

# **Departement Industriële Wetenschappen en Technologie**

**Opleiding Master in de industriële wetenschappen: bouwkunde**

## **Berekenen en simuleren van schoring bij een gemene muur**

Eindwerk aangeboden tot het behalen van het diploma van  
Master of Science in de industriële wetenschappen: bouwkunde

door **Arnor Messelier**  
**Alan Van Laer**

o.l.v. Miquel Joseph, KHBO  
Kristof Lievens, V-Systems

Academiejaar 2011 - 2012



# **Departement Industriële Wetenschappen en Technologie**

**Opleiding Master in de industriële wetenschappen: bouwkunde**

## **Berekenen en simuleren van schoring bij een gemene muur**

Eindwerk aangeboden tot het behalen van het diploma van  
Master of Science in de industriële wetenschappen: bouwkunde

door **Arnor Messelier**  
**Alan Van Laer**

o.l.v. Miquel Joseph, KHBO  
Kristof Lievens, V-Systems

Academiejaar 2011 - 2012

## **Mededeling**

“Deze eindverhandeling was een examen. De tijdens de verdediging geformuleerde opmerkingen werden niet opgenomen.”

## **Woord vooraf**

Stut- en schoringswerken zijn in een stad als Oostende die bekend staat om zijn hoogbouw een veel voorkomend fenomeen in het straatbeeld. Onze gemeenschappelijke voorkeur lag bij een theoretisch maar toch technisch onderwerp, waardoor het onderwerp stut- en schoringswerken zeer aantrekkelijk was. Het onder de knie krijgen van het programma SCIA vormde daarin geen obstakel.

Graag hadden wij enkele personen hartelijk bedankt die een positieve bijdrage hebben geleverd bij het tot stand komen van deze thesis.

In de eerste plaats gaat onze dank uit naar onze binnenpromotor Miquel Joseph voor de goede raad en de opvolging van de thesis. Zijn inbreng was van groot belang voor de verwezenlijking van deze thesis.

Daarnaast willen wij ook onze buitenpromotor Kristof Lievens van de firma V-systems bedanken. Hij maakte steeds tijd vrij voor ons zodat wij bij hem terecht konden met onze technische vragen. Ook zorgde hij voor een pand waar de nodige proeven uitgevoerd konden worden die noodzakelijk waren voor het realiseren van onze thesis.

Guy Tournicourt, de stabiliteitsingenieur van de firma V-systems, willen wij ook bedanken. Bij hem konden wij steeds terecht met onze vragen over stabiliteitsproblemen en technische berekeningen.

Het WTCB wensen wij ook te bedanken voor de informatie die ze ons bezorgd hebben voor het vervolledigen van onze thesis.

Ook willen wij Dhr. Stef Pillaert, docent staalbouw aan het KHBO, bedanken voor het beantwoorden van vragen in verband met staalberekeningen en Dhr. Filip Dumon voor zijn bijstand tijdens het uitvoeren van de trekproeven. Vervolgens bedanken wij ook Dhr. Marc Van Thienen bij wie wij steeds mochten langskomen voor vragen in verband met metselwerk.

Tenslotte een woord van dank voor Bart Lips die een trekbank voorzien heeft zodat de proeven in het pand uitgevoerd konden worden.

Zonder al deze mensen was dit niet mogelijk geweest.

Messelier Arnor  
Van Laer Alan

Oostende, mei 2012

## **Abstract**

Stut- en schoringswerken gaan vaak gepaard met slopingswerken. Dit zijn delicate werken waar veel fout kan lopen. Het is een complexe materie waarbij met verschillende factoren rekening gehouden moet worden. De veiligheid zal een hoofdrol opeisen tijdens het uitvoeren van deze werkzaamheden. Het is daarom noodzakelijk dat een goede voorbereiding wordt opgesteld vooraleer de werken aan te vangen. Het is van zeer groot belang dat de schoring aangebracht wordt vooraleer instabiliteit van de naburige gebouwen optreedt. Vaak worden de schoren slechts aangebracht op het ogenblik dat scheuren optreden, met alle gevolgen van dien.

De doelstelling van deze thesis is het onderzoeken wat het schoren precies inhoudt en of het aanbrengen van schoren voldoende is om de stabiliteit van het gebouw te verzekeren. Voor deze thesis zullen drie types schoren behandeld worden, namelijk speldankers, schoorbalken en tripodes waarbij de verankering van deze types in een gemene muur onderzocht zal worden. Uit de bekomen resultaten kan dan een beeld gevormd worden van de veiligheidsfactoren die gebruikt wordt bij de verschillende types schoren. Voor deze thesis zal gewerkt worden met een gemene muur die een maximale hoogte heeft van 18,2 meter.

Om deze drie types te onderzoeken, zullen alle invloeden die inwerken op de gevels grondig onderzocht worden. Zo zal de invloed van de wind onderzocht worden op de gemene muur en zal ook gekeken worden of de schuinstand van de gevel een invloed zal uitoefenen. Uit onderzoek blijkt dat de windkracht de grootste invloed zal uitoefenen op de gemene muur en deze belasting werd dus steeds ingerekend op de verschillende types schoren.

Daarnaast zal onderzoek gedaan worden naar de degelijkheid van de verschillende elementen van de schoring en zullen trek- en afschuifproeven uitgevoerd worden op beton en metselwerk. Uit deze proeven werd vastgesteld dat zowel aandacht besteed moet worden aan het uitblazen en het borstelen van het boorgat vooraleer de epoxy aangebracht wordt. Meestal wordt het borstelen verwaarloosd waardoor een kleinere sterkte bekomen wordt.

Tot slot zal via het simulatieprogramma SCIA de werkelijkheid zo goed mogelijk gesimuleerd worden, zodat onderzocht kan worden hoe de gevel zich zal gedragen in verschillende omstandigheden. Uit het simulatieprogramma SCIA blijkt dat de schoringsfirma's wel degelijk veilig genoeg werken en dat de eigenschappen van de gemene muur een cruciale rol spelen bij het schoren. Een zeer goed vooronderzoek is een must vooraleer de afbraak kan plaatsvinden. Met het simulatieprogramma zal worden onderzocht of eventuele besparingen mogelijk zijn en welke vervormingen zich voordoen. De buigtrekspanningen van het metselwerk worden ook uitvoering onder de loep genomen om de veiligheid te garanderen van de constructie.

## **Abstract**

Strutting and shoring often go hand in hand with demolition works. These are delicate works where a lot can go wrong. It is a complex matter that requires taking into account multiple factors. Safety will take a leading role during the implementation of these works. It is therefore required to draw up a good preparation before commencing the works. It is of vital importance that shoring is installed before the adjacent buildings become unstable. It often happens that shores are only installed when cracks appear, with all its consequences.

This thesis seeks to examine what shoring is about exactly and whether the installation of shores suffices to ensure the stability of the building. Three types of shores (anchors, props and tripods) will be discussed by means of an examination of the anchorage of the three types in a common wall. The results obtained can provide a picture of the safety factors used for the different types of shores. In the case of the present thesis a common wall with a maximum height of 18.2 metres will be used.

All influences impacting the walls will be studied in depth so as to examine these three types. The impact of the wind on the common wall will be examined, and it will be determined whether the slope of the wall will have an impact. Research has shown that wind force will exert the greatest effect on the common wall, and this load has always been taken into account in the calculation of the different types of shores.

In addition, the soundness of the different shoring elements will be examined and tensile and shear testing will be carried out on concrete and brickwork. These tests have demonstrated that attention needs to be paid to blowing out and brushing the drill hole before the epoxy is applied. The brushing is usually neglected, resulting in a smaller strength.

Last but not least, the SCIA simulation program will simulate reality as closely as possible so that an examination can be made of the behaviour of the wall in different circumstances. The simulation program demonstrates that the shoring companies do actually operate in a sufficiently safe manner and that the characteristics of the common wall play a leading role in shoring. A thorough preliminary investigation is required prior to demolition. The simulation program will be used to examine whether savings are possible and which deformations may occur. The bending stress of the brickwork is also scrutinised so as to ensure the safety of the construction.

# Inhoudsopgave

|   |    |
|---|----|
| Woord vooraf .....  | 5  |
| Abstract .....  | 6  |
| Figurenlijst .....  | 12 |
| Tabellenlijst .....   | 16 |
| Lijst vergelijkingen .....                                    | 17 |
| Inleiding .....   | 18 |
| Hoofdstuk 1: Literatuurstudie.....                            | 21 |
| 1.1 Inleiding .....   | 21 |
| 1.2 Gemeenschappelijke muren .....                            | 24 |
| 1.3 Versteving van scheidingsmuren en vrijstaande gevels..... | 25 |
| 1.3.1 Versteving van scheidingsmuren.....                     | 25 |
| 1.3.1.1 Speldankers .....                                     | 25 |
| 1.3.1.2 Schoorbalken .....                                    | 28 |
| 1.3.1.3 Tripode .....   | 29 |
| 1.3.1.4 Buizen en koppelingen .....                           | 30 |
| 1.3.2 Versteving van vrijstaande gevels.....                  | 30 |
| 1.3.2.1 Driehoekstructuur .....                               | 31 |
| 1.3.2.2 Vakwerkstructuur .....                                | 31 |
| 1.3.2.3 Tripodes.....   | 31 |
| Hoofdstuk 2: Wind.....  | 32 |
| 2.1 Inleiding .....   | 32 |
| 2.2 Berekening Wind.....                                      | 32 |
| 2.2.1 Structurele factor $C_s C_d$ .....                      | 32 |
| 2.2.2 Referentieoppervlak $A_{ref}$ .....                     | 32 |
| 2.2.3 Referentiehoogte voor de wind .....                     | 32 |
| 2.2.4 Drukcoëfficiënten .....                                 | 34 |
| 2.2.4.1 Buitendrukcoëfficiënt $C_{pe}$ .....                  | 35 |
| 2.2.4.2 Binnendrukcoëfficiënt $C_{pi}$ .....                  | 38 |
| 2.2.5 Ruwheidcategorie van het terrein .....                  | 39 |
| 2.2.6 Dynamische piekdruk $q_p(z)$ .....                      | 39 |
| 2.2.6.1 Gemiddelde windsnelheid $v_m(z)$ .....                | 40 |
| 2.2.6.2 Ruwheidcoëfficiënt $c_r(z)$ .....                     | 40 |
| 2.2.6.3 Orografische coëfficiënt $c_0(z)$ .....               | 41 |
| 2.2.6.4 Basiswindsnelheid $v_b$ .....                         | 42 |
| 2.2.6.5 De fundamentele basiswindsnelheid $v_{b,0}$ .....     | 42 |



|  |     |
|--|-----|
| 2.2.6.6 Richtingscoëfficiënt $c_{dir}$ .....                                 | 42  |
| 2.2.6.7 Seizoenscoëfficiënt $c_{season}$ .....                               | 42  |
| 2.2.6.8 Waarschijnlijkheidscoëfficiënt $c_{prob}$ .....                      | 43  |
| 2.2.6.9 De turbulentie intensiteit $I_v(z)$ .....                            | 44  |
| 2.2.6.10 De basiswinddruk $q_b$ .....  | 46  |
| 2.2.6.11 De blootstellingcoëfficiënt $c_e(z)$ .....                          | 46  |
| 2.2.6.12 Resultaten dynamische piekdruk $q_p(z)$ .....                       | 46  |
| 2.3 Voorbeeld berekening winddruk .....                                      | 51  |
| 2.4 Verschil in winddruk op platdak en zadeldak.....                         | 57  |
| 2.5 Vergelijking resultaten van verschillende gevallen .....                 | 59  |
| 2.5.1 Conclusie uit berekeningen bij een terugkeerperiode van 1,58 jaar..... | 69  |
| Hoofdstuk 3: Speldankers.....  | 74  |
| 3.1 Verband aantal speldankers en de hoogte van de gevel .....               | 74  |
| 3.2 Controle UPN100 .....  | 75  |
| 3.2.1 Plastische weerstandscontrole.....                                     | 78  |
| 3.2.2 Maximale moment $M_{ed}$ .....   | 79  |
| 3.2.3 Kleiner profiel .....  | 79  |
| 3.2.4 Grootte windkracht die op het profiel terecht komt .....               | 80  |
| 3.3 Dywidag moer .....   | 83  |
| Hoofdstuk 4: Schoorbalken .....  | 85  |
| 4.1 Controle sterkte gelaste UPN profielen .....                             | 85  |
| 4.1.1 Berekening coëfficiënten gelaste UPN180 profielen .....                | 86  |
| 4.1.2 Weerstandscontrole.....  | 88  |
| 4.1.3 Stabiliteitscontrole .....   | 89  |
| 4.1.4 Controle op de doorbuiging .....                                       | 91  |
| 4.1.4.1 Controle doorbuiging windbelasting .....                             | 91  |
| 4.1.4.2 Controle doorbuiging eigen gewicht .....                             | 92  |
| 4.2 Maximale lengte en aantal metalen steunvoeten .....                      | 92  |
| 4.3 Hart-op-hart afstand en randafstand .....                                | 94  |
| Hoofdstuk 5: Tripode of driepuntschoor.....                                  | 97  |
| 5.1 Inleiding .....  | 97  |
| 5.2 Vakwerk driepuntschoor .....   | 97  |
| 5.3 Berekening krachten .....  | 99  |
| 5.4 Controles driepuntschoor .....   | 102 |
| 5.4.1 Weerstandscontrole.....  | 102 |
| 5.4.2 Stabiliteitscontrole .....   | 103 |
| 5.4.3 Controle op doorbuiging.....   | 106 |

|  |     |
|--|-----|
| Hoofdstuk 6: Proeven op metselwerk .....                                 | 108 |
| 6.1 Inleiding .....  | 108 |
| 6.2 Trekproeven .....  | 108 |
| 6.3 Afschuifproeven .....  | 109 |
| 6.4 Bezwijkmogelijkheden .....   | 110 |
| 6.4.1 Trekkkracht .....  | 110 |
| 6.4.2 Afschuifkracht.....  | 111 |
| 6.5 Representatieve kracht .....   | 112 |
| 6.6 Testen .....   | 112 |
| 6.6.1 Trekproeven .....  | 114 |
| 6.6.1.1 Trekproeven in beton.....  | 114 |
| 6.6.1.2 Trekproeven in metselwerk.....                                   | 115 |
| 6.6.2 Afschuifproeven .....  | 116 |
| 6.6.2.1 Verschil tussen borstelen of niet borstelen .....                | 117 |
| 6.6.2.2 Ankers in de voeg of ankers in de steen .....                    | 119 |
| 6.6.2.3 Aantal ankers die in groep geplaatst worden .....                | 121 |
| 6.6.2.4 Ankers die in een hoek worden geplaatst.....                     | 122 |
| 6.6.2.5 Grotere boordiepte .....   | 123 |
| 6.6.3 Trekproeven op de Dywidagstang en de Dywidagmoer.....              | 125 |
| Hoofdstuk 7: Vervorming van het metselwerk .....                         | 127 |
| 7.1 Inleiding .....  | 127 |
| 7.2 Grenswaarden vervorming .....  | 128 |
| 7.3 Extra krachten die inwerken bij schuinstand gevel .....              | 130 |
| Hoofdstuk 8: Simulatie SCIA .....  | 137 |
| 8.1 Inleiding .....  | 137 |
| 8.2 Vervorming zonder schoring.....                                      | 138 |
| 8.3 Speldankers .....  | 139 |
| 8.3.1 Standaard simulatie .....  | 141 |
| 8.3.2 Vermindering van één speldanker .....                              | 143 |
| 8.3.3 Speldanker in top.....   | 144 |
| 8.3.4 Twee speldankers per rij .....                                     | 146 |
| 8.3.4.1 Op 1/3 <sup>de</sup> afstand .....                               | 146 |
| 8.3.4.2 Op 3 m afstand .....   | 147 |
| 8.3.4.3 Op 2 m afstand .....   | 148 |
| 8.3.4.4 Op 1 m afstand .....   | 149 |
| 8.3.4.5 Minimale afstand voor het plaatsen van speldankers (1,5 m) ..... | 150 |
| 8.3.4.6 Conclusie .....  | 151 |

|  |     |
|--|-----|
| 8.3.5 Variërende terugkeerperiode .....                                | 152 |
| 8.3.6 Verdiepingshoogte van 3 meter in plaats van 2,6 meter .....      | 155 |
| 8.3.7 Verschillende dikte gemene muur.....                             | 157 |
| 8.3.8 Verschillende parameters metselwerk .....                        | 158 |
| 8.3.8.1 Massa-eenheid .....  | 158 |
| 8.3.8.2 E-modulus.....   | 159 |
| 8.3.9 Verschillende vlaklasten .....                                   | 160 |
| 8.3.10 Mogelijke besparing .....                                       | 162 |
| 8.3.10.1 Weglaten van één rij speldankers om de twee verdiepingen..... | 162 |
| 8.3.10.2 Afwisselend aantal speldankers (2-1-2-1-2).....               | 164 |
| Algemeen besluit.....  | 166 |
| BIJLAGE .....  | 169 |
| Bibliografie .....   | 186 |

## Figurenlijst

|  |    |
|--|----|
| Figuur 1: Speldanker .....   | 19 |
| Figuur 2: Schoorbalk.....  | 19 |
| Figuur 3: Driepuntschoor.....  | 19 |
| Figuur 4: Metselwerk .....   | 20 |
| Figuur 5: Beton .....  | 20 |
| Figuur 6: Situatie 1 (WTCB).....   | 22 |
| Figuur 7: Situatie 2 (WTCB).....   | 22 |
| Figuur 8: Situatie 3 (WTCB).....   | 22 |
| Figuur 9: Situatie 4 (WTCB).....   | 22 |
| Figuur 10: Invloedsfactoren bij bepaling van tijdelijke schoring .....             | 23 |
| Figuur 11: Zwevende gemeenschappelijke muur (WTCB) .....                           | 24 |
| Figuur 12: In verband gemeenschappelijke muur (WTCB) .....                         | 24 |
| Figuur 13: Pseudo onafhankelijke gemeenschappelijke muur (WTCB).....               | 24 |
| Figuur 14: Speldanker (Koninklijke BouwmeestersKring van West-Vlaanderen, 2005) .. | 26 |
| Figuur 15: Voorbeeld toepassing speldankers.....                                   | 27 |
| Figuur 16: Schoorbalken .....  | 29 |
| Figuur 17: Verankering in scheidingsmuur .....                                     | 29 |
| Figuur 18: Verankering in voorgevel .....  | 29 |
| Figuur 19: Tripode.....  | 30 |
| Figuur 20: Buizen en koppelingen (V-systems).....                                  | 30 |
| Figuur 21: Vakwerkstructuur (V-systems).....                                       | 31 |
| Figuur 22: Tripode (V-systems).....  | 31 |
| Figuur 23: Vlak terrein $z=0$ (WTCB, 2009).....                                    | 33 |
| Figuur 24: Hellend terrein $z=0$ (WTCB, 2009) .....                                | 33 |
| Figuur 25: $h \leq b$ (NBN, 2005) .....  | 33 |
| Figuur 26: $b < h \leq 2b$ (NBN, 2005) .....                                       | 34 |
| Figuur 27: $h > 2b$ (NBN, 2005) .....  | 34 |
| Figuur 28: Buitendrukcoëfficiënt $C_{pe}$ (NBN, 2005) .....                        | 35 |
| Figuur 29: 4 conventionele windrichtingen (WTCB, 2009) .....                       | 36 |
| Figuur 30: Gevel opsplitsen in 5 zones (WTCB, 2009) .....                          | 36 |
| Figuur 31: $e < d$ (WTCB, 2009).....   | 37 |
| Figuur 32: $e > d$ (WTCB, 2009).....   | 37 |
| Figuur 33: $e \geq 5d$ (WTCB, 2009) .....  | 37 |
| Figuur 34: Waarden $C_{pe,1}$ en $C_{pe,10}$ (NBN, 2005).....                      | 37 |
| Figuur 35: Aflezen $C_{pi}$ waarde (NBN, 2005) .....                               | 38 |
| Figuur 36: Ruwheidcoëfficiënt in functie van hoogte.....                           | 41 |
| Figuur 37: Fundamentele basiswindsnelheid (WTCB, 2011).....                        | 42 |
| Figuur 38: $C_{prob}$ in functie van terugkeerperiode .....                        | 44 |
| Figuur 39: Turbulentie intensiteit in functie van de hoogte.....                   | 45 |
| Figuur 40: Dynamische piekdruk in functie van hoogte.....                          | 49 |
| Figuur 41: Dynamische piekdruk voor een terugkeerperiode van 1,58 jaar .....       | 49 |
| Figuur 42: Dynamische piekdruk voor een terugkeerperiode van 50 jaar .....         | 50 |
| Figuur 43: Voorbeeld woning .....  | 51 |
| Figuur 44: Geval 1.....  | 52 |
| Figuur 45: Geval 2.....  | 52 |
| Figuur 46: Waarden voor de zones A en B .....                                      | 55 |
| Figuur 47: Programma Wind Interactive (WTCB) .....                                 | 57 |
| Figuur 48: Geval 1 – Platdak (WTCB).....   | 58 |

|   |     |
|---|-----|
| Figuur 49: Geval 1 – Zadeldak (WTCB) .....                            | 58  |
| Figuur 50: Geval 2 - Platdak (WTCB) .....                             | 58  |
| Figuur 51: Geval 2 – Zadeldak (WTCB) .....                            | 58  |
| Figuur 52: Hoogte h platdak en zadeldak.....                          | 59  |
| Figuur 53: Geval 1 .....  | 60  |
| Figuur 54: Geval 2.....   | 60  |
| Figuur 55: Geval 1 - variatie winddruk bij veranderende klasse .....  | 69  |
| Figuur 56: Geval 2 - variatie winddruk bij veranderende klasse .....  | 69  |
| Figuur 57: Geval 1 - variatie winddruk bij veranderende breedte ..... | 70  |
| Figuur 58: Geval 2 - variatie winddruk bij veranderende breedte ..... | 70  |
| Figuur 59: Winddruk bij geval 1 en geval 2 voor klasse 0 .....        | 71  |
| Figuur 60: Winddruk bij geval 1 en geval 2 voor klasse IV .....       | 71  |
| Figuur 61: Vergelijking terugkeerperiode 1,58 jaar en 50 jaar .....   | 72  |
| Figuur 62: Berekenen winddruk Excel programma .....                   | 73  |
| Figuur 63: Toepassing speldankers .....                               | 74  |
| Figuur 64: Maximale trekkracht ankerstang .....                       | 75  |
| Figuur 65: Gelijkmatige verdeelde belasting.....                      | 76  |
| Figuur 66: Weergave momentenlijn verdeelde belasting .....            | 76  |
| Figuur 67: Grootste kracht in het midden van het profiel .....        | 77  |
| Figuur 68: Weergave momentenlijn .....                                | 77  |
| Figuur 69: Weergave dwarskrachten .....                               | 78  |
| Figuur 70: Dywidag moer (Metaalhandel Delrue, 2006) .....             | 83  |
| Figuur 71: Spanningskromme .....                                      | 83  |
| Figuur 72: Schoorbalk (V-systems).....                                | 85  |
| Figuur 73: Aan elkaar gelaste UPN profielen.....                      | 86  |
| Figuur 74: Moment schoorbalk .....                                    | 88  |
| Figuur 75: Hart-op-hart afstand (Spit) .....                          | 94  |
| Figuur 76: Randafstand (Spit).....                                    | 95  |
| Figuur 77: Voorstelling hart-op-hart afstand en randafstand .....     | 95  |
| Figuur 78: Afmetingen profiel V-systems .....                         | 95  |
| Figuur 79: Driepuntschoor (V-systems) .....                           | 97  |
| Figuur 80: Voorstelling belasting op driepuntschoor .....             | 98  |
| Figuur 81: Opnemen krachten (V-systems).....                          | 98  |
| Figuur 82: Vakwerk driepuntschoor (V-systems) .....                   | 99  |
| Figuur 83: Voorstelling belastingen .....                             | 99  |
| Figuur 84: Voorstelling krachten.....                                 | 100 |
| Figuur 85: Snede randstaaf .....                                      | 101 |
| Figuur 86: Snede stijl.....   | 101 |
| Figuur 87: Snede diagonaal .....                                      | 102 |
| Figuur 88: Meest belaste staven .....                                 | 102 |
| Figuur 89: Zwaartepunt vakwerk .....                                  | 107 |
| Figuur 90: Dwarskrachten en normaalkrachten op een anker (Spit) ..... | 108 |
| Figuur 91: Opstelling trekproef (Bedrijfschap Afbouw, 2007).....      | 109 |
| Figuur 92: Afschuifproef (EOTA, 2010) .....                           | 109 |
| Figuur 93: Trekkracht – Staalbreuk (Spit).....                        | 110 |
| Figuur 94: Trekkracht – Betonkegelbreuk (Spit) .....                  | 110 |
| Figuur 95: Trekkracht - Uittrekken van het anker (Spit) .....         | 110 |
| Figuur 96: Trekkracht - Splijtbreuk bij uittrekken (Spit) .....       | 111 |
| Figuur 97: Afschuifkracht – Staalbreuk (Spit).....                    | 111 |
| Figuur 98: Afschuifkracht - Metselwerk achteruitbreken (Spit).....    | 111 |

|   |     |
|---|-----|
| Figuur 99: Afschuifkracht – Metselwerkrandbreuk (Spit).....                                     | 112 |
| Figuur 100: Plaatsingstijd in functie van temperatuur.....                                      | 113 |
| Figuur 101: Trektoestel .....   | 114 |
| Figuur 102: Belasting in functie van boordiepte.....  | 116 |
| Figuur 103: Weergave stangen in metselwerk .....  | 116 |
| Figuur 104: Ankergroep .....  | 116 |
| Figuur 105: Borstelen of niet borstelen in de voeg .....  | 118 |
| Figuur 106: Borstelen of niet borstelen in de steen .....                                       | 118 |
| Figuur 107: Vorming koek rond het anker.....  | 119 |
| Figuur 108: 3 ankers in groep met borstelen.....  | 119 |
| Figuur 109: 3 ankers in groep zonder borstelen.....   | 120 |
| Figuur 110: Metselwerk achteruitbreken .....  | 120 |
| Figuur 111: Hoekprofiel.....  | 122 |
| Figuur 112: Metselwerk randbreuk.....   | 123 |
| Figuur 113: Na verwijdering metselwerk .....  | 123 |
| Figuur 114: Plaatsing netje .....   | 124 |
| Figuur 115: Verschillende boordieptes.....  | 124 |
| Figuur 116: Trekcurve Dywidagstang en Dywidagmoer (KHBO, 2012) .....                            | 125 |
| Figuur 117: Trekcurve staal .....   | 126 |
| Figuur 118: Horizontale verplaatsing (Vandepitte) .....   | 128 |
| Figuur 119: Maximale vervorming verticaliteit (NBN, 1e uitgifte, november 2010) .....           | 129 |
| Figuur 120: Schuinstand metselwerk .....  | 130 |
| Figuur 121: Hoek schuinstand gevel valt niet om.....  | 130 |
| Figuur 122: Hoek schuinstand gevel valt om .....  | 130 |
| Figuur 123: Kracht F in functie van hoek $\alpha$ .....   | 132 |
| Figuur 124: Vergelijking windkracht met vervorming - 2,6 m .....                                | 133 |
| Figuur 125: Kracht F in functie van hoek $\alpha$ voor verschillende hoogtes .....              | 134 |
| Figuur 126: Vergelijking windkracht met vervorming - 10,4 m .....                               | 135 |
| Figuur 127: Vergelijking windkracht met vervorming - 18,2 m .....                               | 135 |
| Figuur 128: Steunen loodrecht op legvoegen (Van Thienen) .....                                  | 137 |
| Figuur 129: Grafiek maximale vervorming losstaande gevel.....                                   | 138 |
| Figuur 130: Verankering in vloerplaat voorgesteld door steunpunten .....                        | 139 |
| Figuur 131: Verdeling van de trekkracht voorgesteld door lijnlasten.....                        | 139 |
| Figuur 132: Voorstelling ankers .....   | 140 |
| Figuur 133: Voorstelling lijnlasten.....  | 140 |
| Figuur 134: Maximale vervorming tussen anker en lijnlast.....                                   | 141 |
| Figuur 135: Voorstelling vervorming gevel .....   | 142 |
| Figuur 136: Spanningen die optreden in het metselwerk .....                                     | 142 |
| Figuur 137: Voorstelling van resultaten in SCIA.....  | 142 |
| Figuur 138: Resultaten reactiekrachten klasse 0.....  | 143 |
| Figuur 139: Reactiekrachten min één speldanker.....   | 143 |
| Figuur 140: Vervorming gevel min één speldanker .....   | 143 |
| Figuur 141: Extra speldanker in top .....   | 145 |
| Figuur 142: Buigspanningen van metselwerk standaard simulatie.....                              | 145 |
| Figuur 143: Buigspanningen van metselwerk met één extra speldanker .....                        | 145 |
| Figuur 144: Vervorming van gevel speldankers geplaatst met 1/3 <sup>de</sup> tussenafstand..... | 146 |
| Figuur 145: Buigspanningen metselwerk speldankers met 1/3 <sup>de</sup> tussenafstand.....      | 146 |
| Figuur 146: Vervorming van gevel speldankers op 3 meter van buitenzijde .....                   | 147 |
| Figuur 147: Buigspanningen van metselwerk speldankers op 3 meter van buitenzijde.....           | 147 |
| Figuur 148: Vervorming van gevel speldankers op 2 meter van buitenzijde .....                   | 148 |

|   |     |
|---|-----|
| Figuur 149: Buigspanningen van metselwerk speldankers op 2 meter van buitenzijde.               | 148 |
| Figuur 150: Vervorming van gevel speldankers op 1 meter van buitenzijde .....                   | 149 |
| Figuur 151: Buigspanningen van metselwerk speldankers op 1 meter van buitenzijde.               | 149 |
| Figuur 152: Vervorming van gevel speldankers op 1,5 meter van buitenzijde .....                 | 150 |
| Figuur 153: Buigspanningen metselwerk speldankers 1,5 meter van buitenzijde .....               | 150 |
| Figuur 154: Overzicht plaatsing 2 speldankers per rij .....                                     | 151 |
| Figuur 155: Grafiek verschillende terugkeerperiode .....  | 153 |
| Figuur 156: Reactiekrachten bij ene terugkeerperiode van 1000 jaar klasse 0 .....               | 153 |
| Figuur 157: Buigtrekspanningen metselwerk bij terugkeerperiode 1000 jaar klasse 0..             | 154 |
| Figuur 158: Vervorming bij verdiepingshoogte van 2,6 m .....                                    | 155 |
| Figuur 159: Vervorming bij verdiepingshoogte van 3 m .....                                      | 155 |
| Figuur 160: Buigspanningen van metselwerk bij verdiepingshoogte van 2,6 m .....                 | 156 |
| Figuur 161: Buigspanningen van metselwerk bij verdiepingshoogte van 3 m .....                   | 156 |
| Figuur 162: Grafiek verschillende dikte gemene muur .....                                       | 157 |
| Figuur 163: Buigspanningen van metselwerk bij een dikte van 15 cm .....                         | 158 |
| Figuur 164: Buigspanningen van metselwerk bij een dikte van 25 cm .....                         | 158 |
| Figuur 165: Grafiek vermindering E-modulus van het metselwerk.....                              | 160 |
| Figuur 166: Winddruk onderverdeeld in twee zones .....  | 160 |
| Figuur 167: Winddruk in twee zones .....  | 161 |
| Figuur 168: Reactiekrachten van mogelijke besparing .....                                       | 162 |
| Figuur 169: Vervorming van metselwerk bij mogelijke besparing.....                              | 162 |
| Figuur 170: Buigspanningen van het metselwerk bij een mogelijke besparing .....                 | 163 |
| Figuur 171: Reactiekrachten van 2 <sup>de</sup> mogelijke besparing .....                       | 164 |
| Figuur 172: Vervorming van metselwerk bij 2 <sup>de</sup> mogelijke besparing.....              | 164 |
| Figuur 173: Buigspanningen van het metselwerk bij een 2 <sup>de</sup> mogelijke besparing ..... | 165 |
| Figuur 174: Meest belaste staven .....  | 167 |

## Tabellenlijst

|  |     |
|--|-----|
| Tabel 1: $Z_{\min}$ en $Z_0$ in functie van ruwheidcategorie.....                                    | 39  |
| Tabel 2: Ruwheidcoëfficiënt in functie van klasse en hoogte.....                                     | 41  |
| Tabel 3: Waarschijnlijkheidcoëfficiënt in functie van terugkeerperiode.....                          | 43  |
| Tabel 4: Turbulentiefactor in functie van ruwheidcategorie.....                                      | 44  |
| Tabel 5: Turbulentie intensiteit in functie van hoogte en klasse.....                                | 45  |
| Tabel 6: Dynamische piekdruk terugkeerperiode 1,58 jaar.....   | 47  |
| Tabel 7: Dynamische piekdruk terugkeerperiode 50 jaar.....   | 48  |
| Tabel 8: $Z_{\min}$ in functie van de klasse.....  | 48  |
| Tabel 9: Verband aantal speldankers en de hoogte van de gevel.....                                   | 74  |
| Tabel 10: Oppervlakte per speldanker.....  | 75  |
| Tabel 11: Winddruk voor een terugkeerperiode van 1,58 jaar.....                                      | 81  |
| Tabel 12: Winddruk voor een terugkeerperiode van 50 jaar.....  | 81  |
| Tabel 13: Maximale lengte profielen ten gevolge van de windbelasting.....                            | 93  |
| Tabel 14: Maximale lengte profielen ten gevolge van het eigen gewicht.....                           | 93  |
| Tabel 15: Aantal metalen steunvoeten.....  | 93  |
| Tabel 16: Uithardingstijd epoxy.....   | 113 |
| Tabel 17: Resultaten trekproeven in beton.....   | 114 |
| Tabel 18: Resultaten trekproeven in metselwerk.....  | 115 |
| Tabel 19: Overzicht resultaten in de voeg of in de steen.....  | 118 |
| Tabel 20: Overzicht resultaten borstelen of niet borstelen.....                                      | 120 |
| Tabel 21: Overzicht resultaten aantal ankers.....  | 121 |
| Tabel 22: Overzicht resultaten profiel in een hoek.....  | 123 |
| Tabel 23: Overzicht resultaten verschillende boordieptes.....  | 124 |
| Tabel 24: Resultaten vervorming.....   | 131 |
| Tabel 25: Krachten bij maximale schuinstand.....   | 134 |
| Tabel 26: Technische eigenschappen metselwerk.....   | 137 |
| Tabel 27: Verschil maximale vervorming tussen ankers en lijnlasten.....                              | 140 |
| Tabel 28: Maximale vervorming verschillende klassen verdieping 6.....                                | 141 |
| Tabel 29: 1 speldanker weggelaten.....   | 144 |
| Tabel 30: Verschil bij extra speldanker top.....   | 144 |
| Tabel 31: Verschil maximale vervorming tussen standaard en tussenafstand van $1/3^{\text{de}}$ ..... | 146 |
| Tabel 32: Verschil vervorming tussen standaard en 3m afstand van buitenzijde.....                    | 147 |
| Tabel 33: Verschil vervorming tussen standaard en 2m afstand van buitenzijde.....                    | 148 |
| Tabel 34: Verschil vervorming tussen standaard en 1m afstand van buitenzijde.....                    | 149 |
| Tabel 35: Verschil vervorming tussen standaard en 1,5m afstand van buitenzijde.....                  | 150 |
| Tabel 36: Verschil maximale vervorming bij een terugkeerperiode van 50 jaar.....                     | 152 |
| Tabel 37: Verschil maximale vervorming bij een terugkeerperiode van 100 jaar.....                    | 152 |
| Tabel 38: Verschil maximale vervorming bij een terugkeerperiode van 1000 jaar.....                   | 152 |
| Tabel 39: Verschil maximale vervorming bij verschillende verdiepingshoogte.....                      | 155 |
| Tabel 40: Verschil maximale vervorming met verschillende dikte gemene muur.....                      | 157 |
| Tabel 41: Verschil maximale vervorming met verschillende massa-eenheid.....                          | 159 |
| Tabel 42: Verschil maximale vervorming bij vermindering E-modulus.....                               | 159 |
| Tabel 43: Verschil tussen verschillende windzones.....   | 161 |
| Tabel 44: Verschil vervorming tussen standaard en een mogelijke besparing.....                       | 162 |
| Tabel 45: Verschil vervorming tussen standaard en $2^{\text{de}}$ mogelijke besparing.....           | 164 |



## Lijst vergelijkingen

|  |     |
|--|-----|
| Vergelijking 1: Windbelasting .....  | 32  |
| Vergelijking 2: Bepaling $C_{pe,A}$ .....  | 35  |
| Vergelijking 3: Bepaling $\mu$ .....   | 38  |
| Vergelijking 4: Dynamische piekdruk .....  | 39  |
| Vergelijking 5: Dynamische piekdruk .....  | 40  |
| Vergelijking 6: Gemiddelde windsnelheid .....                                      | 40  |
| Vergelijking 7: Ruwheidcoëfficiënt .....   | 40  |
| Vergelijking 8: Terreinfoactor .....   | 40  |
| Vergelijking 9: Basiswindsnelheid .....  | 42  |
| Vergelijking 10: Waarschijnlijkheidcoëfficiënt .....                               | 43  |
| Vergelijking 11: Turbulentie intensiteit .....                                     | 44  |
| Vergelijking 12: Basiswinddruk $q_b$ .....   | 46  |
| Vergelijking 13: Blootstellingcoëfficiënt .....                                    | 46  |
| Vergelijking 14: Bepaling moment verdeelde belasting .....                         | 76  |
| Vergelijking 15: Bepaling kracht in het midden van het profiel .....               | 77  |
| Vergelijking 16: Bepaling moment .....   | 77  |
| Vergelijking 17: Weerstand van de lijfplaat door plooiën .....                     | 78  |
| Vergelijking 18: Afschuiving in elke dwarsdoorsnede .....                          | 78  |
| Vergelijking 19: Controle van de normaalkrachten .....                             | 79  |
| Vergelijking 20: Controle moment .....   | 79  |
| Vergelijking 21: Maximale moment .....   | 79  |
| Vergelijking 22: Maximale lijnlast op profiel .....                                | 79  |
| Vergelijking 23: Methode van Steiner .....   | 86  |
| Vergelijking 24: Berekening elastisch weerstandsmoment .....                       | 87  |
| Vergelijking 25: Berekening torsieconstante .....                                  | 87  |
| Vergelijking 26: Coëfficiënt $\alpha_1$ .....                                      | 87  |
| Vergelijking 27: Coëfficiënt $D_1$ .....   | 87  |
| Vergelijking 28: Berekening welfconstante .....                                    | 88  |
| Vergelijking 29: Weerstandscontrole .....  | 88  |
| Vergelijking 30: Maximale lengte zodat net voldaan is aan weerstandscontrole ..... | 89  |
| Vergelijking 31: Stabiliteitscontrole .....  | 89  |
| Vergelijking 32: Kipslankheid .....  | 89  |
| Vergelijking 33: Kritische moment .....  | 90  |
| Vergelijking 34: Controle op doorbuiging .....                                     | 91  |
| Vergelijking 35: Weerstandscontrole .....  | 103 |
| Vergelijking 36: Buigingsknik .....  | 104 |
| Vergelijking 37: $N_{b,Rd}$ .....  | 104 |
| Vergelijking 38: Relatieve slankheid .....   | 104 |
| Vergelijking 39: Controle doorbuiging .....  | 106 |
| Vergelijking 40: Methode van Steiner .....   | 107 |
| Vergelijking 41: Berekenen maximale schuinstand .....                              | 131 |

# Inleiding

## Situering

Het gebruik van stut- en schoringswerken wordt vooral toegepast tijdens afbraakwerken zodat de stabiliteit van naastgelegen gebouwen, gemene muren, vrijstaande en/of alleenstaande gevels verzekerd kan worden. Dit gebeurt door het plaatsen van stalen structuren. Tijdens het uitvoeren van de slopingswerken en stut- en schoringswerken, kan zeer veel fout gaan. Het is dus een zeer complexe materie waarbij met verschillende factoren rekening gehouden moet worden. Bij deze werken zal veiligheid een hoofdrol opeisen. Zo is het van uiterst belang dat de schoren aangebracht worden vooraleer instabiliteit van naburige gebouwen optreedt, want de kleinste berekeningsfout kan enorme gevolgen hebben. Vaak worden de schoren slechts aangebracht op het ogenblik dat al scheuren optreden, met alle gevolgen van dien. De weersomstandigheden, met de wind als zwaarste invloed, hebben een zeer grote impact. Ook met de mogelijke schuinstand van de gevel moet rekening gehouden worden.

## Doelstelling

De doelstelling van deze thesis is het onderzoeken wat het schoren precies inhoudt en of het aanbrengen van schoren voldoende is om de stabiliteit van het gebouw te behouden. Hiervoor zullen alle invloeden die inwerken op de gevels grondig onderzocht worden. Daarnaast zal onderzoek gedaan worden naar de degelijkheid van de verschillende elementen van de schoring. Via het softwareprogramma SCIA zal de werkelijkheid zo goed mogelijk gesimuleerd worden, zodat onderzocht kan worden hoe de gevel zich zal gedragen. Voor deze thesis zal enkel de schoring onderzocht worden die toegepast wordt op gemene muren. In overleg met de firma V-systems werd beslist om drie types schoring volledig uit te werken, namelijk speldankers, schoorbalken en driepuntschoren.

Aan de hand van enkele specifieke onderzoeksvragen wordt een antwoord hiervoor geformuleerd.

- Welke verschillende technieken worden toegepast?
  - Welke zijn de meest voorkomende?
  - Beschrijving van de types en hoe gebeurt de verankering?
- Wat is de invloed van wind en de schuinstand van de gevel op de stabiliteit?
  - Is de grootte van de wind afhankelijk van de ligging?
  - Speelt de diepte en hoogte van het gebouw een rol?
  - Is de schuinstand van de gevel te verwaarlozen?
- Voldoet het materiaal dat gebruikt wordt?
  - Elastisch gebied, vervormingen, technische fiches, knik, kip, buig,...?
  - Kunnen proeven uitgevoerd worden?
- Simulatie met het softwareprogramma SCIA
  - Welke lasten worden allemaal in rekening gebracht?
  - Wat is de maximale vervorming?
  - Wordt voldaan aan de maximale buigtreksterkte?
  - Reactiekrachten?
  - Worden voldoende schoren aangebracht of teveel?

## **Methodologie**

### Literatuurstudie

Als eerste wordt onderzoek gedaan naar de verschillende types schoren die aanwezig zijn. De drie types schoring (speldankers, schoorbalken en driepuntschoren) die in deze thesis behandeld worden, worden in dit hoofdstuk uitgebreid besproken. Daarnaast zal aan ieder van deze drie types nog een apart hoofdstuk gewijd worden waarin het materiaal onderzocht zal worden. Andere mogelijke types van schoring worden enkel in de literatuurstudie kort beschreven.

### Wind

De wind ontwikkelt een zuigkracht op de muur en zal een grote invloed uitoefenen op de gevel. Bijgevolg zal dit een effect uitoefenen op de schoring. Dit zal volledig bestudeerd worden aan de hand van de windnorm EN1991-1-4. Wanneer dit alles in kaart wordt gebracht, zal de invloed van de wind op verschillende zaken bestudeerd worden. Zo wordt onderzocht wat de invloed is wanneer de breedte van de gemene muur gewijzigd wordt en wanneer de hoogte van het gebouw wijzigt. Ook zal gekeken worden of de grootte van de windkracht afhankelijk is van de ligging.

### Schuinstand

Naast de windkracht zal ook de schuinstand van de gevel een kracht veroorzaken die terecht zal komen op de schoring. In een apart hoofdstuk zal de invloed van deze schuinstand onderzocht worden zodat bepaald kan worden hoe groot deze krachten zijn en of het noodzakelijk is of deze krachten ingerekend moeten worden.

### Materiaal

Zowel aan speldankers (Figuur 1), schoorbalken (Figuur 2) en driepuntschoren (Figuur 3) wordt een apart hoofdstuk gewijd waarin het materiaal uitvoering wordt bestudeerd. Alle lasten die op het materiaal terecht komen worden hierbij ingerekend en op deze manier kan bepaald worden met welke veiligheid voor iedere type schoor gewerkt wordt.



**Figuur 1:**  
**Speldanker**



**Figuur 2: Schoorbalk**



**Figuur 3: Driepuntschoor**

## Proeven

Zodat in deze thesis ook de praktische kant aan bod komt, worden ook proeven uitgevoerd in metselwerk (Figuur 4) en in beton (Figuur 5). Hierbij worden de geplaatste ankers zowel op afschuif als op trek belast. Aan de hand van deze resultaten kan een beeld gevormd worden van de maximaal op te nemen krachten en de manier van bezwijken. Deze proeven werden uitgevoerd in een verlaten gebouw gelegen te Wenduine die ons ter beschikking werd gesteld door de firma V-systems. Bij het uitvoeren van deze proeven, was telkens iemand aanwezig van deze firma.



**Figuur 4: Metselwerk**



**Figuur 5: Beton**

## SCIA

Met het softwareprogramma SCIA is het mogelijk om constructies te modelleren en aan te passen naar voorkeur, dit kan zowel in 2D als 3D. Met dit programma zal de toepassing van speldankers gesimuleerd worden waarbij de optredende belastingen zoals de wind worden ingerekend. De wind wordt hierbij als een zuigkracht op de gevel voorgesteld. De speldankers worden voorgesteld als reactiekrachten waarna de bekomen kracht verdeeld wordt over het UPN100 profiel van 1 meter. Dit wordt in SCIA gesimuleerd als een lijnlast. Na simulatie wordt dan de maximale vervorming berekend en de maximale buigtrekspanning.

Uit de bekomen resultaten kan dan gehaald worden hoeveel schoren geplaatst dienen te worden en bijgevolg kan dit vergeleken worden met de realiteit. Hieruit kan dan bepaald worden hoe veilig gewerkt wordt.

# Hoofdstuk 1: Literatuurstudie

## 1.1 Inleiding

Stut- en schoringswerken worden vooral toegepast tijdens het uitvoeren van afbraakwerken, zodat de stabiliteit verzekerd kan worden van de naastliggende gebouwen. Om dit te verwezenlijken wordt gebruik gemaakt van stalen structuren. Dit is echter een zeer complexe materie waarbij rekening gehouden moet worden met verschillende factoren. Zo is de wind een zeer onvoorspelbare factor en kan het de schoringswerken zwaar op de proef stellen. Voor deze thesis zal enkel de schoring van gemene gevels bestudeerd worden.

Tijdens slopingswerken en stut- en schoringwerken kan dus zeer veel fout gaan. Een goede voorbereiding is een absolute noodzaak waarbij de timing van aanbrengen zeer belangrijk is. Ook gefaseerd afbreken met een uitgewerkte coördinatie tussen de verschillende aannemers is essentieel. De kleinste fout kan aanzienlijke schade veroorzaken en enorme gevolgen hebben voor aannemer, bouwheer en mens. Het is hierbij van groot belang dat de schoren aangebracht worden vooraleer de stabiliteit van het naastgelegen gebouw verbroken is. Vaak worden de schoren pas aangebracht als het gebouw al in beweging gekomen is en bijgevolg al schade is ontstaan. Het is daarom zeker aangewezen om samen te werken met ervaren deskundigen in stabiliteitswerken. Het is echter noodzakelijk om het type schoor en hoeveelheid te plaatsen schoren te bepalen in functie van de aard van het naastgelegen gebouw en van de uit te voeren werken.

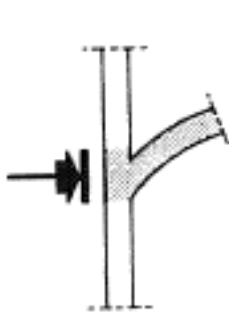
Wanneer een schoor geplaatst moet worden, dan moet rekening gehouden worden met de verwachte beweging die zal optreden. Wanneer de werken een risico kunnen veroorzaken, dan moet de schoor zo dicht mogelijk geplaatst worden op de plaats waar dit risico zich kan voordoen. Indien de schoor een algemene beweging dient op te vangen, dan kan de plaatst van de schoor bepaald worden door met de grootste hefboomsarm rekening te houden. Ook moet steeds gezorgd worden dat de constructiedelen de optredende belastingen kunnen opvangen. De schoren zullen dus steunen op de vloerplaten of de dwarsmuren. Zoals hierboven reeds werd vermeld, dienen ze dus aangebracht te worden voor de stabiliteit van de naastgelegen gebouwen, gemene muur en/of alleenstaande muur in het gedrang komt.

Stut- en schoringswerken hebben dus als doel om de stabiliteit van het naastgelegen gebouw te verzekeren gedurende de periode van de afbraak totdat de krachten kunnen opgenomen worden door het nieuwe gebouw. Het bepalen van de afmetingen, het tijdstip wanneer ze aangebracht moeten worden en het type schoring wordt het best overgelaten aan gespecialiseerd bedrijven of studiebureaus.

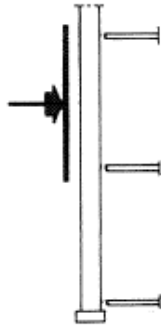
(Koninklijke BouwmeestersKring van West-Vlaanderen, 2005)

In volgende situaties is het noodzakelijk om tijdelijke schoringen aan te brengen:

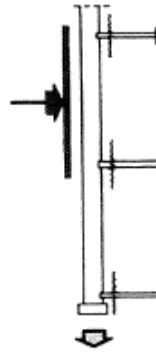
- Om horizontale krachten op te nemen die het gevolg zijn van nevenwerkingen. Als voorbeeld hiervoor kunnen keldergewelven aangehaald worden. (Figuur 6)
- Bij een gemeenschappelijke muur die zwevend is. (Figuur 7)
- Het zwevend worden van een gemeenschappelijke muur door het optreden van zettingen. (Figuur 8)
- Wanneer bij een gemeenschappelijke muur een verzwakking aanwezig is. (Figuur 9)



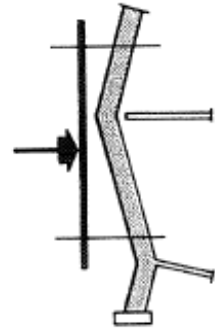
**Figuur 6: Situatie 1 (WTCB)**



**Figuur 7: Situatie 2 (WTCB)**

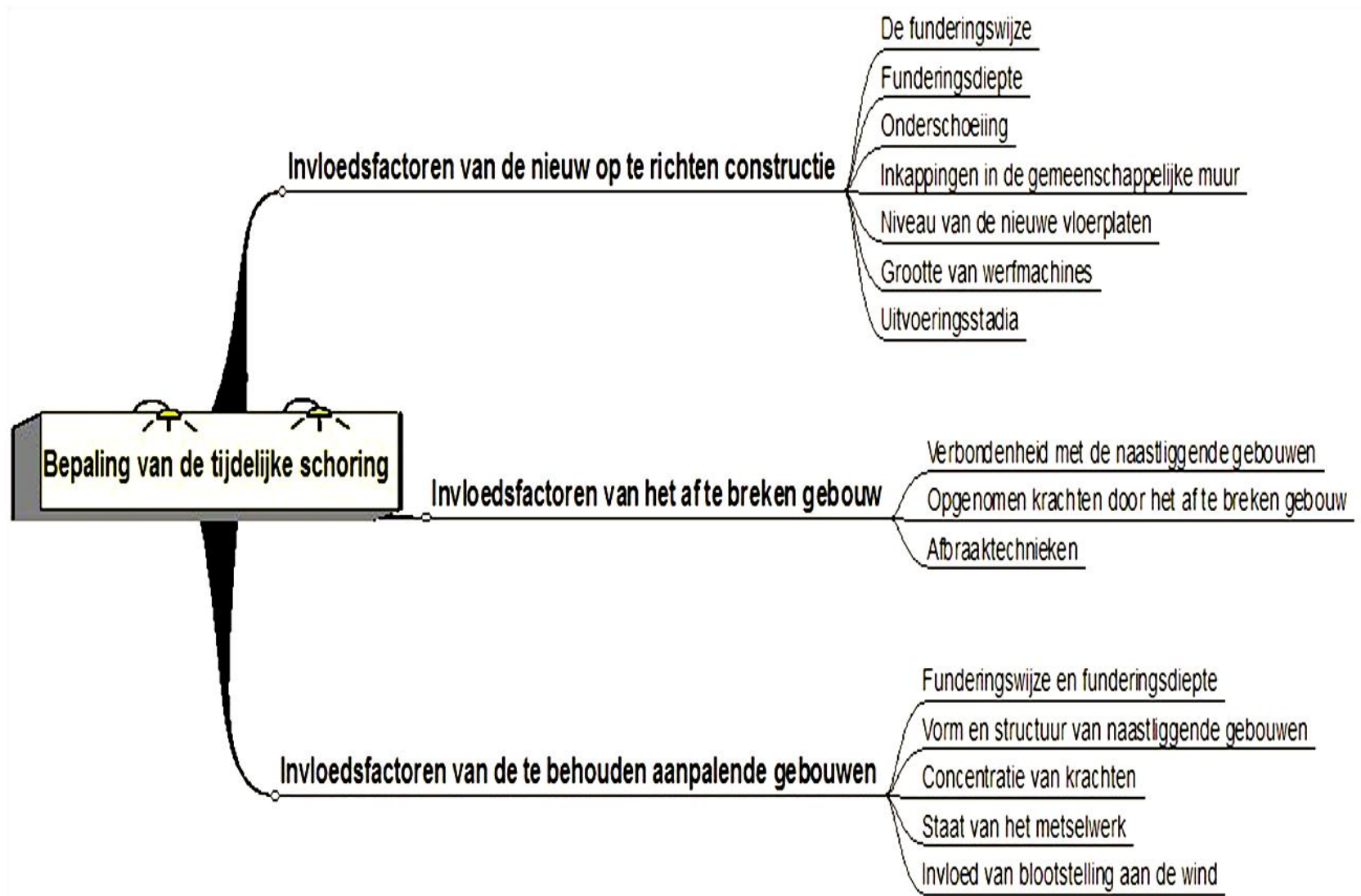


**Figuur 8: Situatie 3 (WTCB)**



**Figuur 9: Situatie 4 (WTCB)**

De keuze van tijdelijke schoring bij de afbraak van een gebouw die bevestigd is aan andere naastgelegen gebouwen die behouden moeten worden, noodzaakt het voorafgaan van drie belangrijke invloedsfactoren (Figuur 10):



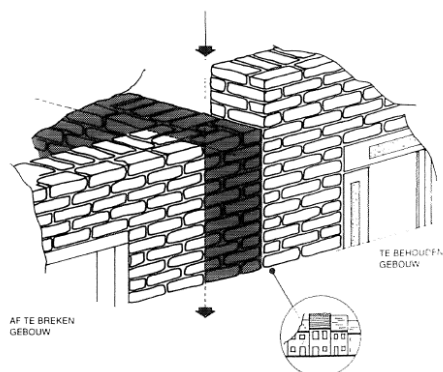
**Figuur 10: Invloedsfactoren bij bepaling van tijdelijke schoring**

## 1.2 Gemeenschappelijke muren

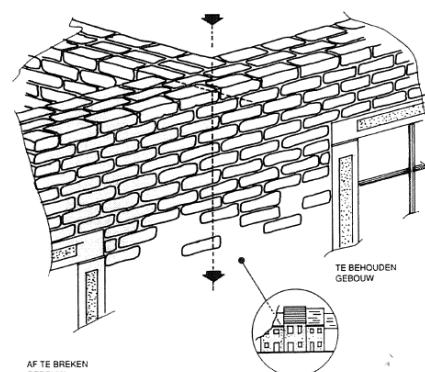
Niet alle gemeenschappelijke muren zijn gelijkaardig en daarvoor wordt een onderscheid gemaakt rekening houdend met de staat, dikte, aard,... van de muren. Het is mogelijk om een onderscheid te maken tussen drie gemeenschappelijke muren:

- Zwevende gemeenschappelijke muur: Bij deze muur wordt de verticale belasting opgenomen door een gemeenschappelijke fundering van enerzijds het gebouw dat behouden blijft en anderzijds van het gebouw dat afgebroken wordt. Daarnaast is het metselwerk niet in verband geplaatst met de dwarsmuren en met de voor- en achtergevel van het gebouw dat behouden blijft. (Figuur 11)
- In verband gemetselde gemeenschappelijke muur: Net zoals bij de zwevende gemeenschappelijke muur wordt de verticale belasting opgenomen door een gemeenschappelijke fundering, maar hierbij wordt het metselwerk wel in verband geplaatst. (Figuur 12)
- Pseudo onafhankelijke gemeenschappelijke muur: Bij deze muur wordt de verticale belasting opgenomen door een dragende structuur en waarbij de horizontale stabiliteit van de muur gewaarborgd is. Echter kan dit type niet meer als een gemeenschappelijke muur beschouwd worden omdat deze muur volledig op het naastgelegen perceel gelegen is. (Figuur 13)

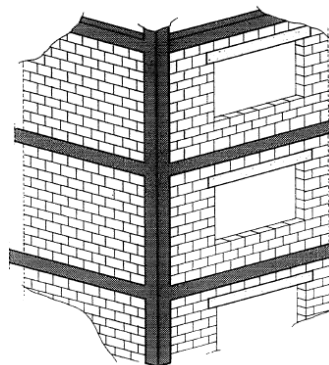
(WTCB, N – 15. Afbraakwerken, tijdelijke schoring van een aangrenzend gebouw tijdens afbraakwerken, gemeenschappelijke muren - speldverankering (FV 1993, B).pdf)



**Figuur 11: Zwevende gemeenschappelijke muur (WTCB)**



**Figuur 12: In verband gemetselde gemeenschappelijke muur (WTCB)**



**Figuur 13: Pseudo onafhankelijke gemeenschappelijke muur (WTCB)**



Vooraleer de schoring wordt uitgevoerd, dient ter plaatse een onderzoek uitgevoerd te worden. Na overleg met de aannemer, ingenieur, architect en eventueel een controlebureau of studiebureau dient dan een beslissing genomen te worden of een schoring noodzakelijk is en indien dit het geval is, welk type schoring gebruikt zal worden. In 1.3 Versteving van scheidingsmuren en vrijstaande gevels worden de verschillende types schoring verder besproken.

### **1.3 Versteving van scheidingsmuren en vrijstaande gevels**

Naast de stabiliteit van naastliggende gebouwen te verzekeren, kunnen stut- en schoringswerken ook dienst doen als het stabiel houden van een geklasseerde voorgevel om het verleden in ere te houden. De schoringswerken kunnen onderverdeeld worden in twee grote groepen:

- Versteving van scheidingsmuren
- Versteving van vrijstaande gevels

#### **1.3.1 Versteving van scheidingsmuren**

Wanneer een gebouw gesloopt moet worden van een naastgelegen gebouw, dan moeten de scheidingsmuren verstevigd worden. Tegenwoordig is dit een alom bekend beeld in verschillende steden. Indien de vrijgekomen scheidingsmuur niet verstevigd wordt, dan kan dit dramatische gevolgen hebben. Voorbeelden hiervan zijn scheuren of het volledig loskomen van de gemene muur.

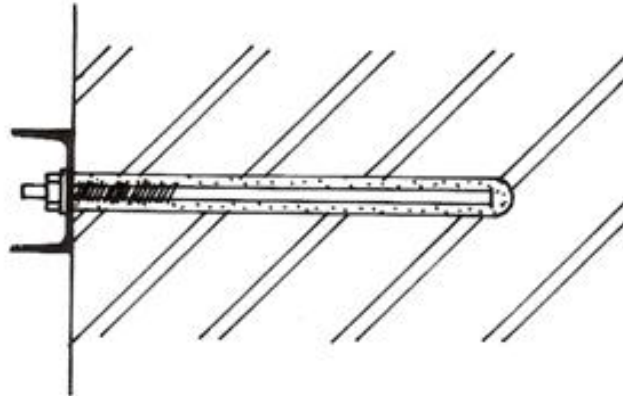
Het is daarom zeer belangrijk om voor het aanvangen van de afbraakwerken een onderzoek te doen naar de bouwfases van beide gebouwen en de keuze van de schoring hierop af te stellen. Volgende vier technieken worden toegepast om scheidingsmuren te verstevigen:

##### **1.3.1.1 Speldankers**

Met behulp van speldankers kan een losstaand metselwerk vastgemaakt worden aan de naburige constructie en wordt toegepast wanneer de gemeenschappelijke muur voldoende sterk is. Bij dit type schoor wordt de draadstang chemisch verankerd in de vloerplaat van een bestaand gebouw en de plaats van de gaten wordt met zeer grote zorg bepaald. Een verkeerde boring kan namelijk grote schade veroorzaken. Aan het zichtbare uiteinde wordt dan een UPN profiel bevestigd die zorgt voor de verdeling van de krachten. De lengte van dit UPN profiel is ongeveer 1 meter. In het merendeel van de gevallen wordt gebruik gemaakt van een UPN100. Het toepassen van speldankers is niet mogelijk wanneer een lichte dwarsmuur of houten vloer aanwezig is. Daarnaast heeft dit type van schoring als voordeel dat de laterale druk van de gevel voor een deel opgenomen kan worden bij funderingswerken. De afstand tussen de speldverankeringen mag maximaal drie à vier meter bedragen. Bij grotere tussenafstanden wordt gebruik gemaakt van een doorlopende verankering. Ook wanneer onvoldoende weerstand van het metselwerk aanwezig is, zal gebruik gemaakt worden van doorlopende verankering, zelfs bij kleine tussenafstanden van de speldankers.

Nadat het boorgat uitgeblazen en geborsteld is, zijn twee mogelijkheden aanwezig om de epoxy aan te brengen. Wanneer het boorgat niet al te diep is, kan de epoxy rechtstreeks in het boorgat aangebracht worden. Bij grotere dieptes wordt gebruik gemaakt van een netje waarin de epoxy wordt aangebracht. Vervolgens wordt dit netje dan in het boorgat bevestigd. Op deze manier is de epoxy over de volledige diepte aangebracht. Vervolgens wordt de draadstang in het boorgat geduwd waardoor de overtollige epoxy naar buiten

wordt geduwd. Nadat de epoxy verhard is, wordt het UPN profiel op de draadstang bevestigd met een moer. Voor het uitvoeren van deze verankeringen moet een voldoende stevige massa aanwezig zijn. Deze massa is noodzakelijk om de bouten te kunnen vastzetten. Bij metselwerk kan het soms gebeuren dat deze massa niet aanwezig is.



**Figuur 14: Speldanker (Koninklijke BouwmeestersKring van West-Vlaanderen, 2005)**

Met deze schoringsmethode is het wel niet mogelijk om alle problemen van horizontale instabiliteit op te lossen, want zo kan de spatkracht van een gewelf niet opgevangen worden met deze verankering. Bijgevolg is het dus zeer belangrijk dat nagegaan wordt of de structuur deze krachten kan opnemen tijdens de verankering.

Procedure bij het plaatsen:

- 1) Controle van de staat van de scheidingsmuren en van de dwars- en gevelmuren
- 2) Opstellen verankeringplan:
  - Bepalen van de draadstangdiameter
  - Bepalen van de verankeringlengte
  - Bepalen van de boordiameter
  - Keuze van het metaalprofiel (meestal wordt een UPN100 gebruikt met een lengte van 1 meter)
  - Aanduiden van de plaats waar de verankering moet plaatsvinden
- 3) Wanneer de ankerpunten op de muur werden aangeduid, worden de gaten tot op de gewenste diepte uitgevoerd
- 4) Vervolgens moet het boorgat zorgvuldig gereinigd worden. Eerst wordt het stof uit het boorgat met een handpomp uitgeblazen. Daarna wordt het boorgat met een borstel gereinigd en wordt nogmaals met een handpomp het stof uit het boorgat geblazen. Iedere stap van het reinigen wordt minstens vier keer uitgevoerd.
- 5) In de volgende fase wordt de epoxy in het boorgat aangebracht. Het boorgat moet over de volledige lengte met epoxy gevuld zijn.
- 6) Met een schroefbeweging wordt de draadstang in het boorgat gebracht en dit gebeurt tot de gewenste diepte bereikt is.
- 7) Het metaalprofiel wordt geplaatst nadat de epoxy is uitgehard
- 8) Opspannen van de moer
- 9) Nadat de speldverankering is bevestigd, kunnen de afbraakwerken voortgezet worden

### Voordelen:

- Weinig plaatshinder op de werf
- De metaalprofielen zijn herbruikbaar
- De draadstang komt onder voorspanning en elke muurbeweging wordt op deze manier verhinderd

### Nadelen:

- Doordat de epoxy zeer temperatuursgevoelig is, moet zeker rekening gehouden worden met de verhardingstijd van de epoxy
- De beschadigingsrisico's voor het gebouw mogen niet verwaarloosd worden wanneer gebruik gemaakt wordt van speldankers
- Het is een speciale techniek die uitgevoerd moet worden door gespecialiseerde firma's
- De techniek van speldankers kan niet toegepast worden in metselwerk die bestaat uit niet volle stenen

### Bijzondere voorzorgsmaatregelen:

- Het boorgat moet zeer goed gereinigd worden vooraleer het gevuld wordt met de epoxy, want anders is onvoldoende hechting aanwezig
- Niet tegen de draadstang stoten tijdens het verharden van de epoxy. Indien dit toch gebeurt, kan de mechanische verbinding verbroken worden
- De bouten moeten bereikbaar zijn om het aanspannen van de moeren mogelijk te maken na verharding van de epoxy

(WTCB, N – 15. Afbraakwerken, tijdelijke schoring van een aangrenzend gebouw tijdens afbraakwerken, gemeenschappelijke muren - speldverankering (FV 1993, B).pdf)



**Figuur 15: Voorbeeld toepassing speldankers**

### **1.3.1.2 Schoorbalken**

Dit is een doorlopende verankering die bestaat uit twee gelaste UPN profielen die in minimum twee punten verankerd zijn. De firma V-systems maakt hoofdzakelijk gebruik van UPN180 en UPN200 profielen en voor de thesis zullen deze dan ook onderzocht worden. Deze profielen rusten op metalen steunvoeten om de doorbuiging van de schoorbalk te vermijden. De verankering gebeurt in de scheidingsmuur zelf (zie Figuur 17) of in de voor- en achtergevel (zie Figuur 18), dit systeem wordt gebruikt wanneer speldankers onvoldoende verankerd kunnen worden. Dit is het geval wanneer de afstand tussen verankeringspunten meer dan 4 meter bedraagt en is veel voorkomend wanneer de gemene muur niet in verband is gemetseld. Wanneer naastliggende gebouwen uit houten rousteringen zijn opgebouwd worden ook schoorbalken toegepast. De krachten die worden verwezenlijkt bij het verankeren in de voorgevel worden op afschuif belast.

De UPN profielen worden dus aan elkaar gelast en op deze manier wordt een H-profiel gevormd. De reden waarom voor twee aan elkaar gelaste UPN profielen gekozen wordt in plaats van een H-profiel is omdat steeds voldoende plaats aanwezig moet zijn om de draadstang te kunnen plaatsen van het chemisch anker. Het traagheidsmoment rond de sterke as van twee aan elkaar gelaste UPN profielen kan wel vergeleken worden met het traagheidsmoment van het overeenkomstige HEA profiel, maar het gewicht van het gelaste UPN profiel is veel lichter waardoor het UPN profiel voordeliger zal zijn.

#### Voordelen:

- Weinig plaatshinder op de werf
- De metaalprofielen zijn herbruikbaar
- Bij vloeren van het aanpalende gebouw die bestaan uit houten roostering is het wel mogelijk om schoorbalken te voorzien, wat niet het geval was bij speldankers omdat geen beton aanwezig is om de draadstang chemisch te verankeren

#### Nadelen:

- Doordat de epoxy zeer temperatuursgevoelig is, moet zeker rekening gehouden worden met de verhardingstijd van de epoxy
- Het is een speciale techniek die uitgevoerd moet worden door gespecialiseerde firma's



**Figuur 16: Schoorbalken**



**Figuur 17: Verankering in scheidingsmuur**



**Figuur 18: Verankering in voorgevel**

### 1.3.1.3 Tripode

Deze techniek kan toegepast worden om twee tegenover elkaar staande zwevende scheidingsgevels samen te verstevigen. Op deze manier is het mogelijk om de zuigkrachten die aanwezig zijn op de muren als drukkrachten over te brengen door de tripode naar de overstaande gevel. Het is noodzakelijk dat de vloerniveaus van de twee gebouwen op gelijke hoogte liggen zodat de tripode horizontaal geplaatst kan worden ter hoogte van de vloerplaten. Tripodes worden gedimensioneerd op 10, 30 of 90 ton zodat de druk- en trekkrachten opvangen kunnen worden om het uitknikken van gebouwen te vermijden. Daarnaast zijn de tripodes ook vlot in lengte uitbreidbaar. Om de krachten op te kunnen vangen, moeten deze verdeeld worden over een voldoende groot oppervlak. Dit kan gebeuren door de schoren aan te spannen op metalen profielen of houten balken die op de muur worden bevestigd. Hierbij zorgt de verdeling dat de schoren niet door de muur worden geduwd.

(Koninklijke BouwmeestersKring van West-Vlaanderen, 2005)

#### Voordelen:

- Snelle plaatsing
- Beperkt het risico van beschadiging van de gemeenschappelijke muur tegenover de spelverankering die boringen vereist

### Nadelen:

- Neemt zeer veel ruimte in en is hinderlijk voor de werf
- Ruimtelijke hinder voor derden en onesthetisch uitzicht



**Figuur 19: Tripode**

#### **1.3.1.4 Buizen en koppelingen**

Deze techniek wordt gebruikt wanneer de overspanning tussen twee gemeenschappelijke muren zeer groot. Daarnaast is het verschil in hoogte tussen de vloerniveaus zeer groot waardoor het niet mogelijk is om gebruik te maken van tripodes.



**Figuur 20: Buizen en koppelingen (V-systems)**

#### **1.3.2 Versteving van vrijstaande gevels**

De tweede grote groep van muurverstevingen is het verstevigen van vrijstaande gevels. Wanneer beslist wordt om enkel de buitengevel te behouden en de rest van het gebouw te slopen, dan is een zeer nauwkeurige muurversteving van essentieel belang om de stabiliteit te verzekeren.



Om dit te realiseren wordt de buitenwand tussen twee elementen gespannen en aan de binnenkant wordt een UPN profiel bevestigd die vervolgens verbonden wordt via draadstangen doorheen de muren of door de ramen aan een vakwerk met ballast aan de buitenkant. Verscheidende technieken kunnen aangewend worden om de vrijstaande gevels te verstevigen.

#### **1.3.2.1 Driehoekstructuur**

Deze structuur komt op de straat terecht voor de gevel met onderaan voorzien van ballast. De eerder vermelde muurversteving wordt verankerd aan deze structuur zodat vrijstaande gevels stabiel blijven, de structuur moet voldoende hoogte hebben met een grote hefboomsarm ten opzichte van het draaipunt om het moment op te nemen. De driehoekstructuur vangt de winddruk op en moet optredende vervormingen beperken.

#### **1.3.2.2 Vakwerkstructuur**

Wanneer onvoldoende plaats is voor een driehoekstructuur kan gebruik gemaakt worden van een vakwerkstructuur. Deze structuur werkt volgens hetzelfde principe maar neemt minder plaats in beslag.



**Figuur 21: Vakwerkstructuur (V-systems)**

#### **1.3.2.3 Tripodes**

Naast het horizontaal plaatsen van tripodes bij versterking van scheidingsmuren, kan ook deze diagonaal of verticaal geplaatst worden zodat de krachten overgebracht kunnen worden naar de grond of ballasten die onderaan geplaatst worden. Het nadeel is wel dat deze techniek veel ruimte nodig heeft.



**Figuur 22: Tripode (V-systems)**

## Hoofdstuk 2: Wind

### 2.1 Inleiding

De norm NBN EN 1991-1-4, ook wel de Eurocode Wind genoemd, werd in 2005 gepubliceerd door het NBN en is de norm die gebruikt wordt voor de berekening van de windbelastingen op gebouwen. De vroegere Belgische norm en de Europese voornorm mogen niet meer gebruikt worden sinds de publicatie van de Nationale Bijlage (ANB). De bekrachtiging van deze Nationale Bijlage vond plaats op 23 december 2010. Voor deze thesis zal dan ook gebruik gemaakt worden van de NBN EN 1991-1-4 voor de bepaling van de windkrachten op de gevel.

### 2.2 Berekening Wind

Volgens de norm wordt de windbelasting met volgende formule berekend:

#### Vergelijking 1: Windbelasting

$$F_W = C_s C_d * C_{p,net} * q_p(z_e) * A_{ref}$$

Hierbij is:

- $C_s C_d$  = de structurele factor [-]
- $C_{p,net}$  = de drukcoëfficiënt [-]
- $q_p(z_e)$  = de dynamische piekdruk op een bepaalde hoogte  $z$  [ $N/m^2$ ]
- $A_{ref}$  = het referentieoppervlak [ $m^2$ ]

#### 2.2.1 Structurele factor $C_s C_d$

Deze factor kan vergeleken worden met de dynamische coëfficiënt  $C_d$  uit de vroegere norm NBN B 03-002. Zo mag deze factor voor gebouwen die kleiner zijn dan 15 meter gelijk gesteld worden aan 1. Indien hier niet aan voldaan is, moet deze factor volgens Bijlage B van de Eurocode berekend worden. Om zeker veilig te werken zal voor het verdere verloop van de thesis deze factor gelijk gesteld worden aan 1.

#### 2.2.2 Referentieoppervlak $A_{ref}$

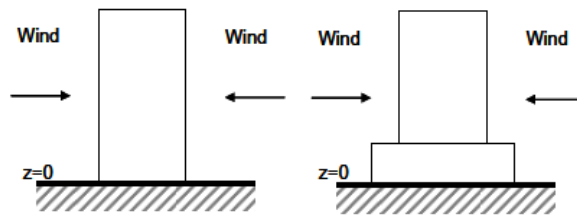
Dit is de oppervlakte waarop de drukcoëfficiënt  $C_{p,net}$  zal inwerken. De waarde van  $A_{ref}$  is wel niet dezelfde als die van het belaste oppervlak  $A$ , want het oppervlak  $A$  zal gebruikt worden om de uitwendige drukcoëfficiënten te berekenen. In het verdere verloop van deze thesis zullen deze coëfficiënten uitgebreid besproken worden.

#### 2.2.3 Referentiehoogte voor de wind

De referentiehoogte  $z_e$  voor de wind wordt gevonden door het verschil te nemen van het hoog referentieniveau en het laag referentieniveau. Meestal wordt gewerkt met  $z=0$  als laag referentieniveau. In het merendeel van de gevallen valt het referentieniveau  $z=0$  samen met de voet van het gebouw. In bijzondere gevallen kan het gebeuren dat het niveau  $z=0$  over hoogte  $h_{dis}$  verplaatst wordt.

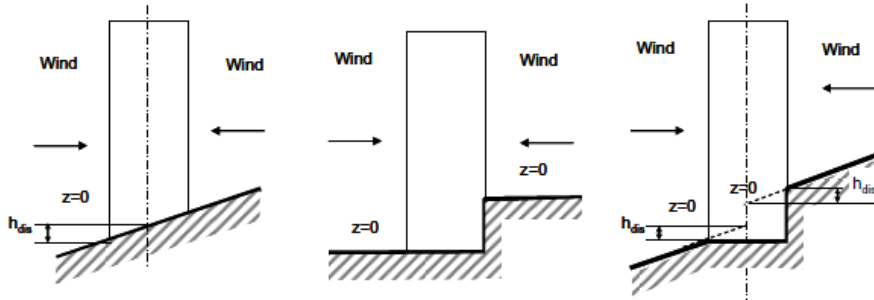
Op Figuur 23 wordt voor een vlak terrein het referentieniveau  $z=0$  weergegeven:





**Figuur 23: Vlak terrein  $z=0$  (WTCB, 2009)**

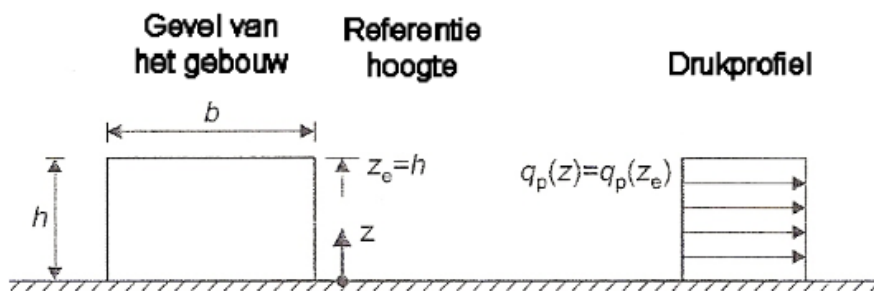
In het geval een hellend terrein aanwezig is, dan wordt het referentieniveau  $z = 0$  als volgt weergegeven:



**Figuur 24: Hellend terrein  $z=0$  (WTCB, 2009)**

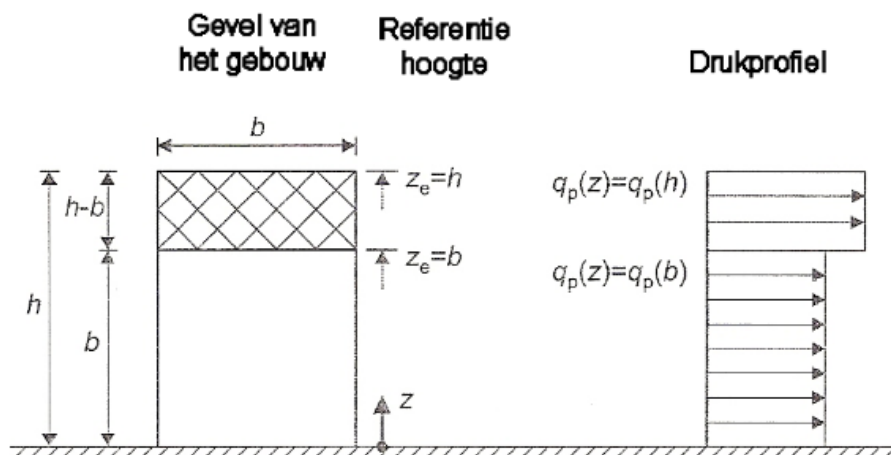
Om het hoog referentieniveau te bepalen, moet een onderscheid gemaakt worden tussen wanden met onderdruk en wanden met overdruk. Bij wanden met onderdruk wordt de aanbevolen referentiehoogte  $z_e$  gevonden door het verschil te nemen tussen de hoogte van het gebouw  $h$  en  $z=0$ . Bij wanden met overdruk zal de waarde  $z_e$  dienen als referentiehoogte voor de externe windbelasting op de gevels. Hierbij zal de referentiehoogte  $z_e$  afhankelijk zijn van de verhouding tussen  $h/b$ . De winddrukbelasting dient ook opgesplitst te worden in verschillende zones afhankelijk van de verhouding tussen  $h/b$ . Drie verschillende gevallen kunnen bestudeerd worden:

- 1)  $h \leq b$



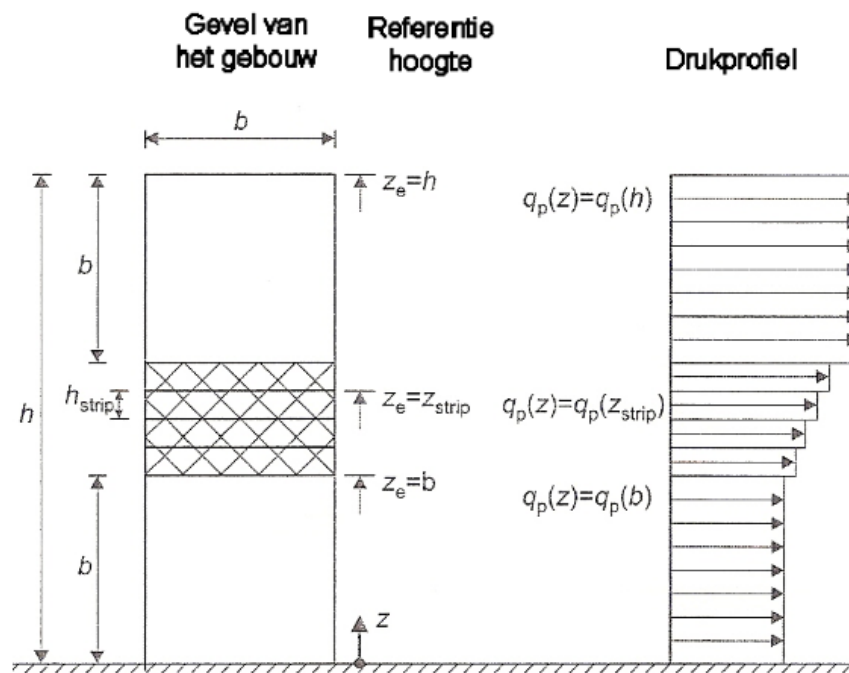
**Figuur 25:  $h \leq b$  (NBN, 2005)**

2)  $b < h \leq 2b$



Figuur 26:  $b < h \leq 2b$  (NBN, 2005)

3)  $h > 2b$



Figuur 27:  $h > 2b$  (NBN, 2005)

### 2.2.4 Drukcoëfficiënten

Een onderscheid wordt gemaakt tussen drie soorten drukcoëfficiënten, namelijk  $C_{pe}$  (de uitwendige drukcoëfficiënt),  $C_{pi}$  (de inwendige drukcoëfficiënt) en  $C_f$  (de krachtcoëfficiënt). De coëfficiënten  $C_{pe}$  en  $C_{pi}$  worden gebruikt indien de winddruk gezocht wordt op een oppervlakte waarbij een duidelijk verschil zit tussen de inwendige en uitwendige druk van een gebouw:  $C_{p,net} = C_{pe} - C_{pi}$

De coëfficiënt  $C_f$  zal gebruikt worden wanneer geen onderscheid aanwezig is tussen de uitwendige en inwendige druk in een gebouw. Dit is bijvoorbeeld het geval wanneer een gevel volledig alleen staat. Voor de verdere werking van de thesis zal met deze coëfficiënt geen rekening gehouden worden omdat niet gewerkt zal worden met een gevel die volledig alleen staat.

Een overdruk zal voorgesteld worden door een plusteken (+), een onderdruk door een minteken (-).

#### 2.2.4.1 Buitendrukcoëfficiënt $C_{pe}$

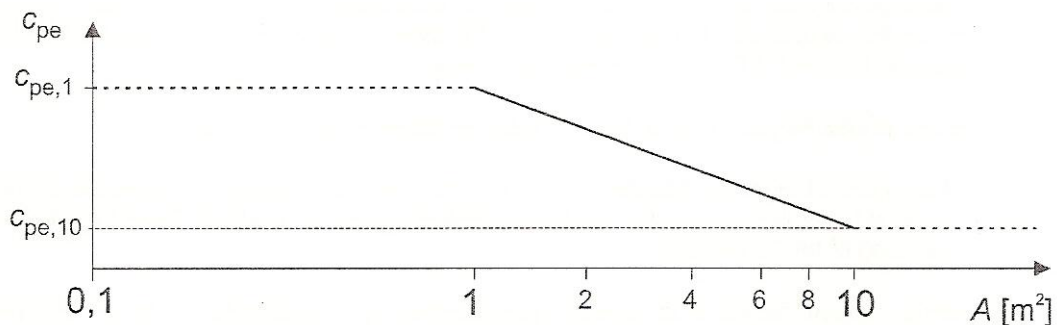
Volgens de Eurocode is de buitendrukcoëfficiënt de coëfficiënt die van toepassing is op gebouwen of gebouwdelen afhankelijk van het beschouwde belaste oppervlak  $A$ . Dit is dus de oppervlakte van het gebouw waarop de belasting zal inwerken. De coëfficiënt  $C_{pe}$  geeft dus weer hoe sterk de wind blaast aan de buitenkant van het gebouw.

In tabellen van de Eurocode zijn de buitendrukcoëfficiënten weergegeven voor een belastingsoppervlak van  $1 \text{ m}^2$  en  $10 \text{ m}^2$ . Dit wordt respectievelijk weergegeven als  $C_{pe,1}$  en  $C_{pe,10}$ . De waarden van  $C_{pe,1}$  worden gebruikt voor kleine elementen met een oppervlakte kleiner dan of gelijk aan  $1 \text{ m}^2$ , de waarden van  $C_{pe,10}$  voor een oppervlakte van  $10 \text{ m}^2$  of groter. Voor belastingsoppervlaktes  $A$  die gelegen zijn tussen deze grenzen, wordt gebruik gemaakt van lineaire interpolatie.

Voor een belastingsoppervlak gelegen tussen  $1 \text{ m}^2 < A < 10 \text{ m}^2$  kan ook volgende formule gebruikt worden:

#### Vergelijking 2: Bepaling $C_{pe,A}$

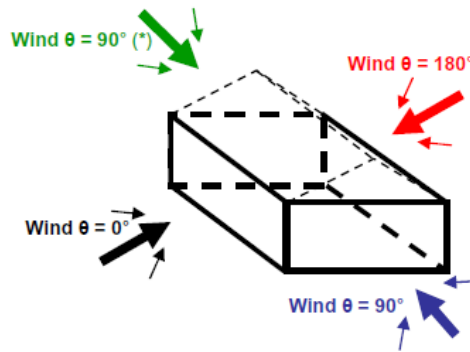
$$C_{pe,A} = C_{pe,1} - (C_{pe,1} - C_{pe,10}) * \log_{10} A$$



**Figuur 28: Buitendrukcoëfficiënt  $C_{pe}$  (NBN, 2005)**

Soms kan het gebeuren dat het belastingsoppervlak  $A$  verspreid is over meerdere zones. In dit geval moet dan ook de coëfficiënt genomen worden van de meest ongunstige zone. Indien een zone uit twee derde van het belastingsoppervlak  $A$  bestaat, dan zullen de coëfficiënten van deze zone gebruikt worden voor het volledige belastingsoppervlak  $A$ .

Op een gebouw kunnen dus vier conventionele windrichtingen inwerken en alle vier moeten deze onderzocht worden zodat de meest ongunstige situatie gevonden kan worden. Op Figuur 29 worden de vier conventionele windrichtingen weergegeven.

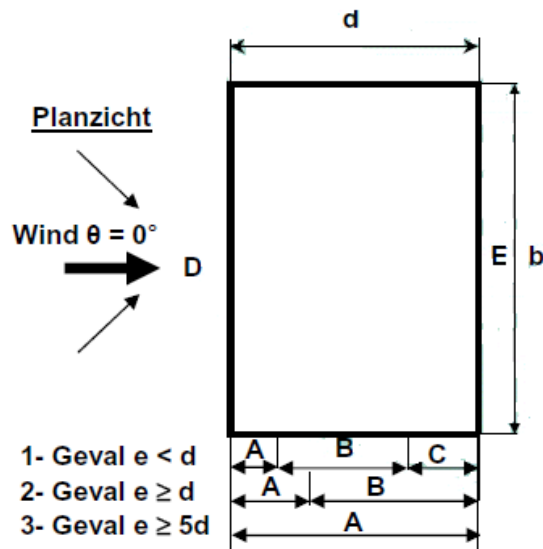


**Figuur 29: 4 conventionele windrichtingen (WTCB, 2009)**

Om nu de meest ongunstige windrichting te vinden, worden de windrichtingen afzonderlijk bestudeerd en verder wordt verondersteld dat de windrichting loodrecht op de zijden van het gebouw aangrijpt. Voor een welbepaalde windrichting is het mogelijk om de gevel in vijf zones in te delen:

Op Figuur 30 worden deze zones weergegeven en hierbij zijn de zones A, B en C de randzones. Zone D stelt de zone met overdruk voor en tenslotte stelt zone E de zone met onderdruk voor.

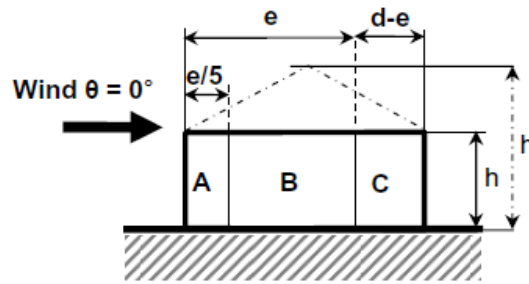
Om de grootte van de zones A, B en C te kunnen bepalen, moet eerst de coëfficiënt  $e$  bepaald worden. Deze is het minimum van  $b$  of  $2h$ .



**Figuur 30: Gevel opsplitsen in 5 zones (WTCB, 2009)**

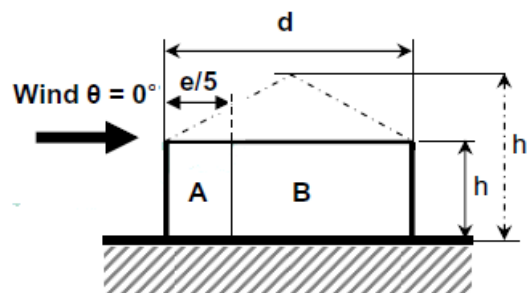
Drie gevallen worden bestudeerd:

Geval 1:  $e < d$



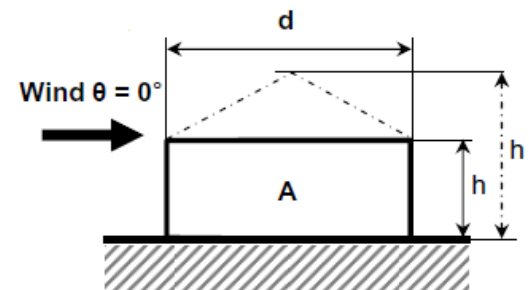
**Figuur 31:  $e < d$  (WTCB, 2009)**

Geval 2:  $e > d$



**Figuur 32:  $e > d$  (WTCB, 2009)**

Geval 3:  $e \geq 5d$



**Figuur 33:  $e \geq 5d$  (WTCB, 2009)**

Op Figuur 34 worden de waarden van  $C_{pe,1}$  en  $C_{pe,10}$  weergegeven voor de verschillende zones. Voor tussenliggende  $h/d$  waarden mag lineaire interpolatie toegepast worden.

| Zone        | A           |            | B           |            | C           |            | D           |            | E           |            |
|-------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
|             | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ |
| 5           | -1,2        | -1,4       | -0,8        | -1,1       | -0,5        |            | +0,8        | +1,0       | -0,7        |            |
| 1           | -1,2        | -1,4       | -0,8        | -1,1       | -0,5        |            | +0,8        | +1,0       | -0,5        |            |
| $\leq 0,25$ | -1,2        | -1,4       | -0,8        | -1,1       | -0,5        |            | +0,7        | +1,0       | -0,3        |            |

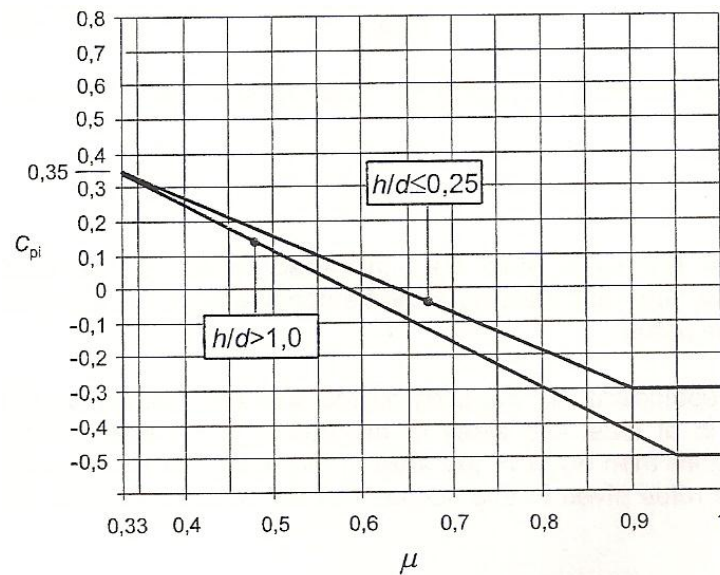
**Figuur 34: Waarden  $C_{pe,1}$  en  $C_{pe,10}$  (NBN, 2005)**

### 2.2.4.2 Binnendrukcoëfficiënt $C_{pi}$

De binnendrukcoëfficiënt  $C_{pi}$  geeft weer hoe sterk de wind blaast aan de binnenkant van het gebouw. Volgens de Eurocode moet de meest ongunstige waarde gekozen worden. Deze is gelegen tussen +0,2 (overdruk) en -0,3 (onderdruk) wanneer in het gebouw permanente openingen aanwezig zijn die niet precies gekend zijn of wanneer het gebouw gesloten kan worden. Indien daarentegen de doorlaatbaarheid (permeabiliteitscoëfficiënt  $\mu$ ) van de wanden exact gekend is en de binneninrichting laat een vrije luchtcirculatie toe, dan is het mogelijk om aan de hand van een formule de permeabiliteitscoëfficiënt  $\mu$  te berekenen (zie Vergelijking 3). Aan de hand van de bekomen waarden voor  $\mu$  en de verhouding tussen  $h/d$ , kan dan via Figuur 35 de waarde van  $C_{pi}$  afgelezen worden.

#### Vergelijking 3: Bepaling $\mu$

$$\mu = \frac{\sum \text{oppervlakte van de openingen waarvoor } C_{pe} \text{ negatief is of gelijk is aan } 0}{\sum \text{oppervlakte van alle openingen}}$$



**Figuur 35: Aflezen  $C_{pi}$  waarde (NBN, 2005)**

Voor waarden gelegen tussen  $h/d = 0,25$  en  $h/d = 1,0$  is het toegestaan om lineaire interpolatie toe te passen. Hierbij staat  $h$  voor de hoogte van het gebouw en  $d$  voor de diepte van het gebouw.

Indien zich geen openingen in het gebouw voordoen, dan wordt de coëfficiënt  $C_{pi}$  gelijk gesteld aan 0.

Doordat het zeer moeilijk is om de doorlaatbaarheid van de wanden te bepalen, zal voor deze thesis gewerkt worden met de meest ongunstige waarde tussen +0,2 (overdruk) en -0,3 (onderdruk). Voor verdere informatie over de doorlaatbaarheid van de wanden wordt doorverwezen naar de Eurocode NBN EN 1991-1-4.

### 2.2.5 Ruwheidcategorie van het terrein

Om met de ruwheid van het terrein rekening te kunnen houden, worden vijf ruwheidcategorieën opgesteld (de vroegere Belgische norm had maar vier ruwheidcategorieën). Zo hangt de ruwheidcategorie af van de ligging, de hoogte en de oriëntatie van het gebouw.

- Categorie 0: Zee of kuststreek die blootgesteld wordt aan zeewinden
- Categorie I: Zone met zeer weinig vegetatie en die geen obstakels bevat
- Categorie II: Zone met lage vegetatie, waarbij alleenstaande obstakels zich bevinden op een onderlinge afstand van minstens 20 keer de hoogte
- Categorie III: Zone met regelmatige begroeiing, waarbij obstakels zich bevinden op een onderlinge afstand van maximum 20 keer de hoogte
- Categorie IV: Stedelijke zones waar gebouwen met een gemiddelde hoogte van 15 meter of meer minstens 15 % van de oppervlakte innemen

(WTCB, 2009)

Door de oppervlakteruwheid is ook een minimumhoogte  $z_{\min}$  aanwezig vanaf waar de turbulenties zich niet meer doen voelen en vanaf waar de windsnelheden logaritmisch toenemen:

**Tabel 1:  $z_{\min}$  en  $z_0$  in functie van ruwheidcategorie**

| Terreincategorie | $z_{\min}$ [m] | $z_0$ [m] |
|------------------|----------------|-----------|
| Klasse 0         | 1              | 0,003     |
| Klasse I         | 1              | 0,01      |
| Klasse II        | 2              | 0,05      |
| Klasse III       | 5              | 0,3       |
| Klasse IV        | 10             | 1,0       |

### 2.2.6 Dynamische piekdruk $q_p(z)$

Deze druk komt overeen met de gemiddelde theoretische winddruk die plaatsvindt tijdens een tien minuten durende storm. Aan de hand van Vergelijking 4 kan de dynamische piekdruk berekend worden:

**Vergelijking 4: Dynamische piekdruk**

$$q_p(z) = [1 + 7 * I_v(z)] * \frac{1}{2} * \rho * v_m^2(z)$$

Hierin is:

- $v_m(z)$  = de gemiddelde windsnelheid
- $I_v(z)$  = de turbulentie intensiteit
- $\rho^1$

---

<sup>1</sup>Als waarde van  $\rho$  wordt meestal gewerkt met  $1,25 \text{ kg/m}^3$  (Voor meer informatie wordt doorverwezen naar de Nationale Bijlage. Voor het verdere verloop van de thesis zal gewerkt worden met  $1,25 \text{ kg/m}^3$ )

$q_p(z)$  kan ook op een andere manier berekend worden:

**Vergelijking 5: Dynamische piekdruk**

$$q_p(z) = c_e(z) * q_b$$

Hierin is:

- $c_e(z)$  = de blootstellingcoëfficiënt
- $q_b$  = de basiswinddruk

Uit bovenstaande formules blijkt dat nog met andere coëfficiënten rekening gehouden moet worden vooraleer de dynamische piekdruk  $q_p(z)$  berekend kan worden.

**2.2.6.1 Gemiddelde windsnelheid  $v_m(z)$**

De gemiddelde windsnelheid  $v_m(z)$  geeft de snelheid van de wind weer op een bepaalde hoogte waarbij deze snelheid afhankelijk is van:

- de ruwheidcoëfficiënt  $c_r(z)$
- de orografische coëfficiënt  $c_0(z)$
- de basiswindsnelheid  $v_b$

**Vergelijking 6: Gemiddelde windsnelheid**

$$v_m(z) = c_r(z) * c_0(z) * v_b$$

Opnieuw moeten enkele termen verduidelijkt worden:

**2.2.6.2 Ruwheidcoëfficiënt  $c_r(z)$**

Deze coëfficiënt wordt bepaald door de ruwheid van het terrein waar de windsnelheid gezocht wordt. Deze coëfficiënt wordt aan de hand van Vergelijking 7 berekend:

**Vergelijking 7: Ruwheidcoëfficiënt**

$$c_r(z) = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

Hierbij is:

- $k_r$  = de terreinfactor
- $z$  = de hoogte van het gebouw met  $z \geq z_{min}$  (de waarde van  $z_{min}$  wordt weergegeven in Tabel 1)
- $z_0$  = de ruwheidlengte (afhankelijk van de ruwheidcategorie van het terrein wordt een andere waarde voor  $z_0$  gebruikt)

De terreinfactor  $k_r$  kan met Vergelijking 8 berekend worden:

**Vergelijking 8: Terreinfactor**

$$k_r = 0,19 * \left(\frac{z_0}{0,05}\right)^{0,07}$$

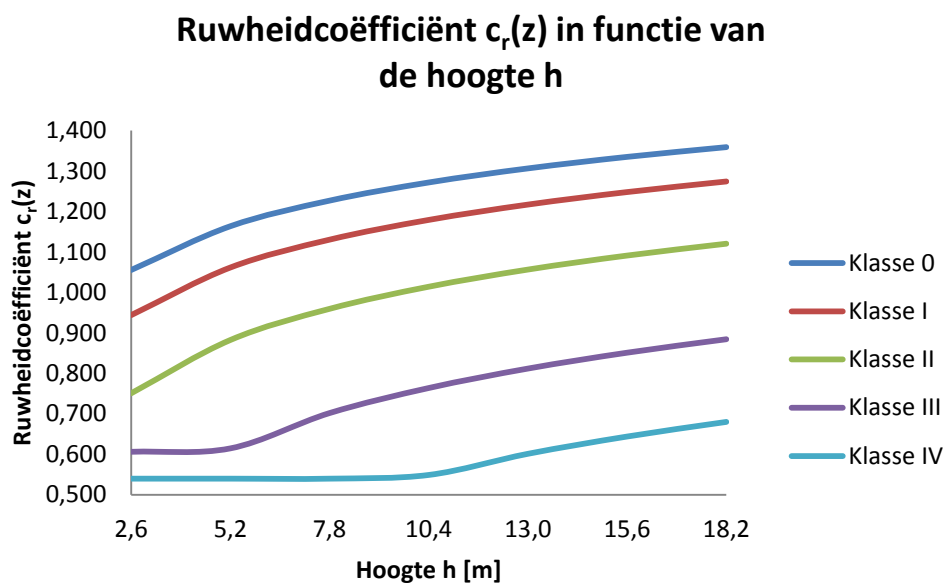
Het is dan ook mogelijk om eens te onderzoeken hoe de ruwheidcoëfficiënt  $c_r(z)$  verandert voor de verschillende klassen in functie van de hoogte  $h$ :



**Tabel 2: Ruwheidcoëfficiënt in functie van klasse en hoogte**

| hoogte h | Klasse 0 | Klasse I | Klasse II | Klasse III | Klasse IV |
|----------|----------|----------|-----------|------------|-----------|
| 2,6      | 1,056    | 0,944    | 0,751     | 0,606      | 0,540     |
| 5,2      | 1,164    | 1,062    | 0,882     | 0,614      | 0,540     |
| 7,8      | 1,227    | 1,130    | 0,959     | 0,702      | 0,540     |
| 10,4     | 1,272    | 1,179    | 1,014     | 0,764      | 0,549     |
| 13,0     | 1,307    | 1,217    | 1,057     | 0,812      | 0,601     |
| 15,6     | 1,335    | 1,248    | 1,091     | 0,851      | 0,644     |
| 18,2     | 1,359    | 1,274    | 1,120     | 0,884      | 0,680     |

Deze gegevens kunnen nu via een grafiek weergegeven worden:



**Figuur 36: Ruwheidcoëfficiënt in functie van hoogte**

Het eerste dat opgemerkt kan worden, is dat de ruwheidcoëfficiënt stijgt naarmate de hoogte  $h$  toeneemt. Dit gebeurt het snelst in de eerste meters, maar naarmate de hoogte toeneemt, neemt de ruwheidcoëfficiënt minder snel toe.

Daarnaast wordt ook opgemerkt dat de ruwheidcoëfficiënt voor klasse 0 veel groter is dan voor klasse IV. Dit is te verklaren doordat naarmate het terrein ruwer wordt, de wind tegengehouden zal worden door de obstakels die zich op het terrein bevinden. Hoe ruwer het terrein is, hoe kleiner de ruwheidcoëfficiënt  $c_r(z)$  zal zijn. Naarmate de hoogte  $z$  toeneemt, zal de ruwheid ook minder voelbaar zijn en bijgevolg zal  $c_r(z)$  groter worden.

Tenslotte wordt ook opgemerkt dat voor klasse III en klasse IV de eerste meters hoogte dezelfde ruwheidcoëfficiënt hebben. Dit komt omdat de hoogte  $h$  minstens gelijk moet zijn aan de hoogte  $z_{\min}$ . Voor klasse III is dit 5 meter en voor klasse IV 10 meter.

### **2.2.6.3 Orografische coëfficiënt $c_o(z)$**

Deze coëfficiënt houdt rekening met de helling van het beschouwde terrein en wordt gelijk gesteld aan 1 indien de helling van het terrein niet groter is dan 5 %. Voor deze thesis zal verondersteld worden dat de helling niet groter is dan 5 %. Bijgevolg zal deze

coëfficiënt gelijk gesteld worden aan 1. Voor andere waarden van deze coëfficiënt wordt doorverwezen naar de Nationale Bijlage.

#### 2.2.6.4 Basiswindsnelheid $v_b$

De basiswindsnelheid  $v_{b,0}$  is de snelheid van de wind in een open terrein waarbij lage vegetatie aanwezig is en die gemeten wordt op een hoogte van tien meter gedurende tien minuten. Aan de hand van Vergelijking 9 wordt deze basiswindsnelheid berekend:

#### Vergelijking 9: Basiswindsnelheid

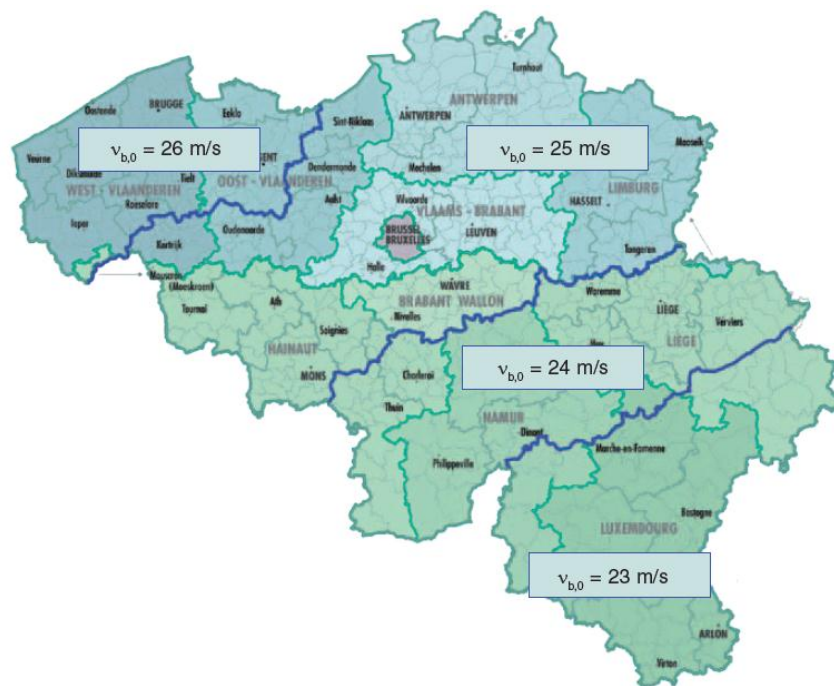
$$V_b = C_{dir} * C_{season} * V_{b,0} * C_{prob}$$

Hierbij is:

- $C_{dir}$  = richtingscoëfficiënt [-]
- $C_{season}$  = seizoenscoëfficiënt [-]
- $V_{b,0}$  = fundamentele basiswindsnelheid [m/s]
- $C_{prob}$  = waarschijnlijkheidscoëfficiënt [-]

#### 2.2.6.5 De fundamentele basiswindsnelheid $v_{b,0}$

De waarde van de fundamentele basiswindsnelheid  $v_{b,0}$  is in België niet overal gelijk. België wordt opgedeeld in 4 regio's waarvan de fundamentele basiswindsnelheden verschillend zijn. Dit is op Figuur 37 weergegeven:



Figuur 37: Fundamentele basiswindsnelheid (WTCB, 2011)

#### 2.2.6.6 Richtingscoëfficiënt $C_{dir}$

Deze coëfficiënt is afhankelijk van de windrichting en meestal wordt deze coëfficiënt als 1 genomen. Voor meer informatie wordt doorverwezen naar de Nationale Bijlage.

#### 2.2.6.7 Seizoenscoëfficiënt $C_{season}$

Deze coëfficiënt houdt rekening met de periode wanneer het gebouw aan een bepaalde windsnelheid moet voldoen. Opnieuw is de aan te bevelen waarde gelijk aan 1. Indien

het gebouw meer dan een jaar blijft staan, dan wordt automatisch met deze waarde gelijk aan 1 gewerkt. Voor meer uitleg wordt doorverwezen naar de nationale bijlage.

### 2.2.6.8 Waarschijnlijkheidscoëfficiënt $c_{prob}$

Het is echter mogelijk om nog een extra term toe te voegen aan de formule van de basiswindsnelheid  $v_b$ , namelijk de waarschijnlijkheidscoëfficiënt  $c_{prob}$ . Deze coëfficiënt houdt rekening met een bepaalde kans  $p$  dat de basiswindsnelheid  $v_b$  slechts jaarlijks of zelfs minder overschreden kan worden. Deze coëfficiënt wordt met volgende formule berekend:

#### Vergelijking 10: Waarschijnlijkheidscoëfficiënt

$$c_{prob} = \left[ \frac{1 - K * \ln(-\ln(1 - p))}{1 - K * \ln(-\ln(0,98))} \right]^n$$

Hierbij is:

- $p = \text{de waarschijnlijkheid (per jaar)} = \frac{1}{\text{terugkeerperiode}}$
- $K = 0,2$
- $n = 0,5$

de waarden van  $K$  en  $n$  werden gehaald uit de nationale bijlage

Voor bepaalde toepassing kan het gebeuren dat gewerkt wordt met een terugkeerperiode van 50 jaar ( $p=0,02$ ). Bijgevolg wordt dan een  $c_{prob}$  van 1 bekomen. Wanneer deze coëfficiënt toegepast wordt bij schoringswerken, dan wordt met een veel kleinere terugkeerperiode gewerkt. Zo maakt de firma V-systems gebruik van een terugkeerperiode van 1,58 jaar. Voor de thesis zullen beide eens bestudeerd worden.

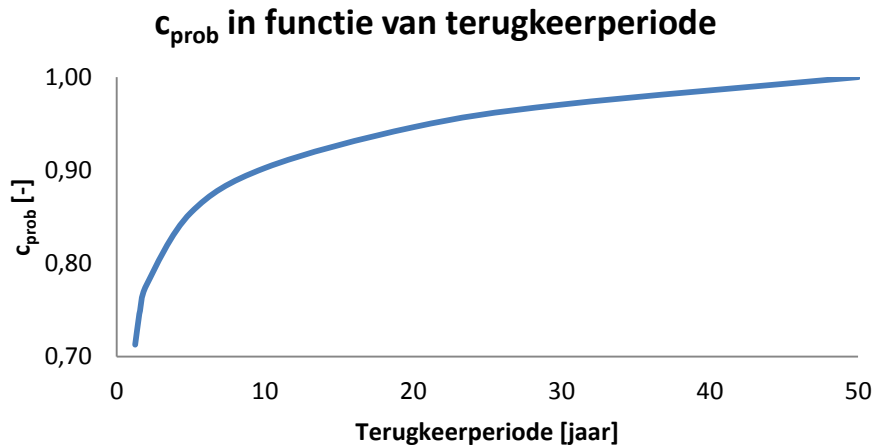
In de norm wordt deze coëfficiënt niet rechtstreeks opgenomen in de formule van  $v_b$ , maar bij de opmerkingen wordt wel vermeld dat deze coëfficiënt eventueel ingerekend kan worden.

In Tabel 3 worden de gegevens weergegeven hoe de waarschijnlijkheidscoëfficiënt  $c_{prob}$  zal variëren bij veranderlijke terugkeerperiode:

**Tabel 3: Waarschijnlijkheidscoëfficiënt in functie van terugkeerperiode**

| terugkeerperiode<br>[jaar] | $c_{prob}$ [-] |
|----------------------------|----------------|
| 1,25                       | 0,71           |
| 1,5                        | 0,74           |
| 1,58                       | 0,75           |
| 2                          | 0,78           |
| 5                          | 0,85           |
| 10                         | 0,90           |
| 20                         | 0,95           |
| 30                         | 0,97           |
| 50                         | 1              |

Dit kan nu in een grafiek weergegeven worden:



**Figuur 38: C<sub>prob</sub> in functie van terugkeerperiode**

Wanneer nu gekeken wordt naar de terugkeerperiode van 1,58 jaar en 50 jaar, dan kan opgemerkt worden dat een groot verschil aanwezig is in de waarde van  $c_{\text{prob}}$ . Bijgevolg zal dit ook een grote invloed hebben op de uiteindelijke grootte van de windkracht wat zal leiden tot een veel kleinere waarde van winddruk bij een terugkeerperiode van 1,58 jaar in vergelijking met 50 jaar. In het verdere verloop van de thesis zal dit dan ook vergeleken worden.

### 2.2.6.9 De turbulentie intensiteit $I_v(z)$

De turbulentie intensiteit heeft te maken met de turbulentie in een bepaalde hoeksector en zorgt voor een werveling van luchtstroming die onder andere wrijving veroorzaakt. Op een plaats waar veel obstakels aanwezig zijn, zal veel turbulentie aanwezig zijn en zal de turbulentie intensiteit bijgevolg groot zijn.

Voor de berekening van de turbulentie intensiteit wordt gebruik gemaakt van Vergelijking 11:

**Vergelijking 11: Turbulentie intensiteit**

$$I_v(z) = \frac{k_l}{c_0(z) * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}$$

Hierin is  $k_l$  de turbulentiefactor en is afhankelijk van de ruwheidscategorie:

**Tabel 4: Turbulentiefactor in functie van ruwheidscategorie**

| Ruwheidscategorie | $k_l$ |
|-------------------|-------|
| Klasse 0          | 1     |
| Klasse I          | 1     |
| Klasse II         | 1     |
| Klasse III        | 0,95  |
| Klasse IV         | 0,85  |

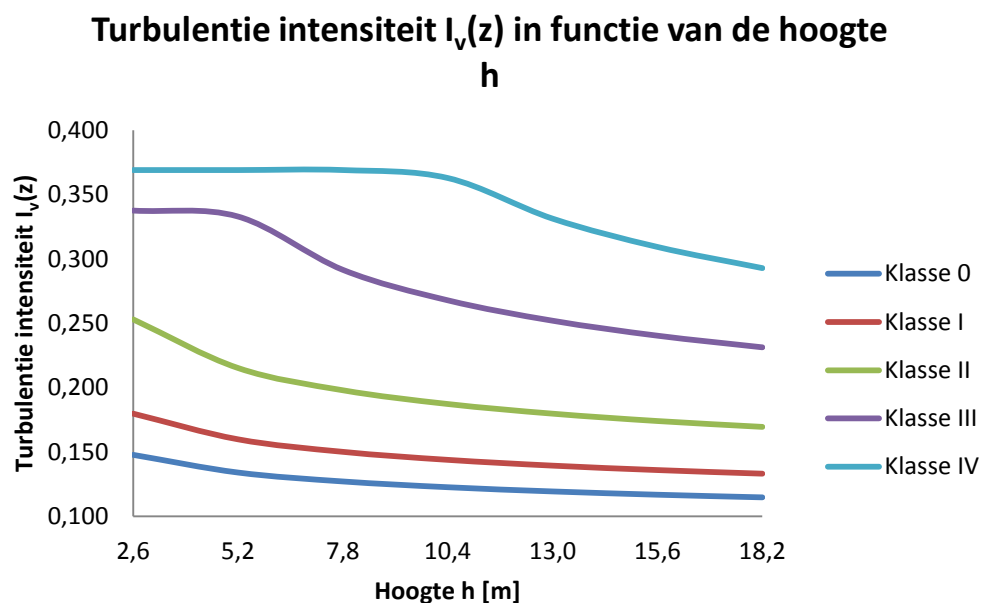
Voor  $c_0(z)$  en  $z_0$  worden de waarden ingevuld die in 2.2.6.3 Orografische coëfficiënt  $c_0(z)$  en Tabel 1 werden weergegeven.

Het is nu mogelijk om te onderzoeken hoe de turbulentie intensiteit  $I_v(z)$  verandert voor de verschillende klassen in functie van de hoogte  $h$ :

**Tabel 5: Turbulentie intensiteit in functie van hoogte en klasse**

| hoogte<br>$h$ | Klasse<br>0 | Klasse<br>I | Klasse<br>II | Klasse<br>III | Klasse<br>IV |
|---------------|-------------|-------------|--------------|---------------|--------------|
| 2,6           | 0,148       | 0,180       | 0,253        | 0,338         | 0,369        |
| 5,2           | 0,134       | 0,160       | 0,215        | 0,333         | 0,369        |
| 7,8           | 0,127       | 0,150       | 0,198        | 0,292         | 0,369        |
| 10,4          | 0,123       | 0,144       | 0,187        | 0,268         | 0,363        |
| 13,0          | 0,119       | 0,139       | 0,180        | 0,252         | 0,331        |
| 15,6          | 0,117       | 0,136       | 0,174        | 0,240         | 0,309        |
| 18,2          | 0,115       | 0,133       | 0,170        | 0,231         | 0,293        |

Deze gegevens kunnen opnieuw via een grafiek weergegeven worden:



**Figuur 39: Turbulentie intensiteit in functie van de hoogte**

Ten eerste kan opgemerkt worden dat voor een terrein met klasse IV de turbulentie intensiteit veel groter is dan voor een terrein met klasse 0. Dit is te verklaren doordat in klasse IV veel meer obstakels aanwezig zijn en dit zal voor extra turbulentie zorgen.

De turbulentie intensiteit zal ook het snelst dalen over de eerste meters. Op hogere hoogtes zal de turbulentie intensiteit veel trager dalen.

Tenslotte wordt ook opgemerkt dat (net zoals bij de ruwheidscoëfficiënt) voor klasse III en klasse IV de eerste meters hoogte dezelfde turbulentie intensiteit hebben. Dit komt opnieuw omdat de hoogte  $h$  minstens gelijk moet zijn aan de hoogte  $z_{\min}$ .

### **2.2.6.10 De basiswinddruk $q_b$**

Deze druk wordt berekend aan de hand van Vergelijking 12:

**Vergelijking 12: Basiswinddruk  $q_b$**

$$q_b = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2$$

### **2.2.6.11 De blootstellingcoëfficiënt $c_e(z)$**

De blootstellingcoëfficiënt wordt met Vergelijking 13 berekend:

**Vergelijking 13: Blootstellingcoëfficiënt**

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b} = (1 + 7 * I_v(z)) * c_r(z)^2 * c_0^2$$

Alle gegevens zijn nu gekend om de dynamische piekdruk te berekenen. Het is echter ook mogelijk om de waarde van de dynamische piekdruk af te lezen in tabellen (zie *bijlage 1 – Dynamische piekdruk voor een terugkeerperiode van 50 jaar*). Deze tabellen gelden enkel voor een terugkeerperiode van 50 jaar en werden opgesteld door het WTCB. De dynamische piekdruk kan dus uit deze tabellen gehaald worden wanneer de fundamentele basiswindsnelheid  $v_{b,0}$ , de ruwheidcategorie en hoogte  $z_e$  gekend zijn bij een terugkeerperiode van 50 jaar.

### **2.2.6.12 Resultaten dynamische piekdruk $q_p(z)$**

In Tabel 6 en Tabel 7 worden de gegevens van de dynamische piekdruk  $q_p(z)$  in een aparte tabel weergegeven voor het gebied in België waarvoor  $v_{b,0} = 26$  m/s (het westen van België). Dit gebied zal uiteindelijk ook de grootste winddrukken veroorzaken. Deze berekening werd gedaan voor de klassen 0, I, II, III en IV. De bekomen waarden werden berekend tot een hoogte  $h$  van 25 meter:

Daarnaast wordt ook een onderscheid gemaakt tussen een terugkeerperiode van 50 jaar ( $c_{prob} = 1$ ) en van 1,58 jaar ( $c_{prob} = 0,75$ )

Terugkeerperiode van 1,58 jaar:

**Tabel 6: Dynamische piekdruk terugkeerperiode 1,58 jaar**

| hoogte h [m] | $q_D(z)$<br>klasse 0 | $q_D(z)$<br>klasse I | $q_D(z)$<br>klasse II | $q_D(z)$<br>klasse III | $q_D(z)$<br>klasse IV |
|--------------|----------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| 1            | 430                  | 365                  | 256                   | 104                    | -                     |
| 2            | 507                  | 445                  | 338                   | 178                    | 60                    |
| 3            | 555                  | 495                  | 389                   | 227                    | 101                   |
| 4            | 590                  | 532                  | 427                   | 263                    | 132                   |
| 5            | 618                  | 561                  | 458                   | 293                    | 158                   |
| 6            | 641                  | 586                  | 483                   | 318                    | 181                   |
| 7            | 661                  | 607                  | 505                   | 340                    | 200                   |
| 8            | 678                  | 625                  | 525                   | 359                    | 217                   |
| 9            | 694                  | 642                  | 542                   | 376                    | 233                   |
| 10           | 708                  | 657                  | 558                   | 392                    | 248                   |
| 11           | 721                  | 670                  | 572                   | 406                    | 261                   |
| 12           | 733                  | 683                  | 586                   | 420                    | 273                   |
| 13           | 744                  | 695                  | 598                   | 432                    | 284                   |
| 14           | 754                  | 705                  | 610                   | 444                    | 295                   |
| 15           | 763                  | 716                  | 620                   | 455                    | 305                   |
| 16           | 772                  | 725                  | 631                   | 465                    | 315                   |
| 17           | 781                  | 734                  | 640                   | 475                    | 324                   |
| 18           | 789                  | 743                  | 650                   | 484                    | 333                   |
| 19           | 796                  | 751                  | 658                   | 493                    | 341                   |
| 20           | 804                  | 759                  | 667                   | 501                    | 349                   |
| 21           | 811                  | 766                  | 674                   | 510                    | 357                   |
| 22           | 817                  | 773                  | 682                   | 517                    | 364                   |
| 23           | 824                  | 780                  | 689                   | 525                    | 371                   |
| 24           | 830                  | 787                  | 696                   | 532                    | 378                   |
| 25           | 836                  | 793                  | 703                   | 539                    | 384                   |

Terugkeerperiode van 50 jaar:

**Tabel 7: Dynamische piekdruk terugkeerperiode 50 jaar**

| hoogte h [m] | $q_p(z)$<br>klasse 0 | $q_p(z)$<br>klasse I | $q_p(z)$<br>klasse II | $q_p(z)$<br>klasse III | $q_p(z)$<br>klasse IV |
|--------------|----------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| 1            | 765                  | 651                  | 457                   | 185                    | -                     |
| 2            | 903                  | 793                  | 601                   | 318                    | 107                   |
| 3            | 988                  | 882                  | 693                   | 404                    | 180                   |
| 4            | 1051                 | 948                  | 761                   | 469                    | 236                   |
| 5            | 1100                 | 1000                 | 815                   | 522                    | 282                   |
| 6            | 1142                 | 1043                 | 861                   | 566                    | 322                   |
| 7            | 1177                 | 1081                 | 900                   | 605                    | 356                   |
| 8            | 1208                 | 1114                 | 935                   | 639                    | 387                   |
| 9            | 1236                 | 1143                 | 966                   | 670                    | 415                   |
| 10           | 1261                 | 1170                 | 994                   | 698                    | 441                   |
| 11           | 1284                 | 1194                 | 1020                  | 724                    | 464                   |
| 12           | 1305                 | 1216                 | 1043                  | 748                    | 486                   |
| 13           | 1324                 | 1237                 | 1065                  | 770                    | 507                   |
| 14           | 1343                 | 1256                 | 1086                  | 790                    | 526                   |
| 15           | 1360                 | 1274                 | 1105                  | 810                    | 544                   |
| 16           | 1376                 | 1291                 | 1123                  | 828                    | 561                   |
| 17           | 1391                 | 1308                 | 1141                  | 846                    | 577                   |
| 18           | 1405                 | 1323                 | 1157                  | 862                    | 593                   |
| 19           | 1419                 | 1337                 | 1172                  | 878                    | 608                   |
| 20           | 1431                 | 1351                 | 1187                  | 893                    | 622                   |
| 21           | 1444                 | 1364                 | 1201                  | 908                    | 635                   |
| 22           | 1456                 | 1377                 | 1215                  | 921                    | 648                   |
| 23           | 1467                 | 1389                 | 1228                  | 935                    | 661                   |
| 24           | 1478                 | 1401                 | 1240                  | 948                    | 673                   |
| 25           | 1488                 | 1412                 | 1253                  | 960                    | 685                   |

Ten eerste moeten enkele zaken opgemerkt worden (zie velden met grijze kleur in Tabel 6 en Tabel 7). Uit de norm blijkt dat bij iedere klasse een minimum hoogte ( $z_{\min}$ ) aanwezig moet zijn:

**Tabel 8:  $Z_{\min}$  in functie van de klasse**

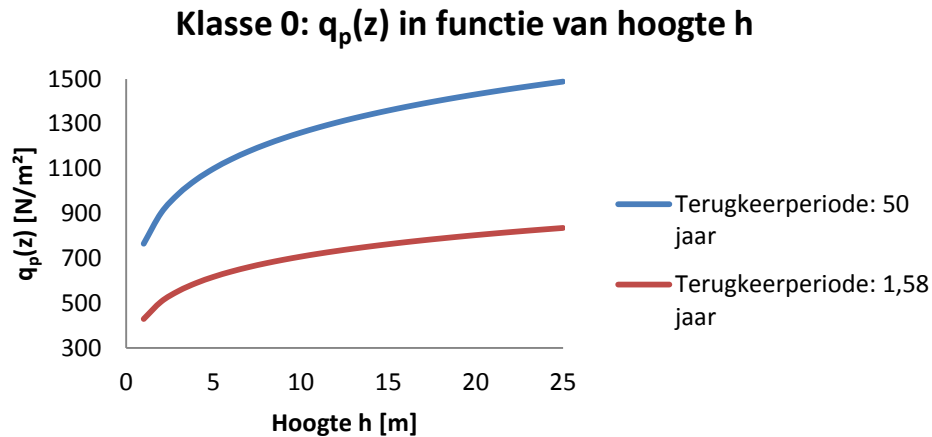
| Terreincategorie | $z_{\min}$ [m] |
|------------------|----------------|
| Klasse 0         | 1              |
| Klasse I         | 1              |
| Klasse II        | 2              |
| Klasse III       | 5              |
| Klasse IV        | 10             |

Bijgevolg moeten deze dynamische piekdrukken  $q_p(z)$  vervangen worden door de dynamische piekdruk overeenkomend met de hoogte  $z_{\min}$  van de klasse. Voor klasse III



betekent dit dus dat voor de eerste 5 meter, de dynamische piekdruk gelijk is aan 293 N/m<sup>2</sup> bij een terugkeerperiode van 1,58 jaar (Tabel 6).

Het is nu mogelijk om de invloed van de coëfficiënt  $c_{prob}$  op de dynamische piekdruk te onderzoeken. Dit zal gedaan worden aan de hand van een grafiek voor de gegevens van klasse 0:

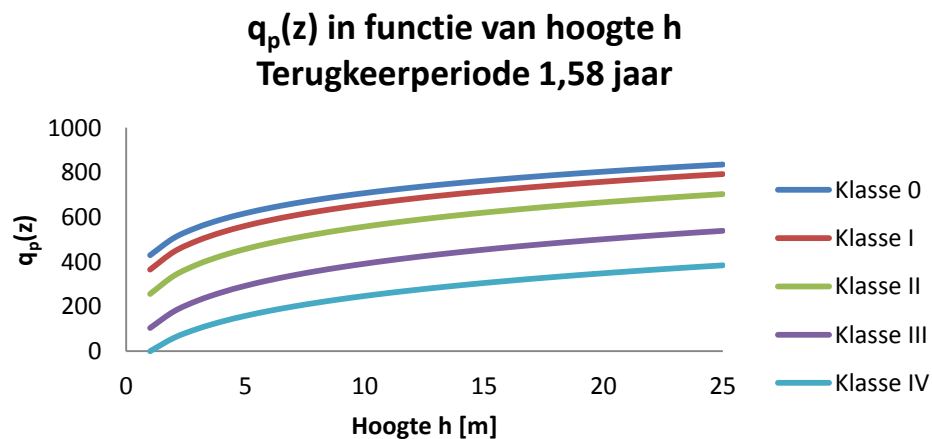


**Figuur 40: Dynamische piekdruk in functie van hoogte**

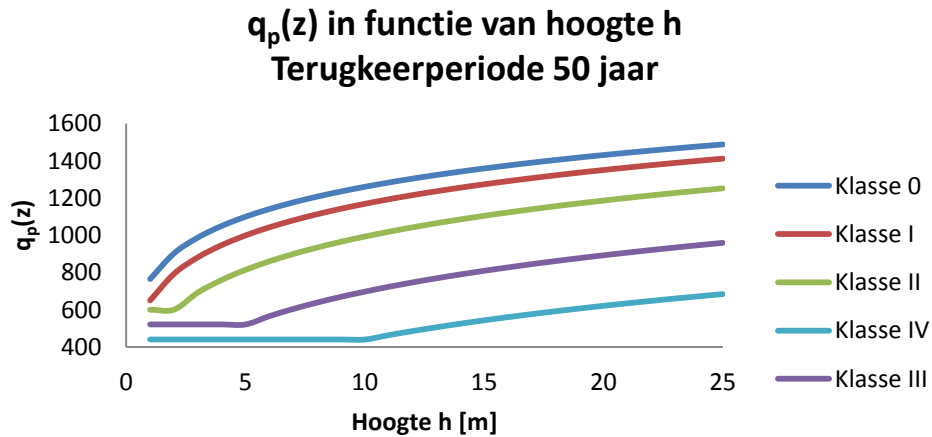
Wanneer nu de dynamische piekdruk bij een terugkeerperiode van 50 jaar vergeleken wordt met die van 1,58 jaar, dan kan opgemerkt worden dat deze voor 50 jaar veel grotere waarden weergeeft dan die voor 1,58 jaar. Dit is eenvoudig te verklaren doordat de coëfficiënt  $c_{prob}$  ook groter is voor een terugkeerperiode van 50 jaar dan voor een terugkeerperiode van 1,58 jaar.

Uit de bekomen gegevens blijkt dat de dynamische piekdruk voor 50 jaar een factor 1,78 keer groter dan die voor 1,58 jaar. Hieruit zal dus ook blijken dat de totale winddruk voor een terugkeerperiode van 50 jaar een factor 1,78 keer groter is in vergelijking met de totale winddruk voor 1,58 jaar.

Het is nu nog mogelijk om voor de verschillende klassen de hoogte in functie van de dynamische piekdruk weer te geven. Dit wordt weergegeven op Figuur 41 en Figuur 42.



**Figuur 41: Dynamische piekdruk voor een terugkeerperiode van 1,58 jaar**



**Figuur 42: Dynamische piekdruk voor een terugkeerperiode van 50 jaar**

Uit Figuur 41 en Figuur 42 kan besloten worden dat voor een gebouw dat zich in klasse 0 bevindt, de dynamische piekdrukken veel groter zijn dan voor een gebouw dat zich in klasse IV bevindt. De oorzaak hiervan is de invloed van de ruwheidcoëfficiënt op de dynamische piekdruk, want de ruwheid van het terrein speelt een belangrijke rol bij de bepaling van de dynamische piekdruk. Bijgevolg zal ook de winddruk op een gebouw in klasse 0 veel groter zijn dan op eenzelfde gebouw in klasse IV.

Zo is de dynamische piekdruk van een gebouw van 25 meter hoog dat zich in klasse 0 bevindt 2,17 keer groter dan voor een gebouw dat zich in klasse IV bevindt.

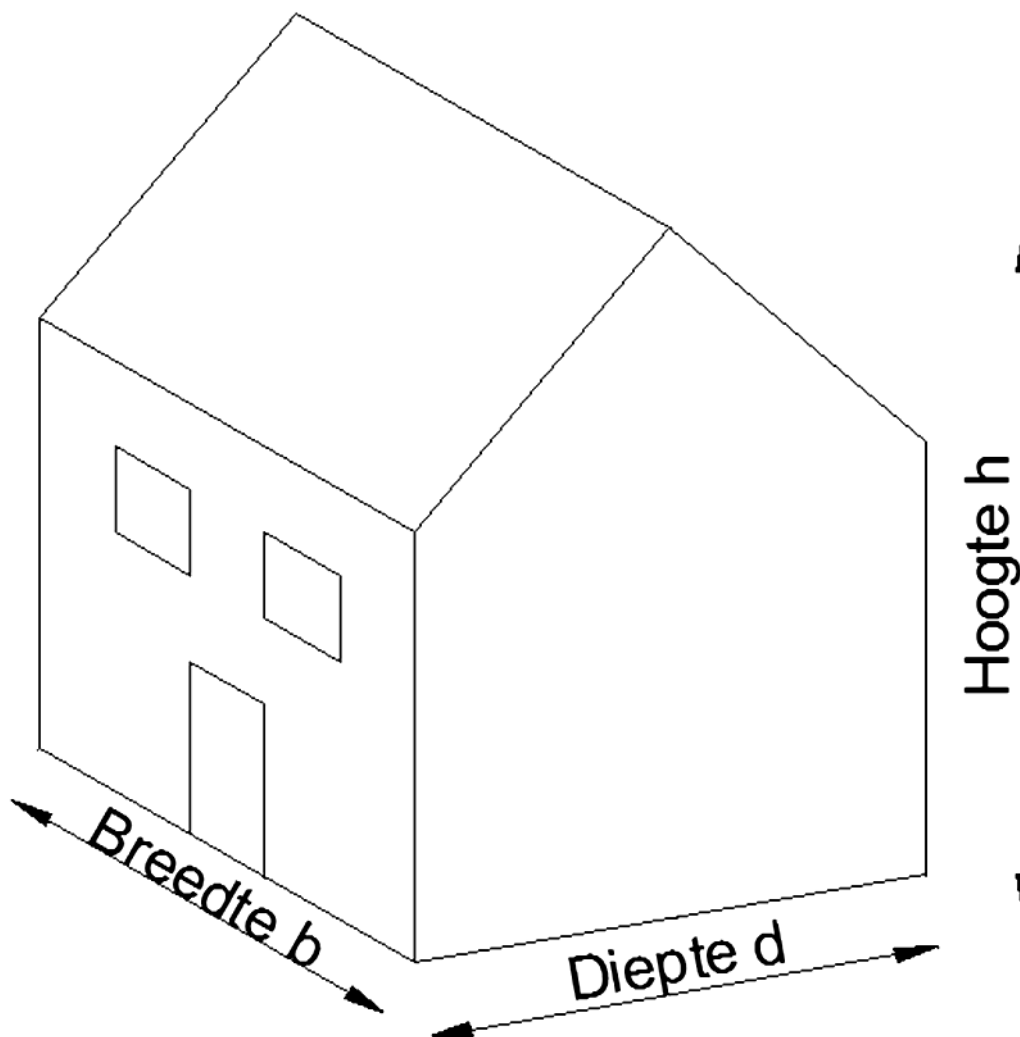
Vervolgens wordt opgemerkt dat de dynamische piekdruk het meest toeneemt in de eerste meters en naarmate de hoogte stijgt, stijgt de dynamische piekdruk minder snel. Daarnaast kan ook opgemerkt worden dat voor de klassen II, III en IV de dynamische piekdruk in het begin gelijk is tot de hoogte  $z_{\min}$  bereikt wordt.

De besluiten die hierboven getrokken werden, gelden zowel voor een terugkeerperiode van 1,58 jaar als voor een terugkeerperiode van 50 jaar.

### 2.3 Voorbeeld berekening winddruk

Om nu de windkracht op een gemene gevel te berekenen wordt als voorbeeld een rijwoning genomen met een hoogte  $h$  van 10 meter en een diepte  $d$  van 10 meter. Doordat het hier gaat om een rijwoning, wordt met een zeer grote breedte  $b$  gewerkt (deze breedte zal een rol spelen bij de berekening van de drukcoëfficiënten). Deze wordt als oneindig beschouwd. Verder wordt gewerkt met een rijwoning die langs de kust gelegen is en bijgevolg bevindt de rijwoning zich in klasse 0. Uit voorgaande besluiten is reeds gebleken dat klasse 0 de grootste windkrachten zal opleveren. Als terugkeerperiode wordt met 1,58 jaar gewerkt (uit berekeningen volgt dan dat  $C_{\text{prob}} = 0,75$ ). Dit is ook de terugkeerperiode waarmee tijdens de rest van de thesis gewerkt zal worden.

Op Figuur 43 is een schets weergegeven van de woning:



Figuur 43: Voorbeeld woning

Bij de berekening van de windlasten moeten twee gevallen besproken worden:

**Geval 1:**

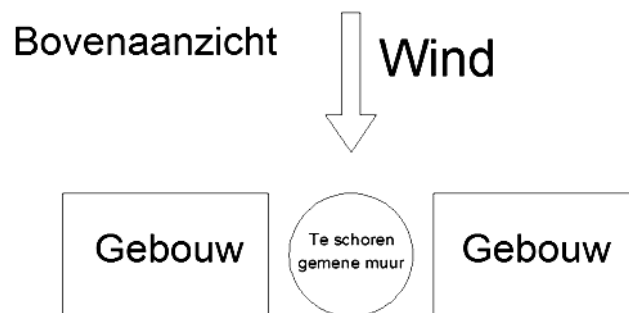
De wind blaast evenwijdig aan de voorgevel en bijgevolg blaast de wind loodrecht op de gemene muur:



**Figuur 44: Geval 1**

**Geval 2:**

De wind blaast loodrecht op de voorgevel en bijgevolg blaast de wind zijdelings langs de gemene muur:



**Figuur 45: Geval 2**

**Berekening winddruk:**

Om de winddruk te kennen, moet gebruik gemaakt worden van Vergelijking 1:

$$F_W = C_s C_d * C_{p,net} * q_p(z_e)$$

Hieruit blijkt dat eerst de dynamische piekdruk  $q_p(z)$  berekend moet worden. Deze is voor beide gevallen hetzelfde en gebeurt aan de hand van Vergelijking 5.

$$q_p(z) = c_e(z) * q_b$$

Hierbij is:

- $c_e(z)$  = de blootstellingcoëfficiënt
- $q_b$  = de basiswinddruk

- a. De basiswinddruk  $q_b$ : Deze wordt berekend aan de hand van Vergelijking 12.

$$q_b = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2$$

Waarbij  $v_b$  berekend wordt met Vergelijking 9:

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} * c_{prob}$$

Hierbij is:

- $c_{dir} = 1$
- $c_{season} = 1$
- $v_{b,0} = 26 \text{ m/s}$  (ter hoogte van de kust)
- $c_{prob} = 0,75$  (terugkeerperiode van 1,58 jaar)

$$v_b = 1 * 1 * 26 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0,75 = 19,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\rightarrow q_b = \frac{1}{2} * 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 19,5^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 237,2 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

b. De blootstellingcoëfficiënt  $c_e(z)$ :

Deze coëfficiënt wordt berekend aan de hand van Vergelijking 13:

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b} = (1 + 7 * I_v(z)) * c_r(z)^2 * c_0^2$$

Hierbij is:

$$c_0(z) = 1$$

$$c_r(z) = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,19 * \left(\frac{z_0}{0,05}\right)^{0,07} * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,19 * \left(\frac{0,003}{0,05}\right)^{0,07} * \ln\left(\frac{10}{0,003}\right) = 1,2657$$

$$I_v(z) = \frac{k_l}{c_0(z) * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1}{1 * \ln\left(\frac{10}{0,003}\right)} = 0,1233$$

$$\rightarrow c_e(z) = (1 + 7 * 0,1233) * 1,2657^2 * 1^2 = 2,9845$$

Vervolgens zijn alle onbekenden uit de formule van de dynamische piekdruk  $q_p(z)$  gekend:

$$q_p(z) = c_e(z) * q_b = 2,9845 * 237,5 = 708 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Opmerking:

Deze dynamische piekdruk is voor een terugkeerperiode van 1,58 jaar. Indien gewerkt zou worden met een terugkeerperiode van 50 jaar, dan was de dynamische piekdruk 1261 N/m<sup>2</sup>. Voor een terugkeerperiode van 50 jaar zijn deze waarden ook terug te vinden in tabellen die opgesteld werden door het WTCB (zie *bijlage 1 - Dynamische piekdruk voor een terugkeerperiode van 50 jaar*). Hiervoor moet gekeken worden naar de tabel  $v_{b,0} = 26 \text{ m/s}$ . In deze tabel wordt voor een hoogte  $z$  van 10 meter bij klasse 0, ook de waarde van 1261 N/m<sup>2</sup> teruggevonden.

Voor het tweede deel van de berekening wordt op zoek gegaan naar de drukcoëfficiënten. Voor de twee gevallen zullen deze coëfficiënten anders zijn.

### **Geval 1:**

De wind blaast evenwijdig aan de voorgevel en bijgevolg blaast de wind loodrecht op de gemene muur:

Door gebruik te maken van Figuur 34, kan de waarde van  $C_{pe}$  bepaald worden. Eerst moet de verhouding van  $h/d$  berekend worden. De waarde van  $d$  komt hier overeen met de lengte van de rijwoning en wordt gelijkgesteld aan  $\infty$ . Bijgevolg is de verhouding van  $h/d = 0$ .

$$\rightarrow h/\infty = 10/\infty = 0$$

Vervolgens kan uit Figuur 34 de waarde van  $C_{pe}$  (kijken bij  $C_{pe,10}$ ) afgelezen worden, dit ter hoogte van zone E.

$$\rightarrow C_{pe} = -0,3 \text{ (dit is een onderdruk)}$$

Als waarde van  $C_{pi}$  moet de meest ongunstige waarde gekozen worden tussen  $+0,2$  en  $-0,3$ . In dit geval is dit  $+0,2$ .

$$\rightarrow C_{pi} = +0,2$$

Vervolgens kan dan  $C_{p,net}$  berekend worden:

$$\rightarrow C_{p,net} = C_{pe} - C_{pi} = -0,3 - 0,2 = -0,5$$

### **Geval 2:**

De wind blaast loodrecht op de voorgevel en bijgevolg blaast de wind zijdelings langs de gemene muur:

Net als in het eerste geval, gebeurt de bepaling van  $C_{pe}$  aan de hand van Figuur 34. In dit geval moet wel eerst de waarde van  $e$  bepaald worden.

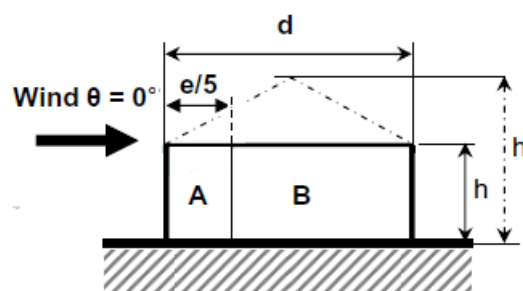
$e$  is het minimum van  $b$  of  $2h$

- $b = \text{oneindig}$
- $2h = 2 \cdot 10 = 20 \text{ m}$

$$\rightarrow e = 20 \text{ meter}$$

Vervolgens moet gekeken worden naar het verband tussen  $e (=20 \text{ m})$  en  $d (=10 \text{ m})$ :

$e \geq d \rightarrow$  Bijgevolg moet de gemene muur opgesplitst worden in twee zones (A en B). Dit is weergegeven op Figuur 32:



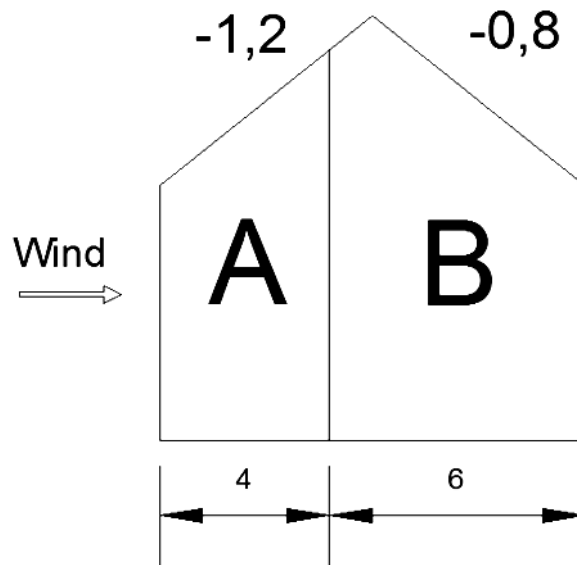
Aan de hand van Figuur 34 kan nu de waarde voor  $C_{pe}$  afgelezen worden:

$C_{pe}$  van zone A = -1,2

$C_{pe}$  van zone B = -0,8

Zone A heeft een lengte van  $e/5 = 4\text{m}$

Zone B heeft een lengte van  $10-4 = 6\text{m}$



**Figuur 46: Waarden voor de zones A en B**

Als waarde van  $C_{pi}$  moet opnieuw de meest ongunstige waarde gekozen worden tussen +0,2 en -0,3. In dit geval is dit +0,2.

→  $C_{pi} = +0,2$

Vervolgens kan dan  $C_{p,net}$  berekend worden voor iedere zone:

→ Zone A:  $C_{p,net} = C_{pe} - C_{pi} = -1,2 - 0,2 = -1,4$

→ Zone B:  $C_{p,net} = C_{pe} - C_{pi} = -0,8 - 0,2 = -1,0$

Nu zijn alle coëfficiënten uit Vergelijking 1 gekend en kan de winddruk voor ieder geval berekend worden:

$$w = C_s C_d * C_{p,net} * q_p(z_e)$$

Geval 1:

$$w = 1 * (-0,5) * 708 = -354 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \text{ (onderdruk)}$$

Geval 2:

Hier moet een onderscheid gemaakt worden tussen zone A en zone B:

Zone A:

$$w = 1 * (-1,4) * 708 = -991,1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \text{ (onderdruk)}$$

Zone B:

$$w = 1 * (-1,0) * 708 = -708,0 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \text{ (onderdruk)}$$

Uit bovenstaande waarden kan besloten worden dat geval 2 de grootste winddruk weergeeft. Bijgevolg zal voor het verdere verloop van de thesis enkel gewerkt worden met geval 2 omdat hier de grootste windkrachten voorkomen en bijgevolg ook het meeste risico inhouden.

Samengevat:

$$\text{Windruk zone A} = -991,1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \text{ over een lengte van 4 meter}$$

$$\text{Windruk zone B} = -708,0 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \text{ over een lengte van 6 meter}$$

Opmerking:

Bij geval 2 kan de muur opgesplitst worden in verschillende zones afhankelijk van de verhouding tussen de coëfficiënten e en d. Voor de verdere berekeningen van de thesis zal enkel nog verder gewerkt worden met de winddruk in zone A omdat deze de grootste windkracht oplevert. Bijgevolg zal de winddruk van zone A beschouwd worden over de volledige muur.

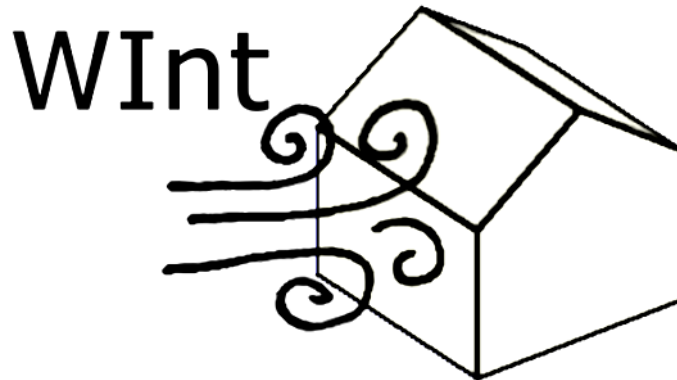
Indien gewerkt werd met een terugkeerperiode van 50 jaar, dan zou voor zone A een winddruk van  $-1765,4 \text{ N/m}^2$  bekomen worden.



## 2.4 Verschil in winddruk op platdak en zadeldak

Vervolgens moet ook nog onderzocht worden of een verschil opgemerkt kan worden in de grootte van de winddruk die op de gemene muur van een woning met platdak blaast en van een woning met schuindak (zadeldak). In de norm wordt dit niet besproken.

Dit zal aangetoond worden door gebruik te maken van het programma Wind Interactive (WInt ©) dat ontwikkeld werd door het WTCB. Bij dit programma wordt wel gewerkt met een terugkeerperiode van 50 jaar. De besluiten die hieronder getrokken worden, gelden ook voor een terugkeerperiode van 1,58 jaar en bijgevolg ook voor andere terugkeerperiodes.



**Figuur 47: Programma Wind Interactive (WTCB)**

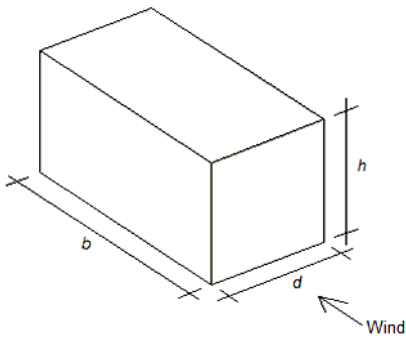
Enkel de winddruk op de gemene muur wordt bekeken. Opnieuw zullen dezelfde twee gevallen zoals hierboven nagekeken worden:

- **Geval 1:** De wind blaast evenwijdig aan de voorgevel en bijgevolg blaast de wind loodrecht op de gemene muur
- **Geval 2:** De wind blaast loodrecht op de voorgevel en bijgevolg blaast de wind zijdelings langs de gemene muur

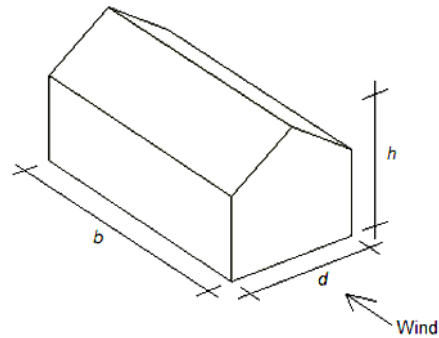
Met volgende parameters wordt gewerkt:

- $v_{b,0} = 26\text{m/s}$
- Klasse 0
- $d = 10$  meter
- $h = 10$  meter
- $b =$  zeer grote waarde omdat met een rijwoning gewerkt wordt,  $b$  wordt oneindig verondersteld

### Geval1:



**Figuur 48: Geval 1 – Platdak (WTCB)**



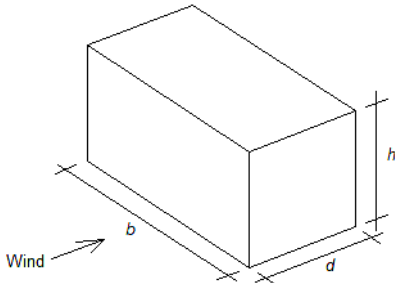
**Figuur 49: Geval 1 – Zadeldak (WTCB)**

In dit geval is het dus enkel de winddruk in zone E (dit is de zone onder de wind – zie Figuur 30) die een rol speelt, want het is enkel de winddruk op de gemene muur die bestudeerd wordt. Aan de hand van dit programma wordt zowel voor een platdak als voor een zadeldak op zone E een winddruk van  $-630 \text{ N/m}^2$  bekomen.

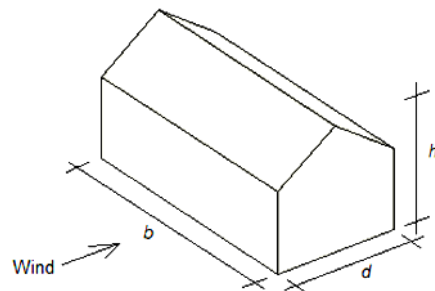
Wanneer één of meerdere van de parameters gewijzigd worden, dan wordt opnieuw een winddruk bekomen die zowel voor het platdak als het zadeldak dezelfde is.

Voor dit geval mag dus besloten worden dat geen verschil zit in winddruk op de gemene muur tussen een platdak en een zadeldak.

### Geval2:



**Figuur 50: Geval 2 - Platdak (WTCB)**



**Figuur 51: Geval 2 – Zadeldak (WTCB)**

In dit geval is het enkel de winddruk in zone A, B en C (zie Figuur 30) die een rol speelt, want dit zijn de zones van de gemene muur waarop de winddruk blaast. Uit berekeningen volgt dat in dit voorbeeld enkel een zones A en B aanwezig zijn ( $e \geq d$ ).

Opnieuw wordt aan de hand van het programma zowel voor een platdak als voor een zadeldak een winddruk op de gemene muur bekomen die dezelfde waarde heeft:

- Zone A:  $-1765 \text{ N/m}^2$
- Zone B:  $-1261 \text{ N/m}^2$

Wanneer ook voor dit geval één of meerdere van de parameters gewijzigd worden, dan wordt opnieuw een winddruk bekomen die zowel voor het platdak als het zadeldak dezelfde is.

Als algemeen besluit mag besloten worden dat voor beide gevallen geen verschil zit in winddruk op de gemene muur tussen een platdak en een zadeldak. Voor het vervolg van de thesis wordt hier dus geen onderscheid meer naar gemaakt.

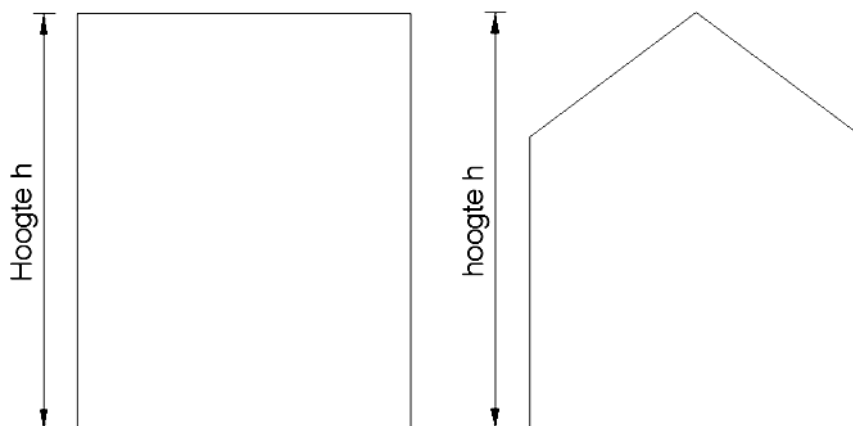
## 2.5 Vergelijking resultaten van verschillende gevallen

Voor de verdere werking van de thesis wordt steeds gewerkt met een rijwoning met gemene muur die zich in dat deel van België bevindt waarvoor  $v_{b,0} = 26$  m/s (westen van België).

Verder zal ook gewerkt worden met een terugkeerperiode van 1,58 jaar (dit is ook de terugkeerperiode die door de firma V-systems gebruikt wordt). In bijlage zullen ook de gegevens voor een terugkeerperiode van 50 jaar opgenomen worden (zie bijlage 2: *Gegevens van de winddruk voor een terugkeerperiode van 50 jaar*).

Vervolgens wordt het aantal verdiepingen van het gebouw (en bijgevolg de hoogte  $h$ ) en de breedte van de gemene muur (de diepte  $d$  van het gebouw) gevarieerd om zo het effect op de windbelasting te onderzoeken. De winddruk in de verschillende klassen wordt ook onderzocht.

Zoals in het vorige punt reeds bewezen werd, dient geen onderscheid gemaakt te worden tussen de winddruk op de gemene muur van platdak en een zadeldak. De hoogte  $h$  wordt op Figuur 52 weergegeven:

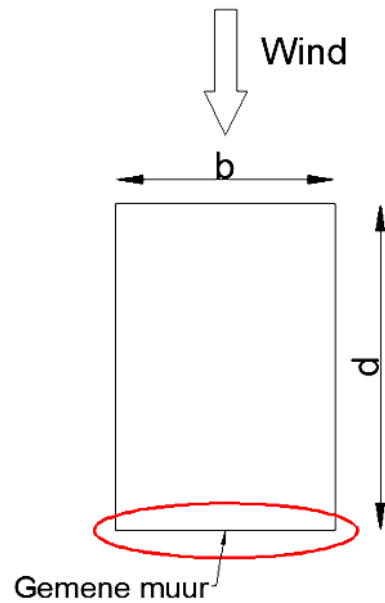


**Figuur 52: Hoogte  $h$  platdak en zadeldak**

- Als verdiepingshoogte  $h$  wordt met 2,60 meter gewerkt. De winddruk zal bekeken worden voor maximaal 7 verdiepingen (18,2 meter).
- De breedte van de gemene muur (de diepte  $d$  van het gebouw) zal variëren tussen 6 en 12 meter.

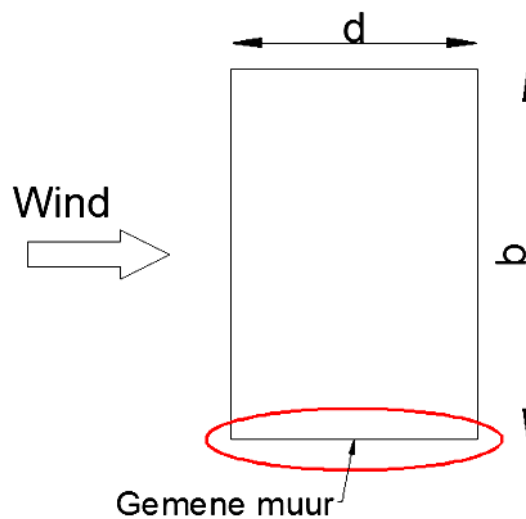
Net zoals in het voorbeeld van 2.4 zullen dezelfde twee gevallen besproken worden bij de berekening van de windbelasting. De winddrukken van de twee gevallen worden dan in tabellen weergegeven.

- **Geval 1**: De wind blaast evenwijdig aan de voorgevel en bijgevolg blaast de wind loodrecht op de gemene muur



**Figuur 53: Geval 1**

- **Geval 2**: De wind blaast loodrecht op de voorgevel en bijgevolg blaast de wind zijdelings langs de gemene muur



**Figuur 54: Geval 2**

Opmerking:

Voor de verdere werking van de thesis wordt als waarde van  $C_{pi}$  steeds de meest ongunstige waarde gekozen tussen +0,2 en -0,3.

**Geval 1:** Breedte gemene muur = **6 meter** (diepte d van het gebouw):

| Aantal verdiepingen | hoogte h | Klassen    | $C_s C_d$ | $q_p(z)$ | $C_{pe}$ geval 1 | $C_{pi}$ | $C_{p,net}$ geval 1 | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] geval 1 |
|---------------------|----------|------------|-----------|----------|------------------|----------|---------------------|--------------------------------------|
| 1 verdieping        | 2,6      | Klasse 0   | 1         | 538      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -268,9                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 477      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -238,7                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 371      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -185,3                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 293      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -146,5                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 248      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -123,8                               |
| 2 verdiepingen      | 5,2      | Klasse 0   | 1         | 623      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -311,4                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 567      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -283,3                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 463      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -231,6                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 298      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -149,2                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 248      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -123,8                               |
| 3 verdiepingen      | 7,8      | Klasse 0   | 1         | 675      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -337,5                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 622      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -310,9                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 521      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -260,5                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 355      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -177,6                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 248      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -123,8                               |
| 4 verdiepingen      | 10,4     | Klasse 0   | 1         | 713      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -356,6                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 662      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -331,1                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 564      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -281,9                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 398      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -198,9                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 253      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -126,5                               |
| 5 verdiepingen      | 13,0     | Klasse 0   | 1         | 744      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -371,8                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 695      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -347,3                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 598      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -299,0                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 432      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -216,1                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 284      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -142,2                               |
| 6 verdiepingen      | 15,6     | Klasse 0   | 1         | 769      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -384,4                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 721      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -360,7                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 627      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -313,3                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 461      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -230,5                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 311      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -155,6                               |
| 7 verdiepingen      | 18,2     | Klasse 0   | 1         | 790      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -395,2                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 744      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -372,2                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 651      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -325,6                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 486      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -243,0                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 335      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -167,3                               |

**Geval 2:** Breedte gemene muur = 6 meter (diepte d van het gebouw):

| Aantal verdiepingen | hoogte h | Klassen    | C <sub>s</sub> C <sub>d</sub> | q <sub>p</sub> (z) | C <sub>pe</sub> geval 2 Zone A | C <sub>pe</sub> geval 2 Zone B | C <sub>pe</sub> geval 2 Zone C | C <sub>pi</sub> | C <sub>p, net</sub> geval 2 Zone A | C <sub>p, net</sub> geval 2 Zone B | C <sub>p, net</sub> geval 2 Zone C | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] geval 2 - Zone A | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] geval 2 - Zone B | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] geval 2 - Zone C |
|---------------------|----------|------------|-------------------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---|---|---|
| 1 verdieping        | 2,6      | Klasse 0   | 1                             | 538                | -1,2                           | -0,8                           | -0,5                           | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -0,7                               | -752,9  | -537,8  | -376,4  |
|                     |          | Klasse I   | 1                             | 477                | -1,2                           | -0,8                           | -0,5                           | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -0,7                               | -668,4  | -477,4  | -334,2  |
|                     |          | Klasse II  | 1                             | 371                | -1,2                           | -0,8                           | -0,5                           | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -0,7                               | -518,7  | -370,5  | -259,4  |
|                     |          | Klasse III | 1                             | 293                | -1,2                           | -0,8                           | -0,5                           | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -0,7                               | -410,2  | -293,0  | -205,1  |
|                     |          | Klasse IV  | 1                             | 248                | -1,2                           | -0,8                           | -0,5                           | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -0,7                               | -346,5  | -247,5  | -173,3  |
| 2 verdiepingen      | 5,2      | Klasse 0   | 1                             | 623                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -871,8  | -622,7  | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1                             | 567                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -793,2  | -566,6  | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1                             | 463                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -648,3  | -463,1  | -   |
|                     |          | Klasse III | 1                             | 298                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -417,6  | -298,3  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1                             | 248                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -346,5  | -247,5  | -   |
| 3 verdiepingen      | 7,8      | Klasse 0   | 1                             | 675                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -945,0  | -675,0  | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1                             | 622                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -870,5  | -621,8  | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1                             | 521                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -729,5  | -521,1  | -   |
|                     |          | Klasse III | 1                             | 355                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -497,3  | -355,2  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1                             | 248                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -346,5  | -247,5  | -   |
| 4 verdiepingen      | 10,4     | Klasse 0   | 1                             | 713                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -998,5  | -713,2  | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1                             | 662                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -927,2  | -662,3  | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1                             | 564                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -789,5  | -563,9  | -   |
|                     |          | Klasse III | 1                             | 398                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -557,0  | -397,8  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1                             | 253                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -354,1  | -252,9  | -   |
| 5 verdiepingen      | 13,0     | Klasse 0   | 1                             | 744                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1040,9                                       | -743,5  | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1                             | 695                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -972,3  | -694,5  | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1                             | 598                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -837,3  | -598,1  | -   |
|                     |          | Klasse III | 1                             | 432                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -605,0  | -432,1  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1                             | 284                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -398,3  | -284,5  | -   |
| 6 verdiepingen      | 15,6     | Klasse 0   | 1                             | 769                | -1,2                           | -                              | -                              | 0,2             | -1,4                               | -                                  | -                                  | -1076,2                                       | -   | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1                             | 721                | -1,2                           | -                              | -                              | 0,2             | -1,4                               | -                                  | -                                  | -1009,9                                       | -   | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1                             | 627                | -1,2                           | -                              | -                              | 0,2             | -1,4                               | -                                  | -                                  | -877,3  | -   | -   |
|                     |          | Klasse III | 1                             | 461                | -1,2                           | -                              | -                              | 0,2             | -1,4                               | -                                  | -                                  | -645,3  | -   | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1                             | 311                | -1,2                           | -                              | -                              | 0,2             | -1,4                               | -                                  | -                                  | -435,7  | -   | -   |
| 7 verdiepingen      | 18,2     | Klasse 0   | 1                             | 790                | -1,2                           | -                              | -                              | 0,2             | -1,4                               | -                                  | -                                  | -1106,5                                       | -   | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1                             | 744                | -1,2                           | -                              | -                              | 0,2             | -1,4                               | -                                  | -                                  | -1042,1                                       | -   | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1                             | 651                | -1,2                           | -                              | -                              | 0,2             | -1,4                               | -                                  | -                                  | -911,8  | -   | -   |
|                     |          | Klasse III | 1                             | 486                | -1,2                           | -                              | -                              | 0,2             | -1,4                               | -                                  | -                                  | -680,3  | -   | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1                             | 335                | -1,2                           | -                              | -                              | 0,2             | -1,4                               | -                                  | -                                  | -468,3  | -   | -   |

**Geval 1:** Breedte gemene muur = **8 meter** (diepte d van het gebouw):

| Aantal verdiepingen | hoogte h | Klassen    | $C_s C_d$ | $q_p(z)$ | $C_{pe}$ geval 1 | $C_{pi}$ | $C_{p,net}$ geval 1 | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] geval 1 |
|---------------------|----------|------------|-----------|----------|------------------|----------|---------------------|--------------------------------------|
| 1 verdieping        | 2,6      | Klasse 0   | 1         | 538      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -268,9                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 477      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -238,7                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 371      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -185,3                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 293      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -146,5                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 248      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -123,8                               |
| 2 verdiepingen      | 5,2      | Klasse 0   | 1         | 623      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -311,4                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 567      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -283,3                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 463      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -231,6                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 298      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -149,2                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 248      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -123,8                               |
| 3 verdiepingen      | 7,8      | Klasse 0   | 1         | 675      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -337,5                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 622      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -310,9                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 521      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -260,5                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 355      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -177,6                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 248      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -123,8                               |
| 4 verdiepingen      | 10,4     | Klasse 0   | 1         | 713      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -356,6                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 662      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -331,1                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 564      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -281,9                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 398      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -198,9                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 253      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -126,5                               |
| 5 verdiepingen      | 13,0     | Klasse 0   | 1         | 744      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -371,8                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 695      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -347,3                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 598      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -299,0                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 432      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -216,1                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 284      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -142,2                               |
| 6 verdiepingen      | 15,6     | Klasse 0   | 1         | 769      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -384,4                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 721      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -360,7                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 627      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -313,3                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 461      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -230,5                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 311      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -155,6                               |
| 7 verdiepingen      | 18,2     | Klasse 0   | 1         | 790      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -395,2                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 744      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -372,2                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 651      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -325,6                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 486      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -243,0                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 335      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -167,3                               |

**Geval 2:** Breedte gemene muur = 8 meter (diepte d van het gebouw):

| Aantal verdiepingen | hoogte h | Klassen    | $C_s C_d$ | $q_p(z)$ | $C_{pe}$ geval 2 Zone A | $C_{pe}$ geval 2 Zone B | $C_{pe}$ geval 2 Zone C | $C_{pi}$ | $C_{p, net}$ geval 2 Zone A | $C_{p, net}$ geval 2 Zone B | $C_{p, net}$ geval 2 Zone C | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] geval 2 - Zone A | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] geval 2 - Zone B | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] geval 2 - Zone C |
|---------------------|----------|------------|-----------|----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---|---|---|
| 1 verdieping        | 2,6      | Klasse 0   | 1         | 538      | -1,2                    | -0,8                    | -0,5                    | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -0,7                        | -752,9  | -537,8  | -376,4  |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 477      | -1,2                    | -0,8                    | -0,5                    | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -0,7                        | -668,4  | -477,4  | -334,2  |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 371      | -1,2                    | -0,8                    | -0,5                    | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -0,7                        | -518,7  | -370,5  | -259,4  |
|                     |          | Klasse III | 1         | 293      | -1,2                    | -0,8                    | -0,5                    | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -0,7                        | -410,2  | -293,0  | -205,1  |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 248      | -1,2                    | -0,8                    | -0,5                    | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -0,7                        | -346,5  | -247,5  | -173,3  |
| 2 verdiepingen      | 5,2      | Klasse 0   | 1         | 623      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -871,8  | -622,7  | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 567      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -793,2  | -566,6  | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 463      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -648,3  | -463,1  | -   |
|                     |          | Klasse III | 1         | 298      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -417,6  | -298,3  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 248      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -346,5  | -247,5  | -   |
| 3 verdiepingen      | 7,8      | Klasse 0   | 1         | 675      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -945,0  | -675,0  | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 622      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -870,5  | -621,8  | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 521      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -729,5  | -521,1  | -   |
|                     |          | Klasse III | 1         | 355      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -497,3  | -355,2  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 248      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -346,5  | -247,5  | -   |
| 4 verdiepingen      | 10,4     | Klasse 0   | 1         | 713      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -998,5  | -713,2  | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 662      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -927,2  | -662,3  | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 564      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -789,5  | -563,9  | -   |
|                     |          | Klasse III | 1         | 398      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -557,0  | -397,8  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 253      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -354,1  | -252,9  | -   |
| 5 verdiepingen      | 13,0     | Klasse 0   | 1         | 744      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -1040,9                                       | -743,5  | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 695      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -972,3  | -694,5  | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 598      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -837,3  | -598,1  | -   |
|                     |          | Klasse III | 1         | 432      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -605,0  | -432,1  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 284      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -398,3  | -284,5  | -   |
| 6 verdiepingen      | 15,6     | Klasse 0   | 1         | 769      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -1076,2                                       | -768,7  | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 721      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -1009,9                                       | -721,3  | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 627      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -877,3  | -626,7  | -   |
|                     |          | Klasse III | 1         | 461      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -645,3  | -461,0  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 311      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -435,7  | -311,2  | -   |
| 7 verdiepingen      | 18,2     | Klasse 0   | 1         | 790      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -1106,5                                       | -790,3  | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 744      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -1042,1                                       | -744,4  | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 651      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -911,8  | -651,3  | -   |
|                     |          | Klasse III | 1         | 486      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -680,3  | -485,9  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 335      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -468,3  | -334,5  | -   |



**Geval 1:** Breedte gemene muur = **10 meter** (diepte d van het gebouw):

| Aantal verdiepingen | hoogte h | Klassen    | $C_s C_d$ | $q_p(z)$ | $C_{pe}$ geval 1 | $C_{pi}$ | $C_{p,net}$ geval 1 | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] geval 1 |
|---------------------|----------|------------|-----------|----------|------------------|----------|---------------------|--------------------------------------|
| 1 verdieping        | 2,6      | Klasse 0   | 1         | 538      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -268,9                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 477      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -238,7                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 371      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -185,3                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 293      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -146,5                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 248      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -123,8                               |
| 2 verdiepingen      | 5,2      | Klasse 0   | 1         | 623      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -311,4                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 567      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -283,3                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 463      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -231,6                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 298      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -149,2                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 248      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -123,8                               |
| 3 verdiepingen      | 7,8      | Klasse 0   | 1         | 675      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -337,5                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 622      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -310,9                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 521      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -260,5                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 355      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -177,6                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 248      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -123,8                               |
| 4 verdiepingen      | 10,4     | Klasse 0   | 1         | 713      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -356,6                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 662      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -331,1                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 564      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -281,9                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 398      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -198,9                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 253      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -126,5                               |
| 5 verdiepingen      | 13,0     | Klasse 0   | 1         | 744      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -371,8                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 695      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -347,3                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 598      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -299,0                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 432      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -216,1                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 284      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -142,2                               |
| 6 verdiepingen      | 15,6     | Klasse 0   | 1         | 769      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -384,4                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 721      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -360,7                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 627      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -313,3                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 461      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -230,5                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 311      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -155,6                               |
| 7 verdiepingen      | 18,2     | Klasse 0   | 1         | 790      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -395,2                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 744      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -372,2                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 651      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -325,6                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 486      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -243,0                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 335      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -167,3                               |

**Geval 2:** Breedte gemene muur = **10 meter** (diepte d van het gebouw):

| Aantal verdiepingen | hoogte h | Klassen    | $C_s C_d$ | $q_p(z)$ | $C_{pe}$ geval 2 Zone A | $C_{pe}$ geval 2 Zone B | $C_{pe}$ geval 2 Zone C | $C_{pi}$ | $C_{p, net}$ geval 2 Zone A | $C_{p, net}$ geval 2 Zone B | $C_{p, net}$ geval 2 Zone C | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] geval 2 - Zone A | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] geval 2 - Zone B | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] geval 2 - Zone C |
|---------------------|----------|------------|-----------|----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---|---|---|
| 1 verdieping        | 2,6      | Klasse 0   | 1         | 538      | -1,2                    | -0,8                    | -0,5                    | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -0,7                        | -752,9  | -537,8  | -376,4  |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 477      | -1,2                    | -0,8                    | -0,5                    | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -0,7                        | -668,4  | -477,4  | -334,2  |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 371      | -1,2                    | -0,8                    | -0,5                    | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -0,7                        | -518,7  | -370,5  | -259,4  |
|                     |          | Klasse III | 1         | 293      | -1,2                    | -0,8                    | -0,5                    | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -0,7                        | -410,2  | -293,0  | -205,1  |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 248      | -1,2                    | -0,8                    | -0,5                    | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -0,7                        | -346,5  | -247,5  | -173,3  |
| 2 verdiepingen      | 5,2      | Klasse 0   | 1         | 623      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -871,8  | -622,7  | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 567      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -793,2  | -566,6  | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 463      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -648,3  | -463,1  | -   |
|                     |          | Klasse III | 1         | 298      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -417,6  | -298,3  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 248      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -346,5  | -247,5  | -   |
| 3 verdiepingen      | 7,8      | Klasse 0   | 1         | 675      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -945,0  | -675,0  | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 622      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -870,5  | -621,8  | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 521      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -729,5  | -521,1  | -   |
|                     |          | Klasse III | 1         | 355      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -497,3  | -355,2  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 248      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -346,5  | -247,5  | -   |
| 4 verdiepingen      | 10,4     | Klasse 0   | 1         | 713      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -998,5  | -713,2  | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 662      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -927,2  | -662,3  | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 564      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -789,5  | -563,9  | -   |
|                     |          | Klasse III | 1         | 398      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -557,0  | -397,8  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 253      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -354,1  | -252,9  | -   |
| 5 verdiepingen      | 13,0     | Klasse 0   | 1         | 744      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -1040,9                                       | -743,5  | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 695      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -972,3  | -694,5  | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 598      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -837,3  | -598,1  | -   |
|                     |          | Klasse III | 1         | 432      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -605,0  | -432,1  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 284      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -398,3  | -284,5  | -   |
| 6 verdiepingen      | 15,6     | Klasse 0   | 1         | 769      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -1076,2                                       | -768,7  | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 721      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -1009,9                                       | -721,3  | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 627      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -877,3  | -626,7  | -   |
|                     |          | Klasse III | 1         | 461      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -645,3  | -461,0  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 311      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -435,7  | -311,2  | -   |
| 7 verdiepingen      | 18,2     | Klasse 0   | 1         | 790      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -1106,5                                       | -790,3  | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 744      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -1042,1                                       | -744,4  | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 651      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -911,8  | -651,3  | -   |
|                     |          | Klasse III | 1         | 486      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -680,3  | -485,9  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 335      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -468,3  | -334,5  | -   |

**Geval 1:** Breedte gemene muur = **12 meter** (diepte d van het gebouw):

| Aantal verdiepingen | hoogte h | Klassen    | $C_s C_d$ | $q_p(z)$ | $C_{pe}$ geval 1 | $C_{pi}$ | $C_{p,net}$ geval 1 | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] geval 1 |
|---------------------|----------|------------|-----------|----------|------------------|----------|---------------------|--------------------------------------|
| 1 verdieping        | 2,6      | Klasse 0   | 1         | 538      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -268,9                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 477      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -238,7                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 371      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -185,3                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 293      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -146,5                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 248      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -123,8                               |
| 2 verdiepingen      | 5,2      | Klasse 0   | 1         | 623      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -311,4                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 567      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -283,3                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 463      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -231,6                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 298      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -149,2                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 248      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -123,8                               |
| 3 verdiepingen      | 7,8      | Klasse 0   | 1         | 675      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -337,5                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 622      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -310,9                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 521      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -260,5                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 355      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -177,6                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 248      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -123,8                               |
| 4 verdiepingen      | 10,4     | Klasse 0   | 1         | 713      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -356,6                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 662      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -331,1                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 564      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -281,9                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 398      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -198,9                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 253      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -126,5                               |
| 5 verdiepingen      | 13,0     | Klasse 0   | 1         | 744      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -371,8                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 695      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -347,3                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 598      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -299,0                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 432      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -216,1                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 284      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -142,2                               |
| 6 verdiepingen      | 15,6     | Klasse 0   | 1         | 769      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -384,4                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 721      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -360,7                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 627      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -313,3                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 461      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -230,5                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 311      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -155,6                               |
| 7 verdiepingen      | 18,2     | Klasse 0   | 1         | 790      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -395,2                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 744      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -372,2                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 651      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -325,6                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 486      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -243,0                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 335      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -167,3                               |

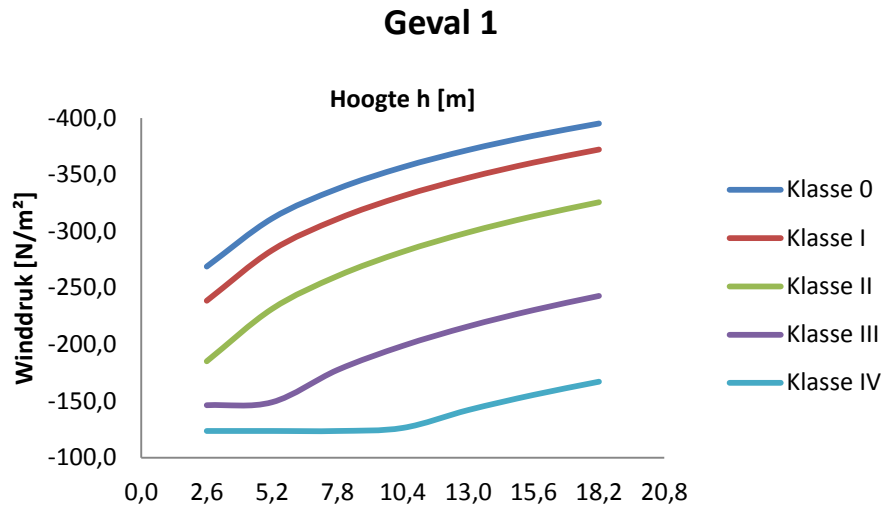
**Geval 2:** Breedte gemene muur = **12 meter** (diepte d van het gebouw):

| Aantal verdiepingen | hoogte h | Klassen    | $C_{s}C_d$ | $q_p(z)$ | $C_{pe}$ geval 2 Zone A | $C_{pe}$ geval 2 Zone B | $C_{pe}$ geval 2 Zone C | $C_{pi}$ | $C_{p, net}$ geval 2 Zone A | $C_{p, net}$ geval 2 Zone B | $C_{p, net}$ geval 2 Zone C | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] geval 2 - Zone A | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] geval 2 - Zone B | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] geval 2 - Zone C |
|---------------------|----------|------------|------------|----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---|---|---|
| 1 verdieping        | 2,6      | Klasse 0   | 1          | 538      | -1,2                    | -0,8                    | -0,5                    | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -0,7                        | -752,9  | -537,8  | -376,4  |
|                     |          | Klasse I   | 1          | 477      | -1,2                    | -0,8                    | -0,5                    | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -0,7                        | -668,4  | -477,4  | -334,2  |
|                     |          | Klasse II  | 1          | 371      | -1,2                    | -0,8                    | -0,5                    | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -0,7                        | -518,7  | -370,5  | -259,4  |
|                     |          | Klasse III | 1          | 293      | -1,2                    | -0,8                    | -0,5                    | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -0,7                        | -410,2  | -293,0  | -205,1  |
|                     |          | Klasse IV  | 1          | 248      | -1,2                    | -0,8                    | -0,5                    | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -0,7                        | -346,5  | -247,5  | -173,3  |
| 2 verdiepingen      | 5,2      | Klasse 0   | 1          | 623      | -1,2                    | -0,8                    | -0,5                    | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -0,7                        | -871,8  | -622,7  | -435,9  |
|                     |          | Klasse I   | 1          | 567      | -1,2                    | -0,8                    | -0,5                    | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -0,7                        | -793,2  | -566,6  | -396,6  |
|                     |          | Klasse II  | 1          | 463      | -1,2                    | -0,8                    | -0,5                    | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -0,7                        | -648,3  | -463,1  | -324,2  |
|                     |          | Klasse III | 1          | 298      | -1,2                    | -0,8                    | -0,5                    | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -0,7                        | -417,6  | -298,3  | -208,8  |
|                     |          | Klasse IV  | 1          | 248      | -1,2                    | -0,8                    | -0,5                    | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -0,7                        | -346,5  | -247,5  | -173,3  |
| 3 verdiepingen      | 7,8      | Klasse 0   | 1          | 675      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -945,0  | -675,0  | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1          | 622      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -870,5  | -621,8  | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1          | 521      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -729,5  | -521,1  | -   |
|                     |          | Klasse III | 1          | 355      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -497,3  | -355,2  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1          | 248      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -346,5  | -247,5  | -   |
| 4 verdiepingen      | 10,4     | Klasse 0   | 1          | 713      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -998,5  | -713,2  | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1          | 662      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -927,2  | -662,3  | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1          | 564      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -789,5  | -563,9  | -   |
|                     |          | Klasse III | 1          | 398      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -557,0  | -397,8  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1          | 253      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -354,1  | -252,9  | -   |
| 5 verdiepingen      | 13,0     | Klasse 0   | 1          | 744      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -1040,9                                       | -743,5  | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1          | 695      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -972,3  | -694,5  | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1          | 598      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -837,3  | -598,1  | -   |
|                     |          | Klasse III | 1          | 432      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -605,0  | -432,1  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1          | 284      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -398,3  | -284,5  | -   |
| 6 verdiepingen      | 15,6     | Klasse 0   | 1          | 769      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -1076,2                                       | -768,7  | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1          | 721      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -1009,9                                       | -721,3  | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1          | 627      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -877,3  | -626,7  | -   |
|                     |          | Klasse III | 1          | 461      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -645,3  | -461,0  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1          | 311      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -435,7  | -311,2  | -   |
| 7 verdiepingen      | 18,2     | Klasse 0   | 1          | 790      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -1106,5                                       | -790,3  | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1          | 744      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -1042,1                                       | -744,4  | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1          | 651      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -911,8  | -651,3  | -   |
|                     |          | Klasse III | 1          | 486      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -680,3  | -485,9  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1          | 335      | -1,2                    | -0,8                    | -                       | 0,2      | -1,4                        | -1                          | -                           | -468,3  | -334,5  | -   |

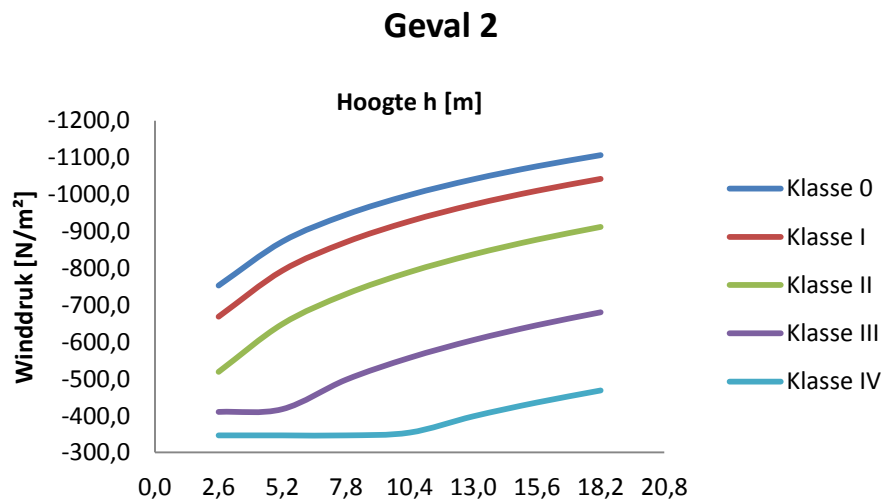
### 2.5.1 Conclusie uit berekeningen bij een terugkeerperiode van 1,58 jaar

Het is nu mogelijk om bovenstaande gegevens weer te geven in verschillende grafieken:

- 1) Als eerste wordt gekeken hoe de winddruk zal variëren indien de klasse gewijzigd wordt. Dit wordt zowel voor geval 1 als voor geval 2 gedaan:



**Figuur 55: Geval 1 - variatie winddruk bij veranderende klasse**



**Figuur 56: Geval 2 - variatie winddruk bij veranderende klasse**

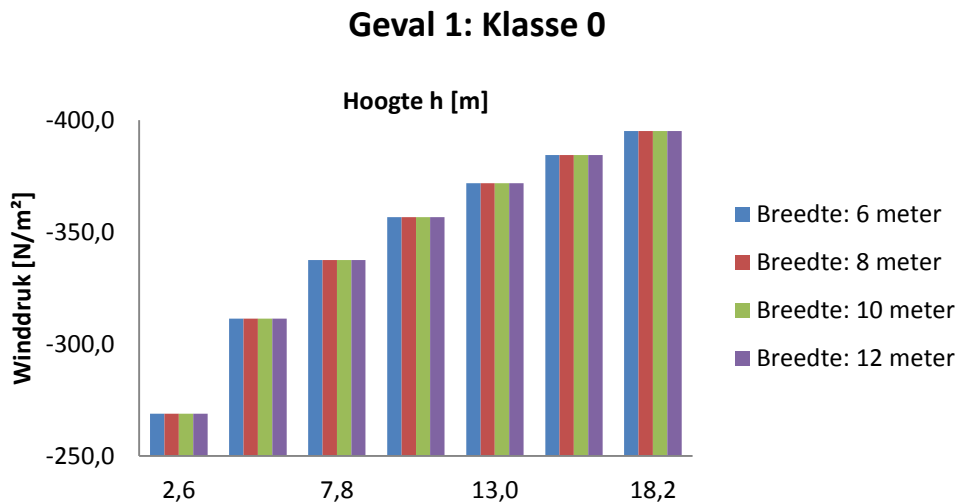
#### **Besluit:**

Wanneer beide gevallen met elkaar vergeleken worden, dan kan besloten worden dat voor een gebouw dat zich in klasse 0 bevindt, de winddruk veel groter is dan voor een gebouw dat zich in klasse IV bevindt. Dit kan grotendeels verklaard worden doordat de dynamische piekdruk voor klasse 0 veel groter is dan voor klasse IV op een bepaalde hoogte. Voor geval 2 werd enkel een grafiek opgesteld voor de winddruk in zone A omdat zone A veel grotere winddrukken veroorzaakt in vergelijking met de andere zones.

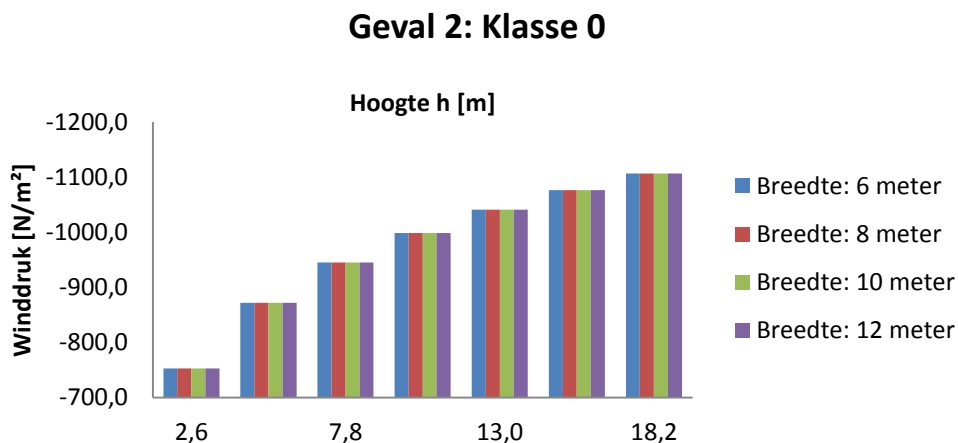
Ook wordt opgemerkt dat de winddruk het meest toeneemt in de eerste meters en naarmate de hoogte verder stijgt, neemt de winddruk minder snel toe. Dit is hetzelfde als bij de dynamische piekdruk.

Daarnaast wordt ook opgemerkt dat voor klasse III en klasse IV in beide gevallen de winddruk bij kleine hoogtes dezelfde is. Dit komt omdat rekening gehouden moet worden met de hoogte  $z_{min}$ . De gebruikte hoogte moet namelijk groter zijn dan  $z_{min}$ .

- 2) Als tweede wordt gekeken hoe de winddruk zal variëren indien de breedte gewijzigd wordt. Dit gebeurt opnieuw voor geval 1 en geval 2:



**Figuur 57: Geval 1 - variatie winddruk bij veranderende breedte**



**Figuur 58: Geval 2 - variatie winddruk bij veranderende breedte**

**Besluit:**

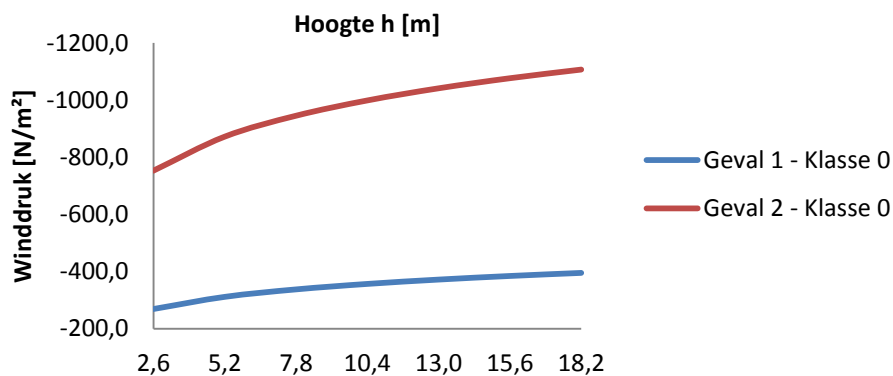
Wanneer de winddrukken voor geval 1 (klasse 0) vergeleken worden bij veranderlijke breedte, dan kan opgemerkt worden dat de winddrukken voor de verschillende breedtes dezelfde zijn. Dit geldt ook voor de andere klassen. Dit kan eenvoudig verklaard worden, want in de vergelijking van de winddruk (Vergelijking 1) is slechts 1 coëfficiënt waarbij de breedte van de gemene muur een invloed heeft, namelijk  $c_{p,net}$ . Hierbij speelt de verhouding van  $h/d$  een rol voor de bepaling van  $c_{pe}$ . Echter is de coëfficiënt  $d$  hier de

breedte van de voorgevel en wordt oneindig verondersteld omdat met een rijwoning gewerkt wordt. Bijgevolg zal de waarde van  $c_{pe}$  (zone E) en vervolgens ook  $c_{p,net}$  voor de verschillende breedtes steeds dezelfde zijn (Figuur 34).

Voor geval 2 (zone A) kan hetzelfde opgemerkt worden als voor geval 1. Hier zal de winddruk ook steeds hetzelfde zijn voor de verschillende breedtes, want de coëfficiënt  $c_{pe}$  is voor de verschillende breedtes steeds hetzelfde. Voor zone A is dit namelijk -1,2. De breedte zal wel een rol spelen voor de grootte van de zones op de gemene muur en vervolgens ook welke zones aanwezig zullen zijn. Zo komt bij een gemene muur met een breedte van 12 meter en hoogte van 5,2 meter, een zone A, B en C voor. Voor een breedte van 6 meter is dit enkel een zone A en B. Ook de grootte van de zones zal variëren voor veranderlijke breedtes. Zone A zal wel steeds de grootste winddrukken veroorzaken en bijgevolg zal voor het vervolg van de thesis enkel gewerkt worden met de winddrukken in zone A.

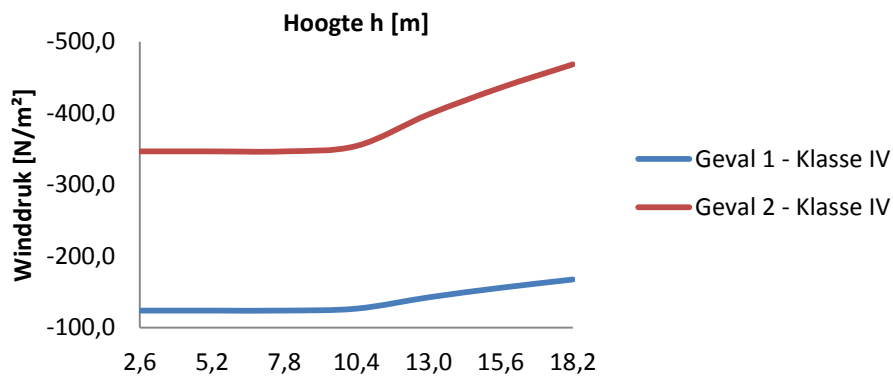
- 3) Als laatste wordt gekeken hoe de winddruk zal variëren indien met geval 1 of geval 2 gewerkt wordt:

### Verschil geval 1 en geval 2



Figuur 59: Winddruk bij geval 1 en geval 2 voor klasse 0

### Verschil geval 1 en geval 2



Figuur 60: Winddruk bij geval 1 en geval 2 voor klasse IV

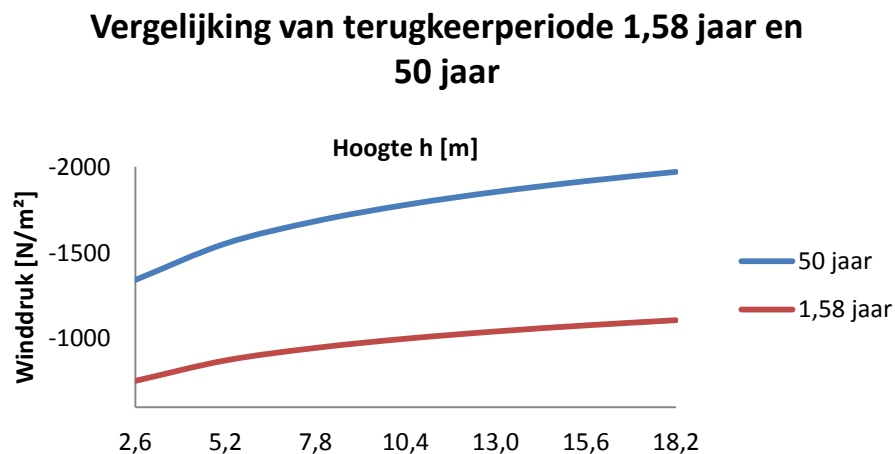
### **Besluit:**

Wanneer nu gekeken wordt naar het verschil in winddruk bij geval 1 en geval 2, dan kan besloten worden dat geval 2 veel grotere winddrukken veroorzaakt onder gelijke omstandigheden (bijvoorbeeld bij een gemene muur met drie verdiepingen en klasse 0). Zo is de winddruk bij geval 2 een factor 2,8 keer groter dan bij geval 1.

Geval 2 zal dus steeds de grootste winddrukken veroorzaken en bijgevolg moet hiermee rekening worden gehouden voor de verdere berekeningen. Zoals reeds eerder werd vermeld zal het dus met de winddruk in zone A zijn waarmee verder gewerkt zal worden.

Op Figuur 60 (klasse IV) kan opnieuw opgemerkt worden dat zowel voor geval 1 als geval 2 de winddruk voor de eerste drie verdiepingen steeds hetzelfde is. De reden is opnieuw dat met  $z_{\min}$  rekening gehouden moet worden. Deze zal voor iedere klasse anders zijn (Tabel 8).

Het was ook mogelijk om voor een terugkeerperiode van 50 jaar de gegevens van de winddruk eens te onderzoeken. Dit kon dan ook eens vergeleken worden met die voor een terugkeerperiode van 1,58 jaar. De bekomen grafiek werd opgesteld aan de hand van de winddrukken bekomen bij geval 2.



**Figuur 61: Vergelijking terugkeerperiode 1,58 jaar en 50 jaar**

Wat blijkt is dat een verband bestaat in grootte van de winddruk. Zo is de winddruk bij een terugkeerperiode van 50 jaar, een factor 1,78 keer groter dan bij een terugkeerperiode van 1,58 jaar. Dit werd reeds besloten in 2.2.6.12 Resultaten dynamische piekdruk  $q_p(z)$ . Voor andere terugkeerperiodes kan dus een gelijkaardig verband gevonden worden. Bijgevolg gelden de bovenstaande besluiten ook voor andere terugkeerperiodes. De gegevens van de winddruk voor een terugkeerperiode van 50 jaar zijn terug te vinden in de bijlage (zie bijlage 2: Gegevens van de winddruk voor een terugkeerperiode van 50 jaar).



Via het Excel programma werd ook een berekeningsprogramma ontwikkeld waarmee de winddruk rechtstreeks berekend kan worden. Hierbij is het mogelijk om zeven parameters te wijzigen. Deze zeven parameters zijn:

- $c_s c_d$  (standaard wordt deze coëfficiënt als 1 ingesteld)
- Terugkeerperiode [jaar]
- $v_{b,0}$  [m/s]
- klasse
- $C_{pe}$
- $C_{pi}$
- Hoogte  $h$  [m]

|                                  |           |
|----------------------------------|-----------|
| $c_s c_d$ [-]                    | 1         |
| Terugkeerperiode [jaar]          | 1,58      |
| $v_{b,0}$ [m/s]                  | 26        |
| Klasse                           | Klasse IV |
| $C_{pe}$                         | -1,2      |
| $C_{pi}$                         | 0,2       |
| Hoogte $h$ [m]                   | 5,2       |
| <b>Bereken Winddruk</b>          |           |
| Winddruk $w$ [N/m <sup>2</sup> ] | -346,5    |



Figuur 62: Berekenen winddruk Excel programma

## Hoofdstuk 3: Speldankers

### 3.1 Verband aantal speldankers en de hoogte van de gevel

Kan een verband gevonden worden tussen het aantal speldankers die geplaatst worden en de oppervlakte van de gevel? Om deze vraag te beantwoorden werd een onderzoek gedaan op tien werven waar het aantal geplaatste speldankers en de oppervlakte van de gevel gemeten werd. Op Tabel 9 worden de bekomen resultaten weergegeven.

**Tabel 9: Verband aantal speldankers en de hoogte van de gevel**

| Werv | aantal speldankers | oppervlakte gevel [m <sup>2</sup> ] <sup>2</sup> | oppervlakte per speldanker |
|------|--------------------|--|----------------------------|
| 1    | 8                  | 75   | 9,38                       |
| 2    | 16                 | 130  | 8,13                       |
| 3    | 27                 | 240  | 8,89                       |
| 4    | 15                 | 140  | 9,33                       |
| 5    | 16                 | 150  | 9,38                       |
| 6    | 20                 | 150  | 7,50                       |
| 7    | 18                 | 160  | 8,89                       |
| 8    | 34                 | 270  | 7,94                       |
| 9    | 16                 | 125  | 7,81                       |
| 10   | 10                 | 80   | 8,00                       |

Wanneer de verschillende werven onderzocht werden, dan was het eerste dat opvalt dat de afstand tussen de speldankers bijna nooit hetzelfde is. Op Figuur 63 is dit duidelijk weergegeven.



**Figuur 63: Toepassing speldankers**

Een mogelijke oorzaak voor de verschillende onderlinge afstanden tussen de speldankers kan zijn dat de plaatsing van speldankers niet mogelijk was doordat een liftschaft of trapschaft aanwezig is. Bijgevolg is het niet meer mogelijk om de speldankers

<sup>2</sup> Voor de bepaling van de oppervlakte van de gevel werd een schatting gedaan

symmetrisch te plaatsen. De andere verschillen kunnen verklaard worden doordat de afstanden tussen de speldankers niet opgemeten worden tijdens de plaatsing.

Een tweede zaak dat opvalt, is dat de maximale tussenafstand van vier meter tussen de speldankers niet overschreden wordt zoals dit in de theorie wordt beschreven. In de meeste gevallen wordt ruim onder de vier meter gebleven.

De oppervlakte per speldanker kan nu gevonden worden door de oppervlakte van de gevel te delen door het aantal speldankers. De resultaten hiervan zijn weergegeven in de laatste kolom van Tabel 9. Uit deze gegevens is het nu mogelijk om het gemiddelde, de mediaan en de standaardafwijking te bepalen:

**Tabel 10: Oppervlakte per speldanker**

|                    |      |
|--------------------|------|
| Gemiddelde         | 8,52 |
| Mediaan            | 8,51 |
| Standaardafwijking | 0,72 |

Hieruit volgt dat iedere speldanker gemiddeld 8,52 m<sup>2</sup> van de gevel opneemt. De oppervlaktes per speldanker lagen gelegen tussen 7,50 m<sup>2</sup> en 9,38 m<sup>2</sup>. Bijgevolg kan dus toch opgemerkt worden dat een mogelijk verband bestaat tussen het aantal speldankers en de oppervlakte van de gevel.

Om bijna 100 % zeker te zijn (99,7 %) dat de bekomen oppervlakte per speldanker gelegen is tussen twee grenzen, dan dient gewerkt te worden met drie keer de standaardafwijking:

[gemiddelde - 3 $\sigma$ , gemiddelde + 3 $\sigma$ ]

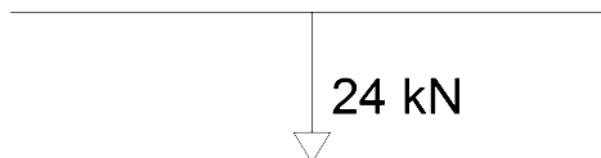
→ [8,52 - 3\*0,72 ; 8,52 + 3\*0,72]

→ [6,36 m<sup>2</sup> ; 10,69 m<sup>2</sup>]

### 3.2 Controle UPN100

In dit deel wordt het UPN100 profiel, dat gebruikt wordt bij speldverankeringen om de op te vangen krachten te verdelen, gecontroleerd of het voldoet om de drukverdeling op te nemen. Als staalkwaliteit van het profiel wordt gewerkt met S235.

Uit de technische fiche afkomstig van de firma Hilti, blijkt dat de injectiemortel HIT-RE 500 SD met HIT-V ankerstangen met een diameter van 16, een maximale trekkracht N<sub>rec</sub> (representatieve waarde) van 24,0 kN kan opvangen. Deze kracht moet nu verdeeld worden over het UPN profiel. Deze kracht is dan ook de maximale kracht die theoretisch op dit profiel terecht mag komen.



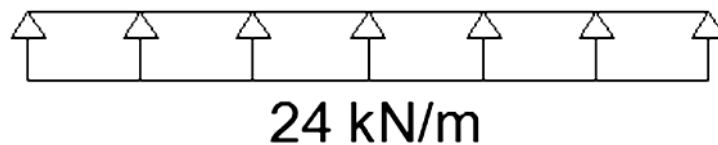
**Figuur 64: Maximale trekkracht ankerstang**

Nu kan de vraag gesteld worden of deze kracht gelijkmatig verdeeld wordt over het UPN profiel of in het midden van het profiel een zeer grote kracht heerst die naar de zijkanten toe verdwijnt.

Voor beide gevallen zal het moment gezocht worden en vervolgens zal verder gewerkt worden met het geval dat het grootste moment veroorzaakt.

1) Gelijkmatige verdeelde belasting:

De lengte van het UPN profiel waarmee gewerkt wordt, is 1 meter. De grootte van de verdeelde belasting kan nu gevonden worden door de trekkracht te delen door de lengte van het profiel. Bijgevolg wordt een verdeelde belasting van 24 kN/m bekomen.



**Figuur 65: Gelijkmatige verdeelde belasting**

Het profiel fungeert als een uitkraging en bijgevolg kan het moment van een verdeelde belasting gevonden worden door volgende formule:

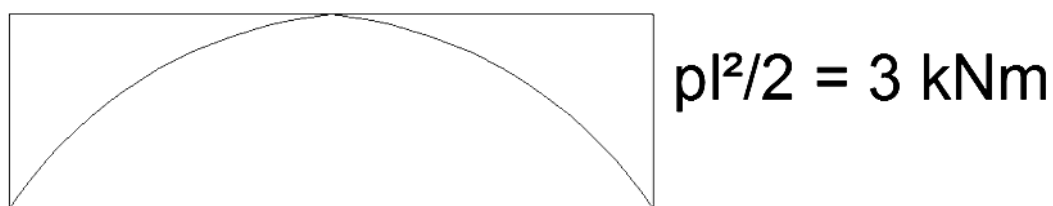
**Vergelijking 14: Bepaling moment verdeelde belasting**

$$\frac{p * L^2}{2} = \frac{24 * 0,5^2}{2} = 3 \text{ kNm}$$

Hierbij is:

- p = de belasting
- L = de halve lengte van het profiel

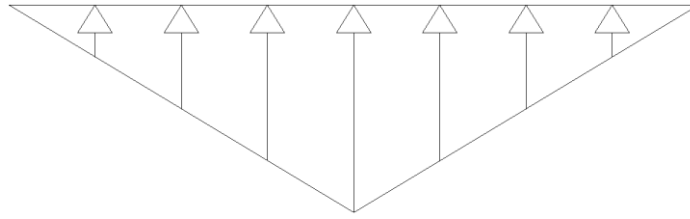
Dit is het grootste moment dat plaatsvindt op de uiteinden van het profiel. Dit wordt weergegeven op Figuur 66.



**Figuur 66: Weergave momentenlijn verdeelde belasting**

2) In het midden van het profiel een zeer grote kracht die naar de zijkanten toe verdwijnt:

Hoe dit precies verloopt, is zeer moeilijk weer te geven. Het is wel mogelijk om de krachten vereenvoudigd weer te geven door een driehoek waarbij in het midden van het profiel de grootste kracht heerst:



**Figuur 67: Grootste kracht in het midden van het profiel**

Hierbij zal de belasting in het midden gelijk zijn aan:

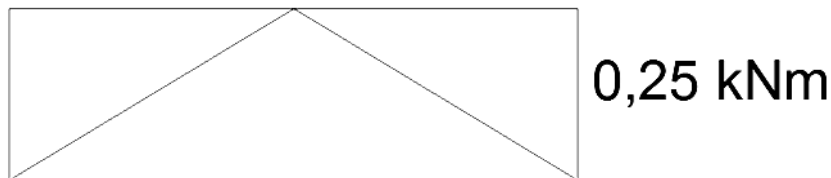
**Vergelijking 15: Bepaling kracht in het midden van het profiel**

$$\frac{b * h}{2} = \frac{0,5 * 24}{2} = 6 \text{ kN}$$

Het maximale moment op de uiteinden kan nu gevonden worden met Vergelijking 16:

**Vergelijking 16: Bepaling moment**

$$\frac{6 * 0,5}{2} * \frac{0,5}{3} = 0,25 \text{ kNm}$$



**Figuur 68: Weergave momentenlijn**

Wanneer nu naar het grootste moment gezocht wordt, dan kan besloten worden dat dit voor een verdeelde belasting het grootst is. Bijgevolg zal voor de verdere berekening enkel met het eerste geval rekening gehouden worden.

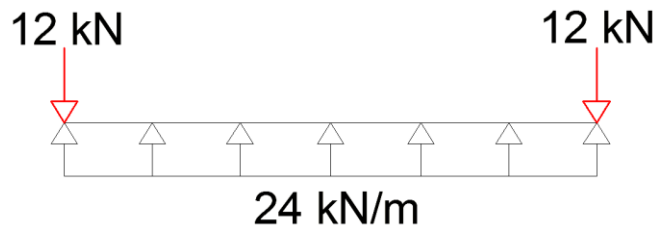
Uit staaltabellen volgt dat een UPN100 zelfs in het slechtste geval (pure compression) tot klasse 1 behoort. Een klasse 1 doorsnede is een doorsnede waarin zich een plastisch scharnier kan vormen waarbij de rotatiecapaciteit voldoende is voor de plastische berekening zonder weerstandsverlies. Hierdoor mag plastisch gewerkt worden. Nu dient wel nog een plastische weerstandscntrole uitgevoerd te worden:

De dwarskrachten en normaalkrachten dienen ook nog bepaald te worden van het eerste geval omdat deze bij een plastische weerstandscntrole vergeleken moeten worden:

$$V = 24 * 1 * 0,5 = 12 \text{ kN}$$

$$N = 0 \text{ kN (In dit geval zijn geen normaalkrachten aanwezig)}$$

Op Figuur 69 wordt dit weergegeven:



**Figuur 69: Weergave dwarskrachten**

### 3.2.1 Plastische weerstandscontrole

Voor deze controle moet zowel de dwarskracht, de normaalkracht als het moment gecontroleerd worden.

#### 1) Controle dwarskracht V

De weerstand van de lijfplaat tegen plooiën door afschuiving wordt gecontroleerd. Dit gebeurt aan de hand van Vergelijking 17.

#### Vergelijking 17: Weerstand van de lijfplaat door plooiën

$$\frac{h_w}{t_w} < \frac{72}{\eta} \varepsilon$$

Hierbij is:

- $h_w = h - (2 \times t_f) = 100 - (2 \times 8,5) = 83 \text{ mm}$
- $t_w = 6 \text{ mm}$
- $\eta = 1,20$

$$\frac{83}{6} = 13,8 < \frac{72}{1,20} * \sqrt{\frac{235}{235}} = 60,0 \rightarrow \mathbf{OK}$$

Ook moet in elke dwarsdoorsnede onder afschuiving voldaan zijn aan Vergelijking 18:

#### Vergelijking 18: Afschuiving in elke dwarsdoorsnede

$$V_{Ed,z} < 0,5 * V_{pl,Rd} = 0,5 * \frac{A_v * \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}}$$

$$12000 \text{ N} < 0,5 * \frac{6,46 * 10^2}{1} * \frac{235}{\sqrt{3}} = 43824 \text{ N} \rightarrow \mathbf{OK}$$

Uit bovenstaande berekeningen mag dus besloten worden dat met de dwarskracht V geen verdere rekening dient gehouden te worden.

#### 2) Controle normaalkracht N

Ten tweede dient de normaalkracht N onderzocht te worden. Doordat deze gelijk is aan 0 kN, mag deze stap overgeslagen worden. Voor de volledigheid wordt dit toch eens uitgevoerd en aangetoond:

### Vergelijking 19: Controle van de normaalkrachten

$$N_{Ed} \leq 0,25 * N_{pl,Rd} = 0,25 * \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}}$$
$$0 \text{ N} \leq 0,25 * \frac{13,50 * 10^2 * 235}{1} = 79313 \text{ N} \rightarrow \text{OK}$$
$$N_{Ed} \leq \frac{0,5 * h_w * t_w * f_y}{\gamma_{M0}}$$
$$0 \text{ N} \leq \frac{0,5 * 83 * 6 * 235}{1} = 58515 \text{ N} \rightarrow \text{OK}$$

### 3) Controle van het moment M

Om deze controle uit te voeren, wordt gebruik gemaakt van Vergelijking 20.

### Vergelijking 20: Controle moment

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{M_{Ed}}{f_y * W_{pl}} = \frac{3 * 10^6}{235 * 49 * 10^3} = 0,26 < 1$$

Hieruit volgt dat zeer veilig gewerkt wordt, want de verhouding van  $M_{Ed}$  op  $M_{Rd}$  blijft nog ver verwijderd te zijn van 1. Indien de verhouding van  $M_{Ed}$  op  $M_{Rd}$  groter zou worden dan 1, dan zou breuk optreden. Het UPN100 profiel voldoet dus zeer ruim aan de voorwaarden indien een maximale kracht van 24,0 kN dient verdeeld te worden.

### 3.2.2 Maximale moment $M_{Ed}$

Het is nu ook mogelijk om te onderzoeken hoe groot het moment  $M_{Ed}$  maximaal mag zijn vooraleer het profiel niet meer voldoet aan de plastische weerstandscontrole. Hieruit kan dan de maximale belasting berekend worden die op het profiel terecht mag komen.

De verhouding  $\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}$  mag maximaal gelijk zijn aan 1. Hieruit volgt dus dat  $M_{Ed} = M_{Rd}$

### Vergelijking 21: Maximale moment

$$M_{Ed} = f_y * W_{pl} = 235 * 49 * 10^3 = 11,5 \text{ kNm}$$

Doordat het profiel als een uitkraging fungeert, moet het moment van een verdeelde belasting gevonden worden door de formule  $pl^2/2$ . Aan de hand van deze formule is het nu mogelijk om de maximale lijnlast te bepalen die maximaal aanwezig mag zijn op een UPN profiel van 1 meter. Hierbij is L de halve lengte van het profiel:

### Vergelijking 22: Maximale lijnlast op profiel

$$p = \frac{M * 2}{L^2} = \frac{11,5 \text{ kNm} * 2}{0,5^2} = 92,0 \text{ kN/m}$$

De maximale lijnlast die op het UPN100 profiel terecht mag komen is 92 kN/m. Doordat met een gelijkmatig verdeelde belasting gewerkt wordt, mag de maximale trekkracht die op de ankerstang uitgeoefend mag worden, 92 kN bedragen.

### 3.2.3 Kleiner profiel

Voor een kleiner profiel, bijvoorbeeld een UPN80, kunnen dezelfde berekeningen uitgevoerd worden om te controleren of nog steeds voldaan is aan de voorwaarden.

Indien dit het geval is, dan kan geopteerd worden om een kleiner profiel te gebruiken om de krachten te verdelen.

Voor het UPN80 profiel zal enkel nog het moment gecontroleerd worden. Met de voorwaarde van de dwarskracht en de normaalkracht zal nu geen rekening gehouden worden. Als lengte van het profiel wordt opnieuw met 1 meter gewerkt:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{M_{Ed}}{f_y * W_{pl}} = \frac{3 * 10^6}{235 * 32,3 * 10^3} = 0,40 < 1 \rightarrow \mathbf{OK}$$

Hieruit volgt dat opnieuw zeer veilig gewerkt wordt. Het zou dus zeker mogelijk zijn om met een UPN80 te werken in plaats van een UPN100 van 1 meter lang. Het is nu nogmaals mogelijk om voor dit profiel het maximaal moment  $M_{Ed}$  na te rekenen en hieruit dan de maximale lijnlast op het profiel te bepalen:

$$M_{Ed} = f_y * W_{pl} = 235 * 32,3 * 10^3 = 7,6 \text{ kNm}$$

$$p = \frac{M * 2}{L^2} = \frac{7,6 \text{ kNm} * 2}{0,5^2} = 60,8 \text{ kN/m}$$

Wanneer in de staaltabellen gekeken wordt, dan blijkt dat nog kleinere UPN profielen bestaan, namelijk een UPN65 en UPN50. Als voor het UPN50 de controle van het moment opnieuw wordt uitgevoerd, dan blijkt dat de verhouding van  $\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}$  gelijk is aan 0,97. Dit betekent dat ook een UPN50 gebruikt mag worden als profiel voor de verdeling van de krachten. Dit profiel kan een maximale lijnlast opvangen van 24,6 kN/m. Op deze manier is het dus zeker mogelijk om staal te besparen wanneer een kleiner profiel gebruikt wordt.

### 3.2.4 Grootte windkracht die op het profiel terecht komt

Wanneer de speldankers geplaatst worden, dan zal de wind een kracht uitoefenen op dit profiel. Deze kracht mag zeker niet groter zijn dan de representatieve kracht  $N_{rec}$  die is opgegeven in de technische fiche van Hilti, namelijk 24 kN. Het is nu mogelijk om te onderzoeken hoe groot de kracht is die inwerkt op het profiel en aan de hand van deze waarde kan dan berekend worden met welke veiligheid gewerkt wordt.

Uit het onderzoek (zie 3.1 Verband aantal speldankers en de hoogte van de gevel) naar de oppervlakte van de gevel die 1 speldanker opneemt, bleek dat deze oppervlakte gelegen is tussen:

$$\rightarrow [6,36 ; 10,69]$$

Voor 99,7% van de gevallen wordt hieraan voldaan. Bijgevolg zullen de volgende berekeningen uitgevoerd worden met een oppervlakte van 10,69 m<sup>2</sup> (uiterste grens) die 1 speldanker opneemt.

Uit de studie van de wind (Hoofdstuk 2: Wind) bleek dat wanneer de wind loodrecht op de voorgevel blaast en bijgevolg zijdelings langs de gemene muur blaast, de windkrachten het grootst waren. Bijgevolg zal met deze krachten gerekend worden om zeker veilig te zitten. Ook zal enkel het geval van klasse 0 onderzocht worden omdat deze klasse ook de grootste windkrachten doet ontstaan in vergelijking met de andere klassen.

In Tabel 11 zijn de waarden voor een terugkeerperiode van 1,58 jaar weergegeven:



**Tabel 11: Winddruk voor een terugkeerperiode van 1,58 jaar**

| Aantal verdiepingen | Hoogte h [m] | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] |
|---------------------|--------------|------------------------------|
| 1 verdieping        | 2,6          | -752,9                       |
| 2 verdieping        | 5,2          | -871,8                       |
| 3 verdieping        | 7,8          | -945,0                       |
| 4 verdieping        | 10,4         | -998,5                       |
| 5 verdieping        | 13,0         | -1040,9                      |
| 6 verdieping        | 15,6         | -1076,2                      |
| 7 verdieping        | 18,2         | -1106,5                      |

Om de krachten te weten die werken op 1 speldanker, moet de winddruk vermenigvuldigd worden met de oppervlakte van de gevel die 1 speldanker kan opnemen. Wanneer dit toegepast wordt voor een gebouw van 18,2 meter hoog (7 verdiepingen), dan is de kracht op 1 speldanker:

$$\text{winddruk} * \text{oppervlakte} = \frac{1106,5 \text{ N}}{\text{m}^2} * 10,69 \text{ m}^2 = 11828 \text{ N} = 11,8 \text{ kN}$$

Wanneer dit vergeleken wordt met de kracht die weergegeven wordt in de technische fiche van Hilti, namelijk 24 kN, dan blijkt dat zeer veilig gewerkt wordt:

$$\frac{\text{Kracht op 1 speldanker}}{\text{Maximale kracht die opgevangen kan worden}} = \frac{11,8 \text{ kN}}{24,0 \text{ kN}} = 0,49 = 49 \%$$

De speldanker zal maar voor 49 % belast wordt. Bijgevolg kan besloten worden dat zeer veilig gewerkt wordt en een veiligheid met factor 2 aanwezig is.

Voor een terugkeerperiode van 50 jaar kan hetzelfde gedaan worden:

**Tabel 12: Winddruk voor een terugkeerperiode van 50 jaar**

| Aantal verdiepingen | Hoogte h [m] | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] |
|---------------------|--------------|------------------------------|
| 1 verdieping        | 2,6          | -1341,0                      |
| 2 verdieping        | 5,2          | -1552,8                      |
| 3 verdieping        | 7,8          | -1683,1                      |
| 4 verdieping        | 10,4         | -1778,5                      |
| 5 verdieping        | 13,0         | -1854,1                      |
| 6 verdieping        | 15,6         | -1916,9                      |
| 7 verdieping        | 18,2         | -1970,8                      |

$$\text{winddruk} * \text{oppervlakte} = \frac{1970,8 \text{ N}}{\text{m}^2} * 10,69 \text{ m}^2 = 21068 \text{ N} = 21,1 \text{ kN}$$

Wanneer dit vergeleken wordt met de waarde uit de technische fiche, dan wordt nog steeds veilig gewerkt:

$$\frac{\text{Kracht op 1 speldanker}}{\text{Maximale kracht die opgevangen kan worden}} = \frac{21,1 \text{ kN}}{24,0 \text{ kN}} = 0,88 = 88 \%$$

In vergelijking met een terugkeerperiode van 1,58 jaar wordt de speldanker veel zwaarder belast onder gelijke omstandigheden (klasse 0 en hoogte van 18,2 meter). Hier wordt het anker voor 88 % belast ten opzicht van wat het maximaal kan opnemen.

Vervolgens kan ook nog eens gekeken worden wat de winddruk maximaal mag zijn zodat de speldanker maximaal belast zal worden. Dit is het geval wanneer een kracht van 24 kN op de speldanker inwerkt. De oppervlakte van de gevel die 1 speldanker opneemt is ook gekend. Hieruit kan dan de winddruk berekend worden die maximaal mag plaatsvinden:

$$\text{winddruk} = \frac{\text{maximale kracht op 1 speldanker}}{\text{oppervlakte die 1 speldanker opneemt}} = \frac{24000 \text{ N}}{10,69 \text{ m}^2} = 2245,1 \text{ N/m}^2$$

Dit is een zeer grote winddruk die zelden zal voorkomen, zelfs indien met een terugkeerperiode van 50 jaar gewerkt wordt. Om zo'n winddruk te krijgen zou bij een terugkeerperiode van 50 jaar gewerkt moeten worden met een gebouw die 38,78 meter hoog is. Voor deze thesis wordt niet gewerkt met gebouwen die zo'n hoogte hebben.

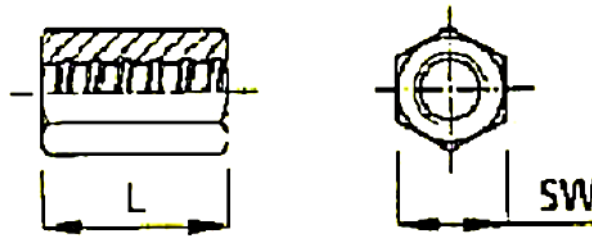
Uit 3.2.2 Maximale moment  $M_{ed}$  bleek ook dat het UPN100 profiel een maximale lijnlast van 92,0 kN/m kan opnemen. Als dit nu vergeleken wordt met de winddruk die plaatsvindt op een hoogte van 18,2 m bij klasse 0 met een terugkeerperiode van 1,58 jaar, dan wordt met volgende veiligheid gewerkt op het UPN100 profiel:

$$\frac{\text{Kracht op het UPN100 profiel}}{\text{Maximale kracht die het profiel kan opvangen}} = \frac{11,8 \text{ kN}}{92,0 \text{ kN}} = 0,13 = 13 \%$$

Hieruit blijkt dat het UPN100 profiel slechts voor 13 % belast wordt ten opzicht van wat het maximaal kan opnemen. Zelf een UPN50 profiel zou nog een grote veiligheid hebben, want onder gelijke omstandigheden zou het profiel voor 48 % belast worden ten opzichte van wat het maximaal kan opnemen.

### 3.3 Dywidag moer

De moer die door de firma V-systems gebruikt wordt voor de verankering, wordt weergegeven op Figuur 70.

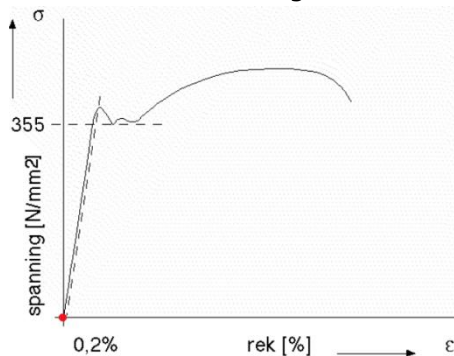


**Figuur 70: Dywidag moer (Metaalhandel Delrue, 2006)**

Deze moer wordt uitgevoerd in het materiaal S355 J2 G3.

Hierbij is:

- S355 = de minimaal geëiste vloeigrens



**Figuur 71: Spanningskromme**

- J2 stelt de kerfslagwaarde en de beproevingstemperatuur voor:
  - J = Kerfslagwaarde en deze is minimaal 27 Joule
  - 2 = De beproevingstemperatuur bij de kerfslagproef en deze is -20 °C
- G3 = overige kenmerken
  - o Bij platte producten: normaalgegløeid of normaliserend gewalst
  - o Bij lange producten: leveringstoestand naar keuze van de producent

De lengte L van deze moer bedraagt 50 mm en het gewicht bedraagt 0,21 kg.

De working load van deze moer is 100 kN. Dit betekent de kracht die de moer nog kan dragen zodat zeker veilig gewerkt wordt.

Het is nu mogelijk om te onderzoeken hoe veilig met deze moer gewerkt wordt:

Zoals reeds eerder werd vermeld blijkt uit de technische fiche dat de injectiemortel HIT-RE 500 SD met HIT-V ankerstangen met een diameter van 16, een maximale trekkracht  $N_{rec}$  (representatieve waarde) van 24 kN kan opvangen. Dit betekent ook dat dit de maximale kracht is die op de moer terecht zal komen, want een hogere kracht zou tot breuk leiden van de ankerstang.

$$\frac{\text{maximale trekkracht}}{\text{working load}} = \frac{24 \text{ kN}}{100 \text{ kN}} = 0,24 = 24 \%$$

Hieruit blijkt dat de moer slecht voor 24 % belast wordt ten opzichte van de kracht wanneer de moer niet meer veilig functioneert (working load). De veiligheid die op deze moer aanwezig is een factor 4 wat zeer veilig is.

In punt 3.2.4 Grootte windkracht die op het profiel terecht komt werd reeds aangetoond dat de kracht die uitgevoerd wordt door de wind op 1 speldanker nooit 24 kN zal zijn. Bijgevolg zal een nog grotere veiligheid op de bout aanwezig zijn. Zo is de kracht van de wind op 1 speldanker voor een klasse 0 en een terugkeerperiode van 1,58 jaar bij een gebouw van 18,2 meter hoog (7 verdiepingen) gelijk aan 11,8 kN

$$\frac{\text{kracht wind op speldanker}}{\text{working load}} = \frac{11,8 \text{ kN}}{100 \text{ kN}} = 0,118 = 11,8 \%$$

In dit geval wordt de moer slechts voor 11,8 % belast. Bijgevolg is dus een zeer grote veiligheid op deze moer aanwezig.

Het is nu ook mogelijk om voor een kleinere moer te controleren of nog steeds voldaan is aan de voorwaarden. De moer die hiervoor gebruikt wordt, heeft een lengte van 30 mm en het materiaal van de moer is nog steeds S355 J2 G3. Hiermee komt een working load overeen van 60 kN.

$$\frac{\text{maximale trekkracht}}{\text{working load}} = \frac{24 \text{ kN}}{60 \text{ kN}} = 0,40 = 40\%$$

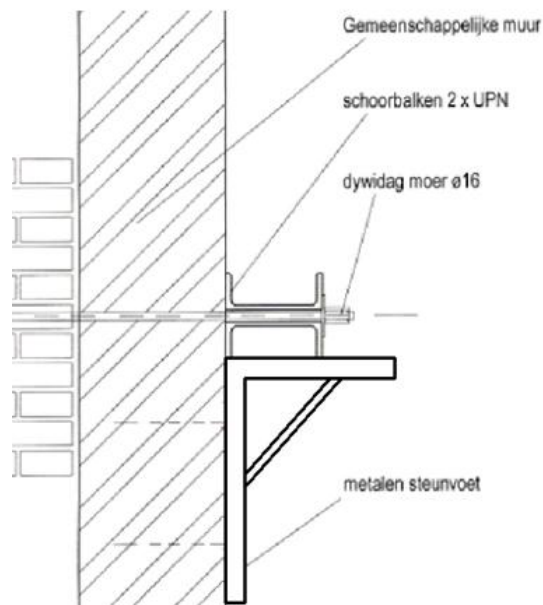
Ook voor deze moer wordt nog steeds met een zeer grote veiligheid gewerkt (factor 2,5). Bijgevolg is het dus zeker mogelijk om met een kleinere moer te werken. Het gewicht van deze moer is 0,15 kg. In vergelijking met de moer die door de firma V-systems gebruikt wordt, is dit een stuk lichter, namelijk 600 gram.

## Hoofdstuk 4: Schoorbalken

### 4.1 Controle sterkte gelaste UPN profielen

Op de schoorbalk zal een windbelasting inwerken waarbij het eigengewicht van de schoorbalk opgevangen zal worden door op geregelde afstanden een metalen steunvoet te voorzien. De verankering van de schoorbalk kan in de gemene muur gebeuren of in de voor- en achtergevel. Indien gewerkt wordt met een gemene muur van maximaal 12 meter breed, dan plaatst de firma V-systems drie metalen steunvoeten. Voor grotere breedtes worden vier steunvoeten voorzien. Aan de hand van de berekeningen, zal dit dan ook gecontroleerd worden. Voor de berekeningen wordt steeds verondersteld dat een metalen steunvoet voorzien wordt onder ieder verankeringspunt van de schoorbalk.

De schoorbalk bestaat uit twee aan elkaar gelaste UPN profielen. De firma V-systems maakt hoofdzakelijk gebruik van UPN180 en UPN200 profielen. Voor het verdere verloop van de thesis zullen de berekeningen uitgevoerd worden voor 2 aan elkaar gelaste UPN180 profielen.



**Figuur 72: Schoorbalk (V-systems)**

Voor de schoorbalk dienen drie controles uitgevoerd te worden:

- 1) Weerstandscntrole
- 2) Stabiliteitscontrole
- 3) Controle op de doorbuiging

Vooraleer deze controles uitgevoerd kunnen worden, moet aan de hand van de sterkteleer eerst enkele coëfficiënten berekend worden. Deze coëfficiënten zijn voor een afzonderlijk UPN profiel reeds in tabellen terug te vinden (*zie bijlage 4*), maar voor twee aan elkaar gelaste UPN profielen is dit nog niet het geval. Het gaat meer bepaald over volgende coëfficiënten:

- $I_{y, \text{gelast}}$  = traagheidsmoment rond de sterke as
- $I_{z, \text{gelast}}$  = traagheidsmoment rond de zwakke as
- $W_{el, y}$  = elastisch weerstandsmoment rond de sterke as

- $W_{el,z}$  = elastisch weerstandsmoment rond de zwakke as
- $I_t$  = torsieconstante
- $I_w$  = welfconstante

#### 4.1.1 Berekening coëfficiënten gelaste UPN180 profielen

1) Traagheidsmoment rond de sterke as  $I_{y,ge\text{last}}$

Om voor twee aan elkaar gelaste UPN180 profielen het traagheidsmoment te kunnen berekenen, wordt gebruik gemaakt van de methode van Steiner:

##### Vergelijking 23: Methode van Steiner

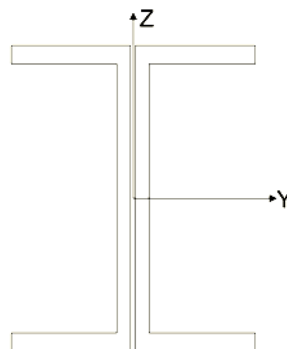
$$I_{y,ge\text{last}} = I_{y,UPN180} + A * d^2$$

Hierbij is:

- $A$  = de oppervlakte van het profiel
- $d$  = de afstand tussen het zwaartepunt van het enkelvoudig UPN profiel tot het zwaartepunt van het gelaste UPN profiel

Wanneer deze formule toegepast wordt, dan wordt volgende traagheidsmoment rond de sterke as bekomen:

$$I_{y,ge\text{last}} = 1350 * 10^4 + 28 * 10^2 * (0)^2 + 1350 * 10^4 + 28 * 10^2 * (0)^2 = 2700 * 10^4 \text{ mm}^4$$



**Figuur 73: Aan elkaar gelaste UPN profielen**

Het is mogelijk om een kleine controle uit te voeren, want het traagheidsmoment rond de sterke as van twee aan elkaar gelaste UPN180 profielen, is in grootte ongeveer gelijk aan het traagheidsmoment van een HEA180 profiel:

$$I_{y,HEA180} = 2510 * 10^4 \text{ mm}^4$$

Dit komt dus zeer goed overeen met  $I_{y,ge\text{last}}$  en bijgevolg werd dus ook juist gewerkt.

2) Traagheidsmoment rond de zwakke as  $I_{z,ge\text{last}}$

Om het traagheidsmoment rond de zwakke as te berekenen, wordt opnieuw gebruik gemaakt van de methode van Steiner:

$$I_{z,ge\text{last}} = 114 * 10^4 + 28 * 10^2 * (21,06)^2 + 114 * 10^4 + 28 * 10^2 * (21,06)^2 = 476,3 * 10^4 \text{ mm}^4$$

3) Elastisch weerstandsmoment rond de sterke as  $W_{el,y}$

Het elastisch weerstandsmoment rond de sterke as, kan gevonden worden door het traagheidsmoment rond de sterke as te delen door de afstand vanaf de uiterste vezel tot aan de y-as (symbool e):

**Vergelijking 24: Berekening elastisch weerstandsmoment**

$$W_{el,y} = \frac{I_{y,geplast}}{e} = \frac{2700 * 10^4 \text{ mm}^4}{90 \text{ mm}} = 300,0 * 10^3 \text{ mm}^3$$

4) Elastisch weerstandsmoment rond de zwakke as  $W_{el,z}$

Het berekenen van het elastisch weerstandsmoment rond de zwakke as gebeurt analoog als rond de sterke as. Nu moet wel gewerkt worden met de afstand van de uiterste vezel tot aan de z-as:

$$W_{el,z} = \frac{I_{z,geplast}}{e} = \frac{476,3 * 10^4 \text{ mm}^4}{70 \text{ mm}} = 68,0 * 10^3 \text{ mm}^3$$

5) Torsieconstante  $I_t$

Om de torsieconstante  $I_t$  te kunnen berekenen, wordt gebruik gemaakt van Vergelijking 25:

**Vergelijking 25: Berekening torsieconstante**

$$I_t = \frac{2}{3} * b * t_f^3 + \frac{1}{3} * (h - 2 * t_f) * t_w^3 + 2 * \alpha_1 * D_1^4 - 0,420 * t_f^4$$

Hierbij is:

**Vergelijking 26: Coëfficiënt  $\alpha_1$**

$$\alpha_1 = -0,042 + 0,2204 * \frac{t_w}{t_f} + 0,1355 * \frac{r}{t_f} - 0,0865 * \frac{r * t_w}{t_f^2} - 0,0725 * \frac{t_w^2}{t_f^2}$$

$$\alpha_1 = -0,042 + 0,2204 * \frac{16}{11} + 0,1355 * \frac{11}{11} - 0,0865 * \frac{11 * 16}{11^2} - 0,0725 * \frac{16^2}{11^2} = 0,135$$

**Vergelijking 27: Coëfficiënt  $D_1$**

$$D_1 = \frac{(t_f + r)^2 + (r + 0,25 * t_w) * t_w}{2 * r + t_f}$$

$$D_1 = \frac{(11 + 11)^2 + (11 + 0,25 * 16) * 16}{2 * 11 + 11} = 21,939$$

Wanneer beide coëfficiënten ( $\alpha_1$  en  $D_1$ ) nu ingevuld worden in de vergelijking van  $I_t$ , dan kan de torsieconstante van het gelaste UPN profiel gevonden worden:

$$I_t = \frac{2}{3} * 140 * 11^3 + \frac{1}{3} * (180 - 2 * 11) * 16^3 + 2 * 0,135 * 21,939^4 - 0,420 * 11^4 = 39,6 * 10^4 \text{ mm}^4$$

## 6) Welfconstante $I_w$

De welfconstante  $I_w$  van het gelaste UPN180 profiel wordt met Vergelijking 28 berekend:

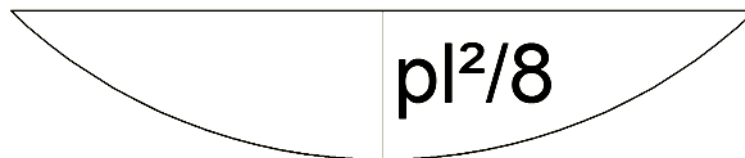
### Vergelijking 28: Berekening welfconstante

$$I_w = \frac{I_z * h_s^2}{4} = \frac{I_z * (h - t_f)^2}{4} = \frac{476,3 * 10^4 * (180 - 11)^2}{4} = 34,0 * 10^9 \text{ mm}^6$$

Nu zijn alle coëfficiënten van het gelaste UPN180 profiel gekend en kunnen de controles voor de schoorbalk uitgevoerd worden.

### 4.1.2 Weerstandscontrole

Deze controle moet uitgevoerd worden op de plaats waar het moment van de schoorbalk het grootst is, namelijk in het midden van de schoorbalk. Het moment is daar gelijk aan  $pl^2/8$ .



**Figuur 74: Moment schoorbalk**

Wanneer in het midden van de schoorbalk een doorsnede wordt gemaakt, dan moet aan volgende eis voldaan worden:

### Vergelijking 29: Weerstandscontrole

$$\frac{M}{W_{el,y}} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$
$$\frac{\gamma_w * p * L^2}{8 * W_{el,y}} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

Hierbij is:

- $\gamma_w = 1,5$  (de veiligheidsfactor voor de windbelasting)
- $p$  = karakteristieke windbelasting
- $L$  = lengte schoorbalk
- $W_{el,y}$  = elastische weerstandsmoment
- $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$  (vloeispanning van het staal)
- $\gamma_{M1} = 1$  (veiligheid van het materiaal)

Voor de lengte  $L$  wordt gewerkt met de afstand tussen de verankeringspunten van de schoorbalk. Om zeker veilig te werken zal deze lengte gelijkgesteld worden aan de breedte van de gemene muur. Voor deze berekening zal met dezelfde lengte gewerkt als bij het voorbeeld van de winddruk. Bijgevolg is de lengte  $L = 10$  meter. Indien niet voldaan wordt aan de opgelegde eis, dan kan berekend worden wat de maximale lengte tussen de verankeringspunten mag. Wanneer toch met een grotere lengte van de schoorbalk gewerkt wil worden, dan zal een extra verankering van de schoorbalk noodzakelijk zijn en zal deze meestal in het midden van de gemene muur uitgevoerd



worden. Als karakteristieke waarde voor de windbelasting wordt gewerkt met de winddruk die overeen komt met een gebouw van 18,2 meter (zeven verdiepingen) en klasse 0 wat overeen komt met de grootste winddruk waarmee tijdens deze thesis gewerkt zal worden. In dit geval is de winddruk = 1106,5 N/m<sup>2</sup> (dit geldt voor een terugkeerperiode van 1,58 jaar). Net zoals in hoofdstuk 2, wordt met een verdiepingshoogte van 2,6 meter gewerkt. Dit betekent dat iedere schoorbalk de krachten zal moeten opnemen over een afstand 1,3 meter boven en onder de schoorbalk. De karakteristieke waarde van de windbelasting is bijgevolg 1106,5 N/m<sup>2</sup> x 2,6 m = 2876,9 N/m. Nu zijn alle coëfficiënten gekend om de weerstandscontrole uit te voeren:

$$\frac{\gamma_w * p * L^2}{8 * W_{el,y}} = \frac{1,5 * 2,8769 \frac{N}{mm} * 10000^2 mm^2}{8 * 300,0 * 10^3 mm^3} = 179,8 \frac{N}{mm^2} \leq 235 \frac{N}{mm^2} \left( \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \right)$$

Wanneer gewerkt wordt met een schoorbalk van 10 meter lang, wordt dus zeker voldaan aan de eis van de weerstandscontrole. Bij deze controle is het dus niet noodzakelijk om een extra verankering te voorzien.

Het is nu ook mogelijk om te kijken wat in deze omstandigheden de maximale lengte L van de schoorbalk mag zijn zonder dat een extra verankering moet plaatsvinden:

**Vergelijking 30: Maximale lengte zodat net voldaan is aan weerstandscontrole**

$$L_{max} = \sqrt{\frac{f_y * 8 * W_{el,y}}{\gamma_{M1} * \gamma_w * p}} = \sqrt{\frac{235 \frac{N}{mm^2} * 8 * 300,0 * 10^3 mm^3}{1 * 1,5 * 2,8769 \frac{N}{mm}}} = 11432 mm = 11,4 m$$

Hierbij dient nogmaals aangehaald te worden dat deze berekeningen uitgevoerd werden met de grootste windkracht waarmee tijdens deze thesis gewerkt wordt. Indien op een kleinere hoogte of in een andere streek (bijvoorbeeld klasse I) gewerkt wordt, zal de windkracht automatisch kleiner zijn waardoor de maximale lengte groter mag zijn om nog steeds te voldaan aan de weerstandscontrole.

### 4.1.3 Stabiliteitscontrole

Voor de stabiliteitscontrole zal de schoorbalk gecontroleerd moeten worden op kip. In eerste instantie zal opnieuw gewerkt worden met enkel een verankering op de uiteinden van de schoorbalk. Het kipverschijnsel zal met Vergelijking 31 berekend worden:

**Vergelijking 31: Stabiliteitscontrole**

$$M_{ed} \leq M_{b,rd} = \chi_{LT} * W_y * \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

Hierbij is de kipcoëfficiënt  $\chi_{LT}$  afhankelijk van de kipslankheid  $\lambda_{LT}$ . Deze kan op volgende manier berekend worden:

**Vergelijking 32: Kipslankheid**

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y * f_y}{M_{cr}}}$$

Waarin  $M_{cr}$  het kritisch moment voorstelt:

### Vergelijking 33: Kritische moment

$$M_{cr} = C_1 * \frac{\pi^2 * E * I_z}{(k * L_{LT})^2} * \left( \sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 * \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k * L_{LT})^2 * G * I_t}{\pi^2 * E * I_z} + (C_2 * z_g)^2} - C_2 * z_g \right)$$

Hierbij is:

- $L_{LT}$  = de kiplengte
- $I_w$  = welvingsconstante
- $I_t$  = torsieconstante
- $E$  = elasticiteitsmodulus van staal = 210000 N/mm<sup>2</sup>
- $G$  = glijdingsmodulus van staal = 81000 N/mm<sup>2</sup>
- $Z_g$  = de helft van de hoogte van het profiel
- $k \approx k_w \approx 1$  (dit is een veilige keuze)
- $C_1$  en  $C_2$  = coëfficiënten die afhankelijk zijn van de vorm van de momentenlijn, deze coëfficiënten kunnen teruggevonden worden in de "Belgian National Annex for the EN 1993 part 1-1"

Uit de Nationale Bijlage volgt dat  $C_1 = 1,12$  en  $C_2 = 0,45$ . De kiplengte van de schoorbalk is 10000 mm wat overeen komt met de lengte van de gemene muur. Nu zijn alle coëfficiënten gekend om het kritische moment  $M_{cr}$  te berekenen:

$$M_{cr} = 1,12 * \frac{\pi^2 * 210000 * 476,3 * 10^4}{(1 * 10000)^2} * \left( \sqrt{\left(\frac{1}{1}\right)^2 * \frac{34,0 * 10^9}{476,3 * 10^4} + \frac{(1 * 10000)^2 * 81000 * 39,6 * 10^4}{\pi^2 * 210000 * 476,3 * 10^4} + (0,45 * 90)^2} - 0,45 * 90 \right) = 59,41 \text{ kNm}$$

Nu zijn ook alle coëfficiënten gekend om de kipslankheid  $\lambda_{LT}$  te berekenen:

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{300,0 * 10^3 * 235}{59,41 * 10^6}} = 1,089$$

Om nu kipcoëfficiënt  $\chi_{LT}$  te vinden moet in een tabel van de EN1993-1-1:2003 gekeken worden. Deze tabel is terug te vinden in *Bijlage 5 – Tabel reductiefactor  $\chi$* .

In die tabel wordt bij een kipslankheid  $\lambda_{LT}$  van 1,089 en bij een knikkromme "a" (is afhankelijk van de verhouding h/b en van de dwarsdoorsnede van het profiel) een kipcoëfficiënt  $\chi_{LT}$  gevonden van 0,6037.

Nu is alles gekend om te controleren of de schoorbalk voldoet aan de eis van het kipverschijnsel:

$$M_{ed} = \frac{2,8769 * 10000^2}{8} = 35,96 \text{ kNm} \leq \chi_{LT} * W_y * \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,6037 * 300,0 * 10^3 * \frac{235}{1} = 42,56 \text{ kNm}$$

Ook bij de stabiliteitscontrole wordt voldaan aan de eis en is het dus niet nodig om een extra verankering te voorzien die dienst doet als kipsteun. Hier dient opnieuw vermeld te worden dat dit enkel geldt voor deze omstandigheden. Indien met een grotere windbelasting of kleinere profielen gewerkt wordt, dan moeten bovenstaande berekeningen opnieuw uitgevoerd worden.

#### 4.1.4 Controle op de doorbuiging

Door het eigengewicht en de invloed van de windkracht zal de schoorbalk onderhevig zijn aan doorbuiging. Uit de norm kan gehaald worden dat voor een windbelasting een maximale doorbuiging van  $l/500$  is toegestaan. Voor het eigengewicht is hiervoor geen waarde teruggevonden, maar meestal wordt met dezelfde doorbuiging als voor de wind gewerkt, namelijk  $l/500$ . Ook  $l/300$  wordt vaak gebruikt, maar om zeker veilig te zijn, zal verder gewerkt worden met  $l/500$ . De doorbuiging kan met Vergelijking 34 berekend worden:

##### Vergelijking 34: Controle op doorbuiging

$$f = \frac{5}{384} * \frac{p * L^4}{E * I}$$

Hierbij is:

- $f$  = doorbuiging
- $p$  = belasting
- $L$  = lengte
- $E$  = elasticiteitsmodulus van staal = 210000 N/mm<sup>2</sup>
- $I$  = traagheidsmoment rond buigingsas

Om de doorbuiging te bepalen moeten zowel de windbelasting als het eigen gewicht afzonderlijk nagerekend worden omdat beiden om een andere as beschouwd moeten worden. Zo wordt voor de windbelasting gewerkt met het traagheidsmoment  $I_y$  en voor het eigen gewicht met  $I_z$ . Als windbelasting wordt gewerkt met 2,8769 N/mm wat overeen komt met een gebouw van 18,2 meter hoog die zich in klasse 0 bevindt. Voor het eigengewicht wordt gewerkt met  $2 \times 22 \text{ kg/m} = 44 \text{ kg/m} = 0,44 \text{ N/mm}$ . Het gewicht van het UPN180 profiel moet dubbel genomen worden omdat het over twee aan elkaar gelaste profielen gaat.

##### 4.1.4.1 Controle doorbuiging windbelasting

Nu zijn alle coëfficiënten gekend om de doorbuiging  $f$  ten gevolge van de windbelasting te berekenen:

$$f = \frac{5}{384} * \frac{2,8769 * 10000^4}{210000 * 2700 * 10^4} = 66,1 \text{ mm} < \frac{L}{500} = \frac{10000}{500} = 20 \text{ mm} \rightarrow \text{Niet OK}$$

Hieruit volgt dus dat niet voldaan is aan de eis van de doorbuiging indien gewerkt wordt met een overspanning van 10 m. Hier is het dus noodzakelijk dat een extra verankering voorzien wordt. Om nu te weten hoeveel verankeringen geplaatst moeten worden, kan de maximale lengte bepaald worden zodat nog steeds voldaan wordt aan de eis van de doorbuiging:

$$L = \sqrt[4]{\frac{f * 384 * E * I}{5 * p}} = \sqrt[4]{\frac{\frac{L}{500} * 384 * 210000 * 2700 * 10^4}{5 * 2,8769}} \rightarrow L = 6715 \text{ mm} = 6,715 \text{ m}$$

Dit betekent dus dat wanneer twee UPN180 profielen aan elkaar worden gelast, om de 6,715 meter een verankering voorzien moet worden. In dit geval zal in het midden van de gemene muur deze extra verankering voorzien worden. Zo zal de afstand maximaal 5 meter bedragen tussen de opeenvolgende verankeringspunten en wordt ruim voldaan aan deze eis.

#### 4.1.4.2 Controle doorbuiging eigen gewicht

De doorbuiging  $f$  ten gevolge van het eigen gewicht kan nu op dezelfde manier berekend worden:

$$f = \frac{5}{384} * \frac{0,44 * 10000^4}{210000 * 476,3 * 10^4} = 57,3 \text{ mm} < \frac{L}{500} = \frac{10000}{500} = 20 \text{ mm} \rightarrow \text{Niet OK}$$

Opnieuw wordt niet voldaan aan de eis van de doorbuiging wanneer gewerkt wordt met een overspanning van 10 meter. Om dit probleem te verhelpen, moeten metalen steunvoeten voorzien worden. Om de hoeveelheid steunvoeten te kennen, moet de maximale lengte bepaald worden zodat voldaan wordt aan de eis van de doorbuiging.

$$L = \sqrt[4]{\frac{f * 384 * E * I}{5 * p}} = \sqrt[4]{\frac{\frac{L}{500} * 384 * 210000 * 476,3 * 10^4}{5 * 0,44}} \rightarrow L = 7042 \text{ mm} = 7,042 \text{ m}$$

Voor twee aan elkaar gelaste UPN180 profielen moet om de 7,042 meter een metalen steunvoet geplaatst worden. Opnieuw zal dit in het midden van de gemene muur voorzien worden. Zo bedraagt de afstand maximaal vijf meter tussen de steunvoeten en wordt ruim voldaan aan de eis van de doorbuiging.

Wanneer deze drie controles nu met elkaar vergeleken worden, dan blijkt dat de eis van de doorbuiging het strengst is en bijgevolg doorslaggevend is.

## 4.2 Maximale lengte en aantal metalen steunvoeten

Het is nu mogelijk om te onderzoeken wat de maximale lengte van de schoorbalk mag zijn zodat voldaan wordt aan de opgelegde controles. Daarnaast wordt ook gekeken om de hoeveel meter een metalen steunvoet of extra verankering geplaatst moet worden indien met andere aan elkaar gelaste UPN profielen gewerkt wordt. Indien de breedte van de gemene muur wijzigt, kan dan zeer snel het aantal metalen steunvoeten of verankeringen berekend worden dat geplaatst moet worden. Hier zal enkel rekening gehouden worden met de strengste eis, namelijk de doorbuiging. Wanneer aan deze eis voldaan is, zal automatisch ook aan de andere controles (weerstandscntrole en stabiliteitscontrole) voldaan zijn.

In eerste instantie zal gekeken worden wat de maximale lengte van de schoorbalk mag zijn indien de windbelasting inwerkt op de schoorbalk. Hierbij zal een onderscheid gemaakt worden tussen een gebouw dat zich in klasse 0, klasse I en klasse IV bevindt. Bij alle drie de gevallen wordt gewerkt met een gebouw van 18,2 meter hoog (zeven verdiepingen).

- Windbelasting klasse 0: 2,8769 kN/m
- Windbelasting klasse I: 2,7095 kN/m
- Windbelasting klasse IV: 1,2176 kN/m

In Tabel 13 wordt de maximale lengte weergegeven zodat voldaan wordt aan de eis van de doorbuiging ten gevolge van windbelasting.

**Tabel 13: Maximale lengte profielen ten gevolge van de windbelasting**

| Profielen | Maximale lengte [mm] |          |           |
|-----------|----------------------|----------|-----------|
|           | Klasse 0             | Klasse I | Klasse IV |
| UPN120    | 4338                 | 4425     | 5778      |
| UPN140    | 5138                 | 5242     | 6844      |
| UPN160    | 5920                 | 6039     | 7884      |
| UPN180    | 6715                 | 6850     | 8943      |
| UPN200    | 7538                 | 7690     | 10040     |
| UPN220    | 8449                 | 8620     | 11254     |

Voor de doorbuiging ten gevolge van het eigen gewicht kan hetzelfde gedaan worden. Deze resultaten worden weergegeven in Tabel 14.

**Tabel 14: Maximale lengte profielen ten gevolge van het eigen gewicht**

| Profielen | Maximale lengte [mm] |
|-----------|----------------------|
| UPN120    | 6118                 |
| UPN140    | 6513                 |
| UPN160    | 6789                 |
| UPN180    | 7042                 |
| UPN200    | 7298                 |
| UPN220    | 7622                 |

Aan de hand van de maximale lengtes die bekomen zijn in Tabel 14, is het mogelijk om te kijken hoeveel metalen steunvoeten geplaatst moeten worden indien de breedte van de gemene muur wijzigt. Dit is weergegeven in Tabel 15. Hierin zijn zowel de steunvoeten onder de verankeringspunten als de tussenliggende steunvoeten ingerekend.

**Tabel 15: Aantal metalen steunvoeten**

| profielen | Breedte gemene muur [m] |      |      |      |      |      |
|-----------|-------------------------|------|------|------|------|------|
|           | 7,5                     | 10,0 | 12,5 | 15,0 | 17,5 | 20,0 |
| UPN120    | 3                       | 3    | 4    | 4    | 4    | 5    |
| UPN140    | 3                       | 3    | 3    | 4    | 4    | 5    |
| UPN160    | 3                       | 3    | 3    | 4    | 4    | 4    |
| UPN180    | 3                       | 3    | 3    | 4    | 4    | 4    |
| UPN200    | 3                       | 3    | 3    | 4    | 4    | 4    |
| UPN220    | 2                       | 3    | 3    | 3    | 4    | 4    |

Hieruit blijkt dat voor bepaalde breedtes van de gemene muur, een kleiner UPN profiel gebruikt kan worden en toch evenveel steunvoeten geplaatst moeten worden. Doordat het mogelijk is om een kleiner UPN profiel te gebruiken, zal ook meer staal uitgespaard worden. Voor het rekenvoorbeeld waarmee gewerkt werd (gemene muur van 10 meter), was het mogelijk om in plaats van een gelast UPN180 profiel, een gelast UPN120 profiel te gebruiken. In beide gevallen moeten drie metalen steunvoeten geplaatst worden om aan de eisen van de doorbuiging ten gevolge van het eigen gewicht te voldoen. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat ook aan de eis van de doorbuiging ten gevolge van de windbelasting moet voldaan zijn. Zo zal voor een UPN120 profiel twee extra

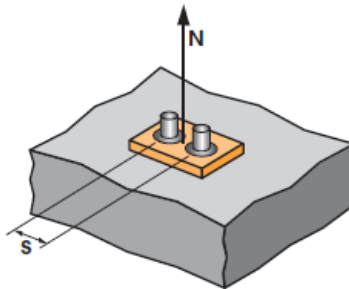
verankeringen nodig zijn en voor een UPN180 profiel is dit slechts één extra verankering. Beide eisen moeten dus goed tegenover elkaar afgewogen worden.

Het is nu mogelijk om de bekomen waarden eens te vergelijken met het aantal steunvoeten dat de firma V-systems plaats. Bij hen worden drie steunvoeten voorzien indien het gaat om een gemene muur die kleiner is dan 12 meter. Bij grotere muren worden vier steunvoeten voorzien. Wanneer dit vergeleken wordt met de bekomen waarden uit Tabel 15, dan kan besloten worden dat dit vrij goed overeen komt, want voor een UPN180 profiel worden drie steunvoeten voorzien tot een lengte van 12,5 meter. Voor grotere breedtes worden vier steunvoeten geplaatst.

Wanneer een schoorbalk in de praktijk geplaatst wordt, dan worden de steunvoeten nooit onder de verankeringspunten geplaatst, maar worden meer naar het midden voorzien (deze afstand bedraagt rond de 0,5 meter). Op deze manier wordt de onderlinge afstand tussen de steunvoeten kleiner en wordt het risico op doorbuiging ten gevolge van het eigen gewicht kleiner. Voor de berekeningen werd echter verondersteld dat de steunvoeten wel onder de verankeringspunten geplaatst worden. Op deze manier wordt een veiligheidsmarge ingerekend.

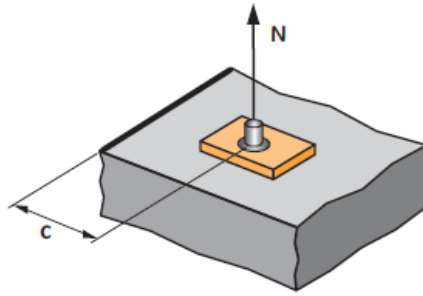
### 4.3 Hart-op-hart afstand en randafstand

Bij het plaatsen van de ankers moet ook rekening gehouden worden met de hart-op-hart afstand en de randafstand waar de ankers aan moeten voldoen. Zo is de hart-op-hart afstand, de afstand die minimaal gerespecteerd moet worden tussen twee verankeringen. Dit wordt as op as gemeten. Want als het anker belast wordt met een trekkracht, dan bestaat gevaar voor betonkegelbreuk. De kegels van nabij gelegen ankers moeten dus op een voldoende afstand van elkaar worden geplaatst zodat ze elkaar niet beïnvloeden, de kegels mogen elkaar niet overlappen.



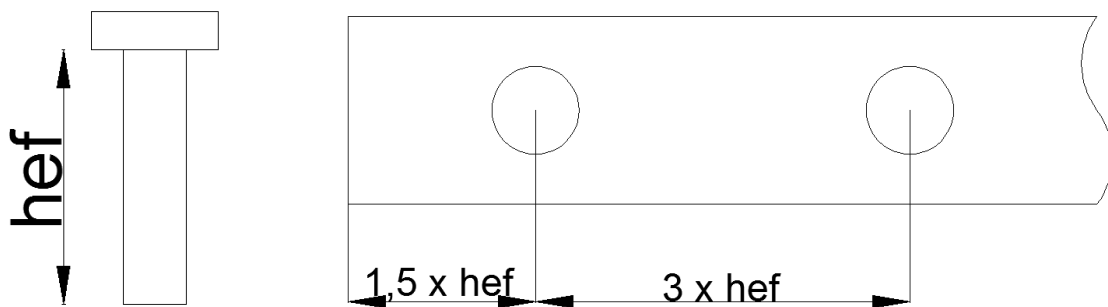
**Figuur 75: Hart-op-hart afstand (Spit)**

De randafstand is de minimale afstand die gerespecteerd moet worden tot de rand om afbrokkeling te vermijden. Zo zal de inplantingsdiepte ook een invloed hebben op de randafstand, want naarmate de inplantingsdiepte groter wordt, zal de randafstand ook verhogen.



**Figuur 76: Randafstand (Spit)**

Om zeker veilig te werken moet het anker volgens de ETAG normen op een afstand van 1,5 keer de inplantingsdiepte ( $=h_{ef}$ ) van de rand geplaatst worden en de hart-op-hart afstand tussen de ankers moet 3 keer de inplantingsdiepte bedragen.



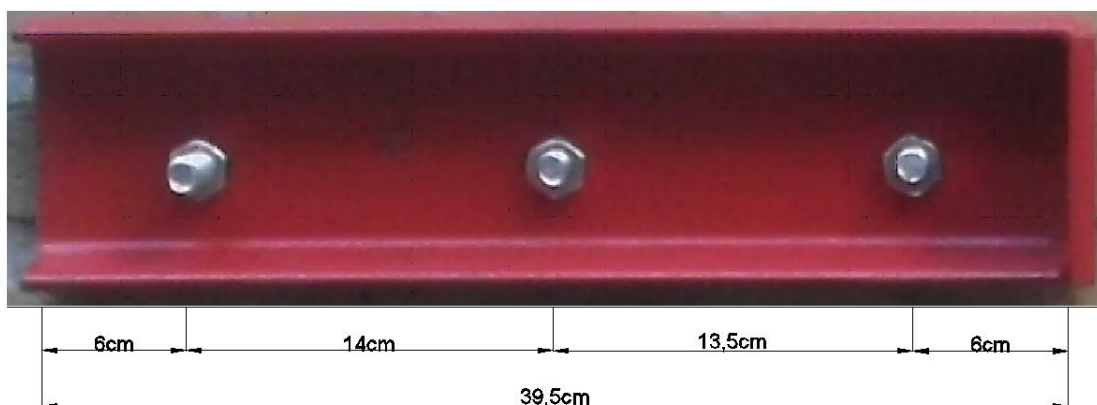
**Figuur 77: Voorstelling hart-op-hart afstand en randafstand**

Het is nu mogelijk om de hart-op-hart afstand en de randafstand te meten van het UPN profiel dat gebruikt wordt bij schoorbalken bij de verankering van de schoorbalk in de voor- en achtergevel. Hierbij wordt vanuit gegaan dat gewerkt wordt met een inplantingsdiepte van 12 cm. Dit is de inplantingsdiepte waarmee de firma V-systems hoofdzakelijk werkt.

Voor een inplantingsdiepte van 12 cm geldt:

- Randafstand =  $1,5 \times 12 \text{ cm} = 18 \text{ cm}$
- Hart-op-hart afstand =  $3 \times 12 \text{ cm} = 36 \text{ cm}$   
(Deze gegevens gelden enkel voor een inplantingsdiepte  $h_{ef}$  van 12cm)

Hieronder worden de afmetingen weergegeven van het profiel:



**Figuur 78: Afmetingen profiel V-systems**

Hieruit blijkt dat de grootste afstand die as op as gemeten wordt tussen het anker slechts 14 cm bedraagt. Volgens de ETAG norm is dus niet voldaan aan de minimale eis van de hart-op-hart afstand.

Voor de randafstand kan eigenlijk weinig gezegd worden over het profiel. Om te voldoen aan de norm moet het uiteinde van het profiel minstens 12 cm van de rand geplaatst worden zodat de randafstand van 18 cm (12 cm + 6 cm) gerespecteerd wordt.

Wanneer nu gekeken wordt naar de technische fiche van Hilti, dan blijkt voor de HIT-V ankerstangen met injectiemortel HIT-RE 500-SD met een ankerstang van diameter 16, dat zowel de minimale randafstand als de hart-op-hart afstand 8 cm bedraagt. Hilti houdt dus geen rekening met de inplantingsdiepte van de ankers. De hart-op-hart afstand en de randafstand zullen wel wijzigen indien met een andere diameter van ankerstang gewerkt wordt (*zie bijlage 3*). Wanneer dit toegepast wordt op het UPN profiel dat gebruikt wordt (Figuur 78), blijkt dat de hart-op-hart afstand voldoet aan de eis uit de technische fiche. Opnieuw kan weinig gezegd worden over de randafstand, maar om te voldoen aan deze eis, moet het uiteinde van het profiel op een afstand van 2 cm van de rand geplaatst worden.

Wanneer de ETAG norm vergeleken wordt met de technische fiche van Hilti, dan blijkt voor een inplantingsdiepte van 12 cm dat de hart-op-hart afstand volgens de ETAG norm 28 cm strenger is dan volgens de technische fiche van Hilti. De randafstand is volgens de norm 10 cm strenger. Het blijkt dus dat in de praktijk geen rekening gehouden wordt met de voorschriften uit de ETAG norm, maar dat gekeken wordt naar de technische fiches van de leveranciers.

De bekomen resultaten hebben dus betrekking op het UPN profiel dat gebruikt wordt bij de verankering van de schoorbalk in de voor- en achtergevel. Wanneer de schoorbalk in de gemene muur verankerd wordt, dan zal enkel de randafstand van belang zijn. Bijgevolg moet ook aan deze eis voldaan zijn.



## Hoofdstuk 5: Tripode of driepuntschoor

### 5.1 Inleiding

Een tripode of driepuntschoor wordt gebruikt om twee tegenover elkaar staande scheidingsgevels die beide zwevend zijn, samen te versterken zodat het uitknikken van een gebouw vermeden wordt. Bij deze techniek zijn verschillende modellen gedimensioneerd om druk- en trekkrachten op te vangen, namelijk schoringsystemen die 10, 30 en 90 ton kunnen opvangen. Voor deze thesis zullen de berekeningen uitgevoerd worden voor een driepuntschoor van 10 ton.

Bij de driepuntschoor van 10 ton bestaan de hoofdbomen (randstaven) uit buizen met een diameter van 48,3 mm met een wanddikte van 3,25 mm. De stijlen en diagonalen zijn buizen met een diameter van 21,3 mm en hebben een wanddikte van 2,65 mm. Het type staal dat gebruikt wordt is AE235. Hierbij bedraagt de afstand tussen de opeenvolgende stijlen 1 meter en heeft de stijl een lengte van 60 cm. Voor de thesis zal gewerkt worden met een driepuntschoor van 10 meter breed.



**Figuur 79: Driepuntschoor (V-systems)**

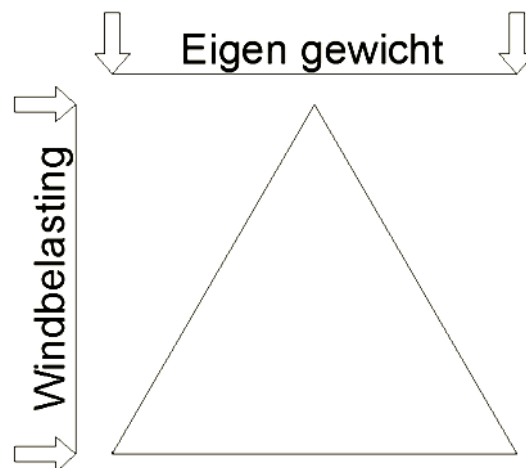
### 5.2 Vakwerk driepuntschoor

In eerste instantie moet gekeken worden welke belastingen op de driepuntschoor terecht zullen komen. Bij dit type schoor zullen drie belastingen een invloed uitoefenen op de driepuntschoor, namelijk het eigen gewicht van de schoor, de windbelasting en de krachten die de schoor moet opnemen ten gevolge van de schuinstand van het gebouw. In principe moet nog een vierde kracht ingerekend worden, want de driepuntschoor zal ook een deel van de belastingen opnemen ten gevolge van zettingen van de grond. Omdat de grootte van deze kracht moeilijk te bepalen is, zal deze kracht voor de thesis niet ingerekend worden.

Het eigen gewicht is een permanente last die constant aanwezig is. Om dit gewicht te kennen moet de som genomen worden van alle staven. Dit alles wordt uitgedrukt in kN/m. Wordt dit hier nu toegepast, dan zijn per lopende meter drie randstaven, drie diagonalen en zes stijlen aanwezig is. De randstaven hebben een diameter van 48,3 mm en wegen 3,61 kg/m. De diagonalen en stijlen hebben een diameter van 21,3 mm en wegen 1,22 kg/m. Dit betekent dus dat het eigen gewicht van de driepuntschoor per lopende meter gelijk is aan:

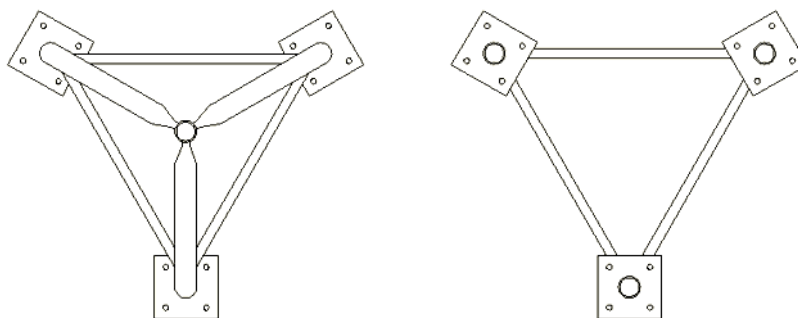
$$\text{Eigen gewicht} = 3 * 3,61 \frac{\text{kg}}{\text{m}} + 3 * 1,22 \frac{\text{kg}}{\text{m}} + 6 * 1,22 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = 21,81 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = \mathbf{0,2181 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}$$

De windbelasting daarentegen is een variabele last. Net zoals in het hoofdstuk over schoorbalken wordt als karakteristieke waarde voor de windbelasting gewerkt met een winddruk die overeen komt met een gebouw van 18,2 meter (zeven verdiepingen) en klasse 0. Dit levert de grootste winddruk op waarmee tijdens deze thesis gewerkt wordt, namelijk 1106,5 N/m<sup>2</sup> (dit geldt voor een terugkeerperiode van 1,58 jaar). De voorstelling van het eigen gewicht en de windbelasting is weergegeven op Figuur 80.



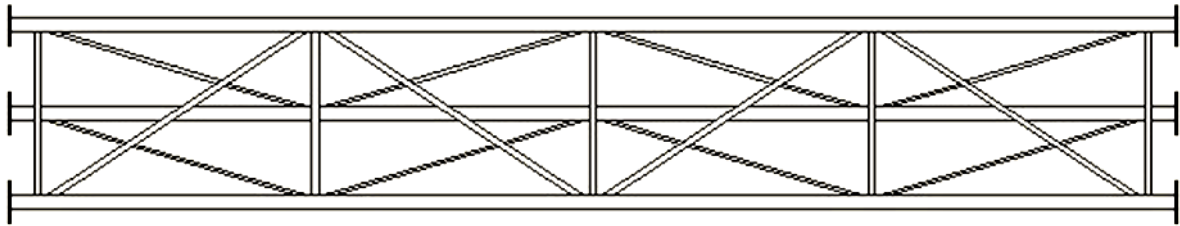
**Figuur 80: Voorstelling belasting op driepuntschoor**

De krachten ten gevolge van de schuinstand van het gebouw moeten ook nog ingerekend worden. Hierbij zal gewerkt worden met een schuinstand van 0,63° wat overeen komt met een kracht van 0,6404 kN/m. Voor de bepaling van deze waarde wordt doorverwezen naar hoofdstuk 7 over de vervormingen van het gebouw.



**Figuur 81: Opnemen krachten (V-systems)**

Voor iedere randstaaf, stijl en diagonaal zal gekeken worden welke krachten op de staven zullen inwerken. In bepaalde omstandigheden zullen meerdere krachten inwerken op een staaf. Wanneer dit het geval is, dan kan dit een positieve invloed hebben wanneer de ene belasting werkt als een drukkracht en de andere als een trekkracht. Wanneer beiden een druk- of trekkracht veroorzaken in de staaf, dan zal dit een negatieve invloed hebben op de staaf. Het is dus zeker belangrijk dat hiermee rekening gehouden wordt en voor de thesis zal met het meest negatieve geval gewerkt worden. Om de berekeningen uit te voeren wordt vanuit gegaan dat met een ideaal vakwerk gewerkt wordt. Het vakwerk is weergegeven op Figuur 82.



**Figuur 82: Vakwerk driepuntschoor (V-systems)**

Aan de hand van een rekenblad dat opgesteld werd door DesignerData is het mogelijk om het traagheidsmoment van de gebruikte buizen te berekenen. Voor de randstaven wordt een traagheidsmoment gevonden van  $11,7296 \times 10^4 \text{ mm}^4$ . Voor de diagonalen en stijlen een traagheidsmoment van  $0,6887 \times 10^4 \text{ mm}^4$ .

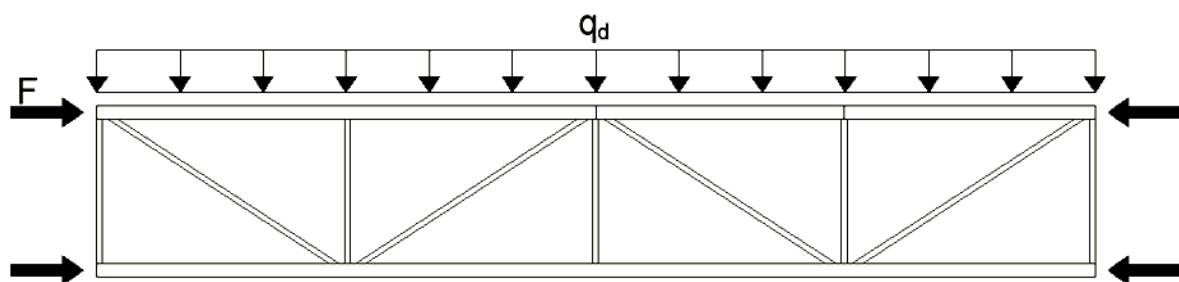
Het is nu ook mogelijk om het weerstandsmoment van deze buizen te berekenen. Dit kan gevonden worden door het traagheidsmoment te delen door de afstand vanaf de uiterste vezel tot aan de y-as (symbool e).

$$\text{Weerstandsmoment randstaven} = \frac{\text{traagheidsmoment}}{e} = \frac{11,7296 * 10^4 \text{ mm}^4}{24,15 \text{ mm}} = 4,8570 \text{ mm}^3$$

$$\text{Weerstandsmoment diagonalen en stijlen:} \frac{\text{traagheidsmoment}}{e} = \frac{0,6887 * 10^4 \text{ mm}^4}{10,65 \text{ mm}} = 0,6467 \text{ mm}^3$$

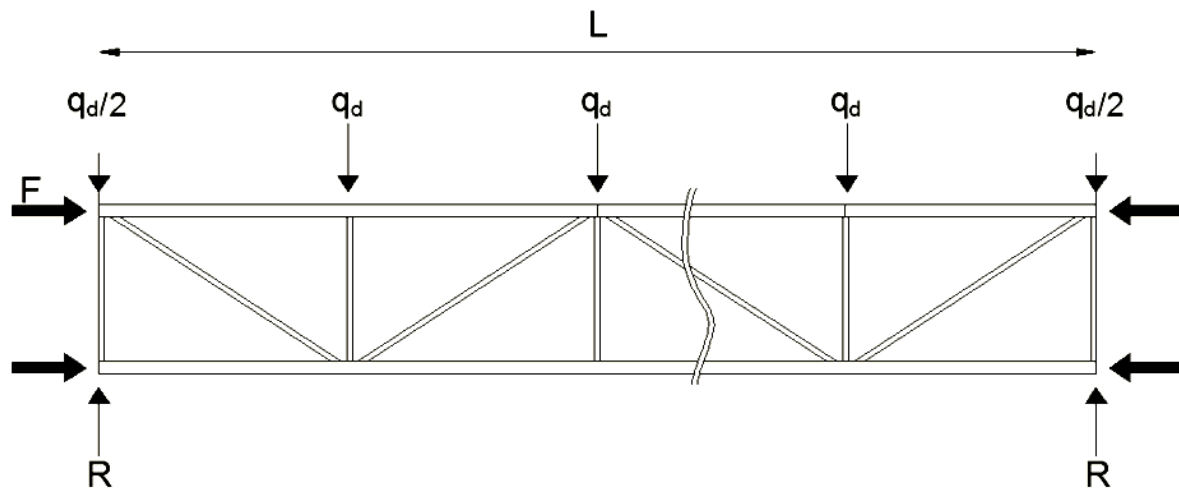
### 5.3 Berekening krachten

Vervolgens wordt op zoek gegaan naar de kracht die aanwezig is in de meest belaste randstaaf, diagonaal en stijl. Vooraleer deze krachten berekend worden, wordt op Figuur 83 een overzicht gegeven van de op te nemen belastingen. Hierbij stelt F de kracht voor ten gevolge van de windbelasting en de schuinstand van het gebouw,  $q_d$  stelt het eigen gewicht voor die terecht komt op de driepuntschoor. Het eigen gewicht wordt als een verdeelde belasting beschouwd.



**Figuur 83: Voorstelling belastingen**

De verdeelde belasting  $q_d$  moet wel nog opgesplitst worden in afzonderlijke krachten die zullen inwerken op de knopen van het vakwerk. Dit is weergegeven op Figuur 84.



**Figuur 84: Voorstelling krachten**

De grootte van deze krachten is als volgt:

Voor de kracht  $F$  moet zowel de windbelasting als de schuinstand van het gebouw ingerekend worden waarbij de kracht  $F$  in kN wordt uitgedrukt. De windbelasting dient vermenigvuldigd te worden met de hoogte waarover de driepuntschoor werkt en met de helft van de breedte. De kracht ten gevolge van de windbelasting is dan  $1,1065 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 5,2 \text{ m} * \frac{10}{2} \text{ m} = 28,77 \text{ kN}$ . De kracht van de schuinstand moet nog vermenigvuldigd worden met de breedte. Deze kracht is dan  $0,6404 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 10 \text{ m} = 6,40 \text{ kN}$ . Beide krachten moeten nu opgeteld worden omdat ze samen zullen optreden. De grootte van de kracht  $F$  is dan  $35,17 \text{ kN}$ . Deze kracht dient dan nog verdeeld te worden over de drie randstaven. Bijgevolg wordt een kracht  $F$  gevonden van  $11,72 \text{ kN}$ .

Voor  $q_d$  moet het eigen gewicht ( $0,2181 \text{ kN/m}$ ) ingerekend worden. Doordat de tripode opgedeeld is uit stukken van 1 meter, wordt een kracht  $q_d$  bekomen van  $0,2181 \text{ kN}$ .

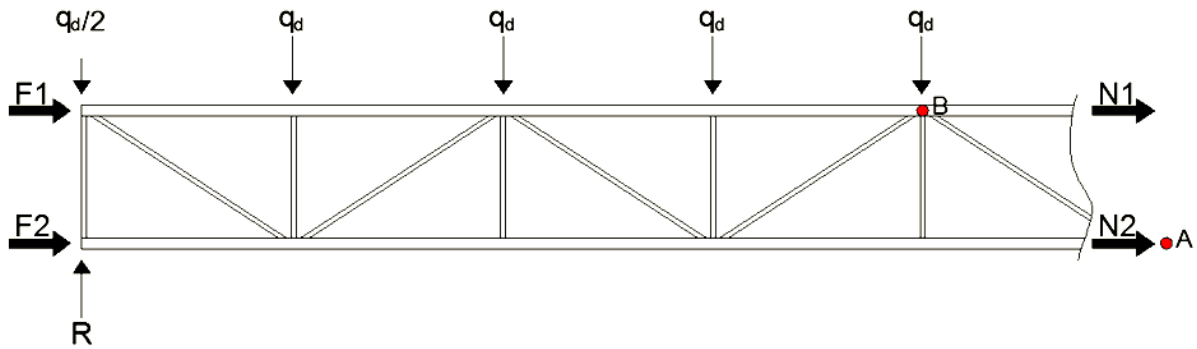
Op de uiteinden van de driepuntschoor treedt nog een kracht  $R$  op. Dit is op de plaats waar de driepuntschoor verbonden wordt met de gevel. Hier wordt een kracht  $R$  bekomen van  $1,09 \text{ kN}$ .

Als lengte van de driepuntschoor wordt gewerkt met 10 meter. Op Figuur 84 wordt dit weergegeven met symbool  $L$ . Hierbij dient opgemerkt te worden dat deze lengte overeen komt met 10 compartimenten van 1 meter breed.

Alle krachten zijn nu gekend om de kracht in de randstaaf, stijl en diagonaal te berekenen.

### **Randstaaf**

De meest belaste randstaaf bevindt zich in het midden van het vakwerk. Om nu de grootte van deze kracht te kennen, wordt in het midden een snede gemaakt zodat deze kracht berekend kan worden. De snede is weergegeven op Figuur 85.



**Figuur 85: Snede randstaaf**

In eerste instantie worden de krachten N1 en N2 als trek beschouwd. Indien de bekomen waarde negatief is, dan zal de staaf op druk belast worden.

Om de kracht N1 te vinden:  $\sum M_A = 0$

$$N1 * 0,6 + F1 * 0,6 + R * 5 = \frac{q_d}{2} * 5 + q_d * (4 + 3 + 2 + 1) \rightarrow N1 = -16,3 \text{ kN}$$

Om de kracht N2 te vinden:  $\sum M_B = 0$

$$N2 * 0,6 + q_d * (3 + 2 + 1) + \frac{q_d}{2} * 4 = F2 * 0,6 + R * 4 \rightarrow N2 = +16,1 \text{ kN}$$

Bijgevolg bevindt zich ter hoogte van N1 de meest belaste randstaaf.

### Stijl

Doordat de dwarskracht ter hoogte van de steunpunten het grootst is, zal daar ook de meest belaste stijl zich bevinden. Om de kracht N3 te vinden, moet het verticaal evenwicht berekend worden. Op Figuur 86 zijn de krachten weergegeven waarmee rekening gehouden moet worden om N3 te berekenen.

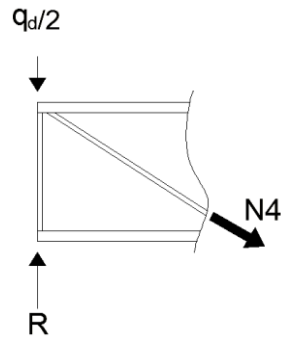
$$N3 + R = \frac{q_d}{2} \rightarrow N3 = -1,0 \text{ kN}$$



**Figuur 86: Snede stijl**

## Diagonaal

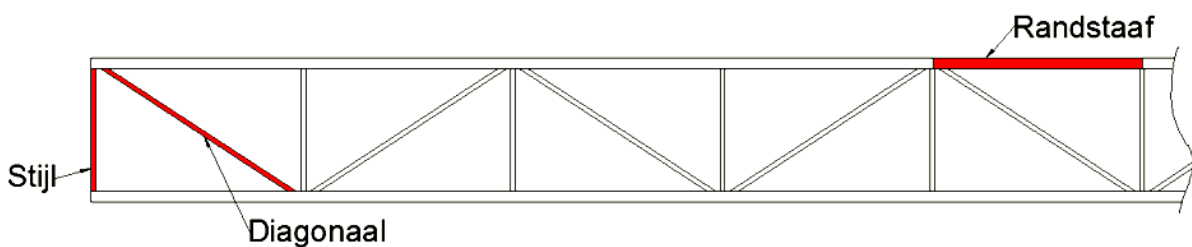
Net zoals bij de stijl zal de meest belaste diagonaal zich ook bevinden ter hoogte van de steunpunten, waar de kracht R zich bevindt. Opnieuw wordt het verticaal evenwicht berekend zodat de kracht in de meest belaste diagonaal gevonden kan worden. Dit is weergegeven op Figuur 87.



**Figuur 87: Snede diagonaal**

$$\frac{q_d}{2} + N4 * \cos(59) = R \rightarrow N4 = +1,9 \text{ kN}$$

Op Figuur 88 worden een overzicht gegeven waar de meeste belaste randstaaf, stijl en diagonaal zich bevinden.



**Figuur 88: Meest belaste staven**

## **5.4 Controles driepuntschoor**

In punt 5.3 Berekening krachten werd reeds de grootste kracht in de randstaaf, stijl en diagonaal berekend. Nu dient nog nagerekend te worden of deze krachten voldoen aan de maximale krachten die het vakwerk kan opnemen. Zo moeten drie controles uitgevoerd worden op de belaste staven:

- Weerstandscontrole
- Stabiliteitscontrole
- Controle op doorbuiging

### **5.4.1 Weerstandscontrole**

De weerstandscontrole moet zowel uitgevoerd worden voor de meest belaste randstaaf als voor de meest belaste diagonaal en stijl. De stijl dient hier niet gecontroleerd te worden omdat de kracht in de diagonaal het grootst is en voor beide toch met dezelfde staven gewerkt worden. Iedere staaf moet voldoen aan Vergelijking 35.

### Vergelijking 35: Weerstandscontrole

$$N_{Ed} \leq A * f_y$$

Uit de vergelijking blijkt dus dat de oppervlakte van de staven gekend moet zijn. Voor de randstaven is de oppervlakte A gelijk aan 460 mm<sup>2</sup> en voor de stijlen en diagonalen is deze oppervlakte A gelijk aan 155 mm<sup>2</sup>.

Alles is nu gekend om de weerstandscontrole toe te passen. Voor de meest belaste randstaaf wordt het volgende bekomen:

$$16300 \text{ N} \leq 460 \text{ mm}^2 * 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 108100 \text{ N} \rightarrow \text{OK}$$

Voor de meest belaste diagonaal geldt het volgende:

$$1900 \text{ N} \leq 155 \text{ mm}^2 * 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 36425 \text{ N} \rightarrow \text{OK}$$

Het is nu mogelijk om te kijken hoeveel de randstaaf, stijl en diagonaal belast worden ten opzichte van de maximale kracht die mag optreden in die staven zodat voldaan is aan de weerstandscontrole.

$$\frac{\text{Kracht in de randstaaf}}{\text{Maximale kracht in de randstaaf}} = \frac{16300}{108100} = 0,15$$

$$\frac{\text{Kracht in de stijl}}{\text{Maximale kracht in de stijl}} = \frac{1000}{36425} = 0,03$$

$$\frac{\text{Kracht in de diagonaal}}{\text{Maximale kracht in de diagonaal}} = \frac{1900}{36425} = 0,05$$

Zowel voor de randstaaf, stijl als diagonaal wordt ruim voldaan aan de weerstandscontrole. De randstaaf wordt in deze omstandigheden maar voor 15 % belast ten opzichte van de maximale kracht die de staaf kan opnemen. De stijl en diagonaal daarentegen slechts voor 3 % en 5 %.

### 5.4.2 Stabiliteitscontrole

Deze controle wordt uitgevoerd op de meest belaste staven waar een drukspanning op inwerkt, want door de drukspanning in de staven is het mogelijk dat de staaf uitknikt. Om dit te controleren dient buigingsknik onderzocht te worden. Daarnaast zijn nog andere vormen van knik aanwezig zoals torsieknik en buigingstorsieknik, maar deze dienen niet onderzocht te worden. Torsieknik dient niet onderzocht te worden omdat gewerkt wordt met een gesloten dwarsdoorsnede waardoor de weerstand tegen torsieknik groter zal zijn dan de weerstand tegen buigingsknik. Buigingstorsieknik dient ook niet onderzocht te worden omdat het zwaartepunt van de staven samenvalt met het dwarskrachtencentrum.

#### Buigingsknik

Bij buigingsknik kan nog een onderscheid gemaakt worden tussen buigingsknik rond de sterke as en buigingsknik rond de zwakke as. Hier zal geen rekening gehouden worden met buigingsknik rond de sterke as omdat in beide gevallen de systeemplengte hetzelfde is. Voor het uitvoeren van de berekeningen zal de kniklengte van de staaf gelijk genomen

worden aan systeemplengte. Bijgevolg komt deze afstand overeen met de afstand tussen de knopen die de staaf verbinden.

Wanneer de buigingsknik berekend wordt, dan moet voldaan zijn aan Vergelijking 36. Hierbij is  $N_{Ed}$  de kracht die voorkomt in de randstaaf en  $N_{b,Rd}$  de kracht die maximaal mag optreden in de staaf. Deze vorm van knik dient enkel nagerekend te worden voor de randstaaf en de stijl. Voor de diagonaal is dit niet nodig omdat in deze staaf een trekkracht aanwezig is.

#### Vergelijking 36: Buigingsknik

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

Om  $N_{b,Rd}$  te berekenen wordt gebruik gemaakt van Vergelijking 37.

#### Vergelijking 37: $N_{b,Rd}$

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_y$$

Hierbij is:

- $\chi$  = reductiefactor
- $A$  = oppervlakte van de staaf
- $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$  (vloeispanning van het staal)

Om de reductiefactor te kunnen bepalen, moet eerst de relatieve slankheid  $\lambda_{rel}$  berekend worden. Dit gebeurt aan de hand van Vergelijking 38. Wanneer deze slankheid gekend is, kan aan de hand van een tabel in de EN1993-1-1:2003 de reductiefactor gevonden worden. Deze tabel is terug te vinden in *Bijlage 5 – Tabel reductiefactor  $\chi$* .

#### Vergelijking 38: Relatieve slankheid

$$\lambda_{rel} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{1}{\lambda_{eul}}$$

Hierbij is:

- $L_{cr}$  = systeemplengte = kniklengte
- $i = \sqrt{\frac{I}{A}}$  = de traagheidsstraal
- $\lambda_{eul} = \text{eulerslankheid} = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

Deze controle kan nu toegepast worden om de belaste randstaaf. Eerst wordt de relatieve slankheid berekend volgens Vergelijking 38.

$$\lambda_{rel} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{1}{\lambda_{eul}}$$

Hierbij is:

- $L_{cr} = 1000 \text{ mm} (=1 \text{ m})$
- $i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{11,7296 \times 10^4 \text{ mm}^4}{460 \text{ mm}^2}} = 15,97 \text{ mm}$



$$- \lambda_{eul} = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi * \sqrt{\frac{210000 \text{ N/mm}^2}{235 \text{ N/mm}^2}} = 93,91$$

$$\lambda_{rel} = \frac{1000}{\frac{15,97}{93,91}} = 0,667$$

Nu is het mogelijk om de reductiefactor  $\chi$  te halen uit de tabel die terug te vinden is in de EN1993-1-1:2003 (*Bijlage 5 – Tabel reductiefactor  $\chi$* ). In die tabel wordt bij een relatieve slankheid  $\lambda_{rel}$  van 0,667 en bij een knikkromme "a" (hot finished) een reductiefactor  $\chi$  gevonden van 0,8618.

Nu is alles gekend om  $N_{b,Rd}$  te berekenen aan de hand van Vergelijking 37.

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_y = 0,8618 * 460 \text{ mm}^2 * 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 93160 \text{ N}$$

Vervolgens kan gecontroleerd worden of de randstaaf voldoet aan de eis van de buigingsknik (Vergelijking 36). Indien voldaan is aan deze eis zal ook gekeken worden voor welk percentage de staaf belast wordt ten opzichte van de maximale kracht die mag optreden in de randstaaf zodat voldoen is aan de eis van buigingsknik.

$$16300 \text{ N} = N_{Ed} \leq N_{b,Rd} = 93160 \text{ N} \rightarrow \text{OK}$$

$$\frac{\text{kracht in de randstaaf}}{\text{Maximale kracht om buigingsknik op te vangen}} = \frac{16300}{93160} = 0,17$$

Bijgevolg kan besloten worden dat voor de randstaaf ruim voldaan is aan de eis van buigingsknik en in deze omstandigheden zal de meest belaste randstaaf belast worden voor 17 %.

Op analoge wijze kan deze controle toegepast worden op de meest belaste stijl. Hierbij wordt een relatieve slankheid bekomen van:

$$\lambda_{rel} = \frac{L_{cr}}{i}$$

Hierbij is:

- $L_{cr} = 600 \text{ mm} (=0,60 \text{ m})$
- $i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{0,6887 \times 10^4 \text{ mm}^4}{155 \text{ mm}^2}} = 6,67 \text{ mm}$
- $\lambda_{eul} = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi * \sqrt{\frac{210000 \text{ N/mm}^2}{235 \text{ N/mm}^2}} = 93,91$

$$\lambda_{rel} = \frac{600}{\frac{6,67}{93,91}} = 0,958$$

Uit de tabel (*Bijlage 5 – Tabel reductiefactor  $\chi$* ) volgt dat de reductiefactor  $\chi$  gelijk is aan 0,6943.

$N_{b,Rd}$  wordt opnieuw berekend aan de hand van Vergelijking 37.

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_y = 0,6943 * 155 \text{ mm}^2 * 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 25290 \text{ N}$$

Tenslotte moet nu gecontroleerd worden of de stijl voldoet aan de eis van de buigingsknik (Vergelijking 36). Indien hier ook voldaan is aan de eis zal opnieuw gekeken worden voor hoeveel procent de staaf belast wordt ten opzichte van de maximale kracht die mag optreden in de stijl om te voldoen aan de eis van buigingsknik.

$$1000 \text{ N} = N_{Ed} \leq N_{b,Rd} = 25290 \text{ N} \rightarrow \text{OK}$$

$$\frac{\text{kracht in de stijl}}{\text{Maximale kracht om buigingsknik op te vangen}} = \frac{1000}{25290} = 0,04$$

Ook voor de stijl wordt ruim voldaan aan de eis van buigingsknik. Deze staaf wordt voor 4 % belast ten opzichte van de maximale kracht.

Wanneer de weerstandscontrole nu vergeleken wordt met de stabiliteitscontrole, dan is de eis van de stabiliteitscontrole strenger ten opzichte van de weerstandscontrole. Zo moet de kracht in de randstaaf en stijl veel kleiner zijn bij de stabiliteitscontrole om te voldoen aan deze eis.

### 5.4.3 Controle op doorbuiging

Net zoals bij schoorbalken kan voor de driepuntschoor gecontroleerd worden of voldaan is aan de eis van de doorbuiging. De doorbuiging van de driepuntschoor zal veroorzaakt worden door het eigen gewicht. Voor de driepuntschoor in de maximale doorbuiging niet opgegeven. Om toch een realistisch resultaat te bekomen zal met dezelfde maximale doorbuiging gewerkt worden als bij schoorbalken, namelijk  $l/500$ . De controle van de doorbuiging gebeurt aan de hand van Vergelijking 39.

#### Vergelijking 39: Controle doorbuiging

$$f = \frac{5}{384} * \frac{p * L^4}{E * I}$$

Hierbij is:

- $f$  = de doorbuiging
- $p$  = de belasting
- $L$  = lengte driepuntschoor
- $E$  = elasticiteitsmodulus van staal =  $210000 \text{ N/mm}^2$
- $I$  = traagheidsmoment

Voor de belasting  $p$  wordt het eigen gewicht van de schoorbalk ingerekend. In 5.3 Berekening krachten werd deze belasting reeds berekend. Zo werd voor het eigen gewicht een belasting gevonden van  $0,2181 \text{ kN/m}$ .

De lengte  $L$  van de driepuntschoor waarmee gewerkt wordt is opnieuw  $10000 \text{ mm}$ .

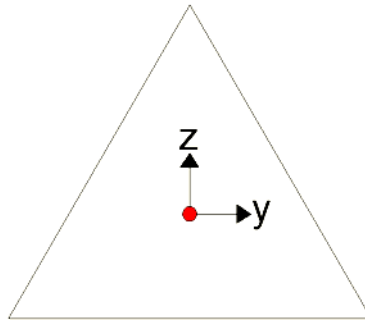
Het traagheidsmoment van de staven is al gekend, maar om de doorbuiging te kunnen berekenen, moet het traagheidsmoment van het vakwerk berekend worden. Dit gebeurt aan de hand van de methode van Steiner en wordt weergegeven in Vergelijking 40.

#### Vergelijking 40: Methode van Steiner

$$I_{\text{vakwerk}} = I_{\text{staaf}} + A * d^2$$

Hierbij is:

- A = de oppervlakte van de staaf
- d = de afstand tussen het zwaartepunt van de staaf tot het zwaartepunt van het vakwerk



**Figuur 89: Zwaartepunt vakwerk**

Wanneer de methode van Steiner toegepast wordt, dan wordt volgend traagheidsmoment bekomen voor het vakwerk:

$$I_{\text{vakwerk}} = 2 * (11,7296 * 10^4 + 460 * 173,2^2) + 11,7296 * 10^4 + 460 * 346,4^2 = 8315 * 10^4 \text{ mm}^4$$

Nu zijn alle coëfficiënten gekend om de doorbuiging f te berekenen:

$$f = \frac{5}{384} * \frac{0,2181 * 10000^4}{210000 * 8315 * 10^4} = 1,6 \text{ mm}$$

Wanneer deze doorbuiging van de driepuntschoor nu vergeleken wordt met de maximale doorbuiging die mag optreden bij schoorbalken ( $l/500$ ), dan wordt hier voldaan aan deze eis, want de maximale doorbuiging zou in dit geval 20 mm ( $10000/500$ ) mogen bedragen.

Het is nu ook mogelijk om te kijken hoelang de driepuntschoor maximaal mag zijn zodat een maximale doorbuiging van 20 mm ( $=l/500$ ) bekomen wordt.

$$L = \sqrt[4]{\frac{f * 384 * E * I}{5 * p}} = \sqrt[4]{\frac{\frac{L}{500} * 384 * 210000 * 8315 * 10^4}{5 * 0,2181}} \rightarrow L = 23081 \text{ mm} = 23,081 \text{ m}$$

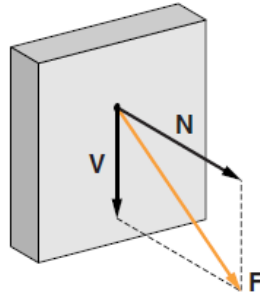
Hieruit volgt dat de driepuntschoor maximaal 23,081 meter lang mag zodat nog steeds voldaan wordt aan de eis van  $l/500$ .

Hierbij dient nogmaals opgemerkt te worden dat de uitgevoerde berekeningen enkel gelden in deze omstandigheden. Indien met een kleinere windbelasting gewerkt wordt, dan gaan de krachten in de randstaven, stijlen en diagonalen een stuk kleiner zijn. In een ander geval kan de schuinstand van het gebouw groter zijn waardoor grotere krachten zullen inwerken op de driepuntschoor.

## Hoofdstuk 6: Proeven op metselwerk

### 6.1 Inleiding

Op de chemische ankers die in het metselwerk zijn geplaatst, zullen zowel trekproeven als afschuifproeven uitgevoerd worden. Zowel bij de trekproeven als de afschuifproeven zullen verschillende varianten getest worden zoals verschillende boordiepte, aantal ankers,... Hieruit zal dan blijken welke krachten het metselwerk en de ankers aankunnen en welke opstelling bijgevolg de beste resultaten oplevert.



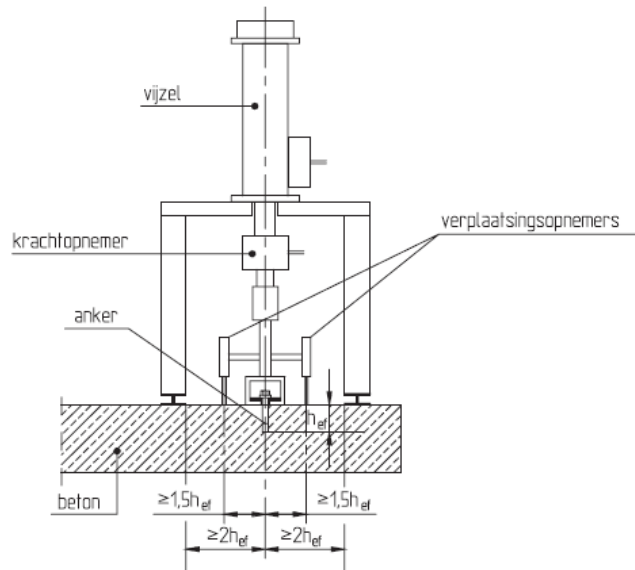
**Figuur 90: Dwarskrachten en normaalkrachten op een anker (Spit)**

Voor het uitvoeren van de testen wordt gebruik gemaakt van de normen die opgesteld werden door de EOTA. Dit staat voor the European Organisation for Technical Approvals en staat in voor het opstellen van Europese Technische Goedkeuringsrichtlijnen (ETAG) en het goedkeuren van Europese Technische Goedkeuringen (ETA). Wanneer een product een ETA-keurmerk draagt, dan heeft het product een gunstige technische beoordeling en kan het gebruikt worden voor de geschikte toepassing.

De ankers dienen wel steeds geplaatst te worden door bevoegd personeel en daarnaast moeten de boorgaten loodrecht geboord worden op het oppervlak tenzij volgens de leverancier een andere richting gewenst is. De ankers die gebruikt zullen worden zijn afkomstig van de firma Hilti en zijn volgens de norm geproduceerd en bezitten ook een CE-markering (het product voldoet aan de regels die gelden binnen de Europese Economische Ruimte).

### 6.2 Trekproeven

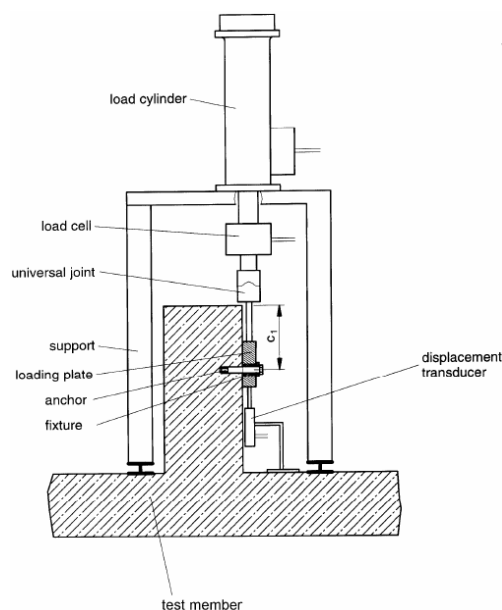
Voor het uitvoeren van een trekproef moet het anker volgens zijn langsas belast worden. Daarnaast dienen de ankers ook geplaatst te worden zoals de leveranciers het voorgeschreven hebben. Wanneer de ankers op een correcte wijze zijn aangebracht, wordt het trektoestel gemonteerd en worden de ankers belast tot bezwijking optreedt. Op Figuur 91 is de proefopstelling voor een trekproef weergegeven.



**Figuur 91: Opstelling trekproef (Bedrijfschap Afbouw, 2007)**

### 6.3 Afschuifproeven

Voor het uitvoeren van een afschuifproef moet het anker evenwijdig belast worden aan de stenen. Opnieuw dienen de ankers geplaatst te worden zoals de leverancier het voorgeschreven heeft en bij het plaatsen van het toestel mag geen ruimte aanwezig zijn tussen de trekplaat dat over het anker wordt geplaatst en de steen. Dit dient te gebeuren zodat het anker niet excentrisch belast wordt.



**Figuur 92: Afschuifproef (EOTA, 2010)**

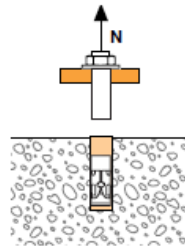
Voor het uitvoeren van deze proeven wordt gebruik gemaakt van de ETAG 029. Deze ETAG is van toepassing op ankers met een minimale schroefdraad van 6 mm (M6) en de minimale verankeringsdiepte  $h_{ef}$  van het anker moet 50 mm zijn. De minimale randafstand en de minimale hart-op-hart afstand (hoh) wordt door de fabrikant meegedeeld.

## 6.4 Bezwijkmogelijkheden

### 6.4.1 Trekkraft

- Staalbreuk:

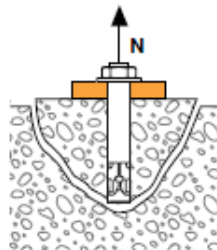
Hierbij zal het anker het als eerste begeven. Bij een bepaalde trekkraft zal deze vorm van bezwijken plots optreden. Deze vorm van bezwijken moet zeker vermeden worden omdat dit grote schade tot gevolg zal hebben. De aangelegde trekkraft moet dus zeker kleiner zijn dan de kracht die tot staalbreuk zal leiden. Om een extra veiligheid in te rekenen, wordt een veiligheidscoëfficiënt  $\gamma_{MS}$  ingerekend.



**Figuur 93: Trekkraft – Staalbreuk (Spit)**

- Betonkegelbreuk (= Breuk van het metselwerk):

Bij deze vorm van breuk zal het staal of de epoxy niet bezwijken, maar zal een soort kegel uit het metselwerk worden getrokken. Deze vorm van breuk kan enkel maar via proeven getest worden.

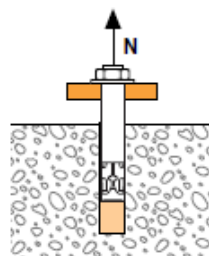


**Figuur 94: Trekkraft – Betonkegelbreuk (Spit)**

- Uittrekken:

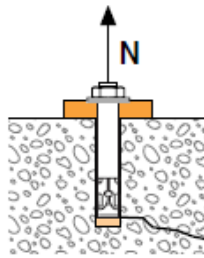
o van het anker:

Bij deze vorm van bezwijken zal het de epoxy zijn die voor breuk zal zorgen. Opnieuw kan deze vorm enkel via proeven getest worden.



**Figuur 95: Trekkraft - Uittrekken van het anker (Spit)**

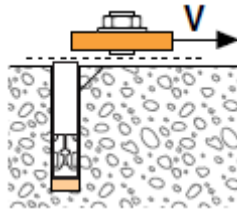
- Splijtbreuk (=breuk van de baksteen):  
Hierbij treedt splijten van het betonelement op.



**Figuur 96: Trekkraft - Splijtbreuk bij uittrekken (Spit)**

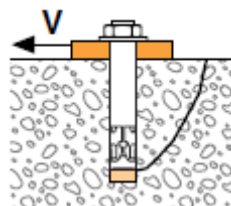
### 6.4.2 Afschuifkracht

- Staalbreuk:  
Dit is analoog aan de definitie van staalbreuk uit 6.4.1 Trekkraft. Om veiligheid in te rekenen wordt opnieuw gewerkt met een veiligheidscoëfficiënt  $\gamma_{Ms}$ .



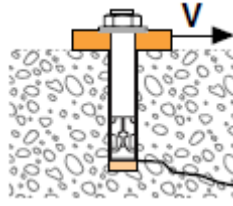
**Figuur 97: Afschuifkracht – Staalbreuk (Spit)**

- Metselwerk achteruitbreken:  
Bij deze vorm van bezwijken is het niet het staal of de epoxy tussen het metselwerk en het staal dat zal bezwijken, maar indien het gaat om een zeer stijve staaf die verankerd zit in het metselwerk, dan kan het gebeuren dat de volledige zone naast het anker uitscheurt. Deze vorm van bezwijken kan enkel via proeven getest worden.



**Figuur 98: Afschuifkracht - Metselwerk achteruitbreken (Spit)**

- Metselwerkrandbreuk:  
Deze vorm van bezwijken komt pas voor wanneer het anker te dicht tegen een rand is geplaatst. Dit kan het gevolg zijn wanneer de minimale randafstand niet gerespecteerd wordt.



**Figuur 99: Afschuifkracht – Metselwerkrandbreuk (Spit)**

## 6.5 Representatieve kracht

Bij het testen van de ankers zal zowel voor de trekproeven als voor de afschuifproeven één van bovenstaande bezwijkvormen optreden. Om een betrouwbaar resultaat te bekomen moet iedere proef meerdere malen uitgevoerd worden. Op deze manier kan de representatieve trekkracht en afschuifkracht gevonden worden. In overleg met de firma V-systems werd echter beslist om iedere proef slechts 1 keer uit te voeren. Indien toch meerdere proeven uitgevoerd worden, dan kan de verdere verwerking van de resultaten uitgevoerd worden aan de hand van de ETAG 020 om de representatieve trekkracht en afschuifkracht te bepalen. Dit zal in deze thesis dus niet uitgevoerd worden.

## 6.6 Testen

Bij het plaatsen van de ankers moet met enkele zaken rekening worden gehouden. Nadat het boorgat is geboord, moet dit eerst gereinigd worden vooraleer de epoxy aangebracht wordt.

Voor het reinigen moeten twee zaken uitgevoerd worden:

- Uitblazen
- Borstelen

In de praktijk wordt het uitblazen steeds gedaan, maar het borstelen wordt vaak verwaarloosd. Nochtans heeft dit ook een belangrijke functie. Wanneer de boormachine gebruikt wordt en het stof blijft aanwezig in het boorgat, dan zal een koek van stof gevormd worden. Door de warmte van de boormachine zal vervolgens een korst gevormd worden aan de binnenkant van het boorgat. Hierdoor zal de epoxy een deel van zijn sterkte verliezen. Bij afschuif is dit in principe minder erg, maar bij trek kunnen grote verliezen opgemerkt worden.

De invloed van het borstelen zal dan ook getest worden om een idee te krijgen hoe belangrijk dit borstelen is. Om dit in de praktijk te kunnen toepassen, is voor ieder boorgat een borstel op de markt gebracht zodat het boorgat op een eenvoudige manier gereinigd kan worden. Deze borstel kan dan op een boormachine bevestigd worden.

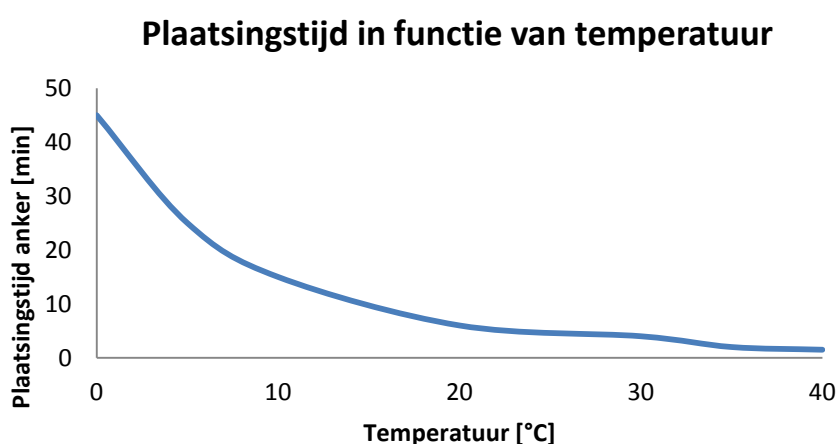
Het uitvoeren van de proeven zal gebeuren met de epoxy AC100-PRO Vinylester Mortar die afkomstig is van de firma Powers. Op deze epoxy zit een veiligheid van 2,1. De epoxy heeft ook een uithardingstijd die afhankelijk is van de temperatuur. In warme dagen zal de epoxy zeer snel harden waardoor het anker onmiddellijk dient geplaatst te worden. Wordt dit niet in de voorziene tijd gedaan, dan kan het anker onmogelijk tot op de gewenste diepte in de opening worden bevestigd en zal het een deel van de trek- en afschuifkracht verliezen. In Tabel 16 is de uithardingstijd van de gebruikte epoxy weergegeven in functie van de temperatuur.



**Tabel 16: Uithardingstijd epoxy**

| Temperatuur [°C] | Tijd om het anker te plaatsen [min] | Tijd vooraleer het anker belast mag worden [min] |
|------------------|-------------------------------------|--|
| 0                | 45                                  | 420  |
| 5                | 25                                  | 120  |
| 10               | 15                                  | 80   |
| 20               | 6                                   | 45   |
| 30               | 4                                   | 25   |
| 35               | 2                                   | 20   |
| 40               | 1,5                                 | 15   |

De gegevens over de tijd wanneer het anker belast mag worden, zijn in de veronderstelling van droge toestanden. Indien dit niet het geval is, moet dubbel zolang gewacht worden vooraleer de ankers belast mogen worden. Het is nu ook mogelijk om het verband tussen de temperatuur en de plaatsingstijd van het anker weer te geven in een grafiek (zie Figuur 100):



**Figuur 100: Plaatsingstijd in functie van temperatuur**

Uit deze grafiek kan zeer snel opgemerkt worden dat naarmate de temperatuur toeneemt, het anker sneller dient geplaatst te worden omdat de epoxy sneller uithard.

Daarnaast zullen de bekomen trek- en afschuifkrachten ook nog van andere zaken afhankelijk zijn:

- Het verband waarin de stenen gemetseld zijn
- De kwaliteit van de stenen
- De kwaliteit van de mortel

Voor ieder gebouw kunnen de resultaten dus anders zijn doordat de omstandigheden waarin gewerkt wordt variëren. In principe moet vooraleer de werken aangevat worden, eerst enkele trek- en afschuifproeven uitgevoerd worden om een idee te krijgen van de staat van de gevel. Aan de hand van deze resultaten, kan het type schoor en de hoeveelheid schoren op elkaar afgesteld worden zodat zeker veilig gewerkt wordt.

Voor het uitvoeren van de trekproeven en afschuifproeven wordt gebruikt gemaakt van het trektoestel HDT-DELUX145kN2008 afkomstig van de firma Vriezoo Pullout test Equipment.



**Figuur 101: Trektoestel**

### **6.6.1 Trekproeven**

De trekproeven werden uitgevoerd op een Dywidagstang die gebruikt wordt bij speldverankeringen. De trekproeven werden zowel in beton als in metselwerk uitgevoerd. Bij het uitvoeren van deze proeven werd het boorgat steeds uitgeblazen en geborsteld.

Volgende opstellingen werden getest:

- In beton:
  - Boordiepte van 15 cm
  - Boordiepte van 25 cm
- In metselwerk:
  - Boordiepte van 15 cm
  - Boordiepte van 25 cm
  - Boordiepte van 30 cm waarbij een netje is voorzien voor de epoxy

#### **6.6.1.1 Trekproeven in beton**

In beton werden twee trekproeven uitgevoerd op een verschillende boordiepte, namelijk één bij een boordiepte van 15 cm en één bij een boordiepte van 25 cm.

**Tabel 17: Resultaten trekproeven in beton**

| Beton            |                  |
|------------------|------------------|
| Boordiepte 15 cm | Boordiepte 25 cm |
| 60 kN            | 89 kN            |

Bij een boordiepte van 15 cm werd een trekkracht van 60 kN bekomen. Bij deze kracht trad betonbreuk op. In de omgeving van de Dywidagstang was wel een bekistingblokje aanwezig. Hierdoor is het mogelijk dat een lagere treksterkte bekomen werd in vergelijking met wanneer geen bekistingblokje aanwezig was.

Bij een boordiepte van 25 cm werd de proef gestopt bij een belasting van 89 kN. De reden hiervoor is dat de Dywidagstang een working load van 90 kN heeft. Bij een belasting van 89 kN was nog geen breuk van het beton waargenomen en het was dus

zeker mogelijk om nog een grotere kracht op de stang uit te voeren. Voor de veiligheid werd gestopt bij een kracht van 89 kN, want bij een grotere kracht bestond namelijk het risico dat breuk van de stang optrad, wat tot een onveilige situatie kon leiden.

Hieruit kan dus besloten worden dat naarmate de boordiepte groter wordt, een grotere trekkracht uitgevoerd kan worden op de Dywidagstang. Wanneer uitgegaan wordt van een wind met een terugkeerperiode van 1,58 jaar en een klasse 0 die ingrijpt op een gebouw van 18,2 meter hoog, dan zal op een speldanker een kracht van 11,8 kN inwerken. Voor een boordiepte van 15 cm in beton zal dus zeker een voldoende veiligheid aanwezig zijn, want onder deze omstandigheden zal het speldanker slechts voor 19,7 % belast worden.

$$\frac{11,8 \text{ kN}}{60 \text{ kN}} = 0,197 = 19,7 \%$$

### 6.6.1.2 Trekproeven in metselwerk

In metselwerk werden drie trekproeven uitgevoerd op een verschillende boordiepte, namelijk één bij een boordiepte van 15 cm, één van 25 cm en één van 30 cm.

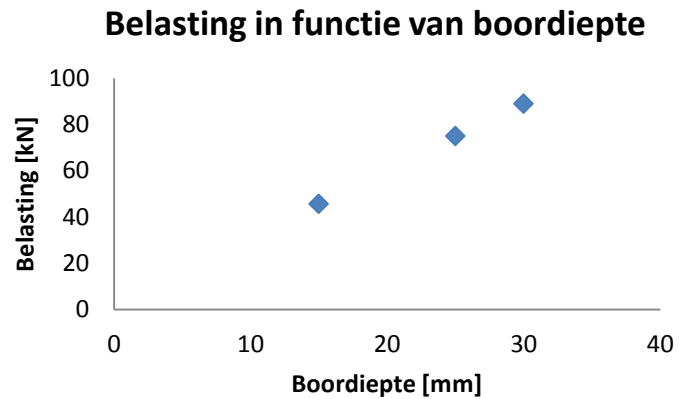
**Tabel 18: Resultaten trekproeven in metselwerk**

| Metselwerk       |                  |                  |
|------------------|------------------|------------------|
| Boordiepte 15 cm | Boordiepte 25 cm | Boordiepte 30 cm |
| 45,6 kN          | 75,0 kN          | 89,0 kN          |

Zowel bij een boordiepte van 15 cm als bij een boordiepte van 25 cm trad metselwerkbreuk op. Bij een boordiepte van 30 cm werd de proef gestopt bij een belasting van 89 kN omdat anders de working load van 90 kN overschreden wordt. Bij een belasting van 89 kN was nog geen breuk van het metselwerk zichtbaar. Net zoals bij de trekproef op beton bij een boordiepte van 25 cm, ging de stang niet meer op een veilige manier belast worden indien een grotere trekkracht wordt aangelegd.

Bij een boordiepte van 30 cm werd wel een netje voorzien zodat de epoxy zeker over de volledige diepte verdeeld werd. Zonder netje kon dit niet gegarandeerd worden omdat de spuitkop waarmee de epoxy aangebracht werd, niet tot op die diepte aangebracht kon worden.

Op Figuur 102 wordt de belasting in functie van de boordiepte weergegeven voor de proeven die uitgevoerd werden in metselwerk:



**Figuur 102: Belasting in functie van boordiepte**

Wanneer door deze drie resultaten een trendlijn getekend wordt, dan kan een lineair verband waargenomen worden tussen de resultaten. Al dient wel opgemerkt te worden dat bij een boordiepte van 30 cm nog geen breuk opgemerkt werd.



**Figuur 103: Weergave stangen in metselwerk**

### 6.6.2 Afschuifproeven

Het uitvoeren van de afschuifproeven werd gedaan op anker groepen die gebruikt worden voor een toepassing met schoorbalken waarbij de verankering wordt uitgevoerd in de voor- en achtergevel.



**Figuur 104: Anker groep**

Bij het uitvoeren van deze proef mag tussen het metselwerk en het trektoestel geen ruimte aanwezig zijn. De reden hiervoor is dat anders excentrisch belast wordt. Na de plaatsing van het trektoestel, werd dan belast tot bezwijking optrad.

Volgende opstellingen werden getest:

- 3 ankers in groep die in de voeg werden verankerd zonder te borstelen
- 3 ankers in groep die in de voeg werden verankerd met borstelen
- 3 ankers in groep die in de steen werden verankerd zonder te borstelen
- 3 ankers in groep die in de steen werden verankerd met borstelen
- 5 ankers in groep die in de steen werden verankerd zonder te borstelen
- 3 ankers in groep die in een hoek werden verankerd zonder te borstelen, deze werden ook in de steen verankerd
- 2 ankers in groep die in 1 steen werden verankerd met borstelen
- 2 ankers in groep die in 2 stenen werden verankerd met borstelen

Voor het uitvoeren van deze proeven werd met een boordiepte van 70 mm gewerkt. Een grotere boordiepte was niet mogelijk omdat de stenen van het metselwerk slechts 90 mm breed zijn. Uit de technische fiche van Hilti blijkt dat de HIT-V ankerstangen (diameter 16) met injectiemortel HIT-RE 500-SD een boordiepte moeten hebben die gelegen ligt tussen 6,4 cm en 32 cm. Voor deze proeven is het dus toegestaan om met een boordiepte van 70 mm te werken. Indien door de steen geboord werd, dan ging de epoxy in de spouw terecht komen waardoor het zijn functie zal verliezen. Tegenwoordig bestaan wel al soorten netjes die in de booropening kunnen geplaatst worden en die volledig dicht zijn. Hierdoor is het wel mogelijk om met een grotere boordiepte te werken.

Deze techniek werd dan ook getest. Hiervoor werd gebruikt gemaakt van 3 ankers in groep die van het type M16 zijn. Deze ankers werden in de steen verankerd met borstelen.

Uit de bekomen resultaten is het nu mogelijk om de verschillende proeven met elkaar te vergelijken en te zien of merkbare verschillen opgemerkt kunnen worden.

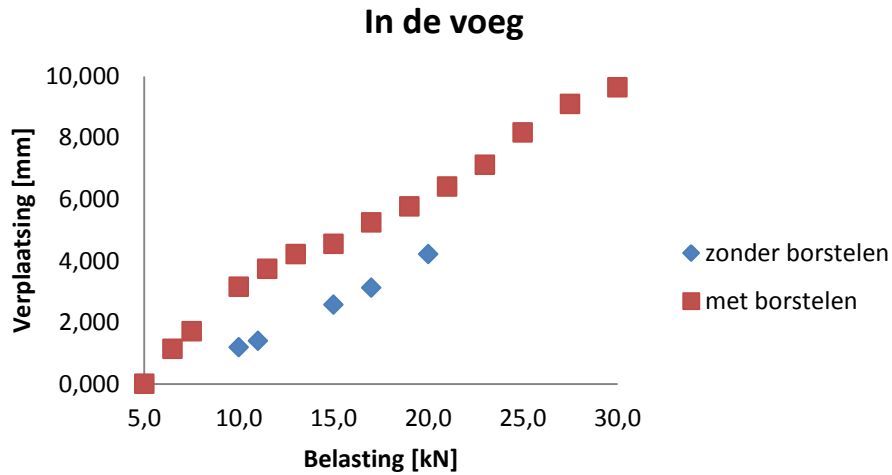
#### **6.6.2.1 Verschil tussen borstelen of niet borstelen**

Zoals reeds werd verteld, wordt het uitblazen in de praktijk steeds gedaan, maar wordt het borstelen vaak verwaarloosd. Het is nu mogelijk om te onderzoeken of dit borstelen een groot effect zal hebben op de maximale belasting die behaald kan worden.

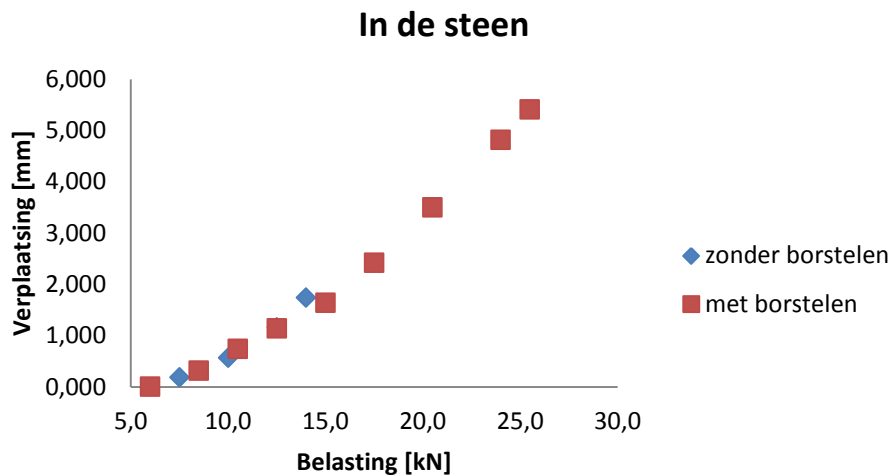
Om dit te kunnen testen werden vier proeven uitgevoerd:

- 3 ankers in groep die in de voeg werden verankerd zonder te borstelen
- 3 ankers in groep die in de voeg werden verankerd met borstelen
- 3 ankers in groep die in de steen werden verankerd zonder te borstelen
- 3 ankers in groep die in de steen werden verankerd met borstelen

Bij het uitvoeren van de proeven werd een onderscheid gemaakt tussen de ankers die in de voeg werden geplaatst en de ankers in het metselwerk. Het is nu mogelijk om de resultaten van de ankers in de voeg en de ankers in de steen in een grafiek weer te geven (zie Figuur 105 en Figuur 106). Wanneer deze proeven uitgevoerd werden, werd ook steeds de verplaatsing van de ankers opgemeten bij toenemende kracht.



**Figuur 105: Borstelen of niet borstelen in de voeg**



**Figuur 106: Borstelen of niet borstelen in de steen**

In Tabel 19 wordt nog eens een overzicht in tabelvorm weergegeven met de kracht wanneer de ankers het begeven indien wel of niet geborsteld wordt.

**Tabel 19: Overzicht resultaten in de voeg of in de steen**

| In de voeg       |               | In de steen      |               |
|------------------|---------------|------------------|---------------|
| Zonder borstelen | Met borstelen | Zonder borstelen | Met borstelen |
| 20 kN            | 30 kN         | 14 kN            | 25,5 kN       |

Wanneer naar de bekomen resultaten gekeken wordt, dan blijkt dat zeker aandacht besteed moet worden aan het borstelen van het boorgat, want de ankers kunnen een veel grotere sterkte opnemen. In de voeg zal deze sterkte 50 % groter zijn en in de steen zal 82 % meer belasting opgenomen kunnen worden. Indien niet geborsteld wordt, zal de vorming van een korst aan de binnenkant van het boorgat dus resulteren in een beduidend mindere sterkte. Op Figuur 107 is de vorming van deze koek rond het anker weergegeven.



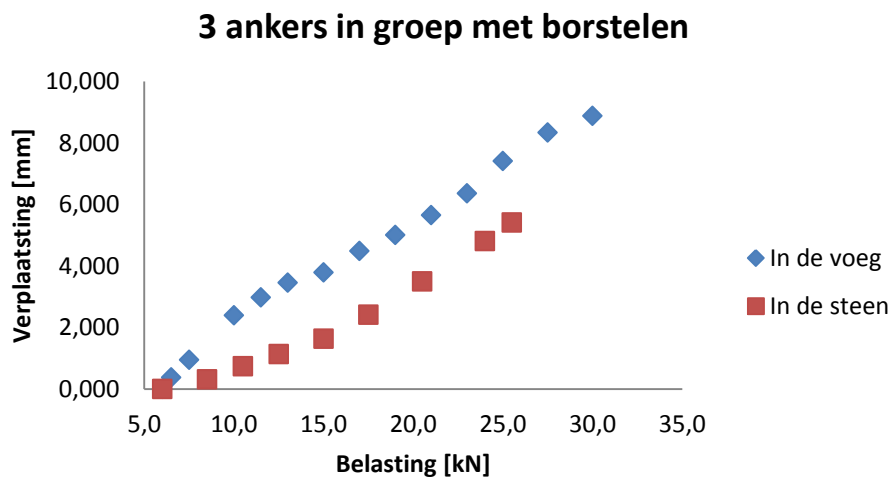
**Figuur 107: Vorming koek rond het anker**

Daarnaast valt het ook op dat wanneer geborsteld wordt, een grotere verplaatsing van de ankers mogelijk is vooraleer bezwijking plaatsvindt. Om deze gegevens te kunnen vergelijken werd steeds uitgegaan van dezelfde voorbelasting. Voor ankers die in de voeg werden geplaatst, is deze verplaatsing 2,28 keer groter dan wanneer niet geborsteld wordt. Wanneer de ankers in de steen geplaatst worden is dit maar liefst 3,11 keer groter bij borstelen.

### **6.6.2.2 Ankers in de voeg of ankers in de steen**

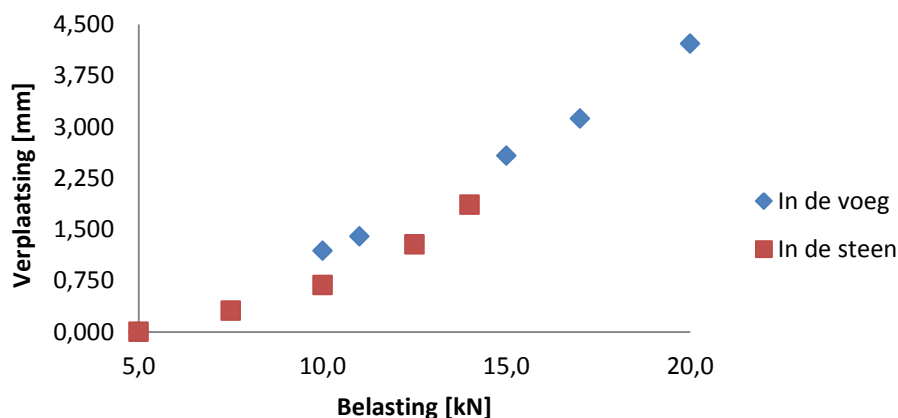
Het is nu ook mogelijk om te onderzoeken of de sterkte in de voeg of in de steen het grootst zal zijn. Om dit te onderzoeken werd uitgegaan van dezelfde resultaten als in punt 6.6.2.1 Verschil tussen borstelen of niet borstelen:

- 3 ankers in groep die in de voeg werden verankerd met borstelen
- 3 ankers in groep die in de steen werden verankerd met borstelen
- 3 ankers in groep die in de voeg werden verankerd zonder te borstelen
- 3 ankers in groep die in de steen werden verankerd zonder te borstelen



**Figuur 108: 3 ankers in groep met borstelen**

### 3 ankers in groep zonder borstelen



**Figuur 109: 3 ankers in groep zonder borstelen**

De belasting wanneer de ankers het zullen begeven, kunnen opnieuw in een tabel worden weergegeven (zie Tabel 20).

**Tabel 20: Overzicht resultaten borstelen of niet borstelen**

| Met borstelen |             | Zonder borstelen |             |
|---------------|-------------|------------------|-------------|
| In de voeg    | In de steen | In de voeg       | In de steen |
| 30 kN         | 25,5 kN     | 20 kN            | 14 kN       |

Wat meteen opvalt, is dat wanneer de ankers in de voeg worden geplaatst, een grotere sterkte bekomen wordt dan wanneer de ankers in de stenen verankerd zijn. Dit werd helemaal niet verwacht. Dit geldt zowel voor het plaatsen van de ankers met borstelen als zonder borstelen. Indien het boorgat geborsteld wordt, dan kan in de voeg een sterkte bekomen worden die 17 % groter is dan in de steen.

In de praktijk worden de ankers in het merendeel van de gevallen in de stenen verankerd, wat in dit geval tot een mindere sterkte ging leiden dan wanneer de ankers in de voegen werden voorzien.

Het type van bezwijken wanneer de ankers in de stenen werden geplaatst, was steeds metselwerk achteruitbreken. Dit is op Figuur 110 duidelijk zichtbaar:



**Figuur 110: Metselwerk achteruitbreken**



Het is ook steeds rond het anker dat het verst van de trekbank gelegen is, dat de steen en de voeg het eerst bezwijken. Wanneer dan achteraf het profiel verwijderd wordt, kan het verst gelegen anker met weinig moeite uit het metselwerk gehaald worden. Bij het tweede en het derde anker verloopt dit al veel moeilijker.

In 6.6 Testen werd reeds aangehaald dat de maximale belasting die behaald kan worden van drie zaken kan afhangen, namelijk het metselwerkverband, de kwaliteit van de mortel en de kwaliteit van de steen. Het is dus zeker mogelijk dat voor andere gebouwen een grotere sterkte bekomen wordt in de steen dan in de voeg. Indien bijvoorbeeld gewerkt wordt met een voeg die volledig aan het afbrokkelen is, dan zal het niet aangewezen zijn om de ankers in de voeg te verankeren. Om 100 % zeker te zijn waar de grootste sterkte behaald kan worden, zou op ieder gebouw eerst enkele proeven uitgevoerd moeten worden zodat bepaald kan worden waar de grootste sterkte behaald kan worden. In de praktijk wordt dit jammer genoeg niet uitgevoerd omdat daar de tijd en het geld niet voor aanwezig zijn.

Net zoals in punt 6.6.2.1 Verschil tussen borstelen of niet borstelen kan ook besloten worden dat de maximale verplaatsing van de ankers het grootst is, wanneer de ankers in de voeg geplaatst worden. Dit geldt zowel voor het plaatsen van de ankers met borstelen als zonder borstelen.

### **6.6.2.3 Aantal ankers die in groep geplaatst worden**

De profielen die gebruikt worden, zijn allemaal UPN100 profielen waarvan de staalkwaliteit hetzelfde is, maar de hoeveelheid ankers die in 1 profiel geplaatst kunnen worden, kan variëren. Het is nu mogelijk om te onderzoeken hoeveel de maximale belasting is die de profielen kunnen opvangen. Hiervoor werden vier verschillende opstellingen uitgevoerd:

- 2 ankers in groep die in 1 steen werden verankerd met borstelen
- 2 ankers in groep die in 2 stenen werden verankerd met borstelen
- 3 ankers in groep die in de steen werden verankerd met borstelen
- 5 ankers in groep die in de steen werden verankerd zonder te borstelen

Het profiel dat bestaat uit 5 ankers werd enkel uitgevoerd zonder borstelen. Bijgevolg zal hiermee dan ook rekening worden gehouden bij de besluiten.

De maximale belasting die in deze vier gevallen kan opgenomen worden, wordt in Tabel 21 weergegeven. Hierbij werden de ankers enkel in de steen verankerd:

**Tabel 21: Overzicht resultaten aantal ankers**

| 2 ankers in 2 stenen | 2 ankers in 1 steen | 3 ankers      | 5 ankers         |
|----------------------|---------------------|---------------|------------------|
| Met borstelen        | Met borstelen       | Met borstelen | Zonder borstelen |
| 17,5 kN              | 7,0 kN              | 25,5 kN       | 36,5 kN          |

Wat opvalt, is dat een zeer groot verschil aanwezig is wanneer twee ankers in één steen worden verankerd en wanneer dit in twee verschillende stenen wordt uitgevoerd. In beide gevallen treedt metselwerk achteruitbreken op, maar wanneer twee ankers in één steen worden geplaatst, dan zal die ene steen ook meer belast worden in vergelijking met wanneer twee ankers in twee verschillende stenen worden geplaatst. In dit laatste geval worden de lasten verdeeld over de twee stenen. Hiervan zal de steen die het verst

gelegen is van de trekbank toch de grootste krachten ondervinden omdat deze als eerste onderhevig zal zijn aan de belasting. Deze steen zal bijgevolg ook als eerste bezwijken.

Wanneer dit vergeleken wordt met drie ankers, dan zal een nog grotere sterkte opgenomen kunnen worden in vergelijking met twee ankers. Ook hier treed metselwerk achteruitbreken op. Voor vijf ankers zonder borstelen kan nog eens 11 kN meer opgenomen worden. Hierbij trad nog geen breuk op, maar het profiel begon wel te vervormen.

Hieruit kan dus besloten worden dat naarmate meerdere ankers geplaatst worden in een profiel, ook een grotere belasting opgenomen kan worden. Dit alles moet wel afgewogen worden of deze extra kracht wel opweegt tegen het extra werk en geld dat hiervoor nodig is. Indien met 100 % zekerheid gesteld kan worden dat de maximale op te vangen belasting 20 kN zal zijn, dan is het niet aangewezen om vijf ankers te plaatsen en kan beter gekozen worden voor drie ankers. Indien met onbekend metselwerk gewerkt wordt waarvan de op te vangen belasting niet gekend is, kan voor de veiligheid toch aangeraden worden om met vijf ankers te werken.

#### **6.6.2.4 Ankers die in een hoek worden geplaatst**

Het is nu ook mogelijk om een profiel te gebruiken die om een hoek van een woning geplaatst kan worden. Hiermee kan onderzocht worden of een grotere sterkte bekomen kan worden in vergelijking met de profielen die in de vorige proeven werden gebruikt. Dit hoekprofiel is opnieuw een UPN100 met dezelfde staalkwaliteit als de voorgaande profielen. De maximale belasting die met dit hoekprofiel opgevangen kan worden werd enkel getest zonder het boorgat te borstelen. Twee proefopstellingen werden hierbij vergeleken:

- 3 ankers in groep die in de steen werden verankerd zonder te borstelen
- 3 ankers in groep die in een hoek werden verankerd zonder te borstelen, deze werden ook in de steen verankerd

Op Figuur 111 wordt een hoekprofiel weergegeven:



**Figuur 111: Hoekprofiel**

De maximale belasting die in beide gevallen opgenomen kan worden, wordt in Tabel 22 weergegeven:

**Tabel 22: Overzicht resultaten profiel in een hoek**

| 3 ankers waarbij profiel in een hoek | 3 ankers waarbij profiel zonder hoek |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 25 kN                                | 14 kN                                |

Hieruit blijkt dat wanneer een profiel in een hoek geplaatst wordt, een beduidend grotere belasting (11 kN) opgenomen kan worden in vergelijking met het profiel dat tegen de muur is bevestigd. De grootste oorzaak hiervan is dat het metselwerk van de zijgevel ook een deel van de belasting opneemt waardoor de belasting over een groter oppervlak gespreid wordt. In het geval van het hoekanker was het metselwerk randbreuk dat zorgde voor de bezwijking. Dit kan op Figuur 112 duidelijk waargenomen worden:



**Figuur 112: Metselwerk randbreuk**

Op eenvoudige wijze kon dan ook een deel van de steen verwijderd worden uit de muur. Dit vond opnieuw plaats ter hoogte van het anker dat het verst gelegen is van de trekbank.



**Figuur 113: Na verwijdering metselwerk**

#### **6.6.2.5 Grotere boordiepte**

Het was niet mogelijk om zonder een netje een boordiepte groter dan 90 mm uit te voeren. Dit komt omdat de steen slechts 90 mm breed is en indien door de steen geboord ging worden, dan ging de epoxy in de spouw terecht komen. Om toch met een grotere diepte te kunnen werken, werd een netje in de opening geplaatst en dit netje werd dan volledig met epoxy gevuld. De diepte van het boorgat bedroeg 10 cm.

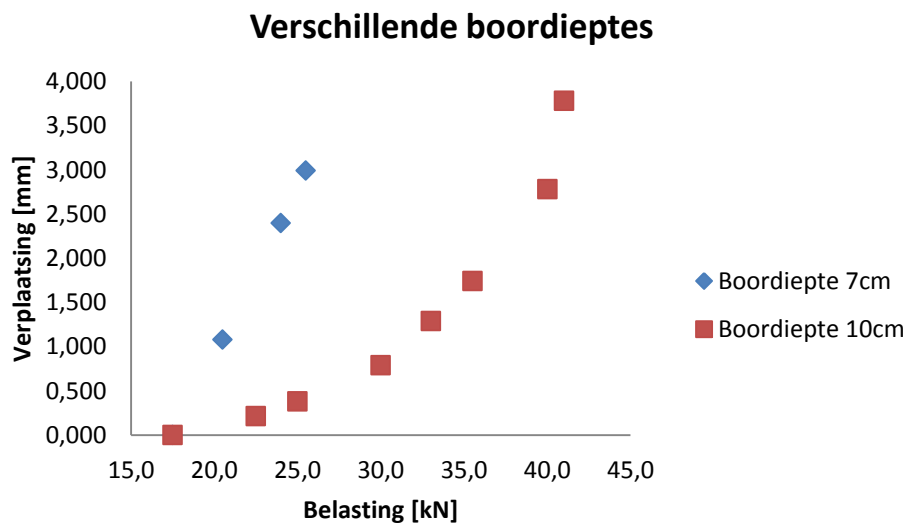
Vooraleer het netje werd geplaatst, werd het boorgat uitgeblazen en uitgeborsteld. De ankers die hiervoor gebruikt worden zijn M16 met een sterkteklasse 8.8.

De sterkte die behaald wordt bij een boordiepte van 10 cm kan nu vergeleken worden met een boordiepte van 7 cm. Volgende proeven werden hiervoor uitgevoerd:

- 3 ankers in groep die in de steen werden verankerd met borstelen en een boordiepte van 7 cm
- 3 ankers (ankers M16) in groep voorzien van een netje die in de steen werden verankerd met borstelen en een boordiepte van 10 cm



**Figuur 114: Plaatsing netje**



**Figuur 115: Verschillende boordieptes**

De maximale belasting die in beide gevallen opgenomen kan worden, wordt in Tabel 23 weergegeven:

**Tabel 23: Overzicht resultaten verschillende boordieptes**

| Boordiepte 7 cm | Boordiepte 10 cm |
|-----------------|------------------|
| 25,5 kN         | 41 kN            |

Wanneer een grotere boordiepte gebruikt wordt, dan gaat dit onmiddellijk gepaard met een grotere belasting die opgenomen kan worden. Hierbij leverde een extra boordiepte van 3 cm, een extra sterkte van 15,5 kN.

De firma V-systems werkt meestal met een boordiepte van 12 cm. Wanneer dit ook getest ging worden, dan ging dit tot een nog grotere sterkte leiden.

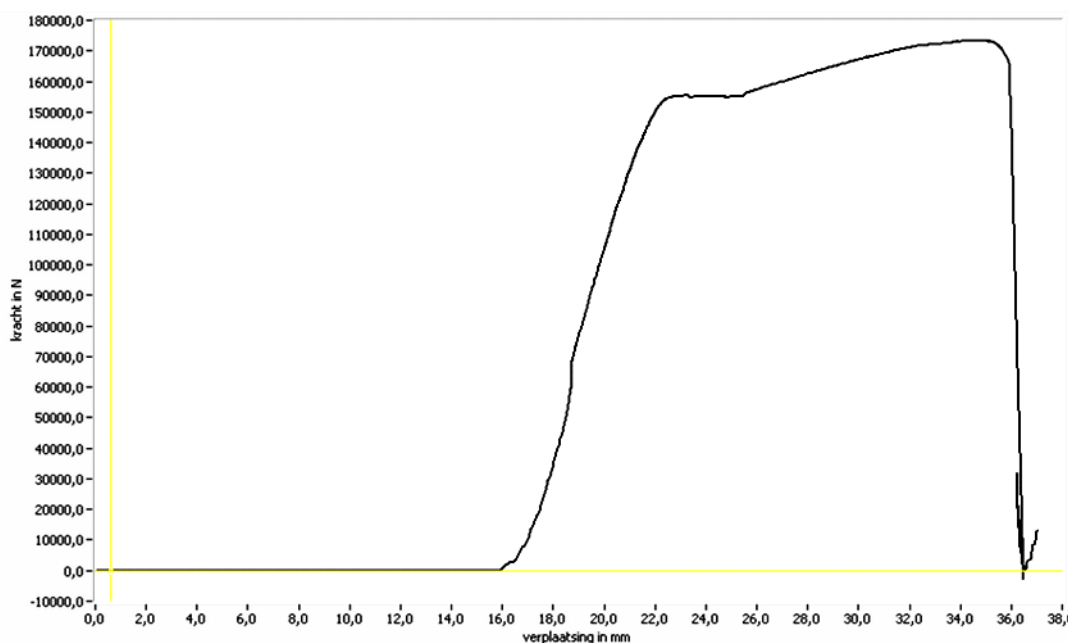
### 6.6.3 Trekproeven op de Dywidagstang en de Dywidagmoer

Uit de technische fiche van metaalhandel Delrue, blijkt dat de Dywidagstang een working load van 90 kN heeft en de Dywidagmoer een working load van 100 kN.

Dit zijn de belastingen die in de praktijk niet overschreden mogen worden, zodat zeker veilig gewerkt wordt. Het is nu mogelijk om op beide elementen een trekproef uit te voeren om te onderzoeken met welke veiligheidsfactor gewerkt wordt op beide elementen.

Om dit te kunnen testen, werd gebruik gemaakt van de trekbank die aanwezig is op het KHBO. Deze proef werd twee keer uitgevoerd. De eerste keer werd deze proef uitgevoerd om een idee te krijgen van de grootte van de kracht die behaald kan worden. Hierbij werd een trekkracht van ongeveer 170 kN bekomen. Bij deze trekkracht werd geen breuk van de Dywidagstang waargenomen, maar ging de Dywidagmoer over de schroefdraad heen.

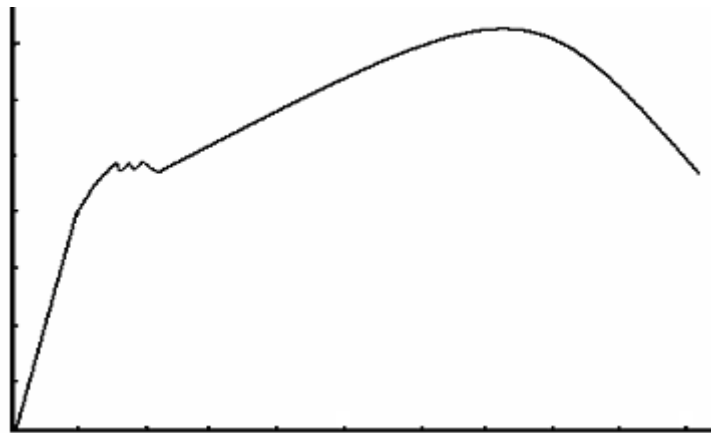
Vervolgens werd de proef een tweede keer uitgevoerd. Nu werd de computer op de trekbank aangesloten zodat een trekcurve opgesteld kon worden. Het resultaat is op Figuur 116 zichtbaar.



**Figuur 116: Trekcurve Dywidagstang en Dywidagmoer (KHBO, 2012)**

Opnieuw was het de Dywidagmoer die over de schroefdraad van de Dywidagstang heen ging. Bijgevolg kan dus besloten worden dat het een combinatie is van de stang en de moer die zorgt voor de bezwijking. Deze vorm van bezwijken trad op bij een trekkracht van 173 kN.

Aan de hand van de bekomen trekcurve is het nu ook mogelijk om een idee te krijgen wat de maximale trekkracht van de Dywidagstang mag zijn vooraleer breuk aanwezig is. Op Figuur 117 is de trekcurve van staal weergegeven in normale omstandigheden.



**Figuur 117: Trekcurve staal**

Wanneer deze trekcurve vergeleken wordt met de trekcurve die bekomen werd bij het uitvoeren van de trekproef, dan kan besloten worden dat de Dywidagstang bijna de trekkracht had bereikt waardoor breuk ging optreden. Waarschijnlijk ging deze trekkracht rond de 180 kN gelegen zijn, maar dit kan niet met 100 % zekerheid bevestigd worden.

Daarnaast kan ook gekeken worden wat de maximale verlenging is van de stang. Wanneer een trekkracht van 173 kN bereikt is, is de verlenging van de stang 20 mm (36 mm – 16 mm). Doordat de trekbank op een factor 10 werd ingesteld, zal de verlenging van de stang slechts 2 mm bedragen. Hieruit kan dus besloten worden dat de Dywidagstang nauwelijks gevoelig is voor verlenging bij toenemende trekkracht.

Uit de bekomen resultaten kan nu de veiligheidsfactor van de Dywidagstang (working load = 90 kN) en de Dywidagmoer (working load = 100 kN) berekend worden:

$$\text{Dywidagstang} = \frac{173 \text{ kN}}{90 \text{ kN}} = 1,92$$

$$\text{Dywidagmoer} = \frac{173 \text{ kN}}{100 \text{ kN}} = 1,73$$

Hieruit kan besloten worden dat zowel op de stang als de moer een grote veiligheidsfactor aanwezig is. Wanneer dit vergeleken wordt met een wind met een terugkeerperiode van 1,58 jaar en een klasse 0 die ingrijpt op een gebouw van 18,2 meter hoog (dit is de grootste windkracht waarmee in deze thesis gewerkt zal worden), dan zal een kracht van 11,8 kN inwerken op het anker. In dit geval wordt op de Dywidagstang gewerkt met een veiligheid van 14,66.

$$\text{Dywidagstang} = \frac{173 \text{ kN}}{11,8 \text{ kN}} = 14,66$$

## Hoofdstuk 7: Vervorming van het metselwerk

### 7.1 Inleiding

Vooraleer gestart kan worden met de simulatie in SCIA, moet eerst onderzocht worden wat de maximale vervorming van het metselwerk mag zijn zonder dat schade aan het gebouw voorkomt. Aan de hand van deze resultaten is het dan mogelijk om te onderzoeken hoeveel schoren geplaatst moeten worden zodat voldaan wordt aan de eis van de vervorming. Het is echter niet eenvoudig om de vervormingen nauwkeurig te omschrijven, want verschillende factoren zullen een invloed hebben. Zo zal onder andere de aard van het bouw materiaal een rol spelen, de techniek die gebruikt wordt bij het bouwen en het type van structuur een invloed hebben.

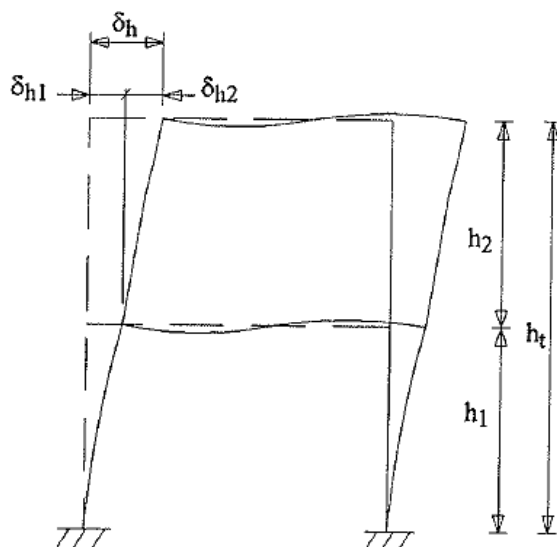
Wanneer een vervorming optreedt, dan zal zowel de stabiliteit van het vervormde element als de stabiliteit van de andere dragende elementen die met het vervormde element zijn verbonden, aangetast worden. Daarnaast zorgen de vervormingen ook voor schade die het uitzicht van het element of van een deel van de constructie aantast.

Bij een vervorming zal een wijziging optreden van de vorm van een bouwwerk of een deel van het bouwwerk. Zo wordt een onderscheid gemaakt tussen de ogenblikkelijke en de uitgestelde vervorming. Hierbij is de ogenblikkelijke vervorming, de vervorming die zich voordoet op het ogenblik dat de belasting zich voordoet. De uitgestelde vervorming is de vervorming die plaatsgrijpt na het uitoefenen van de belasting.

Verschillende zaken kunnen dus de vervorming van een bouwwerk veroorzaken en kunnen zich op verschillende tijdstippen voordoen. Zo kunnen permanente en veranderlijke werkingen onderscheiden worden. Een voorbeeld van permanente werking is het eigengewicht van het metselwerk, want deze belasting is constant aanwezig op het bouwwerk. Een veranderlijke werking die hier van toepassing is, is de winddruk. Deze belasting komt op geregelde tijdstippen op het metselwerk terecht. Een laatste geval zijn de toevallige belastingen. De kans dat zo'n belasting zich voordoet is echter zeer klein. Een voorbeeld hiervan is een botsing, maar voor deze thesis zal dan ook met deze laatste belasting geen rekening gehouden worden.

Wanneer een vervorming zich voordoet, dan gaat dit gepaard met een verplaatsing over een verticale en horizontale afstand. Voor de thesis zal het hoofdzakelijk de horizontale verplaatsing zijn die zal optreden. Voor deze verplaatsing dient een onderscheid gemaakt te worden enerzijds de vervorming per verdieping  $\delta_{hi}$  en anderzijds de vervorming voor de volledige hoogte van de gevel  $\delta_h$  (zie Figuur 118).

(WTCB, 1980)



**Figuur 118: Horizontale verplaatsing (Vandepitte)**

## 7.2 Grenswaarden vervorming

Voor de bepaling van deze grenswaarden wordt gebruik gemaakt van de Technische Voorlichting 132 van het WTCB en van het document Berekening van Constructies. Wanneer zeer grote windbelastingen inwerken op een gebouw, dan mag de maximale vervorming per verdieping gelijk zijn aan:

$$\delta_{hi} = \frac{h_i}{300}$$

De maximale vervorming over de volledige gevelhoogte mag maximaal gelijk zijn aan:

$$\delta_h = \frac{h_t}{500}$$

Hierbij stelt:

- $h_i$  = de verdiepingshoogte
- $h_t$  = de volledige hoogte van de gevel

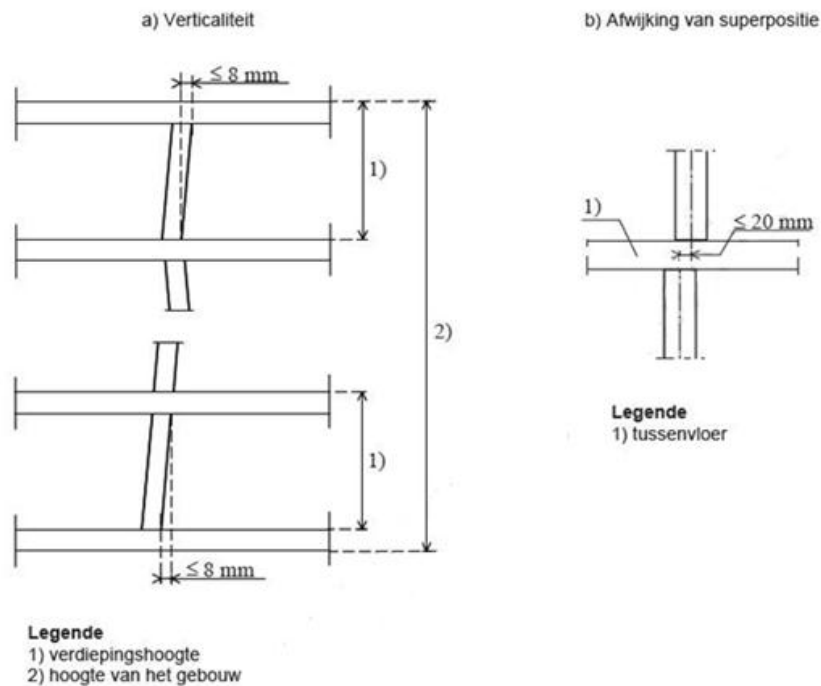
In het bestek 110 van het Ministerie van Openbare werken wordt zelfs nog met een strengere waarde gewerkt voor de horizontale kopverplaatsing:

$$\delta_h = \frac{h_t}{1000}$$

Met deze beperkingen wordt hoofdzakelijk rekening gehouden voor de laatste verdieping van een gebouw. Hier zullen namelijk grote differentiële horizontale verplaatsingen optreden.

Wanneer deze eisen vergeleken worden met de NBN EN 1996-2 ANB, dan wordt met een andere waarde gewerkt. Hier mag de maximale afwijking maximaal 8 mm bedragen per verdieping.





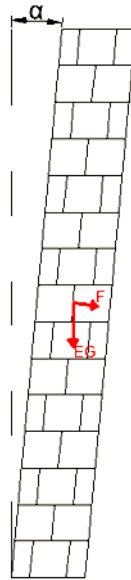
**Figuur 119: Maximale vervorming verticaliteit (NBN, 1e uitgave, november 2010)**

Wanneer de eisen uit de Technische Voorlichting nu vergeleken worden met de NBN EN 1996-2 ANB, dan zal voor deze thesis gewerkt worden met de strengste waarde. Hierbij wordt gewerkt met een verdiepingshoogte van 2,6 meter. Dit betekent dat volgens de technische voorlichting, de maximale vervorming per verdieping maximaal gelijk mag zijn aan  $2600/300 = 8,66 \text{ mm}$ . Deze vervorming per verdieping is dus strenger in de NBN EN 1996-2 ANB en vervolgens zal voor deze thesis dus verder gewerkt worden met een maximale vervorming van 8 mm per verdieping.

Voor de maximale vervorming over de volledige gevelhoogte zal wel gewerkt worden met  $\delta_h = \frac{h_t}{500}$ . Dit betekent dus voor een gevel met 6 verdiepingen dat de maximale vervorming maximaal 31,2 mm mag bedragen.

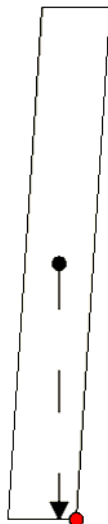
### 7.3 Extra krachten die inwerken bij schuinstand gevel

Het is nu ook mogelijk om te onderzoeken welke krachten naast de windkracht extra zullen inwerken wanneer de gevel een schuinstand vertoont. Indien het hier gaat over grote inwerkende krachten, dan zal naast de windkracht, ook met deze kracht rekening gehouden moeten worden. De krachten die extra zullen inwerken, zullen dus afhangen van de hoek  $\alpha$ , de schuinstand van de gevel (zie Figuur 120).

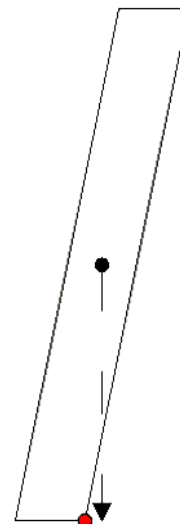


**Figuur 120: Schuinstand metselwerk**

Vooraleer de krachten ten gevolge van de schuinstand berekend kunnen worden, moet eerst gekeken worden wat de maximale schuinstand van de gevel mag zijn zonder dat de gevel omkantelt. Het omkantelen zal plaatsvinden wanneer het zwaartepunt van de gevel voorbij de voet van de gevel gelegen is (zie Figuur 121 en Figuur 122).



**Figuur 121: Hoek schuinstand gevel valt niet om**



**Figuur 122: Hoek schuinstand gevel valt om**

De maximale schuinstand zal berekend worden voor drie verschillende hoogtes (2,6 m; 10,4 m en 18,2 m) en dit gebeurt aan de hand van Vergelijking 41. Als dikte van de muur wordt standaard met 20 cm gewerkt.

#### Vergelijking 41: Berekenen maximale schuinstand

$$\frac{\text{dikte muur}}{\text{hoogte muur}} = \sin \alpha$$

Volgende maximale schuinstanden  $\alpha$  worden bekomen:

- Gevel 2,6 meter:  $\alpha = 4,41^\circ$
- Gevel 10,4 meter:  $\alpha = 1,10^\circ$
- Gevel 18,2 meter:  $\alpha = 0,63^\circ$

Dit zijn dan ook de waarden waarmee maximaal gewerkt zal worden om de krachten ten gevolge van de schuinstand te berekenen, want grotere schuinstanden zullen leiden tot omkantelen van de gevel. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat nog een extra veiligheid inwerkt op de gemene muur, want de voor- en achtergevel zullen het omkantelen voorkomen doordat ze bevestigd zijn aan de gemene muur.

Het is nu mogelijk om de krachten ten gevolge van de schuinstand te berekenen die inwerken op een gevel van 2,6 m hoog (1 verdieping). Om deze krachten te berekenen moet rekening gehouden worden met het eigen gewicht van het metselwerk. Volgende zaken moeten hiervoor ingerekend worden:

- Soortelijk gewicht van het metselwerk = 16 kN/m<sup>3</sup> (het soortelijk gewicht waarmee standaard gewerkt wordt)
- Dikte van de muur = 0,20 m (de dikte waarmee standaard gewerkt wordt)
- Hoogte van de gevel = 2,60 m (de verdiepingshoogte)

$$EG = 16 * 0,20 * 2,60 = 8,32 \text{ kN/m}$$

Om nu de extra kracht te berekenen die ingerekend moet worden bij schuinstand van het metselwerk, moet het eigen gewicht nog vermenigvuldigd worden met de sinus van de hoek:

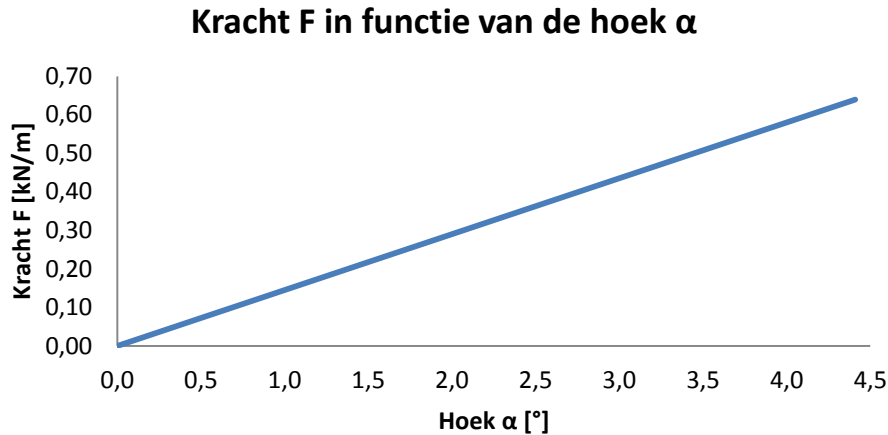
$$F = EG * \sin(\alpha)$$

De bekomen resultaten worden weergegeven in Tabel 24:

**Tabel 24: Resultaten vervorming**

|                   |   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-------------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| hoek $\alpha$ [°] | 0 | 0,5    | 1      | 1,5    | 2      | 2,5    | 3      | 3,5    | 4      | 4,41   |
| F [kN/m]          | 0 | 0,0726 | 0,1452 | 0,2178 | 0,2904 | 0,3629 | 0,4354 | 0,5079 | 0,5804 | 0,6398 |

Het is nu mogelijk om deze krachten uit te zetten in een grafiek in functie van de hoek  $\alpha$ . Dit is weergegeven op Figuur 123. Deze grafiek stelt een sinusfunctie voor die stijgt, maar naarmate de hoek groter wordt, neemt de kracht F minder snel toe.



**Figuur 123: Kracht F in functie van hoek  $\alpha$**

Het is nu mogelijk om de bekomen waarden van de schuinstand te vergelijken met de windkracht op een hoogte van 2,6 meter (1 verdieping). Hierbij zal een onderscheid gemaakt worden tussen klasse 0 en Klasse IV afhankelijk van waar het gebouw gelegen is. De overeenkomende windkracht zal vergeleken worden met de maximale schuinstand bij een gevel van 2,6 meter, namelijk  $4,41^\circ$ .

Windkracht klasse 0:  $752,9 \text{ N/m}^2 = 0,7529 \text{ kN/m}^2$

Windkracht klasse IV:  $346,5 \text{ N/m}^2 = 0,3465 \text{ kN/m}^2$

Om de invloed van de schuinstand met de windkracht te kunnen vergelijken, moet wel gezorgd worden dat in dezelfde eenheid gewerkt wordt. De schuinstand wordt uitgedrukt in kN/m en de windkracht in kN/m<sup>2</sup>. Om dezelfde eenheid te bekomen, zal de windkracht vermenigvuldigd worden met de hoogte. Deze hoogte komt overeen met de zone waarin de schoor de krachten moet opnemen. Dit betekent dat voor schoorbalken en speldankers gewerkt wordt met een hoogte van 2,6 meter omdat per verdiep een schoorbalk en speldankers voorzien worden. Bij tripodes daarentegen wordt niet op ieder verdiep een tripode geplaatst. Meestal wordt per twee verdiepingen een tripode voorzien. Hier bedraagt deze hoogte dus 5,2 meter.

De vergelijking van de invloed van de schuinstand met de windkracht zal gebeuren voor de toepassing van een tripode:

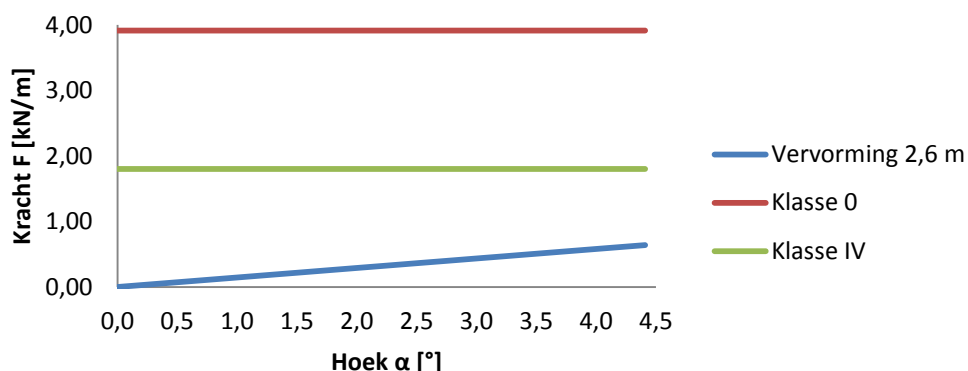
Voor een schuinstand van  $4,41^\circ$ :

$$\text{Klasse 0: } \frac{\text{Windkracht}}{\text{Windkracht} + \text{Kracht schuinstand}} = \frac{0,7529 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 5,2 \text{ m}}{0,7529 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 5,2 \text{ m} + 0,6398 \frac{\text{kN}}{\text{m}}} = 0,860 = 86,0 \%$$

$$\text{Klasse IV: } \frac{\text{Windkracht}}{\text{Windkracht} + \text{Kracht schuinstand}} = \frac{0,3465 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 5,2 \text{ m}}{0,3465 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 5,2 \text{ m} + 0,6398 \frac{\text{kN}}{\text{m}}} = 0,738 = 73,8 \%$$

Het is nu mogelijk om dit in een grafiek weer te geven waarbij de windkracht in klasse 0 en klasse IV vergeleken wordt met de kracht die ontstaat bij een schuinstand van de gevel. Dit is weergegeven op Figuur 124.

### Vergelijking windkracht met vervorming hoogte 2,6 m



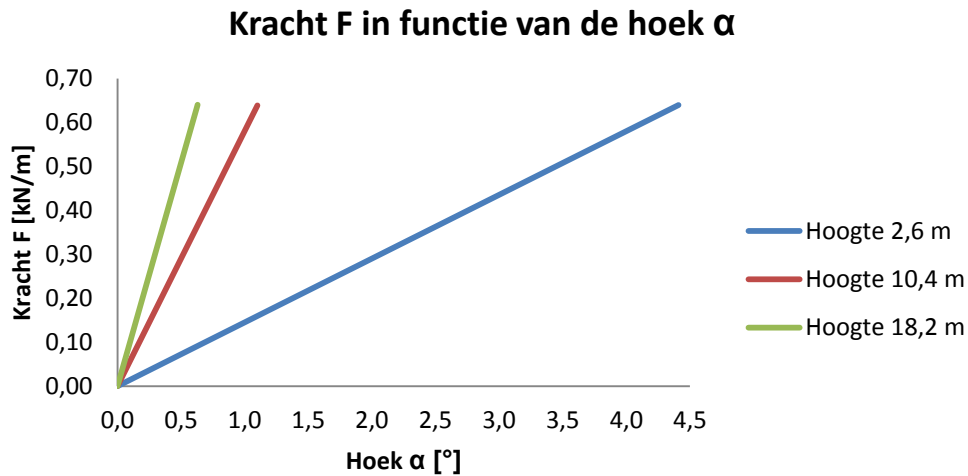
**Figuur 124: Vergelijking windkracht met vervorming - 2,6 m**

Wanneer de bekomen resultaten vergeleken worden met elkaar, dan kan gesteld worden voor een gebouw dat zich in klasse 0 bevindt, de windkracht de grootste invloed heeft in vergelijking met de schuinstand van de gevel. Voor een schuinstand van  $4,41^\circ$  zal de windkracht nog voor 86,0 % de belangrijkste factor zijn die invloed uitoefent op de gevel. Voor een gebouw dat zich in klasse IV bevindt, wordt de invloed van de schuinstand in vergelijking met de windkracht veel groter. Voor een schuinstand van  $4,41^\circ$  zal de windkracht nog 73,8 % de belangrijkste factor zijn die invloed uitoefent op de gevel.

Algemeen kan gesteld dat voor een gebouw dat zich in klasse 0 bevindt, de invloed van de kracht ten gevolge van de schuinstand veel kleiner is in vergelijking met een gebouw dat zich in klasse IV bevindt. Dit is vrij eenvoudig te verklaren doordat de windkracht in klasse 0 veel groter zal zijn in vergelijking met klasse IV. In de norm wordt nergens vermeld wanneer de kracht ten gevolge van de schuinstand ingerekend moet worden. Aan te raden is deze kracht in te rekenen wanneer de invloed van de windkracht minder is dan 70 % wanneer deze vergeleken wordt met de kracht ten gevolge van de schuinstand. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat deze resultaten enkel gelden voor een gevel met een hoogte van 2,6 meter (1 verdieping). Voor een gevel van 2,6 meter met een maximale schuinstand van  $4,41^\circ$  is het dus niet nodig om de kracht ten gevolge van de schuinstand in te rekenen. In principe mag voor een gebouw dat zich in klasse 0 bevindt de maximale schuinstand  $11^\circ$  en voor een gebouw in klasse IV  $5^\circ$  zodat voldaan wordt aan de regel van 70 %.

Op Figuur 125 is kracht ten gevolge van de schuinstand weergegeven voor een hoogte van 2,6 m (1 verdieping); 10,4 m (4 verdiepingen) en 18,2 m (7 verdiepingen). Hieruit blijkt dat naarmate de hoogte van de gevel stijgt, een grotere kracht ingerekend moet worden bij een overeenkomende schuinstand van de gevel. Voor een gevel van 10,4 meter is de kracht ten gevolge van de schuinstand een factor 4 groter in vergelijking met de kracht bij een gevel van 2,6 meter. Voor een gevel van 18,2 meter is dit zelfs een factor 7 groter. De grootte van deze factoren is eenvoudig te verklaren doordat in de formule van het eigen gewicht,  $EG = \text{soortelijk gewicht} \cdot \text{dikte muur} \cdot \text{hoogte gevel}$ , enkel maar de hoogte van de gevel wijzigt. Bijgevolg geeft de verhouding tussen deze hoogtes de factor weer. Bij dit besluit dient wel een opmerking gemaakt te worden, want bij grotere hoogte van de gevel moet de maximale schuinstand veel kleiner zijn. Hierdoor geldt dit besluit enkel

voor een maximale schuinstand tot  $0,63^\circ$ , want met een grotere schuinstand wordt niet gewerkt bij een gevel van 18,2 meter.



**Figuur 125: Kracht F in functie van hoek  $\alpha$  voor verschillende hoogtes**

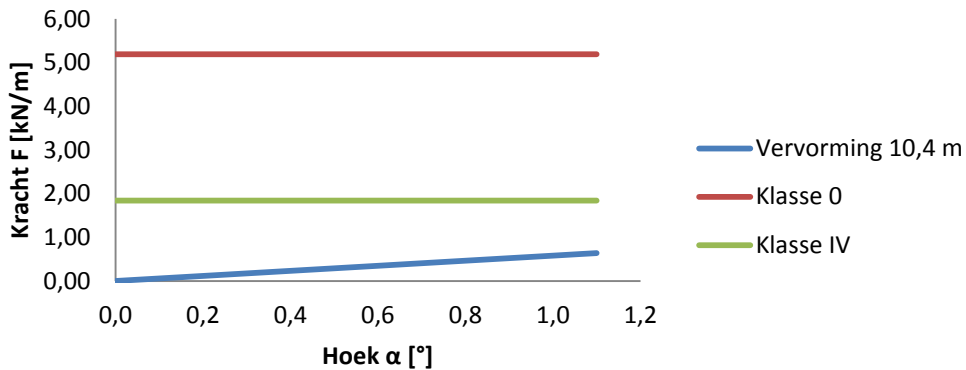
In Tabel 25 wordt voor de verschillende gevels de maximale kracht weergegeven die optreedt bij maximale schuinstand. Hieruit blijkt dus dat voor een gebouw van 2,6 meter met een schuinstand van  $4,41^\circ$  de kracht ten gevolge van de schuinstand ongeveer even groot is als voor een gebouw van 18,2 meter met een schuinstand van  $0,63^\circ$ .

**Tabel 25: Krachten bij maximale schuinstand**

| Gevel [m] | F [kN/m] |
|-----------|----------|
| 2,6       | 0,6398   |
| 10,4      | 0,6389   |
| 18,2      | 0,6404   |

Net zoals voor een hoogte van 2,6 meter, is het nu mogelijk om de windkracht in klasse 0 en klasse IV te vergelijken met de kracht die ontstaat bij een schuinstand van een gevel van 10,4 m en 18,2 m. Dit is weergegeven in Figuur 126 voor een hoogte van 10,4 m en in Figuur 127 voor een hoogte van 18,2 m.

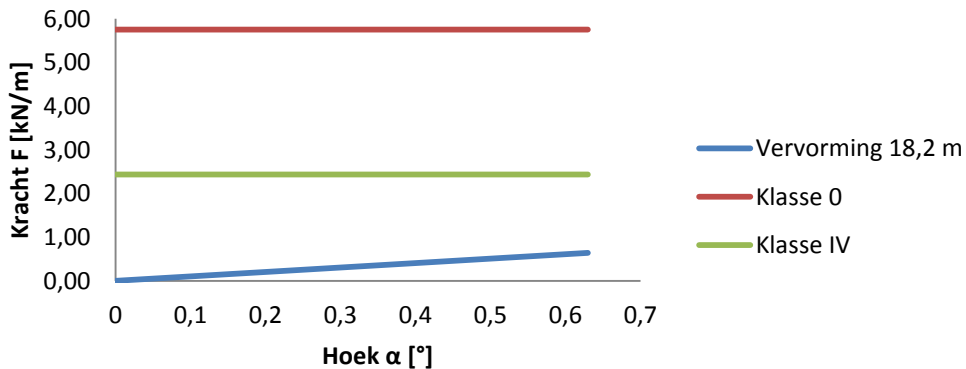
### Vergelijking windkracht met vervorming hoogte 10,4 m



**Figuur 126: Vergelijking windkracht met vervorming - 10,4 m**

Opnieuw kan de invloed van de wind ten opzichte van de schuinstand bepaald worden. Zowel voor klasse 0 als voor klasse IV zal de invloed van de wind groter zijn dan 70 %. Voor deze schuinstanden zal de invloed van de schuinstand dus niet ingerekend moeten worden. Dit zou wel nodig geweest zijn als gewerkt wordt met een schuinstand van  $3,8^\circ$  voor een gevel in klasse 0 en  $1,4^\circ$  voor een gevel in klasse IV.

### Vergelijking windkracht met vervorming hoogte 18,2 m



**Figuur 127: Vergelijking windkracht met vervorming - 18,2 m**

Algemeen kan dus besloten worden dat naarmate de hoogte van de gevel stijgt, de kracht van de schuinstand een grotere invloed zal hebben wanneer deze vergeleken wordt met de windkracht op die hoogte. Daarnaast dient wel opgemerkt te worden dat naarmate de hoogte van de gevel stijgt, de maximale schuinstand van de gevel kleiner moet worden om te voorkomen dat de gevel omkantelt.

Wanneer de bekomen resultaten bekeken worden, dan is het niet nodig om de kracht ten gevolge van de schuinstand in te rekenen omdat de invloed van de wind een veel grotere kracht veroorzaakt. Aangenomen werd de kracht van de schuinstand in te rekenen wanneer de invloed van de wind minder is dan 70 %.

In het voorgaande geval werd enkel de hoogte van de gevel gevarieerd. Het is echter ook mogelijk dat de dikte van de muur of het soortelijk gewicht van het metselwerk wijzigt.

Indien gewerkt wordt met een muur van 0,10 meter, dan moeten de voorgaande resultaten vermenigvuldigd worden met een factor 0,5. Dit komt omdat oorspronkelijk gewerkt wordt met een muur van 0,20 meter ( $0,10/0,20 = 0,5$ ). Hierbij dient ook opgemerkt te worden dat wanneer de dikte van de muur wijzigt, de maximale schuinstand die mag optreden ook zal wijzigen. Voor dikkere muren mag deze schuinstand groter worden, voor kleinere muren moet deze kleiner worden.

Voor het soortelijk gewicht van het metselwerk kan iets gelijkaardigs besloten worden. Indien het soortelijk gewicht  $18 \text{ kN/m}^3$  bedraagt, dan moeten de voorgaande resultaten vermenigvuldigd worden met een factor  $18/16 = 1,125$  om de kracht te kennen ten gevolge van de schuinstand.

Op deze manier wordt het vlug duidelijk dat de kracht ten gevolge van de schuinstand zal toenemen naarmate de hoogte van de gevel, de dikte van de muur of het soortelijk gewicht van het metselwerk toenemen. Indien deze kracht te groot wordt, zal deze samen met de windkracht ingerekend moeten worden. Aan te raden is dit te doen wanneer de invloed van de windkracht kleiner wordt dan 70 %. Voor de gevallen die in deze thesis behandeld worden, is het dus niet nodig om de kracht ten gevolge van de schuinstand in te rekenen.



## Hoofdstuk 8: Simulatie SCIA

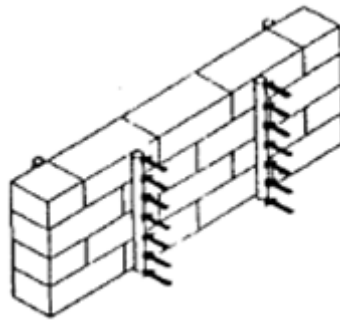
### 8.1 Inleiding

SCIA is een software programma dat bouwkundig ingenieurs overal ter wereld gebruiken voor het berekenen van verschillende toepassingen. Met behulp van het programma kunnen ingenieurs constructies ontwerpen, berekenen en controleren. SCIA biedt de mogelijkheid om de spanningen, vervormingen, interne krachten en stabiliteit te berekenen van de constructie.

Dit maakt het programma dan ook geschikt om de vervorming van het metselwerk te bepalen van een gemene muur wanneer deze door afbraakwerken bloot komt te staan. De buigtrekspanningen van metselwerk dienen ook gecontroleerd te worden, deze spanningen worden nooit door de fabrikant gegeven omdat dit moeilijk te achterhalen is. Deze sterkte is afhankelijk van verschillende factoren:

- Sterkte van de stenen;
- Sterkte van de mortel;
- Interactie tussen de stenen en de mortel.

Door gebrek aan proefondervindelijke waarden mag de karakteristieke buigsterkte gelijk genomen worden aan:  $f_{xk} = 0,5 \text{ N/mm}^2$ . Deze waarde werd bepaald aan de hand van Eurocode 6.



**Figuur 128: Steunen loodrecht op legvoegen (Van Thienen)**

De gemene muur werd tijdens de simulatie altijd als een losstaande gevel beschouwd. Dit komt overeen met de meest nadelige situatie. Bij de simulatie kunnen tal van parameters variëren, daarom werd gewerkt met vastgelegde technische eigenschappen van de gevelbouw (zie Tabel 26).

**Tabel 26: Technische eigenschappen metselwerk**

|                                    |                     |
|------------------------------------|---------------------|
| Thermische uitzetting [m/mk]       | $6 \cdot 10^{-6}$   |
| Massa eenheid [kg/m <sup>3</sup> ] | 1600                |
| E-modulus [MPa]                    | $7 \cdot 10^3$      |
| Poisson coëfficiënt [-]            | 0,15                |
| G-modulus [MPa]                    | $3,0435 \cdot 10^3$ |
| Log. Decrement [-]                 | 0,15                |
| Specifieke hitte [J/gK]            | 0,84                |
| Thermische geleiding [W/mK]        | 1,3                 |

Dit zijn de eigenschappen van goed metselwerk, maar bij het slopen van gebouwen

bestaat de bestaande gemene muur meestal uit slecht metselwerk. Het variëren van de E-modulus zal dit kunnen weergeven en zal nog verder onderzocht worden. In samenspraak met de heer Van Thienen werd bepaald hoeveel de E-modulus kan variëren. De invloed van de massa eenheid op de vervorming werd ook gecalculerd.

Vooraleer de simulatie kon starten, werd nagegaan of de gevel onderaan als inklemmend of scharnierend beschouwd moet worden. Dit had zo goed als geen effect naar vervorming toe.

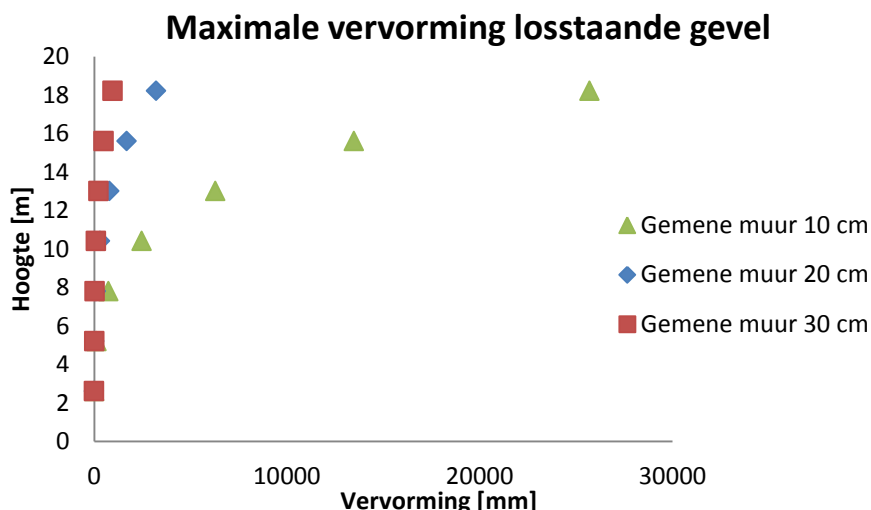
Als dikte van de gemene muur werd 20 cm als standaard beschouwd. Het effect van andere muurdiktes werd eveneens onderzocht (15 en 25 cm).

De wind is een zeer belangrijke factor bij het berekenen van de stabiliteit van gemene muren. Eerst en vooral werd bekeken wat de gevolgen zijn wanneer de wind op een gemene muur inwerkt zonder schoring. Is dit werkelijk zo nefast? Dit wordt dan vergeleken met een geschoorde gemene muur. Zowel de locatie van de schoring als het aantal geplaatste schoren bij een gemene muur werd onderzocht.

## 8.2 Vervorming zonder schoring

Schade die optreedt tijdens de afbraakwerken door fouten van de aannemer kunnen moeilijk vermeden worden door schoring. Zettingsschade veroorzaakt door het te laat aanbrengen van schoren is wel te vermijden. De enige twee krachten die hier plaatsvinden zijn de wind en de zwaartekracht. Uit de resultaten blijkt dat deze zeker niet te onderschatten zijn.

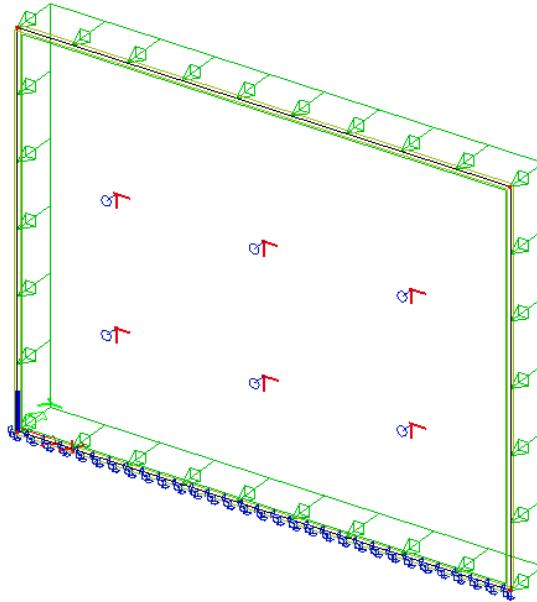
Voor de simulatie werd met een windbelasting klasse 0, dit is de meest nadelige situatie, gewerkt. De vervormingen van alle verdiepingen werd gesimuleerd. Opmerkelijk is de grote vervorming wanneer de dikte van de gemene muur maar 10 cm bedraagt. Daaruit kan besloten worden dat de dikte van de gemene muur uitvoering onderzocht moet worden vooraleer afbraakwerken plaatsvinden met bijhorende schoring.



**Figuur 129: Grafiek maximale vervorming losstaande gevel**

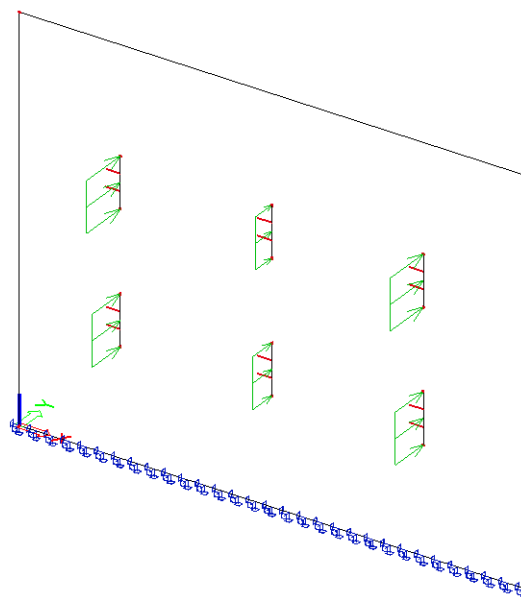
### 8.3 Speldankers

Bij deze techniek wordt de draadstang chemisch verankerd in de vloerplaat van het aanliggend gebouw. De chemische verankering van deze draadstangen werd in het programma voorgesteld als een steunpunt. Dit om de reactiekrachten te bekomen die de draadstang zal moeten opnemen. Deze krachten worden dan verdeeld over de gevel door middel van een UPN profiel.



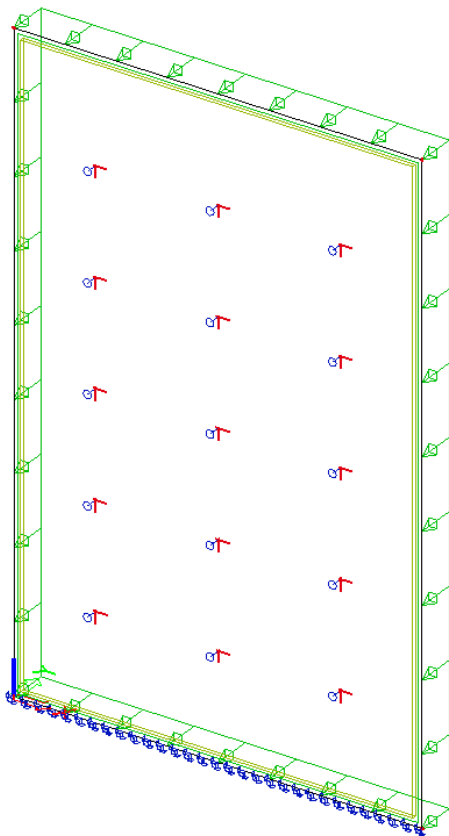
**Figuur 130: Verankering in vloerplaat voorgesteld door steunpunten**

De steunpunten worden voorgesteld als een scharnier, vast in Y-richting. De Z en X-richting worden als vrij beschouwd omdat de speldankers anders het eigen gewicht van de gevel zou dragen en dat is niet zijn functie. Het UPN profiel wordt in SCIA voorgesteld als een lijnlast van 1 meter zoals te zien is op Figuur 131. Dit moet de vervorming veroorzaakt door de wind teniet doen en zorgt voor de verdeling van de krachten over het metselwerk.

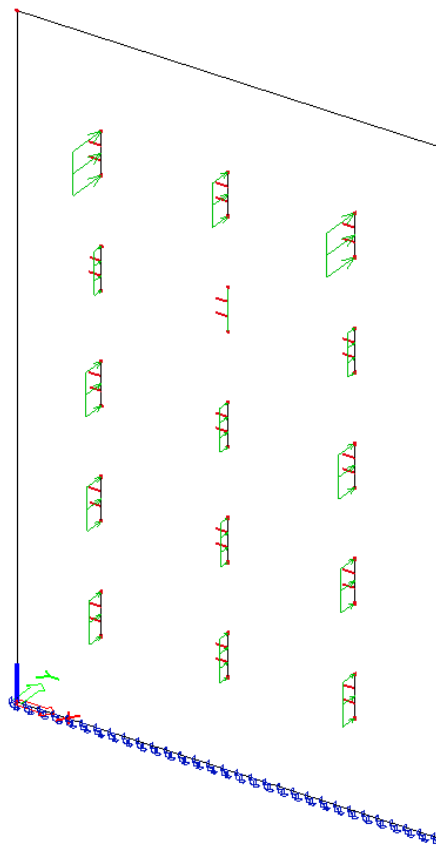


**Figuur 131: Verdeling van de trekkracht voorgesteld door lijnlasten**

## Vershil tussen ankers en lijnlast



**Figuur 132: Voorstelling ankers**

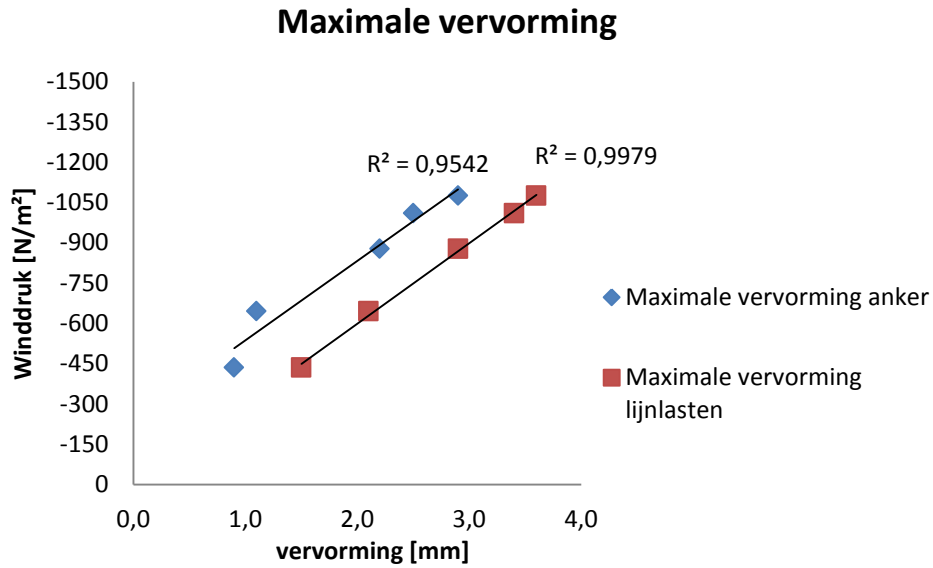


**Figuur 133: Voorstelling lijnlasten**

**Tabel 27: Verschil maximale vervorming tussen ankers en lijnlasten**

| Klasse   | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] | Max vervorming ankers [mm] | Max vervorming lijnlasten [mm] |
|----------|------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| Klasse 0 | -1076,2                      | -3,6                       | -2,6                           |
| Klasse 1 | -1009,9                      | -3,4                       | -2,5                           |
| Klasse 2 | -877,3                       | -2,9                       | -2,2                           |
| Klasse 3 | -645,3                       | -2,1                       | -1,5                           |
| Klasse 4 | -435,7                       | -1,5                       | -0,9                           |

Opmerkelijk is dat het verschil van vervorming tussen de simulatie van ankers en de simulatie van lijnlast klein is, maar één baksteen kan onmogelijk krachten tot 24 kN opnemen. Daarom is het bevestigen van een UPN profiel van cruciaal belang om de krachten te verspreiden en om breuk van de baksteen te vermijden.



**Figuur 134: Maximale vervorming tussen anker en lijnlast**

### 8.3.1 Standaard simulatie

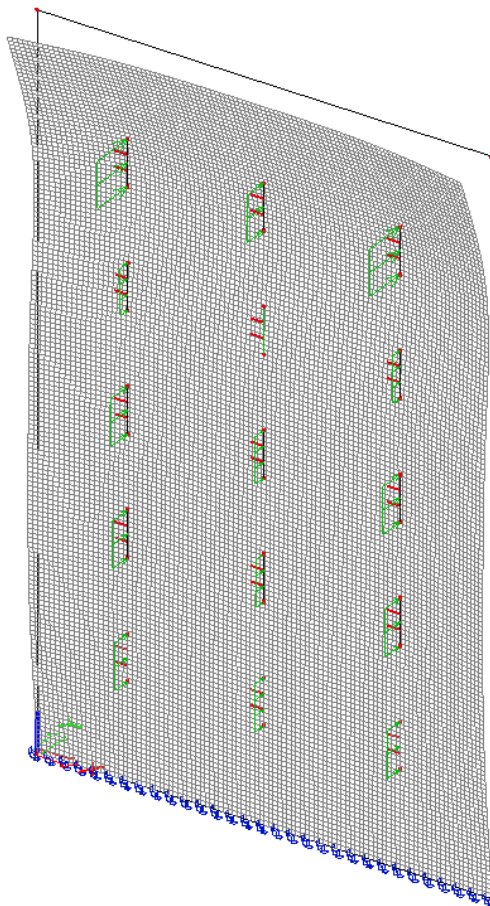
Als standaard voorbeeld werd gekozen voor een gevel van 15,6 meter hoog wat overeenkomt met zes verdiepingen van 2,6 meter hoog. Per verdieping worden drie speldankers geplaatst. De technische eigenschappen zijn gekend.

**Tabel 28: Maximale vervorming verschillende klassen verdieping 6**

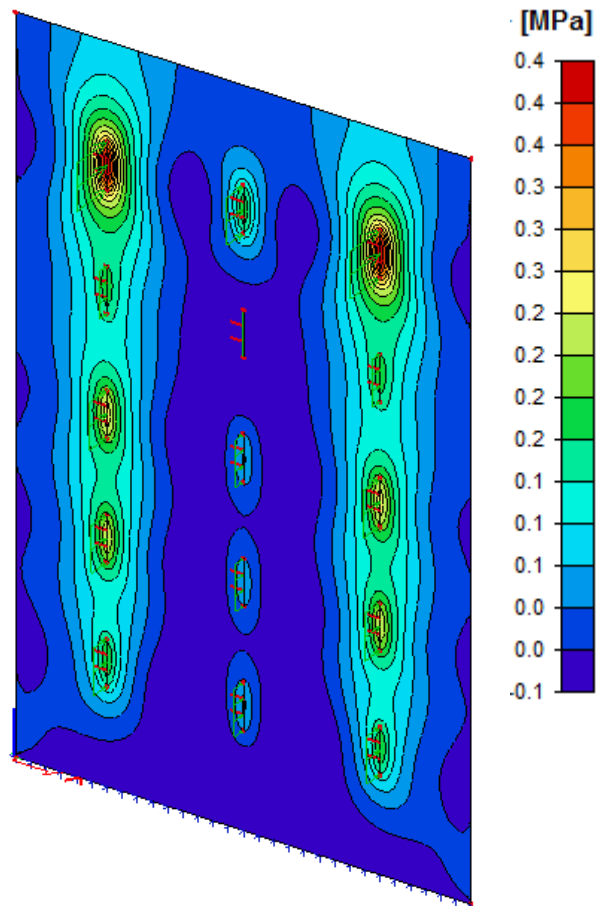
| Klasse   | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] | Max vervorming standaard [mm] |
|----------|------------------------------|-------------------------------|
| Klasse 0 | -1076,2                      | -2,6                          |
| Klasse 1 | -1009,9                      | -2,5                          |
| Klasse 2 | -877,3                       | -2,2                          |
| Klasse 3 | -645,3                       | -1,5                          |
| Klasse 4 | -435,7                       | -0,9                          |

De NBN EN 1996-2 ANB schrijft dat de maximale toegelaten vervorming per verdiep 8 mm bedraagt. Verder in de thesis zal dan ook gewerkt worden met deze eis van 8 mm. Zoals verwacht liggen de resultaten van deze standaard simulatie binnen deze grens.

Het doel is om alle mogelijke situaties te simuleren en te kijken of deze telkens voldoen. In de eerste plaats mag de maximale vervorming niet overschreden worden, maar ook de buigtrekspanning binnen het metselwerk mag niet overschreden worden ( $f_{xk} = 0,5 \text{ N/mm}^2$ ).



**Figuur 135: Voorstelling vervorming gevel**



**Figuur 136: Spanningen die optreden in het metselwerk**

### Vervormde constructie

Lineaire berekening, Extreem : Globaal, System : Hoofd  
 Selectie : Alle  
 Combinaties : Combi(lineair)+lijnlast

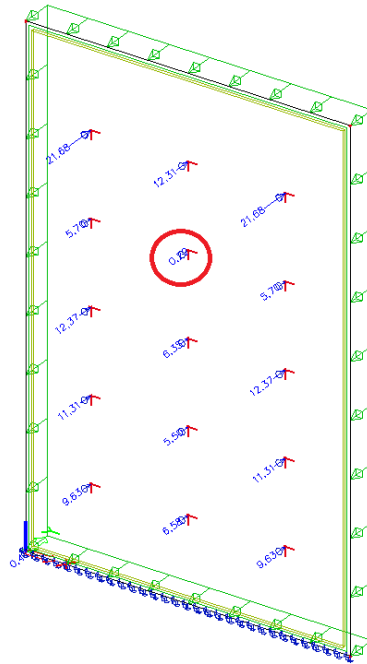
| BG                      | Staal             | X [mm]            | Y [mm]            | Z [mm]            | Ux/ux [mm]        | Uy/uy [mm]        | Uz/uz [mm]        | Fix/fix [mrad]    | Fiy/fiy [mrad]    | Fiz/fiz [mrad]    |
|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| "Studentenversie"       | "Studentenversie" | "Studentenversie" | "Studentenversie" | "Studentenversie" | "Studentenversie" | "Studentenversie" | "Studentenversie" | "Studentenversie" | "Studentenversie" | "Studentenversie" |
| Combi(lineair)+lijnlast | E1                | 0,000             | 0,000             | 3,700             | 0,0               | -0,7              | -0,1              | 0,1               | 0,0               | 0,4               |
| Combi(lineair)+lijnlast | E1                | 10,000            | 0,000             | 3,700             | 0,0               | -0,7              | -0,1              | 0,1               | 0,0               | -0,4              |
| Combi(lineair)+lijnlast | E1                | 10,000            | 0,000             | 15,600            | 0,0               | -2,6              | -0,3              | 1,0               | 0,0               | -0,5              |
| Combi(lineair)+lijnlast | E1                | 2,600             | 0,000             | 12,300            | 0,0               | 0,8               | -0,3              | 0,0               | 0,0               | 0,0               |
| Combi(lineair)+lijnlast | E1                | 5,000             | 0,000             | 15,600            | 0,0               | -1,6              | -0,3              | 1,0               | 0,0               | 0,0               |
| Combi(lineair)+lijnlast | E1                | 0,000             | 0,000             | 0,000             | 0,0               | 0,0               | 0,0               | 0,0               | 0,0               | 0,0               |
| Combi(lineair)+lijnlast | E1                | 5,000             | 0,000             | 10,900            | 0,0               | 0,5               | -0,2              | -0,2              | 0,0               | 0,0               |
| Combi(lineair)+lijnlast | E1                | 2,000             | 0,000             | 14,900            | 0,0               | -1,1              | -0,3              | 1,0               | 0,0               | 0,3               |
| Combi(lineair)+lijnlast | E1                | 0,000             | 0,000             | 0,100             | 0,0               | 0,0               | 0,0               | 0,0               | 0,0               | 0,0               |
| Combi(lineair)+lijnlast | E1                | 10,000            | 0,000             | 0,100             | 0,0               | 0,0               | 0,0               | 0,0               | 0,0               | 0,0               |
| Combi(lineair)+lijnlast | E1                | 9,100             | 0,000             | 13,000            | 0,0               | 0,1               | -0,3              | 0,4               | 0,0               | -0,6              |
| Combi(lineair)+lijnlast | E1                | 0,900             | 0,000             | 13,000            | 0,0               | 0,1               | -0,3              | 0,4               | 0,0               | 0,6               |

**Figuur 137: Voorstelling van resultaten in SCIA**

Dat de maximale vervorming bovenaan bekomen wordt is geen verrassing. Aan de top is het vaak niet mogelijk om te verankeren waardoor de gevel in principe een uitkraging maakt van 2,6 meter. Vandaar dat bovenaan normaliter telkens de maximale vervorming voorkomt.

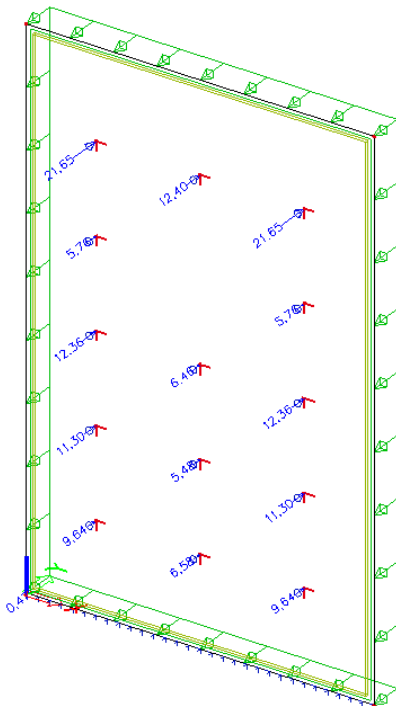
### 8.3.2 Vermindering van één speldanker

Wat opvalt bij alle simulaties is dat telkens één speldanker bijna geen krachten opneemt. De positie van deze speldanker bevindt zich altijd centraal in de 2<sup>de</sup> rij van boven bekeken (zie de rode cirkel Figuur 137).

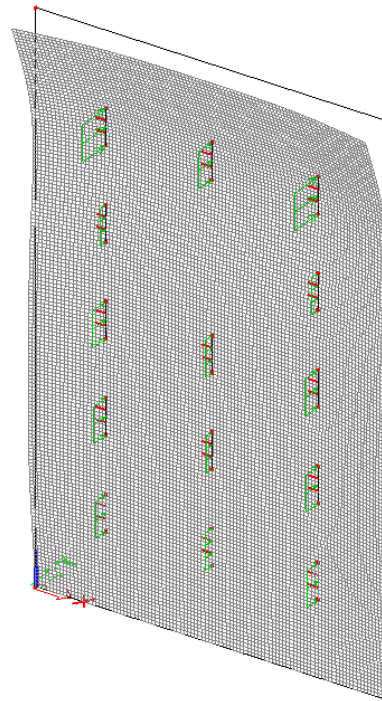


**Figuur 138: Resultaten reactiekrachten klasse 0**

Daarom is het interessant om eens na te gaan welke effecten dit zal opwekken wanneer geen speldanker geplaatst wordt op deze positie.



**Figuur 139: Reactiekrachten min één speldanker**



**Figuur 140: Vervorming gevel min één speldanker**

**Tabel 29: 1 speldanker weggelaten**

| Klasse   | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] | Max vervorming standaard [mm] | Max vervorming (weggelaten speldanker) [mm] |
|----------|------------------------------|-------------------------------|---|
| Klasse 0 | -1076,2                      | -2,6                          | -2,8  |
| Klasse 1 | -1009,9                      | -2,5                          | -2,4  |
| Klasse 2 | -877,3                       | -2,2                          | -2,1  |
| Klasse 3 | -645,3                       | -1,5                          | -1,5  |
| Klasse 4 | -435,7                       | -0,9                          | -1,0  |

De verwachtingen was dat bij het weglaten van het speldanker, de maximale vervorming zeer dicht bij deze van het standaard geval zou liggen. Maar dat de maximale vervorming kleiner is bij klasse 1 en 2 overtreft de verwachtingen.

Dit is te danken aan het feit dat de eerste rij speldankers al het nodige werk doet om de vervorming bovenaan op te nemen. Door het weglaten van de speldanker heeft het metselwerk de plaats om terug tot zich zelf te komen zonder een geforceerde steunpunt die in principe overbodig is.

Een spanningscontrole is bij deze situatie overbodig aangezien de speldanker die weggelaten wordt al geen functie uitoefende voordien.

### 8.3.3 Speldanker in top

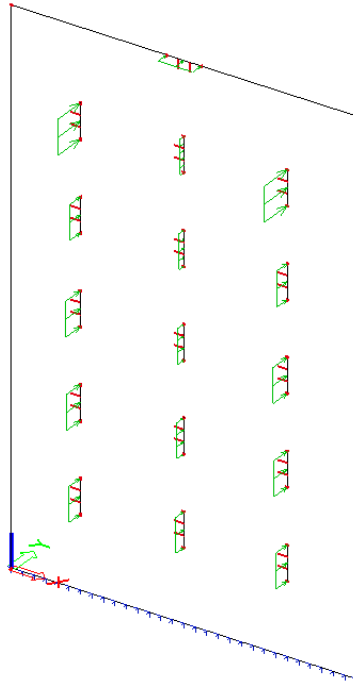
De grootste vervorming bevindt zich telkens bovenaan de gevel, dit is zeker niet toevallig aangezien aan de top geen verankering mogelijk is waardoor bovenaan een uitkraging van 2,6 meter aanwezig is. Om dit probleem op te lossen zal centraal bovenaan één extra speldanker worden toegevoegd. Deze wordt horizontaal geplaatst evenwijdig met de vloerplaat (zie Figuur 141).

De maximale vervorming wordt gereduceerd met meer dan 1/3<sup>de</sup>, tot een waarde van 1,7 mm. Als het dus mogelijk is om aan de top een speldanker te plaatsen is het een must om dit te realiseren.

**Tabel 30: Verschil bij extra speldanker top**

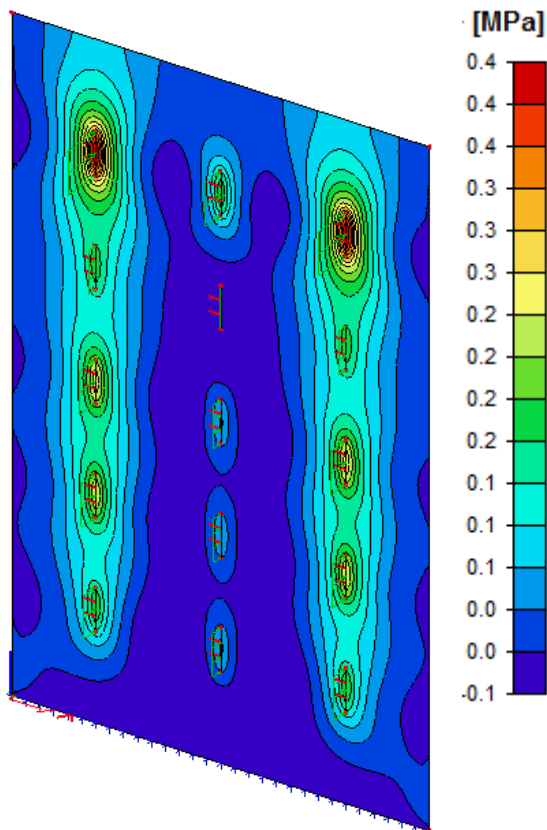
| Klasse   | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] | Max vervorming normaal [mm] | Max vervorming extra speldanker [mm] |
|----------|------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| Klasse 0 | -1076,2                      | -2,6                        | -1,7                                 |
| Klasse 1 | -1009,9                      | -2,5                        | -1,7                                 |
| Klasse 2 | -877,3                       | -2,2                        | -1,7                                 |
| Klasse 3 | -645,3                       | -1,5                        | -1,0                                 |
| Klasse 4 | -435,7                       | -0,9                        | -0,7                                 |



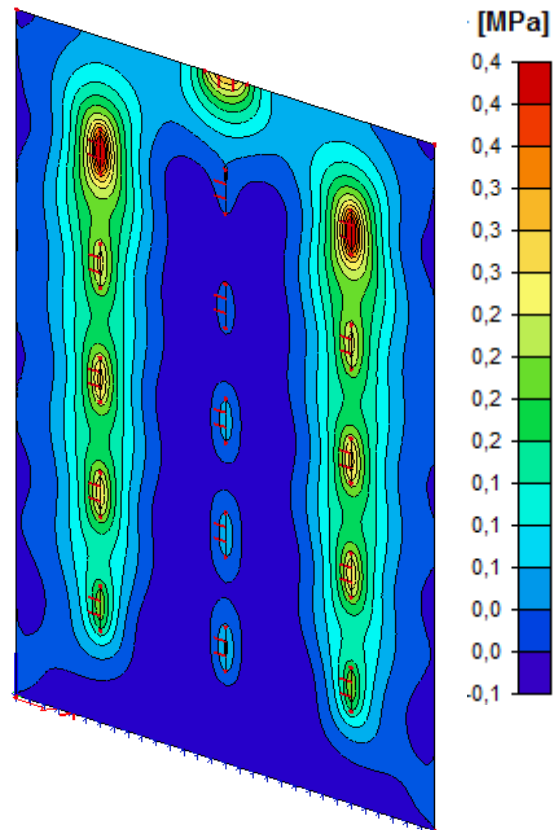


**Figuur 141: Extra speldanker in top**

Door het plaatsen van één extra speldanker worden de krachten beter verdeeld, ook al is dit op de onderstaande figuren niet af te leiden. Het plaatsen van één speldanker in de top is in de eerste plaats veilig voor het verminderen van de vervormingen.



**Figuur 142: Buigspanningen van metselwerk standaard simulatie**

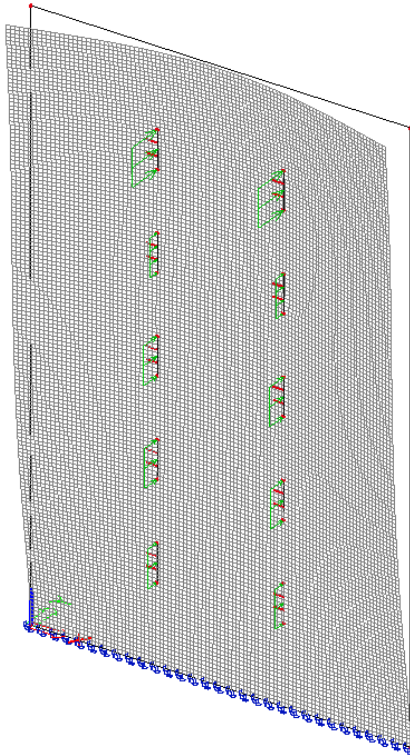


**Figuur 143: Buigspanningen van metselwerk met één extra speldanker**

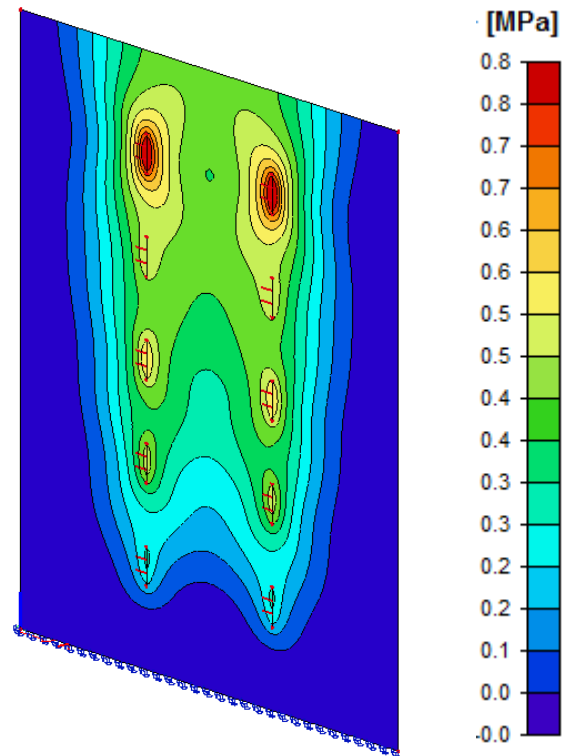
### 8.3.4 Twee speldankers per rij

Omdat de vervorming bij drie speldankers per rij eerder beperkt is, werd onderzocht welke vervormingen plaatsvinden bij het plaatsen van twee speldankers per rij en of dit wel uitvoerbaar is. Eventueel is het ook mogelijk om de beste positie te bepalen waar de speldankers geplaatst moeten worden waar de maximale vervorming van 8 mm niet overschreden wordt.

#### 8.3.4.1 Op 1/3<sup>de</sup> afstand



**Figuur 144: Vervorming van gevel speldankers geplaatst met 1/3<sup>de</sup> tussenafstand**



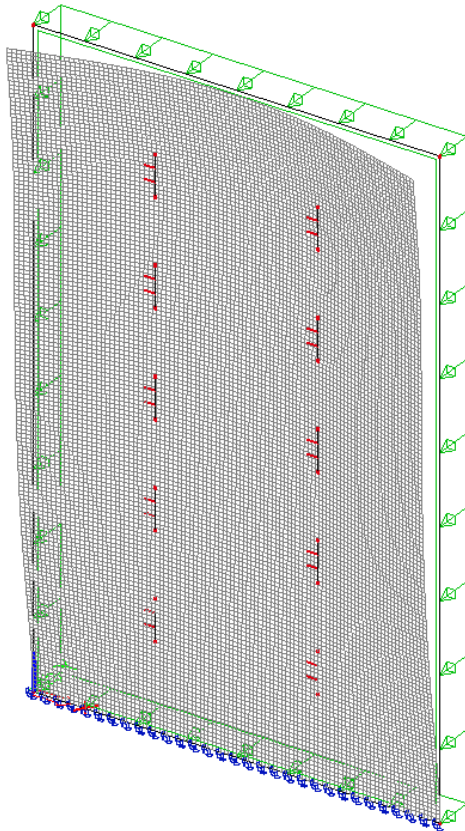
**Figuur 145: Buigspanningen metselwerk speldankers met 1/3<sup>de</sup> tussenafstand**

**Tabel 31: Verschil maximale vervorming tussen standaard en tussenafstand van 1/3<sup>de</sup>**

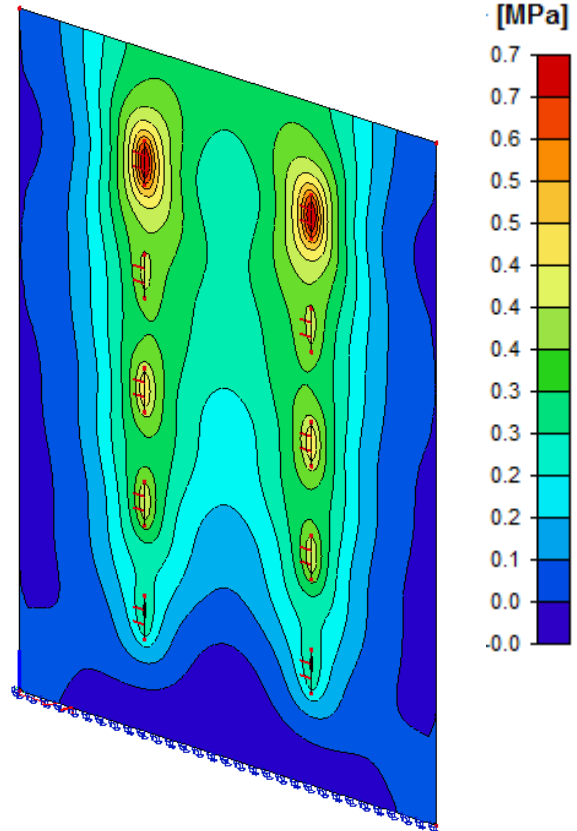
| Klasse   | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] | Max vervorming standaard [mm] | Max vervorming 2 speldankers per rij (tussenafstand 1/3 <sup>de</sup> ) [mm] |
|----------|------------------------------|-------------------------------|--|
| Klasse 0 | -1076,2                      | -2,6                          | -10,3  |
| Klasse 1 | -1009,9                      | -2,5                          | -9,7   |
| Klasse 2 | -877,3                       | -2,2                          | -8,3   |
| Klasse 3 | -645,3                       | -1,5                          | -6,3   |
| Klasse 4 | -435,7                       | -0,9                          | -4,1   |

Uit de berekening volgt dat speldankers plaatsen met een tussenafstand van 1/3<sup>de</sup> (hier 3,33 meter) zeker niet de beste positie is. Vanaf klasse 3 kan gesteld worden dat deze opstelling veilig is, omdat de vervorming onder de 8 mm blijft. Maar de buigspanning zal nooit voldoen aan de maximale toegelaten buigtrekspanning van 0,5 N/mm<sup>2</sup>.

### 8.3.4.2 Op 3 m afstand



**Figuur 146: Vervorming van gevel speldankers op 3 meter van buitenzijde**



**Figuur 147: Buigspanningen van metselwerk speldankers op 3 meter van buitenzijde**

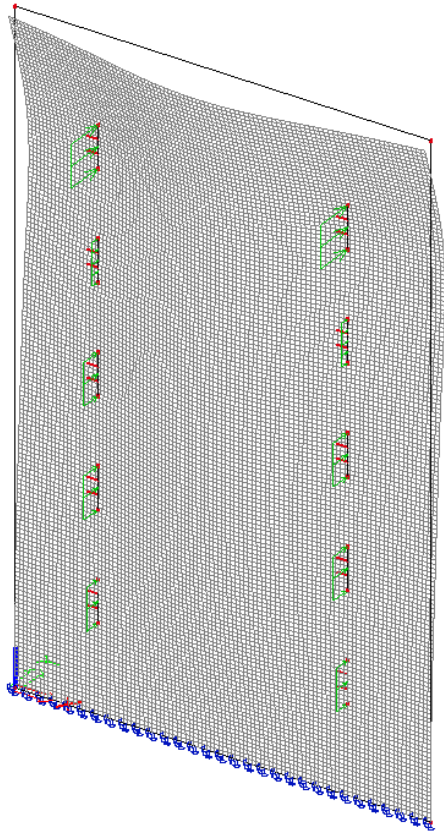
**Tabel 32: Verschil vervorming tussen standaard en 3m afstand van buitenzijde**

| Klasse   | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] | Max vervorming standaard [mm] | Max vervorming 2 speldankers per rij (afstand 3 m) [mm] |
|----------|------------------------------|-------------------------------|---|
| Klasse 0 | -1076,2                      | -2,6                          | -7,7  |
| Klasse 1 | -1009,9                      | -2,5                          | -7,1  |
| Klasse 2 | -877,3                       | -2,2                          | -6,1  |
| Klasse 3 | -645,3                       | -1,5                          | -4,8  |
| Klasse 4 | -435,7                       | -0,9                          | -3,0  |

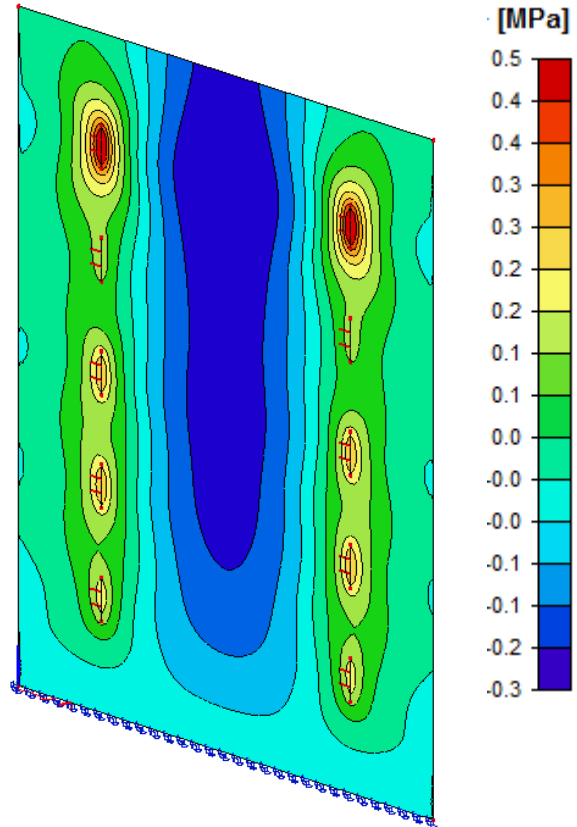
In Tabel 32 is te zien dat de maximale toegelaten vervorming van 8 mm nooit wordt overschreden en dus als veilig beschouwd kan worden. Maar bij het plaatsen van slechts twee speldankers per rij in plaats van drie, worden de krachten over een klein aantal speldankers verdeeld en moeten dus grotere krachten opgenomen worden. Een maximale buigtreksterkte van 0,7 N/mm<sup>2</sup> bevestigt dat en is daarom niet uitvoerbaar.

Op Figuur 146 is duidelijk te zien dat de grootste vervormingen voorkomen aan de linker- en rechterside van de gevel daarom is het aangewezen om de speldankers nog dicht bij de buitenzijde te plaatsen om deze vervormingen te elimineren.

### 8.3.4.3 Op 2 m afstand



**Figuur 148: Vervorming van gevel speldankers op 2 meter van buitenzijde**



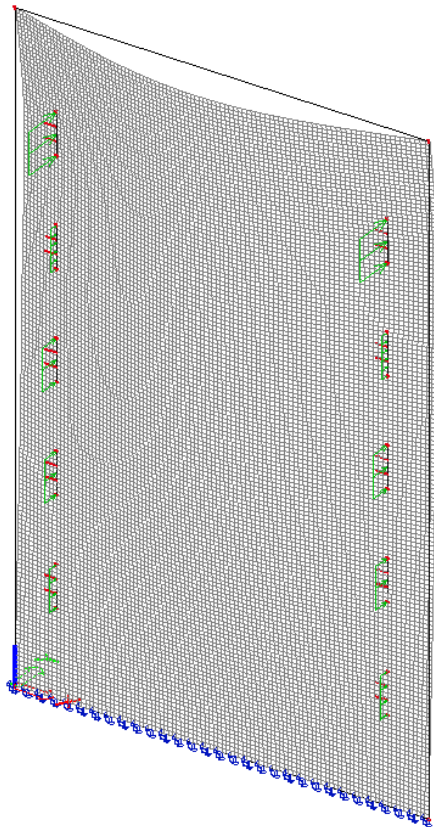
**Figuur 149: Buigspanningen van metselwerk speldankers op 2 meter van buitenzijde**

**Tabel 33: Verschil vervorming tussen standaard en 2m afstand van buitenzijde**

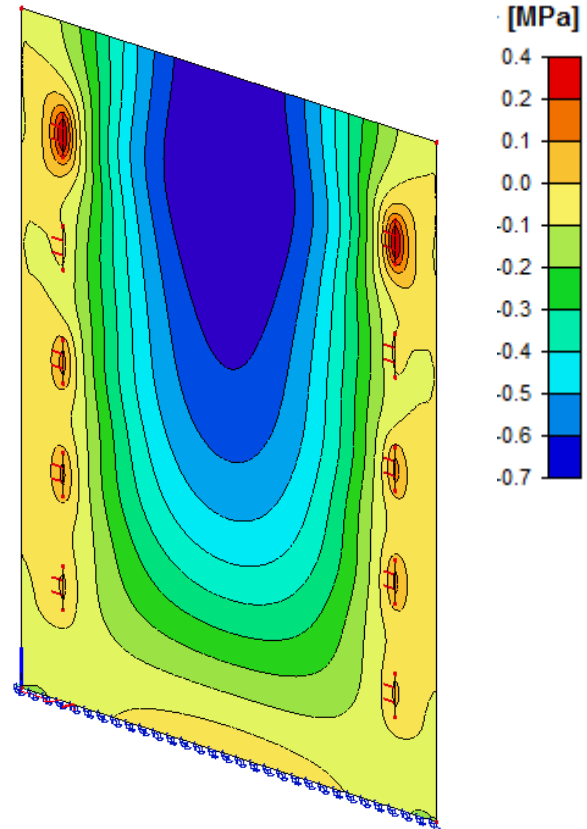
| Klasse   | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] | Max vervorming standaard [mm] | Max vervorming 2 speldankers per rij (afstand 2 m) [mm] |
|----------|------------------------------|-------------------------------|---|
| Klasse 0 | -1076,2                      | -2,6                          | -3,8  |
| Klasse 1 | -1009,9                      | -2,5                          | -3,7  |
| Klasse 2 | -877,3                       | -2,2                          | -3,2  |
| Klasse 3 | -645,3                       | -1,5                          | -2,2  |
| Klasse 4 | -435,7                       | -0,9                          | -1,2  |

Wanneer de speldankers worden geplaatst op 2 meter vanaf de buitenzijde, kan opgemerkt worden dat het verschil met de standaard situatie met 3 speldankers zeer beperkt is. De grote vervormingen uit de voorgaande simulatie zijn wel degelijk verminderd door de afstand vanaf de buitenzijde te herleiden naar 2 meter. Maar nu bevindt zich centraal een tussenafstand van 6 meter waar niets van ondersteuning is. Uit Figuur 149 kan afgeleid worden dat door deze grote tussenafstand centraal een negatieve buigtrekspanning voorkomt van  $-0,3 \text{ N/mm}^2$ . Waardoor binnen het metselwerk een verschil van  $0,8 \text{ N/mm}^2$  plaatsvindt. Wat zeker niet aangewezen is en het metselwerk niet ten goede komt.

### 8.3.4.4 Op 1 m afstand



**Figuur 150: Vervorming van gevel speldankers op 1 meter van buitenzijde**



**Figuur 151: Buigspanningen van metselwerk speldankers op 1 meter van buitenzijde**

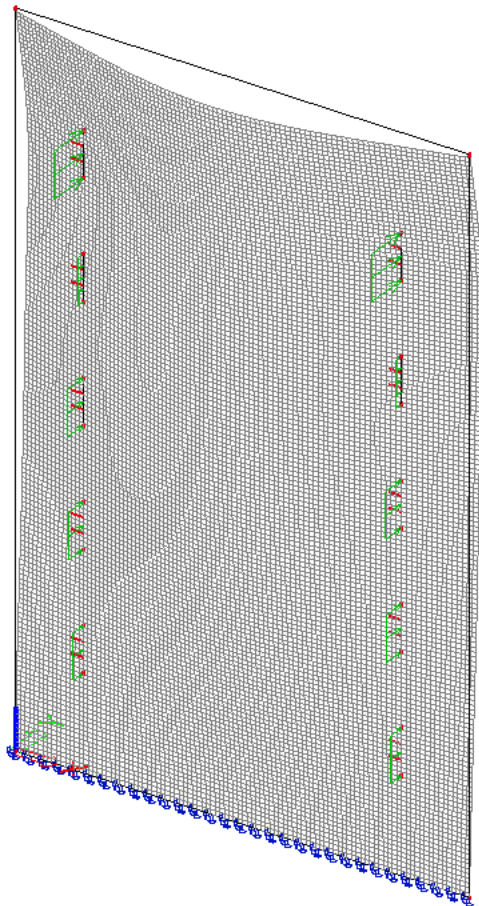
**Tabel 34: Verschil vervorming tussen standaard en 1m afstand van buitenzijde**

| Klasse   | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] | Max vervorming standaard [mm] | Max vervorming 2 speldankers per rij (afstand 1 m) [mm] |
|----------|------------------------------|-------------------------------|---|
| Klasse 0 | -1076,2                      | -2,6                          | -14,4   |
| Klasse 1 | -1009,9                      | -2,5                          | -13,8   |
| Klasse 2 | -877,3                       | -2,2                          | -11,6   |
| Klasse 3 | -645,3                       | -1,5                          | -8,8  |
| Klasse 4 | -435,7                       | -0,9                          | -5,9  |

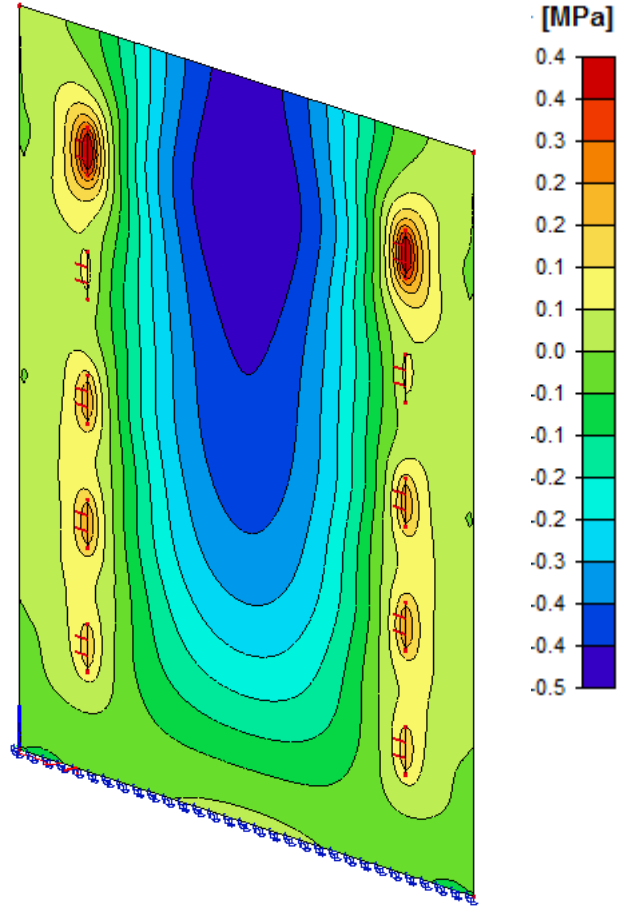
Bij het simuleren van dit geval werd al vlug duidelijk dat deze schoring niet veilig is. Een vervorming van 1,44 cm is zeker te vermijden en dus uitgesloten. Maar hierdoor kan afgeleid worden wat eventueel de minimale afstand is waar speldankers nog mogen geplaatst worden zonder dat de vervorming van de gevel groter is dan 8 mm. Wat betreft de buigspanningen van het metselwerk is dit de enige voorstelling waarbij de maximale buigspanning niet overschreden wordt ter hoogte van de lijnlasten, maar centraal bovenaan het metselwerk.



### 8.3.4.5 Minimale afstand voor het plaatsen van speldankers (1,5 m)



**Figuur 152: Vervorming van gevel speldankers op 1,5 meter van buitenzijde**



**Figuur 153: Buigspanningen metselwerk speldankers 1,5 meter van buitenzijde**

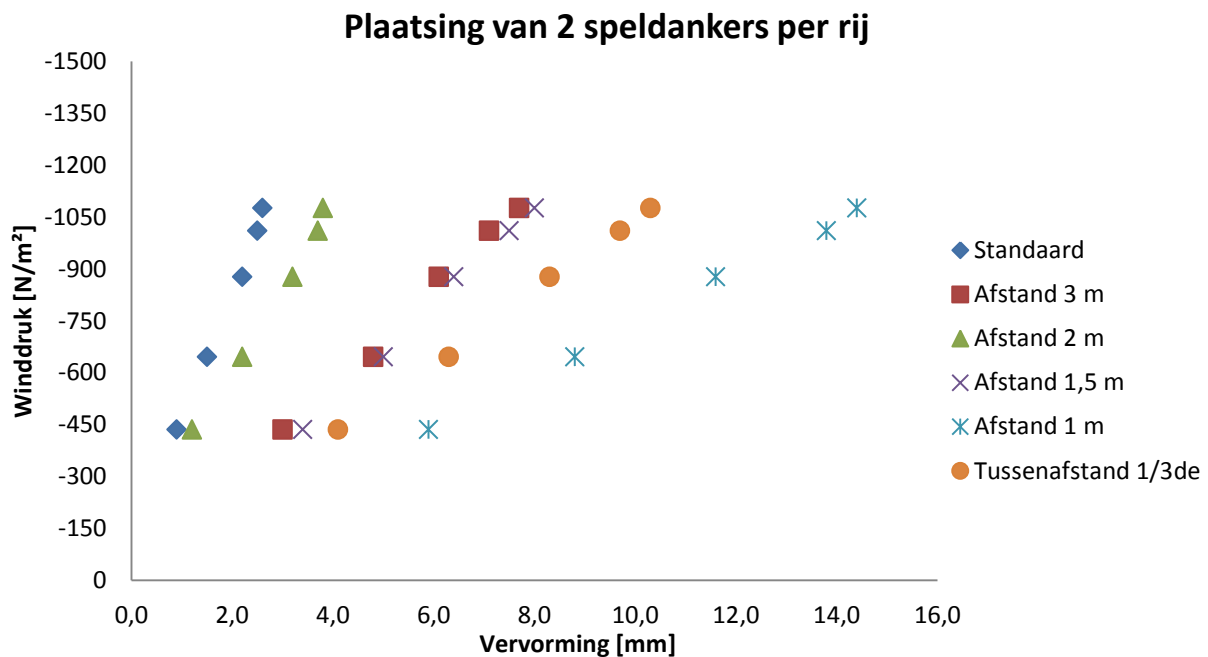
**Tabel 35: Verschil vervorming tussen standaard en 1,5m afstand van buitenzijde**

| Klasse   | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] | Max vervorming standaard [mm] | Max vervorming 2 speldankers per rij (afstand 1,5 m) [mm] |
|----------|------------------------------|-------------------------------|---|
| Klasse 0 | -1076,2                      | -2,6                          | -8,0  |
| Klasse 1 | -1009,9                      | -2,5                          | -7,5  |
| Klasse 2 | -877,3                       | -2,2                          | -6,4  |
| Klasse 3 | -645,3                       | -1,5                          | -5,0  |
| Klasse 4 | -435,7                       | -0,9                          | -3,4  |

Uit Tabel 35 kan besloten worden dat de speldankers niet dichters dan 1,5 meter van weerszijden van de gevel mogen geplaatst worden. Dit om de maximale vervorming onder de 8 mm te behouden en ook om de buigspanningen van het metselwerk binnen de grens van 0,5 N/mm<sup>2</sup> te houden. Toch word gevreesd dat de grote verschillen tussen de buigsterkte ter hoogte van de speldankers en centraal van de gevel negatieve gevolgen zal voortbrengen wat instabiliteit van het metselwerk kan veroorzaken.

### 8.3.4.6 Conclusie

Het is nu mogelijk om de bekomen resultaten weer te geven in een grafiek. Deze grafiek is weergegeven in Figuur 154.



**Figuur 154: Overzicht plaatsing 2 speldankers per rij**

Het plaatsen van speldankers op een afstand van 1 meter van de buitenzijde en speldankers met een tussenafstand van  $1/3^{\text{de}}$  zijn absoluut uitgesloten door de te grote vervorming van de gevel. Alle andere simulaties die zich daartussen bevinden zijn aanvaardbaar, maar met de buigsterkte van het metselwerk moet ook rekening gehouden worden.

Wat betreft de buigsterkte van het metselwerk is duidelijk te zien op de verschillende figuren dat de maximale buigtrekspanning zich steeds voordoet ter hoogte van de lijnlasten. Dit is niet onlogisch aangezien lasten tot 28 kN moeten verdeeld worden over één meter. Uit alle simulaties wordt bekomen dat wanneer de toegelaten trek van 24 kN overschreden wordt, de maximaal toegelaten buigsterkte verbroken wordt. Het is dus zeker aangewezen om deze niet te overschrijden.

Als eindconclusie kan gesteld worden dat het zelden mogelijk is om gebruik te maken van 2 speldankers per rij, tenzij de speldankers geen grotere krachten dan 24 kN moeten opnemen. De tussenafstand tussen beide speldankers moet ook binnen de perken blijven zodat centraal niet te grote buigspanningen voorkomen.

### 8.3.5 Variërende terugkeerperiode

Standaard wordt gewerkt met een terugkeerperiode van 1,58 jaar. Dit komt op het zelfde neer als een storm die om de 1,58 jaar voorkomt. Dit is relatief veilig maar het is interessant te weten hoe gemene muren zich zullen gedragen bij winddrukken met een terugkeerperiode van 50, 100 en 1000 jaar.

**Tabel 36: Verschil maximale vervorming bij een terugkeerperiode van 50 jaar**

| Klasse   | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] | Max vervorming standaard [mm] | Winddruk (50 jaar) [N/m <sup>2</sup> ] | Max vervorming [mm] |
|----------|------------------------------|-------------------------------|--|---------------------|
| Klasse 0 | -1076,2                      | -2,6                          | -1916,9                                | -5,0                |
| Klasse 1 | -1009,9                      | -2,5                          | -1798,7                                | -4,6                |
| Klasse 2 | -877,3                       | -2,2                          | -1708,5                                | -4,0                |
| Klasse 3 | -645,3                       | -1,5                          | -1149,5                                | -2,5                |
| Klasse 4 | -435,7                       | -0,9                          | -776,1                                 | -2,0                |

**Tabel 37: Verschil maximale vervorming bij een terugkeerperiode van 100 jaar**

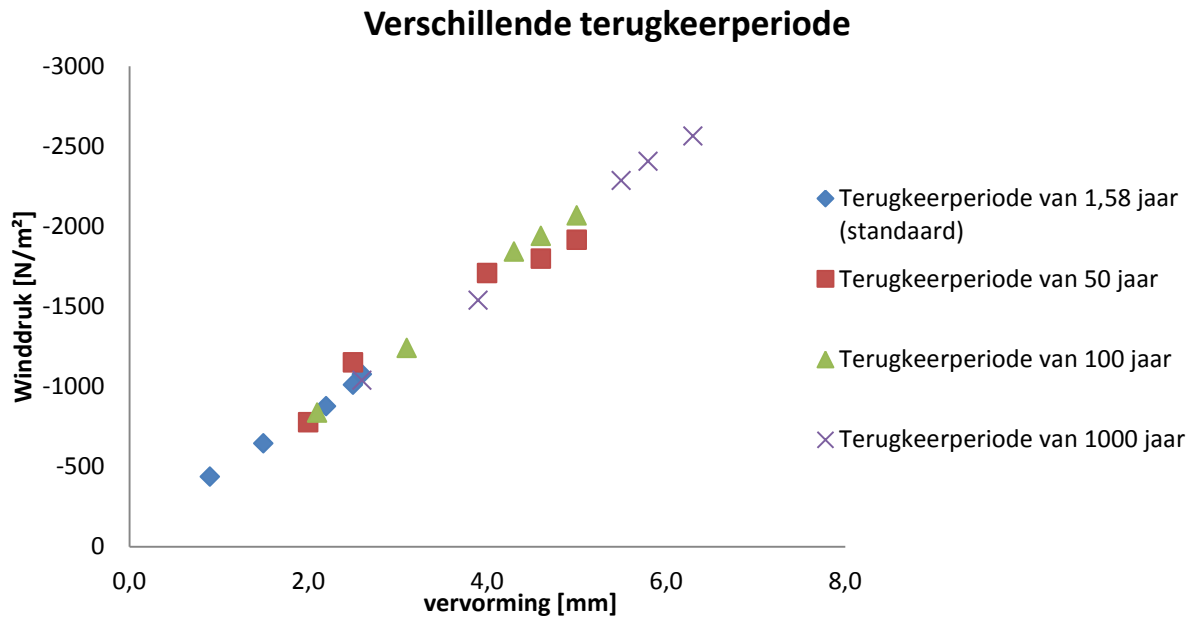
| Klasse   | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] | Max vervorming standaard [mm] | Winddruk (100 jaar) [N/m <sup>2</sup> ] | Max vervorming [mm] |
|----------|------------------------------|-------------------------------|---|---------------------|
| Klasse 0 | -1076,2                      | -2,6                          | -2067,3                                 | -5,0                |
| Klasse 1 | -1009,9                      | -2,5                          | -1939,8                                 | -4,6                |
| Klasse 2 | -877,3                       | -2,2                          | -1842,5                                 | -4,3                |
| Klasse 3 | -645,3                       | -1,5                          | -1239,6                                 | -3,1                |
| Klasse 4 | -435,7                       | -0,9                          | -836,9                                  | -2,1                |

**Tabel 38: Verschil maximale vervorming bij een terugkeerperiode van 1000 jaar**

| Klasse   | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] | Max vervorming standaard [mm] | Winddruk (1000 jaar) [N/m <sup>2</sup> ] | Max vervorming [mm] |
|----------|------------------------------|-------------------------------|--|---------------------|
| Klasse 0 | -1076,2                      | -2,6                          | -2564,1                                  | -6,3                |
| Klasse 1 | -1009,9                      | -2,5                          | -2406,0                                  | -5,8                |
| Klasse 2 | -877,3                       | -2,2                          | -2285,3                                  | -5,5                |
| Klasse 3 | -645,3                       | -1,5                          | -1537,5                                  | -3,9                |
| Klasse 4 | -435,7                       | -0,9                          | -1038,0                                  | -2,6                |

Uit de voorgaande tabellen kan besloten worden dat de maximale toegelaten vervorming niet overschreden wordt. Dit wanneer toch zeer grote winddrukken op de gevel inwerken. Qua vervormingen kan gesteld worden dat de constructie veilig is.

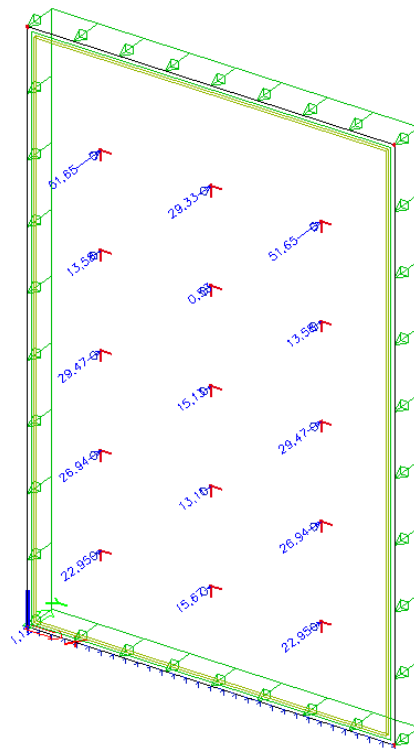




**Figuur 155: Grafiek verschillende terugkeerperiode**

Wanneer Figuur 155 bekeken wordt, dan kan opgemerkt worden dat een lineair verband bestaat tussen de verschillende terugkeerperiodes. Dit wijst op een verband tussen de terugkeerperiode en de bijhorende vervorming. Zelf bij een terugkeerperiode van 1000 jaar liggen de vervormingen onder de 8 mm.

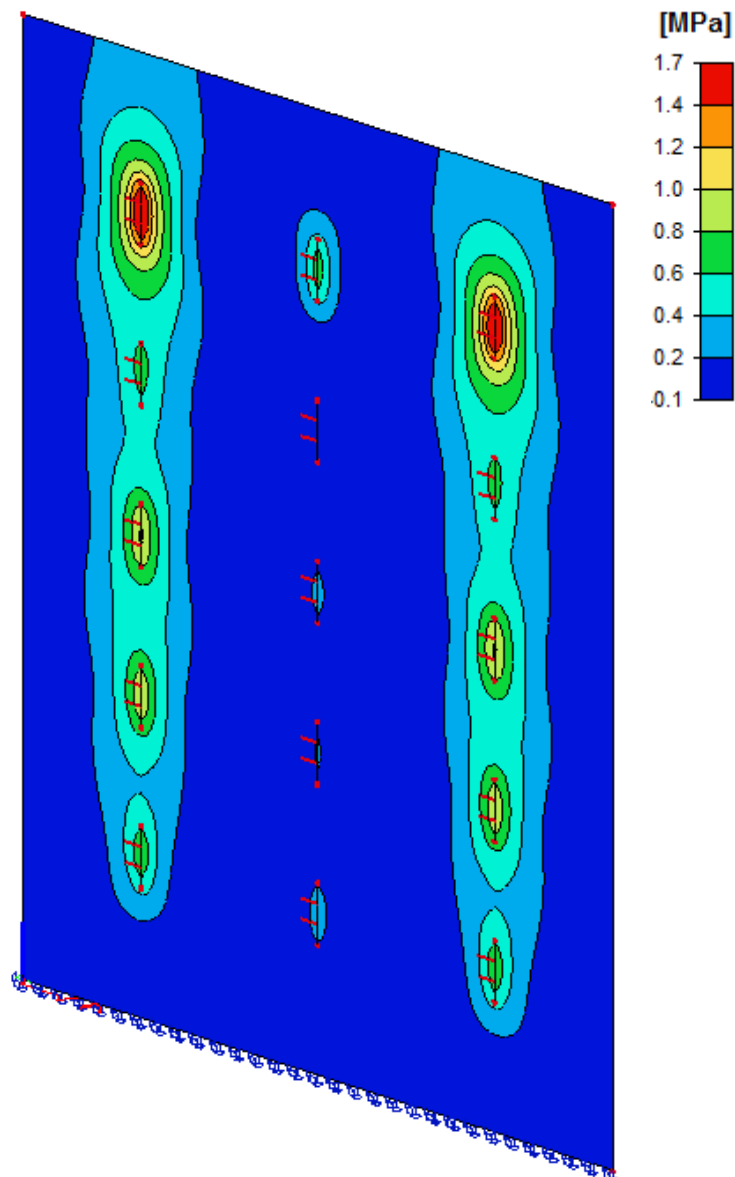
Mogelijke problemen zijn te vinden bij de krachten dat de Dywidag zal moeten opnemen. Volgens de technische fiche wordt verondersteld dat de speldanker maar een kracht van 24 kN kan opnemen.



**Figuur 156: Reactiekrachten bij ene terugkeerperiode van 1000 jaar klasse 0**

Op Figuur 156 is te zien dat voor een terugkeerperiode van 1000 jaar bovenaan een reactiekracht van 51,65 kN plaatsvindt. Dit is meer dan het dubbele van wat de Dywidag volgens de technische fiche aan kan. Tijdens de proeven van hoofdstuk 6 blijkt wel dat een speldverankering krachten tot 90 kN aan kan. Maar in zulke situatie kan instabiliteit voorkomen waardoor niet mag aangenomen worden dat nog steeds veilig gewerkt wordt.

De buigtrekspanning van het metselwerk bevestigt deze veronderstelling, want uit de resultaten wordt een waarde van  $1,7 \text{ N/mm}^2$  bekomen terwijl de toegelaten buigtreksterkte  $0,5 \text{ N/mm}^2$  is (zie Figuur 157). Een mogelijke oplossing is meerdere speldankers plaatsen per verdiep om de krachten zoveel mogelijk te spreiden en de interne spanningen in het metselwerk binnen de perken te houden.



**Figuur 157: Buigtrekspanningen metselwerk bij terugkeerperiode 1000 jaar klasse 0**

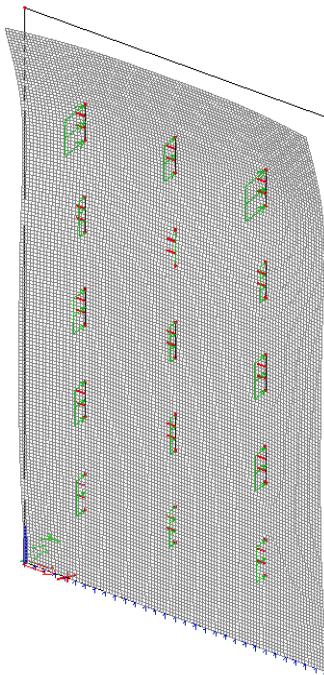
### 8.3.6 Verdiepingshoogte van 3 meter in plaats van 2,6 meter

Wanneer een gebouw bestaat uit verdiepingen van 3 meter in de plaats van 2,6 meter, dan is het gebouw in zijn geheel 2,4 meter groter wanneer gewerkt wordt met een gebouw met zes verdiepingen. Daardoor werken andere winddrukken in op de gevel zoals te zien is in Tabel 39.

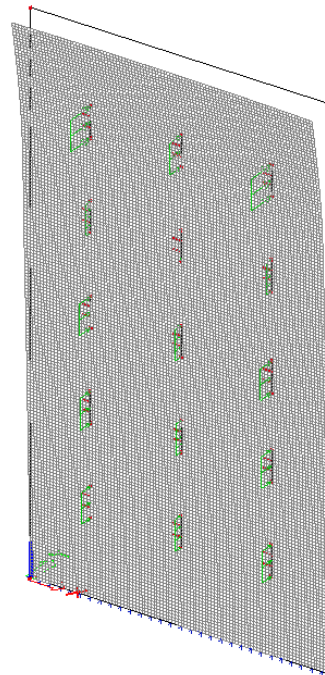
**Tabel 39: Verschil maximale vervorming bij verschillende verdiepingshoogte**

| Klasse   | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] | Max vervorming verdiepingshoogte 2,6 m [mm] | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] | Max vervorming verdiepingshoogte 3 m [mm] |
|----------|------------------------------|---|------------------------------|---|
| Klasse 0 | -1076,2                      | -2,6  | -1104,3                      | -13,0                                     |
| Klasse 1 | -1009,9                      | -2,5  | -1039,8                      | -11,6                                     |
| Klasse 2 | -877,3                       | -2,2  | -990,1                       | -11,2                                     |
| Klasse 3 | -645,3                       | -1,5  | -677,7                       | -7,9                                      |
| Klasse 4 | -435,7                       | -0,9  | -465,9                       | -5,5                                      |

De vervorming bij een verdiepingshoogte van drie meter is zeer groot, dit wil zeggen dat 3 speldankers per rij zeker niet voldoende zijn om de stabiliteit van de gemene muur te verzekeren.



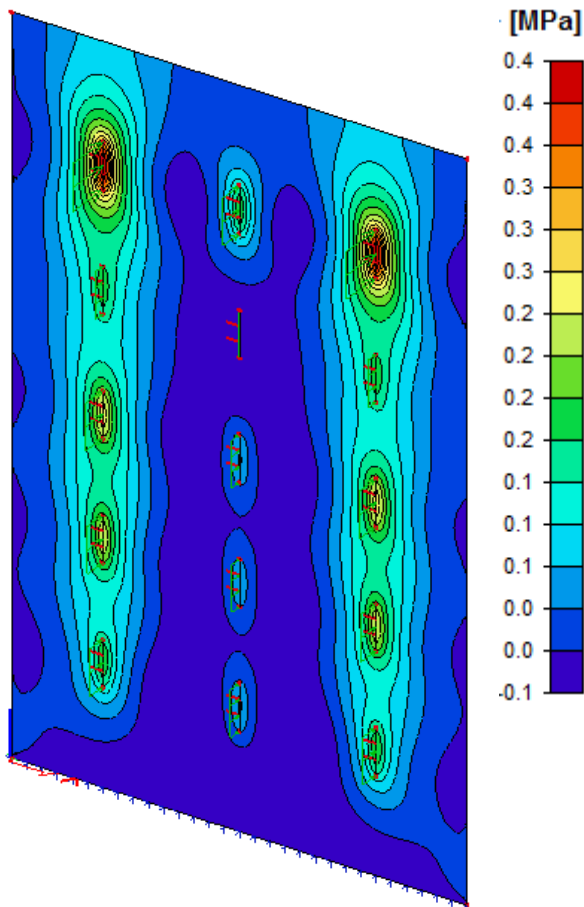
**Figuur 158: Vervorming bij verdiepingshoogte van 2,6 m**



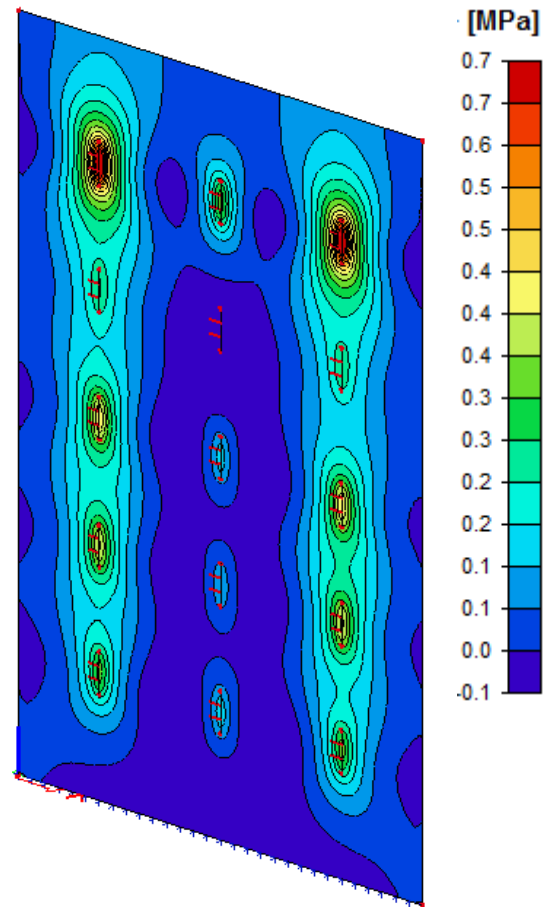
**Figuur 159: Vervorming bij verdiepingshoogte van 3 m**

Dat de vervorming bij een verdiepingshoogte van 3 meter groter zou zijn dan bij 2,6 meter was zeker te verwachten. Omdat bovenaan een uitkraging van 3 meter aanwezig is in plaats van 2,6 meter. Maar op Figuur 159 is te zien dat de vervorming van de gevel niet alleen geconcentreerd is over het uitkragende gedeelte maar over gans de gemene muur.

Uiteraard worden bij simulaties met een verdiepingshoogte van 3 meter hogere krachten gerealiseerd, waardoor de buigspanningen groter zullen zijn in vergelijking met wanneer gewerkt wordt met een verdiepingshoogte van 2,6 meter. Bij een verdiepingshoogte van 3 meter de toegelaten buigsterkte overschreden wordt met  $0,2 \text{ N/mm}^2$ .



**Figuur 160: Buigspanningen van metselwerk bij verdiepingshoogte van 2,6 m**



**Figuur 161: Buigspanningen van metselwerk bij verdiepingshoogte van 3 m**

### 8.3.7 Verschillende dikte gemene muur

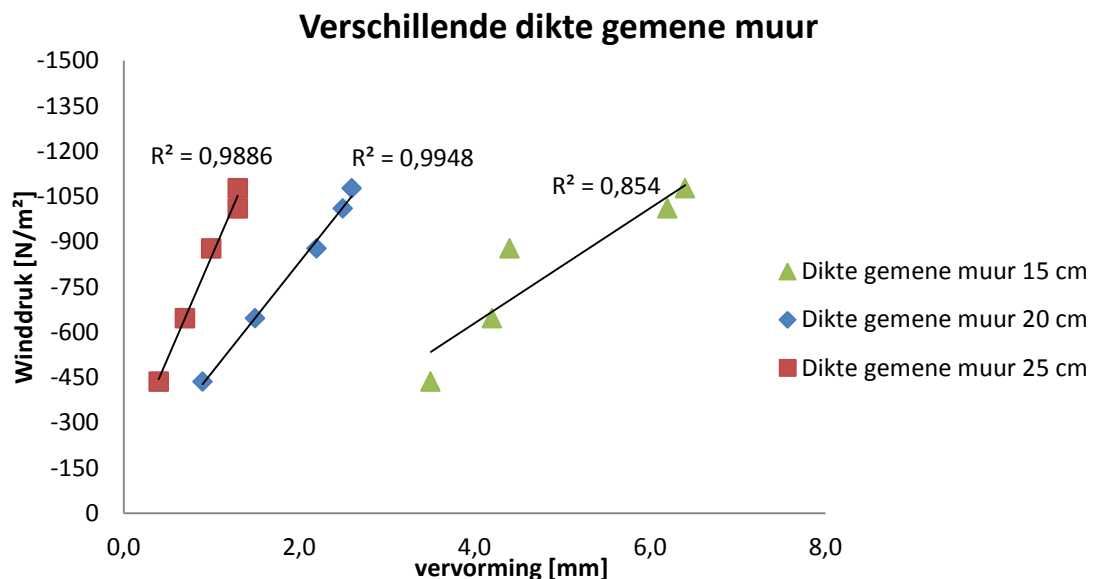
De diktes die gecontroleerd werden, zijn deze van het standaard geval van 20 cm en daarnaast nog van 15 cm en 25 cm dikte. Wanneer de dikte van de gemene muur kleiner is dan 15 cm dikte, dan wordt de 8 mm grens al zeer snel overschreden. Bij een gevel met dikte van 10 cm bij klasse 0 is de maximale vervorming 2,23 cm.

Wordt de gemene muur dikker beschouwd dan 25 cm dikte dan is geen groot verschil op te merken. Bij een gevel met dikte van 30 cm bij klasse 0 is de maximale vervorming 0,8 mm, wat te verwaarlozen is.

**Tabel 40: Verschil maximale vervorming met verschillende dikte gemene muur**

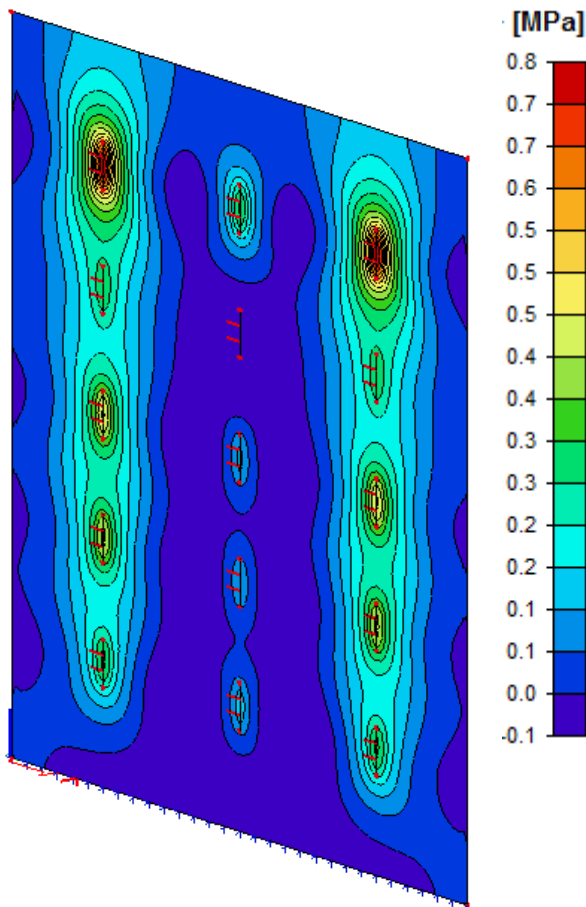
| Klasse   | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] | Max vervorming dikte 15 cm [mm] | Max vervorming dikte 20 cm [mm] | Max vervorming dikte 25 cm [mm] |
|----------|------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Klasse 0 | -1076,2                      | -6,4                            | -2,6                            | -1,3                            |
| Klasse 1 | -1009,9                      | -6,2                            | -2,5                            | -1,3                            |
| Klasse 2 | -877,3                       | -4,4                            | -2,2                            | -1,0                            |
| Klasse 3 | -645,3                       | -4,2                            | -1,5                            | -0,7                            |
| Klasse 4 | -435,7                       | -3,5                            | -0,9                            | -0,4                            |

Op Figuur 162 is duidelijk een mooi lineair verband te zien als de gemene muur een dikte van 20 cm heeft. Bij een dikte van 25 cm kan ook nog gesproken worden van een lineair verband waarbij de lijn door alle waarden gaat en waarbij zeer kleine vervormingen optreden. Wanneer de dikte van een gemene muur onder de 20 cm gaat, dan gedragen de waarden zich onvoorspelbaar en is het niet aangewezen om lineair conclusies te trekken.

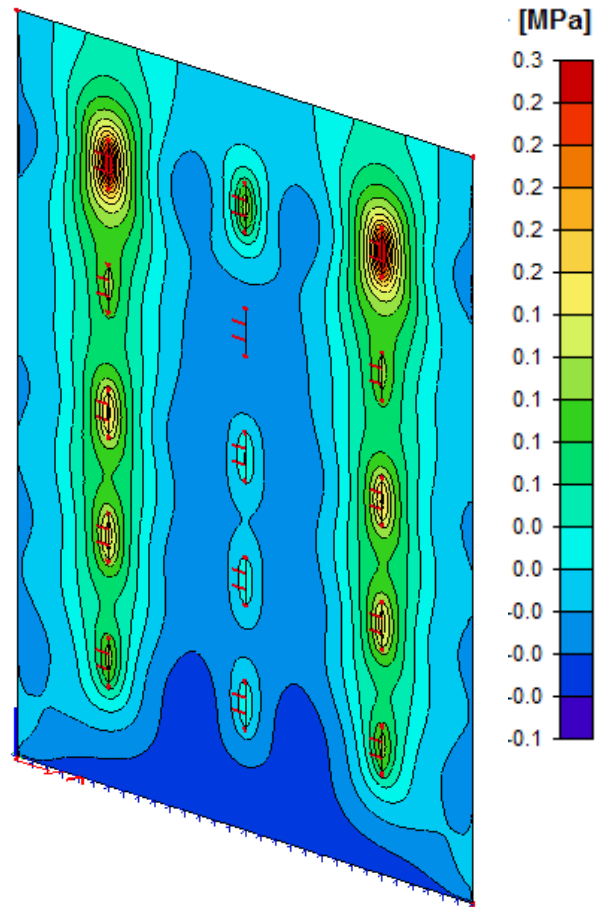


**Figuur 162: Grafiek verschillende dikte gemene muur**

Normaliter zal de dikte van de gemene muur een grote invloed hebben om de buigtrekspanningen van het metselwerk. Dit wordt ook bevestigd door Figuur 163 en Figuur 164. Eerder werd al bekomen dat bij de standaard situatie (20 cm) de grens van  $0,5 \text{ N/mm}^2$  niet overschreden wordt.



**Figuur 163: Buigspanningen van metselwerk bij een dikte van 15 cm**



**Figuur 164: Buigspanningen van metselwerk bij een dikte van 25 cm**

Hoe dikker de gemene muur is, hoe veiliger de gehele constructie. Wanneer de dikte afneemt worden de buigspanningen een zeer belangrijke factor. Het is van cruciaal belang dat de buigsterkte binnen de grens van  $0,5 \text{ N/mm}^2$ . De enige oplossing is dan meestal meerdere speldankers plaatsen per rij zodat de aangrijpende krachten verdeeld zijn over een groter aantal speldankers.

### 8.3.8 Verschillende parameters metselwerk

Eerder werd al vermeld dat aangenomen wordt dat de gemene muur nog uit goed metselwerk bestaat. Maar de realiteit is soms anders, daarom zal onderzocht worden wat de vervormingen en spanningen bedragen met andere parameters. De massa-eenheid en de E-modulus zijn de parameters die aangepast worden.

#### 8.3.8.1 Massa-eenheid

Tegenwoordig wordt gewerkt met bakstenen die een massa-eenheid van  $1600 \text{ kg/m}^3$  hebben. Vroeger werd gebouwd met zwaardere bakstenen tot  $2000 \text{ kg/m}^3$ , dit is eerder

zwaar metselwerk. Naar de toekomst toe zal eerder gewerkt worden met duurzaam materiaal en met een massa-eenheid van  $1200 \text{ kg/m}^3$ , een zeer lichte baksteen.

**Tabel 41: Verschil maximale vervorming met verschillende massa-eenheid**

| Klasse   | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] | Max vervorming massa-eenheid 1200 kg/m <sup>3</sup> [mm] | Max vervorming massa-eenheid 1600 kg/m <sup>3</sup> [mm] | Max vervorming massa-eenheid 2000 kg/m <sup>3</sup> [mm] |
|----------|------------------------------|--|--|--|
| Klasse 0 | -1076,2                      | -2,6   | -2,6   | -2,6   |
| Klasse 1 | -1009,9                      | -2,5   | -2,5   | -2,5   |
| Klasse 2 | -877,3                       | -2,2   | -2,2   | -2,2   |
| Klasse 3 | -645,3                       | -1,5   | -1,5   | -1,5   |
| Klasse 4 | -435,7                       | -0,9   | -0,9   | -0,9   |

Ook op spanningen werd de massa-eenheid gecontroleerd maar ook daar werd geen onderscheid opgemerkt. Daardoor kan gesteld worden dat het niet uitmaakt waaruit de gemene muur is opgebouwd. Het maakt dus niet uit of deze opgebouwd is uit zwaar of licht metselwerk.

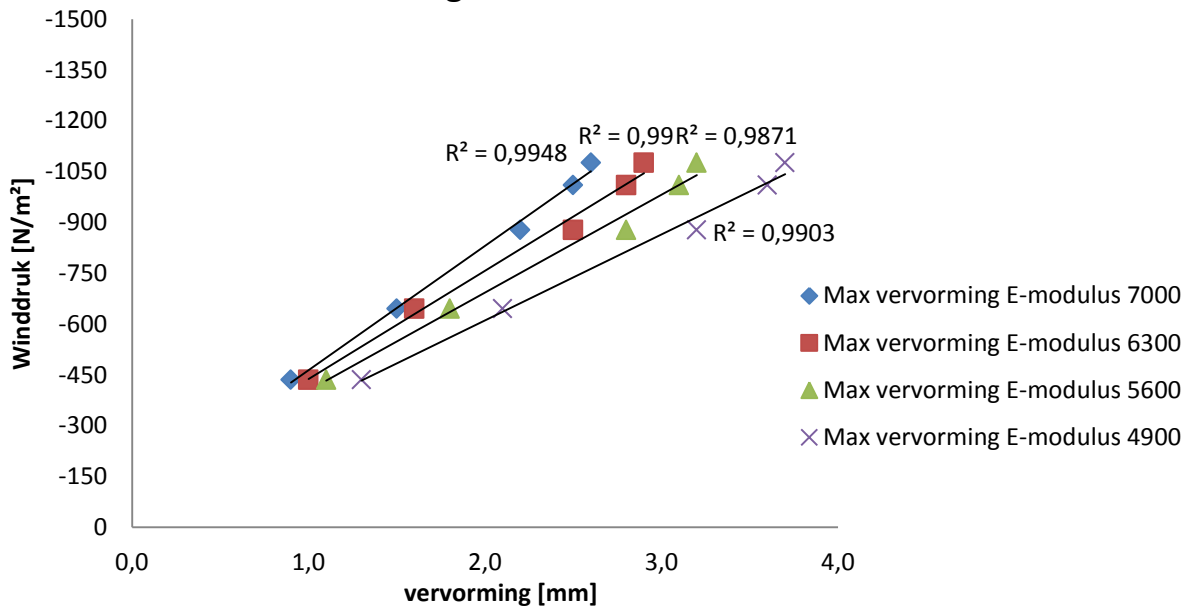
### 8.3.8.2 E-modulus

Standaard wordt 7000 MPa als E-modulus beschouwd voor goed metselwerk. Maar door de jaren heen kan de kwaliteit van het metselwerk verminderen. Zeker bij afbraak van gebouwen krijgt de gemene muur het zwaar te verduren wat de kwaliteit van het metselwerk niet ten goede komt. Daarom wordt onderzocht hoe de gemene muur zich zal gedragen bij metselwerk met vermindering van de E-modulus.

**Tabel 42: Verschil maximale vervorming bij vermindering E-modulus**

| Klasse   | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] | Max vervorming E-modulus 7000 [mm] | Max vervorming E-modulus 6300 [mm] | Max vervorming E-modulus 5600 [mm] | Max vervorming E-modulus 4900 [mm] |
|----------|------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Klasse 0 | -1076,2                      | -2,6                               | -2,9                               | -3,2                               | -3,7                               |
| Klasse 1 | -1009,9                      | -2,5                               | -2,8                               | -3,1                               | -3,6                               |
| Klasse 2 | -877,3                       | -2,2                               | -2,5                               | -2,8                               | -3,2                               |
| Klasse 3 | -645,3                       | -1,5                               | -1,6                               | -1,8                               | -2,1                               |
| Klasse 4 | -435,7                       | -0,9                               | -1,0                               | -1,1                               | -1,3                               |

## Vermindering E-modulus van het metselwerk



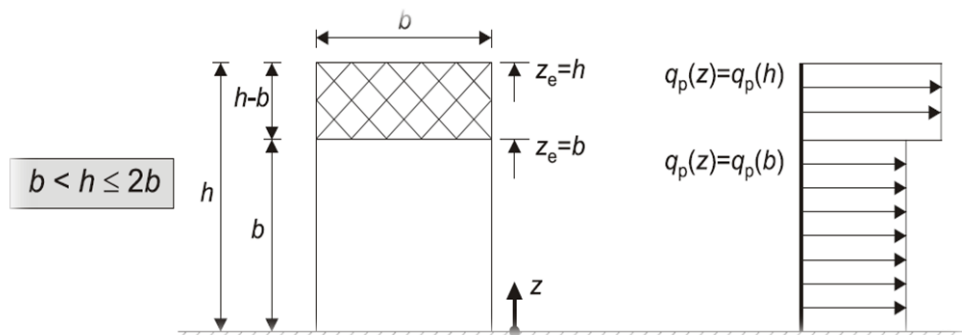
**Figuur 165: Grafiek vermindering E-modulus van het metselwerk**

Dat de maximale vervorming zal toenemen bij slechter metselwerk was te verwachten, maar de verschillen zijn verwaarloosbaar. Ook hier werd de buigtreksterkte gecontroleerd van het metselwerk maar leverde geen opmerkelijke vaststellingen op. De maximale buigtreksterkte bleef onveranderd en dus veilig.

Het is natuurlijk niet evident om de werkelijke E-modulus van het metselwerk in te schatten. Hier werd gewerkt met een reductie van het metselwerk tot 30 procent. Het blijft echter gissen wat in de werkelijkheid kan voorkomen.

### 8.3.9 Verschillende vlaklasten

Alle simulaties gebeuren met een permanente verdeelde belasting van de wind over gans de gevel. Maar volgens de windnorm kan een onderscheidt gemaakt worden in verschillende zones. De indeling van de zones is afhankelijk van de verhouding tussen de hoogte en de breedte. Hier kan de wind onderverdeeld worden in twee zones.



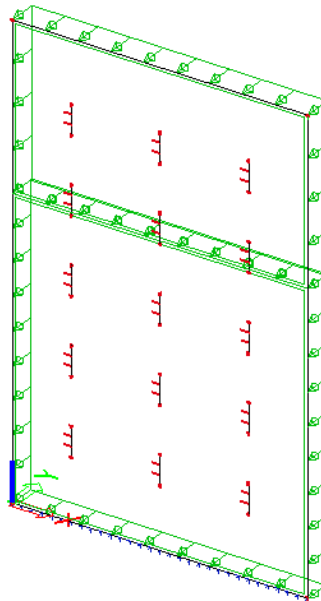
**Figuur 166: Winddruk onderverdeeld in twee zones**



Steeds werd gewerkt met de grootste winddruk en dit was dan de gelijkmatige permanente verdeelde winddruk over gans de gevel om zo veilig mogelijk te werken.

Wanneer de windnorm gevolgd wordt en de wind in twee zones verdeeld is, valt meteen op dat de vervormingen groter zijn dan wanneer de grootste winddruk aangenomen wordt over gans de grootte van de gevel.

Dit kan te wijten zijn aan het feit dat de krachten die de speldankers moeten opnemen beter verdeeld zijn over gans de gevel in plaats van twee verschillende zones.



**Figuur 167: Winddruk in twee zones**

**Tabel 43: Verschil tussen verschillende windzones**

| Klasse   | Winddruk van 0 tot 10 m [N/m <sup>2</sup> ] | Winddruk van 10 tot 15,6 m [N/m <sup>2</sup> ] | Max vervorming twee windzones [mm] | Max vervorming één windzone [mm] |
|----------|---|--|------------------------------------|----------------------------------|
| Klasse 0 | -991,1                                      | -1076,2  | -2,9                               | -2,6                             |
| Klasse 1 | -919,4                                      | -1009,9  | -2,6                               | -2,5                             |
| Klasse 2 | -866,0                                      | -959,2   | -2,6                               | -2,2                             |
| Klasse 3 | -548,7                                      | -645,3   | -1,9                               | -1,5                             |
| Klasse 4 | -346,5                                      | -435,7   | -0,7                               | -0,9                             |

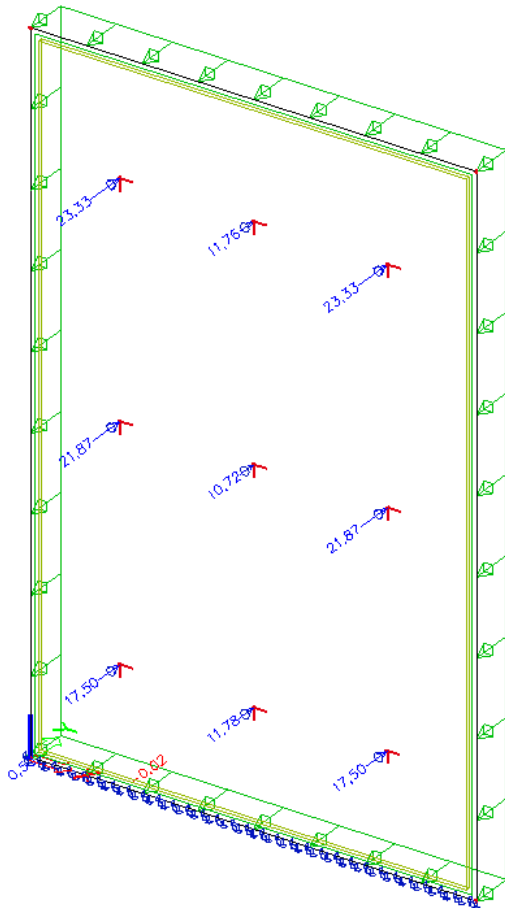
Aanvankelijk werd aangenomen dat de grootste winddruk verdeeld wordt over gans de gevel en dat dit de gevaarlijkste situatie oplevert. Maar Tabel 43 spreekt dit tegen, de gevaarlijkste situatie zou zich voordoen wanneer de norm wordt gevolgd en de windlasten onderverdeeld zijn in verschillende zones afhankelijk van de verhouding tussen de hoogte en de breedte van de gevel. Dit is deels te wijten dat één rij speldankers belast wordt door 2 verschillende winddrukken, namelijk de speldankers die geplaatst zijn op de 4<sup>de</sup> verdieping (10,4 meter).

Bij het controleren van de buigtreksterkte werd nagenoeg geen verschillen opgemerkt, waardoor de buigsterkte ook hier binnen de opgelegde grens blijft van 0,5 N/mm<sup>2</sup>.

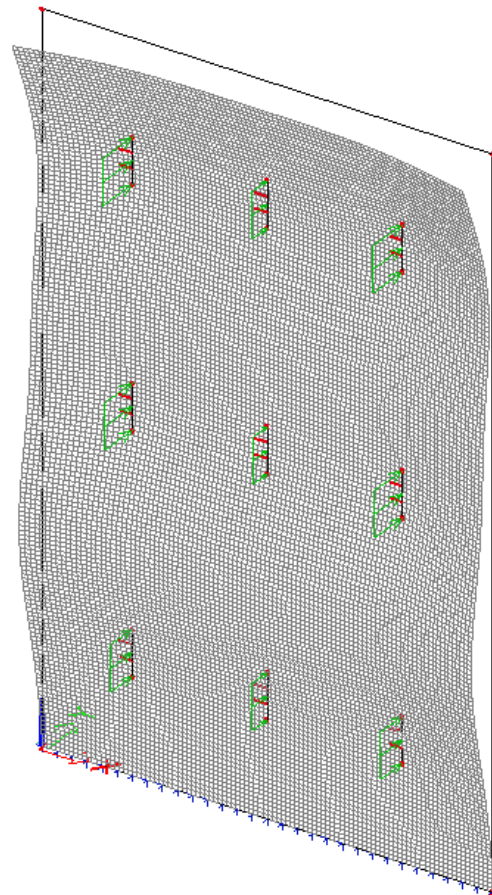
### 8.3.10 Mogelijke besparing

#### 8.3.10.1 Weglaten van één rij speldankers om de twee verdiepingen

Het leek interessant om eens te kijken welke effecten een gemene muur zou geven wanneer maar één rij speldankers per 2 verdiepingen zou geplaatst worden. Minder speldankers leidt tot grotere krachten per speldanker. Maar al deze krachten blijven binnen de toegelaten kracht van 24 kN (zie Figuur 168).



**Figuur 168: Reactiekrachten van mogelijke besparing**



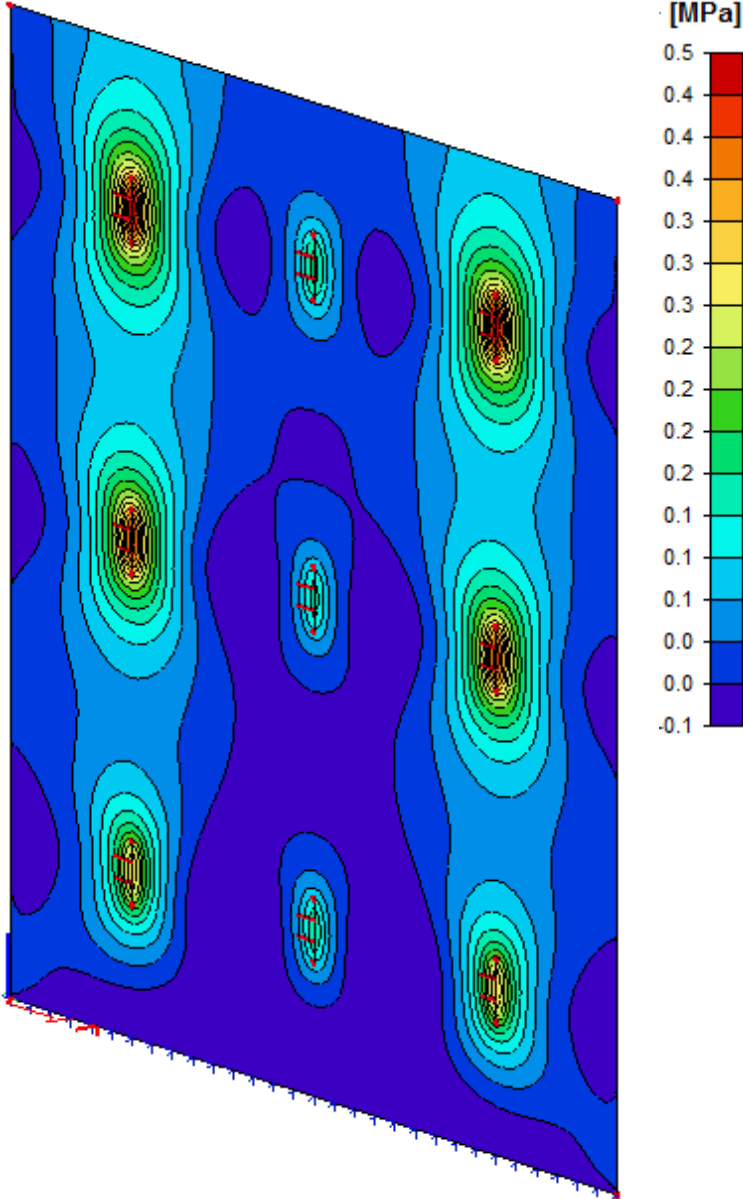
**Figuur 169: Vervorming van metselwerk bij mogelijke besparing**

Figuur 169 toont mooi de vorm van de vervormde structuur. Het beeld toont grote vervormingen in vergelijking met andere figuren van een vervormde constructie, maar Tabel 44 toont echter dat de verschillen zeer klein zijn.

**Tabel 44: Verschil vervorming tussen standaard en een mogelijke besparing**

| Klasse   | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] | Max vervorming standaard [mm] | Max vervorming besparing [mm] |
|----------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Klasse 0 | -1076,2                      | -2,6                          | -2,2                          |
| Klasse 1 | -1009,9                      | -2,5                          | -2,2                          |
| Klasse 2 | -877,3                       | -2,2                          | -1,6                          |
| Klasse 3 | -645,3                       | -1,5                          | -1,4                          |
| Klasse 4 | -435,7                       | -0,9                          | -0,8                          |

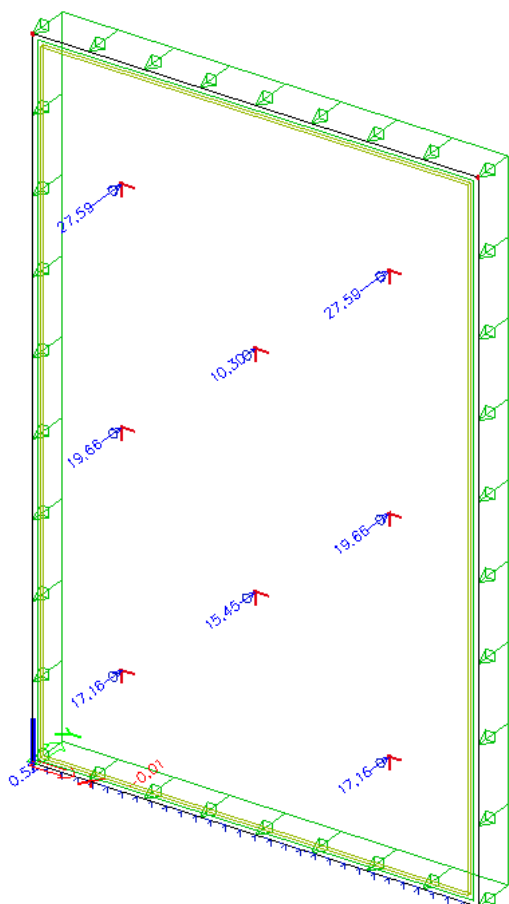
Wat betreft de spanningen voldoet deze constructie ook aan de veiligheidsnormen. De buigsterkte haalt een maximum van  $0,5 \text{ N/mm}^2$  wat ook meteen de toegelaten spanning is van het metselwerk.



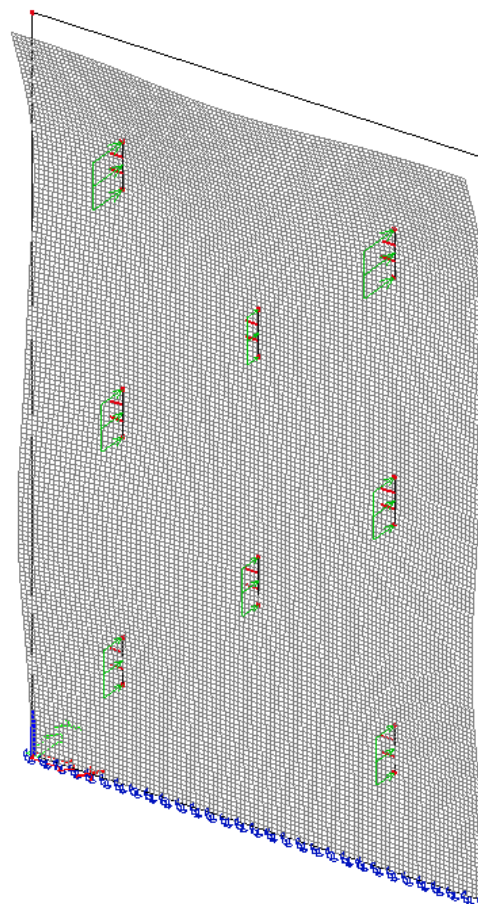
**Figuur 170: Buigspanningen van het metselwerk bij een mogelijke besparing**

### 8.3.10.2 Afwisselend aantal speldankers (2-1-2-1-2)

Een variant van een mogelijke besparing is het plaatsen van bovenaan 2 speldankers dicht bij de hoeken en dan vervolgens maar 1 speldanker centraal om dan terug 2 speldankers per rij te plaatsen.



**Figuur 171: Reactiekrachten van 2<sup>de</sup> mogelijke besparing**



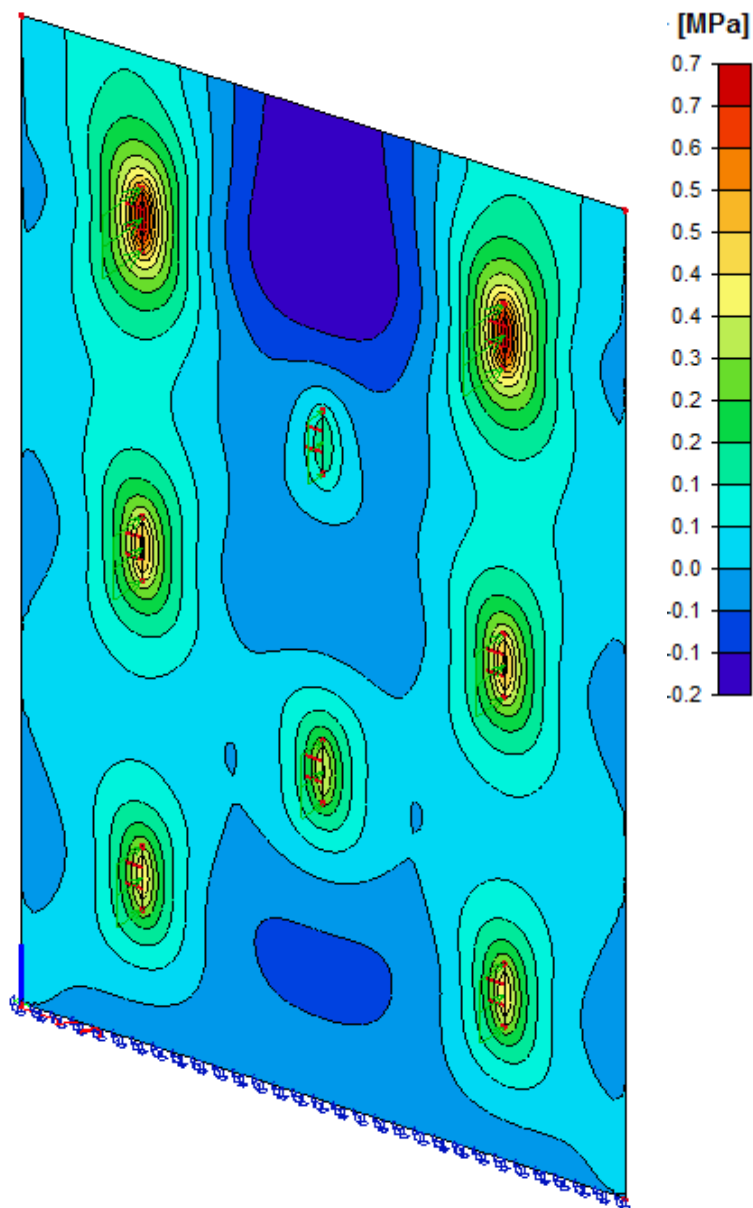
**Figuur 172: Vervorming van metselwerk bij 2<sup>de</sup> mogelijke besparing**

Uit de resultaten van de reactiekrachten wordt een maximale kracht van 27,59 kN bekomen, wat meer is dan de toegelaten kracht en wat qua spanningen later eventueel toch problemen zal opleveren. Aan de vervorming zal het niet liggen, want deze stijgt maximaal met 0,5 mm in vergelijking met de standaard simulatie.

**Tabel 45: Verschil vervorming tussen standaard en 2<sup>de</sup> mogelijke besparing**

| Klasse   | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] | Max vervorming standaard [mm] | Max vervorming besparing [mm] |
|----------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Klasse 0 | -1076,2                      | -2,6                          | -3,1                          |
| Klasse 1 | -1009,9                      | -2,5                          | -3,0                          |
| Klasse 2 | -877,3                       | -2,2                          | -2,6                          |
| Klasse 3 | -645,3                       | -1,5                          | -2,0                          |
| Klasse 4 | -435,7                       | -0,9                          | -1,2                          |

Dat de 2 krachten bovenaan van 27,59 kN problemen zou opleveren wordt bevestigd door Figuur 173. De maximale buigsterkte in deze punten bedraagt  $0,7 \text{ N/mm}^2$  waardoor de grenswaarde overschreden wordt.



**Figuur 173: Buigspanningen van het metselwerk bij een 2<sup>de</sup> mogelijke besparing**

## **Algemeen besluit**

Voor deze thesis werden dus de drie meest voorkomende types schoring besproken die gebruikt worden bij gemene muren, namelijk de speldanker, de schoorbalk en de driepuntschoor. In de literatuurstudie werden deze technieken dan ook uitgebreid besproken en hoe de verankering van deze types precies in zijn werk gaat.

Vervolgens werden ook de belastingen onderzocht die op de schoring zullen inwerken. Uit onderzoek bleek dat de windkracht de belasting is die de grootste invloed zal uitoefenen op de schoring. Dit werd dan ook volledig onderzocht en uit dit onderzoek bleek dat de grootste windkracht bekomen wordt wanneer de wind loodrecht blaast op de voorgevel en bijgevolg dus zijdelings langs de gemene muur blaast. Met deze situatie werd dan ook verder gewerkt. Ook is de grootte van de windkracht afhankelijk van de ligging van het gebouw. Voor de bepaling van de ligging wordt een indeling gedaan in vijf klassen (klasse 0 tot klasse IV) waarbij klasse 0 de grootste windkrachten zal veroorzaken. Bij deze klasse is het gebouw gelegen aan de kust waarbij zeewinden zullen inwerken op het gebouw. Naarmate de hoogte van de gemene muur stijgt, wordt ook een grotere windkracht bekomen en om zeker veilig te werken, wordt deze windkracht voor de volledige hoogte van de gemene muur gebruikt. Voor de grootte van de windkracht speelt de breedte van de gemene muur geen enkele rol. Daarnaast speelt ook de terugkeerperiode van de wind een belangrijke rol voor de grootte van de windkracht. V-systems werkt standaard met een terugkeerperiode van 1,58 jaar, maar wanneer de windkrachten vergeleken worden met een terugkeerperiode van 50 jaar, dan wordt een windkracht bekomen die 1,78 keer groter is in vergelijking met 1,58 jaar. Om de berekeningen te vereenvoudigen werd een programma geschreven waarmee de windkracht op een eenvoudige manier berekend kan worden.

Naast de windkracht zal de schuinstand van de gevel ook een kracht veroorzaken op de gemene muur. Uit onderzoek blijkt dat de kracht van de wind een veel grotere kracht veroorzaakt in vergelijking met de kracht ten gevolge van de schuinstand. Het was dus niet nodig om deze kracht in te rekenen bij de berekeningen. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat met een maximale schuinstand gewerkt wordt waarbij de gevel net niet omkantelt. Indien met grotere schuinstanden gewerkt zou worden, dan ging de kracht ten gevolge van de schuinstand groter worden waardoor deze zeker ingerekend moet worden. Dit is echter niet realistisch, want bij grotere schuinstanden zal de gevel het begeven.

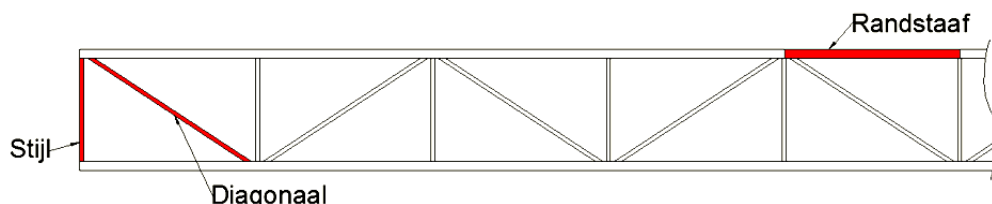
Voor deze thesis werden ook trek- en afschuifproeven gedaan op mestelwerk en beton. De grootste vaststelling die hier werd gedaan is dat bij het reinigen van het boorgat zowel aandacht besteed moet worden aan het uitblazen en het borstelen van het boorgat. Vaak wordt het borstelen verwaarloosd. De bekomen resultaten zijn een stuk hoger wanneer het boorgat wel geborsteld wordt. Wanneer de ankers in de voeg geplaatst wordt, dan werd een sterkte bekomen die 50 % groter is en voor de ankers in het metselwerk een sterkte die 82 % groter is. Het is dus zeker noodzakelijk dat ook aandacht besteed wordt aan het borstelen zodat de ankers een grotere sterkte kunnen opnemen. Daarnaast werd de boordiepte van de ankers ook gevarieerd en naarmate deze groter werd, werd ook een grotere sterkte bekomen die de ankers kunnen opnemen. Ook wanneer meerdere ankers in groep worden geplaatst, zal een grotere sterkte opgenomen kunnen worden. Dit kan eenvoudig verklaard worden doordat de op te nemen krachten verdeeld worden over de verschillende ankers. Het in groep plaatsen van de ankers gebeurt voor de toepassing met schoorbalken waarbij de verankering

uitgevoerd wordt in de voor- en achtergevel. Tenslotte werd op de Dywidagstang en Dywidagmoer een trekproef uitgevoerd zodat onderzocht kan worden bij welke kracht de stang of de moer het begeven. Dit was het geval bij een trekkracht van 173 kN. Volgens de technische fiche was de working load van de stang 90 kN en van de moer 100 kN. Opnieuw is hier een voldoende grote veiligheid aanwezig.

Zowel voor de speldanker, de schoorbalk als de driepuntschoor werd gecontroleerd of het materiaal voldoet wanneer de belastingen inwerken op het materiaal. Voor alle drie de types werd steeds gewerkt met de grootste windbelasting waarmee tijdens deze thesis gewerkt werd ( $1106,5 \text{ N/mm}^2$ ). Voor de speldanker diende wel eerst onderzocht te worden welke oppervlakte van de gevel 1 speldanker opneemt. Uit onderzoek bleek dat 1 speldanker een oppervlakte van  $10,69 \text{ m}^2$  opneemt. Vervolgens werd theoretisch berekend dat de maximale belasting die terecht mag komen op het UPN100 profiel van 1 meter 92 kN mag zijn. Dit is een zeer grote belasting en uit de berekeningen van SCIA zal blijken dat zo'n belasting een te grote buigtrekspanning zal veroorzaken in het metselwerk. Standaard wordt gewerkt met een maximale belasting van 24 kN die terecht mag komen op het anker. Bijgevolg zit dus een grote veiligheid op het profiel. Uit berekeningen volgt ook dat een kleiner profiel, namelijk een UPN80 profiel, gebruik kan worden. Ook hier is nog steeds voldoende veiligheid aanwezig, want op dit profiel mag een maximale belasting van 60,8 kN terecht komen.

Om te controleren of de schoorbalk voldoet, werden drie controles uitgevoerd, namelijk een weerstandscontrole, een stabiliteitscontrole en een controle op de doorbuiging. Hieruit blijkt dat de controle van de doorbuiging de strengste eis oplevert en bijgevolg worden de verdere berekeningen met deze eis uitgevoerd. Vervolgens kon dan berekend worden hoeveel steunvoeten geplaatst moeten worden indien de breedte van de gemene muur wijzigt of indien andere profielen gebruikt worden. In de praktijk wordt standaard gewerkt met UPN180 profielen. Wanneer dit toegepast wordt op een gemene muur van 10 meter breed, dan moeten drie steunvoeten geplaatst worden. Uit de berekeningen volgt ook dat met een UPN120 profiel ook drie steunvoeten voorzien moeten worden. In dit geval is het dus mogelijk om met kleinere profielen te werken.

Voor de driepuntschoor werden dezelfde drie controles uitgevoerd als voor de schoorbalk. Op de driepuntschoor werden drie krachten ingerekend, namelijk de windkracht, de schuinstand van de gevel en het eigen gewicht van de driepuntschoor. Vooraleer deze controles uitgevoerd konden worden, moest eerst op zoek gegaan worden naar de krachten in de meest belaste randstaaf, stijl en diagonaal. Deze staven zijn weergegeven op Figuur 174.



**Figuur 174: Meest belaste staven**

Eenmaal deze krachten gekend waren, konden deze controles uitgevoerd worden. Opnieuw bleek dat voor de driepuntschoor met zeer grote veiligheden gewerkt worden.

In SCIA werd het onderdeel speldankers uitvoerig onderzocht. Bij deze schoring is de mogelijkheid tot variatie veel groter in vergelijking met schoorbalken. In het softwareprogramma werd de constructie voornamelijk gecontroleerd op vervorming en buigtrekspanningen van het metselwerk. Al snel werd duidelijk dat het plaatsen van schoring absoluut vereist is voor de stabiliteit van de gemene muur en dus ook om de stabiliteit van het volledig gebouw te verzekeren.

De technische eigenschappen van het metselwerk werden in samenspraak met verschillende specialisten besproken zodat de bekomen resultaten zo dicht mogelijk bij de realiteit zouden aanleunen. Uit vooronderzoek werd een oppervlakte van 10,69 m<sup>2</sup> vooropgesteld dat de speldanker zou opnemen, uit de simulaties met SCIA werd dit bevestigd. Zowel de vervorming als de buigtrekspanningen van het metselwerk overschrijdt nooit de toegelaten grenswaarde.

Uit de simulaties is ook gebleken dat de maximale vervorming telkens plaatsvindt bovenaan de gemene muur omdat zich daar een uitkraging voordoet. Een mogelijke oplossing is het plaatsen van een extra speldanker bovenaan de gevel in horizontale richting. Jammer genoeg is dit niet altijd mogelijk door gebrek aan verankeringspunten. Maar dit is absoluut aan te raden bij het schoren van gemene muren.

Het plaatsen van slechts twee speldanker per rij is geen succes gebleken, de buigtrekspanningen van het metselwerk dwarsboomt deze eventuele besparing van materiaal. Het plaatsen van één rij speldankers per twee verdiepingen is dan wel een mogelijke besparing die zeker verder onderzoek vergt. De stabiliteit van gemene muren is echter een zeer complexe materie waar beter veilig genoeg gewerkt wordt, dan gebruik te maken van mogelijke besparingen.

De dikte van de gemene muur speelt ook een zeer belangrijke rol bij het schoren van gemene muren. Wanneer een dikte van 15 cm bij gemene muren niet gehaald wordt dan eist dit extra aandacht en is het misschien aangewezen om meerdere speldankers te plaatsen per rij. Uiteraard stijgt de veiligheid evenredig met de dikte van de gemene muur. Andere parameters van het metselwerk zoals de massa-eenheid en vermindering van de E-modulus spelen geen rol bij de veiligheid van het schoren.



# **BIJLAGE**

## Bijlage 1: Dynamische piekdruk voor een terugkeerperiode van 50 jaar

Dynamisch piekdruk bij  $v_{b,0} = 23$  m/s voor een terugkeerperiode van 50 jaar

| Hoogte<br>$z_e$ [m] | Terreincategorie |      |      |      |
|---------------------|------------------|------|------|------|
|                     | I                | II   | III  | IV   |
| 200                 | 1595             | 1514 | 1312 | 1082 |
| 175                 | 1561             | 1477 | 1272 | 1042 |
| 150                 | 1522             | 1434 | 1226 | 997  |
| 125                 | 1477             | 1384 | 1173 | 945  |
| 100                 | 1423             | 1325 | 1110 | 882  |
| 95                  | 1410             | 1311 | 1096 | 868  |
| 90                  | 1397             | 1297 | 1081 | 854  |
| 85                  | 1383             | 1282 | 1065 | 838  |
| 80                  | 1369             | 1266 | 1048 | 822  |
| 75                  | 1354             | 1249 | 1031 | 805  |
| 70                  | 1337             | 1232 | 1012 | 787  |
| 65                  | 1320             | 1213 | 992  | 767  |
| 60                  | 1301             | 1192 | 971  | 747  |
| 55                  | 1281             | 1170 | 948  | 724  |
| 50                  | 1259             | 1147 | 923  | 700  |
| 45                  | 1235             | 1121 | 896  | 674  |
| 40                  | 1209             | 1092 | 866  | 646  |
| 35                  | 1179             | 1060 | 833  | 614  |
| 30                  | 1145             | 1023 | 795  | 577  |
| 28                  | 1130             | 1007 | 778  | 562  |
| 26                  | 1114             | 989  | 761  | 545  |
| 24                  | 1096             | 971  | 742  | 527  |
| 22                  | 1078             | 951  | 721  | 507  |
| 20                  | 1057             | 929  | 699  | 487  |
| 18                  | 1035             | 905  | 675  | 464  |
| 16                  | 1011             | 879  | 648  | 439  |
| 14                  | 983              | 850  | 619  | 415  |
| 12                  | 952              | 816  | 585  | 381  |
| 10                  | 915              | 778  | 546  | 345  |
| 9                   | 895              | 756  | 524  | 345  |
| 8                   | 872              | 731  | 500  | 345  |
| 7                   | 846              | 704  | 473  | 345  |
| 6                   | 817              | 674  | 443  | 345  |
| 5                   | 782              | 638  | 408  | 345  |
| 2                   | 621              | 471  | 408  | 345  |
| 1                   | 509              | 471  | 408  | 345  |

Dynamisch piekdruk bij  $v_{b,0} = 24$  m/s voor een terugkeerperiode van 50 jaar

| Hoogte<br>$z_e$ [m] | Terreincategorie |      |      |      |
|---------------------|------------------|------|------|------|
|                     | I                | II   | III  | IV   |
| 200                 | 1737             | 1649 | 1428 | 1178 |
| 175                 | 1700             | 1608 | 1385 | 1135 |
| 150                 | 1658             | 1561 | 1335 | 1086 |
| 125                 | 1608             | 1507 | 1278 | 1029 |
| 100                 | 1549             | 1442 | 1209 | 961  |
| 95                  | 1535             | 1428 | 1193 | 946  |
| 90                  | 1521             | 1412 | 1177 | 930  |
| 85                  | 1506             | 1396 | 1160 | 913  |
| 80                  | 1491             | 1379 | 1142 | 895  |
| 75                  | 1474             | 1360 | 1122 | 876  |
| 70                  | 1456             | 1341 | 1102 | 856  |
| 65                  | 1437             | 1320 | 1080 | 835  |
| 60                  | 1417             | 1298 | 1057 | 813  |
| 55                  | 1395             | 1274 | 1032 | 789  |
| 50                  | 1371             | 1249 | 1005 | 763  |
| 45                  | 1345             | 1220 | 976  | 734  |
| 40                  | 1316             | 1189 | 943  | 703  |
| 35                  | 1283             | 1154 | 907  | 668  |
| 30                  | 1246             | 1114 | 866  | 629  |
| 28                  | 1230             | 1096 | 847  | 611  |
| 26                  | 1212             | 1077 | 828  | 593  |
| 24                  | 1194             | 1057 | 807  | 573  |
| 22                  | 1173             | 1035 | 785  | 552  |
| 20                  | 1151             | 1012 | 761  | 530  |
| 18                  | 1127             | 986  | 735  | 505  |
| 16                  | 1100             | 957  | 706  | 478  |
| 14                  | 1070             | 925  | 673  | 448  |
| 12                  | 1036             | 889  | 637  | 414  |
| 10                  | 997              | 847  | 595  | 376  |
| 9                   | 974              | 823  | 571  | 376  |
| 8                   | 949              | 796  | 545  | 376  |
| 7                   | 921              | 767  | 516  | 376  |
| 6                   | 889              | 733  | 483  | 376  |
| 5                   | 852              | 695  | 445  | 376  |
| 2                   | 676              | 512  | 445  | 376  |
| 1                   | 554              | 512  | 445  | 376  |

Dynamisch piekdruk bij  $v_{b,0} = 25$  m/s voor een terugkeerperiode van 50 jaar

| Hoogte<br>$z_e$ [m] | Terreincategorie |      |      |      |
|---------------------|------------------|------|------|------|
|                     | I                | II   | III  | IV   |
| 200                 | 1884             | 1789 | 1550 | 1278 |
| 175                 | 1844             | 1745 | 1503 | 1231 |
| 150                 | 1799             | 1694 | 1449 | 1178 |
| 125                 | 1745             | 1636 | 1386 | 1116 |
| 100                 | 1681             | 1565 | 1312 | 1043 |
| 95                  | 1666             | 1549 | 1295 | 1026 |
| 90                  | 1651             | 1532 | 1277 | 1009 |
| 85                  | 1634             | 1514 | 1258 | 990  |
| 80                  | 1617             | 1496 | 1239 | 971  |
| 75                  | 1599             | 1476 | 1218 | 951  |
| 70                  | 1580             | 1455 | 1196 | 929  |
| 65                  | 1559             | 1433 | 1172 | 907  |
| 60                  | 1537             | 1409 | 1147 | 882  |
| 55                  | 1514             | 1383 | 1120 | 856  |
| 50                  | 1488             | 1355 | 1091 | 828  |
| 45                  | 1459             | 1324 | 1059 | 797  |
| 40                  | 1428             | 1290 | 1023 | 763  |
| 35                  | 1393             | 1252 | 984  | 725  |
| 30                  | 1352             | 1208 | 939  | 682  |
| 28                  | 1335             | 1189 | 920  | 663  |
| 26                  | 1316             | 1169 | 899  | 643  |
| 24                  | 1295             | 1147 | 876  | 622  |
| 22                  | 1273             | 1123 | 852  | 599  |
| 20                  | 1249             | 1098 | 826  | 575  |
| 18                  | 1223             | 1070 | 797  | 548  |
| 16                  | 1194             | 1039 | 766  | 519  |
| 14                  | 1162             | 1004 | 731  | 486  |
| 12                  | 1125             | 965  | 691  | 450  |
| 10                  | 1081             | 919  | 645  | 408  |
| 9                   | 1057             | 893  | 620  | 408  |
| 8                   | 1030             | 864  | 591  | 408  |
| 7                   | 999              | 832  | 559  | 408  |
| 6                   | 965              | 796  | 524  | 408  |
| 5                   | 924              | 754  | 482  | 408  |
| 2                   | 733              | 556  | 482  | 408  |
| 1                   | 602              | 556  | 482  | 408  |

Dynamisch piekdruk bij  $v_{b,0} = 26$  m/s voor een terugkeerperiode van 50 jaar

| Hoogte<br>$z_e$ [m] | Terreincategorie |      |      |      |      |
|---------------------|------------------|------|------|------|------|
|                     | 0                | I    | II   | III  | IV   |
| 200                 | 2069             | 2038 | 1935 | 1676 | 1383 |
| 175                 | 2029             | 1995 | 1887 | 1625 | 1332 |
| 150                 | 1983             | 1945 | 1833 | 1567 | 1274 |
| 125                 | 1930             | 1887 | 1769 | 1500 | 1207 |
| 100                 | 1866             | 1818 | 1693 | 1419 | 1128 |
| 95                  | 1851             | 1802 | 1675 | 1400 | 1110 |
| 90                  | 1836             | 1785 | 1657 | 1381 | 1091 |
| 85                  | 1819             | 1768 | 1638 | 1361 | 1071 |
| 80                  | 1802             | 1749 | 1618 | 1340 | 1050 |
| 75                  | 1784             | 1730 | 1597 | 1317 | 1028 |
| 70                  | 1765             | 1709 | 1574 | 1293 | 1005 |
| 65                  | 1744             | 1687 | 1550 | 1268 | 980  |
| 60                  | 1722             | 1663 | 1524 | 1241 | 954  |
| 55                  | 1698             | 1637 | 1496 | 1212 | 926  |
| 50                  | 1672             | 1609 | 1465 | 1180 | 895  |
| 45                  | 1644             | 1578 | 1432 | 1145 | 862  |
| 40                  | 1612             | 1544 | 1395 | 1107 | 825  |
| 35                  | 1576             | 1506 | 1354 | 1064 | 784  |
| 30                  | 1536             | 1463 | 1307 | 1016 | 738  |
| 28                  | 1518             | 1444 | 1286 | 995  | 718  |
| 26                  | 1499             | 1423 | 1264 | 972  | 696  |
| 24                  | 1478             | 1401 | 1240 | 948  | 673  |
| 22                  | 1456             | 1377 | 1215 | 921  | 648  |
| 20                  | 1431             | 1351 | 1187 | 893  | 622  |
| 18                  | 1405             | 1323 | 1157 | 862  | 593  |
| 16                  | 1376             | 1291 | 1123 | 828  | 561  |
| 14                  | 1343             | 1256 | 1086 | 790  | 526  |
| 12                  | 1305             | 1216 | 1053 | 748  | 486  |
| 10                  | 1261             | 1170 | 994  | 698  | 441  |
| 9                   | 1236             | 1143 | 966  | 670  | 441  |
| 8                   | 1208             | 1114 | 935  | 639  | 441  |
| 7                   | 1177             | 1081 | 900  | 605  | 441  |
| 6                   | 1142             | 1043 | 861  | 566  | 441  |
| 5                   | 1100             | 1000 | 815  | 522  | 441  |
| 2                   | 903              | 793  | 601  | 522  | 441  |
| 1                   | 765              | 651  | 601  | 522  | 441  |

## **Bijlage 2: Gegevens van de winddruk voor een terugkeerperiode van 50 jaar**

**Geval 1:** Breedte gemene muur = 6 meter (diepte d van het gebouw):

| Aantal verdiepingen | hoogte h | Klassen    | $C_s C_d$ | $q_p(z)$ | $C_{pe}$ geval 1 | $C_{pi}$ | $C_{p,net}$ geval 1 | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] geval 1 |
|---------------------|----------|------------|-----------|----------|------------------|----------|---------------------|--------------------------------------|
| 1 verdieping        | 2,6      | Klasse 0   | 1         | 958      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -478,9                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 850      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -425,2                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 660      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -330,0                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 522      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -260,9                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 441      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -220,4                               |
| 2 verdiepingen      | 5,2      | Klasse 0   | 1         | 1109     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -554,6                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 1009     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -504,6                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 825      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -412,4                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 531      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -265,7                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 441      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -220,4                               |
| 3 verdiepingen      | 7,8      | Klasse 0   | 1         | 1202     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -601,1                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 1107     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -553,7                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 928      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -464,0                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 633      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -316,4                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 441      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -220,4                               |
| 4 verdiepingen      | 10,4     | Klasse 0   | 1         | 1270     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -635,2                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 1180     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -589,8                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 1004     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -502,2                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 709      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -354,3                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 450      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -225,2                               |
| 5 verdiepingen      | 13,0     | Klasse 0   | 1         | 1324     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -662,2                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 1237     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -618,5                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 1065     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -532,7                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 770      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -384,8                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 507      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -253,3                               |
| 6 verdiepingen      | 15,6     | Klasse 0   | 1         | 1369     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -684,6                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 1285     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -642,4                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 1116     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -558,1                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 821      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -410,5                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 554      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -277,2                               |
| 7 verdiepingen      | 18,2     | Klasse 0   | 1         | 1408     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -703,9                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 1326     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -662,9                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 1160     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -580,0                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 865      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -432,7                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 596      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -297,9                               |

**Geval 2:** Breedte gemene muur = 6 meter (diepte d van het gebouw):

| Aantal verdiepingen | hoogte h | Klassen    | C <sub>s</sub> C <sub>d</sub> | q <sub>p</sub> (z) | C <sub>pe</sub> geval 2 Zone A | C <sub>pe</sub> geval 2 Zone B | C <sub>pe</sub> geval 2 Zone C | C <sub>pi</sub> | C <sub>p, net</sub> geval 2 Zone A | C <sub>p, net</sub> geval 2 Zone B | C <sub>p, net</sub> geval 2 Zone C | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] geval 2 - Zone A | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] geval 2 - Zone B | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] geval 2 - Zone C |
|---------------------|----------|------------|-------------------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---|---|---|
| 1 verdieping        | 2,6      | Klasse 0   | 1                             | 958                | -1,2                           | -0,8                           | -0,5                           | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -0,7                               | -1341,0                                       | -957,8  | -670,5  |
|                     |          | Klasse I   | 1                             | 850                | -1,2                           | -0,8                           | -0,5                           | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -0,7                               | -1190,5                                       | -850,4  | -595,3  |
|                     |          | Klasse II  | 1                             | 660                | -1,2                           | -0,8                           | -0,5                           | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -0,7                               | -924,0  | -660,0  | -462,0  |
|                     |          | Klasse III | 1                             | 522                | -1,2                           | -0,8                           | -0,5                           | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -0,7                               | -730,6  | -521,9  | -365,3  |
|                     |          | Klasse IV  | 1                             | 441                | -1,2                           | -0,8                           | -0,5                           | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -0,7                               | -617,2  | -440,8  | -308,6  |
| 2 verdiepingen      | 5,2      | Klasse 0   | 1                             | 1109               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1552,8                                       | -1109,1                                       | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1                             | 1009               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1412,8                                       | -1009,2                                       | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1                             | 825                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1154,8                                       | -824,9  | -   |
|                     |          | Klasse III | 1                             | 531                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -743,9  | -531,3  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1                             | 441                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -617,2  | -440,8  | -   |
| 3 verdiepingen      | 7,8      | Klasse 0   | 1                             | 1202               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1683,1                                       | -1202,2                                       | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1                             | 1107               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1550,5                                       | -1107,5                                       | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1                             | 928                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1299,3                                       | -928,1  | -   |
|                     |          | Klasse III | 1                             | 633                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -885,8  | -632,7  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1                             | 441                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -617,2  | -440,8  | -   |
| 4 verdiepingen      | 10,4     | Klasse 0   | 1                             | 1270               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1778,5                                       | -1270,3                                       | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1                             | 1180               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1651,5                                       | -1179,7                                       | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1                             | 1004               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1406,1                                       | -1004,4                                       | -   |
|                     |          | Klasse III | 1                             | 709                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -992,1  | -708,6  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1                             | 450                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -630,7  | -450,5  | -   |
| 5 verdiepingen      | 13,0     | Klasse 0   | 1                             | 1324               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1854,1                                       | -1324,3                                       | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1                             | 1237               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1731,8                                       | -1237,0                                       | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1                             | 1065               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1491,4                                       | -1065,3                                       | -   |
|                     |          | Klasse III | 1                             | 770                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1077,6                                       | -769,7  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1                             | 507                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -709,4  | -506,7  | -   |
| 6 verdiepingen      | 15,6     | Klasse 0   | 1                             | 1369               | -1,2                           | -                              | -                              | 0,2             | -1,4                               | -                                  | -                                  | -1916,9                                       | -   | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1                             | 1285               | -1,2                           | -                              | -                              | 0,2             | -1,4                               | -                                  | -                                  | -1798,7                                       | -   | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1                             | 1116               | -1,2                           | -                              | -                              | 0,2             | -1,4                               | -                                  | -                                  | -1562,7                                       | -   | -   |
|                     |          | Klasse III | 1                             | 821                | -1,2                           | -                              | -                              | 0,2             | -1,4                               | -                                  | -                                  | -1149,5                                       | -   | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1                             | 554                | -1,2                           | -                              | -                              | 0,2             | -1,4                               | -                                  | -                                  | -776,1  | -   | -   |
| 7 verdiepingen      | 18,2     | Klasse 0   | 1                             | 1408               | -1,2                           | -                              | -                              | 0,2             | -1,4                               | -                                  | -                                  | -1970,8                                       | -   | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1                             | 1326               | -1,2                           | -                              | -                              | 0,2             | -1,4                               | -                                  | -                                  | -1856,2                                       | -   | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1                             | 1160               | -1,2                           | -                              | -                              | 0,2             | -1,4                               | -                                  | -                                  | -1624,0                                       | -   | -   |
|                     |          | Klasse III | 1                             | 865                | -1,2                           | -                              | -                              | 0,2             | -1,4                               | -                                  | -                                  | -1211,7                                       | -   | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1                             | 596                | -1,2                           | -                              | -                              | 0,2             | -1,4                               | -                                  | -                                  | -834,1  | -   | -   |



**Geval 1:** Breedte gemene muur = **8 meter** (diepte d van het gebouw):

| Aantal verdiepingen | hoogte h | Klassen    | $C_s C_d$ | $q_p(z)$ | $C_{pe}$ geval 1 | $C_{pi}$ | $C_{p,net}$ geval 1 | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] geval 1 |
|---------------------|----------|------------|-----------|----------|------------------|----------|---------------------|--------------------------------------|
| 1 verdieping        | 2,6      | Klasse 0   | 1         | 958      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -478,9                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 850      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -425,2                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 660      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -330,0                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 522      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -260,9                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 441      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -220,4                               |
| 2 verdiepingen      | 5,2      | Klasse 0   | 1         | 1109     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -554,6                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 1009     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -504,6                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 825      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -412,4                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 531      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -265,7                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 441      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -220,4                               |
| 3 verdiepingen      | 7,8      | Klasse 0   | 1         | 1202     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -601,1                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 1107     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -553,7                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 928      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -464,0                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 633      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -316,4                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 441      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -220,4                               |
| 4 verdiepingen      | 10,4     | Klasse 0   | 1         | 1270     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -635,2                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 1180     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -589,8                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 1004     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -502,2                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 709      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -354,3                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 450      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -225,2                               |
| 5 verdiepingen      | 13,0     | Klasse 0   | 1         | 1324     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -662,2                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 1237     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -618,5                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 1065     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -532,7                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 770      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -384,8                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 507      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -253,3                               |
| 6 verdiepingen      | 15,6     | Klasse 0   | 1         | 1369     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -684,6                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 1285     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -642,4                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 1116     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -558,1                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 821      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -410,5                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 554      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -277,2                               |
| 7 verdiepingen      | 18,2     | Klasse 0   | 1         | 1408     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -703,9                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 1326     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -662,9                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 1160     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -580,0                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 865      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -432,7                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 596      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -297,9                               |

**Geval 2:** Breedte gemene muur = 8 meter (diepte d van het gebouw):

| Aantal verdiepingen | hoogte h | Klassen    | C <sub>s</sub> C <sub>d</sub> | q <sub>p</sub> (z) | C <sub>pe</sub> geval 2 Zone A | C <sub>pe</sub> geval 2 Zone B | C <sub>pe</sub> geval 2 Zone C | C <sub>pi</sub> | C <sub>p, net</sub> geval 2 Zone A | C <sub>p, net</sub> geval 2 Zone B | C <sub>p, net</sub> geval 2 Zone C | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] geval 2 - Zone A | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] geval 2 - Zone B | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] geval 2 - Zone C |
|---------------------|----------|------------|-------------------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---|---|---|
| 1 verdieping        | 2,6      | Klasse 0   | 1                             | 958                | -1,2                           | -0,8                           | -0,5                           | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -0,7                               | -1341,0                                       | -957,8  | -670,5  |
|                     |          | Klasse I   | 1                             | 850                | -1,2                           | -0,8                           | -0,5                           | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -0,7                               | -1190,5                                       | -850,4  | -595,3  |
|                     |          | Klasse II  | 1                             | 660                | -1,2                           | -0,8                           | -0,5                           | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -0,7                               | -924,0  | -660,0  | -462,0  |
|                     |          | Klasse III | 1                             | 522                | -1,2                           | -0,8                           | -0,5                           | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -0,7                               | -730,6  | -521,9  | -365,3  |
|                     |          | Klasse IV  | 1                             | 441                | -1,2                           | -0,8                           | -0,5                           | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -0,7                               | -617,2  | -440,8  | -308,6  |
| 2 verdiepingen      | 5,2      | Klasse 0   | 1                             | 1109               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1552,8                                       | -1109,1                                       | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1                             | 1009               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1412,8                                       | -1009,2                                       | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1                             | 825                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1154,8                                       | -824,9  | -   |
|                     |          | Klasse III | 1                             | 531                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -743,9  | -531,3  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1                             | 441                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -617,2  | -440,8  | -   |
| 3 verdiepingen      | 7,8      | Klasse 0   | 1                             | 1202               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1683,1                                       | -1202,2                                       | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1                             | 1107               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1550,5                                       | -1107,5                                       | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1                             | 928                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1299,3                                       | -928,1  | -   |
|                     |          | Klasse III | 1                             | 633                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -885,8  | -632,7  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1                             | 441                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -617,2  | -440,8  | -   |
| 4 verdiepingen      | 10,4     | Klasse 0   | 1                             | 1270               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1778,5                                       | -1270,3                                       | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1                             | 1180               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1651,5                                       | -1179,7                                       | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1                             | 1004               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1406,1                                       | -1004,4                                       | -   |
|                     |          | Klasse III | 1                             | 709                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -992,1  | -708,6  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1                             | 450                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -630,7  | -450,5  | -   |
| 5 verdiepingen      | 13,0     | Klasse 0   | 1                             | 1324               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1854,1                                       | -1324,3                                       | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1                             | 1237               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1731,8                                       | -1237,0                                       | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1                             | 1065               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1491,4                                       | -1065,3                                       | -   |
|                     |          | Klasse III | 1                             | 770                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1077,6                                       | -769,7  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1                             | 507                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -709,4  | -506,7  | -   |
| 6 verdiepingen      | 15,6     | Klasse 0   | 1                             | 1369               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1916,9                                       | -1369,2                                       | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1                             | 1285               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1798,7                                       | -1284,8                                       | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1                             | 1116               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1562,7                                       | -1116,2                                       | -   |
|                     |          | Klasse III | 1                             | 821                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1149,5                                       | -821,0  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1                             | 554                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -776,1  | -554,3  | -   |
| 7 verdiepingen      | 18,2     | Klasse 0   | 1                             | 1408               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1970,8                                       | -1407,7                                       | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1                             | 1326               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1856,2                                       | -1325,8                                       | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1                             | 1160               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1624,0                                       | -1160,0                                       | -   |
|                     |          | Klasse III | 1                             | 865                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1211,7                                       | -865,5  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1                             | 596                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -834,1  | -595,8  | -   |

**Geval 1:** Breedte gemene muur = **10 meter** (diepte d van het gebouw):

| Aantal verdiepingen | hoogte h | Klassen    | $C_s C_d$ | $q_p(z)$ | $C_{pe}$ geval 1 | $C_{pi}$ | $C_{p,net}$ geval 1 | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] geval 1 |
|---------------------|----------|------------|-----------|----------|------------------|----------|---------------------|--------------------------------------|
| 1 verdieping        | 2,6      | Klasse 0   | 1         | 958      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -478,9                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 850      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -425,2                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 660      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -330,0                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 522      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -260,9                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 441      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -220,4                               |
| 2 verdiepingen      | 5,2      | Klasse 0   | 1         | 1109     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -554,6                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 1009     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -504,6                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 825      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -412,4                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 531      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -265,7                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 441      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -220,4                               |
| 3 verdiepingen      | 7,8      | Klasse 0   | 1         | 1202     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -601,1                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 1107     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -553,7                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 928      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -464,0                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 633      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -316,4                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 441      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -220,4                               |
| 4 verdiepingen      | 10,4     | Klasse 0   | 1         | 1270     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -635,2                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 1180     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -589,8                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 1004     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -502,2                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 709      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -354,3                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 450      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -225,2                               |
| 5 verdiepingen      | 13,0     | Klasse 0   | 1         | 1324     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -662,2                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 1237     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -618,5                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 1065     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -532,7                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 770      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -384,8                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 507      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -253,3                               |
| 6 verdiepingen      | 15,6     | Klasse 0   | 1         | 1369     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -684,6                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 1285     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -642,4                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 1116     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -558,1                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 821      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -410,5                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 554      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -277,2                               |
| 7 verdiepingen      | 18,2     | Klasse 0   | 1         | 1408     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -703,9                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 1326     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -662,9                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 1160     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -580,0                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 865      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -432,7                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 596      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -297,9                               |

**Geval 2:** Breedte gemene muur = **10 meter** (diepte d van het gebouw):

| Aantal verdiepingen | hoogte h | Klassen    | C <sub>s</sub> C <sub>d</sub> | q <sub>p</sub> (z) | C <sub>pe</sub> geval 2 Zone A | C <sub>pe</sub> geval 2 Zone B | C <sub>pe</sub> geval 2 Zone C | C <sub>pi</sub> | C <sub>p, net</sub> geval 2 Zone A | C <sub>p, net</sub> geval 2 Zone B | C <sub>p, net</sub> geval 2 Zone C | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] geval 2 - Zone A | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] geval 2 - Zone B | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] geval 2 - Zone C |
|---------------------|----------|------------|-------------------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---|---|---|
| 1 verdieping        | 2,6      | Klasse 0   | 1                             | 958                | -1,2                           | -0,8                           | -0,5                           | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -0,7                               | -1341,0                                       | -957,8  | -670,5  |
|                     |          | Klasse I   | 1                             | 850                | -1,2                           | -0,8                           | -0,5                           | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -0,7                               | -1190,5                                       | -850,4  | -595,3  |
|                     |          | Klasse II  | 1                             | 660                | -1,2                           | -0,8                           | -0,5                           | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -0,7                               | -924,0  | -660,0  | -462,0  |
|                     |          | Klasse III | 1                             | 522                | -1,2                           | -0,8                           | -0,5                           | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -0,7                               | -730,6  | -521,9  | -365,3  |
|                     |          | Klasse IV  | 1                             | 441                | -1,2                           | -0,8                           | -0,5                           | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -0,7                               | -617,2  | -440,8  | -308,6  |
| 2 verdiepingen      | 5,2      | Klasse 0   | 1                             | 1109               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1552,8                                       | -1109,1                                       | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1                             | 1009               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1412,8                                       | -1009,2                                       | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1                             | 825                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1154,8                                       | -824,9  | -   |
|                     |          | Klasse III | 1                             | 531                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -743,9  | -531,3  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1                             | 441                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -617,2  | -440,8  | -   |
| 3 verdiepingen      | 7,8      | Klasse 0   | 1                             | 1202               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1683,1                                       | -1202,2                                       | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1                             | 1107               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1550,5                                       | -1107,5                                       | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1                             | 928                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1299,3                                       | -928,1  | -   |
|                     |          | Klasse III | 1                             | 633                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -885,8  | -632,7  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1                             | 441                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -617,2  | -440,8  | -   |
| 4 verdiepingen      | 10,4     | Klasse 0   | 1                             | 1270               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1778,5                                       | -1270,3                                       | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1                             | 1180               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1651,5                                       | -1179,7                                       | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1                             | 1004               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1406,1                                       | -1004,4                                       | -   |
|                     |          | Klasse III | 1                             | 709                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -992,1  | -708,6  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1                             | 450                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -630,7  | -450,5  | -   |
| 5 verdiepingen      | 13,0     | Klasse 0   | 1                             | 1324               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1854,1                                       | -1324,3                                       | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1                             | 1237               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1731,8                                       | -1237,0                                       | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1                             | 1065               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1491,4                                       | -1065,3                                       | -   |
|                     |          | Klasse III | 1                             | 770                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1077,6                                       | -769,7  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1                             | 507                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -709,4  | -506,7  | -   |
| 6 verdiepingen      | 15,6     | Klasse 0   | 1                             | 1369               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1916,9                                       | -1369,2                                       | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1                             | 1285               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1798,7                                       | -1284,8                                       | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1                             | 1116               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1562,7                                       | -1116,2                                       | -   |
|                     |          | Klasse III | 1                             | 821                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1149,5                                       | -821,0  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1                             | 554                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -776,1  | -554,3  | -   |
| 7 verdiepingen      | 18,2     | Klasse 0   | 1                             | 1408               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1970,8                                       | -1407,7                                       | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1                             | 1326               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1856,2                                       | -1325,8                                       | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1                             | 1160               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1624,0                                       | -1160,0                                       | -   |
|                     |          | Klasse III | 1                             | 865                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1211,7                                       | -865,5  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1                             | 596                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -834,1  | -595,8  | -   |

**Geval 1:** Breedte gemene muur = **12 meter** (diepte d van het gebouw):

| Aantal verdiepingen | hoogte h | Klassen    | $C_s C_d$ | $q_p(z)$ | $C_{pe}$ geval 1 | $C_{pi}$ | $C_{p,net}$ geval 1 | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] geval 1 |
|---------------------|----------|------------|-----------|----------|------------------|----------|---------------------|--------------------------------------|
| 1 verdieping        | 2,6      | Klasse 0   | 1         | 958      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -478,9                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 850      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -425,2                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 660      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -330,0                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 522      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -260,9                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 441      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -220,4                               |
| 2 verdiepingen      | 5,2      | Klasse 0   | 1         | 1109     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -554,6                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 1009     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -504,6                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 825      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -412,4                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 531      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -265,7                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 441      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -220,4                               |
| 3 verdiepingen      | 7,8      | Klasse 0   | 1         | 1202     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -601,1                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 1107     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -553,7                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 928      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -464,0                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 633      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -316,4                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 441      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -220,4                               |
| 4 verdiepingen      | 10,4     | Klasse 0   | 1         | 1270     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -635,2                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 1180     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -589,8                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 1004     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -502,2                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 709      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -354,3                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 450      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -225,2                               |
| 5 verdiepingen      | 13,0     | Klasse 0   | 1         | 1324     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -662,2                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 1237     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -618,5                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 1065     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -532,7                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 770      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -384,8                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 507      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -253,3                               |
| 6 verdiepingen      | 15,6     | Klasse 0   | 1         | 1369     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -684,6                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 1285     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -642,4                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 1116     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -558,1                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 821      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -410,5                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 554      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -277,2                               |
| 7 verdiepingen      | 18,2     | Klasse 0   | 1         | 1408     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -703,9                               |
|                     |          | Klasse I   | 1         | 1326     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -662,9                               |
|                     |          | Klasse II  | 1         | 1160     | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -580,0                               |
|                     |          | Klasse III | 1         | 865      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -432,7                               |
|                     |          | Klasse IV  | 1         | 596      | -0,3             | 0,2      | -0,5                | -297,9                               |

**Geval 2:** Breedte gemene muur = **12 meter** (diepte d van het gebouw):

| Aantal verdiepingen | hoogte h | Klassen    | C <sub>s</sub> C <sub>d</sub> | q <sub>p</sub> (z) | C <sub>pe</sub> geval 2 Zone A | C <sub>pe</sub> geval 2 Zone B | C <sub>pe</sub> geval 2 Zone C | C <sub>pi</sub> | C <sub>p, net</sub> geval 2 Zone A | C <sub>p, net</sub> geval 2 Zone B | C <sub>p, net</sub> geval 2 Zone C | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] geval 2 - Zone A | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] geval 2 - Zone B | Winddruk [N/m <sup>2</sup> ] geval 2 - Zone C |
|---------------------|----------|------------|-------------------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---|---|---|
| 1 verdieping        | 2,6      | Klasse 0   | 1                             | 958                | -1,2                           | -0,8                           | -0,5                           | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -0,7                               | -1341,0                                       | -957,8  | -670,5  |
|                     |          | Klasse I   | 1                             | 850                | -1,2                           | -0,8                           | -0,5                           | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -0,7                               | -1190,5                                       | -850,4  | -595,3  |
|                     |          | Klasse II  | 1                             | 660                | -1,2                           | -0,8                           | -0,5                           | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -0,7                               | -924,0  | -660,0  | -462,0  |
|                     |          | Klasse III | 1                             | 522                | -1,2                           | -0,8                           | -0,5                           | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -0,7                               | -730,6  | -521,9  | -365,3  |
|                     |          | Klasse IV  | 1                             | 441                | -1,2                           | -0,8                           | -0,5                           | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -0,7                               | -617,2  | -440,8  | -308,6  |
| 2 verdiepingen      | 5,2      | Klasse 0   | 1                             | 1109               | -1,2                           | -0,8                           | -0,5                           | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -0,7                               | -1552,8                                       | -1109,1                                       | -776,4  |
|                     |          | Klasse I   | 1                             | 1009               | -1,2                           | -0,8                           | -0,5                           | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -0,7                               | -1412,8                                       | -1009,2                                       | -706,4  |
|                     |          | Klasse II  | 1                             | 825                | -1,2                           | -0,8                           | -0,5                           | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -0,7                               | -1154,8                                       | -824,9  | -577,4  |
|                     |          | Klasse III | 1                             | 531                | -1,2                           | -0,8                           | -0,5                           | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -0,7                               | -743,9  | -531,3  | -371,9  |
|                     |          | Klasse IV  | 1                             | 441                | -1,2                           | -0,8                           | -0,5                           | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -0,7                               | -617,2  | -440,8  | -308,6  |
| 3 verdiepingen      | 7,8      | Klasse 0   | 1                             | 1202               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1683,1                                       | -1202,2                                       | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1                             | 1107               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1550,5                                       | -1107,5                                       | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1                             | 928                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1299,3                                       | -928,1  | -   |
|                     |          | Klasse III | 1                             | 633                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -885,8  | -632,7  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1                             | 441                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -617,2  | -440,8  | -   |
| 4 verdiepingen      | 10,4     | Klasse 0   | 1                             | 1270               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1778,5                                       | -1270,3                                       | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1                             | 1180               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1651,5                                       | -1179,7                                       | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1                             | 1004               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1406,1                                       | -1004,4                                       | -   |
|                     |          | Klasse III | 1                             | 709                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -992,1  | -708,6  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1                             | 450                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -630,7  | -450,5  | -   |
| 5 verdiepingen      | 13,0     | Klasse 0   | 1                             | 1324               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1854,1                                       | -1324,3                                       | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1                             | 1237               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1731,8                                       | -1237,0                                       | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1                             | 1065               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1491,4                                       | -1065,3                                       | -   |
|                     |          | Klasse III | 1                             | 770                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1077,6                                       | -769,7  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1                             | 507                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -709,4  | -506,7  | -   |
| 6 verdiepingen      | 15,6     | Klasse 0   | 1                             | 1369               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1916,9                                       | -1369,2                                       | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1                             | 1285               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1798,7                                       | -1284,8                                       | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1                             | 1116               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1562,7                                       | -1116,2                                       | -   |
|                     |          | Klasse III | 1                             | 821                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1149,5                                       | -821,0  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1                             | 554                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -776,1  | -554,3  | -   |
| 7 verdiepingen      | 18,2     | Klasse 0   | 1                             | 1408               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1970,8                                       | -1407,7                                       | -   |
|                     |          | Klasse I   | 1                             | 1326               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1856,2                                       | -1325,8                                       | -   |
|                     |          | Klasse II  | 1                             | 1160               | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1624,0                                       | -1160,0                                       | -   |
|                     |          | Klasse III | 1                             | 865                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -1211,7                                       | -865,5  | -   |
|                     |          | Klasse IV  | 1                             | 596                | -1,2                           | -0,8                           | -                              | 0,2             | -1,4                               | -1                                 | -                                  | -834,1  | -595,8  | -   |

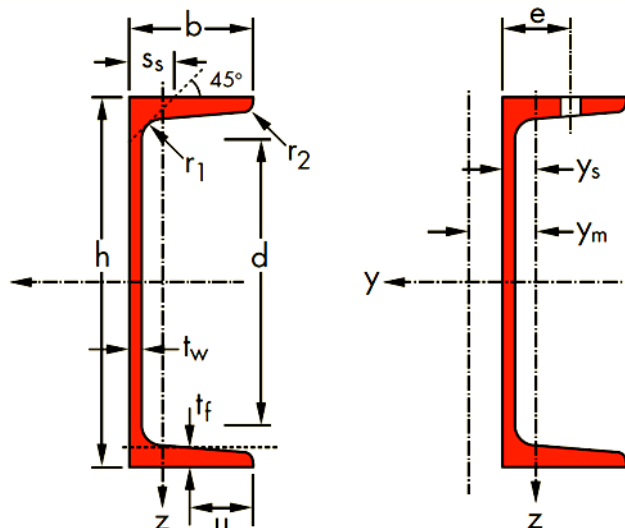
### Bijlage 3: Gegevens UPN100 profiel en ankerstangen Hilti

Technische fiche van een UPN100 profiel:

| UPN 100     |           |           |                        |                        |                        |                        |   |           |
|-------------|-----------|-----------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|---|-----------|
| G<br>[kg/m] | h<br>[mm] | b<br>[mm] | t <sub>w</sub><br>[mm] | t <sub>f</sub><br>[mm] | r <sub>1</sub><br>[mm] | r <sub>2</sub><br>[mm] | A [mm <sup>2</sup> ] x<br>10 <sup>2</sup> | d<br>[mm] |
| 10,6        | 100       | 50        | 6,0                    | 8,5                    | 8,5                    | 4,5                    | 13,5                                      | 64        |

| I <sub>y</sub> [mm <sup>4</sup> ] x 10 <sup>4</sup> | W <sub>ely</sub> [mm <sup>3</sup> ] x 10 <sup>3</sup> | W <sub>ply</sub> [mm <sup>3</sup> ] x 10 <sup>3</sup> | i <sub>y</sub> [mm] x 10 | A <sub>vz</sub> [mm <sup>2</sup> ] x 10 <sup>2</sup> |
|---|---|---|--------------------------|--|
| 206   | 41,2  | 49,0  | 3,91                     | 6,46   |

| I <sub>z</sub> [mm <sup>4</sup> ] x 10 <sup>4</sup> | W <sub>elz</sub> [mm <sup>3</sup> ] x 10 <sup>3</sup> | W <sub>plz</sub> [mm <sup>3</sup> ] x 10 <sup>3</sup> | i <sub>z</sub> [mm] x 10 | I <sub>t</sub> [mm <sup>4</sup> ] x 10 <sup>4</sup> | I <sub>w</sub> [mm <sup>6</sup> ] x 10 <sup>9</sup> |
|---|---|---|--------------------------|---|---|
| 29,3  | 8,49  | 16,2  | 1,47                     | 2,81  | 0,41  |



#### Technische gegevens van injectiemortel HIT-RE 500 SD met HIT-V ankerstangen Betonsterkte klasse C 20/25

|                          |                     |    | Ø8                               | Ø10  | Ø12  | Ø16  | Ø20                                | Ø24  | Ø27  | Ø30  |
|--------------------------|---------------------|----|----------------------------------|------|------|------|------------------------------------|------|------|------|
| <b>Ongescheurd beton</b> |                     |    |                                  |      |      |      |                                    |      |      |      |
| Trek                     | N <sub>rec</sub>    | kN | 8,6                              | 13,8 | 20,0 | 24,0 | 38,1                               | 52,3 | 63,9 | 76,2 |
| Afschuif                 | V <sub>rec</sub>    | kN | 5,1                              | 8,6  | 12,0 | 22,3 | 34,9                               | 50,3 | 65,7 | 80,0 |
| <b>Gescheurd beton</b>   |                     |    |                                  |      |      |      |                                    |      |      |      |
| Trek                     | N <sub>rec</sub>    | kN | 6,4                              | 9,0  | 12,3 | 15,0 | 25,4                               | 37,3 | 45,0 | 51,9 |
| Afschuif                 | V <sub>rec</sub>    | kN | 5,1                              | 8,6  | 12,0 | 22,3 | 34,9                               | 50,3 | 65,7 | 80,0 |
| Boordiameter             | d <sub>0</sub>      | mm | 10                               | 12   | 14   | 18   | 24                                 | 28   | 30   | 35   |
| Boordiepte minimum       | h <sub>ef,min</sub> | mm | 40                               | 40   | 48   | 64   | 80                                 | 96   | 108  | 120  |
| Boordiepte maximum       | h <sub>ef,max</sub> | mm | 160                              | 200  | 240  | 320  | 400                                | 480  | 540  | 600  |
| Min. betondikte          | h <sub>min</sub>    | mm | h <sub>ef</sub> + 30 mm >= 100mm |      |      |      | h <sub>ef</sub> + 2 d <sub>0</sub> |      |      |      |
| Aandraaimoment           | T <sub>max</sub>    | Nm | 10                               | 20   | 40   | 80   | 150                                | 200  | 270  | 300  |
| Min. randafstand         | C <sub>min</sub>    | mm | 40                               | 50   | 60   | 80   | 100                                | 120  | 135  | 150  |
| Min. hoh.-afstand        | S <sub>min</sub>    | mm | 40                               | 50   | 60   | 80   | 100                                | 120  | 135  | 150  |

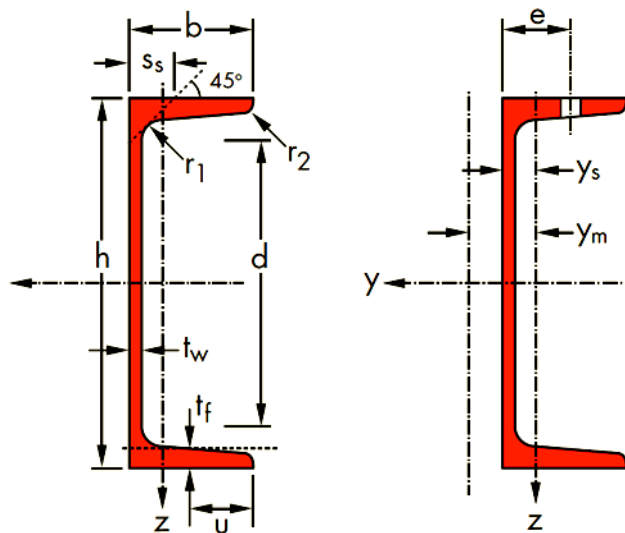
## Bijlage 4: Gegevens UPN180 profiel - Schoorbalk

Technische fiche van een UPN180 profiel:

| UPN 180     |           |           |                        |                        |                        |                        |   |           |
|-------------|-----------|-----------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|---|-----------|
| G<br>[kg/m] | h<br>[mm] | b<br>[mm] | t <sub>w</sub><br>[mm] | t <sub>f</sub><br>[mm] | r <sub>1</sub><br>[mm] | r <sub>2</sub><br>[mm] | A [mm <sup>2</sup> ] x<br>10 <sup>2</sup> | d<br>[mm] |
| 22,0        | 180       | 70        | 8,0                    | 11,0                   | 11,0                   | 5,5                    | 28,0                                      | 133       |

| I <sub>y</sub> [mm <sup>4</sup> ] x 10 <sup>4</sup> | W <sub>ely</sub> [mm <sup>3</sup> ] x 10 <sup>3</sup> | W <sub>ply</sub> [mm <sup>3</sup> ] x 10 <sup>3</sup> | i <sub>y</sub> [mm] x 10 | A <sub>vz</sub> [mm <sup>2</sup> ] x 10 <sup>2</sup> |
|---|---|---|--------------------------|--|
| 1350,0  | 150,0   | 179,0   | 6,95                     | 15,1   |

| I <sub>z</sub> [mm <sup>4</sup> ] x<br>10 <sup>4</sup> | W <sub>elz</sub> [mm <sup>3</sup> ] x<br>10 <sup>3</sup> | W <sub>plz</sub> [mm <sup>3</sup> ] x<br>10 <sup>3</sup> | i <sub>z</sub> [mm] x<br>10 | I <sub>t</sub> [mm <sup>4</sup> ] x<br>10 <sup>4</sup> | I <sub>w</sub> [mm <sup>6</sup> ] x<br>10 <sup>9</sup> |
|--|--|--|-----------------------------|--|--|
| 114,0  | 22,4   | 42,9   | 2,02                        | 9,55   | 5,57   |





**Bijlage 5: Tabel reductiefactor  $\chi$**

| Reductiefactoren $\chi$ |            |        |        |        |
|-------------------------|------------|--------|--------|--------|
| $\lambda_{LT}$          | Knikkromme |        |        |        |
|                         | a          | b      | c      | d      |
| 0,2                     | 1,0000     | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 |
| 0,3                     | 0,9775     | 0,9641 | 0,9491 | 0,9235 |
| 0,4                     | 0,9528     | 0,9261 | 0,8973 | 0,8504 |
| 0,5                     | 0,9243     | 0,8842 | 0,8430 | 0,7793 |
| 0,6                     | 0,8900     | 0,8371 | 0,7854 | 0,7100 |
| 0,7                     | 0,8477     | 0,7837 | 0,7247 | 0,6431 |
| 0,8                     | 0,7957     | 0,7245 | 0,6622 | 0,5797 |
| 0,9                     | 0,7339     | 0,6612 | 0,5998 | 0,5208 |
| 1,0                     | 0,6656     | 0,5970 | 0,5399 | 0,4671 |
| 1,1                     | 0,5960     | 0,5352 | 0,4842 | 0,4189 |
| 1,2                     | 0,5300     | 0,4781 | 0,4338 | 0,3762 |
| 1,3                     | 0,4703     | 0,4269 | 0,3888 | 0,3385 |
| 1,4                     | 0,4179     | 0,3817 | 0,3492 | 0,3055 |
| 1,5                     | 0,3724     | 0,3422 | 0,3145 | 0,2766 |
| 1,6                     | 0,3332     | 0,3079 | 0,2842 | 0,2512 |
| 1,7                     | 0,2994     | 0,2781 | 0,2577 | 0,2289 |
| 1,8                     | 0,2702     | 0,2521 | 0,2345 | 0,2093 |
| 1,9                     | 0,2449     | 0,2294 | 0,2141 | 0,1920 |
| 2,0                     | 0,2229     | 0,2095 | 0,1962 | 0,1766 |
| 2,1                     | 0,2036     | 0,1920 | 0,1803 | 0,1630 |
| 2,2                     | 0,1867     | 0,1765 | 0,1662 | 0,1508 |
| 2,3                     | 0,1717     | 0,1628 | 0,1537 | 0,1399 |
| 2,4                     | 0,1585     | 0,1506 | 0,1425 | 0,1302 |
| 2,5                     | 0,1467     | 0,1397 | 0,1325 | 0,1214 |
| 2,6                     | 0,1362     | 0,1299 | 0,1234 | 0,1134 |
| 2,7                     | 0,1267     | 0,1211 | 0,1153 | 0,1062 |
| 2,8                     | 0,1182     | 0,1132 | 0,1079 | 0,0997 |
| 2,9                     | 0,1105     | 0,1060 | 0,1012 | 0,0937 |
| 3,0                     | 0,1036     | 0,0994 | 0,0951 | 0,0882 |

## Bibliografie

Arcelor Mittal. (sd). Opgeroepen op Oktober 15, 2011, van Arcelor Mittal:  
<http://www.arcelormittal.com/sections/index.php?id=17>

Bedrijfschap Afbouw. (2007, Januari). *BA-richtlijn 3.1*. Opgeroepen op Februari 5, 2012, van Bedrijfschap Afbouw: [http://www.bedrijfschapafbouw.nl/hao\\_user\\_files/File/Publicaties/BA-Richtlijn%203.1.pdf?CFID=9252499&CFTOKEN=4a82229577bf949a-81D0D04D-19B9-EA0A-1B3E2B8E26D78B0A](http://www.bedrijfschapafbouw.nl/hao_user_files/File/Publicaties/BA-Richtlijn%203.1.pdf?CFID=9252499&CFTOKEN=4a82229577bf949a-81D0D04D-19B9-EA0A-1B3E2B8E26D78B0A)

Cauwenberghe, R. V. (2010-2011). *Ontwerp en berekening structuur voor gevelschoring met grote overspanning*. Katholieke Hogeschool Sint-Lieven.

Declercq, H. (1998). *Aansprakelijkheid voor bouwschade: Schade aan naburige gebouwen deel 1 - Pagina 33-50*.

EOTA. (2010). *ETAG normen*. Brussel: EOTA.

Goossens, K. D. (2006-2007). *Verankeren in snelbouwstenen: van technische studie tot marktinformatie*. Katholieke Hogeschool Sint-Lieven.

Hilti. (sd). Opgeroepen op November 10, 2011, van Hilti: <http://www.hilti.be/holbe/>

Koninklijke BouwmeestersKring van West-Vlaanderen. (2005, juni 21). Opgeroepen op Maart 31, 2012, van kbbkw: <http://www.kbbkw.be/ArchiInfo/ARCH0503.pdf>

Metaalhandel Delrue. (2006, maart 14). Technische fiche Dywidagmoer + Dywidagstang.

NBN. (2005). *Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 1.1: Algemene regels en regels voor gebouwen*. Brussel: NBN.

NBN. (2006). *Eurocode 6: Ontwerp en berekening van constructies van metselwerk*. Brussel.

NBN. (1e uitgifte, januari 2003). *NBN B 03-003*. Brussel: BIN.

NBN. (2005). *NBN EN 1991-1-4 - Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions*. Brussel: NBN.

NBN. (1e uitgifte, november 2010). *NBN EN 1996-2 ANB*. Brussel: NBN.

Powers. (sd). Opgeroepen op November 10, 2011, van Powers:  
<http://www.powerseurope.com/indexNL.html>

Ryckeboer, L. (2006). *Deontologie voor afbraakwerken*. Oostende: KHBO.

SCIA. (sd). *SCIA*. Opgeroepen op November 12, 2011, van <http://www.scia-online.com/nl/support.html>

Spit. (sd). Opgeroepen op November 10, 2011, van Spit:  
<http://www.spitpaslode.nl/downloads/pdf/CC%202011/Algemene%20inleiding%20Technisch%20Handboek.pdf>

Thienen, M. V. (sd). *Cursus bouwmaterialen: Keramische producten deel 1*. KHBO.

UK Eurocodes. (sd). *Steel Building Design: Design Data*. Opgeroepen op Maart 8, 2012, van Steelbiz: <http://www.steelbiz.org/Discovery/BackdoorViewer.aspx?ID=gsDX2bK5oD7INCeXvQKZGC8ca+Y5WHxMsHPhKhJYcqre/05Aeq8tXFaVUc7Knukv>

Vandepitte, D. (sd). *Berekening van constructies*. Opgeroepen op Maart 8, 2012, van <http://www.berekeningvanconstructies.be/index.htm>

Vanmaercke, R. *Cursus sterkteleer*. KHBO.

V-systems. (sd). Opgeroepen op September 20, 2011, van V-systems: <http://www.v-systems.be/nl>

WTCB. (sd). *bbri*. Opgeroepen op November 14, 2011, van [http://www.bbri.be/antenne\\_norm/eurocodes/nl/](http://www.bbri.be/antenne_norm/eurocodes/nl/)

WTCB. (2001). *Gewapend metselwerk deel 1: Materialen en uitvoering*. WTCB.

WTCB. (2001). *Gewapend metselwerk deel 2: Toepassingen en berekening*. WTCB.

WTCB. *N – 12. Afbraakwerken, tijdelijke schoring van een aangrenzend opbouw tijdens afbraakwerken, deel 1 Vooronderzoek (FV 1990, B).pdf*.

WTCB. *N – 15. Afbraakwerken, tijdelijke schoring van een aangrenzend gebouw tijdens afbraakwerken, gemeenschappelijke muren - speldverankering (FV 1993, B).pdf*.

WTCB. *N – 16. Afbraakwerken, tijdelijke schoring van een naastliggend gebouw tijdens afbraakwerken, tijdelijke en definitieve schoringen (FV 1994, B).pdf*.

WTCB. (2011). *Nieuwe Eurocode voor windbelasting*. WTCB.

WTCB. (1980). *Toelaatbare vervormingen in gebouwen - Technische voorlichting 132*. Brussel: WTCB.

WTCB. (2009). *Toepassing van de eurocodes op het ontwerp van buitenschrijnwerk*. WTCB.