WETENSCHAPPELIJK EN TECHNISCH CENTRUM VOOR HET BOUWBEDRIJF
INRICHTING ERKEND BIJ TOEPASSING VAN DE BESLUITWET VAN 30 JANUARI 1947

Proefstation — B-1342 Limelette, avenue P. Holoffe 21 — Tel.: +32 (0)2 655 77 11
Kantoren — B-1932 Sint-Stevens-Woluwe, Lozenberg 7 — Tel.: +32 (0)2 716 42 11
Maatschappelijke zetel — B-1000 Brussel, Lombardstraat 42 — Tel.: +32 (0)2 502 66 90

STUDIEVERSLAG

Technologieverkenning	**Datum**	12 JANUARI 2015
	O/Referenties	DE 651xK761 Blz.: 1/16

Studie over de mogelijkheid om een product op basis van schelpen te gebruiken als isolatiemateriaal

Aanvrager : Dhr. T. Depreeuw, ECOVERBO BVBA, Vandenpeereboomstraat, 16 te BE-2140 BORGERHOUT
N° KMO : 2013 KMO 082391

Dit studieverslag bevat 16 bladzijden. Dit studieverslag mag slechts in zijn geheel verveelvoudigd worden. De resultaten en waarnemingen zijn slechts geldig voor de bestudeerde producten.

Adjunct Afdelingshoofd
Afdeling 'Energie'
G. Flamant

C.S.T.C. W.T.C.B. EDIM

Projectleider
Laboratorium 'Isolatie en dichtingsmaterialen'
M. Jamoulle

1. INLEIDING

Deze studie werd uitgevoerd in de kader van een technologische dienstverlening, ondersteund door Agentschap Ondernemen via KMO Portefeuille. Ze kadert in een project van de aanvrager gericht op de ontwikkeling en optimalisatie van een isolatieproduct gebaseerd op schelpen, de plaatsing/uitvoering van dit product voor een toepassing 'thermische isolatie onder de dekvloer' en de eventuele combinatie met andere isolatiematerialen.
In deze studie en technologieverkenning wordt de invloed van de compactheid, van de heterogeniteit en van de vochtigheid van het product op de warmtegeleidbaarheid bepaald door een aantal analyses. De warmteweerstand van de verschillende samenstellingen van de vloer werd berekend. Het gedrag tegenover drukspanning werd ook beoordeeld. Op basis van de analyses werd de mogelijkheid bestudeerd om het product als isolatiemateriaal te gebruiken.
De geteste producten zijn:
- Isoschelp 15-35 mm schelpen => niet gebroken schelpen (geblazen op een afstand van 20m)
  => gebroken schelpen (geblazen op een afstand van 60m)
- Ecoschelp 3-15 mm

De producten werden door de aanvrager gekozen en aan het laboratorium geleverd.
De bedoeling bestond erin, het mogelijke gebruik van de materialen als isolatiematerialen te bestuderen. De schelpen werden dus getest door middel van proeven die van toepassing zijn voor isolatiematerialen, mits kleine praktische aanpassingen. Dit betekent bv. dat de materialen niet verdicht werden voor de proeven. De vraag om de producten rechtsreeks op de grond te gebruiken, werd door de aanvrager gemeld na uitvoering van de proeven. Dit lijkt eerder een 'geotechnische' toepassing waarvoor andere proefmethodes van toepassing zijn (met voorafgaande verdichting e.d.). Een grondige analyse uit dit gezichtspunt met geschikte testmethodes zou ook interessant zijn, waarbij ook de compactheid van het product in aanmerking zou genomen worden.

2. RESULTATEN VAN DE PROEVEN

2.1. Bepaling van de warmtegeleidbaarheid

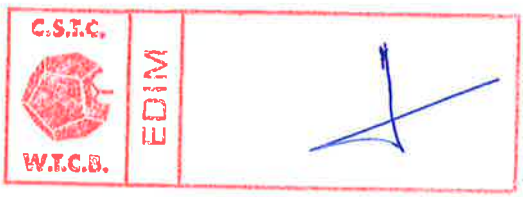
Een aantal metingen van de warmtegeleidbaarheid (op een gemiddelde temperatuur van 10°C volgens de NBN EN 12667 (2001)) van schelpenlagen werden uitgevoerd om de invloed van de compactheid, van de heterogeniteit en van de vochtigheid van het product te bepalen.
Een apart proefverslag werd voor iedere meting opgesteld. De referenties daarvan zijn in de tabellen hieronder opgenomen.

Invloed van de compactheid

Ref. verslag	Vochtgehalte [m^3/m^3]	Warmtegeleidbaarheid [W/mK]	Opmerking
ENb803-A	0,000	0,1515	gebroken schelpen (geblazen op 60m)
ENb802-A	0,001	0,1440	niet gebroken schelpen (geblazen op 20m)

Tabel 1

De warmtegeleidbaarheid (in droge toestand) van niet gebroken schelpen is lager. Dat is te wijten aan een lagere volumieke massa (602 kg/m^3) t.o.v gebroken schelpen (694 kg/m^3).



Invloed van de heterogeniteit

De warmtegeleidbaarheid (in droge toestand) van een tiental proefstukken van niet gebroken schelpen (Isoschelp, granulometrie 15-35 mm, op 20 m ingeblazen) werd gemeten.

Ref. verslag	Vochtgehalte [m³/m³]	Warmtegeleidbaarheid [W/mK]
ENb802-A	0.001	0.1440
ENb802-B	0.000	0.1477
ENb802-C	0.000	0.1475
ENb802-D	0.000	0.1460
ENb802-E	0.000	0.1475
ENb802-F	0.000	0.1454
ENb802-G	0.000	0.1447
ENb802-H	0.000	0.1482
ENb802-I	0.000	0.1513
ENb802-J	0.000	0.1469

Tabel 2

De resultaten tonen het volgende:

- minimale waarde van de warmtegeleidbaarheid : 0.1440 W/mK
- maximale waarde van de warmtegeleidbaarheid : 0.1513 W/mK
- standaard deviatie tussen de 10 resultaten: 0.0021 W/mK

Invloed van de vochtigheid

Voor twee verschillende proefstukken (van niet gebroken schelpen) werd de warmtegeleidbaarheid gemeten in drie vochtgehaltes :

- in droge staat : het proefstuk wordt in een geventileerde droogstoof bij 70°C geconditioneerd tot constant gewicht
- in staat '23/50' : het proefstuk wordt in het laboratorium (23°C±2 en 50%RV±5) geconditioneerd tot constant gewicht
- in natte staat : de schelpen worden 3 dagen in water geplaatst, gevolgd door 2 dagen in een vochtige kamer (95%RV en 20°C).

Tabel 3 geeft de resultaten voor het eerste proefstuk, Tabel 4 voor het tweede.

Ref. verslag	Vochtgehalte [m³/m³]	Warmtegeleidbaarheid [W/mK]	Opmerking
ENb802-K	0.0000	0.1459	in droge staat
ENb802-K	0.0021	0.1460	in staat '23/50'
ENb802-K	0.0289	0.2066	in natte staat

Tabel 3

Ref. verslag	Vochtgehalte [m³/m³]	Warmtegeleidbaarheid [W/mK]	Opmerking
ENb802-L	0.0000	0.1467	in droge staat
ENb802-L	0.0019	0.1503	in staat '23/50'
ENb802-L	0.0222	0.1640	in natte staat

Tabel 4

CSTC W.T.C.B. EDIM

2.2. Bepaling van het gedrag tegenover druk

De mechanische eigenschappen van de geleverde materialen werden gemeten door middel van een methode gebaseerd op de proefnorm voor de meting van de druksterkte van isolatiematerialen NBN EN 826. Het materiaal werd gegoten in tanken met binnenafmetingen van 400 x 400 x 300 mm, waarop de belasting werd aangebracht met een plaat van 400 mm x 400 m (foto's 1 en 2) aan een constante snelheid van 30 mm / min (1/10 van de dikte per minuut, zoals vermeld in de norm). De test werd stopgezet wanneer de maximale kracht van de pers werd bereikt.
De resultaten en grafieken worden in aparte proefverslagen EDIM 13/502-1 tot -3 opgenomen, en hieronder samengevat met een voorstel interpretatie.

Foto's 1 en 2: drukproef

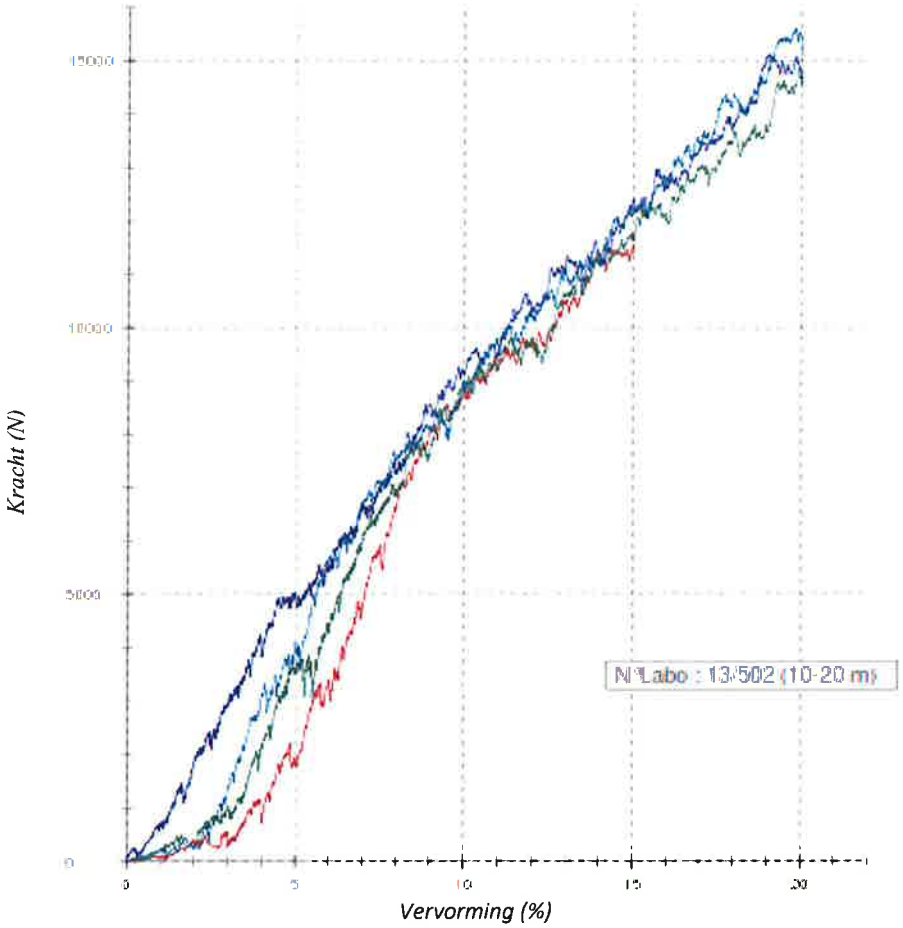
In totaal werden drie types schelpen getest :

- **Schelpen die op een afstand van 20m werden ingeblazen (Isoschelp, 15-35 mm)**. De resultaten worden in tabel 5 hieronder voorgesteld.

C.S.T.C.
W.T.C.B.
EDIM

Proefstuk nr.	Spanning (kPa)	Vervorming (%)
1	65	10
2	59	10
3	58	10
4	62	10
Gemiddelde	**60**	

Tabel 5



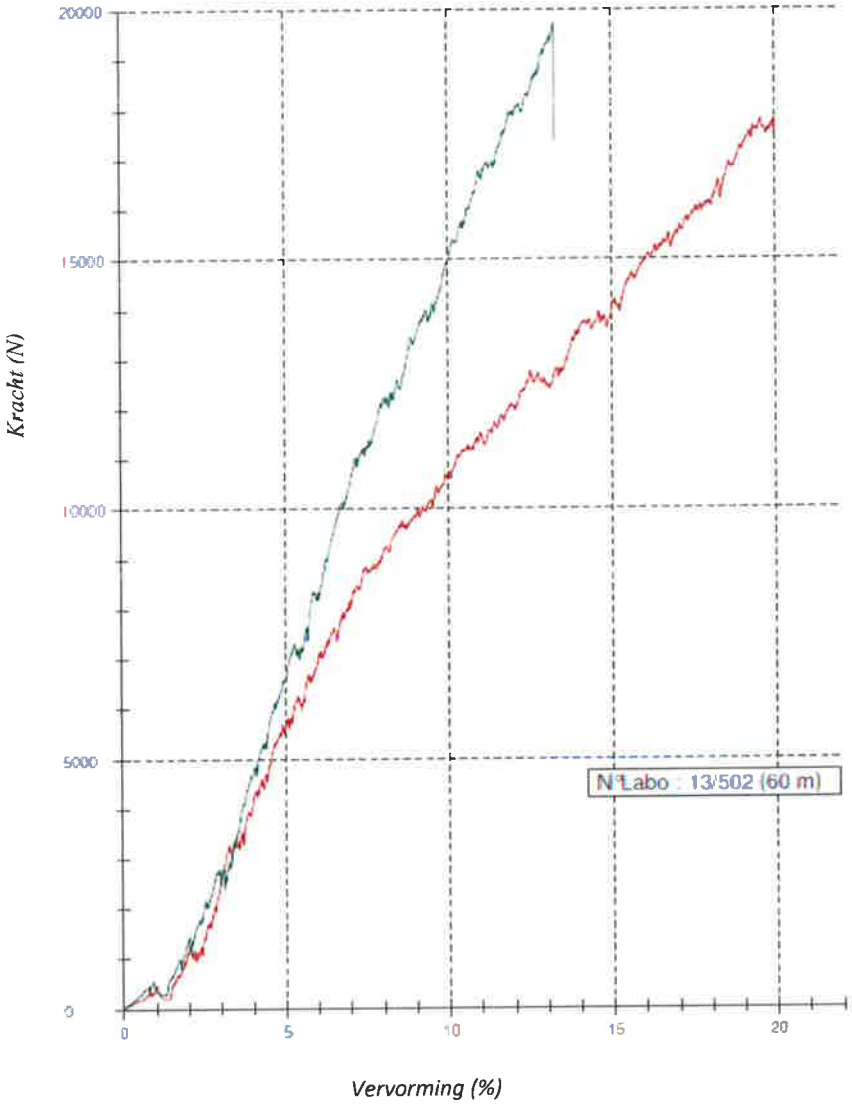
Figuur 1: grafiek druk – vervorming van schelpen 'Isoschelp' (15-35 mm, op 20m ingeblazen)

- **Schelpen die op een afstand van 60m werden ingeblazen (Isoschelpen, meer gebroken, met een granulometrie rond "15-35mm")**. De resultaten worden in tabel 6 opgenomen.

Proefstuk nr.	Spanning (kPa)	Vervorming (%)
1	71	10
2	106	10
Gemiddelde	**88**	

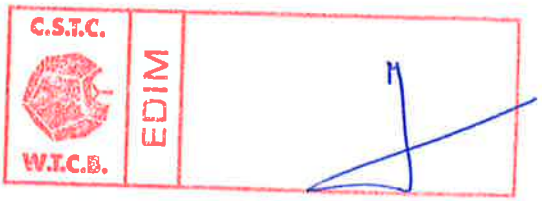
Tabel 6

C.T.S.C.
W.T.C.B.
EDIM



Figuur 2: grafiek druk – vervorming van schelpen die op 60m werden ingeblazen (Isoschelp, "15-35 mm")

Bij 10% vervorming is de gemiddelde spanning groter voor de meer gebroken schelpen (88kPa). Dit is te wijten aan de grotere compactheid. Men moet echter noteren dat het verschil tussen beide resultaten groot is, en dat aanvullende metingen nodig zouden zijn om een trend te bevestigen (de geleverde hoeveelheid liet maar toe om 2 proefstukken te maken).



- **Schelpen met een granulometrie rond "3-15 mm" (Ecoschelp)**. De druksterkte werd op deze 3rde gekregen reeks van schelpen gemeten. De resultaten worden in tabellen 7a en 7b voorgesteld.

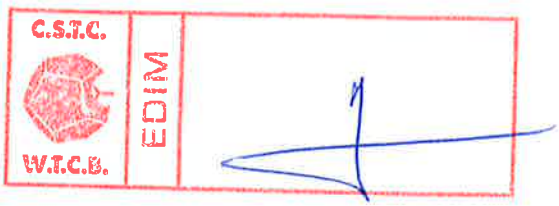
Proefstuk nr. (pers 20kN)	Maximale spanning (kPa)	Relatieve vervorming (%)
1	122	7.44
2	122	9.30
3	122	8.68
4	122	10.09
5	122	8.53

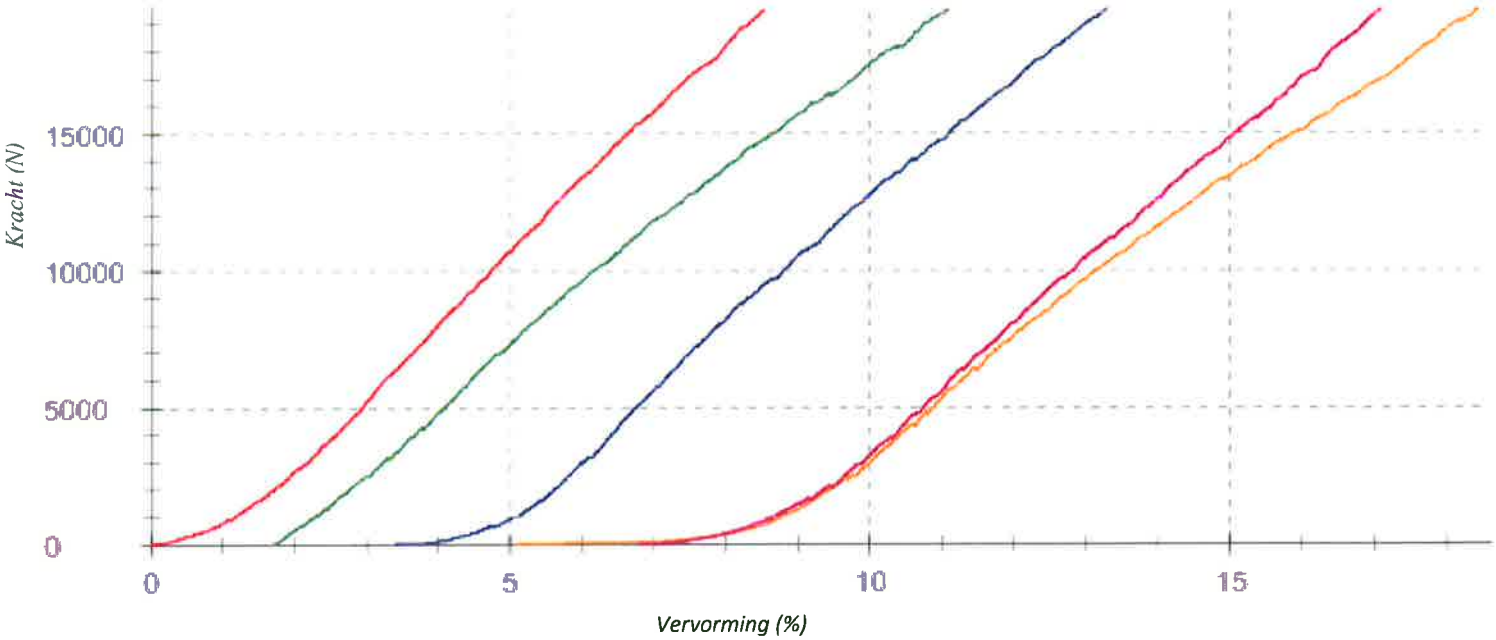
Tabel 7a

Proefstuk nr.	Spanning (kPa)	Relatieve vervorming (%)
1	34	2
2	26	
3	29	
4	24	
5	29	
Gemiddelde	28	2

Tabel 7b

Bij deze proef werd de capaciteit van de gebruikte pers (20 kN) bereikt. De maximale toegepaste kracht komt overeen met een spanning van 122 kPa. De spanning die overeenkomt met een vervorming van 2% werd ook bepaald, op vraag van de aanvrager, gezien deze gegevens terug te vinden zijn in de documentatie van gelijksoortige producten. De grafiek druk-vervorming wordt hieronder opgenomen. Om het gedrag bij hogere belastingen te bevestigen en de drukspanning die overeenkomt met een vervorming van 10% te kunnen bepalen werd een laatste proefstuk op een pers met een hogere capaciteit (50 kN) aan een drukproef voorgelegd. Deze meting bevestigt de lineair stijgende kracht bij grotere belastingen, en de grootorde van de spanning voor 10% vervorming.

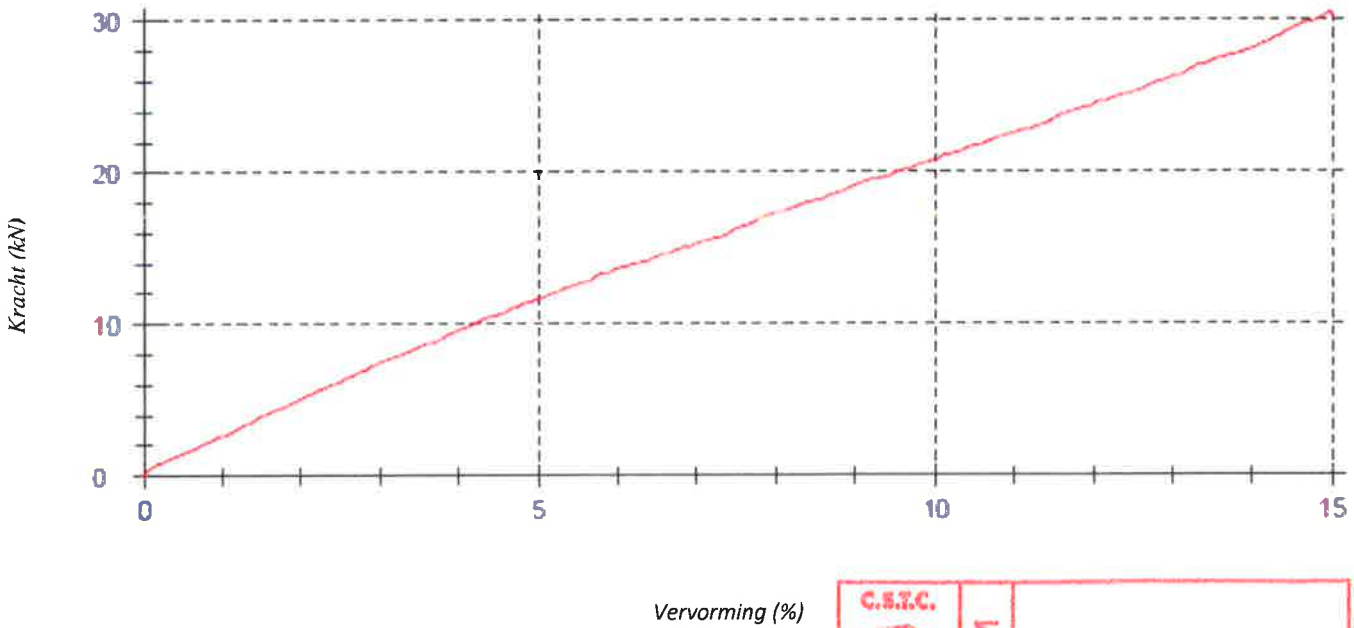




Figuur 3: grafiek druk – vervorming van schelpen Ecoschelp "3-15 mm"

De druksterkte werd dan op de pers van 50kN uitgevoerd (Ecoschelp).

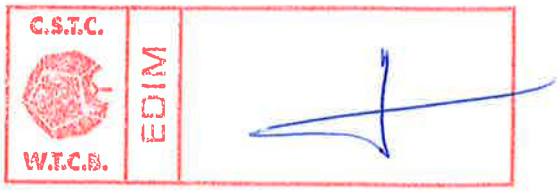
Proefstuk nr. (pers 50kN)	Spanning (kPa)	Vervorming op spanning (%)
1	188	15
1	127	10
1	31	2



Figuur 4: grafiek druk – vervorming van schelpen Ecoschelp "3-15 mm" (pers 50 kN)

C.S.T.C.
W.T.C.B.
EDIT

Uit deze 3 drukproeven kan men de volgende waarnemingen formuleren:
Het mechanische gedrag van het materiaal is zeer verschillend van die van klassieke isolatiematerialen: men ziet geen echte piek of buigpunt, de kracht is steeds stijgend (zelfs zonder verdichting van de proefstukken). Er gebeurt geen zogenaamde breuk. Dit is te wijten aan de aard van het materiaal die compacter wordt tijdens de proef, samen met het feit dat geen horizontale vervorming toegelaten is wegens de houten tank waarin het materiaal wordt gegoten. Wat de druksterkte betreft, blijkt dat hoe meer de schelpen gebroken zijn (hoe kleiner de korrelmateverdeling), hoe groter de druksterkte is. Zo is de spanning op 10% vervorming van de schelpen "3-15 mm" ongeveer dubbel zo groot als die van schelpen gespoten op 10-20 m.
Het is belangrijk te herinneren dat de randvoorwaarden een rol kunnen spelen op de resultaten: hier worden proefstukken van 40 cm x 40 cm gedrukt zonder dat een horizontale uitzetting mogelijk is (wegens de bekisting). Dit is uiteraard gunstig t.o.v. het mechanische gedrag van het materiaal (dat dichter wordt naarmate de belasting stijgt) en zal in de praktijk meestal niet het geval zijn (grotere oppervlaktes tussen eventuele vaste randen).



3. BEREKENING VAN DE REKENWAARDEN VAN DE WARMTEGELEIDBAARHEID VAN HET PRODUCT

In België zijn twee rekenwaarden ("design values") van de warmtegeleidbaarheid van toepassing. Als rekenwaarde wordt die waarde gebruikt waarbij rekening gehouden wordt met de te verwachten temperatuur en vochtgehalte in het materiaal. Zo worden, afhankelijk van de binnen- of de buitenomstandigheden, de volgende rekenwaarden gedefinieerd:

- De λ_{Ui} ***-waarde*** stemt overeen met de binnenomstandigheden en moet gebruikt worden voor materialen in binnenwanden en in buitenwanden in zoverre deze noch door regenindringing, noch door blijvende inwendige- of oppervlaktecondensatie, noch door opstijgend grondvocht, nat kunnen worden. De λ_{Ui} -waarde mag niet gebruikt worden voor materialen die dampdicht ingebouwd worden en die vocht kunnen bevatten (bv. bouwvocht of neerslagwater).
- De λ_{Ue} ***-waarde*** stemt overeen met de buitenomstandigheden en moet worden gebruikt voor alle materialen in buitenwanden, die door regeninslag, blijvende inwendige- of oppervlaktecondensatie of door opstijgend grondvocht nat kunnen worden. De λ_{Ue}-waarde moet eveneens gebruikt worden voor dampdicht ingebouwde materialen die tijdens de uitvoering nat zijn.

Bepaling van de rekenwaarde van de warmtegeleidbaarheid voor binnenomstandigheden

Op basis van de hierboven vermelde metingen, werden de volgende resultaten bekomen (volgens norm EN ISO 10456 : 2007):

- Statistische $\lambda_{90/90}$-waarde in droge staat : 0.1506 W/mK ($\lambda_{90/90}$ is gegeven met een fractiel met een vertrouwensniveau vastgelegd op 90/90);
- Conversiefactor voor vochtigheid $F_{m,1}$=1.0126

De rekenwaarde van de warmtegeleidbaarheid voor binnenomstandigheden bedraagt : $\lambda_{U,i}$ = 0.155 W/mK

Bepaling van de rekenwaarde van de warmtegeleidbaarheid voor buitenomstandigheden

Op basis van de hierboven vermelde metingen, werden de volgende resultaten bekomen (volgens norm EN ISO 10456 : 2007) :

- Statistische $\lambda_{90/90}$-waarde in droge staat : 0.1506 W/mK ($\lambda_{90/90}$ is gegeven met een fractiel met een vertrouwensniveau vastgelegd op 90/90);
- Conversiefactor voor vochtigheid $F_{m,2}$=1.2666

De rekenwaarde van de warmtegeleidbaarheid voor buitenomstandigheden bedraagt : $\lambda_{U,e}$ = 0.195 W/mK

4. THERMISCHE PRESTATIES VAN VERSCHILLENDE SAMENSTELLINGEN VAN VLOER OP VOLLE GROND

4.1. Thermische eisen in het Vlaams Gewest

Tabel 9 geeft de maximaal toelaatbare U-waarden (W/m²K) of minimaal te realiseren R-waarden (m²K/W) van constructiedelen van nieuwe gebouwen in het Vlaams Gewest (ook voor het Brussels Hoofdstedelijk Gewest en het Waals Gewest) (geldig op de datum van opstelling van dit studieverslag).
Voor vloeren op volle grond zijn de eisen :

- Maximale U-waarde : 0.30 W/m²K
- Minimale R-waarde : 1.75 m²K/W (totale warmteweerstand van alle lagen boven de grond, van oppervlakte tot oppervlakte)

Constructieonderdeel	U_{max} (W/m²K)	R_{min} (m²K/W)
1. **SCHEIDINGSCONSTRUCTIES DIE HET BESCHERMDE VOLUME OMHULLEN**, met uitzondering van deze die de scheiding vormen met een aanpalend beschermd volume.		
1.1. TRANSPARANTE SCHEIDINGSCONSTRUCTIES, met uitzondering van deuren en poorten (zie 1.3), lichte gevels (1) (zie 1.4) en glasbouwsteenwanden (zie 1.5)	$U_{w,max}$ = 1.80 $U_{g,max}$ = 1.10	
1.2. OPAKE SCHEIDINGSCONSTRUCTIES, met uitzondering van deuren en poorten (zie 1.3) en lichte gevels (1) (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 vermeld in 1.2.4.	0.24	
1.2.3. muren in contact met de grond		1.50
1.2.4. verticale en hellende scheidingsconstructies in contact met een kruipruimte of met een kelder buiten het beschermde volume		1.40
1.2.5. vloeren in contact met de buitenomgeving [of op een aangrenzende onverwarmde ruimte] (2)	0.30	
1.2.6. andere vloeren (vloeren op de volle grond, boven een kruipruimte of boven een kelder buiten het beschermde volume, ingegraven keldervloeren)	0.30	1.75
1.3. DEUREN EN POORTEN (met inbegrip van het kader)	$U_{D,max}$ = 2.00	
1.4. LICHTE GEVELS (1)	$U_{CW,max}$ = 2.00 $U_{g,max}$ = 1.10	
1.5. GLASBOUWSTEENWANDEN	2.00	
2. **SCHEIDINGSCONSTRUCTIES TUSSEN TWEE BESCHERMDE VOLUMES OP AANGRENZENDE PERCELEN**	1.0	
3. **DE VOLGENDE OPAKE SCHEIDINGSCONSTRUCTIES BINNEN HET BESCHERMDE VOLUME OF PALEND AAN EEN BESTAAND BESCHERMD VOLUME OP HETZELFDE PERCEEL**, met uitzondering van deuren en poorten: 3.1. TUSSEN APARTE WOONEENHEDEN 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	1.0	

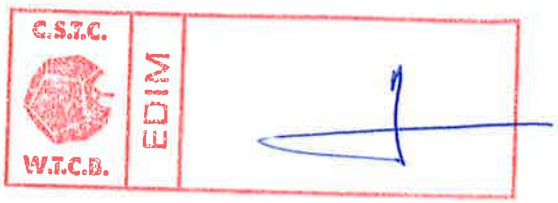
(1) "Gordijngevels" in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest
(2) Waalse Gewest

Tabel 9 : maximaal toelaatbare U-waarden (W/m²K) of minimaal te realiseren R-waarden (m²K/W) in het Vlaams Gewest, het Brussels Hoofdstedelijk Gewest en het Waals Gewest

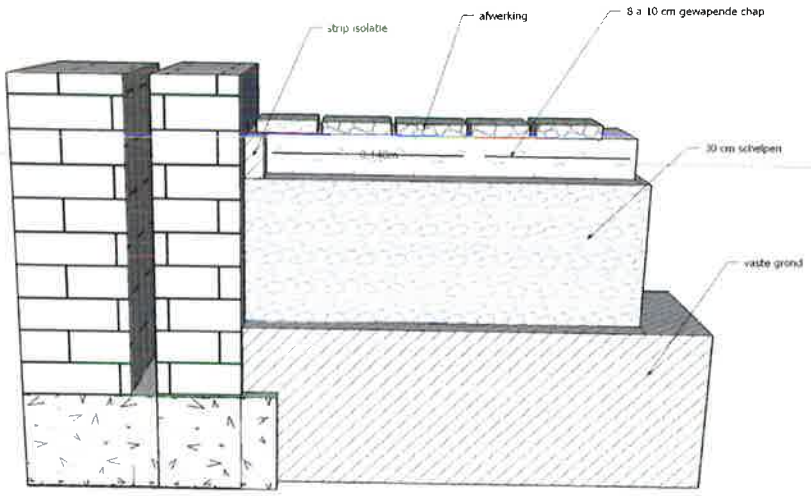
4.2. Berekening van de warmteweerstand van verschillende samenstellingen van vloer op volle grond

Figuur 5, Figuur 6 en Figuur 7 tonen de doorsneden van drie verschillende samenstellingen van vloeren op volle grond. Deze werden door de aanvrager aangeleverd.

De exacte opbouw en de resultaten zijn in tabellen 10, 11 en 12 weergegeven.
De waarden van de warmtegeleidbaarheid voor de chape en afwerking komen uit het 'transmissie referentie document', terwijl deze voor de hennep kalk en isolatieplaat direct door de aanvrager zelf aangeleverd zijn.



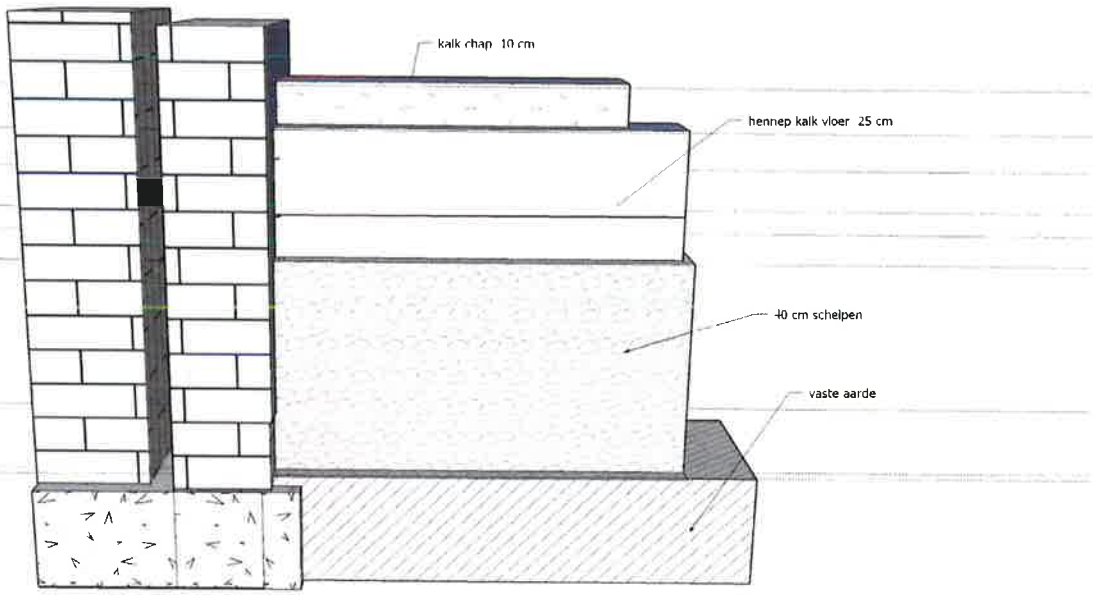
Transmissie referentie document (TRD), Specificaties voor de berekening van de transmissieverliezen in het kader van de energieprestatieregelgeving in het Vlaams Gewest (Belgisch Staatsblad, 08.12.2010).



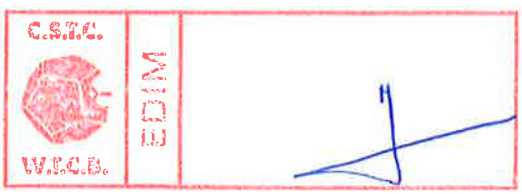
Figuur 5 : samenstelling 1 – grond / schelpen / chape

Lagen	Dikte [m]	lambda [W/mK]	R [m²K/W]
Schelpen	0.300	0.195	1.538
Gewapende chape	0.100	1.300	0.077
Afwerking	0.010	1.200	0.008
		R_T :	1.624 m²K/W

Tabel 10 : samenstelling 1 – berekening van de totale warmteweerstand (van oppervlakte tot oppervlakte)

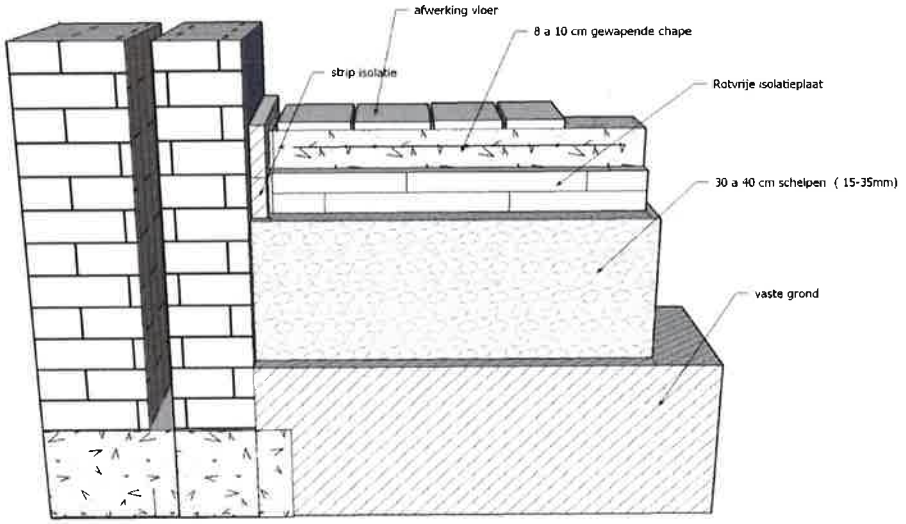


Figuur 6 : samenstelling 2 – grond / schelpen / hennep kalk / chape



Lagen	Dikte [m]	lambda [W/mK]	R [m²K/W]
Schelpen	0.400	0.195	2.051
Hennep kalk	0.250	0.070	3.571
Kalk chape	0.100	1.300	0.077
Afwerking	0.010	1.200	0.008
		R_T :	5.708 m²K/W

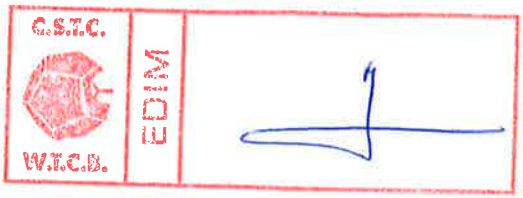
Tabel 11 : samenstelling 2 – berekening van de totale warmteweerstand (van oppervlakte tot oppervlakte)



Figuur 7 : samenstelling 3 – grond / schelpen / isolatieplaat / chape

Lagen	Dikte [m]	lambda [W/mK]	R [m²K/W]
Schelpen	0.300	0.195	1.538
Isolatieplaat (kurk)	0.100	0.040	2.500
Gewapende chape	0.100	1.300	0.077
Afwerking	0.010	1.200	0.008
		R_T :	4.124 m²K/W

Tabel 12 : samenstelling 3 – berekening van de totale warmteweerstand (van oppervlakte tot oppervlakte)



4.3. Bespreking

De berekeningen van de warmteweerstand van de vloeren zijn enkel geldig indien het grondwater lager is dan de bovenoppervlakte van de vaste grond.

In de huidige studie wordt de thermische eis beoordeeld in termen van de minimale R-waarde van 1.75 m^2K/W.
Samenstelling 1 voldoet niet aan de eis. De toevoeging van een isolatieplaat of de verhoging van de dikte van de schelpenlaag (dikte > 33 cm) is nodig om aan de eis te voldoen.
Samenstellingen 2 en 3 voldoen wel aan de eis.

Zoals reeds hierboven vermeld, werden de drie samenstellingen door de aanvrager zelf voorgesteld.
Het WTCB wenst toch de aandacht te vestigen op de volgende punten:

- Om een goede draagkracht te bekomen en verzakkingen te vermijden, lijkt de veiligste oplossing om een betonnen draagvloer te voorzien. In de opbouw van Ecoverbo dient deze dan gerealiseerd te worden door de schelpenlaag (fijne schelpen), welke volgens Dhr. Depreeuw van Ecoverbo in combinatie met een gewapende dekvloer zou moeten volstaan. Wij denken dat het moeilijk is om in dergelijk geval steeds een voldoende stabiele opbouw te kunnen waarborgen (tenzij de dekvloer een dusdanige samenstelling heeft en wapening bevat, dat deze neigt naar een betonvloer).
- Het gebruik van houtderivaten (samenstelling 3) zoals kurkplaten in een milieu dat langdurig vochtig kan zijn, lijkt ons zeker niet risicoloos.
- Verder moet men er ook rekening mee houden dat dikkere, vochtbevattende lagen onder de vloerbekleding (zoals in casu) een lange drooglijd hebben. A fortiori wanneer deze naderhand moeten bekleed worden met een relatief dampdichte vloerafwerking, zal men dan een zeer lange droogtijd moeten respecteren, welke niet steeds gewenst is (en in de praktijk ook vaak niet gerespecteerd wordt).
- Dergelijke dikke lagen kunnen ook een grotere krimpwerking met zich meebrengen, waardoor de kans op scheurvorming in een stijve vloerafwerking of rimpelvorming in een soepele vloerafwerking zal toenemen.

5. MECHANISCHE PRESTATIES VAN VLOEREN

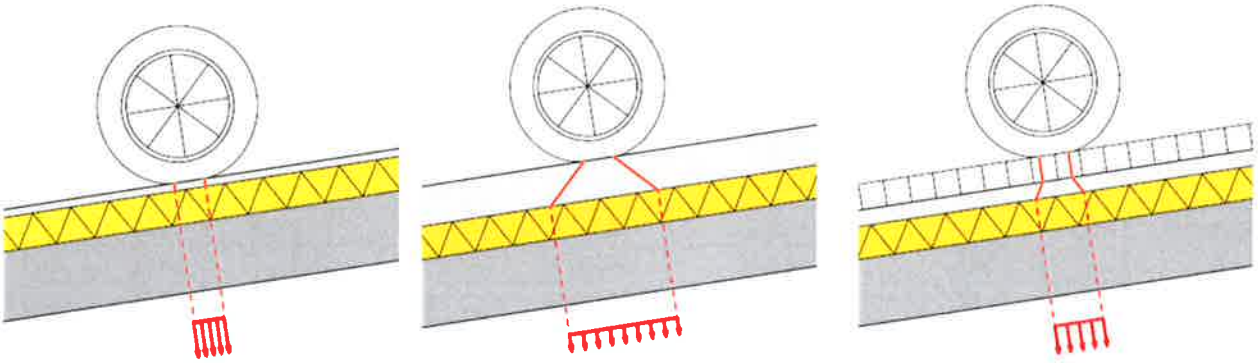
Op basis van de drukproeven en verschillende hypotheses kan de aan de schelpen overgebrachte drukspanning geschat worden. De Eurocode En 1991-1-1 en zijn nationale bijlage (ANB) geeft, voor vloeren, twee verschillende types belastingen: een verdeelde belasting q_k voor de algemene effecten en een punctuele belasting Q_k voor de lokale effecten. Deze belastingen bedragen:

- Voor woningen
  - q_k = 2 kN/m²
  - Q_k = 2 kN op een vierkant van 50 mm x 50 mm (= 800 kPa)
- Voor burelen:
  - q_k = 3 kN/m²
  - Q_k = 3 kN op een vierkant van 50 mm x 50 mm (= 800 kPa)

De belasting van 2 kN/m² voor de geteste producten, komt overeen (op korte termijn) met een vervorming van 0.05 %, dus 0.125, 0.15 en 0.20 mm resp. voor de diktes van 25, 30 en 40 cm gemeld op samenstellingen 1 tot 3. Om de vervorming op lange termijn te bepalen onder deze constante belasting zouden kruipproeven noodzakelijk zijn.
De bepalende belasting voor de vervorming zal ongetwijfeld Q_k zijn, omdat deze overeenkomt met een grotere spanning (op een beperkt oppervlakte).
Om een idee van de vervorming van de laag schelpen te hebben moet men eerst de overgebrachte spanning schatten. Bij gebrek aan een gedetailleerde berekening (punctuele belasting op een stijve laag boven een soepele ondergrond) kan men vertrekken van een lastenverdelingshoek in de bovenliggende laag.

W.T.C.B.

Voorbeelden ervan zijn hoeken van 45° voor een beton en 30° voor een laag niet-gebonden granulaten (zie uitleg op fig. 8, uit de TV parkeerdaken in opstel). Bij gebrek aan de mechanische eigenschappen van de dekvloer in samenstellingen 1 tot 3 kan de berekeningen uitgevoerd worden met 30° (veilig) en 45° (gewapende dekvloer met voldoende druksterkte, vergelijkbaar met een beton). Beide vermelde diktes 8 cm en 10 cm worden beschouwd. Men rekent geen lastenverdeling in de andere lagen (hennep-kalk en isolatie). Figuur 9 hieronder legt de redenering uit. Men vertrekt dus van een belasting van 2 (woning) of 3 (bureel) kN op een oppervlakte van 5 cm x 5 cm (A1). Men kan zich inbeelden dat, met het principe van de verdelingshoek, A2 meer als een schijf lijkt dan als een vierkant (zie afb. 9). Tabel 13 hieronder geeft

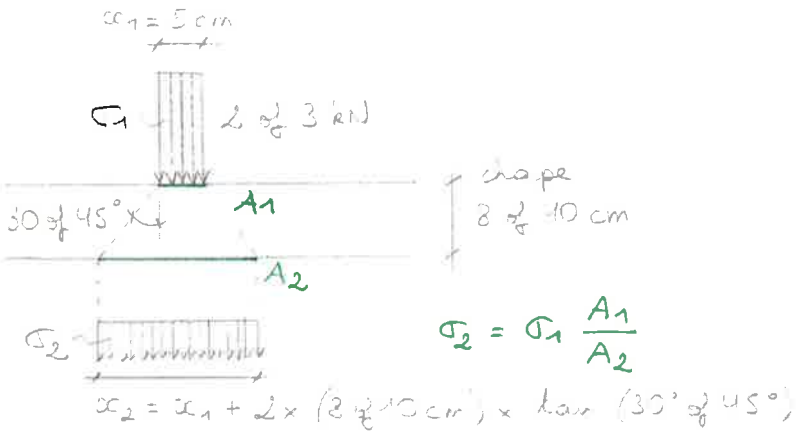


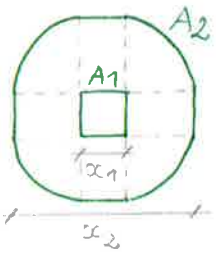
Dun en/of weinig stijf afwerkingssysteem
→ belastingen rechtstreeks doorgegeven
→ verdelingshoek ≈ 0°

Dik stijf afwerkingssysteem
→ vermindering overgebrachte spanningen
→ verdelingshoek ≈ 45° voor beton

Lebged van klinkers (niet gebonden zand bv.)
→ verdelingshoek ≈ 30° in legbed (0° in klinkers)

Figuur 8 ***(uittreksel draft TV parkeerdaken)***





$A_1 = x_1^2$

$A_2 = \pi \cdot \frac{x_2^2}{4}$

Figuur 9

C.S.T.C.
W.T.C.B.
EDIM

Dit geeft de volgende geschatte spanningen aan de oppervlakte van de laag schelpen:

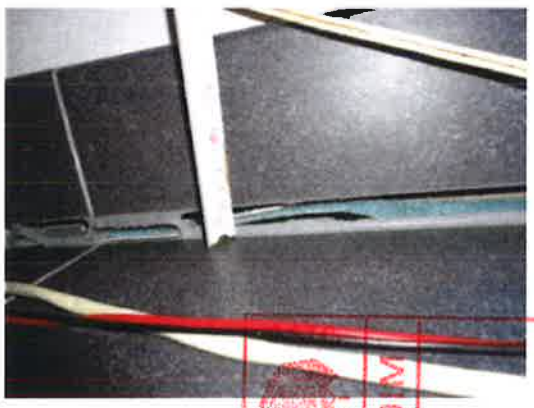
Spanning = 2 of 3 kN / {(5 cm + 2 x 8 cm of 10 cm x tan (30° of 45°))^2 x π/4}

Ecoschelp 3-15mm								
Belasting	Dikte chape	Verdelings-hoek	Oppervlakte (cm^2)	Spanning (kPa)	Geschatte vervorming (%)	Geschatte vervorming (mm) voor een dikte van		
						25 cm	30 cm	40 cm
Woningen 2 kN	8 cm	30°	159.2	125.6	9.76	24.4	29.3	39.0
		45°	346.4	57.7	3.90	9.8	11.7	15.6
	10 cm	30°	215.0	93.0	6.92	17.3	20.8	27.7
		45°	490.9	40.7	2.67	6.7	8.0	10.7
Burelen 3 kN	8 cm	30°	159.2	188.4	14.99	37.5	45.0	60.0
		45°	346.4	86.6	6.29	15.7	18.9	25.2
	10 cm	30°	215.0	139.5	11.07	27.7	33.2	44.3
		45°	490.9	61.1	4.15	10.4	12.5	16.6

Tabel 13

De op basis van de druktesten geschatte vervormingen bedragen tussen 2.5 % en 10 % (woningen) en tussen 4% en 12% (burelen). Voor een laag schelpen met een dikte van 25, 30 en 40 cm zoals vermeld op de samenstellingen 1 tot 3 komt dit overeen met vervormingen van 7 tot 60 mm.
Het gaat hier dus om de vervorming van de laag schelpen alléén (op een stijve ondergrond, en tussen stijve wanden). De eventuele vervorming van de ondergrond moet nog toegevoegd worden.

Tot nu toe zijn er geen specifieke criteria voor de aanvaardbare vervorming (in verband met de toepassing) maar sommige documenten spreken van een maximale vervorming van 5mm (woningen) en van 2mm (burelen) op lange termijn [zie artikel WTCB-Contact 2010/04.12]. Deze vervormingen zijn gebaseerd op praktische redenen: 5mm vervormingen zijn zichtbaar en kunnen zeker schade aan de andere lagen doorgeven (waterinfiltraties, zichtbare ruimte tussen de vloerbetegeling en plint, gebroken vloertegels, ... zie voorbeelden op fig. 10).
De uitgevoerde metingen en berekeningen (schattingen) tonen dat de vervormingen al 3 à 10% (4 à 15 voor burelen) kunnen bereiken, op korte termijn, wat overeenkomt met absolute waarden van 6 tot 60 mm. In de praktijk is er een risico dat de vervormingen nog groter zijn, rekening houdend met het langdurige karakter van de belastingen (kruipeffect), en met het verschil in de randvoorwaarden (geen zijdelingse ondersteuning zoals bij de proefstukken in houten bekistingen). De vervormingen zouden dus (nog meer) onaanvaardbaar worden voor een dergelijke toepassing.



Figuur 10

WTCB EDM