 €/MWh
Aardgas	61,98 €/MWh
Stookolie	0,09 €/MWh
Water	4,91 €/m ³
Elektriciteit injectie	- €/MWh
Parameters	
Gezondheidsindex 2025	100
Gezondheidsindex jaar project	105
Indexatie energieprijzen	2%
Indexatie onderhoudsprijs	2%
Indexatie CO ₂ prijs	2%
Actualisatievoet	2%
Energieprijzen jaar project	
Elektriciteit afname	173,55 €/MWh
Aardgas	65,08 €/MWh
Stookolie	0,95 €/MWh
Water	5,15 €/m ³
Elektriciteit injectie	- €/MWh
Omrekeningsfactoren	
CO ₂ elektriciteit grijs	0,23 ton CO ₂ /MWh
CO ₂ elektriciteit groen	- ton CO ₂ /MWh
CO ₂ aardgas	0,20 ton CO ₂ /MWh
CO ₂ stookolie	0,26 ton CO ₂ /MWh
CO ₂ prijs	50,00 € Excl BTW/ton CO ₂
calorische onderwaarde stookolie	10,03 kWh/l
Prijs kVA	100,00 € Excl BTW/kVA

Figure 3: Tab base uit TCO excel

ii. Tab – Verwarming

- Deze tab maakt de inschatting van de koel- en verwarmingsbehoefte van het project en gecombineerd met het systeemrendement van de opwekker levert deze een inschatting van het energieverbruik.
- De gebruiker dient:
 - o Een keuze te maken hoe de verwarmingsbehoefte zal bepaald worden; A – via de ingebouwde vereenvoudigde berekening, B – via de EPB software door de gebruiker, C- via een andere software van de gebruiker.
 - o Daarna dient de gebruiker de verschillende groene velden in te vullen behorende bij de geselecteerde optie.
 - o Voor optie A heeft de gebruiker ook de mogelijkheid om U-waarden en n50 op te geven. Deze worden als bindend genomen voor de verdere uitwerking van het project. In deze optie is het echter niet mogelijk om een koelbehoefte te berekenen.
- Uiteindelijk geeft het onderste vak een inschatting van het energieverbruik.

A	Via vereenvoudigde warmteverliesberekening	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
	Binnentemp [°C]	18 °C	18 °C	18 °C
	Buitentemp [°C]	-8 °C	-8 °C	-8 °C
	Oppervlakte ramen [m²]	429 m²	429 m²	429 m²
	Oppervlakte deuren [m²]	20 m²	20 m²	20 m²
	Oppervlakte schil [m²]	2031 m²	2031 m²	2031 m²
	Bruikbare vloeroppervlakte (BVO) [m²]	3075 m²	3075 m²	3075 m²
	Vloeroppervlakte tegen grond	1025 m²	1025 m²	1025 m²
	Oppervlakte dak [m²]	1025 m²	1025 m²	1025 m²
	Volume gebouw [m³]	10284 m³	10284 m³	10284 m³
	Isolatie raam	Uw = 1,50	Uw = 1,50	Uw = 1,50
	Isolatie deur	Uw = 2,00	Uw = 2,00	Uw = 2,00
	Isolatie Schil	U = 0,24	U = 0,24	U = 0,24
	Isolatie Vloer op volle grond	U = 0,24	U = 0,24	U = 0,24
	Ventilatiedebit	9720 m³/u	9720 m³/u	9720 m³/u
	η luchtgroep	0,80	0,80	0,80
	n50	1,00	1,20	1,20
	Deelfactor ventilatie	10,00	10,00	10,00
	Transmissieverlies schil [W]	12673,44	12673,44	12673,44
	Transmissieverlies vloer [W]	1968,00	1968,00	1968,00
	Transmissieverlies dak [W]	6396,00	6396,00	6396,00
	Transmissieverlies ramen [W]	11591,00	11591,00	11591,00
	Transmissieverlies deuren [W]	1040,00	1040,00	1040,00
	Infiltratieverlies [W]	9091,06	10909,27	10909,27
	Ventilatieverlies [W]	3299,60	3299,60	3299,60
	Totaal warmteverlies [W]	46059,10	47877,31	47877,31
	Warmteverlies per schiloppervlak [W]	22,68	23,57	23,57
	graaddagen (15/15)	1869,16	1869,16	1869,16
	Theoretische verwarmingsbehoefte op jaarbasis [kWh]	158977,87	165253,62	165253,62
	Inschatting energieverbruik	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
	Energiedrager	Elektriciteit	Gas	Stookolie
	Berekeningsmethodiek	A	A	A
	Theoretische verwarmingsbehoefte en koelbehoefte op jaarbasis [kWh]	158977,87	165253,62	165253,62
	Rendement systeem	400,00%	90,00%	80,00%
	Verbruik elektriciteit [kWh]	39744,47	0,00	0,00
	Verbruik gas [kWh]	0,00	183615,14	0,00
	Verbruik stookolie [kWh]	0,00	0,00	206567,03

Figure 4: Tab verwarming uit TCO excel

iii. Tab – SWW

- Deze tab maakt de inschatting van het energieverbruik van het SWW.
- De gebruiker dient:
 - o Een

SWW				
Vertrekgegevens		Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
	Vermogen SWW [kW]	40,00	40,00	40,00
	Vollasturen [uur]	450,00	450,00	450,00
	Energiebehoefte	18000,00	18000,00	18000,00
Inschatting energieverbruik		Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
	Energiedrager	Elektriciteit	Gas	Stookolie
	Rendement systeem	400%	90%	80%
	Verbruik elektriciteit [kWh]	4500	0	0
	Verbruik gas [kWh]	0	20000	0
	Verbruik stookolie [kWh]	0	0	22500

Figure 5: Tab SWW uit TCO excel

iv. Tab – TCO scen

- Deze tab maakt de achterliggende berekeningen om de TCO te bepalen
- De gebruiker dient:
 - o Geen aanpassingen aan door te voeren

		1	2	3	4	5
Energiefactuur	Energiefactuur elektriciteit	€ 7.679	€ 7.832	€ 7.989	€ 8.149	€ 8.312
	Energiefactuur aardgas	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
	Energiefactuur stookolie	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
	Energiefactuur water	€ 5	€ 5	€ 5	€ 5	€ 6
	Energiefactuur totaal	€ 7.684	€ 7.838	€ 7.994	€ 8.154	€ 8.317
Bijkomende kosten	Elektrisch vermogen	EUR Excl BTW/kVA	105	107	109	111
	CO2-uitstoot	etCOE/jaar	-	0,00	0,00	0,00
	Onderhoudskosten	EUR Excl BTW	-	-	-	-
	Totaal bijkomende kosten	EUR Excl BTW	105	107	109	111
	Totale TCO met CO2 kost		€ 1.308.784,13			

Figure 6: Tab TCO berekening uit TCO excel

v. Tab – Project

- Deze tab geeft het eindresultaat van de TCO-berekening voor de verschillende scenarios.
- De gebruiker dient:
 - o De totale kostprijs (excl BTW) in te vullen per uitvoeringsscenario
 - o Het waterverbruik kan geschat worden maar indien ongekend wordt deze op nul geplaatst.
 - o De totale elektrische vermogens die voorzien dienen te worden per uitvoeringsscenario.
 - o De onderhoudskosten, indien het Maintain-luik mee in de aanbesteding zit, kan worden aangevuld. Indien ongekend dan mag dit op nul geplaatst worden.
- Uiteindelijk geeft het onderste grijze vak een inschatting van de TCO.

Investeringskost project		Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
	Totale investeringskost [Incl BTW]	€ 650.000	€ 500.000	€ 450.000
Energiebehoeften project		Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
	Verbruik Elektriciteit [kWh/jaar]	44244,47	0,00	0,00
	Verbruik Aardgas [kWh/jaar]	0,00	203615,14	0,00
	Verbruik Stookolie [kWh/jaar]	0,00	0,00	229067,03
	Verbruik Water [m³/jaar]	1,00	1,00	1,00
	Elektrisch vermogen [kVA]	1,00	0,50	0,50
	Verwarmings- en koelbehoefte [kWh]	158977,87	165253,62	165253,62
	Verwarmingsbehoefte SWW [kWh]	18000,00	18000,00	18000,00
Onderhoudskosten project				
	Onderhoudskost per jaar [Incl BTW]	0,00	0,00	0,00
TCO				
	Total Cost of Ownership	€ 1.958.784	€ 2.446.201	€ 1.379.111

Figure 7: Tab project uit TCO excel

e. BIJLAGE 5: GEOTHERMIE

i. EED berekening

- De dimensionering van het BEO-veld wordt onderbouwd met een EED-berekening. De minimale bodemtemperatuur na 50 jaar werking bedraagt 5°C.

ii. Boringen

- De boringen worden uitgevoerd met enkelvoudige U-lus warmtewisselaars.
- Ze worden zo diep uitgevoerd als het dieptecriterium van de locatie toelaat.
- De stroming in de warmtewisselaarbuizen is turbulent, met een Reynoldsgetal tussen 4000 en 6000.
- Het warmte voerende medium is zuiver water. Het gebruik van glycol is niet toegestaan in gesloten bodemenergiesystemen, tenzij technisch aantoonbaar onvermijdelijk. In dat geval gelden bijkomende eisen inzake hydraulische scheiding, minimale concentratie, milieu-evaluatie en volledige TCO-verantwoording.
- De onderlinge afstand tussen boringen bedraagt minimaal 6 meter, bij voorkeur 8 meter.

iii. Collectorput

- De collectorput is vervaardigd uit PE-HD en structureel versterkt met een dicht patroon van geïntegreerde ribben. Deze ribben zijn monolithisch meegevormd en volgen de omtrekvorm van de put, zowel verticaal als horizontaal, met een onderlinge afstand van slechts enkele centimeters. Ze verhogen de stijfheid zodanig dat vervorming of instorting onder gronddruk of grondwaterdruk wordt voorkomen.

iv. Collector

- De collector wordt uitgevoerd in gelaste PE100-leidingen en bevindt zich bij voorkeur buiten het gebouw in een vorstvrije en toegankelijke collectorput.
- Bij een BEO-veld dat (deels) onder het gebouw ligt, mag de collector in de kelder of de technische ruimte worden geplaatst, op voorwaarde dat deze ruimte tot het beschermd volume behoort.
- De collector bevat afsluiters en debiet- en drukmeters per boring, zodanig opgesteld dat debietcontrole, onderhoud en balancerings mogelijk zijn.

v. Debietlancering per boring

- Bij installaties met twee of meer boringen worden drukonafhankelijke debietbegrenzers per boring toegepast.

vi. Materiaal van leidingen

- Voor alle leidingen in het BEO-veld, inclusief de U-lussen en de verbindingsleidingen, wordt PE100-RC toegepast.
- De verbindingen worden uitgevoerd met lasverbindingen.

vii. Leidingtracés

- De aanvoer- en retourleidingen van en naar het veld worden minimaal 1 meter onder het maaiveld geplaatst, boven de top van de U-lus.
- In deze leidingen is de stroming laminair.

viii. Invoer technische ruimte

- De aanvoerleidingen van het BEO-veld treden via de vloer binnen in de technische ruimte.
- De invoer gebeurt binnen het beschermd volume van het gebouw.
- Bij binnenkomst wordt het veld volledig afsluitbaar uitgevoerd met kraanwerk.

ix. Hydraulische koppeling

- Er wordt geen hydraulische scheiding toegepast tussen het BEO-veld en het gebouw, ook niet bij collectieve BEO-velden. Warmtewisselaars zijn niet toegelaten. De verbinding gebeurt rechtsreeks via een gesloten watercircuit.

x. UV-desinfectie van het gesloten circuit

- Ter preventie van biofilmvorming wordt een breed-spectrum UV-eenheid in bypass opgenomen op het gesloten watercircuit.
- Technologie: Breed-spectrum UV-lamp (UVC/UVB/UVA), geschikt voor periodiek gebruik.
- Bypassdebiet: Minimaal 10–20 % van het totale installatievolume per uur.
- Gebruik: De UV-lamp brandt minimum 2 uur per dag gedurende 2 maanden.
- Frequentie: Toepassing bij opstart en vervolgens om de 5 jaar, of eerder bij vaststelling van biofilmvorming.
- Monitoring: De UV-eenheid is gekoppeld aan het GBS, dat meldingen geeft bij einde levensduur van de lamp.
- Onderhoud: De lamp wordt vervangen conform de opgegeven maximale gebruiksduur (typisch 9000 bedrijfsuren).
- Gebruik: De UV-eenheid is uitsluitend bedoeld voor tijdelijke desinfectie en wordt niet continu ingeschakeld.

xi. Vacuümontluchter

- Elke gesloten BEO-circuit is voorzien van een vacuümontluchter voor de actieve verwijdering van lucht en gassen.
- De vacuümontluchter wordt geplaatst in de technische ruimte, op een locatie met permanent debiet en relatief lage druk, bijvoorbeeld op de retourleiding.
- Het toestel werkt automatisch en continu, met minimale manuele tussenkomst.

xii. Elektronische opvolging

- Het functioneren van het BEO-veld wordt elektronisch opgevolgd via het GBS. Er worden minstens twee energiemeters geplaatst, bij voorkeur drie:
- Op de leiding van het BEO-veld naar de warmtepomp.
- Op het free cooling-circuit.
- Op de aanvoer van de warmtepomp naar het verwarmingscircuit.

f. BIJLAGE 5: FICHE SMART METERING

i. Implementatiemethodiek IoTNet

Opdat een opdrachtnemer zijn toestellen (digitale meters) kan laten communiceren op het netwerk van Defensie zijn de volgende stappen te doorlopen.

- Na het doorlopen van het stappenplan voor de opstelling van het meetplan (§7) vult de opdrachtnemer de gele kolommen van het onderstaande Excel bestand in om de verschillende toestellen te laten registreren op het netwerk van Defensie.



AnnD_template_registration_of_assets.xlsx

- Het ingevulde excel-bestand wordt overgemaakt (via de leidend ambtenaar) aan mrce-energie@mil.be die de overige kolommen zal invullen en het document terug zal overmaken aan de opdrachtnemer (via de leidend ambtenaar). De toestellen moeten dus niet fysiek overgemaakt worden aan Defensie.
- Zodra de toestellen geregistreerd staan, kan de opdrachtnemer starten met de installatie en configuratie van de toestellen.

Bij problemen met de dataconnectiviteit kan er contact opgenomen worden met de lokale L1 van het kwartier (via de centrale helpdesk, telefoonnummer: 10010).

ii. Vorm en inhoud van de gegevensoverdracht

De verbruiksgegevens van de energiemeters dienen aangeleverd te worden in een Excel bestand (xls of csv) via mail (SMTP) op central-smartmetering@mil.be. Hierbij bedraagt het meetinterval maximaal 15 minuten en wordt de data elke 24 uur aangeleverd aan Defensie.

Verdere eisen met betrekking tot de vorm en de inhoud worden in de onderstaande punten besproken.

- Excel bestand
 - o Benaming Excel bestand
 - Als 1 Excel bestand meerdere meetpunten bevat
 - “NUQUA of the barracks”_”name datalogger”_”ddmmyyyy”.csv
 - o Name datalogger: identification (name) to identify which datalogger communicates (fe. Xtrend1)
 - o ddmmyyyy: date indication
 - Als 1 Excel bestand de data van 1 meetpunt bevat
 - “meetpuntbenaming”.csv
 - o Excel bestanden worden dagelijks ten laatste om 03:00:00 (GMT 00:00) doorgestuurd naar central-smartmetering@mil.be
 - o De gegevens in de csv bestanden worden gesplitst door komma's
 - o Decimalen worden aangeduid met een punt
 - o Datumstructuur: DD/MM/YY
 - o Tijdstructuur: hh:mm:ss
 - o Tijdskader: GMT+00:00
 - o Tijdsinterval: Minimum elke 15 minuten
 - o Het Excel bestand beschikt over een legende in de eerste rij om duidelijk te maken welke data er in de kolommen wordt aangeleverd:
 - Meternaam
 - Datum
 - Tijd

- Absolute waarde of verbruikswaarde
- Verbruik
- Eenheid
- SI-eenheden voor de verbruikswaarden
 - o Elektriciteit: kWh, A, cos phi
 - o Calorische waarden: kWh
 - o Stookolie: liter
 - o Water: m³
 - o Gas: m³
- Meetpuntbenaming
 - o “NUQUA”_”building”_”Type energy”_”Data Type”_”number”
 - NUQUA: identificatiecode van Defensie voor het kwartier
 - Building: identificatie voor het gebouw
 - Type energy: in functie van het type meter

Type meter	Naamgevingsconventie voor « type energy »
Koud water	ColdWater
Warm water	HotWater
Elektriciteit	Electricity
Calori	Calorimeter
Gas	Gas
Stookolie	FuelOil

- Data type:
 - “A”: absolute waarde
 - “C”: Verbruikswaarde (verschil tussen 2 meetmomenten)
- Number: getal met 2 cijfers, een volgnummer indien er bijvoorbeeld meerdere meters zijn voor hetzelfde type energie in een gebouw.
- o Voorbeeldbenamingen:

Kwartier	Gebouw	Type energie	Correcte meetpuntbenaming
Evere	5	Koud water	21006C_5_ColdWater_A_01
Evere	5	Calorimeter	21006C_5_Calorimeter_C_01
Evere	6 en 7	Calorimeter	21006C_6_7_Calorimeter_C_01
Evere	5	Warm water (gedeeltelijk)	21006C_5_HotWater_C_01
Evere	5	Warm water (gedeeltelijk)	21006C_5_HotWater_C_02

iii. Technische specificaties voor de gegevensoverdracht

Naast het ingevulde Excel registratiedocument zijn er nog andere configuratiegegevens nodig om systemen te laten werken op het netwerk van Defensie. De geel gemarkeerde

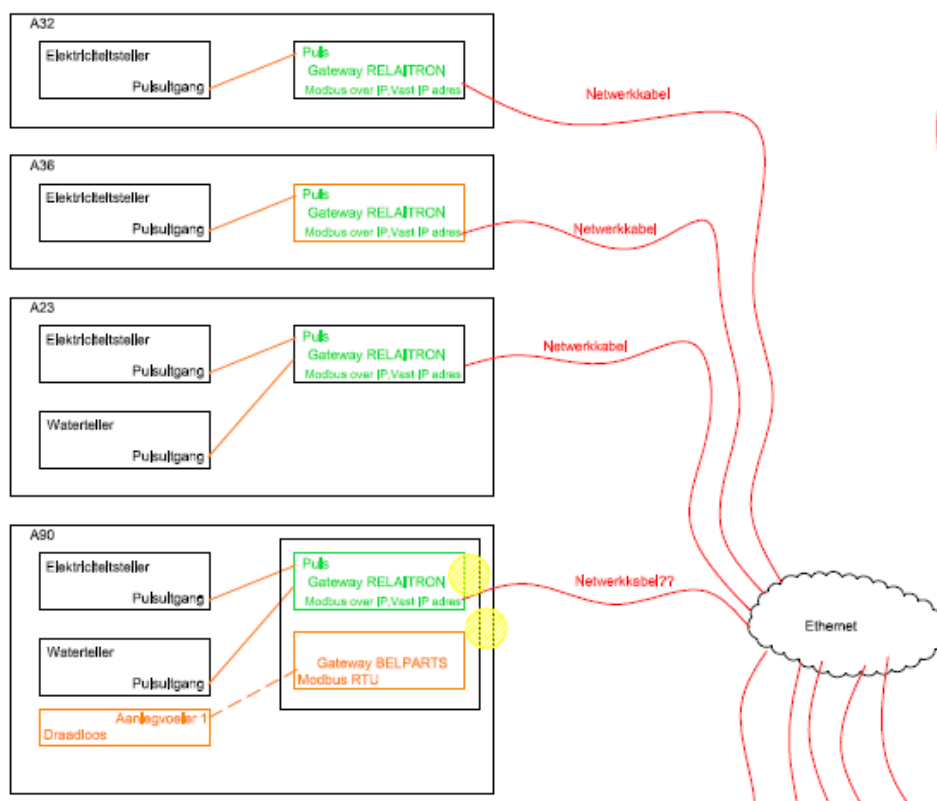
velden kunnen veranderen per kwartier en worden meegegeven door MRC&I-I/S/T aanvullend bij het Excel registratiedocument.

- Protocol: SMTP
- Server: smtpportal.idcn.mil.intra (IP : 10.8.144.37)
- Geen bijkomende authenticatie nodig
- Port: 25
- DHCP
 - o Default gateway: POC MRC&I-I/S/T omdat dit site afhankelijk is
 - o SubNet mask: 255.255.248.0
 - o DNS: 10.7.19.12
- NTP: 10.7.19.12
- Het gebruikte verzendmailadres dient minstens de NUQUA van het betrokken kwartier te bevatten
- Geen bijkomende firewalls actief op de datalogger

iv. Topologie van de werken

Na het installeren en configureren van de energieopvolging dient een “as-built” dossier uitgewerkt te worden dat minstens volgende elementen omvat en dat wordt toegevoegd aan het PID:

- Technische fiches van het geïnstalleerde materiaal
- Ingevulde registratie Excel (in exploiteerbaar formaat)
- Grafische voorstelling van de dataflow



v. Technische vereisten voor de meters

De Europese richtlijn 2014/32/EU, omgezet via het koninklijk besluit betreffende de meetinstrumenten van 15 April 2016 ([Link](#)), wordt gebruikt als ontwerpbasis voor de technische vereisten van de energiemeters.

vi. Communicatieprotocol

Bij nieuwe installaties is het belangrijk dat men in het ontwerp nadenkt over de integratie van energiemonitoring binnen het BMS. In dat geval is het te gebruiken communicatieprotocol, om de energieverbruiken op te volgen, af te stemmen op het BMS.

Bij grondige renovaties kan er, indien aanwezig, aangekoppeld worden op een bestaande datalogger (informatie op te vragen bij MRC&I-I/S/T). Als dit niet beschikbaar of mogelijk is dan dient de communicatieketen volledig voorzien te worden binnen de renovatie (installatie meter + gateway + datalogger). Bijgevolg kan het communicatieprotocol (MODBUS RTU RS485 of M-Bus) gekozen worden door de installateur.

Als de bovenstaande gevallen niet van toepassing zijn of geen eenduidig antwoord kunnen bieden, dan vraagt Defensie om te werken met MODBUS RTU (RS485) en om de volledige keten te voorzien.

g. BIJLAGE 6: OVERZICHT BODEMONDERZOEKEN

Onderstaande lijst herneemt de locaties waar Defensie reeds een bodemonderzoek heeft laten uitvoeren om de haalbaarheid van geothermische systemen in kaart te brengen. Het volledige dossier kan opgevraagd worden bij energie@mil.be (DGMRC&I-I/S/T).

Indien er een bijkomende test wordt uitgevoerd in een kwartier dat niet in de lijst staat, dan dient het volledige verslag overgemaakt worden aan energie@mil.be zodat het mee geïntegreerd kan worden in deze lijst.

Nuqua	Nom quartier	Date de départ	Température initiale du sous-sol [°C]	Longueur sonde [m]	Puissance d'injection [W]	Puissance d'injection par mètre [W/m]	k	b	λ [W.K/m]	Rb [K.m/W]
QU-25005A	BASE LCL AVI CH. ROMAN	28/03/2025	11,09	100	5247	52,47	1,212	16,3	3,44	0,079
QU-57081C	QU SAINT- JEAN	13/09/2024	14,21	100	5210	52,1	1,5	19,3	2,76	0,074

h. BIJLAGE 4: BUILDING MANAGEMENT SYSTEM

i. — Functionaliteiten van het BMS

Zie NI2 T (67.0) – 01-BMS

ii. — Wijze van communicatie

De voorkeur gaat uit naar een bekabelde verbinding met het netwerk (IoTNet¹¹) van Defensie. Hiervoor dient de inschrijver de meter gateway datalogger/BMS-Defensie flow te installeren en te configureren. Om hiervan gebruik te kunnen maken dient specifieke informatie van de toestellen die wensen te communiceren met het netwerk van Defensie, op voorhand overgemaakt worden aan Defensie om de configuratie in het IoTNet toe te laten. Zodra de configuratie door Defensie wordt uitgevoerd zal het IP-adres overgemaakt worden aan de opdrachtnemer.

Wanneer door de aard van de constructie er geen bekabelde verbinding mogelijk is, kunnen werken met draadloze alternatieven (GPRS, SigFox, LoRa...) om de dataverbinding tot stand te brengen. Dit is een uitzondering die moet goedgekeurd worden door MRC&I-I. In geval van GPRS zal Defensie de SIM-kaarten hiervoor aanleveren en in eigen beheer houden.

In beide gevallen is het belangrijk dat de data steeds eigendom van Defensie is en dataloggers of BMS steeds rechtstreeks trachten te communiceren naar Defensie

iii. — Implementatiemethodiek IoTNet

Opdat een opdrachtnemer zijn toestellen kan laten communiceren op het netwerk van Defensie zijn de volgende stappen te doorlopen voor 2 gevallen:

1. — De toestellen zijn gekend binnen de microsegmentatie (zie deel xxx)

a. —

2. — De toestellen zijn niet gekend binnen de microsegmentatie

Na het doorlopen van het stappenplan voor de opstelling van het meetplan (S7) vult de opdrachtnemer de gele kolommen van het onderstaande Excel bestand in om de verschillende toestellen te laten registreren op het netwerk van Defensie.

¹¹ IoTNet: Internet of things; virtueel gescheiden netwerk voorzien voor de communicatie van technische installaties.



AnnD_template_registration_of_assets.xlsx

~~Het ingevulde excel-bestand wordt overgemaakt (via de leidend ambtenaar) aan mrci-energie@mil.be die de overige kolommen zal invullen en het document terug zal overmaken aan de opdrachtnemer (via de leidend ambtenaar). De toestellen moeten dus niet fysiek overgemaakt worden aan Defensie. Zodra de toestellen geregistreerd staan, kan de opdrachtnemer starten met de installatie en configuratie van de toestellen.~~

~~Bij problemen met de dataconnectiviteit kan er contact opgenomen worden met de lokale L1 van het kwartier (via de centrale helpdesk, telefoonnummer: 10010).~~

~~iv. —Netwerkconfiguratie binnen het IoTNet~~