

2013•2014
FACULTEIT INDUSTRIËLE INGENIEURSWETENSCHAPPEN
master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Masterproef

Technische analyse houtskeletbouw: aanzet, horizontale en verticale stabiliteit, funderingsvoordelen en EPB

Promotor :
Prof. ir. Bart VAN ZEGBROECK

Promotor :
ing. MARGO COLSON

Oguz Kilic , Cengizhan Kilic

Proefschrift ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Gezamenlijke opleiding Universiteit Hasselt en KU Leuven

2013•2014

Faculteit Industriële

ingenieurswetenschappen

master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Masterproef

Technische analyse houtskeletbouw: aanzet, horizontale en verticale stabiliteit, funderingsvoordelen en EPB

Promotor :
Prof. ir. Bart VAN ZEGBROECK

Promotor :
ing. MARGO COLSON

Oguz Kilic , Cengizhan Kilic

Proefschrift ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Dankwoord

Een masterproef opstellen gaat gepaard met dagenlang onderzoek en zware inspanningen. Het geeft de mogelijkheid alle kennis die een student heeft vergaard in de afgelopen jaren op de proef te stellen en toe te passen. Het is een levensles die de aanraking met de bedrijfs-, maar ook de academische wereld vormt.

Zonder meer kunnen we zeggen dat het opstellen van deze thesis onmogelijk was geweest zonder steun en vertrouwen van anderen.

Daarom willen we dan ook onze promotoren ing. Margo Colson en ir. Bart Van Zegbroeck bedanken voor hun begeleiding en ondersteuning. Hun feedback en advies was onontbeerlijk en vormde een meerwaarde voor onze kennis en kunde. Het opstellen van deze thesis is dankzij hun naadloos verlopen en ontknoopte de ware ingenieurs in ons.

Speciale aandacht gaat er ook naar de 'Kılıç' familie- en gezinsleden. Hun steun was onmisbaar gedurende de hele ingenieursopleiding, met deze masterproef als kroonstuk.

Abstract [NL]

Gebouwen waarbij de draagstructuur uit een houten skelet bestaan worden steeds meer en meer toegepast in België. Energiezuinig en passief bouwen, alsook het geringer gewicht van houtskeletbouw zijn aspecten die van maatschappelijk belang zijn. Het is dus zeker noodzakelijk om deze bouwwijze verder te onderzoeken.

Het doel van deze masterproef is om in drie delen enerzijds de lezer meer informatie te verschaffen over de methodes en manieren van funderingsaanzet en anderzijds een idee te geven van de impact van het kleiner eigengewicht van deze constructie. Hiertoe worden in deel 1 de mogelijke manieren van het aanzetten van HSB elementen samen met hun technische evaluatie besproken. Dit wordt gedaan aan de hand van wrijvingsproeven, uittrekproeven en meerdere berekeningen. Ook wordt gecontroleerd of de ontstane bouwknopen EPB- aanvaard zijn.

In deel 2 beschouwt men als fundering een prefab strookfundering, hierbij wordt dit principe technisch uitgelegd en onderzoekt men de differentiële zettingen aan de hand van een lastendaling. Tevens wordt de $U_{\max}$ -waarde van het HSB vloerelement aan controle onderworpen conform de richtlijnen anno 2014.

Woningen in houtskeletbouw zijn lichter dan traditioneel gemetselde huizen. Dit maakt dat de fundering kleiner gedimensioneerd kan worden en er gebouwd kan worden op bouwgronden die minder draagkrachtig zijn. Dit wordt in deel 3 behandeld met behulp van geprogrammeerde spreadsheets die de funderingsafmetingen voor strook- en plaatfunderingen met een gegeven grondsondering volautomatisch berekenen. Ook wordt het verschil in gewicht tussen houtskeletbouw en traditioneel gemetselde woningen vergeleken.

Als resultaat vormt deel 1 een catalogus voor de verschillende aanzetmethodes en -materialen. Deel 2 is een handleiding die gebruikt kan worden bij het bouwen op prefab funderingsbalken. Ook worden hier de differentiële zettingen in kaart gebracht en bekijkt men de invloed hiervan op woningen in houtskeletbouw. Het concreet funderingsverschil tussen woningen in houtskeletbouw en woningen in traditionele bouw wordt tot slot in deel 3 becijferd en procentueel uitgedrukt. Dit wordt gedaan voor het totaal gewicht van het gebouw maar ook voor het verschil tussen strookfundering en plaatfundering.

Deze masterproef werd tot stand gebracht in opdracht van ing. M. Colson (Machiels Building Solutions) en onder begeleiding van ir. B. Van Zegbroeck (UHasselt/KULeuven).



Abstract [EN]

Buildings in which the supporting structure consists of a wooden skeleton are increasingly used in Belgium. Low energy and passive construction as well as the lower weight of timber structures are aspects of social importance. Therefore it is necessary to further investigate this type of construction.

The purpose of this thesis is firstly to provide the reader with information on the methods and ways to starting building a foundation and, secondly, to analyze the impact of the smaller weight of this wooden skeleton construction. For this purpose, part 1 discusses the possible ways to start building with elements with a wooden structure on a foundation, including their technical evaluation. This is done on the basis of friction tests, pullout tests and multiple calculations. The energy performance regulation acceptance will also be checked.

In part 2 the foundation is considered as a pre-fabricated strip foundation; in this situation the technical principles are clarified and the differential settlements are calculated on the basis of a load reduction. The $U_{\max}$ -value of the wooden floor element is also subject to inspection in accordance with the energy performance guidelines of the year 2014.

Houses with a timber skeleton are lighter than traditional masonry houses. This means that the foundation can be dimensioned smaller and thus it becomes possible to build on skeletons with less bearing strength. This is discussed in part 3, using programmed full-automatic spreadsheets that calculate the dimensions of a strip and a slab foundation with a given cone penetration test. The difference in weight between a house built with a timber frame and a traditional masonry house is also compared.

As a result, part 1 can be used as a catalogue for the different methods and materials to start building with elements with a timber frame. Part 2 is a guide that can be used when building on precast foundation beams. This will also include a mapping of the differential settlements and its impact on timber frame houses. The specific difference between timber frame houses and houses that are constructed traditionally are calculated in part 3 and expressed in percentage terms. This is not only done for the total weight of the building but also for the difference between strip and slab foundations.

This master thesis was accomplished on behalf of ing. M. Colson (Machiels Building Solutions) and under the supervision of ir. B. Van Zegbroeck (UHasselt/KULeuven).



Inhoud

Dankwoord	i
Abstract [NL]	iii
Abstract [EN]	v
Inhoud	vii
Lijst van afkortingen en symbolen	xi
Lijst van figuren	xiii
Lijst van tabellen	xvii
1 Inleiding	1
1.1 Algemeen	1
1.2 Onderzoeksvraag	1
2 Literatuurstudie	3
3 Deel 1: starten vanop een horizontale betonnen onderconstructie	5
3.1 Algemeen	5
3.2 Methoden van onderzoek	7
3.2.1 Statische wrijving	7
3.2.2 Uittrekproef schroef	10
3.2.3 Doorboring grondregel	11
3.3 Methoden van aanzet	12
3.3.1 Cellenbeton	12
3.3.2 Cellenglas	13
3.3.3 Grondregel hout	14
3.3.4 Grondregel kunststof	16
3.3.5 HSB element rechtstreeks op fundering	18
3.4 Resultaten	23
3.4.1 Draagkracht	23
3.4.2 Wrijving	24
3.4.3 Weerstand tegen schrank	25
3.4.4 Vastschroeven	28
3.4.5 Doorboring	29
3.4.6 Opstijgend vocht	29
3.4.7 Controle EPB- aanvaarde bouwknop	31
3.4.8 Plaatsing grondregels	33
3.5 Conclusie/Overzicht	35

4	Deel 2: starten vanop funderingsbalken met HSB elementen	37
4.1	Algemeen	37
4.2	Technische uitwerking	37
4.2.1	Opbouw vloerelementen	37
4.2.2	Opbouw fundering	38
4.2.3	Thermische inertie	41
4.2.4	Differentiële zettingen	45
4.2.5	Controle U-waarde	51
4.2.6	Kosten-baten analyse	53
4.3	Conclusie	53
5	Deel 3: impact HSB op funderingsafmeting en bijgevolg op kostprijs	55
5.1	Inleiding	55
5.2	Methode	55
5.3	Resultaten	55
5.3.1	Verschil in gewicht	55
5.3.2	Berekening strookfundering	56
5.3.3	Berekening volle plaatfundering	57
5.4	Conclusie	65
6	Conclusie en toekomstvisie	67
7	Werfbezoek	69
8	Referenties	75
9	Bijlagen	1
9.1	Bijlage A: EPB-regelgeving	1
9.2	Bijlage B: Windkracht	5
9.2.1	Algemeen: windbelasting volgens EN 1991-1-4	5
9.2.2	Windkrachtbepalingen van factoren.	8
9.2.3	windkracht bepaling 1 Eurogen 1.	14
9.2.4	Windkrachtberekening	18
9.3	Bijlage C: Gegevens gebruikte schroef	18
9.4	Bijlage D: Wrijvingsproef	20
9.4.1	Metingen van wrijvingsproef	20
9.4.2	Berekening van wrijvingscoëfficiënt	22
9.5	Bijlage E: Thermische inertie vloerdelen	26
9.6	Bijlage F: Kosten- batenanalyse	29

9.7	Bijlage G: Lastendaling ,Eurogen 1`	30
9.7.1	HSB woning	30
9.7.2	Traditioneel gebouw	34
9.8	Bijlage H: Berekening differentiële zetting	37
9.9	Bijlage I: Berekening strookfundering	38
9.10	Bijlage J: Berekening volle plaatfundering	47
9.11	Bijlage K: Sonderingen	49

$$\text{---} \left(\text{---} \times \text{---} \right) \text{---}$$

Lijst van afkortingen en symbolen

A	oppervlakte
C	warmtecapaciteit
F	force, aanduiding voor een kracht
$F_{v,Rd}$	rekenwaarde van de afschuifkracht per bout
$F_{w,UGT}$	windkracht in UGT
g	valversnelling, voor België bedraagt deze 9,81m/s ²
I_d	lengte van de diagonaal van het rechthoekig oppervlak
λ	warmtegeleidingscoëfficiënt
ρ	volumieke massa
R	warmteweerstand
R_{si}	warmteovergangsweerstand aan het binnenoppervlak
R_{se}	warmteovergangsweerstand aan het buitenoppervlak
N	normaalkracht, de kracht die loodrecht op het raakvlak met een voorwerp werkt
U	warmtedoorgangscoefficiënt
c	soortelijke warmte
d	dikte van een laag
d_{limiet}	grenswaarde voor de hoogte van een plaat vanaf het zwaartepunt van de onderste hoofdwapening tot aan de bovenkant van de plaat
$d_{optimaal}$	optimaal hoogte van een plaat vanaf het zwaartepunt van de onderste hoofdwapening tot aan de bovenkant van de plaat
h	hoogte
m	massa
$q_{w,UGT}$	verdeelde belasting per lopende meter in UGT
$V_{afschuif}$	afschuifkracht
μ_s	de statische wrijvingsfactor
σ	spanning over een oppervlakte

Lijst van figuren

Figuur 3-1: aansluiting fundering - buitenmuur gevelmetselwerk	5
Figuur 3-2: schrank van een wandpaneel [20]	6
Figuur 3-3: gebruik van een tie- down [20]	7
Figuur 3-4: proefopstelling wrijving	8
Figuur 3-5: proefopstelling op ondergrond	9
Figuur 3-6: tolerantieklassen hout voor dragende toepassingen (EN 336) [24]	10
Figuur 3-7: uittrekproef schroef	11
Figuur 3-8: doorboring grondregel	12
Figuur 3-9: karakteristieke druksterkten cellenbeton	13
Figuur 3-10: schuifspanningen cellenbeton	13
Figuur 3-11: karakteristieke gegevens cellenglas	14
Figuur 3-12: sterkteklassen hout volgens EN338 [26]	15
Figuur 3-13: mechanische en fysische eigenschappen kunststof	16
Figuur 3-14: slipgaten maken van reguliere gaten [28]	17
Figuur 3-15: inschroeven kunststof	17
Figuur 3-16: doorboren kunststof	18
Figuur 3-17: HSB- element rechtstreeks op fundering [29]	19
Figuur 3-18: plaatsing grondregel zonder toegevoegd materiaal	20
Figuur 3-19: verankeringshoekprofiel [mm]	21
Figuur 3-20: tussenafstanden boutgaten	22
Figuur 3-21: lengtefactoren schrankende wanden [19]	26
Figuur 3-22: modelwoning 'Eurogen 1' MBS	27
Figuur 3-23: HD2P tie- down 'Simpson Strong-Tie'	28
Figuur 3-24: gegevens Berdal DPC- folie	29
Figuur 3-25: gegevens Proclima Extoseal Finoc	30
Figuur 3-26: plaatsing cellenbeton	31
Figuur 3-27: plaatsing grondregels	34
Figuur 4-1: opbouw kruipkelder met houtenvloer. [32]	37
Figuur 4-2: verschillende types onderslagbalk	38
Figuur 4-3: stelregel uit hout [1].	40
Figuur 4-4: aansluiting vloerplaat – strookfundering type 1	40
Figuur 4-5: aansluiting vloerplaat – strookfundering type 2	41
Figuur 4-6: thermische diffusiviteit, effusiviteit en volumieke massa van constructie- elementen [36]	42
Figuur 4-7: 1) weinig thermische inertie, 2) grote thermische inertie [37]	43
Figuur 4-8: thermische capaciteit voor 4 verschillende situaties	44
Figuur 4-9: differentiële zetting sondering 1 Wuustwezel	48
Figuur 4-10: differentiële zetting sondering 2 Merksplas	48
Figuur 4-11: differentiële zetting sondering 3 Wellen	49
Figuur 4-12: differentiële zetting sondering 4 Tongeren	49
Figuur 4-13: differentiële zetting sondering 5 Beringen	49
Figuur 4-14: differentiële zetting sondering 6 Watervliet	50
Figuur 4-15: differentiële zetting sondering 7 Beveren	50

Figuur 4-16: differentiële zetting sondering 8 Laakdal	50
Figuur 5-1: parameters strookfundering	56
Figuur 5-2: berekening volgens principe 1: klassieke plaatberekening [EC2]	60
Figuur 5-3: berekeningsresultaat volgens principe 2 voor goed gegradeerd zand (aanbeveling 36 CUR)	61
Figuur 5-4: berekeningsresultaat volgens principe 2 voor klei of leemhoudende zand (aanbeveling 36 CUR)	62
Figuur 5-5: berekeningsresultaat volgens principe 2 voor plastische klei of leem(aanbeveling 36 CUR)	63
Figuur 5-6: berekeningsresultaat volgens principe 2 voor veen- of kleigronden (aanbeveling 36 CUR)	64
Figuur 7-1: verplaatsing verankeringsgaten	69
Figuur 7-2: werfsituatie plaatsing grondregel	70
Figuur 7-3: ondervulling grondregel	71
Figuur 7-4: slijpen en momentvast draaien van de segmentankers	71
Figuur 7-5: a) recht zetten van HSB- wand b) stutten van HSB- wand	72
Figuur 7-6: a) penverbinding wand b) waterpas zetten van HSB- wand	72
Figuur 7-7: 7u30 voor het starten van de dag, 15u15 na het einde van de dag	73
Figuur 7-8: metselwerk rondom de plaatfundering	73
Figuur 7-9: HSB- wand zonder deuropening	73
Figuur 7-10: stelregel en onderregel HSB- wand	74
Figuur 7-11: stutten van HSB- wand	74
Figuur 9-1: minimale contactlengte tussen twee isolatielagen	4
Figuur 9-2: lengte van de weg van de minste weerstand	4
Figuur 9-3: tussenvoeging van isolerende delen	4
Figuur 9-4: obstakelhoogte en windopwaartse afstand (EN1991-1-4, 2005, figuur A.5)	8
Figuur 9-5: invloed van hoogbouw op twee verschillende nabijgelegen lager gebouwen (EN1991-1-4, 2005, figuur A.4).	8
Figuur 9-6: Basiswindsnelheid $V_{b,0}$ bepaald per gebied [42]	9
Figuur 9-7: staalsoorten RVS voor schroeven [44]	19
Figuur 9-8: chemische samenstelling RVS voor schroeven [44]	19
Figuur 9-9: schroefdraad en schroefpunt gebruikte schroef (met punt) [45]	20
Figuur 9-10: statisch wrijvingskracht: cellenglas op fundering	23
Figuur 9-11: statisch wrijvingskracht: wand op cellenglas	23
Figuur 9-12: Statisch wrijvingskracht: kunststof op fundering	24
Figuur 9-13: statisch wrijvingskracht: wand op kunststof	24
Figuur 9-14: statisch wrijvingskracht: houtenregel op fundering	25
Figuur 9-15: statisch wrijvingskracht: wand op houtenregel	25
Figuur 9-16: statisch wrijvingskracht: cellenbeton op fundering	26
Figuur 9-17: statisch wrijvingskracht: wand op cellenbeton	26
Figuur 9-18: lastendaling HSB woning	31
Figuur 9-19: gewichten materialen voor HSB	32
Figuur 9-20: berekening lastendaling HSB in GGT	33
Figuur 9-21: lastendaling traditionele woning	34

Figuur 9-22: gewichten materialen voor traditionele bouw	35
Figuur 9-23: berekening lastendaling traditioneel gebouw (in GGT)	36
Figuur 9-24: berekening zetting (Watervliet)	37
Figuur 9-25: invulsheet berekening strookfundering (Watervliet)	38
Figuur 9-26: berekening volume beton strookfundering Wuustwezel	39
Figuur 9-27: berekening volume beton strookfundering Merksplas	40
Figuur 9-28: berekening volume beton strookfundering Wellen	41
Figuur 9-29: berekening volume beton strookfundering Tongeren	42
Figuur 9-30: berekening volume beton strookfundering Beringen	43
Figuur 9-31: berekening volume beton strookfundering Watervliet	44
Figuur 9-32: berekening volume beton strookfundering Beveren	45
Figuur 9-33: berekening volume beton strookfundering Laakdal	46
Figuur 9-34: berekeningssheet volgens principe 1 (Eurocode 2)	47
Figuur 9-35: berekeningssheet volgens principe 2 (Westergaard en Hetényi)	48
Figuur 9-36: sondering 1 - Wuustwezel	49
Figuur 9-37: sondering 2 - Merksplas	50
Figuur 9-38: sondering 3 - Wellen	51
Figuur 9-39: sondering 4 - Tongeren	52
Figuur 9-40: sondering 5 - Beringen	53
Figuur 9-41: sondering 6 - Watervliet	54
Figuur 9-42: sondering 7 - Beveren	55
Figuur 9-43: sondering 8 - Laakdal	56

Lijst van tabellen

Tabel 3-1: draagkracht grondregels	23
Tabel 3-2: wrijvingscoëfficiënt ondergrond beton (fundering)	24
Tabel 3-3: wrijvingscoëfficiënt ondergrond hout	24
Tabel 3-4: lengtefactoren schrankende wanden [14]	25
Tabel 3-5: warmtegeleidingscoëfficiënten grondregels	32
Tabel 3-6: warmteweerstanden	32
Tabel 3-7: isolatiediktes grondregels	33
Tabel 3-8: overzichtstabel grondregels	35
Tabel 4-1: maximale zetting volgens TV 147 [38]	45
Tabel 4-2: grenswaarden van de vervorming volgens NBN B 03-003 [39]	46
Tabel 4-3: belastingen op de funderingsstroken	47
Tabel 4-4: warmteweerstanden R van de constructiedelen van een HSB vloer	52
Tabel 4-5: warmteovergangswaarden R_{si} en R_{se} in m^2K/W [40]	52
Tabel 4-6: kosten- baten analyse voor de vier situaties zonder btw in $€/m^2$	53
Tabel 5-1: gewicht modelwoning 'Eurogen 1'	56
Tabel 5-2: winst op volume beton bij een strookfundering	57
Tabel 5-3: tabel beddingsconstanten volgens TV204 van het WTCB	58
Tabel 5-4: gekozen beddingsconstanten	59
Tabel 5-5: benodigde belastingen om de momenten volgens principe 2 te berekenen (uit lastendaling)	59
Tabel 5-6: volume beton en percentage verschillen met HSB	64
Tabel 5-7: winst op wapeningsstaal	65
Tabel 9-1: EPB eisentabel 2014 [41]	1
Tabel 9-2: EPB U- en R- waardes 2014 [41]	2
Tabel 9-3: limietwaarde voor de lineaire warmtedoorgangcoëfficiënt $\Psi_{e,lim}$ [42].	3
Tabel 9-4: basiswindsnelheid per gemeente [42]	9
Tabel 9-5: windrichtingsfactor in functie van de windrichting [42]	10
Tabel 9-6: seizoensfactor in functie van de maand [42]	10
Tabel 9-7: ruwheidsfactor per terreincategorie	10
Tabel 9-8: waarde van de effectieve lengte L_e [42]	12
Tabel 9-9: factor s voor heuvels en bergkammen [41]	12
Tabel 9-10: terreincategorie en terrein parameters [5]	13
Tabel 9-11: metingen cellenglas op fundering	20
Tabel 9-12: metingen kunststof op fundering	20
Tabel 9-13: metingen hout op fundering	21
Tabel 9-14: metingen cellenbeton op fundering	21
Tabel 9-15: metingen wand op cellenglas	21
Tabel 9-16: metingen wand op kunststof	21
Tabel 9-17: metingen wand op houtenregel	22
Tabel 9-18: metingen wand op cellenbeton	22
Tabel 9-19: berekening van statische wrijvingskrachten en standaarddeviatie van cellenglas	22

Tabel 9-20: berekening van statische wrijvingskrachten en standaarddeviatie van kunststof _____	23
Tabel 9-21: berekening van statische wrijvingskrachten en standaarddeviatie van houtenregel _____	24
Tabel 9-22: berekening van statische wrijvingskrachten en standaarddeviatie van cellenbeton _____	25
Tabel 9-23: HSB- vloer met parket afwerking (minerale wol) _____	26
Tabel 9-24: HSB- vloer met parket afwerking (houtvezelisolatie) _____	27
Tabel 9-25: HSB- vloer met 5 cm dekvloer met laminaat afwerking (minerale wol) _____	27
Tabel 9-26: HSB- vloer met 5 cm dekvloer met laminaat afwerking (houtvezelisolatie) _____	27
Tabel 9-27: HSB- vloer met 5 cm dekvloer met keramische tegel afwerking (minerale wol) _____	28
Tabel 9-28: HSB- vloer met 5 cm dekvloer met keramische tegel afwerking (houtvezelisolatie) _____	28
Tabel 9-29: HSB- vloer met 5 cm dekvloer met natuurlijk tegel afwerking (minerale wol) _____	28
Tabel 9-30: HSB- vloer met 5 cm dekvloer met natuurlijk tegel afwerking (houtvezelisolatie) _____	29
Tabel 9-31: kosten- batenanalyse voor de vier beschouwde situaties _____	30

1 Inleiding

1.1 Algemeen

Er wordt wel eens gezegd dat België het nadeel heeft klei in de bodem te hebben en dat daarom houtskeletbouw niet meteen een echt succes werd. Nochtans wordt wereldwijd 70% van de huizen in houtskeletbouw opgetrokken. Bouwen met hout heeft heel wat voordelen, maar ook nadelen.

Door het gebruik van elementen uit hout kan men lichter, minder zwaar gedimensioneerd, dunner en beter geïsoleerd bouwen. Dit is mogelijk bij nieuwbouw maar evenzeer in vernieuwbouw of verbouwingen. Met dit in het oog is het bestuderen van houtskeletbouw nu en in de toekomst steeds een interessant onderwerp.

Tegen 2020 moeten alle nieuwe gebouwen energieneutraal, dus passief gebouwd worden. Met de traditionele bouwmethode in metselwerk moeten er dan steeds dikkere muren gebouwd worden om zo te voldoen aan de EPB¹-eisen. Hierbij komt dan nog dat Vlaanderen steeds meer volgebouwd komt te staan, waardoor nieuwbouw meer en meer in minderwaardige en minder draagkrachtige gronden gezet worden. Dit heeft als gevolg dat de zwaar gedimensioneerde funderingen die bij traditionele bouw horen aangepast moeten worden (onder andere fundering op palen) om verdere bouwkundige problemen te vermijden. Dit zorgt uiteraard ook voor meer kosten.

Houtskeletbouw biedt hier een doelgerichte oplossing voor. De goede warmteweerstand en het lichtgewicht van hout spelen hier heel goed op in. Het is echter wel zo dat er ook heel wat nadelen en tekortkomingen van hout zijn waardoor voortdurend en voortzettend onderzoek van belang is.

1.2 Onderzoeksvraag

De onderzoeksvraag van deze masterproef kan worden onderverdeeld in drie deelvragen. Hierbij wordt voornamelijk ingegaan op de aanzet vanaf de twee funderingstypes (fundering op volle plaat of strookfundering) van een residentieel gebouw en de baten die hierbij gepaard gaan.

In deel 1 wordt het bouwen in houtskeletbouw op een horizontale betonnen onderconstructie vanaf het begin bekeken. Hierin wordt de aanzet van de HSB² elementen besproken en onderzocht, met het oog op stabiliteit (draagkracht, wrijving, schrank, vastschroeven), vochtbeheersing en de EPB-aanvaarding. De aanzet kan bestaan uit een grondregel uit cellenbeton, cellenglas, hout of kunststoffen. Over deze laatste grondregel is er nog niet veel bekend. Er bestaat ook de optie om de HSB elementen rechtstreeks te plaatsen op de fundering, op

¹ EnergiePrestatie en Binnenklimaat

² HoutSkeletBouw, de manier van bouwen waarbij de dragende structuur van het gebouw bestaat uit een skelet van hout

metalen of kunststoffen plaatjes ingebed in mortel. Dit is een methode die vaak gebruikt wordt in Duitsland.

Deel 2 bespreekt de opbouw van een woning vanop prefab funderingsbalken met HSB elementen. Dit is een bouwmethode die in België nog niet vaak toegepast wordt maar in andere landen (zoals Canada en de Verenigde staten [1]) wel gebruikt wordt. De technische uitwerking hiervan bestaat uit het bestuderen van de samenstelling van de elementen uit hout en de thermische inertie ervan. Het al dan niet hebben van een kelder of kruipkelder en de differentiële zettingen van het gebouw worden ook besproken. Tot slot zet een kosten- batenanalyse de economische verschillen met andere bouwmethodes in kaart.

Houtskeletbouw is lichter dan gebouwen in traditionele bouw wat uiteraard een impact heeft op de dimensionering van de fundering. Dit wordt besproken in deel 3 voor woningen. Het kleiner ontwerpen van de fundering neemt met zich mee dat deze fundering ook goedkoper zal zijn en dat de fundering wellicht minder zettingsgevoelig wordt. Bovendien wordt het dan ook mogelijk om in slechter draagkrachtige gronden alsnog te bouwen zonder te opteren voor speciale funderingstypes of -methodes.

2 Literatuurstudie

Er is al heel wat algemene literatuur beschikbaar over houtskeletbouw. Nens et al. [2] onderzocht aan de hand van een casestudy de verschillen in totale belasting tussen een houten woning en een stenen woning. Dit kunnen wij toepassen in deel 3 voor het verschil in belasting op de fundering te berekenen. Van ons uit wordt voorgesteld de plannen op te vragen van de werf die we gaan bezoeken in februari. Bijkomend zullen we van MBS de plannen van een woning proberen te bekomen. Veel detailleringen, samen met de EPB- aanvaarding zijn tevens ook besproken door onze voorgangers die hun stage en bachelorproef samen aan één bedrijf hadden [3] (dit was zo in de vroegere Xios-structuur) en vinden we ook in de literatuur die ons bezorgd werd door dhr. Colson. Om een idee te hebben van deze detailleringen (voornamelijk over de kort behandelde funderingsaanzet) zullen we deze thesis en bijkomende literatuur [4] bestuderen. Ook gaan we diverse materialen bekijken als oplossing voor waterdichtingsproblemen ten gevolge van doorboringen van de grondregel voor het verankeren in de fundering en voor opstijgend vocht doorheen een waterdoorlatende grondregel (bv. cellenbeton). Voor het geval van het ontbreken van de grondregel, waarbij muur wordt ingebed in mortel gaan we de condetti³ details bekijken die we vinden in de brochure "Kriechkeller" die we van dhr. Colson hebben gekregen.

Een vergelijking van de methode van houtskeletbouw tussen België en landen waar HSB veel frequenter toegepast wordt (Canada) is gemaakt door Coenjaerts et al. [1] Hier bekijken we ook beperkt de funderingsaansluitingen, omdat dit niet zo duidelijk is.

Uit de brochure die we hebben opgevraagd van Foamglas [5] vinden we de info over het product Perinsul (cellenglas) als oplossing voor koudebruggen. Ook over de kimblok (cellenbeton) vinden we genoeg informatie aan de hand van de door FeBeCel [6] uitgegeven handboek.

De aanzet vanaf fundering bij een passiefhuis en een lage energiewoning in houtskeletbouw is gemaakt door Hermans et al. [7]. Hierin wordt een betonvloer op volle grond in opbouw bekeken. Hierbij wordt er echter op de drukpunten (binnen- en buitenhoeken) voor beton in plaats van Ytong gekozen. De cruciale vraag hierbij is of dit wel EPB aanvaard is. De huidige energieprestatieregeling kunnen we vinden op de site van het Vlaams Energieagentschap [8].

Uit het handboek 'bouwen in houtskeletbouw' [9] vinden we de nodige literatuur die we gaan gebruiken in deel 2 voor de prefab funderingsbalken met HSB elementen. Vooral de samenstelling van de houten vloeren en de opbouw van de funderingen met kelder of kruipkelder worden hierin bestudeerd. Bij het gebruik van dit handboek moeten we wel letten op de EPB regelgeving, dat in het uitgiftejaar van het boek (1982) nog niet bestond.

³ Dit zijn Duitse standaarddetailleringen van bouwknopen

In de documenten die we hebben gekregen van dhr. Colson is er een nieuwere uitgave (2005) over HSB (handboek houtskeletbouw: ontwerp, techniek, uitvoering) [10] die we hebben bekeken. De laatste uitgave dateert van 2012 [11] en vinden we terug in de PXL- bibliotheek. Hierin zitten enkele aanpassingen vervat die we ook bekeken hebben.

In de thesis [12] van F. Meynen over het renoveren van woningen van de jaren '60 met HSB zien we dat hij ook samengewerkt heeft met MBS. Dit was dan vooral over de productieprijzen, die wij dan ook kunnen opvragen bij MBS om de kostenanalyses te maken.

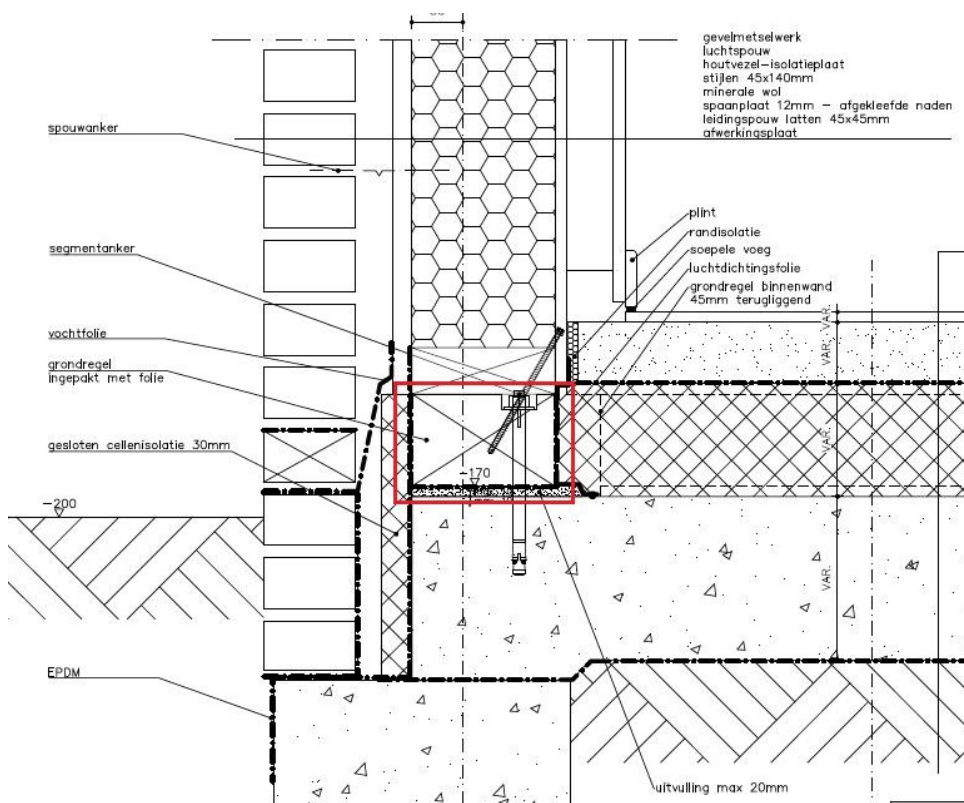
Een soort van 'code van goede praktijk' vinden we in de eengemaakte technische specificaties STS 23: Houtbouw [13]. Dit is een uit 1978 daterend overheidsdocument waardoor er hierin heel wat beschrijvingen verouderd zijn. Schrank werd door De Proft et al. [14] bestudeerd aan de hand van een case study, uitgewerkt voor (hoek-)verankerde en niet verankerde wanden. Hierin wordt ook het splijten van de onderregel ten gevolge van horizontale vervormingen ook bekeken. Ook in de Eurocodes vinden we nuttige literatuur. Eurocode 5 deel 9.2.4 bespreekt wandschijven waarbij de wand verankerd wordt tegen kantelen en glijden [15]. Eurocode 7 hoofdstuk 6 en 7 behandelen de funderingen op staal (poeren, funderingsplaten en stroken) en de paalfunderingen [16]. Bijkomend is door Mathys R. een thesis [17] gemaakt over ondiepe funderingstechnieken, waarin hij de verschillende funderingstechnieken uitlegt. Ook het berekenen van het draagvermogen werd door Mathys R. besproken. Deze berekeningen, tezamen met de berekeningen van differentiële zettingen, vinden we ook in de cursus grondmechanica [18].

3 Deel 1: starten vanop een horizontale betonnen onderconstructie

3.1 Algemeen

De overgang van de betonnen onderconstructie naar de wandopbouw wordt gerealiseerd aan de hand van een grondregel. Deze zorgt voor een perfect vlakke basis om de wandpanelen op te plaatsen. Daarom is de tolerantie op de ligging van deze grondregel dan ook maar +/- 1mm. Indien de plaatsing nauwkeurig is en bijgevolg voldaan is aan deze tolerantie kan men een zeer snelle plaatsing van de muurpanelen garanderen. De keuze van deze grondregel is cruciaal omdat deze moet voldoen op vlak van stabiliteit, draagkracht, thermische werking (warmteweerstand), ver- en bewerkbaarheid. Bovendien is deze stelregel ook belangrijk om zijn wrijvings- en schrankweerstand. De grondregel wordt ingepakt in een DPC⁴- folie om de constructie te beschermen tegen opstijgend grondvocht.

Voor deze grondregel heeft men een variatie aan materialen en fabrikanten ter beschikking die in dit deel besproken zullen worden. De grondregel wordt door middel van een segmentanker verankerd in de fundering, waarna de wandopbouw hierin schuin wordt vastgeschroefd. Dit is te zien in Figuur 3-1.



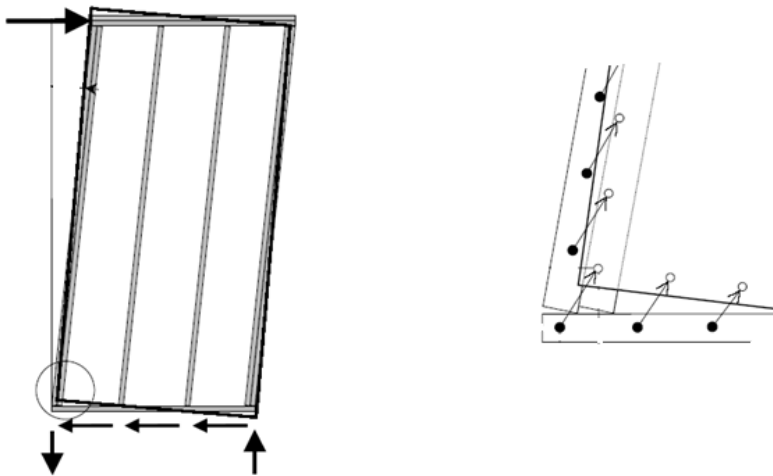
Figuur 3-1: aansluiting fundering - buitenmuur gevelmetselwerk

⁴ Damp Proof Course: een zeer duurzaam damp-, vocht- en waterdichte folie met opgeruwd oppervlak geproduceerd uit lagedensiteits polyethyleen

Heel wat informatie over de aanzetmaterialen zijn reeds bestudeerd en toegankelijk, er echter zijn ook heel wat gegevens onbekend die beproefd en besproken zullen worden in wat volgt.

Horizontale stabiliteit bij houtskeletbouw is net zoals bij traditionele bouw ook belangrijk. Al is dit meer uitgesproken bij HSB. Hierbij gaat het in België dan vaak om windkrachten die de horizontale stabiliteit van het gebouw in gedrang kunnen brengen. In andere landen en situaties kunnen aardbevingen en waterdrukken hierin ook een belangrijke rol spelen. [19]

In het geval dat een wand bovenaan een horizontale (wind-) kracht te verduren krijgt, zal hij de neiging hebben te gaan roteren en vervormen. Figuur 3-2 toont deze opstelling. Meestal voldoet de stijfheid van de wand maar indien er telkens weinig of korte wanden zijn is het ook mogelijk dat dit niet zo is. De constructie wordt aldus hiertegen beschermd door het voorzien van voldoende schrankende wanden of door middel van een 'tie- down'. Bij een tie- down wordt de wand letterlijk vastgeknoopt aan de fundering door middel van een verankering. Het segmentanker biedt een beperkte bescherming tegen deze schrank, maar op plaatsen waar er een grotere krachtswerking (hoeken) is kan er zeker een tie- down nodig zijn. Figuur 3-3 toont een tie- down.



Figuur 3-2: schrank van een wandpaneel [20]



Figuur 3-3: gebruik van een tie- down [20]

De wrijving tussen de grondregel en het funderingsbeton biedt een beperkte weerstand tegen het verschuiven van de wand ten gevolge van een horizontale kracht. Deze weerstand zal aan de hand van wrijvingsproeven bepaald worden voor elk type materiaal (zie 3.2.1). Informatie over de huidige regelgeving rond EPB- aanvaarding alsook richtlijnen om de windkrachten te berekenen zijn terug te vinden respectievelijk in bijlage 9.1 en 9.2.

3.2 Methoden van onderzoek

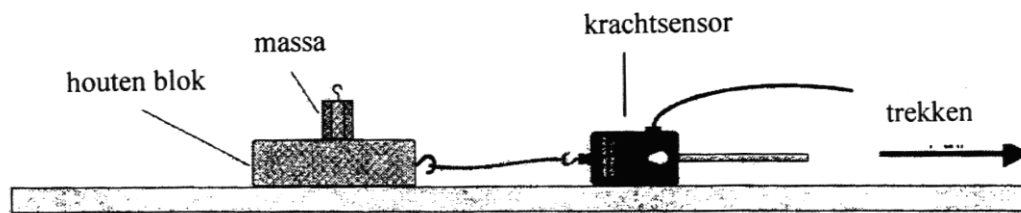
3.2.1 Statische wrijving

Elk wandpaneel in HSB wordt diagonaal vastgeschroefd in de grondregel, die op zijn beurt wordt verankerd in de fundering. De wrijving tussen de verschillende materialen wordt hierbij dus niet in rekening gebracht.

Het is dus de moeite waard om te onderzoeken of men niet gedeeltelijk mag rekenen op deze wrijving, zonder de verankering. Dit zou het assemblageproces vergemakkelijken en de verankeringstechniek minder arbeidsintensief maken. Intuïtief kan men echter zeggen dat er in de praktijk (o.a. in tijdelijke werfsituaties) altijd verankeringen noodzakelijk zijn, maar als men rekent op de wrijving kunnen dat er heel wat minder zijn.

Het fenomeen waarbij de horizontale (wrijvings-)kracht van de materialen moet overwonnen worden opdat het systeem een bewegend mechanisme wordt, wordt hier dus bestudeerd. De wrijving die bepaald moet worden is dus de statische wrijving. Deze wordt bepaald aan de hand van een wrijvingsproef.

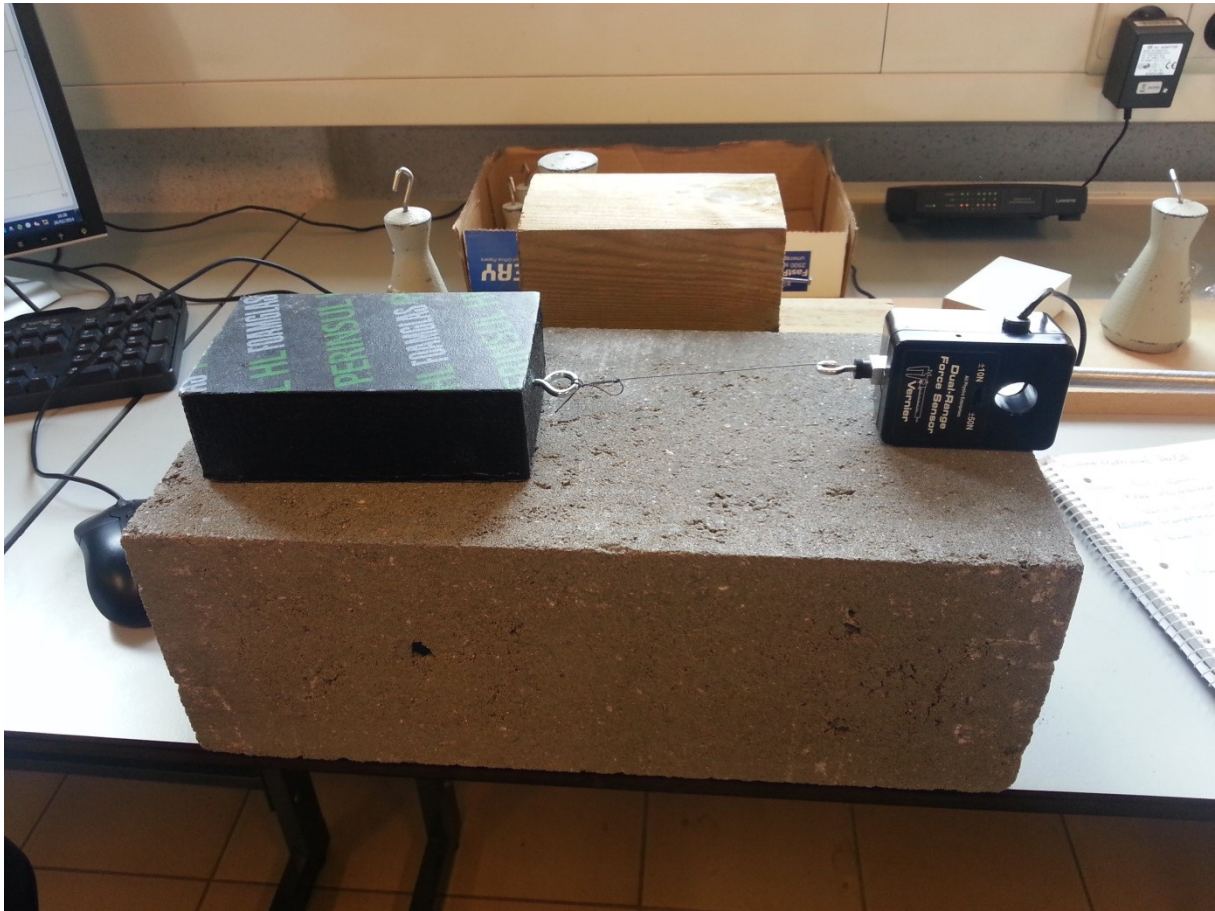
Hierbij wordt de benodigde kracht om beweging te introduceren in een materiaal op een bepaalde ondergrond gemeten door een krachtsensor (Figuur 3-4). De wrijvingskracht F_w is in ons geval lineair afhankelijk van het gewicht van de te beproeven materiaal $N=m \cdot g$. Deze afhankelijkheidsfactor is de statische wrijvingscoëfficiënt μ_s . Met deze factor is het dus mogelijk een raming te maken van de wrijving indien het volle gewicht van een gebouw op deze grondregel zou steunen.



Figuur 3-4: proefopstelling wrijving

Voor cellenglas werd de massa in stappen van 500 g verzwaaard, voor cellenbeton, kunststof en hout in stappen van 1 kg. Bij elke gewichtsstap werden er vijf wrijvingskrachten gemeten (bijlage 9.4.1). Hiervan wordt de lineair gemiddelde wrijvingskracht genomen en gedeeld door zijn gewicht G [N] om een wrijvingscoëfficiënt te bekomen. Deze wrijvingscoëfficiënten worden afgeleid uit de grafiek die opgesteld is met in de y-as de wrijvingskracht en in de x-as het gewicht G . Door de oorsprong en door deze meetpunten wordt een lineaire rechte getrokken met vergelijking $y=ax$, waarbij a de wrijvingscoëfficiënt is. Hierbij wordt ook de standaarddeviatie berekend zodat men de foutmarge van de metingen kunnen bepalen (bijlage 9.4.2).

De wrijvingsproef is uitgevoerd in het labo Mechanica van de Universiteit Hasselt. Elk type grondregel werd hierbij getest en per grondregel besproken onder 3.3 Methoden van aanzet. Als ondergrond zijn er twee materialen gekozen, beton en hout (Figuur 3-5). Enerzijds kan de wrijving tussen de grondregel en het beton aanzien worden als de wrijving tussen de grondregel en de fundering in beton. Anderzijds kan de wrijving tussen de grondregel en het hout aanzien worden als de wrijving tussen de grondregel en het prefab wandpaneel in HSB.



Figuur 3-5: proefopstelling op ondergrond

Bij veel hogere belastingen (bijvoorbeeld het gewicht van een huis) zal er vervorming van de materialen op microscopisch niveau optreden. Dit zorgt voor een afwijkend gedrag van de materialen. Men dient dus wel rekening te houden met het feit dat er bij dit type kleinschalige proeven de verandering in microstructuur, wat mogelijk tot andere wrijvingen kan leiden, niet in rekening kan worden gebracht. Allicht zal de wrijvingskracht niet meer lineair afhankelijk zijn van de normaalkracht.

3.2.1.1 Ondergrond beton

Uit de technische fiche van het beton [21] en de technische voorschriften voor betonmetselstenen [22] kunnen we halen dat:

- Het beton is een gekeurde 'B2' holle zichtmetselsteen
- De tolerantie op de oppervlaktevlakheid is $0.1 \times \sqrt{I_d}$ met I_d = de lengte van de diagonaal van het oppervlak (afgevlakt op 2mm maximum). In dit geval is dit:

$$\max(0.1 \times \sqrt{\sqrt{(390\text{mm})^2 + (190\text{mm})^2}}; 2\text{mm}) = 2\text{mm}$$

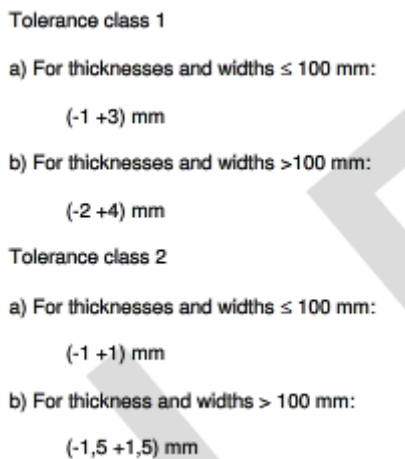
- De oppervlaktetextuur vlak en fijnkorrelig is, het oppervlak een bijna gesloten textuur heeft dat gekenmerkt wordt door de korrelmaat van de fijne granulaten en door de gelijkmatig verdeelde holten tussen deze granulaten

Bij het gebruik van deze betonblok wordt wel verondersteld dat deze zo goed mogelijk de fundering vertegenwoordigt. Men moet echter rekening houden dat de grondregel altijd ondervuld wordt met krimpvrije mortel. Deze krimpvrije mortel geeft een relatief glad ondervlak equivalent aan het oppervlak van de betonblok die gebruikt werd. In dit opzicht is het ook duidelijk dat er in deze proefopstelling geen hechting is tussen de grondregel en de betonblok, wat in de realiteit niet zo is.

3.2.1.2 *Ondergrond hout*

Het hout dat gebruikt wordt is geleverd door Machiels Building Solutions en heeft volgende kenmerken volgens de technische fiche [23]:

- Benaming hout 'pinus sylvestris' (grenen)
- Vochtigheidsgraad 16% +/-2%
- Vierzijdig geschaafde gladde afwerking
- Tolerantieklasse 2 (zie Figuur 3-6) volgens EN 336 [24]



Tolerance class 1	
a) For thicknesses and widths ≤ 100 mm:	(-1 +3) mm
b) For thicknesses and widths >100 mm:	(-2 +4) mm
Tolerance class 2	
a) For thicknesses and widths ≤ 100 mm:	(-1 +1) mm
b) For thickness and widths > 100 mm:	(-1,5 +1,5) mm

Figuur 3-6: tolerantieklassen hout voor dragende toepassingen (EN 336) [24]

De vochtigheidsgraad van dit hout is zeer belangrijk en moet dicht aanleunen bij het evenwichtsvochtgehalte van het hout. Indien niet de correcte vochtigheidsgraad wordt aangehouden zal het hout krimpen en scheuren vertonen die de stabiliteit in het gedrang kunnen brengen.

3.2.2 Uittrekproef schroef

Elk wandpaneel in HSB wordt vastgeschroefd in de grondregel. Subjectief kan er gezegd worden dat deze verbinding goed kan uitgevoerd worden in hout en kunststof. Terwijl andere materialen meer de neiging zouden kunnen tonen om af te brokkelen en geen verankering toe te laten. Elk type grondregel werd hierbij macroscopisch getest en per grondregel besproken onder 3.3 Methoden van aanzet.



Figuur 3-7: uittrekproef schroef

De sterk vereenvoudigde uittrekproef bestaat uit het inschroeven van een schroef in de grondregel, waarna de schroef manueel wordt getracht uitgetrokken te worden met de hefboomsarm van een klauwhamer (Figuur 3-7). Deze methode laat enigszins toe notie te hebben van de verankerbaarheid van een schroef in de grondregel. Alle technische specificaties van de gebruikte schroef zijn terug te vinden in bijlage 9.3.

3.2.3 Doorboring grondregel

Voor de verankering van de grondregel in de fundering moeten er uitsparingen geboord worden in de grondregel. Deze voorboring wordt meestal machinaal op voorhand gedaan in de fabriek. Toch is het de vraag of dit niet op de werf kan gebeuren, al dan niet voor maar enkele gaten.

Dit kan uiteraard tijds- en arbeidsintensief worden naargelang het te doorboren materiaal. De snelheid en de graad van moeilijkheid van het doorboren van een grondregel is bijgevolg een aspect dat zeker bekeken mag worden.



Figuur 3-8: doorboring grondregel

In '3.3 Methoden van aanzet' wordt de doorboorbaarheid van elke grondregel met een bepaald type boor onderzocht. Dit wordt gedaan door een gat te boren in de grondregel met een boormachine (Figuur 3-8). Hierbij wordt de stand van de boormachine telkens verhoogd als hij doorslaat. Dit geeft een idee van de benodigde kracht bij het boren.

3.3 Methoden van aanzet

3.3.1 Cellenbeton

Cellenbeton wordt gemaakt uit een mengsel van zand, kalk, cement en aluminiumpoeder dat is aangelengd met water. Het beton bestaat voor een groot deel uit "versteend lucht" waaraan het zijn opmerkelijk goede thermische eigenschappen en lichtgewicht te danken heeft.

Uit het document van FeBeCel [25] kunnen wij volgende gegevens in functie van de draagkracht vinden. Deze gegevens zijn van toepassing op cellenbeton van meerdere fabrikanten.

Aanduiding	f-klasse (N/mm ²)	ρ-klasse (kg/m ³)
C2/400	2	$300 \leq \rho < 400$
C3/450	3	$400 \leq \rho < 450$
C4/550	4	$500 \leq \rho < 550$
C5/650	5	$600 \leq \rho < 650$

Figuur 3-9: karakteristieke druksterkten cellenbeton

Klasse	τ
CC3/500	0,07 N/mm ²
CC4/600	0,10 N/mm ²

Figuur 3-10: schuifspanningen cellenbeton

De berekende gemiddelde statische wrijvingscoëfficiënt μ_s tussen cellenbeton en beton is 0,80 en tussen cellenbeton en hout is 0,61.

Het vastschroeven van een schroef in cellenbeton lukt met stand 6 van de boormachine. Het uittrekken van deze schroef met behulp van een klauwhamer zorgt er echter voor dat de schroef stapsgewijs en volledig uitgetrokken kan worden op een makkelijke manier. Het is dus niet evident dat een wandpaneel louter door middel van een schroef vastgemaakt kan worden op een grondregel uit cellenbeton.

Het doorboren van cellenbeton voor de doorvoer van de segmentanker gaat vlot met een steenboor. Voor verankering met het segmentanker is cellenbeton dus goed geschikt. Ook kan men hier voor de verankering een draadstang gebruiken. Deze wordt dan chemisch verankerd in de fundering, en kan na het uitharden aangedraaid worden.

3.3.2 Cellenglas

Cellenglas is een hard isolatiemateriaal op basis van glas. Aangezien er meerdere fabrikanten zijn van cellenglas hebben we voor dit onderzoek de keuze gemaakt voor de producten 'Perinsul S' en 'Perinsul HL' (High Load) van het bedrijf Foamglas. Uit de brochure [5] die door Foamglas ter beschikking gesteld kunnen we volgende gegevens halen:

	STANDARD PERINSUL S	HIGH LOAD PERINSUL HL
Volumemassa ($\pm 15\%$) (EN 1602)	165 kg/m ³	200 kg/m ³
Dikte (EN 823) ± 2 mm	50, 100 en 120 mm	50, 100 en 120 mm
Lengte (EN 822) ± 2 mm	450 mm	450 mm
Breedte (EN 822) ± 2 mm	van 90 tot 365 mm	van 90 tot 365 mm
Warmtegeleidingscoëfficiënt (EN ISO 10456)	$\lambda_D \leq 0.050$ W/(m·K)	$\lambda_D \leq 0.058$ W/(m·K)
Brandreactie (EN 13501-1)	Euroklasse F (Kernmateriaal A1)	Euroklasse F (Kernmateriaal A1)
Weerstand tegen puntlast (EN 12430)	PL ≤ 1.0 mm	PL ≤ 1.0 mm
Druksterkte (EN 826-A)	CS ≥ 1.6 MPa	CS ≥ 2.75 MPa
Buigingsmodulus van elasticiteit	E = 1500 MN/m ²	E = 1500 MN/m ²
BRE Green Guide Rating	C	C
Druksterkte EN 772-1 met mortelcapping ³⁾ gemiddelde waarde	$f_b = 1.8$ MPa	$f_b = 2.9$ MPa
Karakteristieke druksterkte van metselwerk f_k ³⁾	KZ: kalkzandsteen: 1.20 MPa	KZ: kalkzandsteen: 1.90 MPa
	P: keramische volle steen: 0.90 MPa	P: keramische volle steen: 1.60 MPa
	SB: keramische snelbouwsteen: 0.90 MPa	SB: keramische snelbouwsteen: 1.60 MPa

Figuur 3-11: karakteristieke gegevens cellenglas

Perinsul is gedrenkt in bitumen en bijgevolg volledig waterdicht. Dit geldt althans voor niet verzaagde of doorboorde blokken.

De berekende gemiddelde statische wrijvingscoëfficiënt μ_s tussen cellenglas en beton is 0,58 en tussen cellenglas en hout is 0,36.

Al met stand 1 van de boormachine kan een schroef worden vastgeschroefd in cellenglas waarbij meteen op te merken valt dat er verkorreling van het materiaal optreedt. De ingeschroefde schroef is gemakkelijk uit te trekken met de hand wat maakt dat cellenglas een zeer slecht materiaal is om in te schroeven. Bovendien komt er een sterk onaangename geur vrij die een ongunstige werksfeer creëert.

Met een steenboor kan ook in cellenglas zeer gemakkelijk een doorvoer voor het segmentanker geboord worden. Lokaal lijkt er wel een verbrokkeling van het materiaal rond het gat voor te komen. Bijgevolg is voor verankering in de fundering cellenglas geschikt onder voorbehoud (correcte en voorzichtige uitvoering).

3.3.3 Grondregel hout

De grondregel in hout is een materiaal dat reeds jaren gebruikt wordt door Machiels Building Solutions. De technische fiche van het standaard C18 Hout werd ter beschikking gesteld door MBS [23]. De volledige naam luidt 'Pinus Sylvestris Red PEFC C18 16% impregnated square-planed rectangular'.

Aangezien het hier gaat over grenenhout klasse C18 zijn de kenmerken hiervan vastgelegd in EN 338 (Figuur 3-12) [26].

Table 1 — Strength classes - Characteristic values

		Softwood species												Hardwood species									
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70		
Strength properties (in N/mm ²)																							
Bending	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	18	24	30	35	40	50	60	70		
Tension parallel	$f_{t,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	11	14	18	21	24	30	36	42		
Tension perpendicular	$f_{t90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6		
Compression parallel	$f_{c,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	18	21	23	25	26	29	32	34		
Compression perpendicular	$f_{c90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	7,5	7,8	8,0	8,1	8,3	9,3	10,5	13,5		
Shear	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	5,0		
Stiffness properties (in kN/mm ²)																							
Mean modulus of elasticity parallel	$E_{0,mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16	9,5	10	11	12	13	14	17	20		
5 % modulus of elasticity parallel	$E_{0,5}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7	8	8,5	9,2	10,1	10,9	11,8	14,3	16,8		
Mean modulus of elasticity perpendicular	$E_{90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,63	0,67	0,73	0,80	0,86	0,93	1,13	1,33		
Mean shear modulus	G_{mean}	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00	0,59	0,62	0,69	0,75	0,81	0,88	1,06	1,25		
Density (in kg/m ³)																							
Density	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	475	485	530	540	550	620	700	900		
Mean density	ρ_{mean}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	570	580	640	650	680	750	840	1080		
NOTE 1 Values given above for tension strength, compression strength, shear strength, 5 % modulus of elasticity, mean modulus of elasticity perpendicular to grain and mean shear modulus, have been calculated using the equations given in Annex A.																							
NOTE 2 The tabulated properties are compatible with timber at a moisture content consistent with a temperature of 20 °C and a relative humidity of 65 %.																							
NOTE 3 Timber conforming to classes C45 and C50 may not be readily available.																							
NOTE 4 Characteristic values for shear strength are given for timber without fissures, according to EN 408. The effect of fissures should be covered in design codes.																							

Figuur 3-12: sterkteklassen hout volgens EN338 [26]

Hout is een natuurlijk product en bijgevolg onderhevig aan schimmelvorming en aantasting door bacteriën en weersomstandigheden. Daarom is dit hout verduurzaamd volgens procedé A3 van STS 04-3 [27] om te weerstaan tegen de plaatsing in een permanent zeer vochtige omgeving (al dan niet blootgesteld aan weersomstandigheden gebruikelijke klasse 3). Dit verduurzamingsproces heeft als doel het hout preventief voldoende weerstand te verlenen tegen aantasting door insecten- en basidiomycete⁵ (Fungi) schimmels. Dit betekent dus wel dat het hout nog bijkomend moet beschermd worden tegen opstijgend grondvocht, en dit meestal door een bitumineuze vochtkering. De overige gegevens van dit hout zijn beschreven in '3.2.1.2 Ondergrond hout'

De berekende gemiddelde statische wrijvingscoëfficiënt μ_s tussen hout en beton is 0,61 en tussen hout onderling is 0,50.

Stand 10 van de boormachine zorgt ervoor dat een schroef voldoende diep kan ingeschroefd worden in hout. Intuïtief kan men al aanvoelen dat deze schroef zeer goed bevestigd is, hetgeen ook bevestigd wordt tijdens de proef. Het is onmogelijk om met de klauwhamer de schroef uit te trekken wat er op duidt dat hout een prima materiaal is om op te vertrouwen.

Een houtboor boort met de nodige druk een proper gat voor de doorvoer van het segmentanker. Hierbij treedt geen lokale verbrokkeling en is er geen nood aan een verhoogde drukkracht. Hout is dus zeker geschikt voor de doorvoer van een segmentanker.

⁵ Dit is de specifieke naam van een stam binnen het rijk der Schimmels

3.3.4 Grondregel kunststof

Kunststof als grondregel werd ook, zij het in mindere mate, door MBS gebruikt. Daarom is er ook informatie van hun beschikbaar over de KLP- plank van Lankhorst Recycling. Dit is een gerecycleerd product op basis van kunststof. Dit is dan vooral fabrieksafval of consumentenafval dat per soort gescheiden werd (flessen, doppen, bierkratten), maar ook producten zoals landbouwfolie. Met deze materialen wordt een optimale mix samengesteld die de gewenste bouwtechnische eigenschappen heeft. Uiterlijk ziet men dat deze plank glad afwerkt is met strengen plastic die te zien zijn. In de literatuur kunnen geen Europese normen met betrekking tot dit product gevonden, in de brochure wordt enkel verwezen naar 'ISO 9001: Kwaliteitsmanagementsystemen – eisen'. Hierin staat echter niets relevant met betrekking tot deze masterproef.

De gegevens die uit de bedrijfsbrochure [28] komen zijn als volgt:

	Norm	Eenheid	KLP® compound	KLP®-V compound	KLP®-PPV compound	KLP®-PE compound	KLP®-S compound
Dichtheid	DIN 53479	g/cm ³	0,8	0,8	0,8	0,85	0,96- 1,29 ¹⁾
Treksterkte	DIN 53455	MPa	15	25	29	11	7- 27,9 ¹⁾
Rekgrens ⁴⁾	DIN 53455	MPa	10	22	19	-	-
E-modulus	DIN 53455	MPa	850	1800	1700	250	3190-11960 ¹⁾
Rek bij treksterkte	DIN 53455	%	6	3	4	-	-
Rek bij breuk	DIN 53455	%	6	3	5	40	-
Buigsterkte	DIN 53452	MPa	28	42	50	9	15,1-58,5 ¹⁾
Rekgrens ⁴⁾	DIN 53452	MPa	23	40	45	-	12,9-49,8 ¹⁾
Buig modulus	DIN 53452	MPa	1000	2000	1800	130	6700 - 25450 ¹⁾
Rek bij buigsterkte	DIN 53452	%	5	3,5	4,5	8,5	-
Rek bij breuk	DIN 53452	%	5	3,5	>4,5	-	niet gebroken
Kruipmodulus 10-jaar	DIN 53444	MPa	250	500	450	50	3600 – 13420 ¹⁾
Kritische rek lange duur	-	%	2,5	2	2	-	-
Toelaatbare druk lange duur	-	MPa	-	-	-	5	-
Kerfslagvastheid bij 20 ° C.	DIN 53453 ²⁾	kJ/m ²	4.2	-	5	niet gebr.	niet gebr.
Kerfslagvastheid bij -20 ° C.	DIN 53453 ²⁾	kJ/m ²	-	-	-	8,5-11	8,5-11
Wrijvingsgetal Leroux (droog)	NEN2873	-	88	-	-	-	-
Wrijvingsgetal Leroux (nat)	NEN 2873	-	66	-	-	-	-
Taber abraser CS17	ASTM 5060	M afname (g)	0,037	-	-	-	-
Taber abraser H22	ASTM 5060	M afname (g)	0,354	-	-	-	-
Brandklasse	NEN 6065	-	3	-	-	-	-
Lin. Uitzettingscoëf.		x 10 ⁻⁴ / °C	1 – 1,5	0,5-0,8	0,6	2	0,1
Waterabsorptie		mg/ 4 dagen	< 0,02	< 0,02	<0,02	<0,01	<0,01
Gebruikstemperaturen		°C	-20 / +70	-20 / +70	-25/+110	-50 / +70	-50 / +70
Ontbrandings-temperatuur ³⁾		°C	+/- 350	+/- 350	+/- 350	+/- 350	+/- 350
Thermische ontleding		°C	boven 300	boven 300	boven 300	boven 300	boven 300

Figuur 3-13: mechanische en fysieke eigenschappen kunststof

Kunststof zet uit, waarbij dit veel duidelijker te merken is dan bij andere materialen. De uitzetting van kunststof bekijken is dus belangrijk. Volgens de producent zet de aan MBS geleverde KLP- plank ongeveer 1,5mm per meter per 10°C uit (Figuur 3-13). Er kan van uitgegaan worden dat in België deze planken geplaatst worden bij minstens 10°C. Het slechtste geval zou dan zijn waarbij de plank onder volledige bezonning zou kunnen komen te staan waardoor de

temperatuur van de zwarte plank kan oplopen tot 50°C. Dit geeft een temperatuurverschil van 40°C en bijgevolg een uitzetting van $4 \times 1,5 \text{ mm} = 6 \text{ mm}$ per lopende meter. Dit is aanzienlijk groot en hier moet dus zeker rekening mee gehouden worden.

De oplossing voor de uitzetting van kunststof kan bestaan uit het herwerken van de verankeringsboorgaten naar slipgaten, zodat deze een vervorming van de kunststofplank toestaan (Figuur 3-14). Men zou ook een thermische uitzettingsvoeg kunnen voorzien. Let wel op, dit neemt alsnog niet weg dat er uitzettingsproblemen kunnen ontstaan doordat bijvoorbeeld het segmentanker te sterk is aangedraaid.



Figuur 3-14: slipgaten maken van reguliere gaten [28]

De berekende gemiddelde statische wrijvingscoëfficiënt μ_s tussen kunststof en beton is 0,56 en tussen kunststof en hout is 0,40.



Figuur 3-15: inschroeven kunststof

Pas in de maximumstand van de boormachine kan er een schroef op bepaalde diepte worden ingeschroefd in kunststof. Tijdens het inschroeven krijgt men het beeld alsof dat de schroef wordt opgeslorpt door de kunststof (Figuur 3-15: inschroeven kunststof). De kunststoffen grondregel geraakt verhit door de wrijving met de schroef en hecht er zeer goed aan. Het proberen uittrekken van deze schroef is zinloos, zelfs het er terug uitschroeven van de schroef vergt hoge kracht.

Kunststof doorboren is zeer moeilijk. Een steenboor penetreert niet, een houtboor begint wel te boren maar geeft aanleiding tot vervorming en verplaatsing van het boorgat. Een volledige doorvoer is mogelijk indien men heel wat kracht op de boor zet. De kwaliteit van het boorgat, echter, laat te wensen over (Figuur 3-16). Kunststof is dus geschikt voor de doorvoer van een segmentanker maar de benodigde arbeid is veel hoger dan bij de andere materialen en de kwaliteit van de afwerking is niet optimaal.

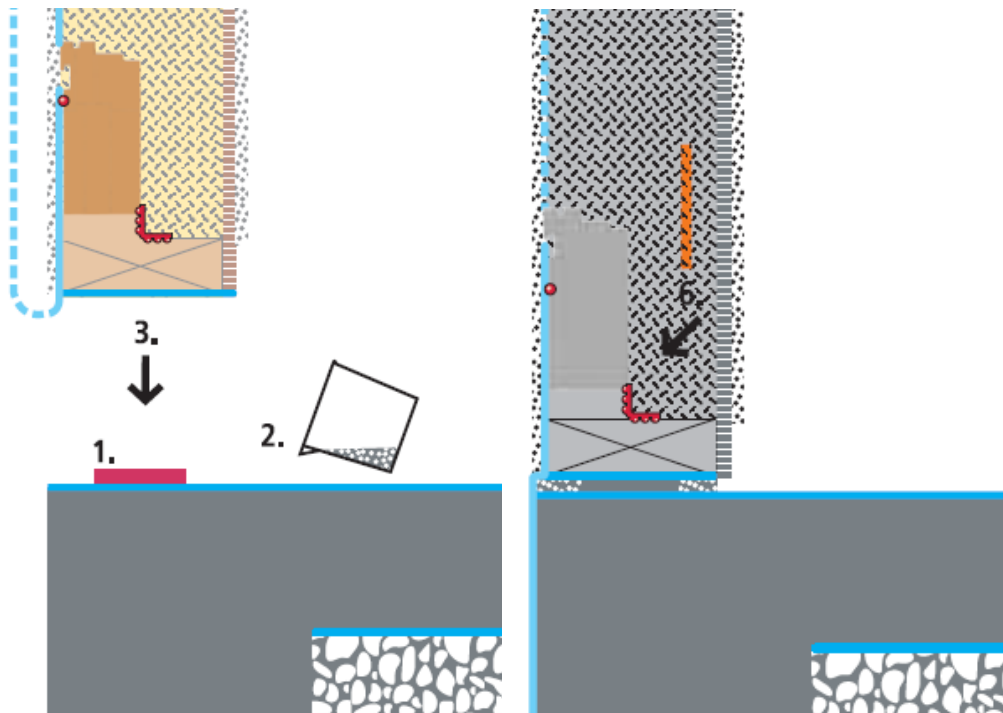


Figuur 3-16: doorboren kunststof

3.3.5 HSB element rechtstreeks op fundering

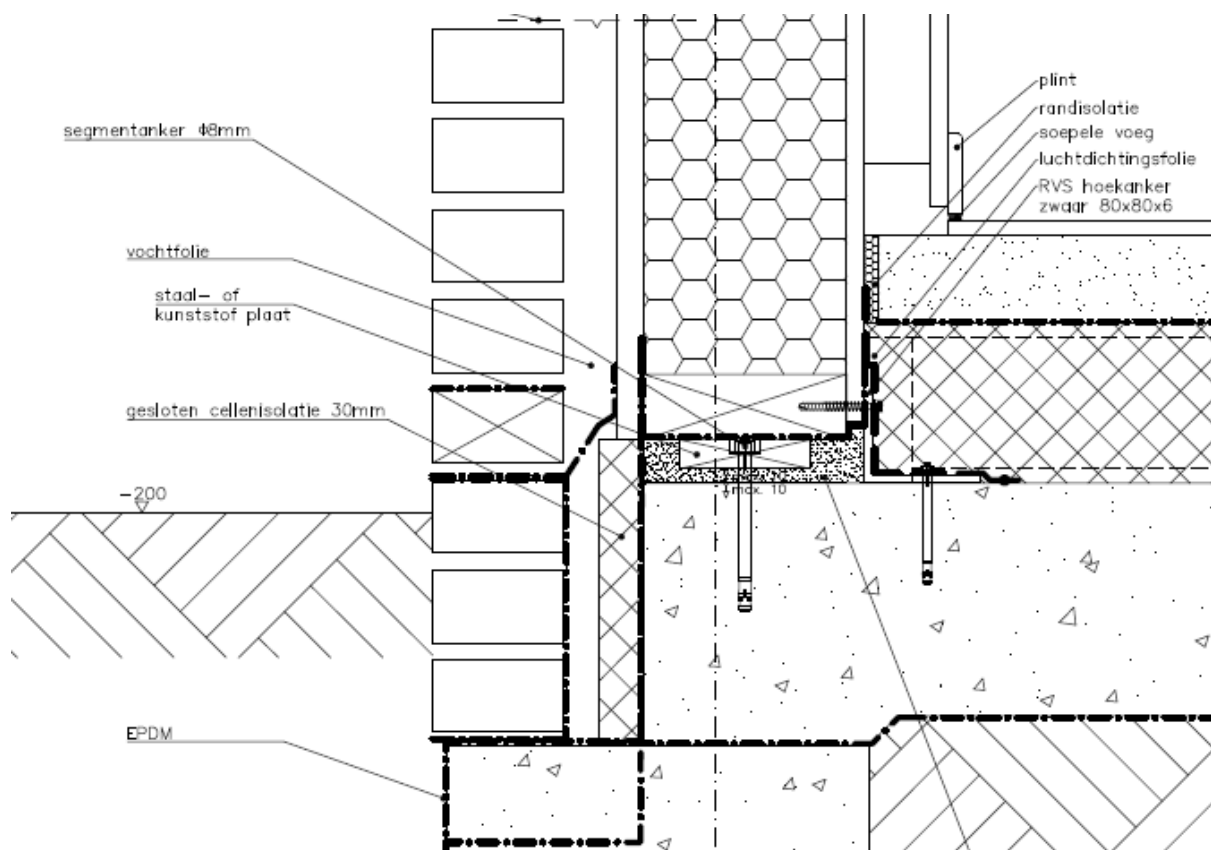
Bij deze methode worden de HSB elementen rechtstreeks geplaatst op de fundering, op rechthoekige staalplaten of harde kunststofplaten ingebed in mortel. Men start hierbij vanop een funderingsplaat waarbij de aanzet van de wanden met een bitumineus membraan verzegeld is. De platen worden verankerd op de fundering met een tussenafstand van ongeveer 1m. Nadien

worden al deze platen genivelleerd door middel van een referentieniveau. De ruimtes tussen de platen waar de wandpanelen zullen komen worden opgevuld met een vochtige mortel (Figuur 3-17 Links). Nadien wordt het wandpaneel met behulp van een kraan geplaatst op de platen. Hierdoor wordt de onderliggende mortel samengedrukt en worden de platen netjes omringd door mortel. De overmaat aan mortel wordt er automatisch tussenuit geperst en verwijderd. Deze aanzetmethode heeft als voordeel dat in een stap de hoogte precies genivelleerd is en tegelijk de ondermorteling van het wandpaneel ook gedaan is. Figuur 3-17 rechts toont de afgewerkte situatie waarin deze methode is toegepast.



Figuur 3-17: HSB- element rechtstreeks op fundering [29]

De verankering van het wandpaneel gebeurt langs de binnenkant van het wandpaneel. Het wandpaneel wordt verankerd met verankeringshoekprofielen die op een regelmatige afstand van elkaar geplaatst worden. De verbinding van dit hoekprofiel met het wandelement zorgt ervoor dat dit wandelement niet zal bewegen. De hoekverbinding met de fundering wordt op afschuiving belast door de windkracht en zal bijgevolg enkel hierop gedimensioneerd worden. De technische tekening van de plaatsing op een grondregel zonder toegevoegd materiaal is te zien in Figuur 3-18.



Figuur 3-18: plaatsing grondregel zonder toegevoegd materiaal

Om de luchtdichtheid te garanderen worden alle naden afgedekt met een butylkleefband. [29] Deze methode van aanzet is volledig EPB conform aangezien de verbinding zelf en de verbindingsplaten buiten de isolatieschil vallen.

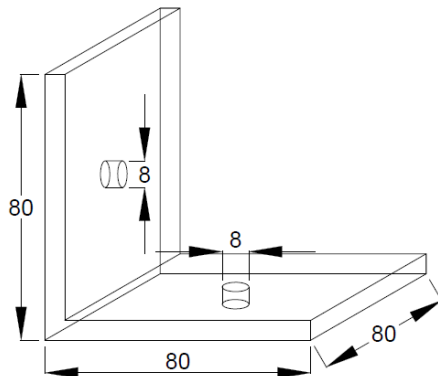
Voor de draagkracht kan men zeggen dat de rechthoekige staal- of kunststofplaten voor de lastenafracht instaan. Er mag theoretisch dus gerekend worden met druksterktes gaande van 10N/mm^2 (bijvoorbeeld KLP kunststof) tot 235N/mm^2 (bijvoorbeeld vloiegrens staal S235). Deze bovengrens van 235N/mm^2 is echter niet haalbaar omdat het funderingsbeton (C20/25) en de egalisatiemortel zullen falen onder deze druk. Het is in dit geval meer aannemelijk met de maximale druksterkte van het beton te werken, omdat deze kritischer is. De grenswaarde voor de draagkracht wordt aldus gelijk gesteld met de drukkracht van C20/25 beton, deze bedraagt 20N/mm^2 .

Om de wrijving bij dit type uitvoering van grondregel te bepalen moet men een proefopstelling maken waarbij een wandpaneel ingebed wordt in mortel op een funderingsplaat zonder verticale ankers. Na het uitharden van de mortel kan men de wrijvingsproef beginnen. Het uitvoeren van deze proef valt echter buiten het tijdbestek van deze masterproef. Bovendien moet er ook rekening mee gehouden worden met de aanhechting van de mortel op de wand en fundering, wat als positieve invloed mee in rekening kan gebracht worden.

Dit model waarbij het HSB element rechtstreeks op de fundering geplaatst wordt is een methode die vaak wordt gebruikt in Duitsland.

3.3.5.1 Verankeringshoekprofiel

Bij de gebruikte verankeringshoekprofielen (Figuur 3-19) is het nodig deze te dimensioneren en te berekenen. Nadat de woning volledig is opgetrokken moet dit profiel kunnen weerstaan aan windkrachten die het wandpaneel belasten. In de bouwfase moet men uiteraard bijkomende voorzieningen treffen gezien de constructie tijdelijk onstabiel is.



Figuur 3-19: verankeringshoekprofiel [mm]

Aangezien deze verankeringshoekprofiel onderaan de muur geplaatst wordt zal deze niet onderhevig zijn aan buiging of druk. Deze verbinding zal enkel langs het horizontaal vlak moeten kunnen weerstaan aan afschuiving.

De berekening van deze boutverbinding gebeurt volgens Eurocode 3. De afschuifkracht die een meter muur beslaat die opgenomen moet kunnen worden wordt als volgt berekend:

$$\text{Windkracht in UGT: } F_{w,UGT} = 37kN * 1,5 = 55,5kN$$

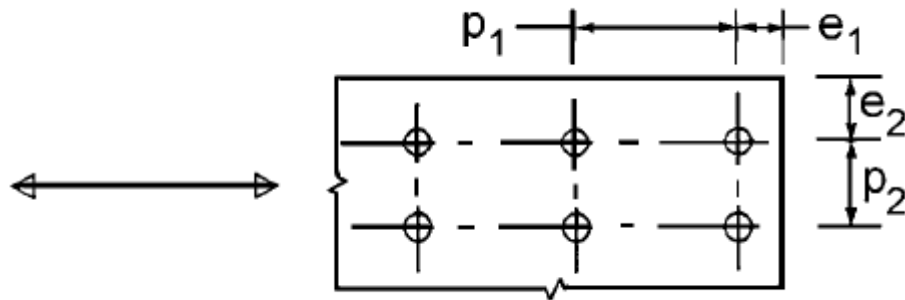
Deze waarde delen we door de hoogte van de muur om de windkracht langsheen de fundering van het gebouw te berekenen.

$$q_{w,UGT} = \frac{55,5kN}{6,28m} = 8,84kN/m$$

De afschuifkracht wordt berekend op stroken van telkens 1m lang onderaan het gebouw langsheen de fundering. Hierbij wordt aangenomen dat elk verankeringshoekprofiel een ondersteuningspunt is. De maximale afschuifkracht die uitgeoefend wordt op een verankeringshoekprofiel wordt dan berekend volgens de klassieke sterkteleer:

$$V_{afschuif} = \frac{q_{w,UGT} * L_{1strook,muur}}{2} = \frac{8,84kN/m * 1m}{2} = 4,42kN$$

De boutverbinding moet aldus een schuifkracht van 4,42kN aankunnen. We gebruiken 1 bout diameter 8 met kwaliteitsklasse 5.6. De afschuifkracht die per bout opgenomen moet kunnen worden is dan $4,5\text{kN}/1 = 4,5\text{kN}$. De tussenafstand (zie Figuur 3-20) $e = 1,2 \cdot 8\text{mm} = 9,6\text{mm}$ en de tussenafstand $p = 2,4 \cdot 8\text{mm} = 19,2\text{mm}$.



Figuur 3-20: tussenafstanden boutgaten

Rekenwaarde van de afschuifkracht per bout (schuifvlak door de steel van de bout):

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v A f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 50,3\text{mm}^2 \cdot 500\text{N/mm}^2}{1,25} = 12,1\text{kN}$$

Falen door het indringen van de bout:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_1 d t f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{1,66 \cdot 0,40 \cdot 8\text{mm} \cdot 6\text{mm} \cdot 355\text{N/mm}^2}{1,25} = 9,1\text{kN}$$

Met $k_1 = \frac{2,8 \cdot 9,6\text{mm}}{8\text{mm}} - 1,7 = 1,66$ en $\alpha_1 = \frac{9,6\text{mm}}{3 \cdot 8\text{mm}} = 0,40$

Deze gedimensioneerde boutverbinding en verankeringshoekprofiel volstaat dus op alle vlakken.

3.4 Resultaten

3.4.1 Draagkracht

	Draagkracht [N/mm ²] [MPa]
Cellenbeton	2 – 5
Cellenglas	1,6 – 2,75 (S) – (HL)
Hout	2,2 (Compression perpendicular)
Kunststof	10 (Vloeigrens)
Rechtstreeks op fundering	10 - 20

Tabel 3-1: draagkracht grondregels

Vooreerst berekenen we de belasting van de houtskeletstructuur op de grondregel. Het typisch gewicht van een HSB-woning is 6000kg/m' [kilogram per lopende meter] (bovengrens). Als minst gunstig geval nemen we een grondregel van 95mm dat doorgaans ook door MBS gebruikt wordt. Het volstaat dan om de kracht te delen door het oppervlak om de teweegebrachte spanning te berekenen:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{m \times g}{A} = \frac{6000kg/m' \times 9.81m/s^2}{1000mm \times 95mm} = 0,62N/mm^2$$

Uit de vergelijkende Tabel 3-1 kan men dus concluderen dat alle grondregels ruimschoots voldoen voor de opgelegde spanning. Men merkt ook op dat buiten de traditionele materialen (cellenbeton, cellenglas, hout) de nieuwe materialen een betrekkelijk hogere spanning aankunnen.

De methode waarbij de aanzet rechtstreeks op de fundering vereist een andere benadering van de draagkrachtberekening. In het slechtste geval ervan uit dat er een kunststofplaat van 95 x 95 mm gebruikt word met een tussenafstand van 1m. De massa die deze plaat moet dragen is dan 6000kg. Het tussenoppervlak dat opgevuld is met mortel wordt als niet dragend beschouwd (worst- case scenario) De bijhorende spanning is dan:

$$\sigma = \frac{6000kg \times 9.81m/s^2}{95mm \times 95mm} = 6.52N/mm^2$$

Men kan dus concluderen dat een kunststofplaat met een drukkracht van 10N/mm² voldoet. Uiteraard voldoet een staalplaat kwaliteit S235 ook aangezien dit een hogere druksterkte heeft dan kunststof.

3.4.2 Wrijving

<u>FUNDERING</u>	wrijvingscoëfficiënt μ_s [-]
Cellenbeton	0.80
Cellenglas	0.58
Hout	0.61
Kunststof	0.56
Rechtstreeks op fundering	/

Tabel 3-2: wrijvingscoëfficiënt ondergrond beton (fundering)

<u>HOUT</u>	wrijvingscoëfficiënt μ_s [-]
Cellenbeton	0.61
Cellenglas	0.36
Hout	0.50
Kunststof	0.40
Rechtstreeks op fundering	/

Tabel 3-3: wrijvingscoëfficiënt ondergrond hout

Aangezien de wrijvingskracht F_w lineair afhankelijk is met het gewicht en de wrijvingscoëfficiënt kan men stellen dat hoe hoger de wrijvingscoëfficiënt, hoe hoger de wrijvingskracht benodigd is om een beweging teweeg te brengen. In Tabel 3-2 en Tabel 3-3 ziet men in beide gevallen dat cellenbeton de hoogste wrijvingscoëfficiënt heeft. Dit betekent dat cellenbeton het ruwste oppervlak heeft en de grootste weerstand tegen wrijving biedt in vergelijking met andere grondregels.

3.4.2.1 Wrijving toegepast op Houtskeletbouw

Voor het gewicht van een HSB- woning wordt er gewerkt met modelwoning 'Eurogen 1'. Men neemt aan dat het gewicht van de HSB- woning uniform en homogeen verdeeld is. Het berekend totaal gewicht van enkel de dragende structuur van de woning is 182kN. Enkel de dragende structuur betekent dat gevelmetselwerk, vochtkering, tegels en de volledige variabele belasting buiten beschouwing worden gelaten. De berekening is gedaan met hetzelfde werkblad dat gebruikt wordt voor de lastendaling (bijlage 9.7). De benodigde

wrijvingscoëfficiënt om weerstand te bieden aan de windkracht wordt als volgt bepaald:

$$F_w = \mu_s \times N \Rightarrow \mu_s = \frac{F_w}{N}$$

Voor deze woning geeft dit:

$$\mu_s = \frac{F_w}{N} = \frac{25kN}{182kN} = 0,14 \text{ en } \frac{37kN}{182kN} = 0,20$$

Men kan aldus concluderen dat alle grondregels op alle ondergronden voldoende wrijvingsweerstand bieden aan windkrachten. Als men geen andere randeffecten (schrang, imperfecte uitvoering,...) in rekening brengt kan er gesteld worden dat het segmentanker theoretisch gezien niet nodig is om de windkrachten op te nemen. Men moet zeker en vast rekening houden met het feit dat dit waarden zijn voor een afgewerkte woning en dat deze berekening niets zegt over de tijdelijke toestand (bijvoorbeeld bij de bouw van de woning).

De berekening is gemaakt voor de modelwoning met 2 bouwlagen. Beschouwt men een woning met één bouwlaag dan kan duidelijk gesteld worden dat er niet zal voldaan worden aan de wrijvingsweerstand geleverd door de grondregels. Hier zal de woning dus letterlijk weggeblazen kunnen worden.

3.4.3 Weerstand tegen schrank

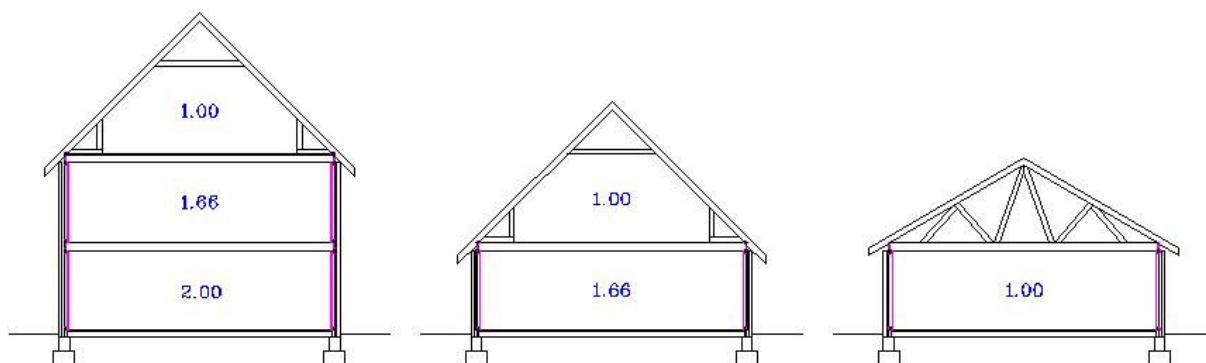
Om te voldoen aan de eisen voor de horizontale stabiliteit is het belangrijk dat een gebouw in HSB voldoende weerstand biedt aan schrank. Hierna worden methoden besproken waarmee dit mogelijk is.

3.4.3.1 Schrankende wanden

De stabiliteitstechnische functie van schrankende wanden is om de windkrachten naar de fundering af te leiden. Bij traditioneel gemetselde huizen is dit vaak niet kritisch maar bij HSB verdient dit de nodige aandacht gezien de lichtgewichtconstructie. De schrankende wanden zorgen voor de benodigde weerstand tegen de horizontale krachten. Bijkomende verankeringen (zoals extra tie-downs) zijn aldus onnodig indien men voldoet aan de eisen van de schrankende wanden.

Gebouw met afmetingen a x b	Minimale lengte aan schrankende wanden evenwijdig	
	Aan gevel a	Aan gevel b
1 bouwlaag	b	a
2 bouwlagen		
Bovenverdieping	b	a
Benedenverdieping	1,67b	1,67a
3 bouwlagen		
Bovenverdieping	b	a
Tussenverdieping	1,67b	1,67a
Benedenverdieping	2,00b	2,00b

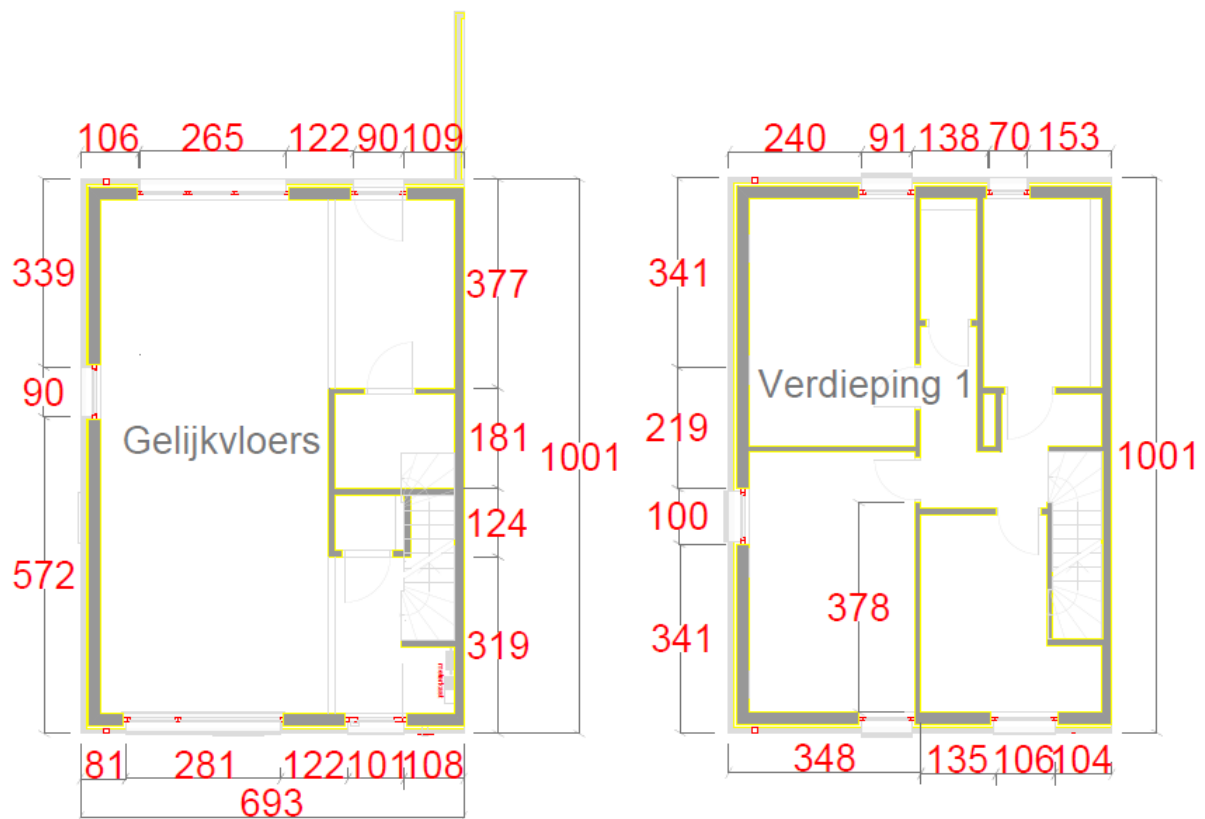
Tabel 3-4: lengtefactoren schrankende wanden [14]



Figuur 3-21: lengtefactoren schrankende wanden [19]

De Proft et al. [14] nemen Tabel 3-4 aan als vuistregel voor het berekenen van de benodigde minimale lente aan schrankende wanden. Figuur 3-21 toont een overzicht van waar de factoren fysiek toegepast moeten worden. Men mag enkel wanden in rekening brengen die langer zijn dan de helft van de hoogte van een verdieping.

De berekening van de schrankende wanden wordt hier toegepast op de modelwoning 'Eurogen 1' van MBS. Dit is een woning met twee bouwlagen en een plat dak. De verdiepingshoogte is 272 cm en dus mogen enkel de stijve wanden van meer dan 136 cm als schrankweerstandbiedende wanden in rekening gebracht worden. Figuur 3-22 toont het grondplan van deze woning.



Figuur 3-22: modelwoning 'Eurogen 1' MBS

▪ Gelijkvloers (factor 1,66):

- Loodrecht op de wand van 693cm is er nood aan $1,66 \times 693\text{cm} = 1151\text{cm}$ schrankweerstandbiedende wanden

$$572\text{cm} + 339\text{cm} + 1001\text{cm} + 181\text{cm} = 2093\text{cm} > 1151\text{cm}$$

→Voldaan aan vuistregel

- Loodrecht op de wand van 1001cm is er nood aan $1,66 \times 1001\text{cm} = 1662\text{cm}$ schrankweerstandbiedende wanden

$$210\text{cm} \ll 1662\text{cm}$$

→NIET voldaan aan vuistregel, voldoet absoluut niet aan de eisen van horizontale stabiliteit → tie- downs voorzien lost dit probleem op

▪ Eerste verdieping (factor 1,00):

- Loodrecht op de wand van 693cm is er nood aan $1,00 \times 693\text{cm} = 693\text{cm}$ schrankweerstandbiedende wanden

$$560\text{cm} + 341\text{cm} + 341\text{cm} + 378\text{cm} + 460\text{cm} + 220\text{cm} + 1001\text{cm} = 3301\text{cm} > 693\text{cm}$$

→Voldaan aan vuistregel

- Loodrecht op de wand van 1001cm is er nood aan $1,00 \times 1001 \text{ cm} = 1001 \text{ cm}$ schrankweerstandbiedende wanden

$$240 \text{ cm} + 153 \text{ cm} + 331 \text{ cm} + 152 \text{ cm} + 348 \text{ cm} = 1224 \text{ cm} > 1001 \text{ cm}$$

→Voldaan aan vuistregel

3.4.3.2 Tie downs

De klassieke bescherming tegen de krachtwerkingen van een tie- down zijn eerder al beschreven in 3.1 Algemeen.

Er bestaan echter nog andere en gemakkelijker te prefabriceren methodes voor een tie- down. Een voorbeeld is het tweedelige anker HD2P van Simpson Strong-Tie. Deze tie- down bestaat uit twee delen waarvan één deel fabrieksmatig (prefab) op voorhand ingebouwd wordt in de wand. Het andere deel wordt op de werf verankerd in de fundering. De verbinding tussen deze twee delen gebeurt dan eenvoudigweg met zelftappende schroeven die beide delen verbinden. Deze opstelling wordt getoond in Figuur 3-23.



Figuur 3-23: HD2P tie- down 'Simpson Strong-Tie'

3.4.4 Vastschroeven

Gebaseerd op de uitgevoerde proeven kan er zonder meer besloten worden dat de materialen cellenglas en cellenbeton het niet toestaan op erin een schroef vast te schroeven.

De materialen hout en kunststof verlenen zich uitstekend voor het vastschroeven van schroeven en zijn hier dus uiterst geschikt voor.

Bij de rechtstreekse aanzet op de fundering is er geen sprake van het vastschroeven van schroeven in de staal- of kunststofplaten. Het vastzetten van het wandpaneel gebeurt met behulp van verankeringshoekprofielen.

Bijgevolg hoeven er in dit geval helemaal geen schroeven in de grondregel vastgeschroefd te worden.

3.4.5 Doorboring

Voor de doorboring kan men uniform voor alle materialen zeggen dat deze beter machinaal op voorhand gebeurt. De kwaliteit die men bereikt met een doorboring met de hand is ruimschoots onvoldoende en is bij sommige grondregels te arbeidsintensief. Het prefabricatieproces gebruiken voor de doorboring bevordert de kwaliteit, benodigde arbeidsuren, accuraatheid en vermindert oponthoud op de werf.

3.4.6 Opstijgend vocht

Cellenglas (Perinsul) is een product dat gedrenkt is in bitumen en bijgevolg water ondoorlatend is. Bijkomende maatregelen ter bescherming tegen opstijgend grondvocht zijn bijgevolg niet nodig. Enkel waar het cellenglas verzaagd of doorboord wordt zullen er bijkomende maatregelen getroffen moeten worden.

Kunststof trekt zich niets aan van vocht, het weerstaat er zeer goed aan. Men moet er enkel voor zorgen dat als men uitzettingsvoegen voorziet men deze ook opvult met een waterdicht, elastisch en isolerend materiaal. Dit voorkomt een (toevallige) opvulling met een ander, waterdoorlatend materiaal en bijgevolg een koudebrug/vochtbrug.

Hout is, zoals intuïtief al aan te voelen is, waterdoorlatend. Het moet hiertegen dus beschermd worden. De houten grondregel wordt ingepakt in een DPC- folie omheen de zijden en de onderkant. De bovenkant wordt vrij gelaten om droging van het materiaal toe te staan. Het gebeurt ook dat de zijkanten ook vrijgelaten worden om wateropstapeling in de ingepakte grondregel te voorkomen. Een fabrikant van deze DPC- folie is Berdal, voor dit product zijn de technische gegevens te zien in Figuur 3-24 [30]. Het is duidelijk dat dit product niet lang onder de zon mag komen te liggen omdat hij niet UV- bestendig is. De uitvoering moet dus vrij snel gebeuren. Na uitvoering is er geen probleem meer aangezien zonlicht niet tot bij dit product kan komen.

Algemene gegevens	
Materiaaldikte	300 micron
Grondstof film	LDPE
Verpakking	Op kartonnen kokers / dozen / palletdoos
Kleur	Zwart
Rolbreedte	100 tot 1200 mm
Rollengte	50 meter
Mechanische eigenschappen	
Wateropname	nihil
Dampdoorlatendheid	0,36 (gram per m2 per dag)
Overige gegevens	
Temperatuurbestendigheid	-40° / +85°
UV-bestendigheid	nihil

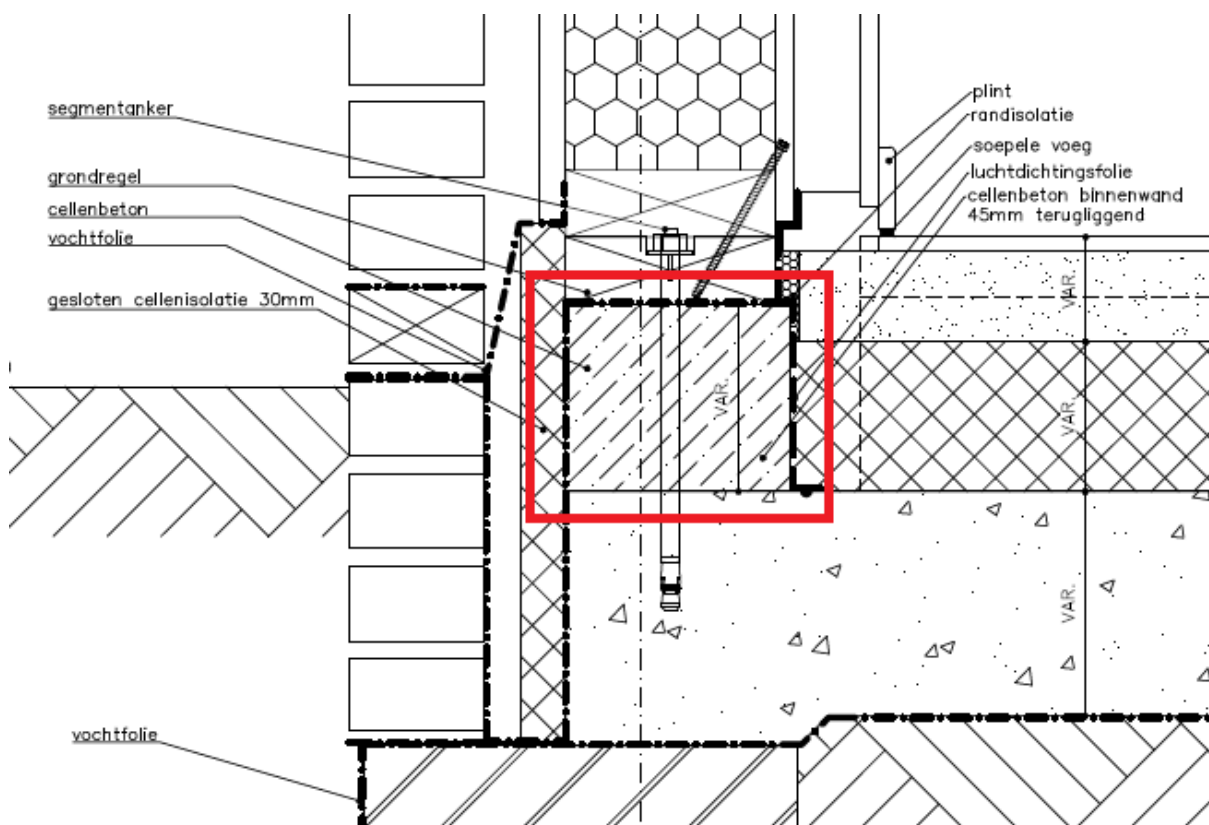
Figuur 3-24: gegevens Berdal DPC- folie

Er bestaan ook nieuwere, maar duurdere adhesieve vochtafdichtende afsluitbanden waarmee het hout kan ingepakt worden. Een voorbeeld hiervan is de 'Proclima Extoseal Finoc'. De fabrikant hiervan is 'Proclima'. Zij stellen dat deze band, bestaande uit butylrubber diep doordringt in de ondergrond en zo de vochtkering verzekert. Figuur 3-25 geeft de technische gegevens weer van dit product [31].

Eigenschap		Materiaal
Drager		Elastische PE dragerfolie
Materiaal		Butylrubber
Afdeklaag		gesiliconiseerde PE-folie
Eigenschap	Normering	Waarde
Kleur		Butylrubber: grijs, Folie: groen
Oppervlaktegewicht	DIN EN 1849-2	ca. 1,9 kg/m²
Dikte	DIN EN 1849-2	ca. 1,0 mm
Verwerkingstemperatuur		van +5 °C tot 35 °C, 's nachts vorstvrij
Temperatuurbestendigheid		bestendig van -20 °C tot +80 °C
Opslag		koel en droog

Figuur 3-25: gegevens Proclima Extoseal Finoc

Cellenbeton is een materiaal dat vocht absorbeert, en moet daarom ook bijkomend beschermd worden tegen opstijgend vocht. Dit kan zoals hierboven beschreven bij hout. Maar zoals te zien is in Figuur 3-26 kunnen we besluiten dat er in deze uitvoering toch geen opstijgend grondvocht tot bij de cellenbeton kan geraken. Deze optie is dus ook zeker aanvaard en gebruikt door Machiels Building Solutions.



Figuur 3-26: plaatsing cellenbeton

De situatie waarin de muuropbouw wordt ingebed in mortel is uiteraard ook een constructie waar er vochtoverdracht kan gebeuren. Dit wordt echter meteen aan de bron voorkomen door middel van het bitumineus membraan dat de overgang naar de fundering vochtvrij verzekert.

3.4.7 Controle EPB- aanvaarde bouwknop

Hier wordt de controle uitgevoerd conform basisregel 3 (bijlage 9.1: EPB-regelgeving) van de EPB richtlijnen. Dit doet men om te controleren of de reeds besproken grondregels voldoen op vlak van EPB aanvaarding.

Er wordt aangenomen dat er 10 cm polyurethaanschuim ($\lambda = 0,028 \text{ W/mK}$) vloerisolatie opgespoten is en dat er 14 cm minerale wol ($\lambda = 0,037 \text{ W/mK}$) wandisolatie aanwezig is.

De drie eisen waaraan voldaan moet worden om een EPB- aanvaarde bouwknop te kunnen zijn, zijn als volgt:

- 1) De warmtegeleidingscoëfficiënt λ moet kleiner of gelijk zijn aan $0,2 \text{ W/mK}$

grondregel	λ (W/mK)
Hout	0,13
Cellenbeton	0,125
Cellenglas	0,058
Kunststof	0,19
HSB element rechtstreeks op fundering	0,12

Tabel 3-5: warmtegeleidingscoëfficiënten grondregels

Tabel 3-5 toont de λ -waarden van de grondregels die doorgaans gebruikt worden. Het is duidelijk dat alle waardes kleiner zijn dan 0,2 W/mK zodoende er geconcludeerd kan worden dat alle grondregels voldoen aan de eerste eis.

$$2) R_{grondregel} \geq \min(R_1/2, R_2/2, 2)$$

grondregel	d (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)
Hout	0,14	0,120	1,96
Cellen beton	0,15	0,125	1,99
Cellenglas	0,15	0,058	3,38
kunststof	0,15	0,190	1,58
HSB element rechtstreeks op fundering	0,14	0,120	1,96
R ₁ /2 (vloerisolatie)	0,10	0,028	3,57/2 = 1,79
R ₂ /2 (wandisolatie)	0,14	0,037	3,74/2 = 1,87

Tabel 3-6: warmteweerstanden

Tabel 3-6 toont de warmteweerstanden van de grondregels en de vloer- en wandisolatie. Bij de warmteweerstanden van de grondregels wordt de warmteweerstand van 3cm gesloten cellenisolatie ($R = 0,79 \text{ m}^2\text{K/W}$) opgeteld omdat dit tegen de grondregel geplaatst wordt. Dit is te zien in Figuur 3-1 van deel 3.1 Algemeen. Voor de wand wordt bij de R-waarde van de minerale wol isolatie in combinatie met de C18 houtstructuur ook de R-waardes van OSB en houtvezelplaat opgeteld. Dit omdat de λ -waarde van OSB en houtvezelplaat kleiner zijn dan 0,2W/mK. Er kan gezegd worden dat de vloerisolatie ($R_1/2 = 1,79 \text{ m}^2\text{K/W}$) de kleinste warmteweerstand heeft en bijgevolg het meest doorslaggevend is. De warmteweerstanden van de grondregels moeten aldus groter zijn dan 1,79 m²K/W. In Tabel 3-1 ziet men dat alle grondregels hieraan voldoen behalve kunststof. Kunststof voldoet dus niet aan eis 2. Aangezien deze R-waarde bepaling voor de andere grondregels voldoet voor onze thermische snedelij, voldoet ze voor alle snedelijnen.

$$3) d_{contact,i} \geq \min(d_{isolierend\ deel}/2, d_x/2)$$

grondregel	$d_{\text{iso. deel, vloer}}$ (mm)	$d_{\text{iso. deel, wand}}$ (mm)	d_x (mm)	$d_{\text{contact, vloer}}$ (mm)	$d_{\text{contact, wand}}$ (mm)
Hout	90	140		90	140
Cellenbeton	135	150		100	140
Cellenglas	145	150		100	140
Kunststof	30	150		30	140
HSB element rechtstreeks op fundering	45	140		45	140
$d_1/2$ (vloerisolatie)			50		
$d_2/2$ (wandisolatie)			70		

Tabel 3-7: isolatiediktes grondregels

Om te voldoen aan de eis moet er minimaal 50 mm contactlengte zijn tussen de vloerisolatie en grondregel en ook moet er minimaal 70 mm contactlengte zijn tussen de wandisolatie en grondregel. Bij de materialen cellenglas en cellenbeton wordt er 45mm hout(-isolatie) bij opgeteld, dit is ten gevolge van de houten grondregel die hier nog bovenop komt (zie Figuur 3-26).

In Tabel 3-7 ziet men dat $d_{\text{iso. deel, vloer}} = 30\text{mm}$ en 45mm voor respectievelijk de gevallen 'HSB element rechtstreeks op fundering' en 'kunststof'. Beide waarden zijn kleiner dan 50mm, bijgevolg is er aan eis 3 voor minimale contactlengte van 50mm niet voldaan. Dit geldt uiteraard enkel in de aanname dat er 10cm PUR vloerisolatie aanwezig is.

3.4.8 Plaatsing grondregels

Figuur 3-27 toont de plaatsingsdetails van MBS. Op de bovenste figuur ziet men de plaatsing van een klassieke grondregel in hout of kunststof, waar een degelijke verankering in het materiaal mogelijk is. De middelste figuur toont hetzelfde principe maar met toevoeging van de materialen cellenglas of cellenbeton. Hierin kan gezien worden dat de verankering van het HSB-wandprofiel niet in het cellenglas of -beton gebeurt maar wel in de grondregel uit hout of kunststof die erboven ligt.

Onderaan Figuur 3-27 ziet men de aanzet van een HSB- wandprofiel rechtstreeks op de fundering. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een genivelleerd staal- of kunststofplaatje dat op hoogte gebracht is door een ondervulling. De verankering gebeurt door het gebruik van een verankeringshoekprofiel.

3.5 Conclusie/Overzicht

	Cellenbeton	Cellenglas	Hout	Kunststof	Zonder toegevoegd materiaal
Draagkracht	Goed	Goed	Goed	Zeer goed	Zeer goed
Wrijving	Goed	Minder goed	Goed	Minder goed	/
Vastschroeven	Onmogelijk	Onmogelijk	Goed	Goed	m.b.v. verankering-hoekprofielen en ankerbouten
Opstijgend grondvocht	Behandeling nodig	Goede weerstand	Behandeling nodig	Goede weerstand	Behandeling nodig
Eenvoud	Moeilijk te hanteren, brokkelt af	Moeilijk te hanteren, brokkelt af	Goed, gekend principe	Goed, wel aandacht voor uitzetting	Goed, snellere uitvoering
Warmtegeleidings-coëfficiënt droog [W/(m.K)]	0,125 Goed	0,058 Zeer goed	0,130 Goed	0,190 Goed	0,130 Goed
EPB- conforme bouwknop? (bij gestelde aannames)	Conform	Conform	Conform	NIET conform	NIET conform
Effectief gebruik als aanzet op de fundering/ grondregel	Niet aangeraden te gebruiken	Niet aangeraden te gebruiken	Goed	Goed	Goed

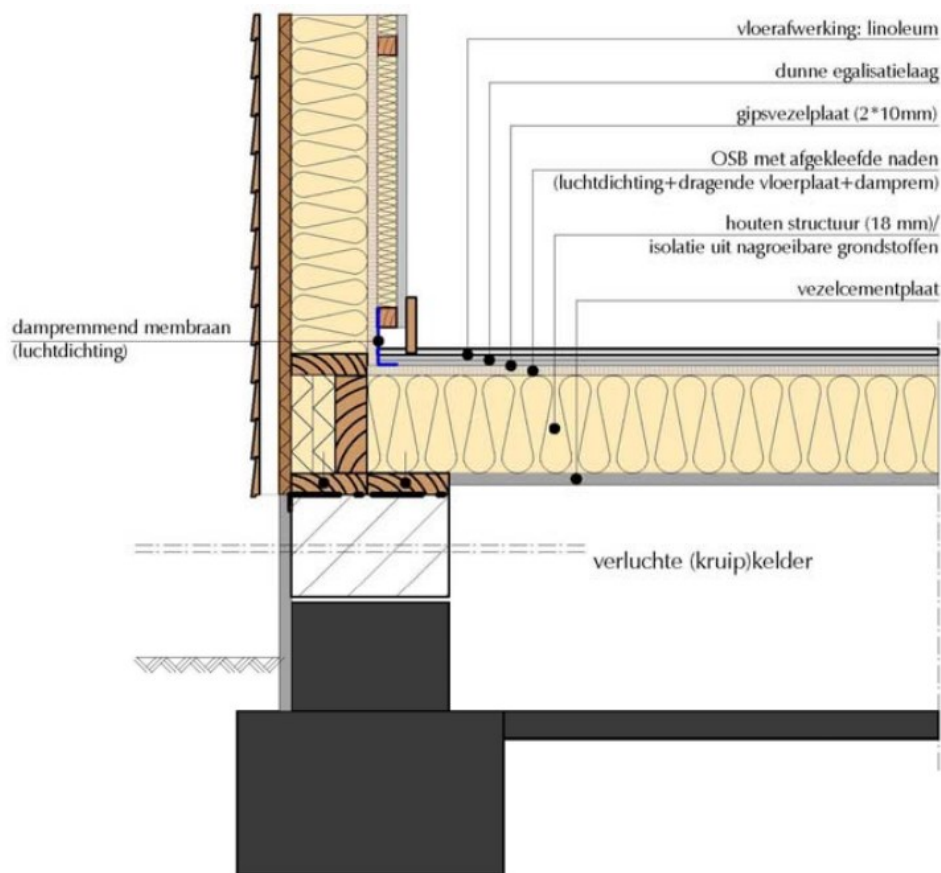
Tabel 3-8: overzichtstabel grondregels

Bijkomend kan men concluderen dat cellenglas en cellenbeton op basis van hun structuur niet louter enkel als grondregel gebruikt kunnen worden. Deze materialen worden als aanzetregel eerder gebruikt voor hun thermische isolatiewaarde ($\lambda_{\text{cellenglas}} = 0,058 \text{ W/(m.K)}$, $\lambda_{\text{cellenbeton}} = 0,125 \text{ W/(m.K)}$). Hier bovenop komt dan nog eens een grondregel in hout of kunststof zoals te zien is in Figuur 3-26. Dit is vooral toepasselijk bij kunststof, aangezien de overgang met kunststof alleen niet EPB- aanvaard is. Cellenglas en -beton kunnen ook gebruikt worden om de indruk te wekken dat het maaiveld hoger komt te liggen dan de binnenvloer. Dit zorgt ervoor dat een lagere of zelfs geen dorpel moet voorzien worden aan de inkom van de woning. De algemene tendens in België is dan ook dat de inwoners liever een vlakke inkom heeft, waarvoor de ophoging met cellenbeton of ook cellenglas gebruikt kan worden. Het gebruik van zo een thermische ophoging zorgt er ook voor dat de wandpanelen minder hoog moeten zijn waardoor er materiaalbesparing is op het hout. De plaatsing van de verschillende types grondregels is te zien in voorgaande Figuur 3-27.

4 Deel 2: starten vanop funderingsbalken met HSB elementen

4.1 Algemeen

In deel 1 bespreekt men de start van de bouw vanop een horizontale betonnen constructie. In dit deel wordt de start van de bouw vanop geprefabriceerde funderingsbalken met HSB elementen besproken. Hierbij wordt de vloeropbouw samen met zijn thermische inertie bekeken en wordt vergeleken met de betonnen fundering. Ook het toepassen van een kruipkelder en/of kelder en de hiermee gepaard gaande differentiële zettingen worden besproken.



Figuur 4-1: opbouw kruipkelder met houtenvloer. [32]

4.2 Technische uitwerking

4.2.1 Opbouw vloerelementen

De vloeropbouw bestaat uit kop- en randbalken rondom de vloerelementen. In de tussenschoten bevindt zich isolatie volgens de EPB-regelgeving. Een spaanplaat van 18mm (of multiplex of OSB) met daartussen een PE-folie bevindt zich aan de bovenkant van de vloerplaat. Aan de onderkant is er een houtvezelcementplaat. Dit is allemaal te zien in Figuur 4-1.

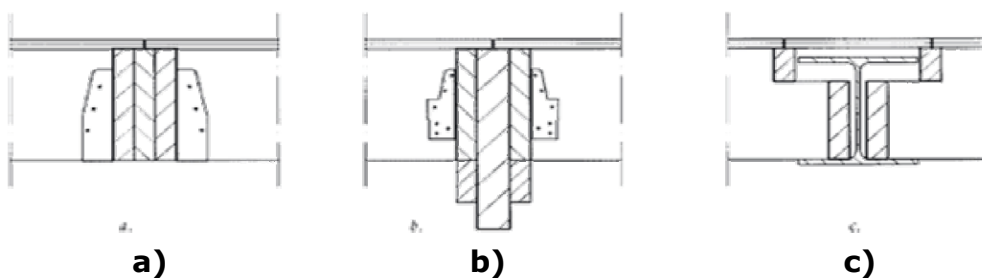
Aan de warme zijde van de constructie wordt een luchtdicht dampscherm voorzien om de warmteverliezen en inwendige condensatie te vermijden.

Dit bevordert ook de luchtdichtheid van het gebouw. Langs de koude zijde wordt het dan mogelijk dat de constructie naar buiten toe kan drogen.

MBS gebruikt vloerbalken met afmetingen [mm] 45 x 190, 45 x 215, 45 x 240 en 45 x 300. De afmetingen worden bepaald door de verticale lasten die de vloer moet kunnen afdragen naar de strookfunderingen. De eerste twee afmetingen worden vooral voor platte daken gebruikt. De vloerbalken worden h.o.h.⁶ op 400 of 600 mm van elkaar geplaatst. Voor grote vloerbelastingen of grote overspanningen kan er gekozen worden voor een I-ligger (45 X 300). Er kunnen ook bijkomend onderslagbalken en/of binnenwanden geplaatst worden. Het voordeel hiervan is dat dit het maximaal veldmoment en doorbuiging in het midden verlaagt, en dit omdat er bijkomende steunpunten gecreëerd worden.

De onderslagbalk kan bestaan uit verschillende types die te zien zijn in Figuur 4-2:

- a) twee naast elkaar geplaatste vloerbalken.
- b) gelamineerde ligger als onderslagbalk.
- c) stalen ligger als onderslagbalk.



Figuur 4-2: verschillende types onderslagbalk

Indien een dragende binnenwand evenwijdig of tussen twee vloerbalken loopt moet er een extra vloerbalk voorzien worden. Omdat een houten vloer een lichte constructie is, moeten er klossen tussen de vloerbalken geplaatst worden om hinderlijke trillingen te voorkomen [32] [33] [34].

4.2.2 Opbouw fundering

Een HSB vloerelement kan niet rechtstreeks op volle grond geplaatst worden. Dit zou stabiliteits-, vocht- en schimmelproblemen kunnen geven. Daarom wordt aangewezen dat men werkt met een (kruip)kelder.

Het toepassen van een kruipkelder bij HSB woningen biedt voordelen tegenover traditionele woningen. Een HSB woning weegt een vierde tot een vijfde van het gewicht van een stenen woning [34]. Het lage eigengewicht van de HSB woning zorgt voor een groot voordeel bij het bouwen van de fundering, zoals het funderen op staal in plaats van palen, gebruik van kortere en slankere palen en de funderingsafmetingen (de funderingsberekeningen worden in deel 3 besproken). Het bouwen van een volwaardige kelder kan deze voordelen teniet doen omdat het gewicht van deze constructie dan te zwaar wordt.

⁶ Hart op hart afstand

Door een te hoge luchtvochtigheid in de kruipkelder kan het HSB- vloerelement aangetast worden en kunnen er schimmel- en vochtproblemen ontstaan. Ook behoort muffe binnenlucht tot een van de standaardklachten. De hoge luchtvochtigheid kan te wijten zijn aan de verdamping van water vanaf de volle grond onder de vloer. Men moet dus maatregelen treffen om de luchtvochtigheid in de kruipkelder te reduceren en de verdamping van de vocht uit de kruipkelderbodem te voorkomen. Een mogelijke oplossing hierbij is het plaatsen van een dikke en stevige kunststoffolie op de bodem. Bij HSB- vloerelementen die niet behandeld zijn en waarbij dus houtrot kan ontstaan is het aangewezen om een dampremmende en een thermische isolerende laag op de kruipkelderbodem aan te brengen. Schelpen, licht beton, kunststof chips⁷ of bodemhygrolatie⁸ zijn hier mogelijke oplossingen voor [35]. Het is echter af te raden om met onbehandelde HSB- elementen te werken.

Er wordt ook beweerd dat ventileren de problemen ten gevolge van een te hoge luchtvochtigheid niet verhelpt. Dit althans volgens 'Innovation contract energieneutraal bouwen'. Het ventileren zou eerder dienen voor het verwijderen van de radongassen uit de bodem en de constructie. Er zou ook geen bepaalde grootte ventilatievoorziening meer voorgeschreven zijn, maar tot 2008 gelde er wel een norm van 400 mm² per m² vloeroppervlakte. [35]

De zool van de strookfundering moet minstens onder de vorstgrens geplaatst worden. In België neemt men aan dat deze diepte 80 cm is [18]. Bij de kruipkelder moet er een minimale kruipruimte van 80 cm hoog zijn. Er dient ook een funderingsopstand van 15 cm boven het maaiveld te zijn [4]. Deze funderingsopstand moet bovendien afgeschermd worden tegen indringend en/of opstijgend vocht.

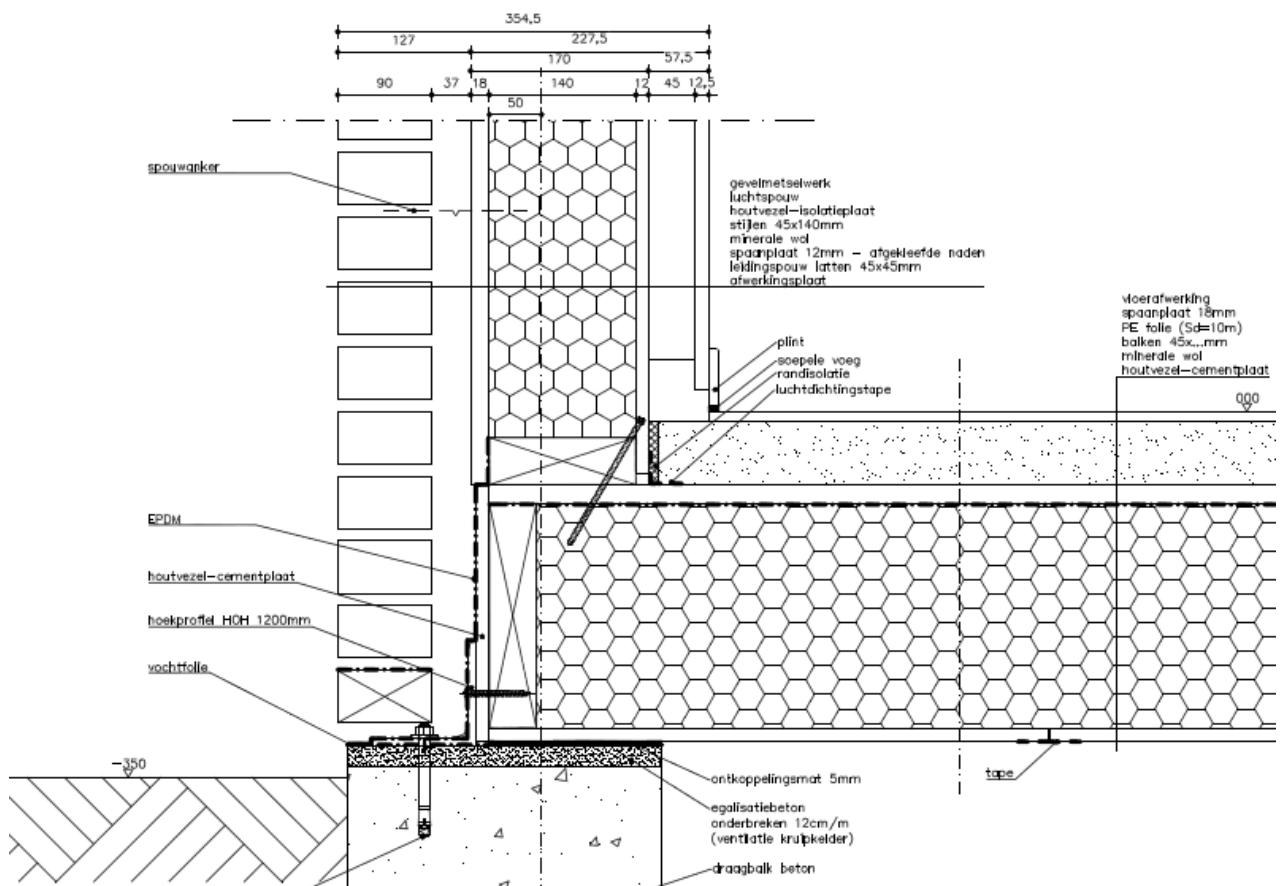
Volgens Coenjaerts et al. [1] wordt in Canada een stelregel uit hout geplaatst tussen de strookfundering en houten vloerplaat. Dit is te zien in Figuur 4-3. MBS echter, past een laag egalisatiebeton met een ontkoppelingsmat van 5 mm toe zoals te zien is in Figuur 4-4. Men gebruikt liever een laag egalisatiebeton omdat deze zich volledig in de vochtige ruimte bevindt. Het blijft uiteraard ook mogelijk om met een stelregel, die dan wel bijkomend beschermd moet worden, te werken.

⁷ Kunststof parels die op de bodem worden gelegd.

⁸ Bodemhygrolatie is een dubbelwandig isolatiematras uit kunststoffolie (polyethyleen) waarin zich HR-Thermoparels bevinden.

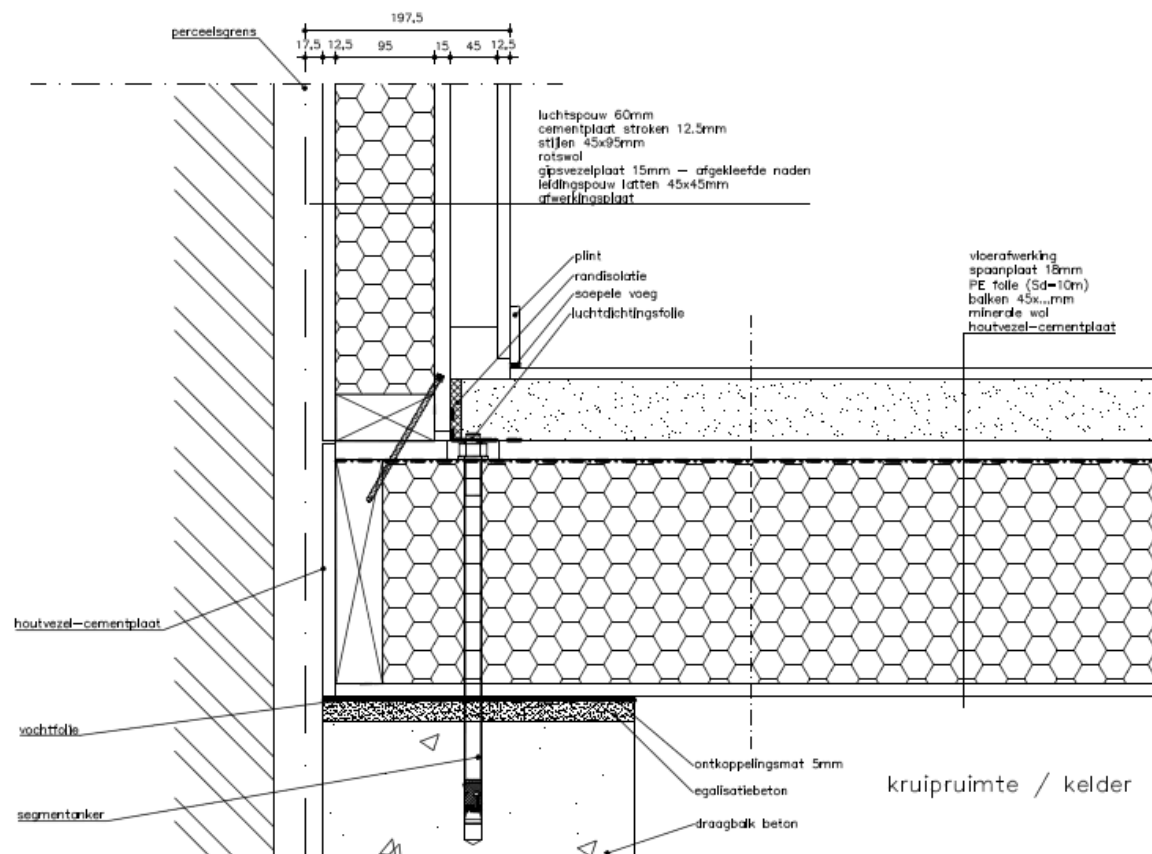


Figuur 4-3: stielregel uit hout [1].



Figuur 4-4: aansluiting vloerplaat – strookfundering type 1

De houten vloerplaat wordt verankerd door middel van een hoekprofiel dat met een segmentanker verbonden is met de fundering. Het is ook mogelijk te werken met een segmentanker dat dwars doorheen de vloerplaat doorloopt tot in de fundering. Dit wordt weergegeven in Figuur 4-5. Ook wordt er vastgesteld dat er geen thermische tussenvoeging is geplaatst tussen de fundering en wanden ten opzichte van deel 1. [33]



Figuur 4-5: aansluiting vloerplaat – strookfundering type 2

4.2.3 Thermische inertie

De thermische inertie is afhankelijk van twee fysische eigenschappen, de thermische diffusiviteit en effusiviteit. Deze beide eigenschappen worden onderling uitgedrukt volgens drie grootheden: warmtegeleidingscoëfficiënt, warmtecapaciteit en volumieke massa.

De thermische diffusiviteit a is de snelheid waarmee een welbepaald materiaal opwarmt. Dus hoe groter deze waarde, hoe sneller het beschouwd materiaal opwarmt. De thermische diffusiviteit wordt berekend volgens vergelijking 4-1

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \quad 4-1$$

De thermische effusiviteit E_{ff} geeft aan hoeveel warmte er nodig is om de temperatuur van een materiaal te doen stijgen. Hoe groter deze waarde hoe trager het materiaal opwarmt. Dit wordt berekend volgens vergelijking 4-2

$$E_{ff} = \rho \cdot c \cdot \lambda \quad 4-2$$

In Figuur 4-6 wordt de thermische diffusiviteit en effusiviteit, alsook de volumieke massa van de verschillende constructie elementen weergegeven. [36]

	ρ [kg/m ³]	a [10 ⁻⁷ m ² /s]	Eff [J/m ³ Ks ^{1/2}]
Gewoon zwaar beton, gewapend	2400	7,08	2020
Gewoon zwaar beton, ongewapend	2200	5,91	1691
Betonblokken	2000	5,9	1625
Betonblokken, geëxpand. kleikorrels	1000	3,5	592
Licht beton	700	3	383
Gebakken klei	1500	3,07	831
Kalkzandsteen	1500	3	949
Cellenbetonblokken	600	3	329
Minerale wol	30	13,27	36
Geëxtrudeerd polystyreen	25	9,38	35
Cellenglas	130	3,69	79
Massief hout	500	1,38	350
Cementgebonden vezelplaten	1200	1,3	637
Staal	7800	148	11700
'Petit granit' (blauwe hardsteen)	2700	10,78	2803
Glas	2500	5,33	1369
Stilstaande lucht	1	260	5
Stilstaand water	1000	1,39	1556

Figuur 4-6: thermische diffusiviteit, effusiviteit en volumieke massa van constructie-elementen [36]

Teneinde de thermische inertie van een constructiedeel te verhogen, is het aangewezen om een materiaal met een klein thermische diffusiviteit en groot thermische effusiviteit te kiezen.

De thermische inertie of warmteopslagcapaciteit van een materiaal zorgt ervoor dat de temperatuur overdag of 's nachts niet drastische oploopt of daalt. Door het warmteaccumulerend vermogen van het materiaal kan het warmte opslaan en ze dan vervolgens op een later tijdstip geleidelijk weer afgeven. De grootte waarmee dit wordt berekend is de warmteaccumulatie Q , deze wordt weergegeven in vergelijking 4-3:

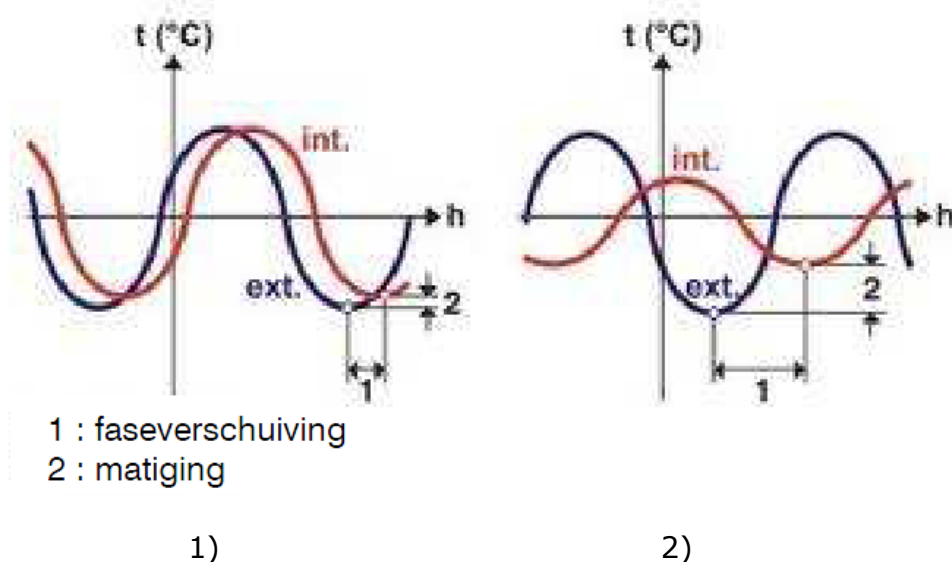
$$Q = c \cdot \rho \cdot d \cdot \Delta T \quad 4-3$$

Met:

- c : soortelijke warmte in J/kg.K
- ρ : volumieke massa in kg/m³
- d : dikte van het materiaal in m
- ΔT : gemiddelde temperatuurstijging in K

De warmtecapaciteit C van een materiaal wordt berekend door het vermenigvuldigen van de soortelijke warmte c , de volumieke massa ρ en de dikte d . Dit is weergegeven in vergelijking 4-4.

Het warmteaccumulerend vermogen van een materiaal zorgt voor een faseverschuiving van de temperatuur, te zien in Figuur 4-7. Zo heeft een zwaarder constructie (beton) meer thermische capaciteit dan lichtere constructie (HSB). [37]



Figuur 4-7: 1) weinig thermische inertie, 2) grote thermische inertie [37]

Om het thermische comfort en warmtegevoel te verbeteren, worden in dit deel enkel situatie voorgesteld om de thermische inertie van een HSB- vloer te verbeteren.

De warmte die opgeslagen wordt in een HSB- vloer komt voornamelijk van de inkomende zonnestralen doorheen de ramen. Deze invallende zonnestralen kunnen het gebouw niet meer verlaten als gevolg van het broeikaseffect⁹ dat er ontstaat [36].

Men moet er ook rekening mee houden dat het thermische comfort niet enkel afhankelijk is van de warmteopslagcapaciteit van een materiaal. Zo moet er ook aandacht besteedt worden aan externe parameters. Hierbij denkt men dan aan het 's nachts verluchten van de woning (ventilatie), het plaatsen van isolatie en het plaatsen van een zonnewering [37].

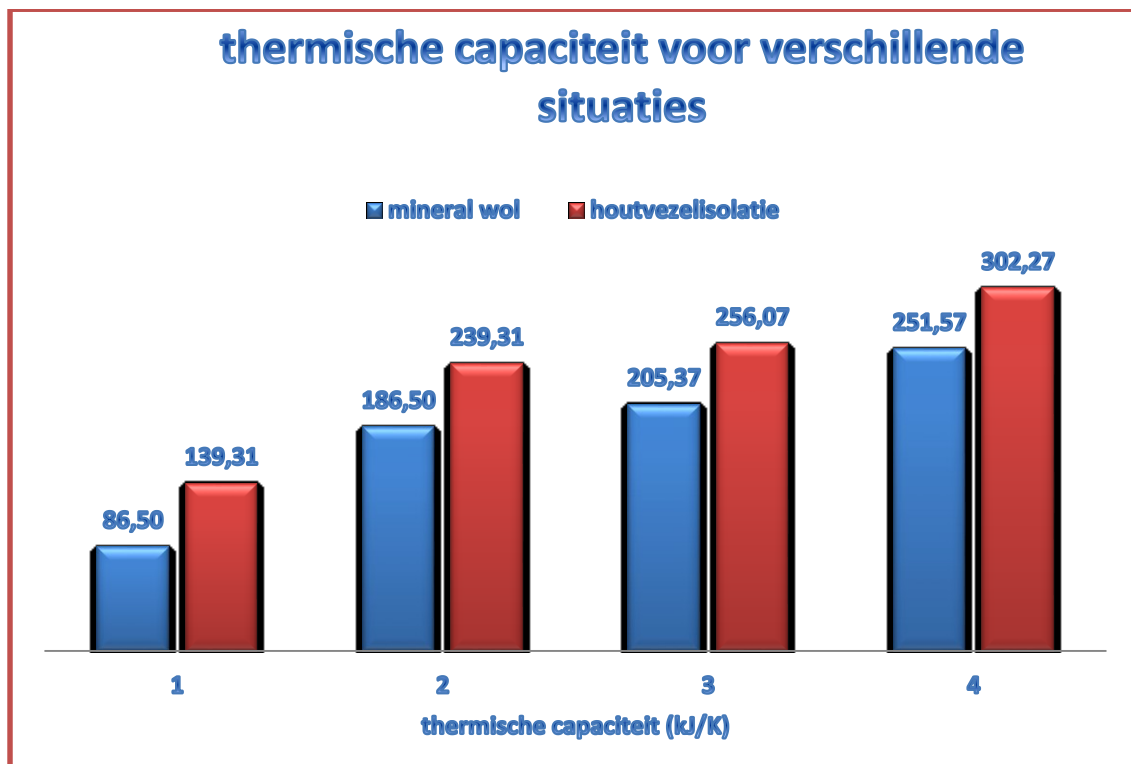
De berekening van de thermische inertie van de HSB- vloerelement wordt gedaan voor vier verschillende situaties en op basis van de berekening van de warmtecapaciteit. Voor deze vier verschillende situaties worden de thermische capaciteiten berekend volgens twee parameters. In elke situatie wordt er een

⁹ De glazen ramen houden de uitstralingen van warmtegolven tegen, zodat de temperatuur stijgt.

vergelijking gemaakt tussen twee verschillende isolaties (minerale wol en houtvezelisolatie) die elk een verschillende warmtecapaciteit en afwerkingsmethode hebben.

- Situatie 1: HSB- vloer met afwerking in parket (minerale wol t.o.v. houtvezelisolatie)
- Situatie 2: HSB- vloer met 5 cm dekvloer afgewerkt in laminaat (minerale wol t.o.v. houtvezelisolatie)
- Situatie 3: HSB- vloer met 5 cm dekvloer afgewerkt met keramische tegels (minerale wol t.o.v. houtvezelisolatie)
- Situatie 4: HSB- vloer met 5 cm dekvloer afgewerkt met natuurlijk tegels (minerale wol t.o.v. houtvezelisolatie)

In vergelijkende Figuur 4-8 kan er duidelijk opgemerkt worden dat het plaatsen van isolatie met een grotere thermische capaciteit een verhoging van de warmtecapaciteit met ± 50 kJ/K geeft. Het plaatsen van een dekvloer geeft een verdubbeling (215%) van de thermische capaciteit. Het gebruik van graniet in plaats van laminaat bij een dekvloer levert een verhoging van 65,07 kJ/K. Situatie 4 heeft 290% meer thermische capaciteit dan situatie 1 (allebei met minerale wol). De thermische capaciteitsberekeningen zelf worden weergegeven in bijlage 9.5.



Figuur 4-8: thermische capaciteit voor 4 verschillende situaties

Het HSB- vloerelement wordt hier op een (kruip)kelder geplaatst. Hierdoor kan men vaststellen dat er bij situatie 1 de opgevangen warmte achteraf evenveel afgegeven wordt naar de kelder en naar de woning. En dit terwijl er bij de

andere situaties meer warmte wordt afgegeven naar de woning. Dit is omdat de dekvloer de meeste warmte opvangt. Dit constructiedeel is gescheiden van de kruipkelder door middel van tussenliggende isolatie. De isolatie houdt dus de warmtedoorgang naar beneden tegen en dit enkel als de thermische capaciteit niet verzadigd is.

4.2.4 Differentiële zettingen

De maximale toegelaten zetting van een constructie volgens de technische voorlichting TV 147 van het WTCB¹⁰ [38] wordt weergegeven in Tabel 4-1 voor funderingen op staal. Een ongelijkmatig of differentiële zetting kan leiden tot scheurvorming en zelfs stabiliteitsverliezen. Voor een soepele constructie (HSB of staalbouw) wordt hier een maximale hoekverdraaiing van 1/300 aangenomen. Een constructie die gevoelig is voor zettingen of een stijve constructie heeft een toelaatbare zetting van 1/1000 en voor zeer gevoelige constructie is dit 1/2500.

Grondtype	$\frac{A}{L}$ (*)	Alleenstaande zolen	Funderingsplaten
Klei	1/300 1/1000	75 25	75 tot 110 25 tot 40
Zand	1/300 1/1000	50 15	50 tot 75 15 tot 25
(*) A = zetting van een steun ten overstaan van de aangrenzende steun L = afstand tussen de twee steunen			

Tabel 4-1: maximale zetting volgens TV 147 [38]

Bovenstaande Tabel 4-1 zijn de richtwaarden van het WTCB. Er zijn echter ook nog andere criteria waar rekening mee gehouden moet worden. 'NBN B 03-003: Vervormingen van draagsystemen – Vervormingsgrenswaarden – Gebouwen' [39] stelt in Tabel 4-2 de grenswaarden van de vervorming op. De beschouwde vloerbekleding zijn tegels. Dit valt onder nummer 10 'weerstand van vloerbekleding van grote afmetingen of stevig bevestigd' van Tabel 4-2. De af te lezen grenswaarde is dan 1/500. Deze waarde is kleiner dan de waarde uit Tabel 4-1 van het WTCB voor HSB en is dus het meest kritisch. De zetting in het geval van houtskeletbouw moet dus kleiner dan 1/500 zijn.

¹⁰ Het Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf is een particuliere onderzoeksinstituut die in 1960 werd opgericht onder impuls van de beroepsorganisatie

Nr	PRESTATIE-EIS die beperking van de vervorming vergt	BELASTING-COMBINATIE NBN B 03-001	AANBEVOLEN GRENSWAARDEN VAN DE VERPLAATSINGEN		
			$W_h + W_c$	W_{stc}	$W_{stc} + W_l$
1	weerstand van opleggingen (scheurvorming, afschilfering) 	zeldzame			$\lambda / 300$
2	weerstand van verticale wanden (scheurvorming in scheidingswanden en in gevels)	zeldzame	$\lambda / 350$		
3	. gewapende wanden		$\lambda / 1000$		
4	. niet-gewapende wanden met openingen		$\lambda / 500$		
5	. wanden zonder openingen of met openingen en versterking 				
6	. verplaatsbare wanden 		$\lambda / 250$		
7	weerstand van ramen met beglazingen . geen speling tussen raam en draagsysteem 	zeldzame	$\lambda / 1000$		
8	. speling tussen raam en draagsysteem		$\lambda / 350$ (f)		
9	weerstand van zolderingen (scheurvorming, afbladdering) . met bepleistering 	zeldzame	$\lambda / 350$		
10	. niet bepleisterd, verlaagd plafond		$\lambda / 250$		
11	weerstand van vloerbekledingen van . grote afmetingen of stevig bevestigd	zeldzame	$\lambda / 500$ (b)		
12	. kleine afmetingen of op zulk een manier bevestigd dat de vervorming van de sleun niet geheel overgedragen wordt op de bekleding (d) 		$\lambda / 350$ (e)		
13	. soepele bekleding		$\lambda / 250$ (b)		
14	weerstand van dakbedekkingen . stijve dakbedekking 	zeldzame	$\lambda / 250$ (b)		
15	. soepele dakbedekking		$\lambda / 125$ (b)		
16	dichtheid van gevels en daken	zeldzame	waarden verenigbaar met de gebruikte afdichting		
17	afwatering (afschot) 	zeldzame			(a)
18	akoestisch welzijn (geluidsbruggen)	zeldzame	waarden verenigbaar met de eisen aangaande akoestische isolatie en met de vervormbaarheid van wand en voegen		
19	uiterlijk	frequentie		$\lambda / 300$	
20	gebruik van loop- en rijwielen (wagens,...)	zeldzame		$\lambda / 300$	
21	gebruik van loopkranen . verticale zakking	zeldzame		$\lambda / 600$ en 25 mm	
	. horizontale uitwijking			$\lambda / 800$ en 25 mm (c)	

(a) Kleinste afschot van de zakkingslijn groter of gelijk aan 2% in de richting van de afvoer

(b) Dit criterium houdt geen rekening met de hoekverdraaiing bij het steunpunt waarvoor passende constructieve schikkingen moeten worden voorzien.

(c) Met inbegrip van het gevolg van de betrekkelijke horizontale verplaatsing van de sleunen van de twee draagliggers

(d) Soepele voegen, slijplagen, duurzaam plastische lijmen, enz...

(e) Indicatieve waarde die in functie van de aard van het bekledingsmateriaal en de uitvoeringswijze moet bevestigd worden

(f) Indien de speling gekend is, dan is de grenswaarde de speling zelf. Dit betekent dat er een speling tussen het raam en de beglazing bestaat. Als dit niet het geval is moet het probleem nader wordt onderzocht.

Tabel 4-2: grenswaarden van de vervorming volgens NBN B 03-003 [39]

Voor deze masterproef werd een lastendaling toegepast op de modelwoning 'Eurogen 1' van Machiels Building Solutions. De lastendaling (die in bijlage 9.7 terug te vinden is) geeft ons de belasting die op elke strook van een strokenfundering aangrijpt.

Om de effectieve zetting te berekenen worden er acht verschillende sonderingen gebruikt die goedgekeurd werden door de interne promotor. Deze sonderingen zijn typerend voor slechte bouwgronden voorkomend in Vlaanderen. De sonderingen zijn terug te vinden in bijlage 9.11.

Op elk van deze sonderingslocaties worden dus de differentiële zettingen berekend. De motivatie voor de ligging van de sonderingslocaties is als volgt:

- 1) Sondering 1 (Wuustwezel): een sondering die door dhr. Van Zegbroeck vooropgesteld werd. Hierbij is de eerste meter een matige zandlaag, na deze diepte is er een laag van 12m met een conusweerstand 2MPa
- 2) Sondering 2 (Merksplas): ook een sondering die door dhr. Van Zegbroeck vooropgesteld werden. Hierbij bevindt zich tussen 2 en 4 meter een kleilaag, waarna de conusweerstand gelijdelijkaan stijgt
- 3) Sondering 3 (Wellen): deze is typerend voor leemgronden
- 4) Sondering 4 (Tongeren): hier is er tussen een diepte van 4 en 6 meter een veenlaag, deze zou voor grote zettingen kunnen zorgen
- 5) Sondering 5 (Beringen): hier is in de ondergrond een glauconiethoudende zandlaag aanwezig, bovendien is MBS zelf hier gesitueerd
- 6) Sondering 6 (Watervliet): deze bevindt zich aan de kust waar men op 4m diepte polderklei vindt
- 7) Sondering 7 (Beveren): hier ziet men in de eerste 5 meter afwisselend klei- en zandlagen
- 8) Sondering 8 (Laakdal): deze is een goed draagkrachtige bouwgrond

De differentiële zetting zelf wordt berekend door een geprogrammeerde Excel- spreadsheet. Deze is terug te vinden in bijlage 9.8. Invoeren van de gegevens vanuit de sondering geeft de mogelijkheid de differentiële zetting van de modelwoning te berekenen aan de hand van de lastendaling.

4.2.4.1 Resultaten berekende differentiële zetting

In wat volgt worden de resultaten na de invoer in de Excel- spreadsheet getoond. Hierbij worden telkens twee funderingsstroken met elkaar vergeleken en bekijkt men of er voldaan is aan het criterium van maximale differentiële zetting. De belastingen per funderingsstrook haalt men uit de lastendaling en kan men vinden in Tabel 4-3. De afstand tussen de funderingsstroken is 4,64m.

	Houtskeletbouw [kN/m]	Traditionele bouw [kN/m]
Zwaarst belaste funderingsstrook (GGT)	36,63	70,71
Lichtst belaste funderingsstrook (GGT)	16,94	32,93

Tabel 4-3: belastingen op de funderingsstroken

Vooreerst moet nagegaan worden of de ondergrond de constructie wel kan dragen. Daarom wordt eerst het draagvermogen berekend voor de gedraineerde toestand. Het draagvermogen van de grond moet dus minstens groter zijn dan de belasting die de funderingsstrook er op zal uitoefenen. De berekening van het draagvermogen gebeurt volgens Eurocode 7-1 bijlage D.4 voor de gedraineerde toestand (ongedraineerd is ook mogelijk). Dit wordt gedaan aan de hand van de

cohesie, inwendige wrijvingshoek, gronddruk ter hoogte van de fundering, gewicht van de grond onder de fundering, hellingsfactoren, vormfactor, invloedscoëfficiënten en funderingsafmetingen (waarden terug te vinden in Deel 3: impact HSB op funderingsafmeting en bijgevolg op kostprijs). Deze waarden zijn ook opgenomen in de Excel- spreadsheet zoals te zien in Figuur 4-9 tot en met Figuur 4-16.

Voor het grondwater worden er telkens drie scenario's bekeken omdat er geen gegevens beschikbaar waren over de waterstanden. Eerst wordt het grondwaterniveau gelijk genomen met het maaiveld (0,1m diep), daarna net onder de fundering (1m diep) en tot slot zeer diep (8m diep) onder de fundering. De waarden die rood gemarkeerd zijn voldoen niet aan het criterium van de maximale differentiële zetting al naargelang het woningtype.

		Zwaarst belaste strook				Lichtst belaste strook					
		breedte [m]		Max zetting [mm]		breedte [m]		Max zetting [mm]		Δ zetting [mm]	
		HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Grondwater											
Maaiveld		1,5	1,9	16,3	27,9	1	1,3	7,5	14,4	8,8	13,5
Onder fundering		1,3	1,6	12,7	25,2	0,9	1,2	4,6	10,9	8,1	14,3
Zeep diep		1,2	1,4	11,7	24,1	0,7	1	5,4	10,5	6,3	13,6
		Max Δs (mm) =		75	25			75	25	9,28	4,64
wrijvingshoek ϕ_k		22									
c'_k		2									
waterstand diep		8									
	nat	droog									
γ_k	8	18									
Q_k	10	18									

Figuur 4-9: differentiële zetting sondering 1 Wuustwezel

		Zwaarst belaste strook				Lichtst belaste strook					
		breedte [m]		Max zetting [mm]		breedte [m]		Max zetting [mm]		Δ zetting [mm]	
		HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Grondwater											
Maaiveld		1,4	1,8	12,1	19,4	0,9	1,3	6,3	11,1	5,8	8,3
Onder fundering		1,2	1,5	10,1	18,2	0,7	1,1	4	9,1	6,1	9,1
Zeep diep		1,1	1,4	8,4	16,1	0,7	0,9	3,8	7,6	4,6	8,5
		Max Δs (mm) :		75	25			75	25	9,28	4,64
wrijvingshoek ϕ_k		22									
c'_k		4									
waterstand diep		8									
	nat	droog									
γ_k	9	18									
Q_k	9	18									

Figuur 4-10: differentiële zetting sondering 2 Merksplas

		Zwaarst belaste strook				Lichtst belaste strook					
		breedte [m]		Max zetting [mm]		breedte [m]		Max zetting [mm]		Δ zetting [mm]	
Grondwater		HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld		1,2	1,5	17,1	32,6	0,8	1	7,9	14,3	9,2	18,3
Onder fundering		1,1	1,3	13,7	28,6	0,6	0,8	6,1	11,9	7,6	16,7
Zeep diep		0,9	1,1	13,7	27	0,5	0,7	6,3	11,1	7,4	15,9
		Max Δs (mm) =		50	15			50	15	9,28	4,64
wrijvingshoek ϕ_k	27										
c'_k	0										
waterstand diep	8										
	nat droog										
γ_k	10 18										
Q_k	8 16										

Figuur 4-11: differentiële zetting sondering 3 Wellen

		Zwaarst belaste strook				Lichtst belaste strook					
		breedte [m]		Max zetting [mm]		breedte [m]		Max zetting [mm]		Δ zetting [mm]	
Grondwater		HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld		1,3	1,6	23,6	51,5	0,8	1,1	7,9	17,3	15,7	34,2
Onder fundering		1,1	1,4	15,1	38,1	0,7	0,9	5,8	12,8	9,3	25,3
Zeep diep		1	1,2	13,1	33,3	0,6	0,8	6,3	11,7	6,8	21,6
		Max Δs (mm) =		75	25			75	25	9,28	4,64
wrijvingshoek ϕ_k	25										
c'_k	4										
waterstand diep	8										
	nat droog										
γ_k	8 18										
Q_k	10 18										

Figuur 4-12: differentiële zetting sondering 4 Tongeren

		Zwaarst belaste strook				Lichtst belaste strook					
		breedte [m]		Max zetting [mm]		breedte [m]		Max zetting [mm]		Δ zetting [mm]	
Grondwater		HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld		1,4	1,9	10,9	19,9	0,9	1,3	5,2	9,8	5,7	10,1
Onder fundering		1,3	1,6	8,5	17,3	0,8	1,1	3,5	7,6	5	9,7
Zeep diep		1,2	1,5	7,8	17	0,7	1	3,7	7	4,1	10
		Max Δs (mm) =		75	25			75	25	9,28	4,64
wrijvingshoek ϕ_k	20										
c'_k	8										
waterstand diep	8										
	nat droog										
γ_k	8 18										
Q_k	9 17										

Figuur 4-13: differentiële zetting sondering 5 Beringen

		Zwaarst belaste strook				Lichtst belaste strook					
		breedte [m]		Max zetting [mm]		breedte [m]		Max zetting [mm]		Δ zetting [mm]	
Grondwater		HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld		1	1,3	9,2	16,9	0,6	0,8	4,9	8,5	4,3	8,4
Onder fundering		0,9	1,1	8	15,5	0,5	0,7	4,2	7,3	3,8	8,2
Zeer diep		0,8	0,9	8,2	15,4	0,4	0,6	3,7	7,7	4,5	7,7
			Max Δs (mm) =	50	15			50	15	9,28	4,64
wrijvingshoek ϕ_k		30									
c'_k		0									
waterstand diep		8									
nat	droog										
γ_k	9	17									
Q_k	9	17									

Figuur 4-14: differentiële zetting sondering 6 Watervliet

		Zwaarst belaste strook				Lichtst belaste strook					
		breedte [m]		Max zetting [mm]		breedte [m]		Max zetting [mm]		Δ zetting [mm]	
Grondwater		HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld		1,4	1,8	19	32,2	1	1,3	8,7	16,5	10,3	15,7
Onder fundering		1,3	1,6	14,7	29,3	0,8	1,1	5,6	12,9	9,1	16,4
Zeer diep		1,1	1,4	14	29,7	0,7	0,9	6,3	12,5	7,7	17,2
		Max Δs (mm) =		75	25			75	25	9,28	4,64
wrijvingshoek ϕ_k	22										
c'_k	4										
waterstand diep	8										
nat	droog										
γ_k	7	17									
Q_k	10	18									

Figuur 4-15: differentiële zetting sondering 7 Beveren

		Zwaarst belaste strook				Lichtst belaste strook					
		breedte [m]		Max zetting [mm]		breedte [m]		Max zetting [mm]		Δ zetting [mm]	
Grondwater		HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld		0,9	1,1	3,3	6,4	0,5	0,7	0,9	2,2	2,4	4,2
Onder fundering		0,7	0,9	2,3	5,3	0,4	0,6	0,8	1,5	1,5	3,8
Zeer diep		0,7	0,8	2,2	4,9	0,4	0,5	0,9	1,4	1,3	3,5
		Max Δs (mm) =		50	15			50	15	9,28	4,64
wrijvingshoek ϕ_k		32									
c'_k		0									
waterstand diep		8									
	nat	droog									
γ_k	10	18									
Q_k	8	18									

Figuur 4-16: differentiële zetting sondering 8 Laakdal

Figuur 4-9 tot en met Figuur 4-16 tonen de berekeningsresultaten voor de gekozen grondsonderingen. Na een vergelijking van deze figuren zien we dat in 7 van de 8 gevallen een traditionele woning niet voldoet op vlak van differentiële zetting. In 4 van de 8 gevallen voldoet een woning in traditionele bouw ook niet op vlak van maximale zetting. Dit terwijl houtskeletbouw in 6 van de 8 gevallen wél voldoet voor differentiële zettingen. Voor de maximale zetting voldoet houtskeletbouw in elke sonderingslocatie. Enkel in de extreem slechte gronden (t.g.v. de aanwezige veenlaag) van sondering 4 Tongeren voldoen beide

bouwmethodes op vlak van differentiële zettingen meestal niet. Enkel in het geval van een diepe waterstand voldoet HSB hier wel. In Sondering 7 Beveren voldoet HSB enkel niet op vlak van differentiële zettingen als het grondwater aan het maaiveld staat.

In deze beschouwing zijn er 8 sonderingslocaties genomen. Per sonderingslocatie zijn er drie waterstanden aangenomen. Zo bekijkt men dus 24 gevallen waarvan in 21 gevallen HSB voldoet op vlak van differentiële zettingen. Men kan dus concluderen dat in 88% van de gevallen een HSB- woning eender waar in Vlaanderen geplaatst kan worden op een strookfundering zonder enige meerkost of risico's voor differentiële zettingen. Voor traditionele gebouwen volstaat in 88% van de gevallen een klassieke strookfundering niet op vlak van differentiële zettingen. In dit geval moet er geopteerd worden voor een bredere strookfundering, een fundering op palen (wat een aanzienlijk verhoging van de kostprijs met zich meeneemt) of een plaatfundering.

4.2.5 Controle U-waarde

Hier wordt de berekening uitgevoerd voor de warmtedoorgangscoefficiënt van de vloer als een opake constructiedeel. Volgens Tabel 9-2 in bijlage 9.1 geldt er voor vloeren in contact met de buitenlucht een U_{max} - waarde van $0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

De U_{max} - waarde wordt berekend volgens onderstaande vergelijking.

$$U_{max} = \frac{1}{R_{max}}$$

Om de R_{max} - waarde te kunnen berekenen moet men de warmteweerstanden van alle constructiedeel optellen, dit is $R_{constructiedelen}$. Hierbij dient dan nog de binnen- en buitenweerstand R_{si} en R_{se} bij opgeteld te worden. De maximale warmteweerstand voor een homogene laag wordt dan als volgt weergegeven:

$$R_{max} = R_{se} + \sum R_{constructiedelen} + R_{si}$$

Waarbij $R = \frac{d}{\lambda}$ met d = dikte en λ = warmtegeleidingscoëfficiënt.

Voor men deze vergelijkingen kan invullen moet men eerste de niet- homogene laag (vloerelement met isolatie) berekenen. Hiervoor wordt een gemiddelde warmtegeleidingscoëfficiënt berekend volgens de hoeveelheid houtfractie en isolatiefractie om zo een gemiddelde warmteweerstand te bekomen. Deze tussenvloer bestaat uit 85% minerale wol en 15% uit hout. Deze waardes komen uit de materiaaleigenschappen van een HSB woning in bijlage 9.7.1. De warmtegeleidingscoëfficiënt wordt dan:

$$\lambda_{gem} = 0,85 \cdot \lambda_{mw} + 0,15 \cdot \lambda_{hout}$$

$$\lambda_{gem} = 0,85 \cdot 0,037 \text{ W/mK} + 0,15 \cdot 0,13 \text{ W/mK} = 0,051 \text{ W/mK}$$

Tabel 4-4 geeft het overzicht van de warmteweerstanden van alle constructiedelen van de vloer. De opgetelde totale R- waarde van de constructiedelen wordt dan 5m²K/W.

Constructiedelen	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
OSB	0,018	0,13	0,14
houtvezel cementplaat	0,012	0,35	0,03
MW	0,21	0,037	
85% hout C18 15%	0,21	0,13	0,051 4,12

Tabel 4-4: warmteweerstanden R van de constructiedelen van een HSB vloer

Wat dan nog overblijft zijn de warmteovergangsweerstanden. Deze zijn terug te vinden in het transmissiereferentiedocument [40].

	Richting van de warmtestroom		
	opwaarts	horizontaal (*)	neerwaarts
R_{si} (m²K/W)	0,10	0,13	0,17
R_{se} (m²K/W)	0,04	0,04	0,04
(*): geldig voor een warmtestroomrichting die niet meer dan ± 30° afwijkt van het horizontaal vlak.			

Tabel 4-5: warmteovergangsweerstanden R_{si} en R_{se} in m²K/W [40]

Het warmtetransport in een vloer is neerwaarts, dus gebruikt men de waardes 0,17 en 0,04 m²K/W. De maximale warmteweerstand wordt dan:

$$R_{max} = 0,04m^2K/W + 4,29m^2K/W + 0,17m^2K/W = 4,50m^2K/W$$

De U_{max}- waarde wordt dan:

$$U_{max} = \frac{1}{4,50m^2K/W} = 0,22W/m^2K$$

Deze U_{max}- waarde is duidelijk kleiner dan 0,3 W/m²K, bijgevolg voldoet deze vloeropbouw op vlak van maximale U- waarde. De bekomen waarde is zo klein dat hij zelfs zou volstaan indien in de toekomst de U_{max}- waarde wordt verlaagd tot 0,24 W/m²K, hetgeen volgend jaar verwacht wordt.

Bovendien is de overgang tussen de vloer en wand een EPB aanvaarde bouwknoop omdat hij voldoet aan basisregel 1 van de EPB regelgeving (bijlage 8.1).

4.2.6 Kosten-baten analyse

Wat is nu de effectieve meerkost indien men voor een bepaald type vloeropbouw kiest? Hiervoor wordt er voor elk type vloeropbouw een meetstaat opgesteld. Deze uitgebreide meetstaat voor de vier situatie is weergegeven in Bijlage 9.6. De beschouwde vier situaties zijn dezelfde als diegenen die gebruikt werden in deel 4.2.3 Thermische inertie.

In Tabel 4-6 worden de prijzen voor het plaatsen van de vloerelementen samen met de materiaalkost weergegeven in €/m². Deze prijzen werden ter beschikking gesteld door de calculatiedienst van MBS. Situatie 4 is de duurste situatie en dit omwille van het plaatsen van een afwerking in natuursteen. Situatie 1 is het goedkoopst omwille van het niet plaatsen van een dekvloer wat zorgt voor een verlaging van 23,8 €/m².

situatie	1	2	3	4
€/m ²	116,97	140,77	168,47	174,07

Tabel 4-6: kosten- baten analyse voor de vier situaties zonder btw in €/m²

Uit Tabel 4-6 kan men gemakkelijk halen dat het prijsverschil tussen situatie 1 en 4 een aanzienlijke 49% hoger is. Het is dus duidelijk dat indien men een hogere thermische capaciteit wil realiseren men ook een betrekkelijk hogere prijs moet accepteren.

4.3 Conclusie

In het voorgaande werd de technische uitwerking voor HSB op (kruip-)kelders besproken. Men dient er zeker rekening mee te houden dat er bijzonder veel aspecten zijn die extra aandacht verdienen tijdens dit type van bouwen. MBS heeft voldoende kennis over het werken met prefab vloerelementen, waardoor dit een meer en meer gekend systeem begint te worden.

De thermische inertie van de vloerdelen is een zeer belangrijk aspect voor HSB omdat deze type van woningen bekend staan om het snel verliezen van hun warmte. Dit is omdat de houten skeletstructuur weinig inertie heeft. In deel 4.2.3 berekent men dat indien er consequent voor beter inerte materialen gekozen wordt, dit een winst geeft van 290% thermische capaciteit. Dit is aanzienlijk groot en zeer interessant voor houtskeletbouw.

Om te voldoen aan de maximale differentiële zetting in de steeds schaarser wordende bouwgronden in Vlaanderen wordt het cruciaal om te vertrouwen op het lichtgewicht van houtskeletbouw. In 88% van de gevallen voldoet houtskeletbouw op vlak van differentiële zettingen, terwijl in 88% van de gevallen traditionele bouw niet voldoet. Voor traditionele bouw wordt het dan afwegen of de meerkost aan palenfundering wel opweegt tegenover de keuze voor houtskeletbouw.

Voldoet de standaard vloeropbouw zoals gebruikt door MBS? Aangezien de berekende $U_{\max}$ -waarde kleiner dan 0,3 W/m²K was, kan er zonder meer gezegd

worden dat de huidige vloeropbouw voldoet aan de EPB- regelgeving anno 2014 en zelfs in de toekomst.

Uit de kosten- batenanalyse kan geconcludeerd worden dat de aanzienlijke winst op vlak van thermische capaciteit samenhangt met een duur kostenplaatje. 290% meer thermische capaciteit kan bekomen worden indien men een prijsverschil tot +50% onder ogen neemt. Het is dus cruciaal dat men op voorhand de baten afweegt tegen de kosten die een ander type vloer met zich meebrengt.

5 Deel 3: impact HSB op funderingsafmeting en bijgevolg op kostprijs

5.1 Inleiding

Een van de grootste voordelen van houtskeletbouw is zijn laag eigengewicht. Dit neemt met zich mee dat de constructie minder weegt en dus ook lichter gedimensioneerd kan worden. In dit deel zal het gewicht van modelwoning 'Eurogen 1' van MBS berekend worden. Equivalent zal ook het gewicht van deze woning berekend worden indien hij opgetrokken zou zijn in de traditionele metselwerk- gewapend beton stijl. In beide gevallen maakt men een lastendaling op om zo de lasten op de fundering te kunnen bekomen (bijlage 9.7). Bijhorend wordt ook het verschil in gewicht van de gehele constructie berekend en bekijkt men hierop de invloed van de gebruiksbelasting. Met deze gegevens wordt de impact op de funderingsafmeting berekend.

5.2 Methode

Voor de berekeningen wordt er een voorbeeldgebouw genomen. Dit is zoals voorheen vernoemd 'Eurogen 1' van MBS. Hiervan wordt het gewicht in HSB berekend en vergeleken met het gewicht van hetzelfde gebouw in metselwerk – gewapend beton. Uit de Excel- spreadsheet die geprogrammeerd is voor de lastendaling (zie bijlage 9.7) kan men ook zeer gemakkelijk het bijhorend gewicht van het gebouw berekenen.

De berekeningen die gemaakt zijn voor de strookfundering en de volle plaatfundering zijn gemaakt in Excel- spreadsheets die van nul af opgebouwd werden. Deze spreadsheets kunnen gebruikt worden voor elk type bouwgrond na invoer van de sondering. De berekening van de plaat- of strookfundering gebeurt dan volautomatisch. Voor dit deel worden ook de 8 sonderingen uit deel 2 gebruikt, deze zijn terug te vinden in bijlage 9.11.

5.3 Resultaten

5.3.1 Verschil in gewicht

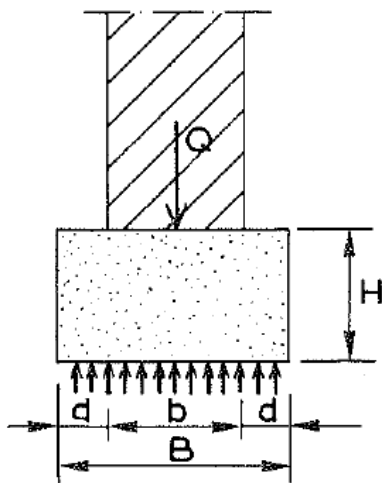
Hier wordt het effectief verschil in gewicht tussen een HSB- woning en traditionele bouw becijferd. De gewichten voor HSB van alle bouwmaterialen apart werden ons bezorgd door MBS. De gewichten voor traditionele bouw werden allemaal opgezocht en zijn voorzien van een verwijzing naar de bron. Zie hiervoor Figuur 9-22: gewichten materialen voor traditionele bouw in bijlage 9.7.2.

	Gewicht woning in HSB [kN]	Gewicht woning in traditionele combinatie metselwerk- beton [kN]	Hoeveel % weegt HSB t.o.v. metselwerk- beton? [%]
Enkel dragende structuur	182	1032	17,6
Volledig afgewerkt gebouw	436	1287	33,9
Afgewerkt gebouw + gebruiksbelasting + veiligheidsfactoren	1035	2167	47,8

Tabel 5-1: gewicht modelwoning 'Eurogen 1'

5.3.2 Berekening strookfundering

Een voorbeeld van de berekeningswijze met de Excel-spreadsheet van de strookfundering is terug te vinden in bijlage 9.9. Deze spreadsheet werd gebruikt voor alle acht sonderingen. Het type funderingsstrook wordt gekarakteriseerd aan de hand van Figuur 5-1. Het totaal volume strookfundering wordt berekend voor het geval van modelwoning Eurogen 1.



Figuur 5-1: parameters strookfundering

Al naargelang de lastendaling worden de belastingen op elke specifieke funderingsstrook bepaald. De gehele fundering wordt opgedeeld in acht balken die elk een bepaalde T-sectie hebben. De benoeming van de acht balken is conform de lastendaling in bijlage 9.7 Figuur 9-18. Voor elke strook wordt dus net genoeg materiaal gebruikt om onnodig materiaalverspilling tegen te gaan. De berekeningen per funderingsstrook en per sonderingsplaats zijn terug te vinden in bijlage 9.9, in Figuur 9-26 tot en met Figuur 9-33. De strookhoogte H wordt bepaald conform het vak 'Geotechniek 2' van dhr. P. Meireman:

$$H = \max(0,2m; \frac{d}{2})$$

De gerealiseerde winsten voor elke sonderingslocatie worden getoond in Tabel 5-2. Men dient er wel rekening mee te houden dat bij deze berekeningen de strookfundering beschouwd werd zoals in deel 2. Dit betekent dat in zeven van de acht gevallen de strookfundering voor traditionele bouw niet volstaat voor differentiële zettingen. In deze gevallen zal dus een strookfundering niet uitgevoerd worden. Enkel in het geval van sondering 8 Laakdal volstaat de strookfundering voor traditionele bouw en HSB.

Sonderingslocatie	Volume beton Percentage winst
Wuustwezel	20,9%
Merksplas	25,3%
Wellen	18,7%
Tongeren	23,9%
Beringen	24,0%
Watervliet	15,2%
Beveren	23,2%
Laakdal	15,4%
Gemiddeld	20,8%

Tabel 5-2: winst op volume beton bij een strookfundering

Gemiddeld zien we dat er een reductie van minimum 21% mogelijk is van het gebruikte beton voor strookfunderingen. Deze 21% is een ondergrens omdat in 7 van de 8 sonderingslocaties de differentiële zettingen niet voldoen voor traditionele bouw en men een nóg grotere strookfundering moet voorzien. Dit betekent ook dat er minstens 21% minder betaald moet worden aan beton, hetgeen toch aanzet zou kunnen geven om voor HSB te kiezen.

5.3.3 Berekening volle plaatfundering

In bijlage 9.10 kan een voorbeeld van de spreadsheet voor de berekening van de volle plaatfundering teruggevonden worden.

Men dient er wel rekening mee te houden dat indien men een exacte berekening van een volle plaatfundering wil, men een 3D- programma moet gebruiken zoals 'Plaxis 3D' of 'Powerplate' van Buildsoft. Dit type programma's maken de plaatberekening exact op aan de hand van een eindige- elementenanalyse en geven dit ook driedimensionaal weer.

Voor de berekening in het kader van deze masterproef is het nodig dat er enkele aannames gemaakt werden. De berekening gebeurt volgens twee gekende en gebruikte principes:

- 1) Eurocode 2, klassieke plaatberekening verbreed met de cursus van dhr. J. Vantomme, zoals gedoceerd in de opleiding Industriële ingenieur bouwkunde aan de UHasselt. Deze benadering houdt geen rekening met

de grondgesteldheid. Hier wordt gewerkt met het totaal gewicht van het gebouw in UGT, deze bedraagt 1035,23kN voor HSB en 2167kN voor traditionele bouw.

- 2) Aanbeveling 36 van het CUR¹¹ volgens de liggertheorie van Hetényi en de theorie van Westergaard. Volgens beide theorieën (Hetényi en Westergaard) wordt er een maximaal moment berekend met de belastingen in Tabel 5-5 waarvan de grootste van de twee momenten beduidend is. Deze benadering houdt wel rekening met de grondgesteldheid aan de hand van de beddingsconstante van de ondergrond. Zo worden er volgens Tabel 5-3 zes verschillende grondsoorten beschouwd.

Tabel 16 Karakteristieken van de ondergrond met benaderende relaties.

GRONDSOORT	VERVORMBAARHEID BIJ VRACHTWAGENVERKEER	CBR-WAARDE (%)		BEDDINGS-GETAL k (WESTERGAARD) ($\text{MN}/\text{m}^3 = 10^3 \text{ N}/\text{mm}^3$)	VERVORMINGS-MODULUS E_s (MPa)
		LAGE GROND-WATERSTAND (> 60 CM ONDER HET MAAVELD)	HOGE GROND-WATERSTAND (≤ 60 CM ONDER HET MAAVELD)		
Veen-, leem- en klei-gronden	verkeer praktisch onmogelijk; zeer vervormbaar	2 - 3	0 - 2	≤ 25	≤ 20
Plastische klei, onstabiel leemhoudend zand	diepe wielsporen; zeer vervormbaar	3 - 5	2 - 3	25 - 40	20 - 40
Leemhoudend zand, onstabiel zand met enge korrelverdeling	lichte wielsporen; vervormbaar	5 - 10	3 - 5	40 - 50	40 - 60
Klei - of leemhoudend zand, grindzand	weinig wielsporen; licht vervormbaar	10 - 20	5 - 10	50 - 75	60 - 120
Goed gegradeerd zand, grindzand	zeer weinig vervormbaar	20 - 50	10 - 30	75 - 150	120 - 250
Verdicht grind-zand	geen wielsporen; onvervormbaar	> 50	30 - 50	> 150	> 250

Tabel 5-3: tabel beddingsconstanten volgens TV204 van het WTCB

De aangenomen beddingsconstanten, samen met hun uitwerking zijn terug te vinden in Tabel 5-4.

¹¹ CUR-Aanbevelingen zijn publicaties van communicatieve documenten waarin afspraken tussen partijen in de bouw zijn vastgelegd

Benaming	Beddingsconstante k [kN/m ³]	Figuur
Goed gegradeerd zand, grindzand (Laakdal)	111500	Figuur 5-3
Klei- of leemhoudend zand, grindzand (Watervliet, Wellen)	62500	Figuur 5-4
Plastische klei of leem (Beringen, Wuustwezel, Merksplas, Beveren)	35000	Figuur 5-5
Veen- of kleigronden (Tongeren)	20000	Figuur 5-6

Tabel 5-4: gekozen beddingsconstantes

	Houtskeletbouw	Traditionele bouw
Lijnbelasting volgens Hetényi (UGT) [kN/m]	56,32	105,22
Puntbelasting volgens Westergaard (UGT) [kN]	69,31	174,32

Tabel 5-5: benodigde belastingen om de momenten volgens principe 2 te berekenen (uit lastendaling)

De berekening volgens principe 1 met Eurocode 2 is terug te vinden in Figuur 5-2. Hier wordt de berekening gedaan voor d_{limiet} en d_{optimaal} .

Conservatieve berekening					Betonsterkte C20/25		
		Plaatdikte					
		limiet	optimaal				
	Traditionele woning	233	294 mm				
	HSB woning	197	244 mm				
	Wapeningsberekening						
	berekening met d_limiet						
HSB	boven wapening :	alle 150 ϕ	8				
		alle 150 ϕ	8		diameter	staven	
	onderwapening :	alle 100 ϕ	12	+	0	0	tussenin
		alle 100 ϕ	12	+	10	1	tussenin
Traditioneel woning	boven wapening :	alle 150 ϕ	8				
		alle 150 ϕ	8		diameter	staven	
	onderwapening :	alle 100 ϕ	12	+	12	4	tussenin
		alle 100 ϕ	12	+	12	5	tussenin
	berekening met d_optimaal						
HSB	boven wapening :	alle 150 ϕ	8				
		alle 150 ϕ	8		diameter	staven	
	onderwapening :	alle 100 ϕ	12	+	0	0	tussenin
		alle 100 ϕ	12	+	0	0	tussenin
Traditioneel woning	boven wapening :	alle 150 ϕ	10				
		alle 150 ϕ	10		diameter	staven	
	onderwapening :	alle 100 ϕ	12	+	12	1	tussenin
		alle 100 ϕ	12	+	10	2	tussenin

Figuur 5-2: berekening volgens principe 1: klassieke plaatberekening [EC2]

De berekeningen volgens aanbeveling 36 van het CUR (principe 2) zijn te vinden in Figuur 5-3 tot Figuur 5-6.

goed gegradeerd zand of grindzand			
	k =	111500	kN/m ³
Liggertheorie van Hetényi en theorie van Westergaard			
	Plaatdikte		
	limiet	optimaal	
Traditionele woning	176	240	mm
HSB woning	169	232	mm
Wapeningsberekening			
berekening met d _{limiet}			
boven wapening :	alle 150 φ	6	HSB
	alle 150 φ	6	
onderwapening :	alle 100 φ	12	
	alle 100 φ	12	
boven wapening :	alle 150 φ	8	Traditioneel woning
	alle 150 φ	8	
onderwapening :	alle 100 φ	12	
	alle 100 φ	12	
berekening met d _{optimaal}			
boven wapening :	alle 150 φ	8	HSB
	alle 150 φ	8	
onderwapening :	alle 150 φ	12	
	alle 150 φ	12	
boven wapening :	alle 150 φ	8	Traditioneel woning
	alle 150 φ	8	
onderwapening :	alle 150 φ	12	
	alle 150 φ	12	

Figuur 5-3: berekeningsresultaat volgens principe 2 voor goed gegradeerd zand (aanbeveling 36 CUR)

klei of leemhoudende zand				
	k =	62500	kN/m ³	
Liggertheorie van Hetényi en theorie van Westergaard				
	Plaatdikte			
	limiet	optimaal		
Traditionele woning	171	235	mm	
HSB woning	166	229	mm	
Wapeningsberekening				
berekening met d _{limiet}				
boven wapening :	alle 150 φ	6		HSB
	alle 150 φ	6		
onderwapening :	alle 100 φ	12		
	alle 100 φ	12		
boven wapening :	alle 150 φ	6		Traditioneel woning
	alle 150 φ	6		
onderwapening :	alle 100 φ	12		
	alle 100 φ	12		
berekening met d _{optimaal}				
boven wapening :	alle 150 φ	8		HSB
	alle 150 φ	8		
onderwapening :	alle 150 φ	12		
	alle 150 φ	12		
boven wapening :	alle 150 φ	8		Traditioneel woning
	alle 150 φ	8		
onderwapening :	alle 150 φ	12		
	alle 150 φ	12		

Figuur 5-4: berekeningsresultaat volgens principe 2 voor klei of leemhoudende zand (aanbeveling 36 CUR)

plastisch klei of leem				
	k =	35000	kN/m ³	
Liggertheorie van Hetényi en theorie van Westergaard				
	Plaatdikte			
	limiet	optimaal		
Traditionele woning	167	231	mm	
HSB woning	165	227	mm	
Wapeningsberekening				
berekening met d _{limiet}				
boven wapening :	alle 150 φ	6		HSB
	alle 150 φ	6		
onderwapening :	alle 100 φ	12		
	alle 100 φ	12		
boven wapening :	alle 150 φ	6		Traditioneel woning
	alle 150 φ	6		
onderwapening :	alle 100 φ	12		
	alle 100 φ	12		
berekening met d _{optimaal}				
boven wapening :	alle 150 φ	8		HSB
	alle 150 φ	8		
onderwapening :	alle 150 φ	12		
	alle 150 φ	12		
boven wapening :	alle 150 φ	8		Traditioneel woning
	alle 150 φ	8		
onderwapening :	alle 150 φ	12		
	alle 150 φ	12		

Figuur 5-5: berekeningsresultaat volgens principe 2 voor plastische klei of leem(aanbeveling 36 CUR)

veen of klei gronden				
	k =	20000	kN/m ³	
Liggertheorie van Hetényi en theorie van Westergaard				
	Plaatdikte			
	limiet	optimaal		
Traditionele woning	172	232	mm	
HSB woning	164	226	mm	
Wapeningsberekening				
berekening met d _{limiet}				
boven wapening :	alle 150 φ	6		HSB
	alle 150 φ	6		
onderwapening :	alle 100 φ	12		
	alle 100 φ	12		
boven wapening :	alle 150 φ	6		Traditioneel woning
	alle 150 φ	6		
onderwapening :	alle 100 φ	12		
	alle 100 φ	12		
berekening met d _{optimaal}				
boven wapening :	alle 150 φ	8		HSB
	alle 150 φ	8		
onderwapening :	alle 150 φ	12		
	alle 150 φ	12		
boven wapening :	alle 150 φ	8		Traditioneel woning
	alle 150 φ	8		
onderwapening :	alle 150 φ	12		
	alle 150 φ	12		

Figuur 5-6: berekeningsresultaat volgens principe 2 voor veen- of kleigronden (aanbeveling 36 CUR)

5.3.3.1 Besparing op beton

Tabel 5-6 toont de besparing op het beton indien voor HSB gekozen wordt. Hierbij wordt het benodigd volume beton voor de funderingsplaat berekend aan de hand van d_{opt} en d_{lim} .

	Conservatieve berekening		goed gegraadeerd zand of grindzand		klei of leemhoudende zand		plastisch klei of leem		veen of klei gronden	
	d _{lim}	d _{opt}	d _{lim}	d _{opt}	d _{lim}	d _{opt}	d _{lim}	d _{opt}	d _{lim}	d _{opt}
	volume beton (m ³)		volume beton (m ³)		volume beton (m ³)		volume beton (m ³)		volume beton (m ³)	
Traditioneel gebouw	16,1630469	20,3945742	12,2089968	16,648632	11,8621503	16,3017855	11,5846731	16,0243083	11,9315196	16,0936776
HSB	13,6657521	16,9261092	11,7234117	16,0936776	11,5153038	15,8855697	11,4459345	15,7468311	11,3765652	15,6774618
	Percentage	Percentage	Percentage	Percentage	Percentage	Percentage	Percentage	Percentage	Percentage	Percentage
	15,5%	17,0%	4,0%	3,3%	2,9%	2,6%	1,2%	1,7%	4,7%	2,6%

Tabel 5-6: volume beton en percentage verschillen met HSB

De besparing op het beton gaat van 1,2% tot 17%. Volgens de conservatieve berekening (principe 1) is er een gemiddelde winst op het beton van 16%. Volgens aanbeveling 36 van het CUR kan er tot 4,7% minder beton gebruikt worden indien er voor HSB gekozen wordt.

5.3.3.2 *Besparing op wapeningsstaal*

	Conservatieve berekening			goed gegeradeerd zand of grindzand			klei of leemhoudende zand		
	hoeveelheid wapening (mm ² /m)			hoeveelheid wapening (mm ² /m)			hoeveelheid wapening (mm ² /m)		
	HSB	Traditioneel	Percentage	HSB	Traditioneel	Percentage	HSB	Traditioneel	Percentage
d_limiet	3010,69296	3950,029	23,8%	2638,937829	3045,25048	13,3%	2638,938	2638,938	0,0%
d_optimaal	2932,15314	3579,321	18,1%	2178,170906	2178,17091	0,0%	2178,171	2178,171	0,0%
	plastisch klei of leem			veen of klei gronden					
	hoeveelheid wapening (mm ² /m)			hoeveelheid wapening (mm ² /m)					
	HSB	Traditioneel	Percentage	HSB	Traditioneel	Percentage			
d_limiet	2638,93783	2638,938	0,0%	2638,937829	2638,93783	0,0%			
d_optimaal	2178,17091	2178,171	0,0%	2178,170906	2178,17091	0,0%			

Tabel 5-7: winst op wapeningsstaal

In Tabel 5-7 ziet men dat in het geval van de conservatieve berekening er een besparing tot 23,8% van de benodigde sectie wapeningsstaal mogelijk is. Volgens principe 2 (aanbeveling 36 CUR) is er in bijna geen enkel geval een winst op de gebruikte wapening. Enkel in het geval 'goed gegeradeerd zand of grindzand' kan gezien worden dat er een besparing tot 13% op het wapeningsstaal mogelijk is.

5.4 Conclusie

Dat er een aanzienlijk gewichtsverschil is tussen enerzijds woningen in houtskeletbouw en anderzijds woningen in traditionele bouw is nu concreet becijferd. Enkel de dragende structuur van een HSB- woning weegt maar 17,6% (!) van het gewicht van een traditionele woning in metselwerk- betonstijl. Dit heeft dan ook zonder twijfel een grote invloed op de benodigde draagkracht van de ondergrond en de funderingsafmeting.

Kiezen voor houtskeletbouw met zijn lichtgewicht is kostenbesparend voor de fundering. Het berekend gemiddelde aan uitgespaard beton voor een strookfundering is 21%. Dit percentage is niet immens groot maar zou wel bij grote projecten wel een omschakelpunt kunnen zijn.

Bij een plaatfundering kan de keuze voor HSB ook een besparing tot 17% op het beton betekenen afhankelijk van de berekeningskeuze. Deze waarde is ook niet overtuigend groot maar kan bij grootschalige projecten alsnog het omschakelpunt naar HSB betekenen. Bovendien kan er tot 24% bespaard worden op het wapeningsstaal.

6 Conclusie en toekomstvisie

Er kan duidelijk gesteld worden dat het gebruik van HSB verscheidene voordelen heeft. Wel moet er rekening mee gehouden worden dat de gebruikte materialen hierbij gelimiteerd zijn qua eigenschappen. In deze thesis worden onder andere de eigenschappen van de grondregel bestudeerd en opgelijst zodat de keuze voor de correcte grondregel vlot kan gebeuren. Er kan ook snel gezien worden dat sommige grondregels meer geschikt zijn dan anderen in bepaalde situaties.

Het bestuderen van de bouwwijze op een strookfundering licht deze scriptie toe aan de hand van geselecteerde literatuur en persoonlijke interpretatie. Zo wordt er berekend dat een traditioneel gebouw in 88% van de gevallen niet voldoet op vlak van differentiële zetting. Ook zorgen controles voor de EPB- aanvaarding dat bepaalde bouwknopen en materialen EPB- conform zijn en vandaag de dag mogen gebruikt worden.

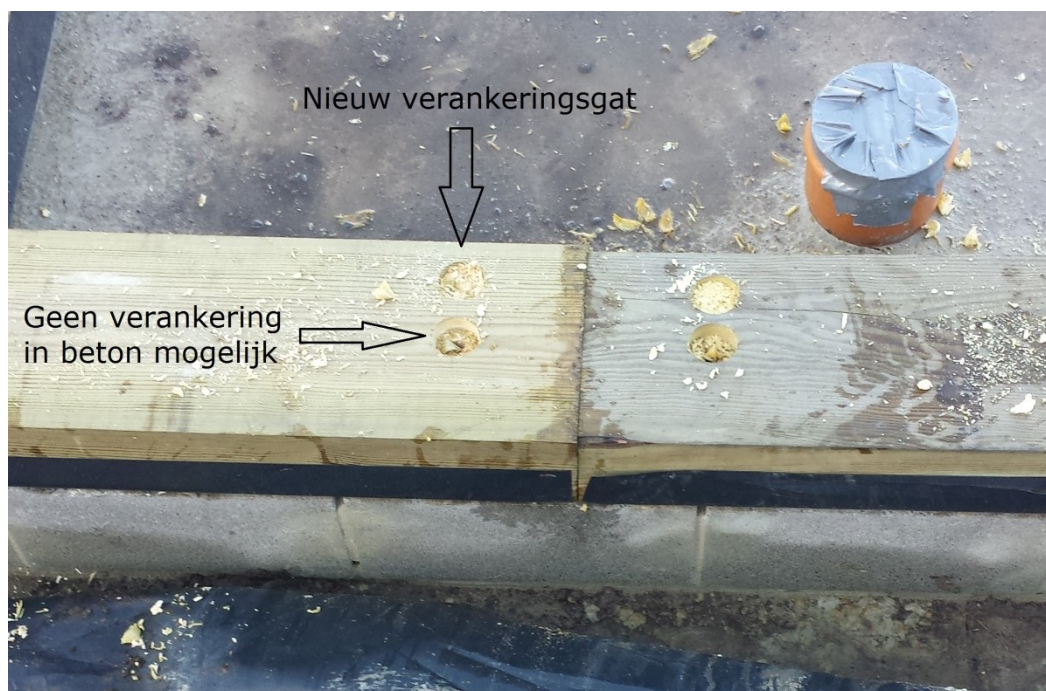
De effectieve winst op de fundering die men maakt door voor HSB te kiezen wordt becijferd. Deze winst is noemenswaardig groot. Hieruit merkt men ook duidelijk dit wel een de vraag zou kunnen doen rijzen om voor meer toepassingen HSB te gebruiken.

In deze thesis wordt enkel de residentiële toepassing van HSB onder handen genomen. Het is aldus mogelijk een uitbreiding van deze thesis te maken voor grotere gebouwen. Dit zouden dan utiliteitsgebouwen kunnen zijn maar het is slechts een kwestie van tijd voordat zelfs publieke gebouwen in HSB kunnen gebouwd worden.

7 Werfbezoek

Naast de technische en theoretische uitwerkingen is het ook belangrijk dat men de uitvoering op de werf kan bekijken. Dit geeft de opportuniteit te zien welke materialen gebruikt worden en hoe ze worden toegepast. Na overleg en toestemming van de externe promotor dhr. Colson kon op 24 en 25 maart 2014 door ons een werf bezichtigd worden. Dit was een nieuwbouwwoning waarbij elementen van MBS gebruikt werden door een externe aannemer. Het adres van deze woning was Schoterweg 254, 3980 Tessenderlo.

Op dag 1 van de opbouw begon de aannemer om 7u30 met het plaatsen van de grondregels op de fundering. De fundering was een volle betonnen plaatfundering die enkele dagen op voorhand gestort was. Als bekisting voor deze betonplaat werden aan de zijkanten een rij betonblokken gemetseld. Dit gaf als probleem dat de vooraf geboorde verankeringsgaten van de grondregel niet overeenkwamen met de naad tussen de gemetste betonblokken en het gestort beton. Dit zou uiteraard niet voor een optimale verankering zorgen. Daarom boorde men op de werf nieuwe gaten in de grondregel zodat de verankering volledig in het gestorte beton mogelijk werd. Figuur 7-1 toont de ligging van het misplaatste en het nieuwe gat.



Figuur 7-1: verplaatsing verankeringsgaten

Na deze aanpassing begon men met het uitlijnen van de grondregel met een koord. Hierna werd de grondregel in hout, dat voorzien was van een zwarte DPC vochtscherm, tijdelijk vastgezet. Figuur 7-2 geeft hier een duidelijk overzicht van weer.



Figuur 7-2: werfsituatie plaatsing grondregel

Van zodra de grondregels correct lagen werden de verankeringsgaten in het beton doorgeboord en vrijgemaakt van steengruis met perslucht. Vervolgens klopte men verankeringskeilbouten van Würth in het gat met een hamer. Alle grondregels werden dan met stelblokjes op gelijke hoogte gezet aan de hand van een referentieniveau. Hierna vulden ze de ontstane leegte onder de grondregel op met stelmortel K50 van het merk Cuglaton. In Figuur 7-3 kan men deze werkwijze zien.



Figuur 7-3: ondervulling grondregel

Dag 2 begon met het vastdraaien van de segmentanker met een momentsleutel tot 45 Nm (Figuur 7-4 **b**). Hierna werden de uitstekende segmentankers op een gelijk niveau met de stelregels afgeslepen (Figuur 7-4 **a**).



a



b

Figuur 7-4: slijpen en momentvast draaien van de segmentankers

Nadien plaatste men het eerste HSB- wandelement, dat door schuine stutten rechtgehouden werd.

De HSB- wand werd eerst enkel aan het begin vastgeschroefd en daarna werd een horizontaal koord afgespannen van begin tot einde waardoor men de wand perfect kon uitlijnen. Dit is te zien in Figuur 7-5.



a)



b)

Figuur 7-5: a) recht zetten van HSB- wand b) stutten van HSB- wand

De buitenwanden zijn met elkaar verbonden door een 'pen en gat' verbinding. Men draaide er nog een bijkomende schroef in nadat hij waterpas stond. Dit principe is te zien in Figuur 7-6. De pen en gat verbinding en de verbindingshoeken tussen de wanden en de vloeren worden daarna afgeplakt met een luchtdichte band.

Na het plaatsen van de buitenwanden plaatste men de binnenwanden die ook met een pen- sleufverbinding vastgemaakt werden. Op de niet- dragende binnenwanden gebruikten ze rubber als afdichting.



a)



b)

Figuur 7-6: a) penverbinding wand b) waterpas zetten van HSB- wand

Nadien zetten ze de HSB- vloerenelementen op de wanden en werden deze onderling met elkaar en aan de buitenwanden verbonden. De binnenwanden werden na het waterpas zetten bevestigd aan de HSB- vloer zodat de eerste bouwlaag opgebouwd werd in amper 3 uur. De tweede bouwlaag vervulde men ook op dezelfde wijze, waardoor het huis om 15u30 volledig opgebouwd was.



7u30



15u15

Figuur 7-7: 7u30 voor het starten van de dag, 15u15 na het einde van de dag

Op deze werf werden ook een aantal uitvoeringsfouten vastgesteld:

- a) Betonnen metselwerk rondom de plaatfundering



Figuur 7-8: metselwerk rondom de plaatfundering

- b) Deuropening vergeten in te snijden.



Figuur 7-9: HSB- wand zonder deuropening

c) HSB- wand op stelregel is niet recht op elkaar geplaatst.



Figuur 7-10: stelregel en onderregel HSB- wand

d) Hijsmethode: vier van de twee hijsbeugels worden gebruikt.



Figuur 7-11: stutten van HSB- wand

Het werfbezoek was een zeer nuttige aanvulling voor deze masterproef. De uitvoering van een constructieplan in de realiteit laat zien dat de werkelijkheid vaak niet strookt met het theoretisch vooropgestelde. De uitvoeringsfouten bewijzen dan ook dat alles op een werf niet altijd vlot verloopt.

8 Referenties

- [1] B. Coenjaerts, Vergelijkende studie houtskeletbouwmethode België vs Canada, Hogeschoolbibliotheek PXL Diepenbeek: XIOS, 2012.
- [2] T. Nens, Houten woning lichter dan een stenen woning? Vergelijking van een lastendaling van een houten woning met een lastendaling van een stenen woning, Hogeschoolbibliotheek PXL Diepenbeek: XIOS, 2005.
- [3] K. Bruckers, Houtskeletbouw versus traditioneel metselwerk, Hogeschoolbibliotheek PXL Diepenbeek: XIOS, 2012.
- [4] Stad Gent, Passiefhuizen in Houtskeletbouw, Gentbrugge: Tom Balthazar, november 2010.
- [5] P. C. E. NV, „De blijvende oplossing voor koudebruggen: Perinsul S / HL,“ FOAMGLAS, Lasne/Tessenderlo, 2012.
- [6] FeBeCel, handboek cellenbeton: materiaal van de toekomst, Brussel: Jacques Sizaïre.
- [7] M. Hermans, Passiefhuis & lage energiewoning in houtskelet, Hogeschoolbibliotheek PXL Diepenbeek: XIOS, 2010.
- [8] Vlaams Energieagentschap, 2013. [Online]. Available: <http://www.energiesparen.be>. [Geopend 2013].
- [9] Deventer, Bouwen in houtskeletbouw, Hogeschoolbibliotheek PXL Diepenbeek: Kluwer, 1982.
- [10] P. L. Wagemans, Hanboek Houtskeletbouw: Ontwerp, techniek, uitvoering, Rotterdam: Thieme Amsterdam, december 2005.
- [11] J. B. Piet De Graaf, Handboek houtskeletbouw: ontwerp, techniek, uitvoering, Rotterdam - hogeschoolbibliotheek PXL Diepenbeek: Stichting Bouwresearch, 2012.
- [12] F. Meynen, Duurzame renovatie van jaren '60 woningen met gebruik van houtskeletbouw, Hogeschoolbibliotheek PXL Diepenbeek: XIOS, 2013.
- [13] J. Bouillon, STS 23 Houtbouw, Brussel: FOD Economie, K.M.O., Middenstand en Energie, 1978.
- [14] K. D. Proft, Eindverslag prenormatief onderzoek, Technisch centrum der

houtnijverheid, 2013.

- [15] Bureau voor Normalisatie, Eurocode 5: Ontwerp en berekening van houtconstructies - Deel 1-1: Algemeen - gemeenschappelijke regels en regels voor gebouwen, Brussel: Bureau voor Normalisatie, december 2004.
- [16] Bureau voor Normalisatie, Eurocode 7: Geotechnische ontwerp - Deel1: Algemene regels, Brussel: Bureau voor Normalisatie, december 2004.
- [17] R. Mathys, Ondiepe funderingstechnieken toegepat in Zuid-Afrika, hogeschoolbibliotheek PXL Diepenbeek: XIOS, 2012.
- [18] P. d. i. F. De Smedt, grondmechanica, Brussel: Vrije Universiteit Brussel, 2013.
- [19] Schrankweerstand bij houtskeletbouw, Deinze: SEC bvba, 2003.
- [20] S. bvba, „Krachten inwerkend op houtskeletgebouwen,” *Splinter oktober 2009*, p. 3, 2009.
- [21] C. betonbedrijf, „Technische fiche betonblok 390x140x190 HOL,” januari 2013. [Online]. Available: <http://www.claesenbetonbedrijf.be/sites/default/files/technische%20fiche%2012%20holle%20blok39x14x19.pdf>. [Geopend maart 2014].
- [22] P. nv, „PTV 21-001,” 2011. [Online]. Available: http://www.probeton.be/media/doc_pdf/PTV/TV%2021-001_Uitgave%202.pdf. [Geopend maart 2014].
- [23] M. B. Solutions, Technische fiche 'pinus sylvestris', Beringen: Machiels Building Solutions, 2012.
- [24] Mynbn, „EN336 Hout voor dragende toepassingen - afmetingen, toelaatbare maatafwijkingen,” Bureau voor Normalisatie, Brussel, 2003.
- [25] J. Cox, „Cellenbeton handboek FEBECEL,” [Online]. Available: <http://www.febecel.be/nl/mantech.php>. [Geopend 2014].
- [26] Mynbn, „EN338 Hout voor dragende toepassingen - sterkteklassen,” Bureau voor Normalisatie, Brussel, 2009.
- [27] Hout en plaatmaterialen op basis van hout: STS 04.3 Behandelingen van het hout, Brussel: FOD Economie, 2009.
- [28] Technische brochure: construeren met KLP, Sneek, Nederland: Lankhorst Recycling, 2008.

- [29] R. Borsch-Laaks, „Bodengleiches Höchstniveau – Terrassentüranschluss,” *Condetti*, p. 12, 2005.
- [30] Berdal, „Foliefol DPC,” [Online]. Available: http://www.berdal.com/nl/pe_pvc.
- [31] „fiche Ecobati proclima extoseal finoc,” [Online]. Available: www.ecobati.be. [Geopend 2014].
- [32] milieubeheer, BIM - brusselse instituut voor milieubeheer, „vloeren op begane grond: een ecologische en energiezuinige opbouw kiezen,” BIM - brusselse instituut voor milieubeheer, Brussel, juni 2008.
- [33] Stichting Bouwresearch, bouwen in houtskeletbouw, Deventer - Antwerpen: Kluwer Technische Boeken, 1982.
- [34] centrum hout, Handboek Houtskeletbouw: ontwerp, techniek, uitvoering, Rotterdam: SBR, december 2005.
- [35] innovation contract Energieneutraal bouwen, „een vochtige kruipruimte, wat nu?,” innovation contract Energieneutraal bouwen, november 2012.
- [36] A. E. A. De Herde, *BETON EN RATIONEEL ENERGIEGEBRUIK*, Brussel: FEBELCEM: J. P. Jacobs, juni 2005.
- [37] milieubeheer, BIM - Brusselse instituut voor milieubeheer, „zorgen voor thermische inertie,” BIM - Brusselse instituut voor milieubeheer, Brussel, juli 2010.
- [38] WTCB, Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf, [Online]. Available: www.wtcb.be. [Geopend 2014 mei 7].
- [39] Mynbn, „NBN B 03-003: Vervormingen van draagsystemen - vervormingsgrenswaarden gebouwen,” Bureau voor Normalisatie, Brussel, 2003.
- [40] F. V. D. BOSSCHE, „Transmissiereferentiedocument,” ministerie van Energie, Wonen, Steden en Sociale Economie, Brussel, 2010.
- [41] „info over EPB eisentabel,” [Online]. Available: <http://www2.vlaanderen.be/economie/energiesparen/epb/doc/epbeisentabel2014.pdf>. [Geopend 4 februari 2014].
- [42] Werkgroep PAThB2010, „toelichtingsdocument volgens "ontwerp tot wijziging van bijlage IV/V van het EPB-besluit,” Vlaams, Waals en Brussels Hoofdstedelijk Gewest, 31 december 2009.

- [43] Bureau voor normalisatie, Eurocode 1: Belastingen op constructies - Deel 1-4: Algemene belastingen - Windbelasting (+ AC:2010), Brussel: Bureau voor Normalisatie, april 2005.
- [44] Mynbn, „NBN EN ISO 3506-4: Mechanische eigenschappen van bevestigingsartikelen van corrosievast staal - Plaatschroeven,” Bureau voor Normalisatie, Brussel, 2010.
- [45] Mynbn, „NBN EN ISO 1478: Plaatschroefdraad,” Bureau voor Normalisatie, Brussel, 2000.
- [46] GUTEX, „<http://www.nl.gutex.de/nl/>,” [Online]. Available: http://nl.gutex.de/nl/pdf/GUTEX_NL_TM_Thermosafe-wd_2012-08. [Geopend 18 maart 2014].
- [47] GUTEX, [Online]. Available: http://nl.gutex.de/nl/pdf/Merkb_HappyStep_nl.pdf. [Geopend 18 maart 2014].

9 Bijlagen

9.1 Bijlage A: EPB-regelgeving

Vanaf eind 2020 moeten alle gebouwen bijna energieneutraal gebouwd worden. Ze moeten tevens grotendeels door hernieuwbare energie gevoed worden om te kunnen voldoen aan het maximale E-peil.

Om EPB-aanvaarding te kunnen verkrijgen moeten er aan vijf eisen voldaan worden (Tabel 9-1):

1. Maximaal K-peil (K40 vanaf 1/01/2014) waarbij ook Maximale U - en minimale R-waardes voor constructiedelen (zie bijlage Tabel 9-2) inbegrepen worden.
2. Maximaal E-peil (E60 vanaf 1/01/2014).
3. Minimale ventilatievoorzieningen en beperken van risico op oververhitting.
4. Maximale netto energiebehoefte van 70 kWh/m².
5. Minimumaandeel aan hernieuwbare energie. (vanaf 1/1/2014)

Voor bouwprojecten met stedenbouwkundige vergunningsaanvraag of melding vanaf 1 januari 2014

EPB-eisen (eisen op het vlak van ENERGIEPRESTATIE en BINNENKLIMAAT)		BESTEMMING			
AARD VAN HET WERK		wonen	kantoor en school	andere specifieke bestemming	industrie
nieuwbouw (of gelijkwaardig)	thermische isolatie	maximaal K 40 (gebouw) en maximale U-waarden of minimale R-waarden	maximaal K 40 (gebouw) en maximale U-waarden of minimale R-waarden	maximaal K 40 (gebouw) en maximale U-waarden of minimale R-waarden	maximaal K 40 (gebouw) en maximale U-waarden of minimale R-waarden
	energieprestatie	maximaal E 60 (wooneenheid)	maximaal E 40 (eenheid van bestemming)	-	-
	netto-energiebehoefte	maximaal 70 kWh/m ²	-	-	-
	binnenklimaat	minimale ventilatievoorzieningen en beperken van risico op oververhitting (wooneenheid)	minimale ventilatievoorzieningen	minimale ventilatievoorzieningen	minimale ventilatievoorzieningen
	hernieuwbare energie	minimumaandeel	minimumaandeel	-	-
renovatie	thermische isolatie	maximale U-waarden of minimale R-waarden (voor nieuwe delen)			
	energieprestatie	-			
	binnenklimaat	minimale ventilatievoorzieningen (voor bestaande ruimten bij vervanging van vensters en voor nieuwe ruimten)			
functiewijziging met een BV groter dan 800 m ³	thermische isolatie	maximaal K 65 (gebouw of deel van gebouw dat functiewijziging ondergaat) en maximale U-waarden of minimale R-waarden (voor nieuwe delen)			
	energieprestatie	-			
	binnenklimaat	minimale ventilatievoorzieningen (gebouw of deel van gebouw dat functiewijziging ondergaat)			

Tabel 9-1: EPB eisentabel 2014 [41]

Constructiedeel	U_{max} (W/m ² K)	R_{min} (m ² K/W)
1 SCHEIDINGSCONSTRUCTIES DIE HET BESCHERMD VOLUME OMHULLEN, met uitzondering van de scheidingsconstructies die de scheiding vormen met een aanpalend beschermd volume		
1.1 TRANSPARANTE SCHEIDINGSCONSTRUCTIES, met uitzondering van deuren en poorten (zie 1.3), lichte gevels (zie 1.4), glasbouwstenen (zie 1.5) en scheidingsconstructies andere dan glas (zie 1.6)	1.8 en $U_{g,max} = 1.1$	
1.2 OPAKE SCHEIDINGSCONSTRUCTIES, met uitzondering van deuren en poorten (zie 1.3) en lichte gevels (zie 1.4)		
1.2.1 daken en plafonds	0.24	
1.2.2 muren niet in contact met de grond, met uitzondering van de muren bedoeld in 1.2.4	0.24	
1.2.3 muren in contact met de grond	0.40	of 1.5
1.2.4 verticale en hellende scheidingsconstructies in contact met een kruipruimte of met een kelder buiten het beschermd volume		1.4
1.2.5 vloeren in contact met de buitenomgeving	0.30	
1.2.6 andere vloeren (vloeren op volle grond, boven een kruipruimte of boven een kelder buiten het beschermd volume, ingegraven keldervloeren)	0.30	of 1.75
1.3 DEUREN EN POORTEN (met inbegrip van kader)	2.0	
1.4 GORDIJNGEVELS (volgens prEN 13947)	2.0 en $U_{g,max} = 1.1$	
1.5 GLASBOUWSTENEN	2.0	
1.6 TRANSPARANTE SCHEIDINGSCONSTRUCTIES ANDERE DAN GLAS, met uitzondering van deuren en poorten (zie 1.3) en lichte gevels (zie 1.4)	2.0 en $U_{t,max} = 1.6$	
2 SCHEIDINGSCONSTRUCTIES TUSSEN TWEE BESCHERMDE VOLUMES OP AANGRENZENDE PERCELEN	1.0	
3 VOLGENDE OPAKE SCHEIDINGSCONSTRUCTIES BINNEN HET BESCHERMD VOLUME OF PALEND AAN EEN BESTAAND BESCHERMD VOLUME OP EIGEN PERCEEL, met uitzondering van deuren en poorten (zie 1.3):		
3.1 TUSSEN APARTE WOONEENHEDEN	1.0	
3.2 TUSSEN WOONEENHEDEN EN GEMEENSCHAPPELIJKE RUIMTEN (trappenhuis, inkomhal, gangen, ...)		
3.3 TUSSEN WOONEENHEDEN EN RUIMTEN MET EEN NIET-RESIDENTIËLE BESTEMMING		
3.4 TUSSEN RUIMTEN MET EEN INDUSTRIËLE BESTEMMING EN RUIMTEN MET EEN NIET-INDUSTRIËLE BESTEMMING		

Ten hoogste 2 % van de totale oppervlakte van alle scheidingsconstructies die het beschermde volume omhullen, zoals vermeld onder 1.1 t/m 1.5, mag afwijken van deze eisen

Tabel 9-2: EPB U- en R- waarden 2014 [41]

De invloed van bouwknopen kunnen in drie verschillende methodes ingerekend worden, naargelang de keuzes van de verslaggever.

1. De eerste methode is de forfaitaire toeslag van 10K-punten op de K-peil. Hier doet het ontwerpteam geen inspanning om de warmteverliezen door de bouwknopen te berekenen. Deze methode zou tegenwoordig minder en minder toegepast worden omdat hierbij het behalen van het maximum K-peil onmogelijk is. Principieel kan dus gesteld worden dat deze methode niet meer zou mogen toegepast worden.
2. De tweede methode is de gedetailleerde methode, waarbij iedere bouwknop in detail wordt berekend. Hiervoor kan een numerieke berekening gemaakt worden op het niveau van het gebouw of een numerieke berekening op het niveau van bouwknopen. Deze methode vraagt veel inspanning en is moeilijk realiseerbaar, maar kan leiden tot een laag K-punten toeslag voor een woning.
3. De meest toegepaste methode is de methode van de EPB-aanvaarde bouwknopen. Hier wordt een forfaitaire toeslag van 3K-punten voorzien

mits de bouwknopen EPB-aanvaard zijn. Als er een bouwknop niet EPB-aanvaard is moet het dan numeriek berekend worden of waarde van ontstentenis, dit kan zorgen voor een lichte stijging of daling van deze bijkomende 3K-punten. Anderzijds als de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt ψ_e van een EPB-aanvaarde bouwknop gekend is en is deze waarde kleiner dan de limiet waarde $\psi_{e,lim}$ mag er op de 3K-punten een verlaging worden uitgevoerd.

EPB-aanvaarde bouwknop

Een bouwknop is EPB-aanvaard als de bouwknop voldoet aan een van de drie basisregels of als de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt $\psi_e \leq \psi_{e,lim}$.

Uit het inlichtingsdocument [42] kunnen de grenswaarden voor de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt afgelezen worden (Tabel 9-3).

	$\psi_{e,lim}$
1. BUITENHOEKEN (1)(2)	
• 2 muren	-0.10 W/m.K
• Andere buitenhoeken	0.00 W/m.K
2. BINNENHOEKEN (3)	0.15 W/m.K
3. VENSTER- en DEURAANSLUITINGEN	0.10 W/m.K
4. FUNDERINGSAANZET	0.05 W/m.K
5. BALKONS - LUIFELS	0.10 W/m.K
6. AANSLUITINGEN VAN EEN SCHEIDINGSCONSTRUCTIE BINNEN EENZELFDE BESCHERMD VOLUME OF TUSSEN 2 VERSCHILLENDE BESCHERMD VOLUMES OP EEN SCHEIDINGSCONSTRUCTIE VAN HET VERLIESOPPERVLAK	0.05 W/m.K
7. ALLE KNOPEN DIE NIET ONDER 1 T.E.M 6 VALLEN	0.0 W/m.K
(1) met uitzondering van funderingsaanzet (2) Voor een buitenhoek moet de hoek α - gemeten tussen de twee buitenoppervlakken van de scheidingsconstructies van het verliesoppervlak - voldoen aan: $180^\circ < \alpha < 360^\circ$. (3) Voor een binnenhoek moet de hoek α - gemeten tussen de twee buitenoppervlakken van de scheidingsconstructies van het verliesoppervlak - voldoen aan: $0^\circ < \alpha < 180^\circ$.	

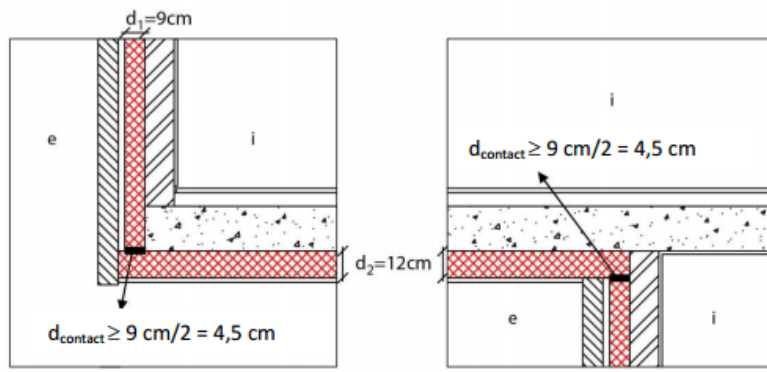
Tabel 9-3: limietwaarde voor de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt $\psi_{e,lim}$ [42].

Basisregel 1: de minimale contactlengte van de isolatielagen wordt berekend volgens vergelijking 9-1 en getoond in Figuur 9-1.

$$d_{contact} \geq 0,5 * \min(d_1, d_2) \quad \mathbf{9-1}$$

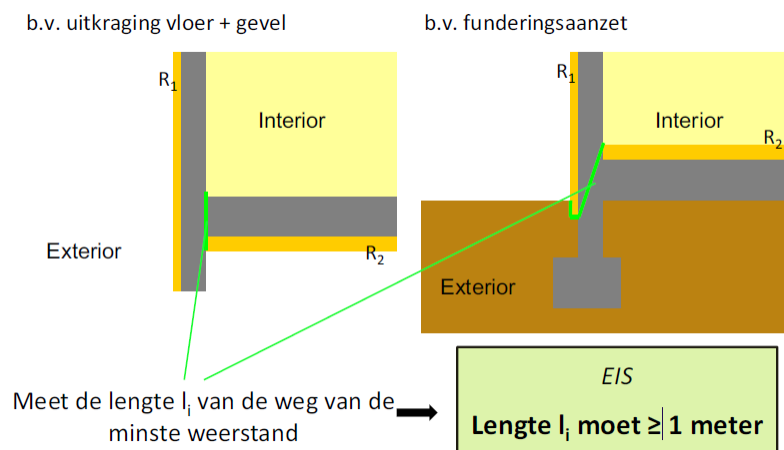
Waaruit:

$d_{contact}$: minimale contactlengte van de isolatielagen.
 d_1 en d_2 : diktes van de samenkomende isolatielagen.



Figuur 9-1: minimale contactlengte tussen twee isolatielagen

Basisregel 2: Een bouwknoop is EPB-aanvaard als de lengte van de weg van de minste weerstand groter is dan 1 meter. Dit is te zien in Figuur 9-2.



Figuur 9-2: lengte van de weg van de minste weerstand

Basisregel 3: bouwkopen waarvan de isolatielagen niet rechtstreeks in contact met elkaar staan, maar indirect wel door de tussenvoeging van isolerende delen die de thermische snede niet onderbreken (bv. tussen de vloerisolatie en de spouwisolatie). In Figuur 9-3 ziet men links het gebruik van cellenbeton hiervoor en rechts cellenglas.



Figuur 9-3: tussenvoeging van isolerende delen

Om te voldoen aan basisregel 3 moet het tussengevoegd isolerend deel voldoen aan drie eisen:

1. De warmtegeleidingscoëfficiënt λ is kleiner of gelijk aan 0,2 W/mK
2. De warmteweerstand R van de tussenvoeging van de isolerend deel is groter of gelijk aan de helft van de isolatiepakken met een bovengrens van 2 m²K/W (vergelijking 9-2):

$$R \geq \min(R_1/2, R_2/2, 2) \quad 9-2$$

Waarin:

R : warmteweerstand van de tussenvoeging van isolerende deel
 R_1 en R_2 : warmteweerstand van de isolatielagen van de scheidingsconstructies.

3. De derde eis is te zien in vergelijking 9-3. Deze eis is nauw verbonden met basisregel 1.

$$d_{contact,i} \geq \min(d_{isolerende\ deel}/2, d_x/2) \quad 9-3$$

Waaruit:

$d_{contact,i}$: de contactlengte op aansluiting i.
 $d_{isolerende\ deel}$: de dikte van het tussengevoegd isolerend deel.
 d_x : de dikte van het aansluitende isolatiedeel van de scheidingsconstructie.

9.2 Bijlage B: Windkracht

9.2.1 Algemeen: windbelasting volgens EN 1991-1-4

Bij het toepassen van de berekeningsmethodes van EN 1991-1-4 [43] wordt de windkracht voor de constructie of een constructie- element berekend door gebruik te maken van krachtcoëfficiënten of oppervlaktedrukken. Deze worden berekend in wat volgt.

9.2.1.1 Windkracht aan de hand van de krachtcoëfficiënt

$$F_W = C_f \cdot C_s C_d \cdot A_{ref} \cdot q_p(Z_e) \quad 9-4$$

Met;

$C_s C_d$ = factor voor de afmetingen van het bouwwerk en voor de dynamische vergroting (hoogte kleiner dan 15 m is de factor gelijk aan 1)
 C_f = krachtcoëfficiënt
 A_{ref} = referentie oppervlakte
 $q_p(Z_e)$ = de stuwdruk op referentiehoogte

Vergelijking 9-4 bepaalt de windkracht F_W op een constructie of een constructie-element.

$$F_W = C_s C_d \cdot \sum_{i=0}^n A_{ref} \cdot q_p(Z_e) \cdot C_f \quad 9-5$$

Uitdrukking 9-5 bepaalt de windkracht F_W door de vectoriële sommatie op het individueel constructie-element.

9.2.1.2 Windkracht aan de hand van oppervlakedrukken

De windkracht F_W (vergelijking 9-7) op een constructiedeel wordt berekend door het verschil tussen de uitwendige en inwendige krachten te nemen. Hierbij worden de wrijvingskrachten parallel met de uitwendige oppervlakte opgeteld. Dit wordt weergegeven in vergelijking 9-6.

Wanneer de totale oppervlakte van een constructiedeel die parallel is met de wind, vier keer kleiner is dan de totale oppervlakte van alle constructiedelen loodrecht met de wind wordt de wrijvingskracht verwaarloosd.

$$F_W = F_{w,e} - F_{w,i} + F_{fr} \quad 9-6$$

$$F_W = C_s C_d \cdot \sum_{i=0}^n W_e \cdot A_{ref} - \sum_{i=0}^n W_i \cdot A_{ref} + C_{fr} \cdot q_p(z_e) \cdot A_{fr} \quad 9-7$$

Met:

W_e = uitwendige druk

W_i = inwendige druk

C_{fr} = wrijvingscoëfficiënt

A_{fr} = oppervlakte constructiedeel parallel met de wind

9.2.1.3 Stuwdruk

De windlast die druk uitoefent op een uitwendig en inwendig oppervlak kan berekend worden met vergelijking 9-8:

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \text{ of } q_p(z_i) \cdot c_{pi} \quad 9-8$$

met:

$q_p(z_e/i)$ de extreme stuwdruk in functie van de referentiehoogte
 $c_{pe/i}$ de uitwendige/inwendige drukcoëfficiënt

De extreme stuwdruk wordt bepaald door verschillende parameters:

- windturbulentie $I_v(z)$
- gemiddelde wind $v_m^2(z)$
- volumieke massa van lucht tijdens stormcondities ρ

De stuwdruk wordt bepaald door uitdrukking 9-9:

$$q_p(z) = (1 + 7 \cdot I_v(z)) \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z) \quad 9-9$$

De gemiddelde wind wordt berekend aan de hand van uitdrukking 9-10.

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \quad \mathbf{9-10}$$

Met:

$c_r(z)$	de terreincategoriefactor
$c_o(z)$	de orografiefactor
c_{dir}	de windrichtingsfactor
c_{season}	de seizoensfactor
$v_{b,0}$	de basiswindsnelheid

De windturbulentie-intensiteit $I_v(z)$ wordt aan de hand van uitdrukking 9-11 en 9-12 berekend:

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad \text{indien } z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad \mathbf{9-11}$$

$$I_v(z) = I_v(z_{\min}) \quad \text{indien } z < z_{\min} \quad \mathbf{9-12}$$

Met:

k_I	de turbulentie factor
c_o	de orografiefactor
z_0	de ruwheidslengte

De verschillende factoren worden bepaald volgens een windkrachtberekening in bijlage 9.2.2.

Naast het bepalen van de stuwdruk zijn er nog andere factoren die invloed hebben op de stuwdruk.

Zo worden de effecten van gebouwen en obstakels meegerekend die dicht tegen elkaar gebouwd zijn.

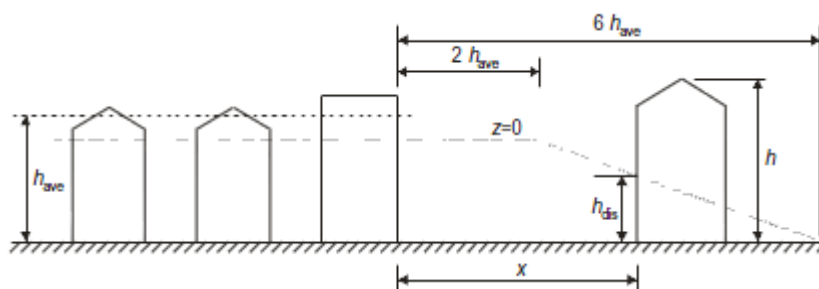
9.2.1.4 Invloed van dicht geplaatste gebouwen

Dicht geplaatste gebouwen veroorzaken windgedrag alsof het grondniveau verhoogt wordt tot een verplaatsinghoogte, deze wordt bepaald met vergelijking 9-13:

$$h_{dis} \text{ is de kleinste van } 0,8 \cdot h_{ave} \text{ of } 0,6 \text{ h} \quad x \leq 2 \cdot h_{ave} \quad \mathbf{9-13}$$

$$h_{dis} \text{ is de kleinste van } 1,2 \cdot h_{ave} - 0,2x \text{ of } 0,6 \text{ h} \quad 2 \cdot h_{ave} < x < 6 \cdot h_{ave}$$

$$h_{dis} = 0 \quad x \geq 6 \cdot h_{ave}$$



Figuur 9-4: obstakelhoogte en windopwaartse afstand (EN1991-1-4, 2005, figuur A.5)

9.2.1.5 Invloed van naastliggende gebouwen

Bij aanwezigheid van hogere gebouwen kan er een verhoging van windbelasting optreden.

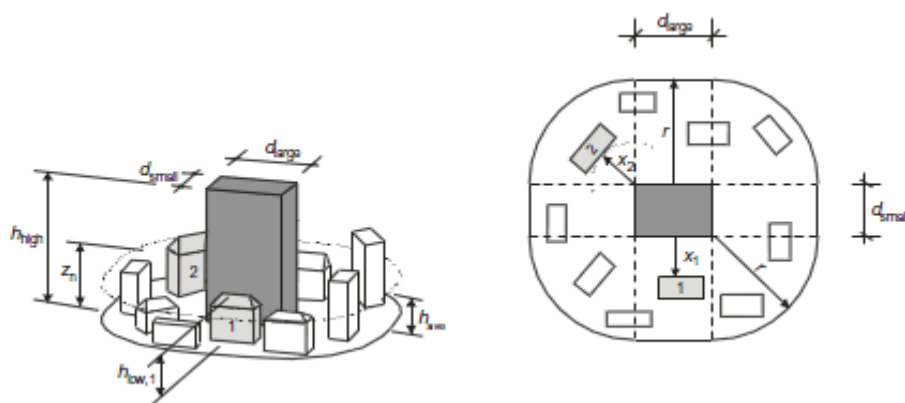
De windbelasting wordt berekend op basis van de stuwdruk op hoogte Z_n aan de hand van uitdrukking 9-14.

$$\begin{aligned}
 x \leq r: & \quad Z_n = 0,5 \cdot r \\
 r < x < 2 \cdot r: & \quad Z_n = 0,5(r - (1 - 2 \cdot \frac{h_{low}}{r}) \cdot (x - r) \\
 x \geq 2 \cdot r: & \quad Z_n = h_{low}
 \end{aligned}
 \tag{9-14}$$

Met

$r = h_{high}$ waarvoor $h_{high} \leq 2 \cdot d_{large}$

$r = 2 \cdot d_{large}$ waarvoor $h_{high} > 2 \cdot d_{large}$

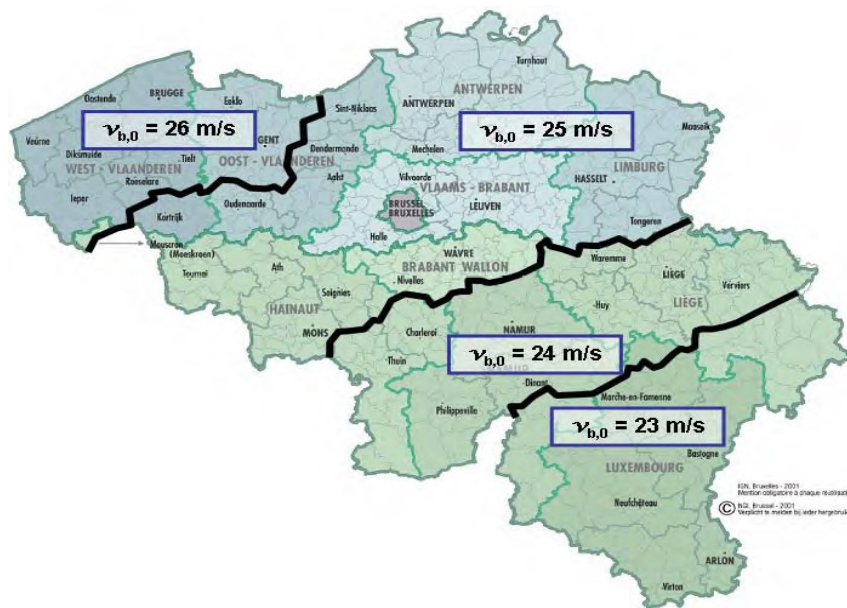


Figuur 9-5: invloed van hoogbouw op twee verschillende nabijgelegen lager gebouwen (EN1991-1-4, 2005, figuur A.4).

9.2.2 Windkrachtbepalingen van factoren.

9.2.2.1 Fundamentele basiswindsnelheid $V_{b,0}$ per gebied

De gespecificeerde fundamentele waarde van basiswindsnelheid wordt uitgedrukt in Figuur 9-6 en per gemeente in Tabel 9-4.



Figuur 9-6: Basiswindsnelheid $V_{b,0}$ bepaald per gebied [42]

$V_{b,0}$	Provincies	Arrondissementen	Steden - Gemeentes
26 m/s	West-Vlaanderen	Veurne, Oostende, Brugge, Diksmuide, Ieper, Roeselare, Tielt	Alle
	Oost-Vlaanderen	Eeklo, Gent	Alle
	Henegouwen	Tournai	Comines
25 m/s	West-Vlaanderen	Kortrijk	Alle
	Oost-Vlaanderen	Aalst, Dendermonde, Oudenaarde, Sint-Niklaas	Alle
	Antwerpen	Alle	Alle
	Vlaams-Brabant	Alle	Alle
	Waals-Brabant	Alle	Alle
	Limburg	Alle	Alle behalve Voeren
	Henegouwen	Tournai, Ath, Soignies, Mons	Alle behalve Comines
		Charleroi	Enkel Seneffe en Manage
24 m/s	Henegouwen	Thuin	Alle
		Charleroi	Alle behalve Seneffe en Manage
		Philippeville, Namur	Alle
	Namen	Dinant	Enkel: Anhée, Hastière, Onhaye, Yvoir, Dinant, Ciney, Hamois, Havelange, Somme-Leuze
		Huy, Waremmes, Liège	Alle
	Luik	Verviers	Enkel: Plombières, Kelmis, Lontzen, Raeren, Eupen, Baelen, Jalhay, Spa, Theux, Pepinster, Olne, Herve, Aubel, Thimister-Clermont, Dison, Verviers, Limbourg, Welkenraedt
	Luxemburg	Marche-en-Famenne	Enkel Durbuy
23 m/s	Limburg	Tongeren	Enkel Voeren
	Namen	Dinant	Enkel: Vresse-sur-Semois, Gedinne, Beauraing, Houyet, Rochefort, Bièvre
		Virton, Arlon, Neufchâteau, Bastogne	Alle
	Luxemburg	Marche-en-Famenne	Enkel: Marche-en-Famenne, Hotton, Erezée, Manhay, La-Roche-en-Ardenne, Tenneville, Nassogne, Rendeux
			Enkel: Burg-Reuland, Sankt-Vith, Amel, Bülligen, Bütgenbach, Waimers, Malmédy, Stavelot, Stoumont, Liemeux, Trois-Ponts
	Luik	Verviers	

Tabel 9-4: basiswindsnelheid per gemeente [42]

9.2.2.2 Windrichtingfactor

De waarde van de windrichtingsfactor is gegeven in Tabel 9-5.

RICHTING WAARUIT DE WIND KOMT	0°	22,5°	37,75°	45°	56,25°	90°	120°	150°	180°	270°
	N					O			Z	W
c_{dr}	1,0	1,0	0,95	0,90	0,85	0,85	0,90	0,95	1,0	1,0
$(c_{dr})^2$	1,0	1,0	0,90	0,81	0,72	0,72	0,81	0,90	1,0	1,0

Tabel 9-5: windrichtingsfactor in functie van de windrichting [42]

9.2.2.3 Seizoensfactor

De waarde van de seizoensfactor is gegeven in Tabel 9-6.

Tabel 4.4 ANB: seizoensfactor c_{season}

MAAND	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
c_{season}	0,96	0,96	0,92	0,88	0,83	0,83	0,83	0,83	0,88	0,92	1,0	0,96
$(c_{season})^2$	0,92	0,92	0,85	0,77	0,69	0,69	0,69	0,69	0,77	0,85	1,0	0,92

Tabel 9-6: seizoensfactor in functie van de maand [42]

9.2.2.4 Ruwheidsfactor

De ruwheidsfactor is afhankelijk van de terreinfactor en wordt weergegeven in vergelijking 9-15.

$$k_r = 0,19 * (z_0/z_{0,II})^{0,07}$$

9-15

Met $z_{0,II} = 0,05$

	z_0	z_{min}	k_r
0	0,003	1	0,156
I	0,01	1	0,170
II	0,05	2	0,190
III	0,3	5	0,215
IV	1	10	0,234

Tabel 9-7: ruwheidsfactor per terreincategorie

De terreinruwheid wordt per categorie bepaald. De indeling van de categorieën volgt uit EN1991-1-4ANB :

Categorie 0: Zee of kust gebied met directe blootstelling aan zeewinden.
Categorie I: Meren of vlakke horizontale gebieden zonder obstakels.
Categorie II: Landelijke gebieden met geïsoleerde obstakels.
Categorie III: Dorpen, voorsteden, industrie, wouden.
Categorie IV: Steden

Nu men de terreinfactor berekend heeft, kan de terreinruwheid bepaald worden uit vergelijking 9-16.

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0) \quad \text{indien} \quad z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

9-16

Of

$$c_r(z) = c_r(z_{min}) \quad \text{indien} \quad z \leq z_{min}$$

9.2.2.5 Orografiefactor

De bepaling van de orografiefactor $cr(z)$ [5] wordt in acht genomen waar de orografie met meer dan 5% verhoogd wordt.

De orografiefactor wordt gedefinieerd als:

- als de helling kleiner is dan 5% dan is $C_0 = 1$
- als de helling groter dan 5% is en kleiner dan 30% dan is $C_0 = 1 + 2 \cdot s \cdot \phi$
- als de helling groter dan 30% is dan is $C_0 = 1 + 0,6 \cdot s$

In de volgende omstandigheden worden de effecten van orografie bepaald:

- windopwaartse hellingen van heuvels indien $0,05 < \phi \leq 0,3$ en $x \leq Lu/2$
- windafwaartse hellingen van heuvels indien $\phi < 0,3$ en $x < Ld/2$ of indien $\phi \geq 0,3$ en $x < 1,6 H$
- windopwaartse hellingen van kliffen en steile hellingen indien $0,05 < \phi \leq 0,3$ en $x \leq Lu/2$
- windafwaartse hellingen van kliffen en steile hellingen indien $\phi < 0,3$ en $x < 1,5 Le$ of indien $\phi \geq 0,3$ en $x < 5 H$

De orografie locatie factor s (vergelijking 9-17) voor de stroomopwaartse doorsnede voor alle orografie geldt wanneer:

$$1,5 \leq x/Lu \leq 0 \text{ en } 0 \leq z/Le \leq 2,0$$

$$s = A \cdot e^{(B \cdot x/Lu)}$$

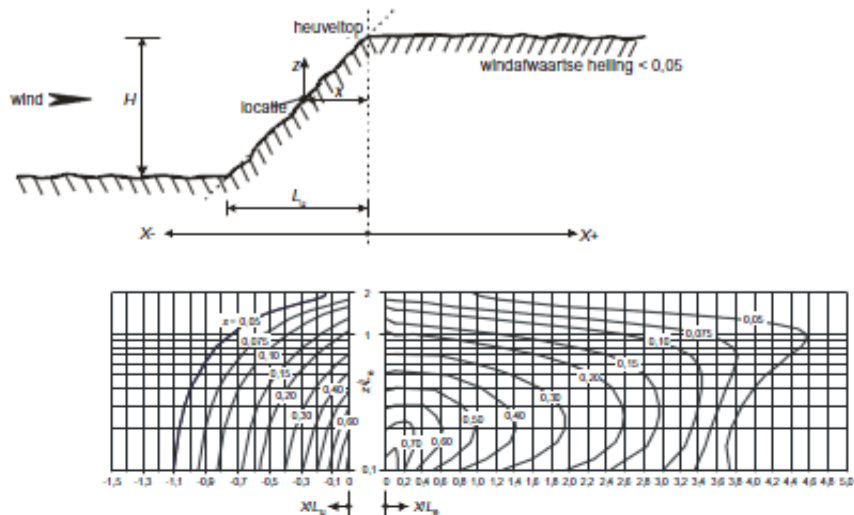
9-17

Met:

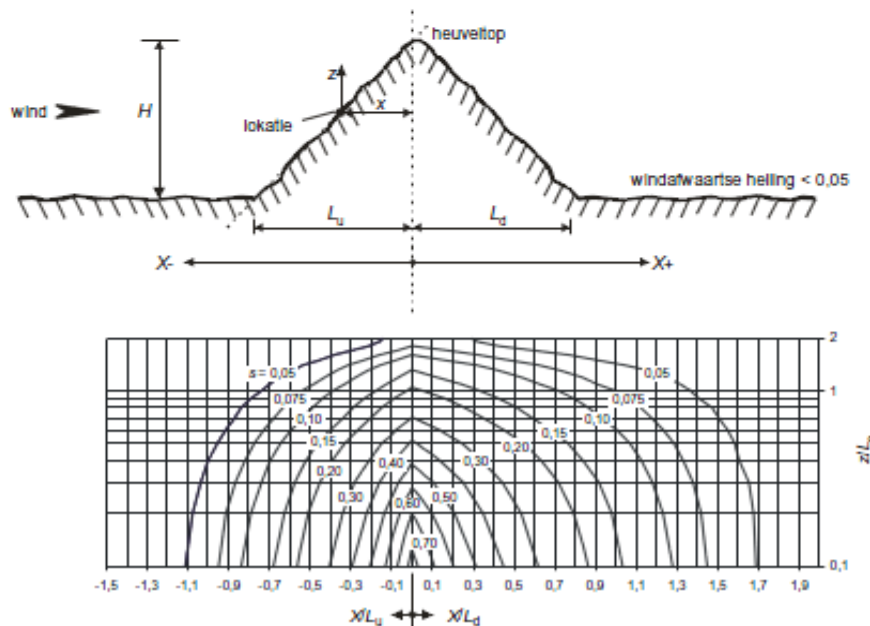
S	de orografie locatie factor
C_0	de orografiefactor
ϕ	de hellingshoek
X	de horizontale afstand van de locatie tot de heuveltop
Z	de verticale afstand van de locatie vanaf grondniveau
Lu	de lengte van de opwaartse helling
Ld	de lengte van de afwaartse helling
Le	de effectieve lengte van de opwaartse helling

Hellingtype ($\phi = H/L_u$)	
Licht hellend ($0,05 < \phi < 0,3$)	Steil ($\phi > 0,3$)
$L_a = L_u$	$L_a = H/0,3$

Tabel 9-8: waarde van de effectieve lengte L_e [42]



Figuur A.2 — Factor s voor kliffen en steile taluds



Tabel 9-9: factor s voor heuvels en bergkammen [41]

Stroomafwaartse doorsnede voor heuvels en bergkammen.

$$0 \leq X/L_d \leq 2,0 \text{ en } 0 \leq z/L_e \leq 2,0$$

$$s = A \cdot e^{(B \cdot x/L_d)}$$

Stroomafwaartse doorsnede voor kliffen en steile hellingen.

$$0,1 \leq X/Le \leq 3,5 \text{ en } 0,1 \leq z/Le \leq 2,0$$

$$s = A \cdot (\log(X/Le))^2 + B \cdot (\log(X/Le)) + C$$

9.2.2.6 Windturbulentie – intensiteit

De windturbulentie - intensiteit wordt uitgedrukt met vergelijking 9-18

$$I_v(Z) = k_l / c_0(z) \cdot \ln(Z/Z_0) \quad \text{indien } Z_{\min} \leq Z \leq Z_{\max} \quad \mathbf{9-18}$$

$$I_v(Z) = I_v(Z_{\min}) \quad \text{indien } Z < Z_{\min}$$

Met:

k_l de turbulentiefactor

c_0 de orografiefactor

z_0 de ruwheidlengte, gegeven in tabel D.5

Terreincategorie	z_0 m	$z_{\min}$ m
0 Zee of kustgebied met wind aanstromend over open zee	0,003	1
I Meren of vlak en horizontaal gebied met verwaarloosbare vegetatie en zonder obstakels	0,01	1
II Gebied met lage begroeiing als gras en vrijstaande obstakels (bomen, gebouwen) met een tussenruimte van ten minste 20 obstakelhoogtes	0,05	2
III Gebied met regelmatige begroeiing of gebouwen of vrijstaande obstakels met een tussenruimte van ten hoogste 20 obstakelhoogtes (zoals dorpen, voorstedelijk terrein, blijvend bos)	0,3	5
IV Gebied waar ten minste 15 % van de oppervlakte is bedekt met gebouwen met een gemiddelde hoogte boven 15 m	1,0	10

Tabel 9-10: terreincategorie en terrein parameters [5]

Voor de turbulentiefactor k_l geldt de volgende waarden:

terreincategorie 0, I en II $k_l = 1$

terreincategorie III $k_l = 0,95$

terreincategorie IV $k_l = 0,85$

9.2.3 windkracht bepaling 1 Eurogen 1.

9.2.3.1 Stuwdruk berekening

Basiswindsnelheid

$$V_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot V_{b,0}$$

→

N	O	Z	W
26	22,1	26	26

 m/s

MET:

$$V_{b,0} =$$

26 m/s

meest nadeligste
situatie

windrichting	N (0°)	O (90°)	Z (180°)	W
$C_{dir} =$	1,00	0,85	1,00	1,00

$$C_{season} =$$

0,96

Gemiddelde windsnelheid

$$V_m(z) = C_r(z) \cdot C_0(z) \cdot V_b$$

→

N	O	Z	W
16,35	14,48	16,35	16,35

 m/s

MET:

$$V_b$$

zie punt 1.2.1

$$C_r(z)$$

ruwheidsfactor

$$C_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

→

0,6551

k_r de
terreinfactor
is:

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,2154$$

$$C_0(z)$$

de orografiefactor is gelijk aan
1,0

Windturbulentie

$$l_v(z) = \frac{k_L}{C_0(z) \cdot \ln(z/z_0)}$$

→

0,3124

k_l	de turbulentiefactor is gelijk aan 0,95 volgens tereincatogorie III
$Z =$	6,28
$Z_0 =$	0,3
$c_0(z)$	1

Extreme stuwdruk is gelijk aan

$$q_p(z) = (1 + 7 \cdot I_v(z)) \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z) \rightarrow 532,44 \text{ N/m}^2$$

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$$

9.2.3.2 Winddruk op buitenzijde

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$$

met

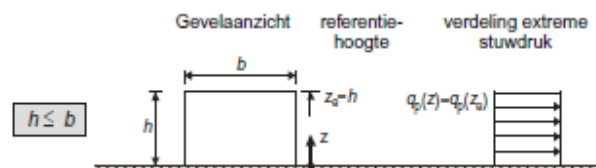
$$q_p(z_e) = 532,44 \text{ N/m}^2$$

c_{pe}:

Belasting verticale muren:

De hoogte van het gebouw is kleiner dan de breedte, dan kan het gebouw als één geheel beschouwd worden

$$z_e = h$$



Toestand 1: Wind loodrecht op langsijde van 10,01m

$$e = \min(b, 2 \cdot h) = 10,01 \text{ m}$$

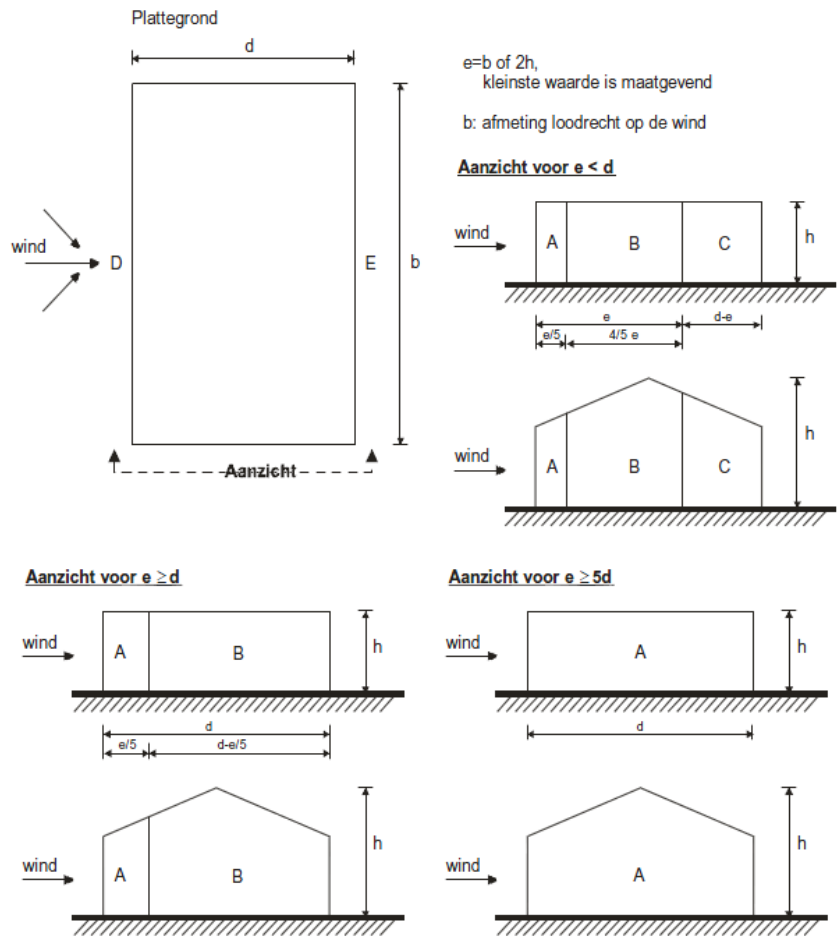
$$\text{met: } b = 10,01 \text{ m}$$

$$h = 6,28 \text{ m}$$

$$d = 6,93 \text{ m}$$

Tabel 7.1 — Aanbevolen waarden voor uitwendige drukcoëfficiënten voor verticale gevels van gebouwen met rechthoekige plattegrond

Zone	A		B		C		D		E	
h/d	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
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 7.5 —Zones bij verticale gevels

zodat: $e > d$: Dit leidt tot 2 zones (A en B) op de kop van het gebouw (zijde van 6,93m)
 met $h/d = 0,91$ interpolatie toepassen voor tussenliggende waarden

		qp(ze)	we		
zodat:	cpeA=	-1,2	532,44	638,92	N/m²
	cpeB=	-0,8	532,44	425,95	N/m²
	cpeD				
	=	0,788	532,44	419,56	N/m²
	cpeE=	0,476	532,44	253,44	N/m²

kopsegevel

cpe	-
ABC	487,474

 N/m²

Het gewogen gemiddelde op de kopsegevel
 $c_{pe\ ABC} = -487,474\ \text{N/m}^2$

zone	$c_{pe,10}$	afmetingen (m)	Aref (m ²)
A	-1,2	2,00	12,61
B	-0,8	4,93	31,05
totaal		6,93	43,66

Toestand 2: Wind loodrecht op kopzijde van 6,93m

$e = \min(b, 2 \cdot h) = 6,93\ \text{m}$

met:

$b = 6,93\ \text{m}$

$h = 6,28\ \text{m}$

$d = 10,01\ \text{m}$

zodat: $d > e$: Dit leidt tot 3 zones (A,B en C) op de kop van het gebouw (zijde van 10,01m)

met

$h/d = 0,63$

	$q_p(z_e)$	w_e	
zodat:	$c_{peA} = -1,2$	532,44	638,92 N/m ²
	$c_{peB} = -0,8$	532,44	425,95 N/m ²
	$c_{peC} = -0,5$	532,44	266,22 N/m ²
	$c_{peD} = 0,75$	532,44	399,68 N/m ²
	$c_{peE} = -0,40$	532,44	213,68 N/m ²

kopsegevel	
$c_{pe\ ABC}$	-406,29 N/m ²

De gewogen gemiddelde op de kopsegevel
 $c_{pe\ ABC} = -406,29\ \text{N/m}^2$

zone	$c_{pe,10}$	afmetingen (m)	Aref (m ²)
A	-1,2	1,39	8,73
B	-0,8	5,54	34,93
C	-0,5	3,08	19,40
totaal		10,01	63,06

9.2.3.3 Winddruk op Binnenwanden

inwendige kracht

$$w_i = q_p(z_e) \cdot c_{pi}$$

wordt de meest ongunstige waarde aangenomen

c_{pi}:

c _{pi}	q _p (z _e)	w _i
0,2	532,44	106,4871 N/m ²
-0,3	532,44	-159,731 N/m ²

9.2.3.4 Wrijvingskracht

$$c_{fr} = 10,65 \text{ N/m}^2$$

Oppervlakken	Wrijvingscoëfficiënt c _{fr}
Glad (bijvoorbeeld staal, glad beton)	0,01
Ruw (bijvoorbeeld ruwe beton, beteerde boorden)	0,02
Zeer ruw (bijvoorbeeld rimpels, ribben, kronkelingen)	0,04

9.2.4 Windkrachtberekening

$$F_W = C_f \cdot C_s \cdot C_d \cdot A_{ref} \cdot q_p(Z_e)$$

langste zijde

$$F_w = 36996,66 \text{ N} \quad 37,00 \text{ KN}$$

korste zijde

$$F_w = 25094,91 \text{ N} \quad 25,09 \text{ KN}$$

9.3 Bijlage C: Gegevens gebruikte schroef

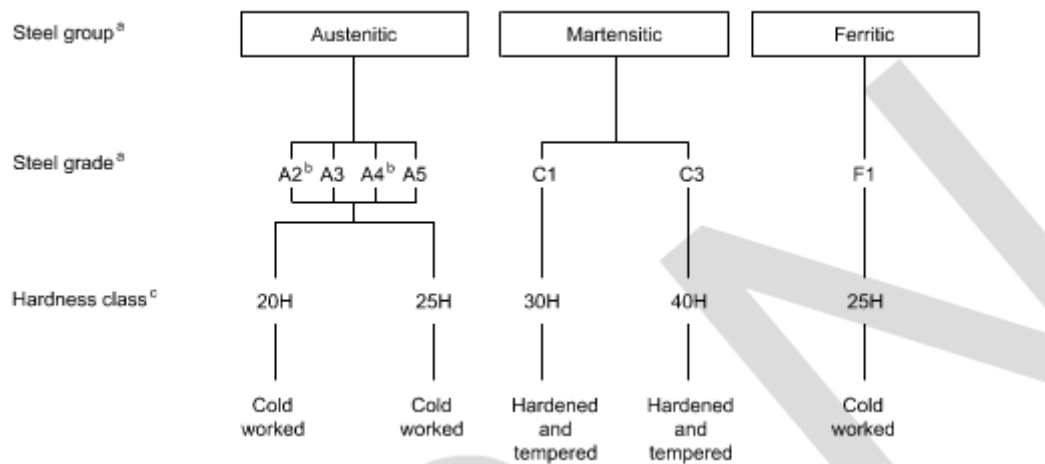
De schroef die hierbij gebruikt wordt is een spaanplaat Schroef geproduceerd door VRF Europe in Deurne, Nederland. De schroef is 150mm lang en gemaakt uit RVS¹² A2. De schroef voldoet aan de ISO¹³- norm 3506 [44] en hieruit kunnen we volgende gegevens halen:

- Het gebruikte staal is een austenitisch¹⁴ staal (Figuur 9-7)
- De chemische samenstelling is te zien in Figuur 9-8
- De schroefdraad en -punt (vorm C met punt) is te zien in Figuur 9-9

¹² RoestVast Staal

¹³ International Organization for Standardisation

¹⁴ Dit is een staalstructuur waarbij de ijzer atomen kubisch vlakgecentreerd gestapeld zijn



Figuur 9-7: staalsoorten RVS voor schroeven [44]

Table 2 — Stainless steel grades — Chemical composition

Steel group	Steel grade	Chemical composition ^a mass fraction, %									Footnotes
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	
Austenitic	A2	0,10	1	2	0,05	0,03	15 to 20	— ^b	8 to 19	4	cd
	A3	0,08	1	2	0,045	0,03	17 to 19	— ^b	9 to 12	1	e
	A4	0,08	1	2	0,045	0,03	16 to 18,5	2 to 3	10 to 15	4	df
	A5	0,08	1	2	0,045	0,03	16 to 18,5	2 to 3	10,5 to 14	1	ef
Martensitic	C1	0,09 to 0,15	1	1	0,05	0,03	11,5 to 14	—	1	—	f
	C3	0,17 to 0,25	1	1	0,04	0,03	16 to 18	—	1,5 to 2,5	—	—
Ferritic	F1	0,12	1	1	0,04	0,03	15 to 18	— ^g	1	—	hi

NOTE 1 A description of the groups and grades of stainless steels also entering into their specific properties and applications is given in Annex A.

NOTE 2 Examples of stainless steels standardized in accordance with ISO 4954 are given in Annex B.

NOTE 3 Certain materials for specific application are given in Annex C.

^a Values are maximum, unless otherwise indicated.

^b Molybdenum may be present at the discretion of the manufacturer. However, if for some applications limiting of the molybdenum content is essential, this shall be stated at the time of ordering by the purchaser.

^c If the chromium content is below 17 %, the minimum nickel content should be 12 %.

^d For austenitic stainless steels having a maximum carbon content of 0,03 %, nitrogen may be present to a maximum of 0,22 %.

^e This shall contain titanium $\geq 5 \times C$ up to 0,8 % maximum for stabilization and be marked appropriately as specified in this table, or shall contain niobium (columbium) and/or tantalum $\geq 10 \times C$ up to 1,0 % maximum for stabilization and be marked appropriately as specified in this table.

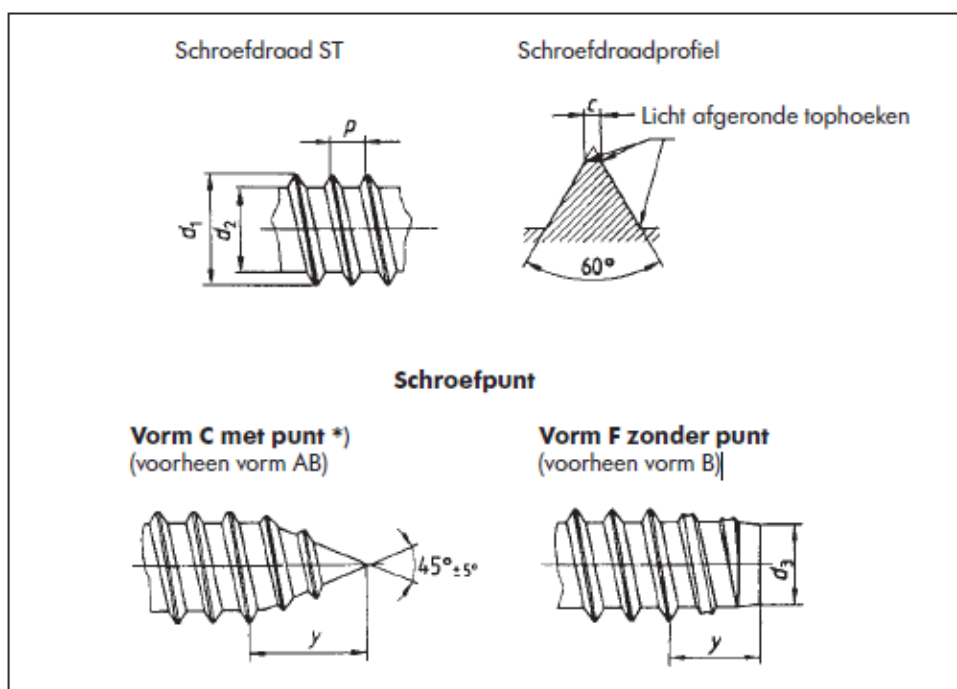
^f At the discretion of the manufacturer, the carbon content may be higher where required in order to obtain the specified mechanical properties at larger diameters, but shall not exceed 0,12 % for austenitic steels.

^g Molybdenum may be present at the discretion of the manufacturer.

^h This may contain titanium $\geq 5 \times C$ up to 0,8 % maximum.

ⁱ This may contain niobium (columbium) and/or tantalum $\geq 10 \times C$ up to 1 % maximum.

Figuur 9-8: chemische samenstelling RVS voor schroeven [44]



Figuur 9-9: schroefdraad en schroefpunt gebruikte schroef (met punt) [45]

9.4 Bijlage D: Wrijvingsproef

9.4.1 Metingen van wrijvingsproef

9.4.1.1 Meetresultaten betonnen ondergrond

Cellenglas

m (kg)	$F_{w,s,max}$ (N)				
(blok + gewicht)	Meting 1	Meting 2	Meting 3	Meting 4	Meting 5
0,123	0,73	0,82	0,73	0,78	0,86
0,623	3,77	6,90	3,51	2,88	3,93
1,123	6,46	7,10	6,86	7,18	5,51
1,623	9,44	8,79	8,59	9,93	10,01
2,123	13,32	10,92	10,53	11,62	12,09

Tabel 9-11: metingen cellenglas op fundering

Kunststof

m (kg)	$F_{w,s,max}$ (N)				
(blok + gewicht)	Meting 1	Meting 2	Meting 3	Meting 4	Meting 5
0,591	3,78	3,39	4,33	3,62	4,28
1,591	11,16	10,27	9,25	7,79	8,01
2,591	15,11	15,64	16,35	15,33	13,31
3,591	19,11	21,26	20,67	19,89	20,41
4,591	25,09	25,80	23,60	22,36	23,68

Tabel 9-12: metingen kunststof op fundering

Grondregel houtl

m (kg)	F_{w,s,max} (N)				
(blok + gewicht)	Meting 1	Meting 2	Meting 3	Meting 4	Meting 5
0,736	4,73	5,90	5,36	5,45	4,42
1,736	13,01	10,41	10,26	12,01	12,11
2,736	16,39	17,10	18,32	15,44	17,88
3,736	23,39	22,08	24,28	22,32	19,34
4,736	29,19	23,67	27,55	28,48	26,65

Tabel 9-13: metingen hout op fundering

Cellenbeton

m (kg)	F_{w,s,max} (N)				
(blok + gewicht)	Meting 1	Meting 2	Meting 3	Meting 4	Meting 5
2,417	16,06	16,71	20,84	17,90	20,09
3,417	26,39	28,52	25,25	22,83	26,10
4,417	40,64	34,09	34,47	33,19	35,82
5,417	47,53	44,35	41,28	42,95	43,98
6,417	50,36	50,59	44,10	48,64	52,11

Tabel 9-14: metingen cellenbeton op fundering

9.4.1.2 Meetresultaten wand op stelregel

Cellenglas

m (kg)	F_{w,s,max} (N)				
(blok + gewicht)	Meting 1	Meting 2	Meting 3	Meting 4	Meting 5
0,123	0,56	0,48	0,85	0,86	0,45
0,623	2,44	2,22	3,62	2,05	3,36
1,123	4,16	4,28	3,85	4,05	4,31
1,623	5,86	5,21	5,42	5,30	5,55
2,123	8,03	7,04	7,05	6,83	7,40

Tabel 9-15: metingen wand op cellenglas

Kunststof

m (kg)	F_{w,s,max} (N)				
(blok + gewicht)	Meting 1	Meting 2	Meting 3	Meting 4	Meting 5
0,591	3,46	2,41	3,45	2,66	2,63
1,591	9,33	7,54	6,31	7,97	6,90
2,591	12,64	10,13	9,65	9,75	9,86
3,591	18,99	12,41	16,71	14,38	13,20
4,591	21,82	16,13	16,33	14,24	13,79

Tabel 9-16: metingen wand op kunststof

Grondregel hout

m (kg)	F_{w,s,max} (N)				
(blok + gewicht)	Meting 1	Meting 2	Meting 3	Meting 4	Meting 5
0,736	3,47	3,69	3,43	3,77	3,71
1,736	9,60	7,80	7,91	7,41	8,05
2,736	14,79	13,72	11,83	12,99	13,65
3,736	18,25	15,32	19,55	18,67	15,99
4,736	24,16	24,05	19,05	26,26	24,24

Tabel 9-17: metingen wand op houtenregel

Cellenbeton

m (kg)	F_{w,s,max} (N)				
(blok + gewicht)	Meting 1	Meting 2	Meting 3	Meting 4	Meting 5
2,417	16,06	13,70	16,62	15,05	15,51
3,417	20,21	21,43	22,02	20,59	20,49
4,417	23,99	28,33	28,13	24,41	25,82
5,417	29,46	31,89	33,57	34,15	27,42
6,417	35,76	45,36	39,79	40,65	37,12

Tabel 9-18: metingen wand op cellenbeton

9.4.2 Berekening van wrijvingscoëfficiënt

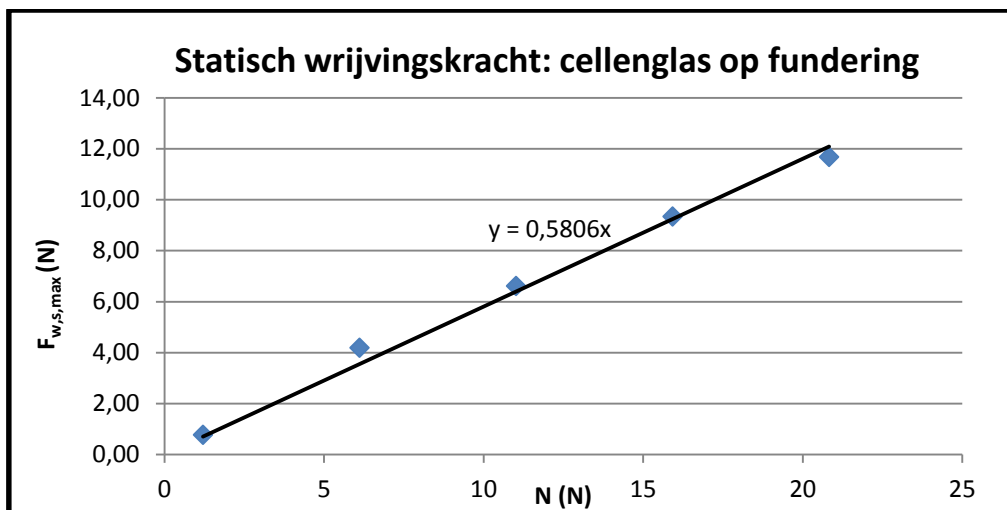
Cellenglas

m (kg)	N (N)	Gemiddelde F_{w,s,max} (N) (fundering)	Gemiddelde F_{w,s,max} (N) (wand)
0,123	1,207	0,78	0,64
0,623	6,112	4,20	2,74
1,123	11,017	6,62	4,13
1,623	15,922	9,35	5,47
2,123	20,827	11,70	7,27

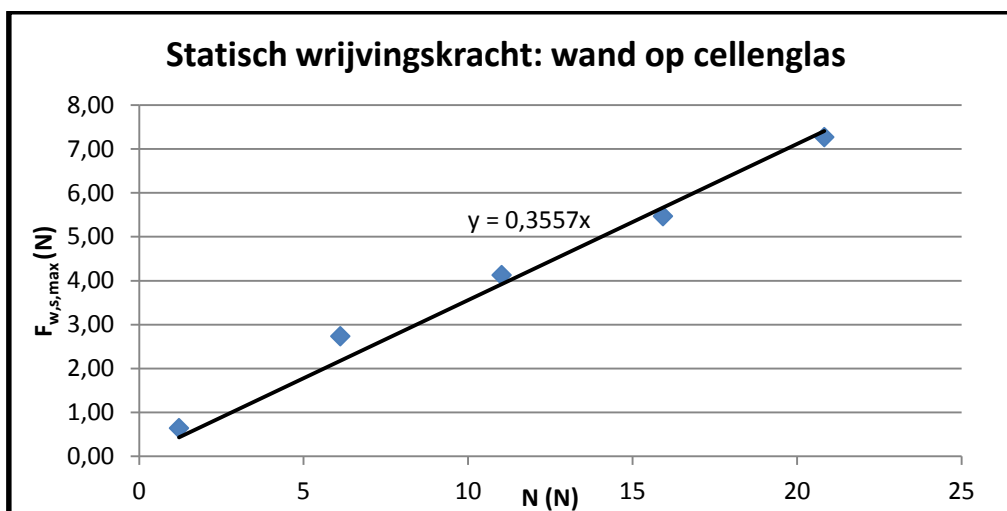
μ_{s,f}	μ_{s,w}
0,647	0,530
0,687	0,448
0,601	0,375
0,587	0,344
0,562	0,349

Standaarddeviatie	=	0,050	0,079
-------------------	---	-------	-------

Tabel 9-19: berekening van statische wrijvingskrachten en standaarddeviatie van cellenglas



Figuur 9-10: statisch wrijvingskracht: cellenglas op fundering



Figuur 9-11: statisch wrijvingskracht: wand op cellenglas

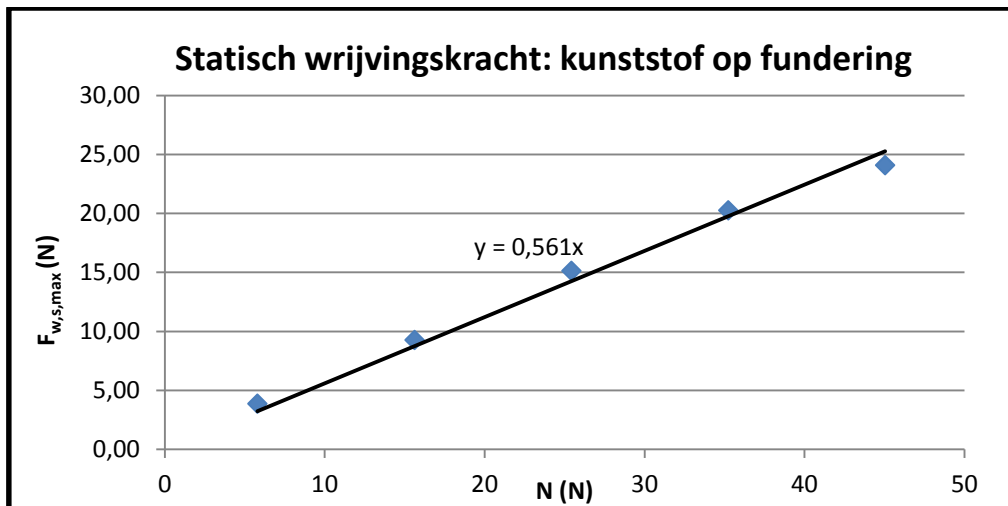
Kunststof

m (kg)	N (N)	Gemiddelde $F_{w,s,max}$ (N) (fundering)	Gemiddelde $F_{w,s,max}$ (N) (wand)
0,591	5,798	3,88	2,92
1,591	15,608	9,30	7,61
2,591	25,418	15,15	10,41
3,591	35,228	20,27	15,14
4,591	45,038	24,11	16,46

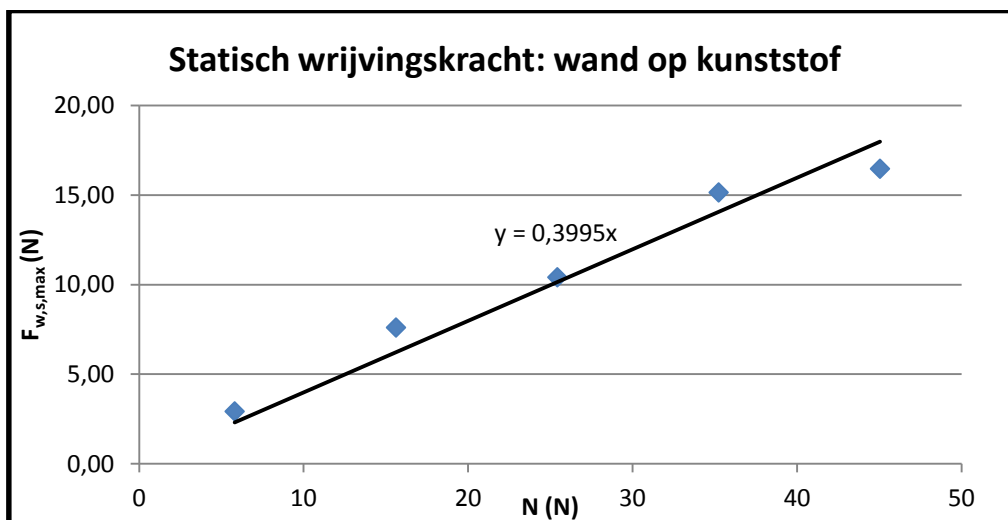
$\mu_{s,f}$	$\mu_{s,w}$
0,669	0,504
0,596	0,487
0,596	0,409
0,575	0,430
0,535	0,366

Standaarddeviatie	=	0,049	0,057
-------------------	---	-------	-------

Tabel 9-20: berekening van statische wrijvingskrachten en standaarddeviatie van kunststof



Figuur 9-12: Statisch wrijvingskracht: kunststof op fundering



Figuur 9-13: statisch wrijvingskracht: wand op kunststof

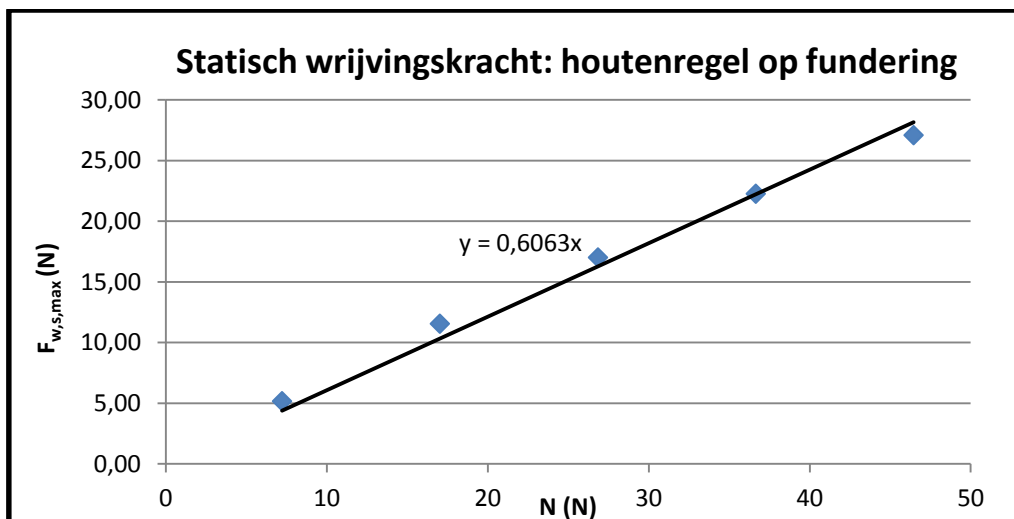
Houtenregel

m (kg)	N (N)	Gemiddelde $F_{w,s,max}$ (N) (fundering)	Gemiddelde $F_{w,s,max}$ (N) (wand)
0,736	7,220	5,17	3,61
1,736	17,030	11,56	8,15
2,736	26,840	17,03	13,40
3,736	36,650	22,28	17,56
4,736	46,460	27,11	23,55

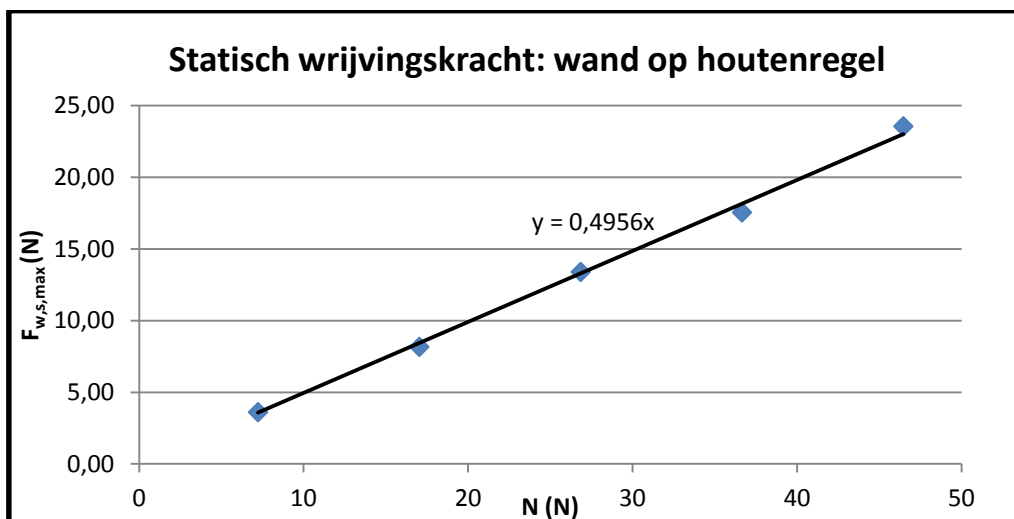
$\mu_{s,f}$	$\mu_{s,w}$
0,716	0,501
0,679	0,479
0,634	0,499
0,608	0,479
0,583	0,507

Standaarddeviatie	=	0,054	0,013
-------------------	---	-------	-------

Tabel 9-21: berekening van statische wrijvingskrachten en standaarddeviatie van houtenregel



Figuur 9-14: statisch wrijvingskracht: houtenregel op fundering



Figuur 9-15: statisch wrijvingskracht: wand op houtenregel

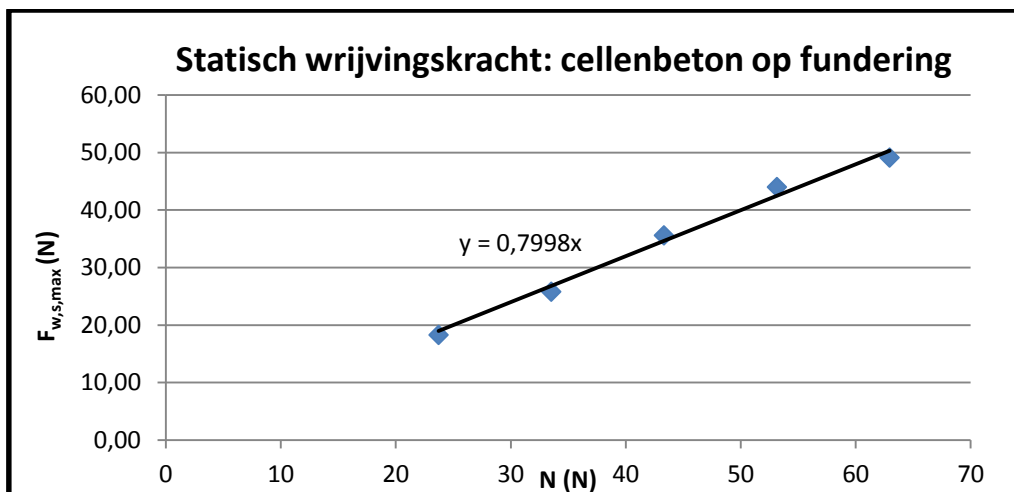
Cellenbeton

m (kg)	N (N)	Gemiddelde $F_{w,s,max}$ (N) (fundering)	Gemiddelde $F_{w,s,max}$ (N) (wand)
2,417	23,711	18,32	15,39
3,417	33,521	25,82	20,95
4,417	43,331	35,64	26,14
5,417	53,141	44,02	31,30
6,417	62,951	49,16	39,74

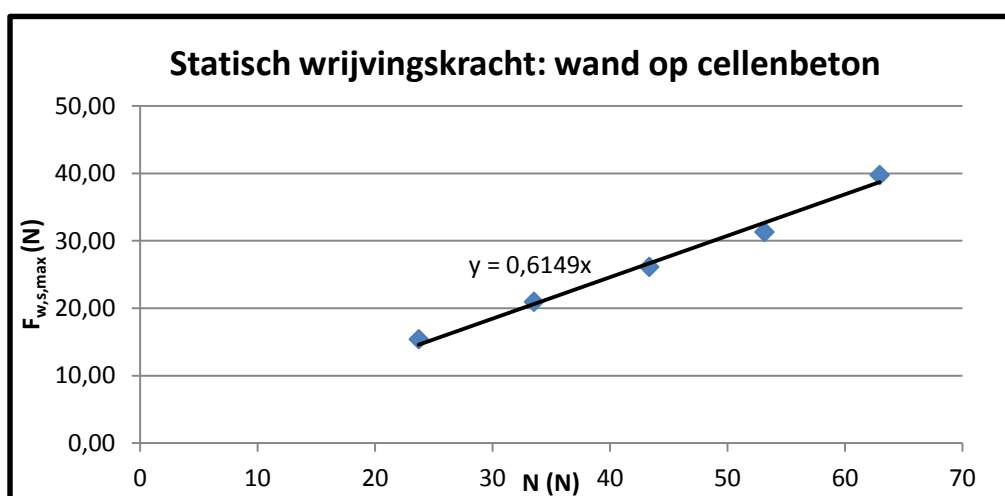
$\mu_{s,f}$	$\mu_{s,w}$
0,773	0,649
0,770	0,625
0,823	0,603
0,828	0,589
0,781	0,631

Standaarddeviatie	=	0,028	0,024
-------------------	---	-------	-------

Tabel 9-22: berekening van statische wrijvingskrachten en standaarddeviatie van cellenbeton



Figuur 9-16: statisch wrijvingskracht: cellenbeton op fundering



Figuur 9-17: statisch wrijvingskracht: wand op cellenbeton

9.5 Bijlage E: Thermische inertie vloerdelen

De waarden van de volumieke massa en soortelijke warmte komen uit de norm NBN EN ISO 10456 en technische fiche GUTEX [46] [47].

Situatie 1: HSB- vloer met parket afwerking (minerale wol).

		volumieke massa (kg/m ³)	soortelijke warmte (J/kg.K)	dikte (m)	thermische capaciteit (kJ/K)
vezelcementplaat		1200	1500	0,018	32,40
HSB- balk					
%/m ² HSB	15	380	1600	0,24	16,42
%/m ² isolatie	85	25	1030	0,24	4,87
OSB plaat		650	1700	0,018	19,89
laminaat isolatie		150	1300	0,006	1,17
laminaat		1200	1400	0,007	11,76
totaal (kJ/K)				=	86,50

Tabel 9-23: HSB- vloer met parket afwerking (minerale wol)

Situatie 1: HSB- vloer met parket afwerking (houtvezelisolatie).

		volumieke massa (kg/m ³)	soortelijke warmte (J/kg.K)	dikte (m)	thermische capaciteit (kJ/K)
vezelcementplaat		1200	1500	0,018	32,40
HSB- balk					
%/m ² HSB	15	380	1600	0,24	16,42
%/m ² isolatie	85	140	2100	0,24	55,57
OSB plaat		650	1700	0,018	19,89
laminaat isolatie		260	2100	0,006	3,276
laminaat		1200	1400	0,007	11,76
			totaal (kJ/K)	=	139,31

Tabel 9-24: HSB- vloer met parket afwerking (houtvezelisolatie)

Situatie 2: HSB- vloer met 5 cm dekvloer met laminaat afwerking (minerale wol).

		volumieke massa (kg/m ³)	soortelijke warmte (J/kg.K)	dikte (m)	thermische capaciteit (kJ/K)
vezelcementplaat		1200	1500	0,018	32,40
HSB- balk					
%/m ² HSB	15	380	1600	0,24	16,42
%/m ² isolatie	85	25	1030	0,24	4,87
OSB plaat		650	1700	0,018	19,89
dekvloer		2000	1000	0,05	100
laminaat isolatie		150	1300	0,006	1,17
laminaat		1200	1400	0,007	11,76
			totaal (kJ/K)	=	186,50

Tabel 9-25: HSB- vloer met 5 cm dekvloer met laminaat afwerking (minerale wol)

Situatie 2: HSB- vloer met 5 cm dekvloer met laminaat afwerking (houtvezelisolatie).

		volumieke massa (kg/m ³)	soortelijke warmte (J/kg.K)	dikte (m)	thermische capaciteit (kJ/K)
vezelcementplaat		1200	1500	0,018	32,40
HSB- balk					
%/m ² HSB	15	380	1600	0,24	16,42
%/m ² isolatie	85	140	2100	0,24	55,57
OSB plaat		650	1700	0,018	19,89
dekvloer		2000	1000	0,05	100
laminaat isolatie		260	2100	0,006	3,276
laminaat		1200	1400	0,007	11,76
			totaal (kJ/K)	=	239,31

Tabel 9-26: HSB- vloer met 5 cm dekvloer met laminaat afwerking (houtvezelisolatie)

Situatie 3: HSB- vloer met 5 cm dekvloer met keramische tegel afwerking (minerale wol).

		volumieke massa (kg/m ³)	soortelijke warmte (J/kg.K)	dikte (m)	thermische capaciteit (kJ/K)
vezelcementplaat		1200	1500	0,018	32,40
HSB- balk					
%/m ² HSB	15	380	1600	0,24	16,42
%/m ² isolatie	85	25	1030	0,24	4,87
OSB plaat		650	1700	0,018	19,89
dekvloer		2000	1000	0,05	100
keramische afwerking		1590	1000	0,02	31,8
totaal (kJ/K) =					205,37

Tabel 9-27: HSB- vloer met 5 cm dekvloer met keramische tegel afwerking (minerale wol)

Situatie 3: HSB- vloer met 5 cm dekvloer met keramische tegel afwerking (houtvezelisolatie).

		volumieke massa (kg/m ³)	soortelijke warmte (J/kg.K)	dikte (m)	thermische capaciteit (kJ/K)
vezelcementplaat		1200	1500	0,018	32,40
HSB- balk					
%/m ² HSB	15	380	1600	0,24	16,42
%/m ² isolatie	85	140	2100	0,24	55,57
OSB plaat		650	1700	0,018	19,89
dekvloer		2000	1000	0,05	100
keramische afwerking		1590	1000	0,02	31,8
totaal (kJ/K) =					256,07

Tabel 9-28: HSB- vloer met 5 cm dekvloer met keramische tegel afwerking (houtvezelisolatie)

Situatie 4: HSB- vloer met 5 cm dekvloer met natuurlijk tegel afwerking (minerale wol).

		volumieke massa (kg/m ³)	soortelijke warmte (J/kg.K)	dikte (m)	thermische capaciteit (kJ/K)
vezelcementplaat		1200	1500	0,018	32,40
HSB- balk					
%/m ² HSB	15	380	1600	0,24	16,42
%/m ² isolatie	85	25	1030	0,24	4,87
OSB plaat		650	1700	0,018	19,89
dekvloer		2000	1000	0,05	100
graniet afwerking		2600	1000	0,03	78
totaal (kJ/K) =					251,57

Tabel 9-29: HSB- vloer met 5 cm dekvloer met natuurlijk tegel afwerking (minerale wol)

Situatie 4: HSB- vloer met 5 cm dekvloer met natuurlijk tegel afwerking (houtvezelisolatie).

		volumieke massa (kg/m ³)	soortelijke warmte (J/kg.K)	dikte (m)	thermische capaciteit (kJ/K)
vezelcementplaat		1200	1500	0,018	32,40
HSB- balk					
%/m ² HSB	15	380	1600	0,24	16,42
%/m ² isolatie	85	140	2100	0,24	55,57
OSB plaat		650	1700	0,018	19,89
dekvloer		2000	1000	0,05	100
graniet afwerking		2600	1000	0,03	78
totaal (kJ/K)				=	302,27

Tabel 9-30: HSB- vloer met 5 cm dekvloer met natuurlijk tegel afwerking (houtvezelisolatie)

9.6 Bijlage F: Kosten- batenanalyse

Situatie 1

omschrijving	eenheid	hoeveelh.	eenh.pr.	totaal
HSB- vloer	m ²	69,37	86,97	6033,05
laminaat	m ²	69,37	30,00	2081,08
Totaal				8114,13
BTW (21%)				1703,97
Eindtotaal				9818,09

Situatie 2

omschrijving	eenheid	hoeveelh.	eenh.pr.	totaal
HSB- vloer	m ²	69,37	86,97	6033,048
dekvloer	m ²	69,37	23,80	1651,01
laminaat	m ²	69,37	30,00	2081,08
Totaal				9765,13
BTW (21%)				2050,68
Eindtotaal				11815,81

Situatie 3

omschrijving	eenheid	hoeveelh.	eenh.pr.	totaal
HSB- vloer	m ²	69,37	86,97	6033,05
dekvloer	m ²	69,37	23,80	1651,01
keramisch afwerking	m ²	69,37	57,70	4002,61
Totaal				11686,66
BTW (21%)				2454,20
Eindtotaal				14140,86

Situatie 4

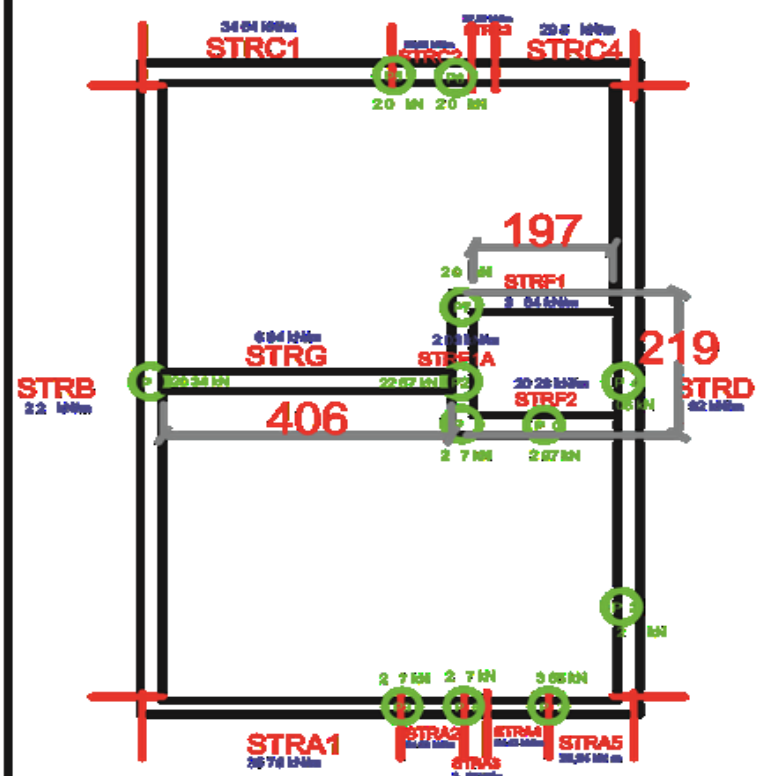
omschrijving	eenheid	hoeveelh.	eenh.pr.	totaal
<i>HSB- vloer</i>	m ²	69,37	86,97	6033,05
<i>dekvloer</i>	m ²	69,37	23,80	1651,01
<i>graniet afwerking</i>	m ²	69,37	63,30	4391,08
Totaal				12075,13
BTW (21%)				2535,78
Eindtotaal				14610,91

Tabel 9-31: kosten- batenanalyse voor de vier beschouwde situaties

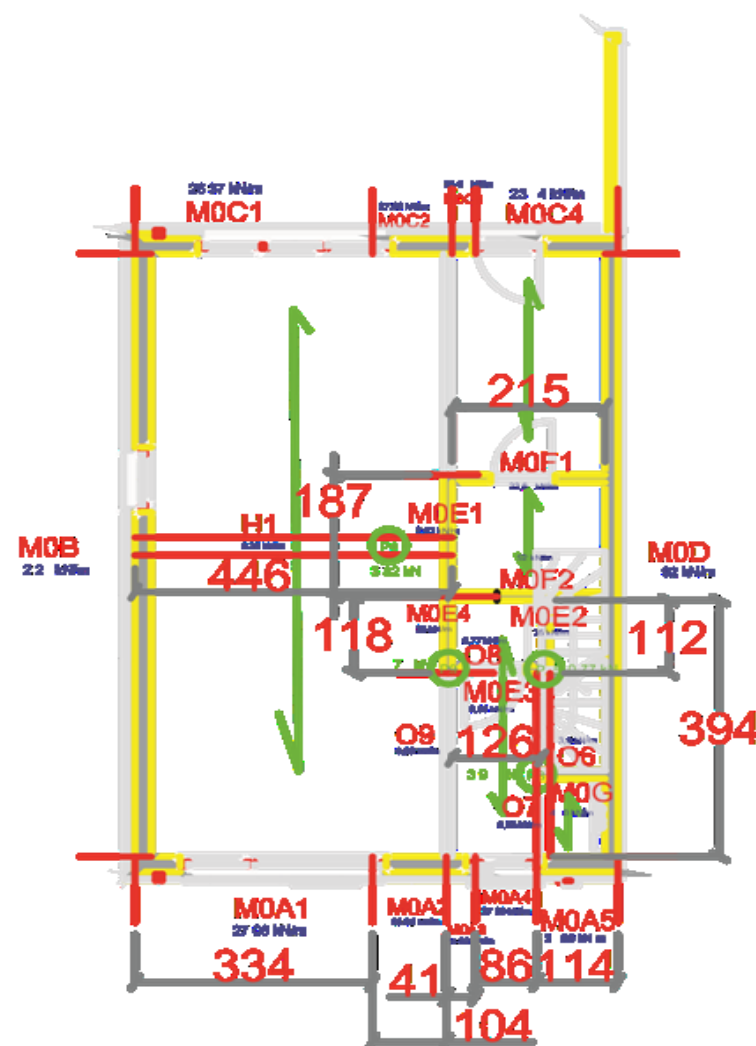
9.7 Bijlage G: Lastendaling ,Eurogen 1'

9.7.1 HSB woning

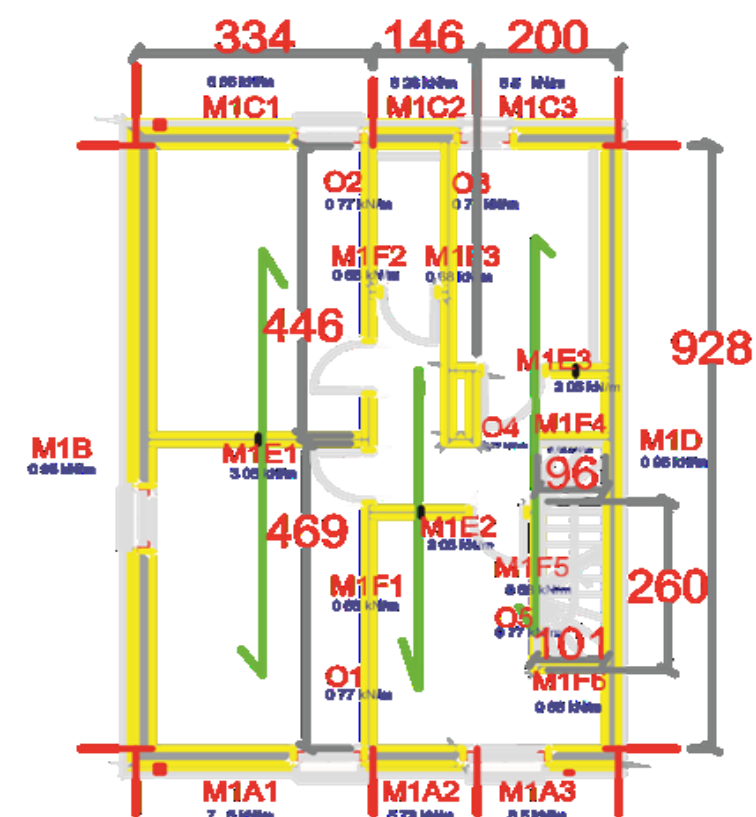
Lastendaling op strokenfundering



Lastendaling op gelijkvloers (met gevel metselwerk)



**Lastendaling op
verdieping 1 (zonder
gevelmetselwerk)**



1/3500	Lastendaling HSB woning		16/05/2014
mm	Machiels Bu ding So ut ons		

Figuur 9-18: lastendaling HSB woning

Materiaaleigenschappen				
Type materiaal	Soortelijk gewicht ρ [kg/m³]			
Houtvezelisolatieplaat		270		
Houtachtige plaat		710		
Hout skelet / leidingspouw / plafondlat		450		
Isolatie $\lambda 0,032$		32		
Isolatie $\lambda 0,035$		21		
Isolatie $\lambda 0,037$		16		
Isolatie $\lambda 0,040$		12		
Gipsvezelplaat		1200		
Gipskartonplaat Rf (brandbestendig)		887		
Gipskartonplaat		747		
Gevelmetselwerk		1800	http://www.vandersandengroup.be/sites/default/files/vds_ce_specs_pdfs/bricks/nl-be522W.pdf	
Cementmortel (voegen)		1900	transmissiereferentiedocument	
Bitumineuze vochtkering (3mm)		1100	transmissiereferentiedocument	
Tegels 'Blauwe Hardsteen'		2690	http://www.westvlaamstegelhuis.be/uploads/technische-fiches/nl/BLAUWE%20HARDSTEEN.pdf	
1) Gewicht buitenwand	Dikte d [mm]	Soortelijk gewicht ρ [kg/m³]	bezettingsoppervlakte [%]	oppervlaktegewicht [N/m²]
Gevelmetselwerk	90,0	1800,0	80%	1296,0
Cementmortel (voegen)	90,0	1900,0	20%	342,0
houtvezelisolatieplaat	18,0	270	0%	0,0
hout skelet/leidingspouw/plafondlat	190,0	450	0%	0,0
isolatie $\lambda 0,032$		32	80%	0,0
isolatie $\lambda 0,035$		21	80%	0,0
isolatie $\lambda 0,037$	190,0	16	0%	0,0
houtachtige plaat	12,0	710	0%	0,0
hout skelet/leidingspouw/plafondlat	45,0	450	0%	0,0
isolatie $\lambda 0,032$		32	86%	0,0
isolatie $\lambda 0,035$		21	86%	0,0
isolatie $\lambda 0,037$		16	86%	0,0
gipskartonplaat	12,5	747	0%	0,0
gipskartonplaat Rf		887	100%	0,0
gipsvezelplaat		1200	100%	0,0
hoogte	6,28 m		totaal oppervlaktegewicht =	10,287 kN/m
2a) Gewicht niet- dragende binnenwand	Dikte d [mm]	Soortelijk gewicht ρ [kg/m³]	bezettingsoppervlakte [%]	oppervlaktegewicht [N/m²]
gipskartonplaat	12,5	747	100%	93,4
gipskartonplaat Rf		887	100%	0,0
gipsvezelplaat		1200	100%	0,0
houtachtige plaat		710	100%	0,0
hout skelet/leidingspouw/plafondlat	95,0	450	17%	72,7
isolatie $\lambda 0,040$	90,0	12	83%	9,0
houtachtige plaat		710	100%	0,0
gipskartonplaat	12,5	747	100%	93,4
gipskartonplaat Rf		887	100%	0,0
gipsvezelplaat		1200	100%	0,0
hoogte	2,52 m		totaal oppervlaktegewicht =	0,676 kN/m
2b) Gewicht dragende binnenwand	Dikte d [mm]	Soortelijk gewicht ρ [kg/m³]	bezettingsoppervlakte [%]	oppervlaktegewicht [N/m²]
gipskartonplaat		747	100%	0,0
gipskartonplaat Rf		887	100%	0,0
gipsvezelplaat	12,5	1200	100%	150,0
houtachtige plaat		710	100%	0,0
hout skelet/leidingspouw/plafondlat	95,0	450	17%	72,7
isolatie $\lambda 0,040$	90,0	12	83%	9,0
houtachtige plaat		710	100%	0,0
gipskartonplaat		747	100%	0,0
gipskartonplaat Rf	12,5	887	100%	0,0
gipsvezelplaat		1200	100%	150,0
hoogte	2,52 m		totaal oppervlaktegewicht =	0,962 kg/m
3) Gewicht vloerelement ind vloerafwerking	Dikte d [mm]	Soortelijk gewicht ρ [kg/m³]	bezettingsoppervlakte [%]	oppervlaktegewicht [N/m²]
Tegels 'Blauwe Hardsteen'	10,0	2690	100%	269,0
houtachtige plaat	18,0	710	100%	127,8
hout skelet/leidingspouw/plafondlat	240,0	450	15%	162,0
isolatie $\lambda 0,040$	90,0	12	85%	9,2
houtachtige plaat	0,0	710	100%	0,0
hout skelet/leidingspouw/plafondlat	45,0	450	11%	22,8
gipskartonplaat	12,5	747	100%	93,4
gipskartonplaat Rf		887	100%	0,0
gipsvezelplaat		1200	100%	0,0
			totaal oppervlaktegewicht =	0,684 kN/m²
4) Gewicht plat dak	Dikte d [mm]	Soortelijk gewicht ρ [kg/m³]	bezettingsoppervlakte [%]	oppervlaktegewicht [kN/m²]
Bitumineuze vochtkering (3mm)	3,0	1100	100%	33,0
houtachtige plaat (OSB)	19,0	710	100%	134,9
hout skelet/leidingspouw/plafondlat	240,0	450	20%	216,0
isolatie $\lambda 0,032$		32	80%	0,0
isolatie $\lambda 0,035$		21	80%	0,0
isolatie $\lambda 0,039$	240,0	45	80%	86,4
houtachtige plaat	12,0	710	100%	85,2
hout skelet/leidingspouw/plafondlat	22,0	450	14%	13,9
dampremmende folie	0,2	1000	100%	1,5
isolatie $\lambda 0,035$		21	86%	0,0
isolatie $\lambda 0,037$		16	86%	0,0
gipskartonplaat	12,5	747	100%	93,4
gipskartonplaat Rf		887	100%	0,0
gipsvezelplaat		1200	100%	0,0
			totaal oppervlaktegewicht =	0,664 kN/m²

Figuur 9-19: gewichten materialen voor HSB

Figuur 9-20: berekening lastendaling HSB in GGT

[illegible]

Materiaaleigenschappen				
Type materiaal	Soortelijk gewicht			
	ρ [kg/m³]		Bron	
Gevelmetselwerk	1800	http://www.vandersandengroup.be/sites/default/files/vds_ce_specs_pdfs/bricks/nl-be522W.pdf		
Cementmortel (voegen)	1900	transmissiereferentiedocument		
Luchtsponw	0			
Recticel Eurowall isolatie $\lambda 0,023$	30	http://www.recticelinsulation.be/product/eurowall/technische-fiche		
Dragende muur 'Porotherm Thermobrick' 288 x 138 x 188	850	http://www.wienerberger.be/u-waarde-calculator/thermobrick.html?pi=1115230544459		
Bepleistering kalkmortel	1600	transmissiereferentiedocument		
Dragende binnenmuur 'Porotherm Thermobrick' 288 x 138 x 188	850	http://www.wienerberger.be/u-waarde-calculator/thermobrick.html?pi=1115230544459		
Niet- dragende binnenmuur 'Porotherm Thermobrick' 288 x 88 x 188	850	http://www.wienerberger.be/u-waarde-calculator/thermobrick.html?pi=1115230544459		
Multistock' welfsels GLT 13/60 13cm	1660	http://www.materialsource.com/sites/default/files/folder-vloeroplossingen-woningbouw.pdf		
druklaag (beton)	2400	http://wiki.bk.tudelft.nl/mw_bk-wiki/images/4/4b/Rekenvoorbeeld_BK1.pdf		
Chape deklaag (beton van geëxpandeerde klei)	800	transmissiereferentiedocument		
Recticel Eurofloor isolatie $\lambda 0,023$	30	http://www.recticelinsulation.be/product/eurofloor/technische-fiche		
Bitumineuze vochtkering (3mm)	1100	transmissiereferentiedocument		
Recticel Eurothane Bi-3 isolatie $\lambda 0,027$	30	http://www.recticelinsulation.be/product/eurothane-bi-3/technische-fiche		
Tegels 'Blauwe Hardsteen'	2690	http://www.westvlaamstegelhuis.be/uploads/technische-fiches/nl/BLAUWE%20HARDSTEEN.pdf		
1) Gewicht buitenwand				
	Dikte d [mm]	Soortelijk gewicht ρ [kg/m³]	bezettingsoppervlakte [%]	oppervlaktegewicht [N/m²]
Gevelmetselwerk	90,0	1800	80%	1296,0
Cementmortel (voegen)	90,0	1900	20%	342,0
Luchtsponw	30,0	0	100%	0,0
Recticel Eurowall isolatie $\lambda 0,023$	100,0	30	100%	30,0
Dragende muur 'Porotherm Thermobrick' 288 x 138 x 188	140,0	850	0%	0,0
Cementmortel (voegen)	140,0	1900	0%	0,0
Bepleistering kalkmortel	10,0	1600	0%	0,0
Hoogte	6,28 m	totaal oppervlaktegewicht =		10,48 kN/m
2a) Gewicht niet- dragende binnenwand				
	Dikte d [mm]	Soortelijk gewicht ρ [kg/m³]	bezettingsoppervlakte [%]	oppervlaktegewicht [N/m²]
Bepleistering kalkmortel	10,0	1600	100%	160,0
Niet- dragende binnenmuur 'Porotherm Thermobrick' 288 x 88 x 188	90,0	850	92%	703,8
Cementmortel (voegen)	90,0	1900	8%	136,8
Bepleistering kalkmortel	10,0	1600	100%	160,0
Hoogte	2,52 m	totaal oppervlaktegewicht =		2,92 kN/m
2b) Gewicht dragende binnenwand				
	Dikte d [mm]	Soortelijk gewicht ρ [kg/m³]	bezettingsoppervlakte [%]	oppervlaktegewicht [N/m²]
Bepleistering kalkmortel	10,0	1600	100%	160,0
Dragende binnenmuur 'Porotherm Thermobrick' 288 x 138 x 188	140,0	850	92%	1094,8
Cementmortel (voegen)	140,0	1900	8%	212,8
Bepleistering kalkmortel	10,0	1600	100%	160,0
Hoogte	2,52 m	totaal oppervlaktegewicht =		4,10 kN/m
3) Gewicht vloer incl vloerafwerking				
	Dikte d [mm]	Soortelijk gewicht ρ [kg/m³]	bezettingsoppervlakte [%]	oppervlaktegewicht [N/m²]
Multistock' welfsels GLT 13/60 13cm	130,0	1660	100%	2158,0
druklaag (beton)	50,0	2400	100%	1200,0
Chape deklaag (beton van geëxpandeerde klei)	50,0	800	100%	400,0
Recticel Eurofloor isolatie $\lambda 0,023$	70,0	30	100%	21,0
Tegels 'Blauwe Hardsteen'	10,0	2690	100%	269,0
totaal oppervlaktegewicht =				4,05 kN/m²
4) Gewicht verdiepvloer incl vloerafwerking				
	Dikte d [mm]	Soortelijk gewicht ρ [kg/m³]	bezettingsoppervlakte [%]	oppervlaktegewicht [N/m²]
Bepleistering kalkmortel	10,0	1600	100%	160,0
Multistock' welfsels GLT 13/60 13cm	130,0	1660	100%	2158,0
druklaag (beton)	50,0	2400	100%	1200,0
Chape deklaag (beton van geëxpandeerde klei)	50,0	800	100%	400,0
Tegels 'Blauwe Hardsteen'	10,0	2690	100%	269,0
totaal oppervlaktegewicht =				4,19 kN/m²
5) Gewicht plat dak				
	Dikte d [mm]	Soortelijk gewicht ρ [kg/m³]	bezettingsoppervlakte [%]	oppervlaktegewicht [N/m²]
Bepleistering kalkmortel	10,0	1600	100%	160,0
Multistock' welfsels GLT 13/60 13cm	130,0	1660	100%	2158,0
druklaag (beton)	50,0	2400	100%	1200,0
Recticel Eurothane Bi-3 isolatie $\lambda 0,027$	200,0	30	100%	60,0
Bitumineuze vochtkering (3mm)	3,0	1100	100%	33,0
totaal oppervlaktegewicht =				3,61 kN/m²

Figuur 9-22: gewichten materialen voor traditionele bouw

Figuur 9-23: berekening lastendaling traditioneel gebouw (in GGT)

9.8 Bijlage H: Berekening differentiële zetting

zettingsberekening													
drukkracht P =				70,71	kN/m								
funderingsafmeting					lengte a		1 m						
					breedte b		0,9 m						
					hoogte		1,15 m		Aaname funderen op 1m diepte + uitsteek 15cm bove				
					h zool		0,2 m		h ≥ d/2				
					dikte muur		0,3 m						
					GGT		UGT						
F _{r,v,d} = F/a*b =					78,57		kN/m²		78,57		kN/m²		
F _{r,v,d, beton} = h*25 kN/m³ =					12,92		kN/m²		17,44		kN/m²		
F _{r,v,d,grond} = h*γ' _{d/n} =					18,00		kN/m²		18,00		kN/m²		
				q tot	73,48		kN/m²		78,00		kN/m²		
waterstand				8 m									
z (m)	qc	qctabel	Rf	γ' _{d/n} (kN/m³)	σ' _{v0} (kpa)	Δσ' _v (kpa)	i	Δσ' _v /σ' _{v0}	C	α	s (m)		
0	0	0	0	18	0	/	/	/	/	/	/	/	
0,2	6,21	11,3022	0,64	18	3,6	/	/	/	/	/	/	/	
0,4	5,14	9,3548	0,78	17	7	/	/	/	/	/	/	/	
0,6	5,02	9,1364	0,46	17	10,4	/	/	/	/	/	/	/	
0,8	6,39	11,6298	0,5	18	14	/	/	/	/	/	/	/	
1	6,54	11,903	0,55	18	17,6	73,483		/	/	/	/	/	
1,1	7,03	12,795	0,53	18	21,2	72,014	0,98	3,397	663,208	2	0,0002233		
1,3	6,35	11,557	0,55	18	24,8	66,135	0,90	2,667	512,097	2	0,0005074		
1,5	5,27	9,591	0,49	17	28,2	55,847	0,76	1,980	373,759	2	0,0005844		
1,7	5,11	9,300	0,49	17	31,6	48,499	0,66	1,535	323,418	2	0,0005752		
1,9	1,8	3,276	1,39	16	34,8	41,151	0,56	1,182	77,586	1,5	0,0020119		
2,1	0,5	0,910	0	18	38,4	36,742	0,50	0,957	26,042	2	0,0051557		
2,3	2,64	4,805	0,11	17	41,8	32,333	0,44	0,774	126,316	2	0,0009072		
2,5	1,15	2,070	1,57	16	45	28,659	0,39	0,637	38,333	1,5	0,002571		
2,7	3,11	5,349	0,68	17	48,4	25,719	0,35	0,531	128,512	2	0,0006632		
2,9	3,93	6,524	0,76	17	51,8	22,780	0,31	0,440	151,737	2	0,0004804		
3,1	4,44	7,104	0,83	17	55,2	20,575	0,28	0,373	160,870	2	0,0003939		
3,3	3,93	5,974	0,94	17	58,6	16,901	0,23	0,288	134,130	2	0,0003779		
3,5	2,11	3,123	0,95	16	61,8	13,962	0,19	0,226	68,285	2	0,0005966		
3,7	2,38	3,451	1,6	16	65	10,288	0,14	0,158	54,923	1,5	0,000535		
3,9	1,81	2,534	4,7	18	68,6	7,348	0,10	0,107	39,577	1,5	0,0005142		
4,1	1,58	2,149	4,43	18	72,2	4,409	0,06	0,061	32,825	1,5	0,0003611		
4,3	2,55	3,315	2,55	19	76	0,735	0,01	0,010	50,329	1,5	3,824E-05		
4,5	3,03	3,788	2,61	19	79,8	0,000	0,00	0,000	56,955	1,5	0		
4,7	3,93	4,755	1,3	17	83,2	0,000	0,00	0,000	70,853	1,5	0		
4,9	5,74	6,716	1,34	17	86,6	0,000	0,00	0,000	99,423	1,5	0		
5,1	1,41	1,607	5,53	17	90	0,000	0,00	0,000	54,833	3,5	0		
5,3	2,26	2,486	6,59	14	92,8	0,000	0,00	0,000	24,353	1	0		
5,5	7,21	7,787	0,83	17	96,2	0,000	0,00	0,000	149,896	2	0		
5,7	11,51	11,970	0,86	18	99,8	0,000	0,00	0,000	230,661	2	0		
5,9	18,25	18,433	0,83	18	103,4	0,000	0,00	0,000	352,998	2	0		
6,1	19,39	19,390	0,86	18	107	0,000	0,00	0,000	362,430	2	0		
6,3	18,67	18,670	1,05	18	110,6	0,000	0,00	0,000	337,613	2	0		
6,5	14,95	14,950	0,76	18	114,2	0,000	0,00	0,000	261,821	2	0		
6,7	15,78	15,780	0,77	18	117,8	0,000	0,00	0,000	267,912	2	0		
6,9	18,62	18,620	0,75	18	121,4	0,000	0,00	0,000	306,755	2	0		
7,1	25,26	25,260	0,84	18	125	0,000	0,00	0,000	404,160	2	0		
7,3	26,46	26,460	0,86	18	128,6	0,000	0,00	0,000	411,509	2	0		
7,5	22,57	22,570	1,07	18	132,2	0,000	0,00	0,000	341,452	2	0		
7,7	16,71	16,710	1,07	18	135,8	0,000	0,00	0,000	246,097	2	0		
7,9	16,02	16,020	0,94	18	139,4	0,000	0,00	0,000	229,842	2	0		
8,1	16,69	16,690	0,9	10	141,4	0,000	0,00	0,000	236,068	2	0		
8,3	15,85	15,850	1,01	10	143,4	0,000	0,00	0,000	221,060	2	0		
8,5	12,89	12,890	0,91	10	145,4	0,000	0,00	0,000	177,304	2	0		
8,7	4,79	4,790	1,92	9	147,2	0,000	0,00	0,000	48,811	1,5	0		
8,9	4,56	4,560	2,06	10	149,2	0,000	0,00	0,000	45,845	1,5	0		
										Stot	0,015048		
											0,0178268		

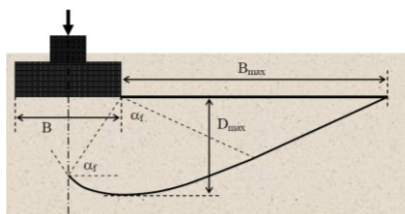
Figuur 9-24: berekening zetting (Watervliet)

9.9 Bijlage I: Berekening strookfundering

Toestand berekening selecteren

Gedraineerd

	representatieve waarde		partiële waarde		
			combinatie 1	combinatie 2	
Breedte B =	0,9	m	veiligheidsfactoren		
Lengt L =	1	m	1,35	1	γ_g
Drukkracht F_v =	70,71	kN/m'	1,5	1,1	γ_q
Horizontaal F_H =	3,7	kN/m'			
moment M_{Ed} =	2,49	kNm/m'			
Dmax	1,43	m			
Bmax	3,86	m			
α_t =	1,05	RAD			
wrijvingshoek ϕ_k	30	°	normaal risico		
$\alpha_{telling}$ hoek onder fundering =	0	°	1,00	1,25	
c'k	0	kPa	1,00	1,25	
	50	kPa	1,00	1,40	
γ_k	17	kN/m ³	1,00	1,00	
Q_k	17	kN/m ³	1,00	1,00	
Veiligheidscoëfficiënt =	2				



Gegevens uit Sondering

Z (m)	qc (Mpa)	Rf (%)
0		
0,2	6,21	0,64
0,4	5,14	0,78
0,6	5,02	0,46
0,8	6,39	0,5
1	6,54	0,55
1,1	7,03	0,53
1,3	6,35	0,55
1,5	5,27	0,49
1,7	5,11	0,49
1,9	1,8	1,39
2,1	0,5	0
2,3	2,64	0,11
2,5	1,15	1,57
2,7	3,11	0,68
2,9	3,93	0,76
3,1	4,44	0,83
3,3	3,93	0,94
3,5	2,11	0,95
3,7	2,38	1,6
3,9	1,81	4,7
4,1	1,58	4,43
4,3	2,55	2,55
4,5	3,03	2,61
4,7	3,93	1,3
4,9	5,74	1,34
5,1	1,41	5,53
5,3	2,26	6,59
5,5	7,21	0,83
5,7	11,51	0,86
5,9	18,25	0,83
6,1	19,39	0,86
6,3	18,67	1,05

Waterstand 8 m

Draagvermogen Q

		combinatie 1	combinatie 2	UC	com. 1	com. 2
Gedraineerd $F_{r,v,d}$ =	88,54 kN/m'	158,12 kN/m'	74,15 kN/m'	1,25	2,24	1,05
Squeezing $F_{c,v,d}$ =	/ kN/m'	/ kN/m'	/ kN/m'			
dikte slappe laag	0 m	0 m	0 m	Indien aanwezig		

Zetting = 15,0 mm

HSB

		Traditioneel	
Differentiële zetting max.	9,28 mm	4,29 mm	max L/500 of L/1000
L	4,64 m	4,29 m	
zetting zijde 1 s_1 =	21,4 mm	25 mm	
zetting zijde 2 s_2 =	8,7 mm	13,1 mm	
Δs =	12,7 mm	11,9 mm	

Figuur 9-25: invulsheet berekening strookfundering (Watervliet)

STRA	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	1,5	1,8	0,2875	0,4	0,646875	0,945	4,40	6,43
Onder fundering	1,3	1,5	0,2625	0,325	0,563125	0,735	3,83	5,00
Zeer diep	1,2	1,4	0,2125	0,25	0,489375	0,62	3,33	4,22
							3,851916667	5,213333333
STRB	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	1,2	1,3	0,2375	0,225	0,513125	0,57	4,76	5,29
Onder fundering	1	1,1	0,2125	0,2	0,446875	0,505	4,15	4,69
Zeer diep	0,9	0,9	0,2125	0,2	0,425625	0,465	3,95	4,32
							4,2862	4,763733333
STRC	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	1,5	1,9	0,2875	0,4	0,646875	0,985	4,40	6,70
Onder fundering	1,3	1,6	0,2625	0,325	0,563125	0,7675	3,83	5,22
Zeer diep	1,2	1,4	0,2125	0,25	0,489375	0,62	3,33	4,22
							3,851916667	5,377666667
STRD	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	0,9	0,9	0,2375	0,225	0,441875	0,48	4,10	4,45
Onder fundering	0,9	0,9	0,2125	0,2	0,425625	0,465	3,95	4,32
Zeer diep	0,9	0,9	0,2125	0,2	0,425625	0,465	3,95	4,32
							4,000066667	4,3616
STRG	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	1	1,4	0,2375	0,275	0,465625	0,6475	1,89	2,63
Onder fundering	0,9	1,3	0,2125	0,25	0,425625	0,595	1,73	2,42
Zeer diep	0,7	1,1	0,2125	0,2	0,383125	0,505	1,56	2,05
							1,724654167	2,36495
STRF1	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	1,3	1,8	0,2875	0,4	0,589375	0,945	1,16	1,86
Onder fundering	1,1	1,6	0,2625	0,325	0,510625	0,7675	1,01	1,51
Zeer diep	0,9	1,4	0,2125	0,25	0,425625	0,62	0,84	1,22
							1,001827083	1,531675
STRF2	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	1,1	1,5	0,2375	0,325	0,489375	0,735	0,96	1,45
Onder fundering	0,9	1,3	0,2125	0,275	0,425625	0,62	0,84	1,22
Zeer diep	0,8	1,1	0,2	0,225	0,3975	0,525	0,78	1,03
							0,861875	1,234533333
STRE	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	0,4	0,4	0,2375	0,225	0,323125	0,3675	0,71	0,80
Onder fundering	0,4	0,4	0,2125	0,2	0,319375	0,365	0,70	0,80
Zeer diep	0,4	0,4	0,2125	0,2	0,319375	0,365	0,70	0,80
							0,70216875	0,801175
					Totaal gewicht gebouw:		20,280625	25,64866667
					Percentage gewichtsverschil HSB			20,9%

Figuur 9-26: berekening volume beton strookfundering Wuustwezel

STRA		strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
	Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
	Maaiveld	1,4	1,8	0,2875	0,4	0,618125	0,945	4,20	6,43
	Onder fundering	1,2	1,5	0,2375	0,3	0,513125	0,705	3,49	4,79
	Zeer diep	1,1	1,4	0,2	0,275	0,4575	0,6475	3,11	4,40
								3,601166667	5,207666667
STRB		strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
	Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
	Maaiveld	1,1	1,2	0,2	0,2	0,4575	0,525	4,25	4,87
	Onder fundering	0,9	1,2	0,2	0,2	0,4175	0,525	3,87	4,87
	Zeer diep	0,8	1,1	0,2	0,2	0,3975	0,505	3,69	4,69
								3,936266667	4,810133333
STRC		strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
	Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
	Maaiveld	1,4	1,8	0,2875	0,4	0,618125	0,945	4,20	6,43
	Onder fundering	1,2	1,5	0,2375	0,3	0,513125	0,705	3,49	4,79
	Zeer diep	1,1	1,4	0,2	0,275	0,4575	0,6475	3,11	4,40
								3,601166667	5,207666667
STRD		strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
	Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
	Maaiveld	0,8	1	0,2	0,2	0,3975	0,485	3,69	4,50
	Onder fundering	0,8	1	0,2	0,2	0,3975	0,485	3,69	4,50
	Zeer diep	0,8	1	0,2	0,2	0,3975	0,485	3,69	4,50
								3,6888	4,5008
STRG		strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
	Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
	Maaiveld	0,9	1,3	0,2125	0,275	0,425625	0,62	1,73	2,52
	Onder fundering	0,7	1,1	0,2	0,225	0,3775	0,525	1,53	2,13
	Zeer diep	0,7	0,9	0,2	0,2	0,3775	0,465	1,53	1,89
								1,597779167	2,178866667
STRF1		strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
	Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
	Maaiveld	1,3	1,8	0,2875	0,4	0,589375	0,945	1,16	1,86
	Onder fundering	1,1	1,5	0,2375	0,3	0,489375	0,705	0,96	1,39
	Zeer diep	0,9	1,3	0,2	0,275	0,4175	0,62	0,82	1,22
								0,9825375	1,490633333
STRF2		strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
	Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
	Maaiveld	1	1,4	0,2375	0,3	0,465625	0,675	0,92	1,33
	Onder fundering	0,8	1,2	0,2125	0,25	0,404375	0,57	0,80	1,12
	Zeer diep	0,7	1,1	0,2	0,2	0,3775	0,505	0,74	0,99
								0,819191667	1,149166667
STRE		strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
	Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
	Maaiveld	0,4	0,4	0,2	0,2	0,3175	0,365	0,70	0,80
	Onder fundering	0,4	0,4	0,2	0,2	0,3175	0,365	0,70	0,80
	Zeer diep	0,4	0,4	0,2	0,2	0,3175	0,365	0,70	0,80
								0,695325	0,79935
						Totaal gewicht gebouw:		18,92223333	25,34428333
						Percentage gewichtsverschil HSE			25,3%

Figuur 9-27: berekening volume beton strookfundering Merksplas

STRA	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	1,2	1,5	0,2125	0,275	0,489375	0,675	3,33	4,59
Onder fundering	1,1	1,3	0,2	0,25	0,4575	0,595	3,11	4,05
Zeer diep	0,9	1,1	0,2	0,2	0,4175	0,505	2,84	3,43
							3,092583333	4,023333333
STRB	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	1	1	0,2	0,2	0,4375	0,485	4,06	4,50
Onder fundering	0,8	1,2	0,2	0,2	0,3975	0,525	3,69	4,87
Zeer diep	0,8	0,8	0,2	0,2	0,3975	0,445	3,69	4,13
							3,812533333	4,5008
STRC	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	1,2	1,5	0,2125	0,275	0,489375	0,675	3,33	4,59
Onder fundering	1,1	1,3	0,2	0,25	0,4575	0,595	3,11	4,05
Zeer diep	0,9	1,1	0,2	0,2	0,4175	0,505	2,84	3,43
							3,092583333	4,023333333
STRD	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	0,8	0,8	0,2	0,2	0,3975	0,445	3,69	4,13
Onder fundering	0,8	0,8	0,2	0,2	0,3975	0,445	3,69	4,13
Zeer diep	0,8	0,8	0,2	0,2	0,3975	0,445	3,69	4,13
							3,6888	4,1296
STRG	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	0,8	1	0,2	0,225	0,3975	0,5025	1,61	2,04
Onder fundering	0,6	0,8	0,2	0,2	0,3575	0,445	1,45	1,81
Zeer diep	0,5	0,7	0,2	0,2	0,3375	0,425	1,37	1,73
							1,478516667	1,85745
STRF1	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	1	1,4	0,2375	0,275	0,465625	0,6475	0,92	1,28
Onder fundering	0,8	1,2	0,2	0,225	0,3975	0,5475	0,78	1,08
Zeer diep	0,7	1	0,2	0,2	0,3775	0,485	0,74	0,96
							0,814677083	1,1032
STRF2	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	0,8	1,2	0,2	0,25	0,3975	0,57	0,78	1,12
Onder fundering	0,7	1	0,2	0,2	0,3775	0,485	0,74	0,96
Zeer diep	0,6	0,8	0,2	0,2	0,3575	0,445	0,70	0,88
							0,743675	0,985
STRE	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	0,4	0,4	0,2	0,2	0,3175	0,365	0,70	0,80
Onder fundering	0,4	0,4	0,2	0,2	0,3175	0,365	0,70	0,80
Zeer diep	0,4	0,4	0,2	0,2	0,3175	0,365	0,70	0,80
							0,695325	0,79935
					Totaal gewicht gebouw:		17,41869375	21,42206667
					Percentage gewichtsverschil HSB			18,7%

Figuur 9-28: berekening volume beton strookfundering Wellen

STRA	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	1,2	1,6	0,2375	0,325	0,513125	0,7675	3,49	5,22
Onder fundering	1	1,4	0,2	0,275	0,4375	0,6475	2,98	4,40
Zeer diep	1	1,2	0,2	0,2	0,4375	0,525	2,98	3,57
							3,146416667	4,397333333
STRB	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	1	1,4	0,2	0,2	0,4375	0,565	4,06	5,24
Onder fundering	0,8	1,3	0,2	0,2	0,3975	0,545	3,69	5,06
Zeer diep	0,8	1,2	0,2	0,2	0,3975	0,525	3,69	4,87
							3,812533333	5,0576
STRC	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	1,2	1,6	0,2375	0,325	0,513125	0,7675	3,49	5,22
Onder fundering	1	1,4	0,2	0,275	0,4375	0,6475	2,98	4,40
Zeer diep	1	1,2	0,2	0,2	0,4375	0,525	2,98	3,57
							3,146416667	4,397333333
STRD	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	0,9	1	0,2	0,2	0,4175	0,485	3,87	4,50
Onder fundering	0,7	0,8	0,2	0,2	0,3775	0,445	3,50	4,13
Zeer diep	0,7	0,8	0,2	0,2	0,3775	0,445	3,50	4,13
							3,626933333	4,253333333
STRG	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	0,8	1,1	0,2	0,225	0,3975	0,525	1,61	2,13
Onder fundering	0,7	0,9	0,2	0,2	0,3775	0,465	1,53	1,89
Zeer diep	0,6	0,8	0,2	0,2	0,3575	0,445	1,45	1,81
							1,53265	1,942033333
STRF1	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	1,1	1,5	0,2375	0,325	0,489375	0,735	0,96	1,45
Onder fundering	0,9	1,3	0,2	0,25	0,4175	0,595	0,82	1,17
Zeer diep	0,7	1,1	0,2	0,2	0,3775	0,505	0,74	0,99
							0,84340625	1,204983333
STRF2	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	0,9	1,3	0,2	0,25	0,4175	0,595	0,82	1,17
Onder fundering	0,7	1,1	0,2	0,2	0,3775	0,505	0,74	0,99
Zeer diep	0,6	0,9	0,2	0,2	0,3575	0,465	0,70	0,92
							0,756808333	1,027683333
STRE	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	0,4	0,4	0,2	0,2	0,3175	0,365	0,70	0,80
Onder fundering	0,4	0,4	0,2	0,2	0,3175	0,365	0,70	0,80
Zeer diep	0,4	0,4	0,2	0,2	0,3175	0,365	0,70	0,80
							0,695325	0,79935
					Totaal gewicht gebouw:		17,56048958	23,07965
					Percentage gewichtsverschil HSB			23,9%

Figuur 9-29: berekening volume beton strookfundering Tongeren

STRA		strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
	Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
	Maaiveld	1,4	1,9	0,2875	0,4	0,618125	0,985	4,20	6,70
	Onder fundering	1,3	1,6	0,2625	0,325	0,563125	0,7675	3,83	5,22
	Zeep diep	1,2	1,5	0,2125	0,275	0,489375	0,675	3,33	4,59
								3,78675	5,502333333
STRB		strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
	Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
	Maaiveld	1,1	1,2	0,2	0,2	0,4575	0,525	4,25	4,87
	Onder fundering	0,9	1,2	0,2	0,2	0,4175	0,525	3,87	4,87
	Zeep diep	0,8	1,1	0,2	0,2	0,3975	0,505	3,69	4,69
								3,936266667	4,810133333
STRC		strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
	Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
	Maaiveld	1,4	1,8	0,2875	0,4	0,618125	0,945	4,20	6,43
	Onder fundering	1,3	1,6	0,2625	0,325	0,563125	0,7675	3,83	5,22
	Zeep diep	1,2	1,4	0,2125	0,275	0,489375	0,6475	3,33	4,40
								3,78675	5,349333333
STRD		strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
	Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
	Maaiveld	1	1,1	0,2125	0,275	0,446875	0,565	4,15	5,24
	Onder fundering	0,8	0,9	0,2	0,2	0,3975	0,465	3,69	4,32
	Zeep diep	0,8	0,9	0,2	0,2	0,3975	0,465	3,69	4,32
								3,841533333	4,624533333
STRG		strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
	Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
	Maaiveld	0,9	0,9	0,2875	0,4	0,474375	0,585	1,93	2,38
	Onder fundering	0,8	0,8	0,2125	0,325	0,404375	0,5075	1,64	2,06
	Zeep diep	0,7	0,7	0,2125	0,275	0,383125	0,455	1,56	1,85
								1,7077375	2,094283333
STRF1		strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
	Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
	Maaiveld	1,2	1,8	0,2375	0,3	0,513125	0,795	1,01	1,57
	Onder fundering	1,1	1,5	0,2	0,25	0,4575	0,645	0,90	1,27
	Zeep diep	0,9	1,4	0,2	0,225	0,4175	0,5925	0,82	1,17
								0,911535417	1,334675
STRF2		strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
	Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
	Maaiveld	1	1,5	0,2	0,2	0,4375	0,585	0,86	1,15
	Onder fundering	0,8	1,3	0,2	0,2	0,3975	0,545	0,78	1,07
	Zeep diep	0,7	1,1	0,2	0,2	0,3775	0,505	0,74	0,99
								0,796208333	1,07365
STRE		strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
	Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
	Maaiveld	0,4	0,4	0,2125	0,275	0,319375	0,3725	0,70	0,82
	Onder fundering	0,4	0,4	0,2	0,2	0,3175	0,365	0,70	0,80
	Zeep diep	0,4	0,4	0,2	0,2	0,3175	0,365	0,70	0,80
								0,69669375	0,804825
						Totaal gewicht gebouw:		19,463475	25,59376667
						Percentage gewichtsverschil HSB			24,0%

Figuur 9-30: berekening volume beton strookfundering Beringen

STRA		strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater		HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld		1	1,3	0,2	0,225	0,4375	0,57	2,98	3,88
Onder fundering		0,9	1,1	0,2	0,2	0,4175	0,505	2,84	3,43
Zeep diep		0,8	0,9	0,2	0,2	0,3975	0,465	2,70	3,16
								2,839	3,49066667
STRB		strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater		HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld		0,9	0,9	0,2	0,2	0,4175	0,465	3,87	4,32
Onder fundering		0,9	0,9	0,2	0,2	0,4175	0,465	3,87	4,32
Zeep diep		0,9	0,8	0,2	0,2	0,4175	0,445	3,87	4,13
								3,8744	4,25333333
STRC		strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater		HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld		1	1,3	0,2	0,225	0,4375	0,57	2,98	3,88
Onder fundering		0,9	1,1	0,2	0,2	0,4175	0,505	2,84	3,43
Zeep diep		0,8	0,9	0,2	0,2	0,3975	0,465	2,70	3,16
								2,839	3,49066667
STRD		strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater		HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld		0,8	0,9	0,2	0,2	0,3975	0,465	3,69	4,32
Onder fundering		0,8	0,8	0,2	0,2	0,3975	0,445	3,69	4,13
Zeep diep		0,8	0,7	0,2	0,2	0,3975	0,425	3,69	3,94
								3,6888	4,1296
STRG		strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater		HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld		0,6	0,8	0,2	0,2	0,3575	0,445	1,45	1,81
Onder fundering		0,5	0,7	0,2	0,2	0,3375	0,425	1,37	1,73
Zeep diep		0,4	0,6	0,2	0,2	0,3175	0,405	1,29	1,64
								1,37025	1,7255
STRF1		strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater		HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld		0,8	1,2	0,2	0,225	0,3975	0,5475	0,78	1,08
Onder fundering		0,7	1	0,2	0,2	0,3775	0,485	0,74	0,96
Zeep diep		0,6	0,8	0,2	0,2	0,3575	0,445	0,70	0,88
								0,743675	0,970225
STRF2		strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater		HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld		0,7	1	0,2	0,2	0,3775	0,485	0,74	0,96
Onder fundering		0,5	0,8	0,2	0,2	0,3375	0,445	0,66	0,88
Zeep diep		0,5	0,7	0,2	0,2	0,3375	0,425	0,66	0,84
								0,691141667	0,889783333
STRE		strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater		HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld		0,4	0,4	0,2	0,2	0,3175	0,365	0,70	0,80
Onder fundering		0,4	0,4	0,2	0,2	0,3175	0,365	0,70	0,80
Zeep diep		0,4	0,4	0,2	0,2	0,3175	0,365	0,70	0,80
								0,695325	0,79935
Totaal gewicht gebouw:								16,74159167	19,749125
Percentage gewichtsverschil HSB									15,2%

Figuur 9-31: berekening volume beton strookfundering Watervliet

STRA	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	1,4	1,8	0,2875	0,4	0,618125	0,945	4,20	6,43
Onder fundering	1,3	1,5	0,2375	0,3	0,536875	0,705	3,65	4,79
Zeer diep	1,1	1,4	0,2125	0,275	0,468125	0,6475	3,18	4,40
							3,679083333	5,207666667
STRB	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	1,2	1,2	0,2125	0,225	0,489375	0,5475	4,54	5,08
Onder fundering	1,2	1,3	0,2125	0,225	0,489375	0,57	4,54	5,29
Zeer diep	1,2	1,2	0,2	0,2	0,4775	0,525	4,43	4,87
							4,504666667	5,0808
STRC	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	1,4	1,8	0,2875	0,4	0,618125	0,945	4,23	6,47
Onder fundering	1,3	1,6	0,2375	0,3	0,536875	0,735	3,68	5,03
Zeer diep	1,1	1,4	0,2125	0,275	0,468125	0,6475	3,21	4,44
							3,706135417	5,314458333
STRD	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	1	1,2	0,2	0,2	0,4375	0,525	4,06	4,87
Onder fundering	1	1	0,2	0,2	0,4375	0,485	4,06	4,50
Zeer diep	0,9	0,9	0,2	0,2	0,4175	0,465	3,87	4,32
							3,998133333	4,562666667
STRG	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	1	1,4	0,2375	0,275	0,465625	0,6475	1,89	2,63
Onder fundering	0,8	1,2	0,2	0,225	0,3975	0,5475	1,61	2,22
Zeer diep	0	1	0,2	0,2	0,2375	0,485	0,96	1,97
							1,4895125	2,2736
STRF1	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	1,3	1,8	0,2875	0,4	0,589375	0,945	1,16	1,86
Onder fundering	1,1	1,5	0,2375	0,3	0,489375	0,705	0,96	1,39
Zeer diep	0,9	1,3	0,2	0,275	0,4175	0,62	0,82	1,22
							0,9825375	1,490633333
STRF2	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	1,1	1,5	0,2375	0,3	0,489375	0,705	0,96	1,39
Onder fundering	0,9	1,3	0,2375	0,275	0,441875	0,62	0,87	1,22
Zeer diep	0,7	1,1	0,2	0,2	0,3775	0,505	0,74	0,99
							0,8594125	1,2017
STRE	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	0,4	0,4	0,2	0,2	0,3175	0,365	0,70	0,80
Onder fundering	0,4	0,4	0,2	0,2	0,3175	0,365	0,70	0,80
Zeer diep	0,4	0,4	0,2	0,2	0,3175	0,365	0,70	0,80
							0,695325	0,79935
					Totaal gewicht gebouw:		19,91480625	25,930875
					Percentage gewichtsverschil HSB			23,2%

Figuur 9-32: berekening volume beton strookfundering Beveren

STRA	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	0,9	1,1	0,2	0,2	0,4175	0,505	2,84	3,43
Onder fundering	0,7	0,9	0,2	0,2	0,3775	0,465	2,57	3,16
Zeep diep	0,7	0,8	0,2	0,2	0,3775	0,445	2,57	3,03
							2,65766667	3,20733333
STRB	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	0,8	0,8	0,2	0,2	0,3975	0,445	3,69	4,13
Onder fundering	0,7	0,7	0,2	0,2	0,3775	0,425	3,50	3,94
Zeep diep	0,7	0,7	0,2	0,2	0,3775	0,425	3,50	3,94
							3,56506667	4,00586667
STRC	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	0,9	1,1	0,2	0,2	0,4175	0,505	2,84	3,43
Onder fundering	0,7	0,9	0,2	0,2	0,3775	0,465	2,57	3,16
Zeep diep	0,7	0,8	0,2	0,2	0,3775	0,445	2,57	3,03
							2,65766667	3,20733333
STRD	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	0,7	0,8	0,2	0,2	0,3775	0,445	3,50	4,13
Onder fundering	0,7	0,8	0,2	0,2	0,3775	0,445	3,50	4,13
Zeep diep	0,7	0,8	0,2	0,2	0,3775	0,445	3,50	4,13
							3,5032	4,1296
STRG	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	0,5	0,5	0,2	0,2	0,3375	0,385	1,37	1,56
Onder fundering	0,4	0,4	0,2	0,2	0,3175	0,365	1,29	1,48
Zeep diep	0,4	0,4	0,2	0,2	0,3175	0,365	1,29	1,48
							1,31611667	1,50896667
STRF1	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	0,7	1,1	0,2	0,2	0,3775	0,505	0,74	0,99
Onder fundering	0,6	0,9	0,2	0,2	0,3575	0,465	0,70	0,92
Zeep diep	0,5	0,7	0,2	0,2	0,3375	0,425	0,66	0,84
							0,704275	0,91605
STRF2	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	0,6	0,8	0,2	0,2	0,3575	0,445	0,70	0,88
Onder fundering	0,4	0,7	0,2	0,2	0,3175	0,425	0,63	0,84
Zeep diep	0,4	0,6	0,2	0,2	0,3175	0,405	0,63	0,80
							0,65174167	0,83725
STRE	strookbreedte [m]		hoogte H [m]		Oppervlakte T-balk [m²]		Totaal volume strookfundering [m³]	
Grondwater	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel	HSB	traditioneel
Maaiveld	0,4	0,4	0,2	0,2	0,3175	0,365	0,70	0,80
Onder fundering	0,4	0,4	0,2	0,2	0,3175	0,365	0,70	0,80
Zeep diep	0,4	0,4	0,2	0,2	0,3175	0,365	0,70	0,80
							0,695325	0,79935
					Totaal gewicht gebouw:		15,75105833	18,61175
					Percentage gewichtsverschil HSB			15,4%

Figuur 9-33: berekening volume beton strookfundering Laakdal

9.10 Bijlage J: Berekening volle plaatfundering

Fundering afmeting				Blad beveiliging opheffen => controleren => beveiliging blad opheffen			
Lengte L =	10,01	m		Grijze balk invoer cellen			
Breedte B =	6,93	m					
Belasting $F_{r,d}$ =	1035,28	KN					
Iteratie dikte plaatfundering							
d_{limiet} =	100,16	mm					
keuze d =	101	mm					
h =	159	mm					
keuze h =	159	mm					
Wapeningsberekening							
boven wapening :	$A_{s,a,\text{boven}} =$	271,69 mm ² /m	alle 150 ϕ	8			
	$A_{s,b,\text{boven}} =$	299,14 mm ² /m	alle 150 ϕ	8	diamter	staven	
onderwapening :	$A_{s,a,\text{onder}} =$	1358,46 mm ² /m	alle 100 ϕ	12	+	12	3 tussenin
	$A_{s,b,\text{onder}} =$	1495,68 mm ² /m	alle 100 ϕ	12	+	12	4 tussenin

Figuur 9-34: berekeningssheet volgens principe 1 (Eurocode 2)

9.11 Bijlage K: Sonderingen



Sondering GEO-07/74-S6-1

Sondering

Proefnummer: GEO-07/74-S6-1

X (mLambert): 172975.7 (topografisch of GPS)

Y (mLambert): 230272.5 (topografisch of GPS)

Z (mTAW): 23.38 (topografisch of GPS)

Gemeente: WUUSTWEZEL (LOENHOUT)

Uitvoerder: VO - Afdeling Geotechniek

Aanvangsdatum: 05/11/2007

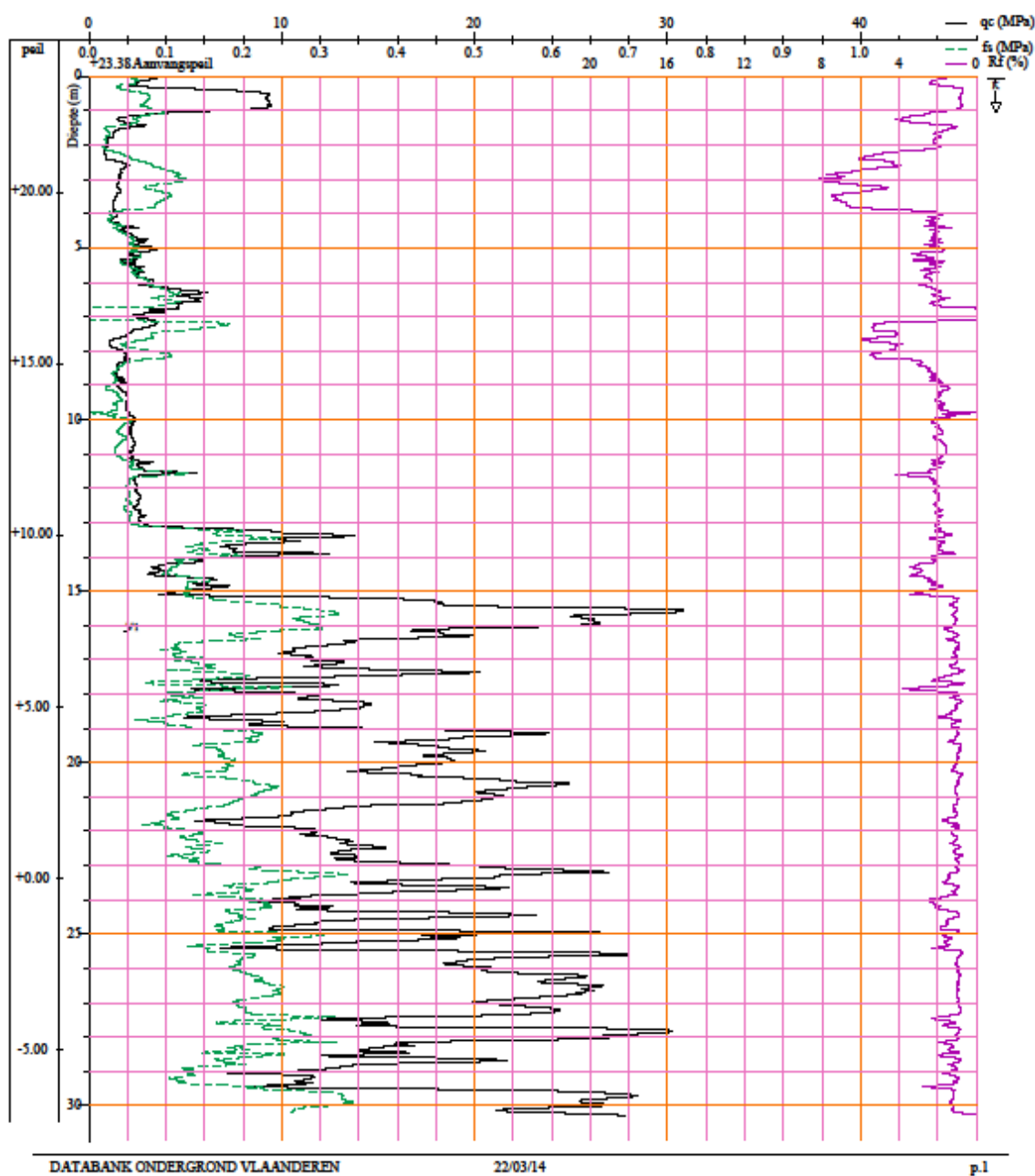
Uitvoeringsmethode: continu elektrisch

Sondeerapparaat: 200KN

Conus: E (1000 mm²)

Diepte (m): 0.05 tot 30.30

Water op (m): 0.91 (22.47 mTAW)



Figuur 9-36: sondering 1 - Wuustwezel



Sondering GEO-07/74-S7-1

Sondering

Proefnummer: GEO-07/74-S7-1

X (mLambert): 181614.6 (topografisch of GPS)

Y (mLambert): 227608.3 (topografisch of GPS)

Z (mTAW): 27.72 (topografisch of GPS)

Gemeente: MERKSPLAS

Uitvoerder: VO - Afdeling Geotechniek

Aanvangsdatum: 07/11/2007

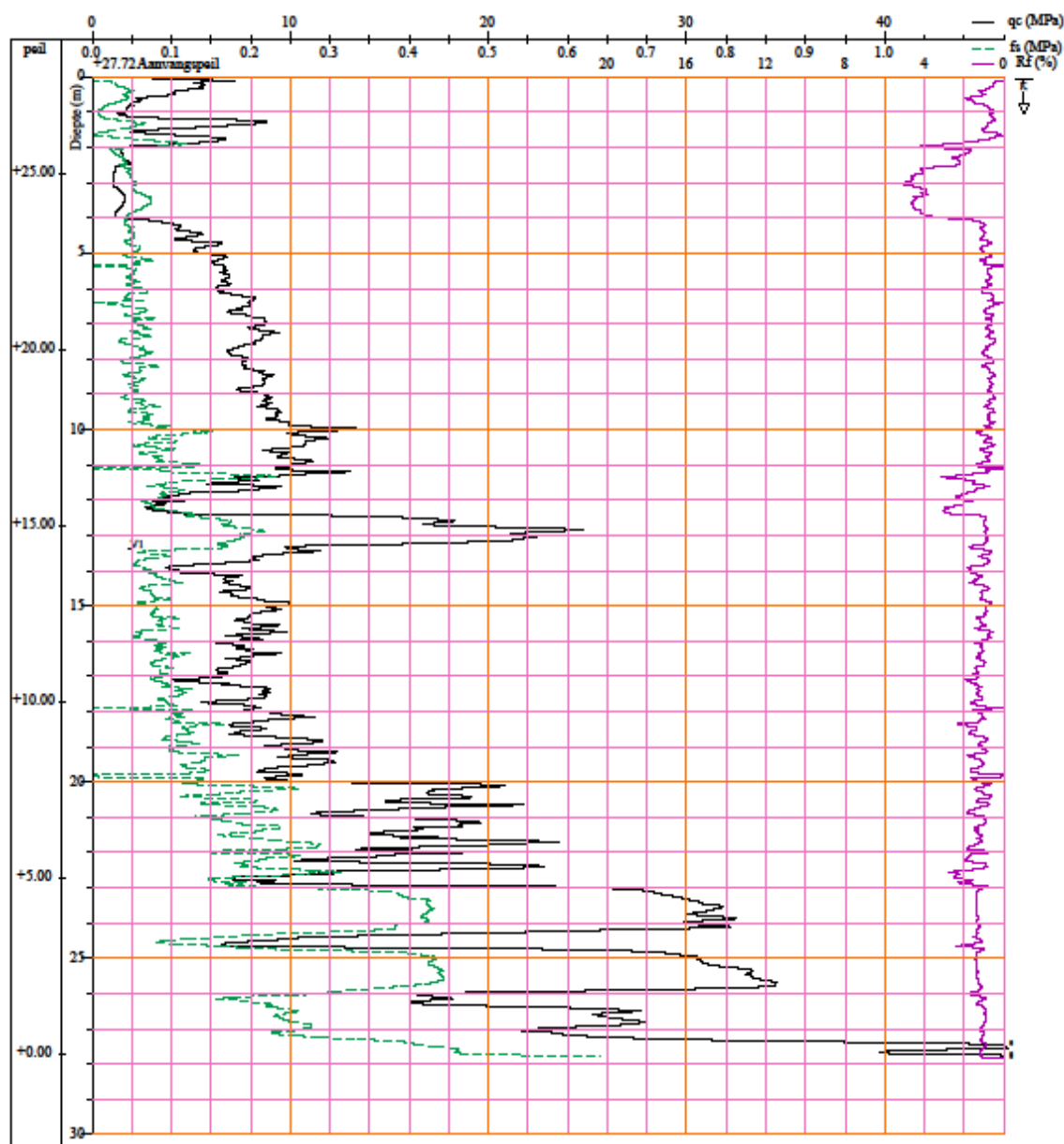
Uitvoeringsmethode: continu elektrisch

Sondeerapparaat: 200KN

Conus: E (1000 mm²)

Diepte (m): 0.05 tot 27.85

Water op (m): 1.70 (26.02 mTAW)



DATABANK ONDERGROND VLAANDEREN

22/03/14

p.1

De gegevens worden enkel verspreid ter informatie. Het Vlaams Gewest kan niet aansprakelijk worden gesteld voor de gevolgen van welk gebruik dan ook.

Figuur 9-37: sondering 2 - Merksplas

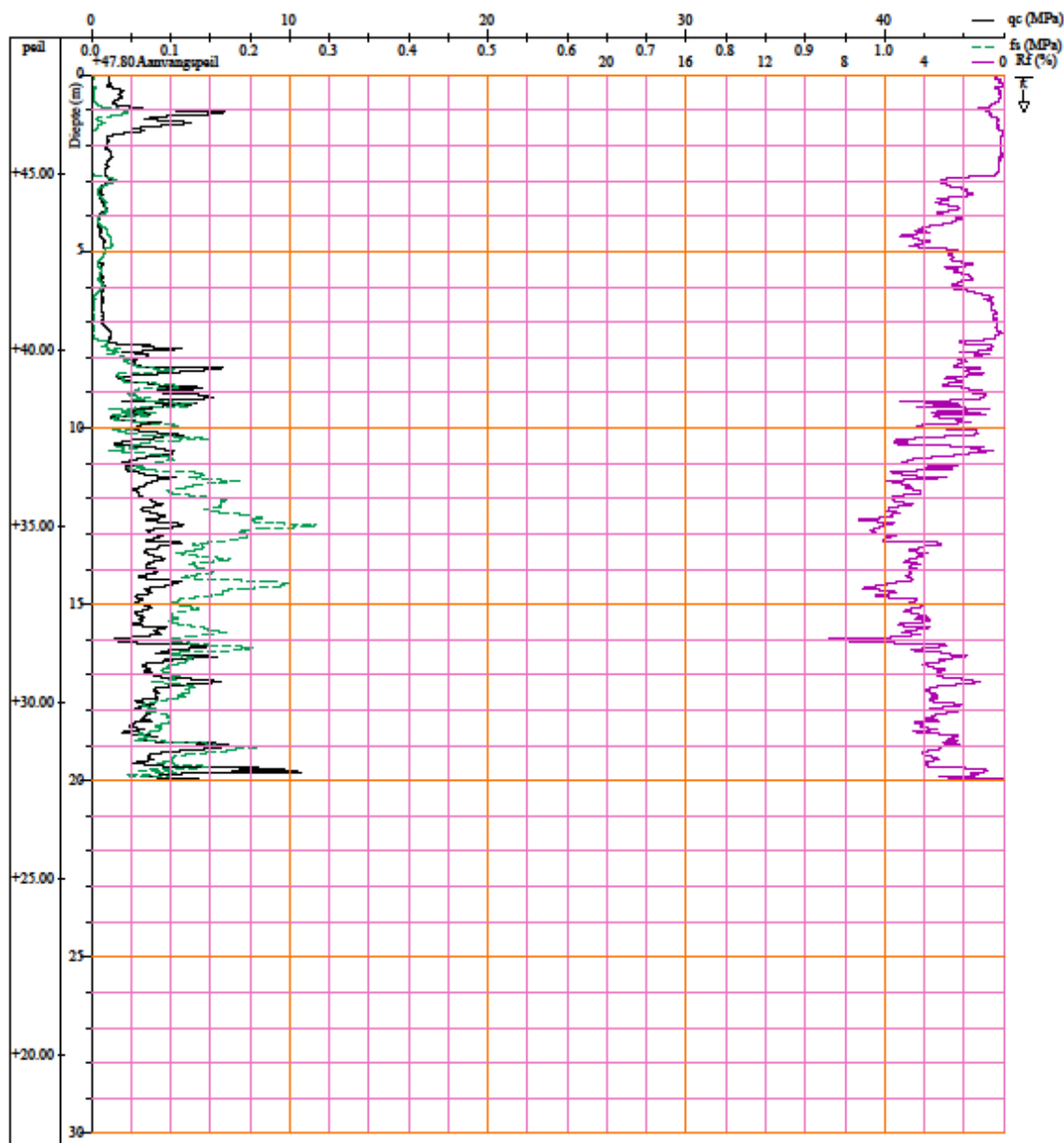


Sondering GEO-08/48-S8

Sondering

Proefnummer: GEO-08/48-S8
 X (mLambert): 217667.5 (topografisch of GPS)
 Y (mLambert): 169093.6 (topografisch of GPS)
 Z (mTAW): 47.80 (topografisch of GPS)
 Gemeente: WELLEN (HERTEN)
 Uitvoerder: VO - Afdeling Geotechniek

Aanvangsdatum: 09/06/2008
 Uitvoeringsmethode: continu elektrisch
 Sondeerapparaat: 200KN
 Conus: E (1000 mm²)
 Diepte (m): 0.05 tot 20.00
 Water op (m): 1.90 (45.90 mTAW)



DATABANK ONDERGROND VLAANDEREN

22/03/14

p.1

De gegevens worden enkel medgedeeld ter informatie. Het Vlaams Gewest kan niet aansprakelijk worden gesteld voor de gevolgen van welk gebruik dan ook.

Figuur 9-38: sondering 3 - Wellen

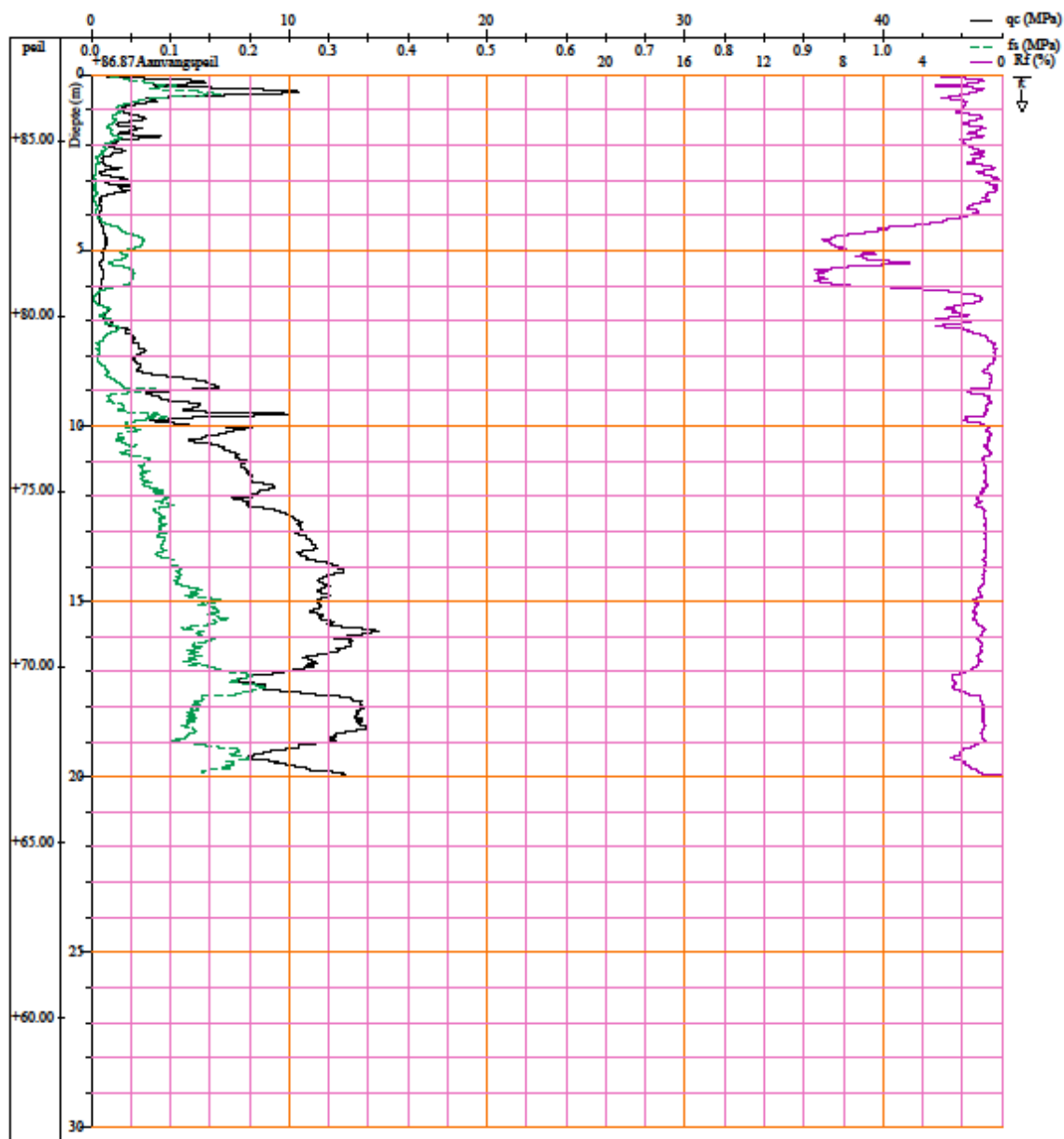


Sondering GEO-09/45-S4

Sondering

Proefnummer: GEO-09/45-S4
 X (mLambert): 229178.7 (topografisch of GPS)
 Y (mLambert): 163821.0 (topografisch of GPS)
 Z (mTAW): 86.87 (topografisch of GPS)
 Gemeente: TONGEREN
 Uitvoerder: VO - Afdeling Geotechniek

Aanvangsdatum: 17/11/2009
 Uitvoeringsmethode: continu elektrisch
 Sondeerapparaat: 200KN
 Conus: E (1000 mm²)
 Diepte (m): 0.05 tot 20.00
 Sondeergat dicht(m): 0.15 (86.72 mTAW)



DATABANK ONDERGROND VLAANDEREN

22/03/14

p.1

De gegevens worden enkel meegeleverd ter informatie. Het Vlaams Gewest kan niet aansprakelijk worden gesteld voor de gevolgen van welk gebruik dan ook.

Figuur 9-39: sondering 4 - Tongeren

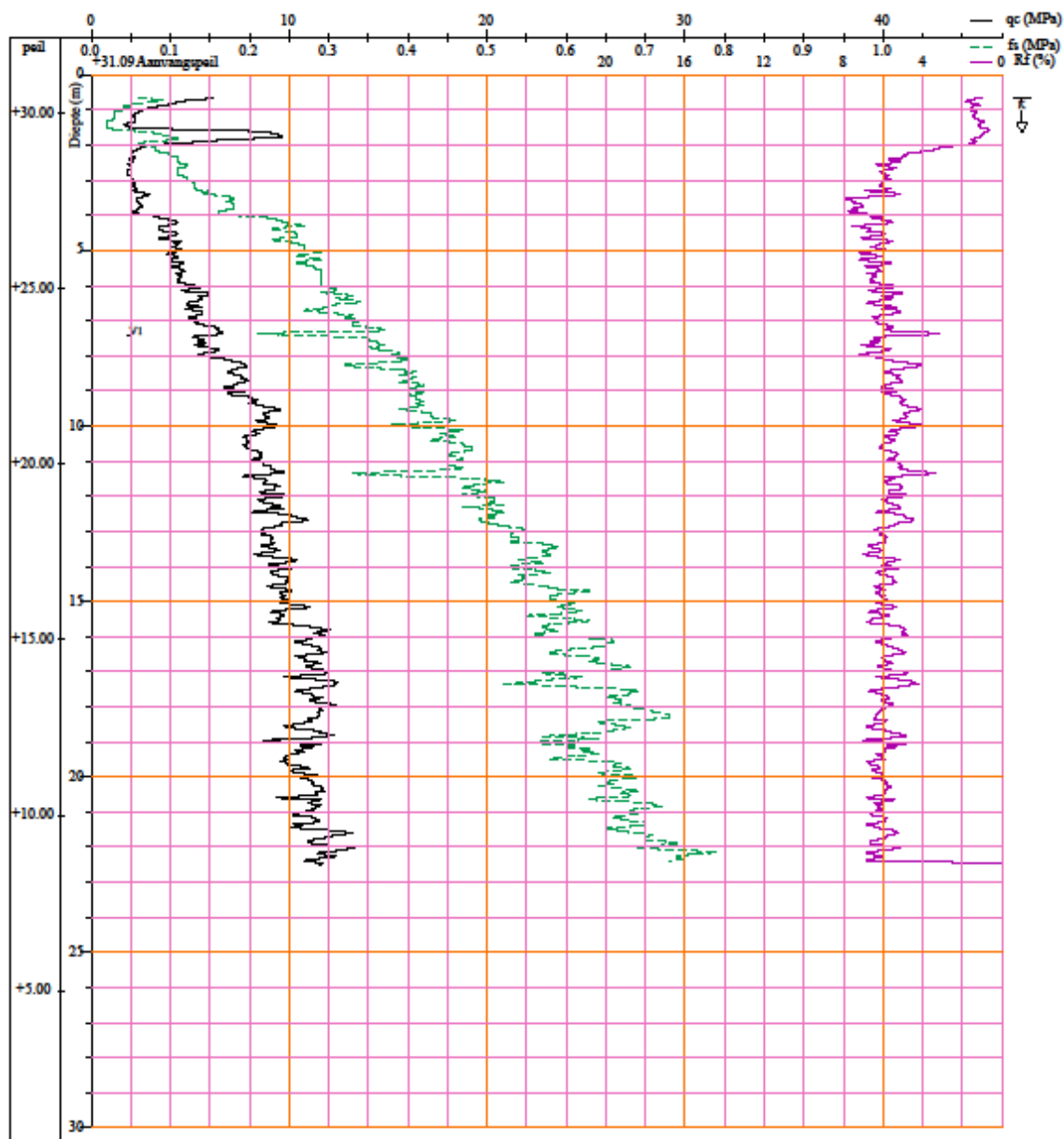


Sondering GEO-04/143-S4

Sondering

Proefnummer: GEO-04/143-S4
X (mLambert): 207856.6 (topografisch of GPS)
Y (mLambert): 195291.5 (topografisch of GPS)
Z (mTAW): 31.09 (topografisch of GPS)
Gemeente: BERINGEN (PAAL)
Uitvoerder: MVG - Afdeling Geotechniek

Aanvangsdatum: 08/09/2004
Uitvoeringsmethode: continu elektrisch
Sondeerapparaat: 200KN
Conus: E (1000 mm²)
Diepte (m): 0.65 tot 22.50
Water op (m): 1.86 (29.23 mTAW)



DATABANK ONDERGROND VLAANDEREN

03/04/14

p.1

De gegevens worden enkel megedeeld ter informatie. Het Vlaams Gewest kan niet aansprakelijk worden gesteld voor de gevolgen van welk gebruik dan ook.

Figuur 9-40: sondering 5 - Beringen

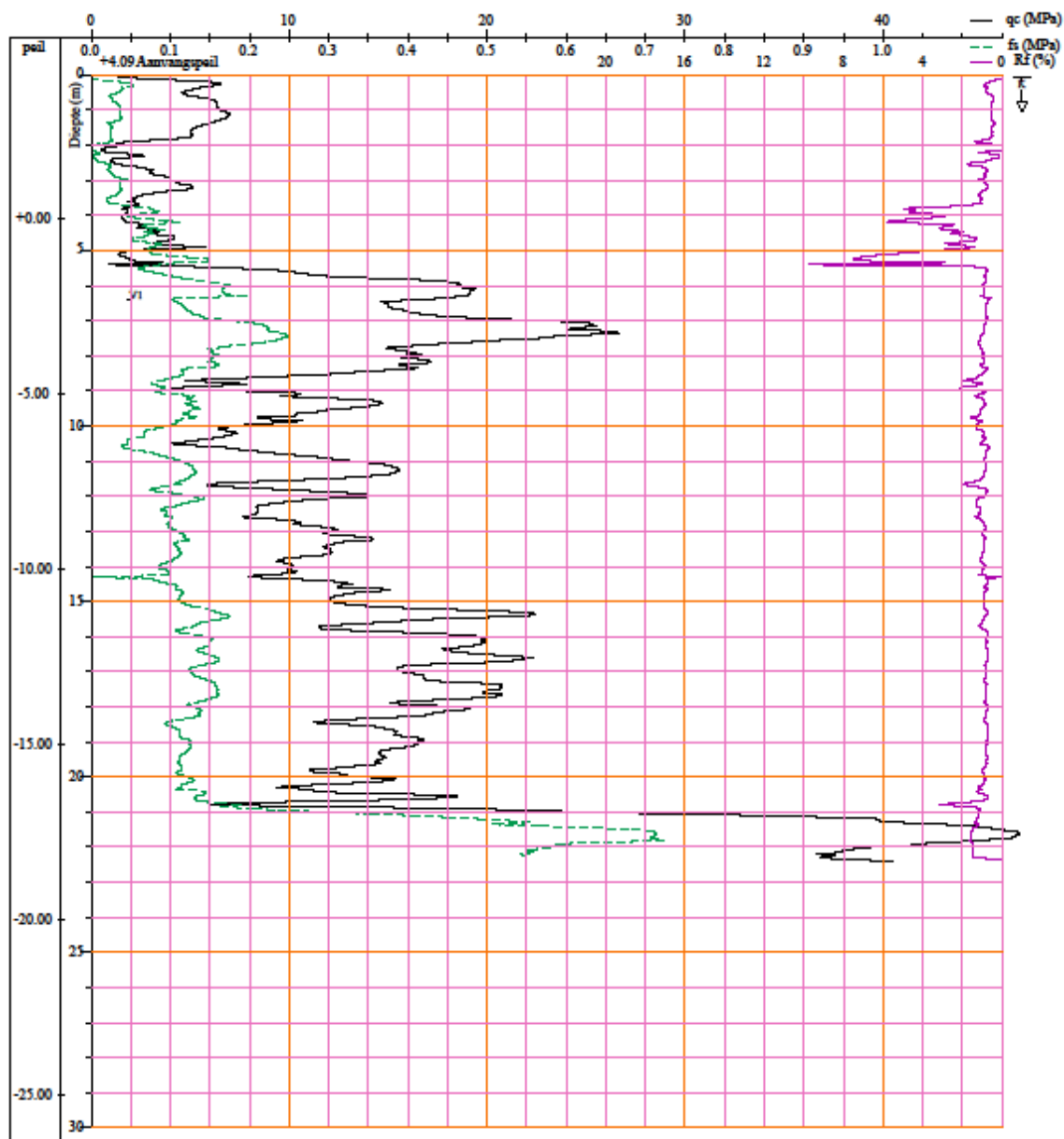


Sondering GEO-05/26-S6-2

Sondering

Proefnummer: GEO-05/26-S6-2
X (mLambert): 98013.9 (topografisch of GPS)
Y (mLambert): 215935.5 (topografisch of GPS)
Z (mTAW): 4.09 (topografisch of GPS)
Gemeente: SINT-LAUREINS (WATERVLIET)
Uitvoerder: MVG - Afdeling Geotechniek

Aanvangsdatum: 13/01/2006
Uitvoeringsmethode: continu elektrisch
Sondeerapparaat: 200KN
Conus: E (1000 mm²)
Diepte (m): 0.05 tot 22.40
Water op (m): 0.70 (3.39 mTAW)



DATABANK ONDERGROND VLAANDEREN

22/03/14

p.1

De gegevens worden enkel meegeleverd ter informatie. Het Vlaams Gewest kan niet aansprakelijk worden gesteld voor de gevolgen van welk gebruik dan ook.

Figuur 9-41: sondering 6 - Watervliet

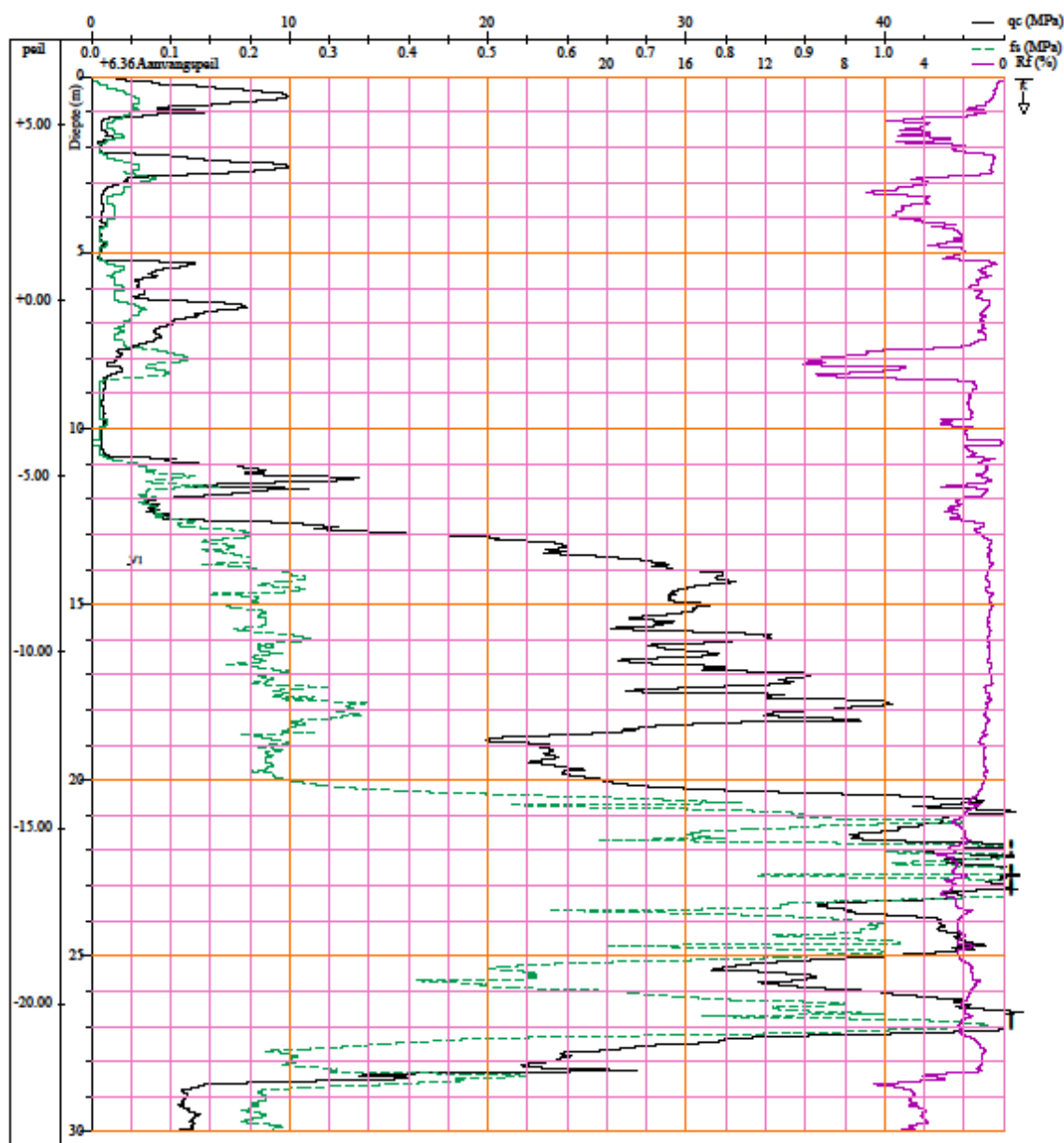


DOV Rapport Sondering

Sondering

Proefnummer: GEO-01/153-SZS110
X (mLambert): 141569.9 (topografisch of GPS)
Y (mLambert): 218893.8 (topografisch of GPS)
Z (mTAW): 6.36 (topografisch of GPS)
Gemeente: BEVEREN (KIELDRECHT)
Uitvoerder: MVG - Afdeling Geotechniek

Aanvangsdatum: 09/10/2002
Uitvoeringsmethode: continu elektrisch
Sondeerapparaat: 200KN
Conus: E (1000 mm²)
Diepte (m): 0.05 tot 32.35
Water op (m): 0.76 (5.60 mTAW)



DATABANK ONDERGROND VLAANDEREN

23/08/06

p.1

De gegevens worden enkel megedeeld ter informatie. Het Vlaams Gewest kan niet aansprakelijk worden gesteld voor de gevolgen van welk gebruik dan ook.

Figuur 9-42: sondering 7 - Beveren

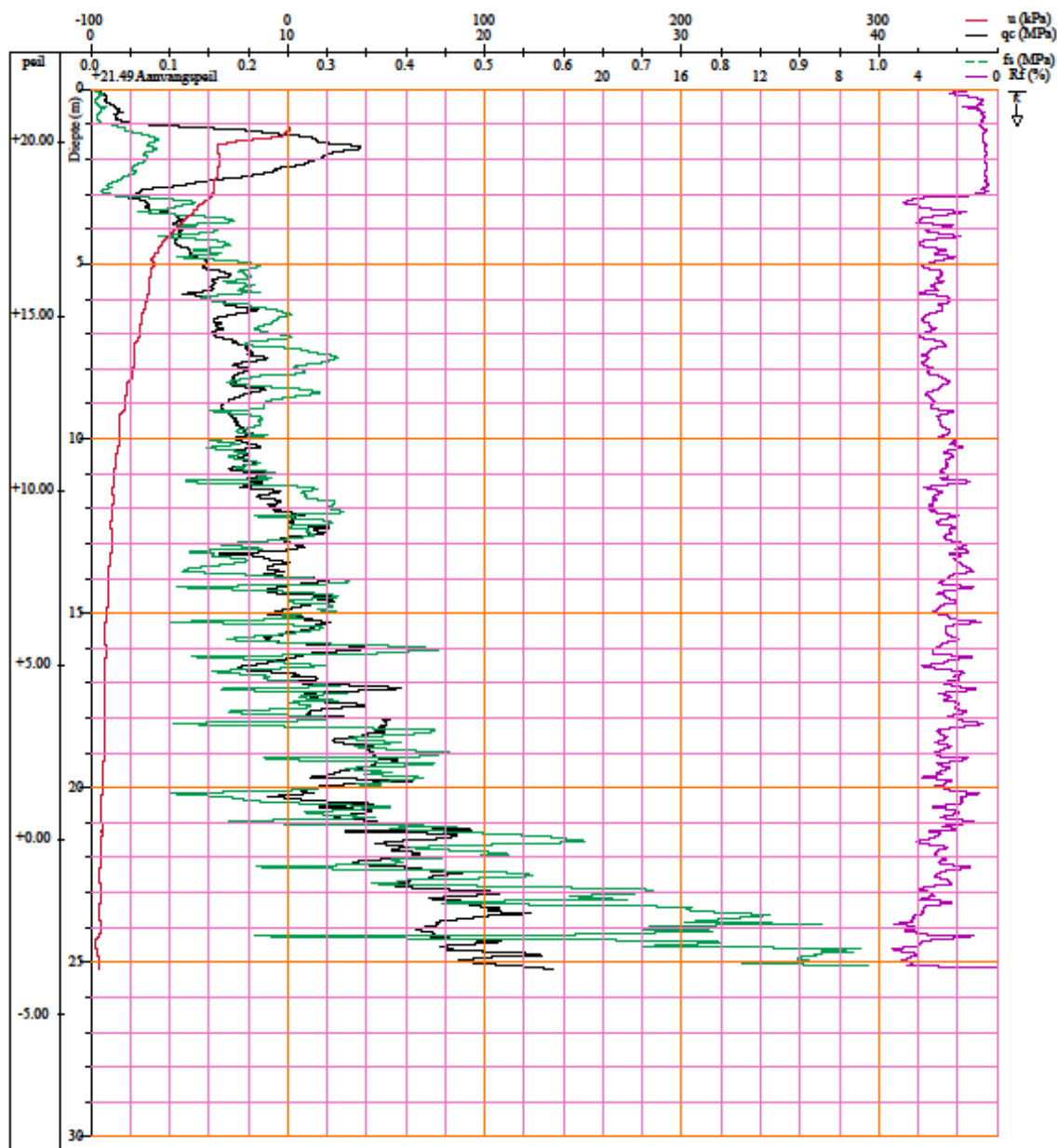


Sondering GEO-05/25-S1

Sondering

Proefnummer: GEO-05/25-S1
X (mLambert): 198363.8 (topografisch of GPS)
Y (mLambert): 197759.5 (topografisch of GPS)
Z (mTAW): 21.49 (topografisch of GPS)
Gemeente: LAAKDAL (VORST (VL))
Uitvoerder: MVG - Afdeling Geotechniek

Aanvangsdatum: 18/04/2005
Uitvoeringsmethode: continu elektrisch
Sondeerapparaat: 200KN
Conus: U (1000 mm²)
Diepte (m): 0.05 tot 25.20
Water op (m): 1.12 (20.37 mTAW)



DATABANK ONDERGROND VLAANDEREN

15/05/14

p.1

De gegevens worden enkel megedeeld ter informatie. Het Vlaams Gewest kan niet aansprakelijk worden gesteld voor de gevolgen van welk gebruik dan ook.

Figuur 9-43: sondering 8 - Laakdal

Copyright @ O. & C. Kilic i.s.m.



**MACHIELS BUILDING
SOLUTIONS** en



Niets uit deze scriptie mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een (geautomatiseerd) gegevensbestand en/of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de auteurs.

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

Technische analyse houtskeletbouw: aanzet, horizontale en verticale stabiliteit, funderingsvoordelen en EPB

Richting: **master in de industriële wetenschappen: bouwkunde**

Jaar: **2014**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Kilic, Oguz

Kilic, Cengizhan

Datum: **4/06/2014**