

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

Masterproef

Prestaties en rendabiliteit van het ICF-bouwsysteem

Promotor :
ir. Dieter VANLOMMEL

Promotor :
ing. LODE ROSVELDS

Jelle Timmers
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

Prestaties en rendabiliteit van het ICF-bouwsysteem

Promotor :
ir. Dieter VANLOMMEL

Promotor :
ing. LODE ROSVELDS

Jelle Timmers

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

Dankwoord

Om de realisatie van deze masterproef mogelijk te maken zijn er een aantal personen op wie ik kon steunen. Zonder hun hulp en steun was dit niet mogelijk geweest. In dit dankwoord wil ik deze mensen persoonlijk bedanken.

In de eerste plaats wil ik de Universiteit Hasselt bedanken om mij de kans te geven deze opleiding te vervolledigen. Doorheen de jaren heeft deze opleiding mij gevormd tot de persoon die ik vandaag ben.

Als 2^{de} wil ik mijn interne promotor, Ir. Dieter Vanlommel en mijn externe promotor Ing. Lode Rosvelds bedanken voor hun feedback, opbouwende kritiek en expertise doorheen de verwezenlijking van deze masterproef. Hun bijdrage was noodzakelijk voor de realisatie van mijn masterproef, waarvoor dank.

Ook docent Ing. Wesley Ceulemans wil ik bedanken voor het enthousiasme waarmee hij mijn specifieke vragen in verband met bouwfysica beantwoordde.

Een speciaal dankwoord gaat uit naar mijn ouders. Zonder hun onvoorwaardelijke steun en geloof had ik deze studie nooit kunnen aanvatten en afronden.

Voorts wil ik ook mijn vriendin, zus en vrienden bedanken voor ontspanning en motivatie die ze mij telkens gaven om door te zetten.

Abstract

In deze eindproef wil ik een beter zicht creëren in een innovatief bouwsysteem voor de Belgische bouwmarkt. Het betreft Insulated Concrete Forms bouwsysteem of ICF-bouwsysteem.

Om een beeld te verkrijgen van het ICF-bouwsysteem zal dit systeem eerst uitvoerig besproken worden. Volgende thema's worden aangesneden: Stabiliteit, thermische & akoestische eigenschappen en luchtdichtheid. Deze onderwerpen worden zowel theoretisch als praktisch benaderd.

Doel is om het systeem te integreren en vergelijking met meer traditionele methodes aanwezig op de Belgische markt. Dit om een inzicht te krijgen in de voor- en nadelen van het systeem en zijn toepassingen

De realisatie van zo een vergelijking wordt bekomen door middel van een casestudie, vertrekkende van een project in uitvoering met kalkzandsteentoepassing.

Abstract

In this thesis I would like to give a better view on an innovative building system for the Belgium market. ICF-building module or insulated concrete forms building system.

By comparing this product theoretically and practically with other more traditional building methods used in Belgium we can draught an equation between ICF and the other building methods.

To get a realistic image of ICF-module we'll first make a detailed description of the product. The following themes will treated: Stability, thermic and acoustic features and air-proof. These subjects will be theoretically and practically approached.

Goal is to integrate the system in the Belgium market and compare it with more traditional methods in Belgium. This all to get a better view on the advantages en disadvantages of the system.

The comparison will be realized using a case study. Study will be based on a project in execution with sand-lime brick.

Afkorting en symbolen

ICF: Insulated concrete forms

°C: Graden celcius

Kg: Kilogram

N: Newton

mm²: Vierkante millimeter

m³:kilogram per kubieke meter

m: meter

W: Watt

m²: Vierkante meter

K: Kelvin

d: Dikte

λ : Lambda-waarde

EPB: Energieprestaties en binnenklimaat

ca: Circa

mm: millimeter

p'd: verzadigingsdampdruk

pd: onderstelde dampdruk

L_{pz}: Geluidsdrukkniveau zendruimte

L_{po}: Geluidsdrukkniveau ontvangstruimte

dB: Decibel

Pa: Pascal

u of h: Uur

€: Euro

Inhoudsopgave

Dankwoord	1
Abstract.....	3
Abstract.....	5
Afkortingen en symbolen.....	7
Inhoudsopgave.....	9
1 Inleiding	13
1.1 Onderzoeksvraag	13
2 Literatuurstudie.....	15
2.1 Dragend metselwerk.....	15
2.1.1 Beschrijving	15
2.1.1.1 Snelbouwstenen	16
2.1.1.2 Betonblokken	17
2.1.1.3 Kalkzandsteen/silicaatsteen.....	19
2.1.2 Europese normering	21
2.1.2.1 Druksterkte	21
2.1.2.2 Afschuifsterkte.....	23
2.1.2.3 Buigsterkte	23
2.2 Insulated Concrete Formed (ICF)	24
2.2.1 Beschrijving	24
2.3 Thermische isolatie.....	26
2.4 Akoestische isolatie	29
2.5 Brandgedrag.....	30
2.5.1 Reactie bij brand.....	30
2.5.2 Brandwerendheid	32
3 Onderzoek	35
3.1 Wat is E-block.....	35
3.1.1 Materialen	37
3.1.1.1 Isolierend materiaal	37
3.1.1.2 Webs en strips.....	38

3.1.1.3	Draagconstructie.....	38
3.2	Werkwijze	39
3.2.1	Studie.....	39
3.2.2	Vorbereiding	40
3.2.3	Uitvoering	42
3.3	Stabiliteit	45
3.3.1	Europese normering	45
3.4	Thermische & akoestische eigenschappen.....	46
3.4.1	Thermische eigenschappen.....	46
3.4.1.1	Inwendige condensatie	49
3.4.2	Akoestische eigenschappen	66
3.4.2.1	Geluidabsorptie.....	68
3.4.2.2	Luchtgeluidisolatie.....	68
3.5	Luchtdichtheid	74
3.5.1	Meting	75
3.5.2	Meting in situ.....	77
3.5.3	Conclusie	78
4	Case.....	79
4.1	Het project: De Zagerij Overijse.....	80
4.2	Financieel.....	81
4.2.1	Verticaal transport.....	82
4.2.2	Woning scheidende wanden.....	84
4.2.2.1	Originele wandopbouw.....	84
4.2.2.2	ICF-opbouw.....	86
4.2.3	Buitenwanden.....	87
4.2.3.1	Originele wandopbouw.....	87
4.2.3.2	ICF-opbouw.....	89
4.2.4	Conclusie	90
4.3	Invloed op U-waarde	91

4.3.1	Woning scheidende wanden.....	91
4.3.2	Buitenwanden.....	93
4.3.3	Conclusie	95
4.4	Invloed op akoestiek.....	96
4.4.1	Conclusie	96
5	Besluit	97
6	Bibliografie	99
6.1	Documentatie	100
7	Bijlage	101
	Bijlage A – Dampspanningtabel.....	103
	Bijlage B – Resultaten inwendige condensatie.....	105
	Bijlage C – WTCB proefverslag akoestiek.....	107
	Bijlage D – Luchtdichtheidsmeting.....	111

1 Inleiding

Door de toenemende werkdruk en werkkosten is het voor aannemer/bouwheer interessanter om het bouwproces zo snel en goed mogelijk af te ronden. Ook de technologie in de bouwwereld staat niet stil, maar in België zit men vastgeroest in de traditionele werkmethodes en materialen. Hierdoor wordt de overschakeling naar andere, snellere methodes niet geaccepteerd.

In een markt waar gebouwen en andere constructies steeds sneller, hoger, beter, ... moeten worden zijn de loonlasten voor aannemer of bouwheer een reden tot innovatief werken. Alleen mist men in vele gevallen kennis en ervaring om deze innovatieve producten te integreren in hun uitvoeringsmethode.

1.1 Onderzoeksvraag

Prestaties en rendabiliteit van het ICF-bouwsysteem

Kumpen NV wil een introductie van het product in de Belgische bouwwereld. Waar staat het product qua prestaties en kostprijs ten opzichten van de meer traditionele methoden?

Er zijn verschillende methoden om gebouwen uit te voeren. Welke methode de voorkeur draagt is afhankelijk van een aantal facetten zoals: voorkeur bouwheer/architect, beschikbaarheid van materiaal, functionaliteit van het gebouw, omgeving enzovoort. Vaak wordt er gekozen voor de meer traditionele methodes, hiermee heeft elke partij (architect, studiebureau en aannemer) het meeste ervaring en kan men op basis van voorgaande projecten de toekomstige werken met een hoog rendement afhandelen.

Deze manier van denken zorgt ervoor dat meer innovatieve producten moeilijk hun weg vinden in de bouwwereld. Dit is zeker het geval voor België waar men qua innovatief en vooruitstrevend bouwen toch enkele stappen achterloopt op de ons omringende landen.

Niet enkel de prestaties van het bouwsysteem zijn belangrijk voor de partijen betrokken bij het verwezenlijken van een constructie. Het kostenplaatje blijft in alle opzichten het belangrijkste uitgangspunt voor de keuze van bouwmaterialen.

Om die reden wil men vanuit Kumpen een onderzoek doen naar de prestatie en kostprijs van ICF-bouwsysteem ten op zichte van het traditioneel metselwerk. Ik ga dit doen aan de hand van een bepaald type van ICF-blokken namelijk: E-block, een product van de Amerikaanse firma NUDURA.

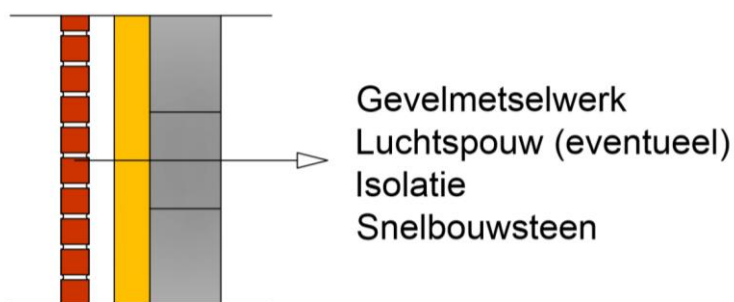
2 Literatuurstudie

2.1 Dragend metselwerk

2.1.1 Beschrijving

De meest bekende bouwmethode is het metselwerk. Standaard gaat men een muur opbouwen uit een binnenwand, isolatie, eventueel luchtspouw en gevelafwerking.

Er zijn vele varianten op deze methode maar algemeen kan men stellen dat een standaard metselwerk er zo uit ziet:



Deze manier van bouwen of een variant hiervan is een van de populairste methodes voor woningen in België. Doordat hiermee al verschillende jaren wordt gewerkt is het voor aannemers gemakkelijk om mensen te vinden die ervaring hebben met deze uitvoeringsmethode.

Men kan bij metselwerk kiezen voor verschillende materialen voor de opbouw van de dragende binnenwanden. Keuze van welk materiaal is afhankelijk van de belasting die de wand moet dragen en andere eigenschappen die gewenst zijn door de bouwheer/architect zoals akoestische eigenschappen, flexibiliteit, beschikbaarheid,...

2.1.1.1 Snelbouwstenen

De snelbouwsteen bestaat uit klei. De blok wordt op een temperatuur van minimaal 950°C gebrand. Dit proces zorgt voor de hardheid van de blok.

De technische specificaties van een snelbouwsteen uit klei zijn afhankelijk van de producent en het productieproces.

Door zijn beperkt gewicht, nl. 4.5 kg/blok, is het makkelijk verwerkbaar en makkelijk transporteerbaar zowel naar de werf als op de werf.

Snelbouwsteen is een natuurlijk product dat in het productieproces geen additieven nodig heeft, hierdoor kan het na gebruik volledig gerecupereerd worden en bijgevolg is het dus minder belastend voor het milieu. Het is ook een vormvast product zodat er weinig kans is op scheurvorming.

Geen enkel product is perfect dus ook aan snelbouwstenen zijn er een aantal nadelen verbonden. Zo zal omwille van de droogtijd slechts een beperkte hoogte mogelijk zijn bij dagproductie. Ook is de draagkracht van de deze stenen niet zo hoog als bij hun betonnen variant.

In vergelijking met volle betonblokken of gestort beton zijn snelbouwstenen goedkoper per m². Het wordt daarom vaak toegepast en het kent dan ook voor de meeste algemeen aannemers geen geheimen meer.

1



¹ Opbouw metselwerk met snelbouwsteen,
http://www.baksteen.be/prod_snelbouwstenen.html, 20/09/2013

2.1.1.2 Betonblokken

Betonblokken bestaan uit dezelfde bestanddelen als gewoon beton, nl. zand, granulaten, cement en water. Na het mengen van de bestanddelen wordt het beton in mallen gegoten en laat men deze uitharden. Men kan kiezen tussen volle of holle betonblokken. De blokken zijn in alle mogelijke vormen verkrijgbaar en daardoor interessant voor complexere constructies. Karakteristieke druksterkte van een betonblok varieert van 10 N/mm² en 15 N/mm² voor hoge druk blokken. Grotere druksterktes kunnen bekomen worden door de betonsamenstelling aan te passen naar de gewenste eisen. Betonblokken hebben een hoog soortelijk gewicht, nl. 2050 kg/m³. Dit is natuurlijk afhankelijk van welk type en welk soort blokken men kiest. Door vorstweerstand zal men voor constructies onder maaiveld kiezen voor betonblokken in plaats van snelbouwstenen. Doordat de betonblokken kunnen uitzetten moet men dilatatie- of uitzettingsvoegen voorzien. Dit zijn voegen die men om de 6-8m laat terugkomen om de uitzetting van het beton toe te laten. Aangezien het gaat over een betonproduct, is ook voor dit product een BENOR-keurmerk een verplichting. Dit keurmerk verzekert de kwaliteit van het product. Aangezien het hier gaat om een product dat uitsluitend uit natuurlijke materialen gaat is het dus ook 100% recycleerbaar.

Als men gaat kijken naar het akoestisch aspect van de bouw zal een betonblok een beter akoestische isolatie vormen dan een snelbouwsteen daar hij een grotere massa heeft.

Zoals eerder vermeld moet er rekening gehouden worden met een uitzettingsvoeg, doordat het materiaal krimpgevoelig is. Tevens zijn er nog enkele praktische problemen die het werken met een betonblok met zich meebrengt. Zo zal het gewicht een grote rol spelen bij het plaatsen van de blok. In een later stadium van de bouw zal het inwerken/inslijpen van leidingen eveneens een hele opgave zijn.



² Wandopbouw uit betonblokken,
<http://betonproductencollabeton.be/nl> , 20/09/2013

2.1.1.3 Kalkzandsteen/silicaatsteen

Kalkzandsteen is een mengsel dat bestaat uit zand, ongebluste kalk en water. Het zand wordt meestal gewonnen uit zandgroeven nabij de productiefabriek. Het kalk bekomt men door het verbranden van kalksteen.

Om de kwaliteit van de stenen te garanderen is een juiste dosering van de bestanddelen van essentieel belang. Wanneer de juiste hoeveelheden samen worden gebracht in de reactor zal na een paar uur tijd de kalk uitgeblust zijn, hieronder verstaat men het toevoegen van water aan gebrande kalk. Bij dit proces komt er veel warmte vrij. Na dat de kalk is uitgeblust kan men de grondstoffen mengen.

Na het mengen wordt het mengsel geperst in de gewenste vormen waarna het wordt verplaatst naar een verhardingsketel. Deze zal door middel van warme stoom (180°C-200°C) onder hoge druk de specie verharden tot kalkzandsteen.

Zoals eerder vermeld kan men de bouwfysische eigenschappen van de kalkzandsteen aanpassen naargelang de wensen van de klant.

Net als beton treden er in kalkzandsteen krimpspanningen op. Het is dus bij de uitvoering noodzakelijk om dilatatievoegen te plaatsen om scheuren te vermijden.

Kalkzandsteen heeft enkele voordelen ten opzichte van beton en/of snelbouwstenen waardoor het in de afgelopen jaren aan populariteit heeft gewonnen. Ze hebben een goede warmte-accumulatie, goede akoestische eigenschappen.

Ze kunnen ook verlijmd worden waardoor de aanwezigheid van bouwvocht opmerkelijk zal dalen. Nadeel van dit is alles is dat het een zwaar en hard materiaal is, dus moeilijk verwerkbaar. Het mag ook niet gebruikt worden in agressieve omgevingen omdat hier de aantasting onvermijdelijk is. Zoals in het hoofdstuk akoestische isolatie zal aangehaald worden dat goed akoestische eigenschappen meestal gepaard gaan met slechte thermische eigenschappen is deze regel ook voor kalkzandsteen van toepassing.



³ Wandopbouw uit kalkzandsteen, www.calduran.nl , 03/10/2014

2.1.2 Europese normering

Voor de regelgeving omtrent metselwerk moet men opzoek gaan in de Eurocode 6: Ontwerp en berekeningen van constructies van metselwerk⁴.

2.1.2.1 Druksterkte

De karakteristieke druksterke van het metselwerk kan men bekomen door proeven uit te voeren zoals voorgeschreven in NBN EN 1052-1 of door gebruik te maken van de vergelijking:

$$f_k = K * f_b^{\alpha} * f_m^{\beta}$$

f_k : Karakteristieke druksterkte van het metselwerk. [N/mm²]

K: Constante vermeld in de tabel 3.8 - ANB

f_b : Genormaliseerde gemiddelde druksterkte van de metselstenen in de richting van de effectief aangrijpende kracht in N/mm² volgens NBN EN 772-1:2000.

α & β : Constanten, vermeld in tabel 3.8 – ANB

f_m : Druksterkte van de mortel. [N/mm²]

Er bestaan 6 Europese productnormen voor metselwerkstenen:

NBN EN 771-1	Metselbakstenen
NBN EN 771-2	Kalkzandstenen
NBN EN 771-3	Betonmetselstenen
NBN EN 771-4	Geautoclaveerde cellenbetonstenen
NBN EN 771-5	Kunststeen
NBN EN 771-6	Natuursteen

In deze normen worden de eisen gesteld aan de producten. Elk product is verplicht om aan deze eisen te voldoen aangezien er anders geen CE-markering uitgereikt mag worden.

Producenten van metselstenen zijn verplicht om de druksterkte en categorie van hun stenen te declareren. De druksterkte van het product wordt bepaald aan de hand van proeven. De druksterktewaarde en conditioneringswijze van de proeven worden

⁴ Eurocode 6: Ontwerp en berekeningen van constructies van metselwerk,
<http://edu.mynbn.be> ,03/10/2014

beschreven in de proefnormen en zijn afhankelijk van het materiaal. De proefnorm voor het bepalen van de druksterkte is de NBN EN 772-1.

Verder kan men ook een genormaliseerde druksterkte opleggen. Deze druksterkte wordt berekend door middel van volgende formule:

$$f_b = \delta \cdot \delta_c \cdot f_{\text{mean}}$$

f_b : Genormaliseerde gemiddelde druksterkte van de metselstenen in de richting van de effectief aangrijpende kracht. [N/mm²]

δ : Vormfactor van de metselsteen volgens bijlage A van de NBN EN 772-1

δ_c : Conditioneringsfactor volgens bijlage A van de NBN EN 772-1

f_{mean} : Gemiddelde druksterkte van de metselstenen, bepaald volgens NBN 772-1

De druksterkte van de mortels vindt men terug in tabel 3.7 – ANB, dit is een de tabel voor niet-normatieve informatie omtrent mortelsamenstellingen voor mortel voor algemene toepassingen.

2.1.2.2 Afschuifsterkte

De karakteristieke afschuifsterkte f_{vk} wordt bepaald door middel van proeven in overeenstemming met EN 1052-3 of EN 1502-4.

De karakteristieke afschuifsterkte kan theoretisch bepaald worden door gebruik te maken van volgende formule:

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0.4 \sigma_d \leq 0.065 f_b$$

f_{vk0} : Karakteristieke initiële afschuifsterkte zonder drukspanning.

Tabel .3.4 NBN EN 1996-1-1+A1

σ_d : Drukspanning loodrecht op de afschuiving.

f_b : Genormaliseerde gemiddelde druksterkte van de metselstenen in de richting van de effectief aangrijpende kracht. [N/mm²]

2.1.2.3 Buigsterkte

Deze wordt in 2 richtingen bepaald, bezwijkvlak evenwijdig met de voegen en het bezwijkvlak loodrecht op de voegen. De karakteristieke waarde van buigsterkte wordt bepaald op basis van testresultaten volgens NBN EN 1502-2 of door gebruik te maken van tabel 3.10 – ANB.

2.2 Insulated Concrete Formed (ICF)

Het ICF-bouwsysteem valt onder de noemer van betonwanden. Om deze categorisering beter te begrijpen zal in het volgende hoofdstuk een beschrijving gegeven worden.

Men heeft voor dit onderzoek gekozen om uit te gaan van de E-block, dit is de Belgische naam het ICF-systeem van NADURA.

2.2.1 Beschrijving

Het ICF-bouwsysteem is in de jaren 50 ontwikkeld in Duitsland, hierna werd het steeds populairder in Noord-Amerika waar het in het begin vooral werd gebruikt voor de constructie van kelders en later ook voor laagbouw woningen, winkels en appartementen. Door gebruik te maken van standaardmaten kan men modulair te werk gaan. Door het modulair-systeem is het mogelijk om de ICF-blokken eenvoudig op elkaar te stapelen. Men zal voor uitvoering de nodige aandacht moeten schenken aan de uitvoeringsdetails zodat men optimaal gebruik maakt van het systeem. In een later hoofdstuk zullen we terug komen op het meer technische aspect van dit onderzoek.

ICF of Insulated Concrete Forms – bouwsysteem is gebaseerd op holle lichtgewicht blokken bestaande uit isolerend materiaal. Er zijn verschillende soorten isolatie beschikbaar voor het ontwikkelen van deze verloren bekisting.

Het systeem dat men verder gaat onderzoeken maakt gebruik van EPS. De ruimte gecreëerd door de panelen wordt na plaatsing van de blokken gevuld met beton.

Zoals te zien op onderstaande foto worden de 2 isolatiepanelen samengehouden door plastic webs, deze zullen bij het vullen van de blokken met beton ervoor zorgen dat er geen horizontale verplaatsing van de panelen mogelijk is. De webs zijn eveneens voorzien van openingen voor het wapenen van beton indien mogelijk.



Het ICF-systeem heeft zowel voor- als nadelen ten opzichte van de meer traditionele bouwmethoden.

- Voordelen:
 - Luchtdichtheid
 - Vocht – en koudebrug vrij (indien goede voorstudie en correcte uitvoering)
 - Isolierend vermogen
 - Snelle uitvoering
- Nadelen:
 - Weinig expertise in België
 - Zwaardere fundering (Constructie volledig in beton is zwaarder dan in metselwerk)

⁵ E-block, www.e-block.be, 07/10/2014

2.3 Thermische isolatie

Met het thermisch isoleren van een gebouw heeft men 2 belangrijke doelen voor ogen.

Men wil een aangenaam warmte/leefcomfort creëren voor de bewoner zonder veel fluctuaties tijdens de verschillende seizoenen, men wil zorgen voor een energiezuinige woning. Men gaat er voor zorgen dat er zo minimaal mogelijk verbruik is van milieubelastende grondstoffen.

Door gebruik te maken van thermische materialen zal men de thermische energie overdracht tussen 2 zijden van de bouwschil verminderen. Deze energie overdracht is afhankelijk van de warmtegeleidingscoëfficiënt die het materiaal bezit, deze wordt ook wel de λ -waarde genoemd.

Hoe lager deze waarde hoe slechter het materiaal energie zal doorgeven, hoe beter het zal isoleren.

Om de volledige thermische isolatie van een constructie te kunnen berekenen zal men de verschillende materialen per constructiedeel (dak, muur, vloer) in rekening moeten brengen.

De isolatiewaarde per constructie deel wordt uitgedrukt in U-waarde.

$$U = 1/R_{\text{tot}} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \times \text{K})]$$

Met R_{tot} : Totale warmte weerstand van het constructie onderdeel.

$$R_{\text{tot}} = R_{\text{si}} + \sum R_i + R_{\text{su}} + R_{\text{cor}}$$

Met R_i : warmte weerstand van het materiaal = d/λ $[(\text{m}^2 \times \text{K})/\text{W}]$

R_{si} : Warmteweerstand van luchtlaag aan de binnenzijde van de wand

R_{su} : Warmteweerstand van luchtlaag aan de buitenzijde van de wand

R_{cor} : Correctiefactor van -0.1 $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ omwille van plaatsingstolerantie

Warmteovergangsweerstanden volgens NBN EN ISO 6946		
Constructieonderdeel	R_{si} in $m^2.K/W$	R_{se} in $m^2.K/W$
vloeren bij een naar boven gerichte warmtestroom	0,10	0,10
vloeren boven buitenlucht	0,17	0,04
vloeren boven onverwarmde ruimte of kruipruimte	0,17	0,17
uitwendige scheidingsconstructies boven verwarmde ruimte, waarvan de grootste hellingshoek met de horizontale kleiner of gelijk is aan 60° (dus hellende daken)	0,10	0,04
uitwendige scheidingsconstructies grenzend aan buitenlucht of sterk geventileerde ruimte, waarvan de grootste hellingshoek met de horizontale groter is dan 60° (dus buitenmuren, verticaal of voorover/achterover hellend)	0,13	0,04
uitwendige scheidingsconstructies grenzend aan een verwarmde ruimte, waarvan de grootste hellingshoek met de horizontale groter is dan 60° (dus binnen- of scheidingsmuren, verticaal of voorover/achterover hellend)	0,13	0,13
R_{si} = warmteovergangsweerstand aan het binnenoppervlak R_{se} = warmteovergangsweerstand aan het buitenoppervlak		

Op de U-waarde worden volgende de NBN EN ISO 6946 nog 4 correctiefactoren toegepast afhankelijk van specifieke situatie:

- Luchtspleten en holten in isolatielagen: ΔU_g , meer informatie is te vinden in de bijlage D.2 van de NBN EN ISO 6946.
- Mechanische bevestiging van isolatielagen: ΔU_f , meer informatie is te vinden in bijlage D.3 van de NBN EN ISO 6946.
- Invloed van regen op omkeerdaken: ΔU_r , meer informatie is te vinden in bijlage D.4 van de NBN EN ISO 6946.

Wanneer de som van de 3 = ΔU minimaal 3 % bedraagt van de U-waarde zullen de correcties moeten toegepast worden.

$$U_c = U + \Delta U$$

Om de thermische isolatie van een huis te kennen zal men moeten overgaan tot het berekenen van de K-waarde of het K-peil. Deze waarde houdt rekening met transmissieverliezen via muren, daken, vloeren, vensters, bouwknopen enzovoort. De

⁶ Tabel met warmteovergangsweerstanden, NBN EN ISO 6946, 07/10/2014

berekening van het K-peil is een complexe berekening die veelal gebeurt door gespecialiseerde firma's met de nodige kennis en computermodellen.

Hoe hoger het K-peil, hoe minder goed een constructie thermisch geïsoleerd is. Het maximale K-peil wordt in België opgelegd door de gewesten.

Voor Vlaanderen en Brussel geldt:

Voor nieuwbouwwoningen met vergunningsaanvraag of melding vanaf 1 januari 2014

- K-peil max: 40

Voor Wallonië:

- K-peil max: 35

Het K-peil is slechts 1 pijler van het EPB-systeem in België (EPB = EnergiePrestatie en Binnenklimaat).

Voor het binnenklimaat zal men eisen stellen aan het E-peil. Dit peil houdt rekening met de netto-energie behoefte en hernieuwbare energie. Aan het binnenklimaat worden eisen gesteld met betrekking tot ventilatie en oververhitting.

Aangezien dit een zeer gespecialiseerde materie is en verder niet behandeld zal worden in dit onderzoek ga ik hier ook niet verder over uitweiden.

2.4 Akoestische isolatie

Het akoestisch isoleren van een constructie heeft geen enkele invloed op de stabiliteit of energieprestatie, dit wordt enkel gedaan voor het comfort van de gebruiker. Er moet de nodige aandacht besteed worden in de ontwerpfase aangezien het herstellen of verbeteren van het akoestisch comfort veel minder doeltreffend en een dure zaak is.

Men maakt een onderscheid tussen residentiële bouw, scholenbouw en andere.

Voor residentiele woning: NBN S 01-400-01

Voor scholenbouw: NBN S 01-400-02

Voor andere : NBN S01-400:1977 voor lucht- en contactgeluidisolatie

NBN S01-401:1987 Maximale geluidsniveaus

Het is belangrijk om te weten dat voor bouwakoestiek er geen berekenings- of uitvoeringsnormen zijn, er zijn enkel bouwrichtlijnen. Deze hebben dan ook geen wettelijk karakter, iemand die ze niet toepast kan niet vervolgd worden voor niet voldaan aan normen. Dit is het grote verschil met de EPB-regelgeving, hierin worden wel strafmaatregelen besproken.

Akoestische eisen opgesteld in een lastenboek moeten natuurlijk wel gehaald worden!

Akoestisch comfort kan opgesplitst worden in verschillende onderdelen:

- Geluidsabsorptie
- Luchtgeluidisolatie
- Contactgeluidisolatie
- Installatielawaai

Deze eigenschappen worden in een later stadium op basis van een uitgevoerde test besproken.

2.5 Brandgedrag

Er worden door de Europese commissie normen vastgelegd voor het classificeren van alle bouwproducten die bestemd zijn voor consumenten binnen de Europese unie. Er wordt gekeken naar de brandreactie en brandwerendheid van de materialen. De regelgeving omtrent deze classificatie is terug te vinden in EN 13501-1⁷

2.5.1 Reactie bij brand

Om de reactie bij brand te evalueren wordt er gebruikt gemaakt van de CEN-klassen. Deze klassen beschrijven 3 eigenschappen van materialen:

- Branduitbreiding
- Rookontwikkeling
- Druppelvorming

De onderverdeling van deze eigenschappen worden op volgende pagina's overlopen.

⁷ EN 13501-1 – nieuwe Europese klassering,
http://www.vibe.be/downloads/4.Jeugdwerkinfrastructuur/Technische_fiches/TF_jeugd_Brandveiligheid.pdf
, 29/07/2014

Branduitbreiding

Klasse A1	Vlamoverslag niet mogelijk	Onbrandbaar, veroorzaken niet en dragen niet bij aan brand uitbreiding bij brandbaarheidsproef
Klasse A2	Vlamoverslag niet mogelijk	Mogen bij brandbaarheidsproef geen vlammen vertonen voor meer dan 20sec. Dienen eveneens getest te worden op rookontwikkeling en druppelvorming
Klasse B	Vlamoverslag niet mogelijk	Bij kleine vlamtest niet meer dan 150mm in 60sec verspreiden. Dienen eveneens getest te worden op rookontwikkeling en druppelvorming
Klasse C	Vlamoverslag na meer dan 10minuten	
Klasse D	Vlamoverslag tussen 2-10minuten	
Klasse E	Vlamoverslag minder dan 2 minuten	
Klasse F	Niet getest	

Rookontwikkeling

Rookontwikkeling wordt uitsluitend getest van Klasse A tot en met klasse D.

Klasse A1	Geen test nodig
Klasse A2	s1
Klasse B	
Klasse C	s2
Klasse D	s3
Klasse E	Niet getest
Klasse F	Niet getest

Druppelvorming

Enkel getest voor bouwmaterialen klassen A2 tot en met klasse E

Klasse A1	Geen test nodig
Klasse A2	d0: Geen druppels binnen 600sec
Klasse B	
Klasse C	d1: Druppels branden minder dan 10sec. binnen 600sec
Klasse D	d2: niet zoals d0 of d1
Klasse E	Niet getest of d2
Klasse F	Niet getest

2.5.2 Brandwerendheid

De brandwerendheid van een onderdeel geeft aan hoe goed deze bestendig is onderhevig aan vuur. Vooral voor de dragende elementen binnen de constructie is de brandwerendheid van groot belang.

Men zal het product beoordelen op volgende criteria:

R	Draagvermogen, structurele stabiliteit van het gebouw
E	Integriteit , intact houden van het onderdeel
I	Isolatie , temperatuur aan niet blootgestelde zijde zo laag mogelijk te houden

Dit zijn de 3 basis eisen die kunnen gesteld worden aan een product. Wanneer dit product voor een bepaalde geteste tijdsinterval voldoet aan deze eisen zal het een REI – classificering ontvangen. REI XX

Buiten deze 3 basiscriteria zijn er ook nog andere kenmerken die kunnen opgenomen worden in de productspecificatie, na geslaagde testen uiteraard.

W	Straling
M	Mechanische actie
C	Zelfsluitendheid
S	Rookdoorlatendheid
P/PH	Continuïteit van de stroom en/of Signaal
V	Hittebestendigheid
G	Weerstand tegen roetontbranding
B	Classificatie voor natuurlijke rook-en warmteafvoerinstallaties
F	Classificatie voor mechanische rook- en warmteafvoerinstallaties

3 Onderzoek

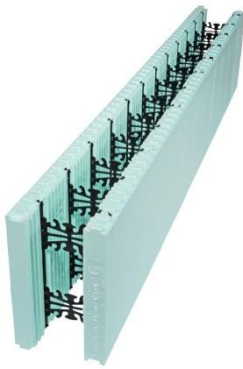
Om een beter inzicht te krijgen in het ICF-bouwsysteem, meer bepaald de E-Block, ga ik eerst een uitgebreide beschrijving geven van het product en de procedure die noodzakelijk is voor de uitvoering van een constructie met dit systeem.

3.1 Wat is E-block

E-block is de Belgische naam van het NUDURA insulated concrete forms. De E-block is opgebouwd uit 2 EPS isolatiepanelen met een gelijke dikte van +/- 7cm. EPS heeft een λ -waarde van 0.033-0.042 W/mK en een drukweerstand van +/-0.35N/mm²

De Insulated concrete forms worden gebruikt als permanente bekisting voor het vervaardigen van betonconstructies. Ze kunnen zowel in binnen- en buitenomgeving gebruikt worden en door de aanwezigheid van de 'webs' kan de constructie tevens voorzien worden van de nodige wapening.

Het specifieke NUDURA systeem bestaat uit 2 geëxpandeerde polystyreen panelen van gelijk dikte +/- 70mm die met elkaar verbonden zijn door een gepatenteerd inklapsysteem van polypropyleen webs en strips zoals u kan zien op de foto op volgende pagina.



De standaardafmetingen van een blok:

Lengte :	2438 mm	
Hoogte:	457 mm	
Breedte:	102 mm	(Breedte van het betonnen gedeelte)
	152 mm	(Breedte van het betonnen gedeelte)
	203 mm	(Breedte van het betonnen gedeelte)
	254 mm	(Breedte van het betonnen gedeelte)
Opp.	1.1 m ²	(Per blok)

Voor al deze maten zijn er ook andere benodigdheden beschikbaar zoals hoeken, T-stukken, bochten met bepaalde diameter,..

Het is natuurlijk mogelijk om de wand in andere diktes uit te voeren maar dit gaat gepaard met een meerprijs voor de productie van de elementen.

2 EPS isolatiepanelen met een gelijke dikte van +/- 7cm. EPS heeft een λ -waarde van 0.033-0.042 W/mK en een drukweerstand van +/-0.35N/mm²

Met deze opbouw wil men vooral de mensen aanspreken die op een duurzame manier willen bouwen . De isolerende capaciteiten van de blok zullen er voor zorgen dat er een minimum aan warmteverliezen zijn waardoor de constructie energiezuinig uitgevoerd kan worden. Aangezien dit 1 van de pijlers is van het systeem wordt er hierover dieper ingegaan in hoofdstuk 4.3.

⁸ NUDUA ICF-systeem standaardmaat,

http://www.nudura.com/en/divisions/contractors_builders/icf-products.aspx

, 03/07/2014

De wand is zo opgebouwd dat hij 5 functies in 1 vervulde.

- Bekisting voor betonwand
- Draagstructuur
- Isolatie
- Luchtdicht
- Verankeringspunten aan binnen- en buitenzijde.

3.1.1 Materialen

3.1.1.1 Isolerend materiaal

- EPS

EPS wordt vervaardigd uit een restproduct van aardolie dat verschillende chemische reacties moet doorlopen om tot een homogeen geheel te kunnen komen. Het is een afgeleide van aardolie en wordt gewonnen in de petrochemie. Zoals we uit de oorsprong kunnen afleiden is EPS niet het meest ecologisch en duurzaamste product op de markt. Vooral de grote emissie bij het productieproces zorgt voor een nefast resultaat in de ecologische voetafdruk. Daar staat tegenover dat het een bepaald isolerend vermogen kan bekomen die andere organische materialen nooit zullen bekomen.

EPS is een zeer duurzaam product met een lange technische levensduur (ca. 75 jaar), tevens is het recycleerbaar waardoor men de invloed van het productieproces op de ecologische voetafdruk enigszins (minimaal) kan verminderen.

3.1.1.2 Webs en strips

- Polypropyleen

De webs en de strips van het systeem worden vervaardigd uit gerecycleerd polypropyleen. Het PP heeft een minder complexe moleculenstructuur dan PVC. Om die reden is ook de productie, gebruik en afval minder schadelijk voor het milieu

3.1.1.3 Draagconstructie

- Beton

Beton is een mengsel van : Grind, cement, water en zand die , afhankelijk van welke type beton men wenst, in een bepaalde verhouding worden gemengd. Het is een zeer duurzaam product dat in het verleden en nu nog steeds zijn waarde binnen de bouwwereld bewijst.

Beton heeft een hoge druksterkte, maar een lage treksterkte. Om deze eigenschap te verbeteren kan men wapening plaatsen in de wand. Deze wapening zal dienen om de treksterkte te verbeteren. De hoeveelheid en grootte van de wapening is afhankelijk van de lasten die op de constructie terechtkomen en worden bepaald door het opstellen van een stabiliteitsstudie.

3.2 Werkwijze

Wanneer men kiest om een project uit te voeren met het ICF-bouwsysteem zal men een grondige voorstudie moeten maken van het project. Men zal alle bouwknopen moeten uitwerken om een maximaal resultaat te bekomen en de voordelen van het systeem optimaal te benutten.

3.2.1 Studie

Voor de uitvoering van een constructie met het ICF-bouwsysteem is het belangrijk om voldoende aandacht te besteden aan de bouwknopen. Door gebruik te maken van de flexibiliteit van het systeem zal men een optimaal materiaalverbruik bekomen. Hieronder vindt u een voorbeeld van een bouwknop die mits juiste uitvoering volledig luchtdicht kan worden gerealiseerd.

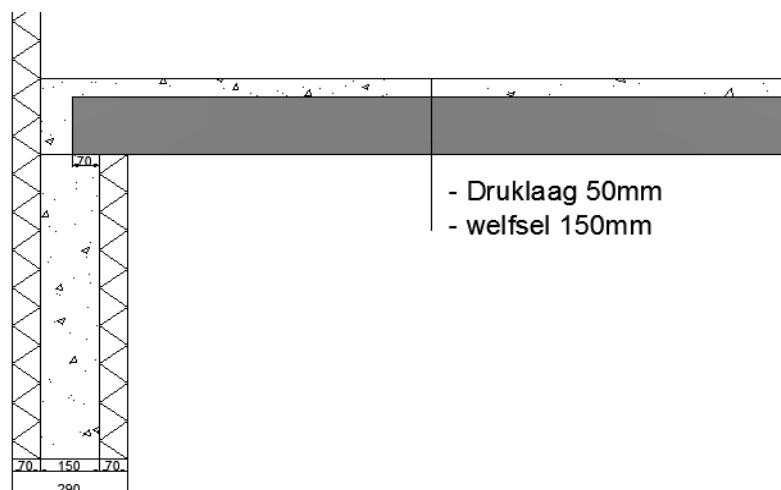


Fig. 2 – Aansluiting dekvloer met opgaande wand

Zoals men kan zien in bovenstaande tekening gaat men aan de buitenzijde van de bouwblok het isolatiepaneel laten doorlopen en zal men aan de binnenzijde het paneel over de hoogte van de vloerplaat afzagen. Hierdoor is het mogelijk om de vloerplaat elementen (welfsels, breedvoerplaten) te laten rusten op de wand gevormd in de bouwblok.

Het buitenste paneel zal dan dienen als verloren bekisting voor de druklaag, deze druklaag bestaat uit 5cm beton en heeft als functie de vloerplaat elementen als geheel te laten functioneren.

Na de voorstudie is een grondig bodemonderzoek geen overbodige luxe, men werkt namelijk met een solide betonnen constructie. Het beton heeft een hogere soortelijke massa dan de meer klassieke uitvoeringsmethode, hierdoor zullen de eisen gesteld aan de fundering en ondergrond eveneens verhogen.

Bij dichtgepakte zandgronden zal hier dan ook geen probleem zijn, het draagvermogen van deze grond is ruim voldoende om de zwaarder wordende fundering te dragen.

Het probleem zit hem echter in de gronden die niet uit 1 constante laag bestaan en waar men dus moeite heeft om het draagvermogen te bepalen. Bij deze gronden zal men zo een aanpassingen moeten doen dat het ICF-bouwsysteem financieel niet interessant genoeg is voor uitvoering.

3.2.2 Voorbereiding

Net zoals bij andere bouwsystemen zal met ook voor ICF de nodige aandacht moeten besteden aan bouwplaatsinrichting. Een goede inrichting zorgt voor een efficiënte uitvoering.

Zo zal men rekening moeten houden met:

- **Afvoer van grondoverschotten en bouwafval**

Afvoer van grondoverschotten zal zorgen voor meer ruimte op de bouwplaats, aangezien de bouwplaatsen steeds kleiner en kleiner worden zal men dus optimaal gebruik moeten maken van de beschikbare ruimte

Het afvoer van bouwafval is noodzakelijk om de bouwplaats ordelijk en veilig te houden.

- **Aanvoer van materiaal**

Een toegang voorzien voor vrachtwagens zodat de volledige bouwplaats kan bevoorraad worden. Dit moet gebeuren zonder het hinderen van de andere werkzaamheden op de bouwplaats.

- **Stockage en beschermen van producten**

Stockage van materiaal op 1 plaats zorgt voor een overzicht. Hierdoor is het voor de bevoegde personen gemakkelijk om te bepalen wat en hoeveel hij moet bestellen voor de verdere uitvoering.

Er wordt geen tijd verloren met het zoeken naar materiaal of materieel.

Bescherming is noodzakelijk, wanneer producten geleverd worden zijn ze eigendom van de aannemer, wanneer deze na levering beschadigd geraken zal de aannemer opdraaien voor de eventuele extra kosten.

- **Plaatsing van kraan/betonpomp**

Afhankelijk van de gekozen uitvoeringsmethodes gaat men één van de 2 kiezen. De positie ervan zal een grote invloed hebben op de efficiëntie van uitvoering (verplaatsen= tijdverlies + extra kosten).

- **Aanvoer beton**

Men moet voor de uitvoering van een project in ICF een duidelijk stortschema maken. Hierin wordt beschreven hoeveel beton per mixer, hoeveel mixers men nodig heeft en de tijd tussen iedere mixer zodat er geen mixers stilstaan aan de bouwplaats.

Makkelijke toegang voorzien voor de mixers.

- **Veiligheid**

Het belangrijkste punt op een bouwplaats is veiligheid, men moet te allen tijde voorzien dat men veilig kan werken. Dit kan men realiseren door gebruik te maken van individuele en collectieve beschermingsmiddelen en het geven van toolboxmeetingen. Het dossier veiligheid is een groot aspect in de bouw, er dieper op ingaan zou leiden tot een overflow aan informatie die niet rechtstreeks relevant is aan dit onderzoek.

3.2.3 Uitvoering

- **Fundering**

Op basis van bodemonderzoek en belasting op de grond zal men een fundering voorzien. Zowel een funderingsplaat als funderingszolen zijn geschikt voor het plaatsen van de ICF-blokken. Zoals bij alle uitvoeringsmethodes moet ook bij het toepassen van ICF de fundering voldoen aan de eisen die bepaald zijn in de stabiliteitsstudie (lengte, breedte, hoogte, betonsterkte, wapening). Omwille van de buitenafwerking zal men rekening moeten houden met een overbreedte van 67mm. De fundering wordt meestal berekend op de buitenzijde van de betonstructuur.

Wanneer de fundering geplaatst is kan men beginnen met het uitzetten van de juiste maten voor de positionering van de blokken. Men laat dit met voorkeur doen door iemand met voldoende kennis en ervaring daar deze maat geldt als de basis voor de hele constructie, een erkende landmeter is geen overbodige luxe.

- **Plaatsing**

Voor plaatsing van de 1^{ste} laag moet alle afval en vuiligheid worden verwijderd van de plaatsingszone. Dit om een goede hechting tussen de fundering en de beton die gestort zal worden in de blok te garanderen. Het is eveneens aan te raden om in deze zone de beton wat ruwer te maken zodat de hechting verbetert.

De eventuele horizontale wapening zal laag per laag in de webs geplaatst moeten worden. Het is onmogelijk dit te realiseren wanneer men reeds enkele lagen gevorderd is. De onderlinge verbinding tussen de panelen wordt gerealiseerd door een tand-groefverbinding .

Om er voor te zorgen dat de elementen op de correcte plaats blijven tijdens het storten van beton is er een speciaal soort uitlijningssysteem uitgewerkt. Dit systeem kan eveneens gebruikt worden als werkplatform met de nodige veiligheidseisen.

Hierdoor kan de kost van een stelling reeds geschrapt worden.

Net zoals bij een stelling zal men ook hier rekening moeten houden met alle veiligheidsvoorschriften die voorgeschreven worden.

Het is evident dat bij installatie van het uitlijningssysteem alle componenten gecontroleerd worden op hun staat (scheuren, barsten, deuken,...).

Het is aan te raden om het systeem aan beide zijde van de wand te installeren. Men moet er dus rekening mee houden dat er zowel aan de binnenzijde als aan de buitenzijde van het gebouw een perimeter van +/- 1.60m aanwezig is.

9



- **Opening**

Raam- en deuropeningen zijn met het systeem eenvoudig te bekomen. Zo kan men ter hoogte van een opening houten balken voorzien die het beton blokkeren alsook zorgen voor een onderstructuur voor het installeren van het raamkozijn. Er kan gekozen worden op het hout in de blok te integreren of door het hout op de kopse kant van het beton te bevestigen. De onderste zone van de opening laat men best open. Men zal ook onder de opening beton moeten voorzien. Het is eenvoudiger om dit te realiseren/controleren

⁹ NUDURA uitlijningssysteem,

http://www.nudura.com/en/divisions/contractors_builders/insulatingconcreteforms/alignmentsystem.aspx, 24/12/2013

wanneer men ervoor zorgt dat deze zone open blijft en na opvulling met beton pas gedicht wordt.

Er moet op elk moment rekening gehouden worden met de druk die de houten elementen te verduren krijgen. Daarom moet men overal waar nodig de nodige verstevigingen plaatsen om dit te realiseren.

Voor doorvoeren van leidingen is een voorafgaande planning van groot belang. Dit om er voor te zorgen dat boor-, slijp- en kapwerken in een latere fase vermeden kunnen worden. Het realiseren van de doorvoeren moet gebeuren voor het beton gestort wordt. Hierdoor krijgt men een hechting van de doorvoer en beton.

3.3 Stabiliteit

Het betreft hier een dragende betonconstructie, om die reden valt het ICF-bouwsysteem onder de noemer van Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies.

3.3.1 Europese normering

Zoals eerder aangehaald in de literatuurstudie bevat de eurocode alle nodige formules en omschrijvingen voor het berekenen van een betonwand.

Het was initieel de bedoeling om een stabiliteitsstudie op te zetten waarbij de buitenwanden en woningscheidende wanden, die zijn opgebouwd uit kalkzandstand, vervangen werden door het E-blocksysteem.

Ik zou enkele vereenvoudigingen en aannames moeten invoeren die een vertekend beeld hadden kunnen geven aan de buitenwereld. Om die reden heb ik er dan ook voor gekozen om deze studie niet uit te voeren en mij verder toe te leggen op de vraag van mijn promotor om het systeem te plaatsen binnen de Belgische markt.

3.4 Thermische & akoestische eigenschappen

3.4.1 Thermische eigenschappen

Zoals eerder aangehaald zal men de thermische capaciteiten van een constructieonderdeel beoordelen op basis van de U-waarde.

Deze U-waarde is een stationaire wandeigenschap, het zegt iets over thermische eigenschappen van een vlak constructiedeel onder tijdsafhankelijke randvoorwaarden. Thermische eigenschappen van details kunnen niet beoordeeld worden op basis van U-waarde. Hoe lager de U-waarde, hoe beter het isolerend vermogen van het materiaal/constructiedeel.

De volgorde waarin de materialen gebruikt worden heeft geen invloed op de U-waarde, het wordt dus bepaald naar totaliteit van de opbouw en niet naar de volgorde van samenstelling.

Wanneer men opzoek gaat naar de U-waarde van een specifiek materiaal zal men gebruik maken van volgende formule:

$$U = \lambda / d \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Hieruit kan men afleiden dat door het dikker maken van een materiaal men een betere U-waarde kan verkrijgen. Het spreekt voor zich dat het dikker maken van een laag met een lage λ – waarde (isolerende materialen) een grotere invloed zal hebben op de U-waarde van het constructiedeel dan het verbreden van bijvoorbeeld gipskarton wand.

Wanneer men gaat kijken naar een constructiedeel zal men op zoek moeten gaan naar de totale warmteweerstand (R_t) van het deel.

$$R_t = R_i + \sum d_j / \lambda_j + \sum R_u + \sum R_a + R_e$$

R-waarde: Warmteweerstand

$$R = d / \lambda \text{ [m}^2\text{K/W]}$$

R_i : Warmteovergangsweerstand aan de binnenzijde = $1/\alpha$

R_e : Warmteovergangsweerstand aan de buitenzijde

R_u : Warmteweerstand van een niet-isotrope laag

R_a : warmteweerstand van een luchtspouw

De U-waarde van het NUDURA systeem kan men dus bepalen door de warmteweerstanden van de 2 isolatieplaten te sommeren met de isolatiewaarde van het beton dat zich bevindt tussen deze platen.

Dit geeft volgende U-waarde:

Materiaal	λ (W/mK)	Dikte (m)	U (W/m ² K)	R (m ² K/W)
EPS	0,037	0,07	0,53	1,89
Beton	1,700	0,15	11,33	0,09
EPS	0,037	0,07	0,53	1,89
Totaal				3,87

Men ziet dat bij het gebruik van dit type ICF-systeem om een R-waarde van 3,87 m²K/W te bekomen, er gewerkt moet worden met een totale wanddikte van 29cm.

Men kan opteren om het gewapende beton te vervangen door een alternatieve betonsoort met betere isolerende eigenschappen zoals lichtbeton soorten, cellenbeton of hoogovenslakbeton.

Maar het gebruik van deze materialen heeft gevolgen voor de andere eigenschappen die het systeem bezit zoals stabiliteit, akoestische eigenschappen en eventuele inwendige condensatie. Deze thema's komen in een later hoofdstuk nog aan bod.

De verschillende producenten van ICF-bouwsystemen hebben elk hun producteigenschappen. Deze berekening is dan ook louter van toepassing op het systeem van NUDURA met een "standaard" betonwand van 15cm.

Met traditioneel metselwerk kan een gelijkaardige R-waarde bekomen worden door middel van volgende wandopbouw.

Materiaal	λ (W/mK)	Dikte (m)	U (W/m ² K)	R (m ² K/W)
Snelbouw	0,30	0,14	2,14	0,47
EPS	0,04	0,14	0,29	3,50
Totaal				3,97

De totale wanddikte bedraagt 28cm, ten op zichte van het ICF-systeem met hetzelfde isolerend materiaal zal het traditioneel metselwerk 1cm winnen. Hierbij moet wel een grote kanttekening gemaakt worden, men zal voor het isoleren van een spouwmuur gebruik gaan maken van beter isolerende materialen.

Door gebruik te maken van materialen met een beter isolerend vermogen, dus hogere λ -waarde, zoals polyurethaanschuim (PUR) of polyisocyanuraat (PIR). Kan men de wanddikte aanzienlijk verminderen zoals verduidelijkt wordt met onderstaand voorbeeld.

Voorbeeld

Materiaal	λ (W/mK)	Dikte (m)	U (W/m ² K)	R (m ² K/W)
Snelbouw	0,030	0,14	2,14	0,47
PIR/PUR	0,023	0.08		3.48
Totaal				3,95

3.4.1.1 Inwendige condensatie

Inwendige condensatie treedt op wanneer het dauwpunt in een constructieonderdeel wordt bereikt. Deel van de waterdamp dat aanwezig is in de lucht/onderdeel zal dan neerslaan in de vorm van condensatiewater. De aanwezigheid van een grote hoeveelheid waterdamp kan verklaard worden door bouwvocht, convectie en diffusie. Het gevolg van inwendige condensatie is rotten van constructie onderdelen. Dit moet te allen tijde vermeden worden. Bij de meer traditionele bouwmethodes gaat men ervoor kiezen om de wandopbouw zeer damp open te houden en aan de warme zijde van de isolatie een damp remmende laag te voorzien, het zogenaamde dampscherm.

Het is belangrijk om mee te geven dat het dampscherm altijd aan de warme zijde van de isolatie geplaatst dient te worden. Het heeft het doel om de vochtige binnenlucht aan de warme zijde te houden zodat er geen condensatie optreedt ter hoogte van het koude vlak.

Men kan inwendige condensatie ten gevolge van dampdiffusie in grote maten beperken door in het ontwerp voldoende aandacht te besteden aan een evenwicht tussen de maanden van bevochtiging en deze van droging.

Het bepalen van deze maanden gebeurt door de methode van Glaser toe te passen. Deze methode laat ons toe om de hoeveelheid inwendige condensatie of droging te bepalen die men verwacht over een langere periode uitgaande van enkele vooropgestelde waarden.

Methode van Glaser

De methode is gebaseerd op 7 hypothesen, met gevolg als dat de methode dus sterk vereenvoudigd is ten opzichte van de werkelijke toestand.

Hypothesen:

1. Vochttransport gebeurt enkele door dampdiffusie
 - Alle materialen zijn niet-capillair (geen watertransport)
 - Constructie is luchtdicht (geen convectie)
2. Alle materialen zijn niet-hygroscopisch
 - Kunnen geen hoeveelheid vocht opnemen of afgeven
 - ⇒ Verschil in dampstroomdichtheid (in- en uitgaand) kan enkel veroorzaakt worden door droging/inwendige condensatie
3. λ - en μ - waarde van materialen zijn constant
 - μ : Difussieweerstandsgetal
4. Warmteoverdracht gebeurt door geleiding.
 - Transport van latente warmte is verwaarloosbaar
5. Er wordt stationair gerekend.
 - Voor elke stap veranderen de randvoorwaarden
6. Constructie onderdelen zijn vlak
 - Eendimensionale warmteoverdracht en vochttransport
7. De constructie is aanvankelijk droog

Invoergegevens:

Grootheden van de constructie

Materiaal	λ (W/mK)	Dikte (m)	U (W/m ² K)	R (m ² K/W)	μ (-)
-----------	------------------	-----------	------------------------	------------------------	-----------

Warmteovergangscoefficienten

Materiaal	λ (W/mK)	Dikte (m)	U (W/m ² K)	R (m ² K/W)
α			6,000	0,167
α			8,000	0,125
α			25,000	0,040

Randvoorwaarden als maandgemiddelde waarden

Door de grote traagheid van het diffusieproces gebruikt de methode van Glaser maandgemiddelde als randvoorwaarden.

$$\theta_j = \bar{\theta} + C(j) \times \hat{\theta}$$

$$P_j = \bar{p} + C(j) \times \hat{p}$$

Met

$\theta_j =$ Maandgemiddelde temperatuur voor maand j

$\bar{\theta}$ Jaargemiddelde temperatuur

$\hat{\theta}$ Het amplitudo van de nagenoeg sinussoïdaal schommelende temperatuur

$C(j)$ Constante van de maand uit tabel

- Constante van de maand $C(j)$

	Maand	$C(j)$
1	Januari	-0.98
2	Februari	-0.85
3	Maart	-0.50
4	April	-0.10
5	Mei	+0.55
6	Juni	+0.90
7	Juli	+1.00
8	Augustus	+0.85
9	September	+0.55
10	Oktober	-0.10
11	November	-0.55
12	December	-0.90

Opmerking:

Voor de dampdrukken (binnen en buiten) geldt hetzelfde .

- Binnenluchttemperatuur θ_i (°C)

Aard van het gebouw	$\bar{\theta}_i$	$\hat{\theta}_i$
Woning, scholen, kantoren	20	3
Ziekenhuizen	23	2
Zwembaden	30	2

- Buitenluchttemperatuur θ_e (°C)

Voor Ukkel geldt:

$$\bar{\theta}_e = 9.8 \text{ °C}$$

$$\hat{\theta}_e = 6.9 \text{ °C}$$

Ook de zon zal een invloed hebben op het condensatie-drogingsproces. Om de invloed hiervan te berekenen zal men een correctie gaan toevoegen in de vorm van een equivalente buitentemperatuur θ_e^{**}

Deze wordt bepaald door het in rekening brengen van directe, diffuse zonnestraling en lange golfstraling.

De equivalente buitentemperatuur is dus in functie van oriëntatie, helling en stralingseigenschappen van het beschouwde oppervlak .

Invloed van stralingseigenschappen wordt in rekening gebracht door gebruik te maken van de absorptiefactor voor kortgolfige straling van het buitenoppervlak .

$$\bar{\theta}_e^{**} = a_k \times (\bar{\theta}_e^* - 8.5) + 8.5 \quad [\text{oriëntatie}]$$

$$\hat{\theta}_e^{**} = a_k \times (\hat{\theta}_e^* - 7.1) + 7.1 \quad [\text{Helling}]$$

$$\Rightarrow \theta_e^{**}(j) = \bar{\theta}_e^{**} + C(j) \times \hat{\theta}_e^{**}$$

- Dampdruk binnen p_i (Pa)

Klimaatklasse	Grenzen	$\bar{p}_i$	$\hat{p}_i$	Voorbeelden
I	$1100 \leq \bar{p}_i \leq 1165$	1165	365	- Magazijn, sportzalen, ..
II	$1165 \leq \bar{p}_i \leq 1370$	1370	220	- Grote woningen, flats, scholen, ..
III	$1370 \leq \bar{p}_i \leq 1500$	1500	220	- Kleine woningen
IV	$\bar{p}_i \geq 1500$	2500	220	- Zwembaden, brouwerijen, ...

Opmerking:

Bij binnenklimaatklasse IV zijn de cijferwaarden slechts indicatief en dient er steeds een onderzoek te gebeuren per situatie.

- Dampdruk buiten p_e (Pa)

$$p_e = \bar{p}_e \times C(j) * \hat{p}_e$$

Met

$$\bar{p}_e = 1100 \text{ Pa}$$

$$\hat{p}_e = 430 \text{ Pa}$$

Beoordelingscriteria

Er kunnen zich 2 verschijnselen voordoen. Wanneer de hoeveelheid condensaat groter is dan de hoeveelheid droging, over een jaar gezien, zal er condens optreden. Als de hoeveelheid condensaat kleiner of gelijk is aan de hoeveelheid droging is er geen condens en is er geen gevaar.

Berekening

Stap 1: Bepalen van de specifieke wandeigenschappen

Als eerste zal men de specifieke kenmerken van de wand moeten bepalen, hierbij wordt rekening gehouden met de aard van de materialen, dimensies en volgorde.

Materiaal	λ (W/mK)	Dikte (m)	U (W/m ² K)	R (m ² K/W)	μ (-)	Z
$\alpha 1$			08,000	0,125		
Pleister	0,520	0,010	52,000	0,019	009,00	486000000
EPS	0,037	0,070	00,529	1,892	060,00	22680000000
Beton	1,700	0,150	11,333	0,088	100,00	81000000000
EPS	0,037	0,070	00,529	1,892	060,00	22680000000
Luchtspouw			00,000	0,000	001,00	
Gevelsteen	1,400	0,060	23,333	0,043	020,00	6480000000
$\alpha 2$			25,000	0,040		

$$R_t = 4.10 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

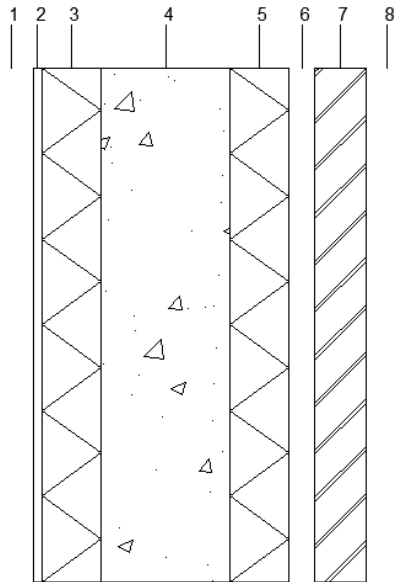


Fig. Wandopbouw

Gebruikte formules

U-waarde: λ/d [W/m²K]

R-waarde: d/λ [m²K/W]

Totale warmteweerstand R_t : $1/(U_{a1}+U_1+U_2+...+U_{a2})$ [(m²K)/W]

Warmtestroomdichtheid $Q_g = \Delta\theta/R_t$ [W/m²]

Analytisch bepalen van het temperatuur verloop in de wand: $\theta_n = \theta_1 - q \cdot \sum R_i$ [°C]

Totale warmte difussieweerstand $Z_t = \mu_i \cdot d_i \cdot N$

$N = \text{Constante} = 5.4 \cdot 10^9$ (1/s)

Stap 2: Invoergegevens bepalen voor de methode van Glazer

Men zal door gebruik te maken van gegevens en formules vermeldt in het hoofdstuk van de methode van Glazer, een aantal noodzakelijke gegevens bekomen. Deze gegevens zijn maandeigenschappen en dienen dus voor iedere maand apart berekend te worden. Ik heb deze berekening voor de maand november volledig met formules en gegevens uitgeschreven.

$$\theta_j = \bar{\theta} + C(j) \times \hat{\theta} = 20 + (-0.55) \times 3 = 18.35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\bar{\theta}_e^{**} = a_k \times (\bar{\theta}_e^* - 8.5) + 8.5 \text{ [oriëntatie]} = 0.56 \times (12 - 8.5) = 10.46 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\hat{\theta}_e^{**} = a_k \times (\hat{\theta}_e^* - 7.1) + 7.1 \text{ [Helling]} = 0.56 \times (9 - 7.1) + 7.1 = 8.164 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_e^{**}(j) = \bar{\theta}_e^{**} + C(j) \times \hat{\theta}_e^{**} = 10.46 + (-0.55) \times 8.164 = 5.97 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_g = (\theta_j - \theta_e^{**}) / R_t = (18.35 - 5.97) / 4.1 = 3.02 \text{ W/m}^2$$

$$P_j = \bar{p} + C(j) \times \hat{p} = 1370 + (-0.55) \times 220 = 1249 \text{ Pa}$$

$$p_e = \bar{p}_e \times C(j) \times \hat{p}_e = 1100 + (-0.55) \times 430 = 863.5 \text{ Pa}$$

$$Z_t = \sum Z_i = 1.333 \times 10^{11}$$

Om alles overzichtelijk te houden heb ik de resultaten van alle maanden samengevat in een overzichtstabel terug te vinden op volgende pagina. Nu al deze gegevens bekend zijn kunnen we verder gaan naar de volgende stap om na te gaan of er inwendige condensatie zal optreden.

	Nov	dec	Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt
$\hat{\theta}_i$	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
$C(j)$	-0,55	-0,90	-0,98	-0,85	-0,50	-0,10	0,55	0,90	1,00	0,85	0,55	-0,10
$\hat{\theta}_i$	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
θ_i	18,35	17,30	17,06	17,45	18,50	19,70	21,65	22,70	23,00	22,55	21,65	19,70
$\bar{\theta}_e^*$	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
$\hat{\theta}_e^*$	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00
ak	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
$\bar{\theta}_e^{**}$	10,46	10,46	10,46	10,46	10,46	10,46	10,46	10,46	10,46	10,46	10,46	10,46
$\hat{\theta}_e^{**}$	8,164	8,164	8,164	8,164	8,164	8,164	8,164	8,164	8,164	8,164	8,164	8,164
θ_e^{**}	5,9698	3,1124	2,45928	3,5206	6,378	9,6436	14,9502	17,8076	18,624	17,3994	14,9502	9,6436
Q_g	3,019561	3,460390	3,5611512	3,397414	2,9565854	2,4527805	1,6340976	1,1932683	1,0673171	1,2562439	1,6340976	2,4527805
P_i	1249	1172	1154,4	1183	1260	1348	1491	1568	1590	1557	1491	1348
P_e	863,5	713	678,6	734,5	885	1057	1336,5	1487	1530	1465,5	1336,5	1057
Z_t	1,333E+11	1,333E+11	1,333E+11	1,333E+11	1,333E+11	1,333E+11	1,333E+11	1,333E+11	1,333E+11	1,333E+11	1,333E+11	1,333E+11

Tabel: Overzicht van resultaten

Stap 3: Bepalen van temperatuursverloop in de constructie

Door gebruik te maken van de formule: $\theta_n = \theta_1 - q \cdot \sum R_i$, zal men het temperatuursverloop in de constructie kunnen bepalen. Dit verloop heeft men later nodig om de verzadigingsdampdruk($p'd$) en de onderstelde dampdruk (p) te bepalen.

We beginnen te rekenen vanaf de eerste wintermaand waarin verwacht wordt dat er inwendige condensatie kan optreden. Voor België wordt in het algemeen november genomen als beginmaand.

Het temperatuurverloop moet evenzeer voor iedere maand berekend worden, hieronder vindt u alvast een voorbeeld van 1 maand. De overige resultaten kan u op het einde van dit hoofdstuk terug vinden.

Voorbeeld:

Wanneer men de formules gaat toepassen op de maand november:

$$Q_g = \Delta\theta/R_t = (18.35 - 5.97)/4.1 = 3.02$$

$$\theta_{i0} = 18.35 - 3.02 \cdot 0.125 = 17.97 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_{i1} = 18.35 - 3.02 \cdot (0.125 + 0.019) = 17.91 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_{i2} = 18.35 - 3.02 \cdot (0.125 + 0.019 + 1.892) = 12.20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_{i3} = 18.35 - 3.02 \cdot (0.125 + 0.019 + 1.892 + 0.088) = 11.94 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_{i4} = 18.35 - 3.02 \cdot (0.125 + 0.019 + 1.892 + 0.088 + 1.892) = 6.22 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_{i5} = 18.35 - 3.02 \cdot (0.125 + 0.019 + 1.892 + 0.088 + 1.892 + 0.00) = 6.22 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_{i6} = 18.35 - 3.02 \cdot (0.125 + 0.019 + 1.892 + 0.088 + 1.892 + 0.00 + 0.043) = 6.09 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_{i7} = 18.35 - 3.02 \cdot (0.125 + 0.019 + 1.892 + 0.088 + 1.892 + 0.00 + 0.043 + 0.04) = 5.97 \text{ } ^\circ\text{C}$$

	Temp. (°C)
θ_i	18,35
θ_{i0}	17,97
θ_{i1}	17,91
θ_{i2}	12,20
θ_{i3}	11,94
θ_{i4}	6,22
θ_{i5}	6,22
θ_{i6}	6,09
θ_{i7}	5,97

Stap 4: Bepalen van de dampdrukken

Op basis van het gevonden temperatuurverloop kan men nu de verschillende dampdrukken in de constructie bepalen.

Voor het bepalen van de verzadigingsdampdruk p' , zal men gebruik maken van de dampspanningstabel die u terug vindt in bijlage A. Om de dampdruk die correspondeert met de berekende temperatuur te vinden zal men moeten interpoleren tussen de waarde in de tabel.

Wat betreft de onderstelde dampdruk, hier zal men gebruik moeten maken van volgende formule:

$$p = p_1 - q \sum Z_i$$

$$\text{met } q_d = (p_i - p_e) / Z_t$$

Ook hier wordt de maand november als voorbeeld uitgewerkt:

$$Q_d = (1249 - 863.5) / (1.33 \cdot 10^{11}) = 2.98 \cdot 10^{-9}$$

$$P_{d_i} = 1249$$

$$P_{d_{i0}} = 1249 - 2.98 \cdot 10^{-9} \cdot 0 = 1249$$

$$P_{d_{i1}} = 1249 - 2.98 \cdot 10^{-9} \cdot (0 + 486000000) = 1247.6$$

$$P_{d_{i2}} = 1249 - 2.98 \cdot 10^{-9} \cdot (0 + 486000000 + (2.268 \cdot 10^{10})) = 1182.02$$

$$P_{d_{i3}} = 1249 - 2.98 \cdot 10^{-9} \cdot (0 + 486000000 + (2.268 \cdot 10^{10}) + (8.1 \cdot 10^{10})) = 947.81$$

$$P_{d_{i4}} = 1249 - 2.98 \cdot 10^{-9} \cdot (0 + 486000000 + (2.268 \cdot 10^{10}) + (8.1 \cdot 10^{10}) + (2.268 \cdot 10^{10})) = 882.24$$

$$P_{d_{i5}} = 1249 - 2.98 \cdot 10^{-9} \cdot (0 + 486000000 + (2.268 \cdot 10^{10}) + (8.1 \cdot 10^{10}) + (2.268 \cdot 10^{10}) + 0) = 882.24$$

$$P_{d_{i6}} = 1249 - 2.98 \cdot 10^{-9} \cdot (0 + 486000000 + (2.268 \cdot 10^{10}) + (8.1 \cdot 10^{10}) + (2.268 \cdot 10^{10}) + 0 + (6.48 \cdot 10^9)) = 863.5$$

$$P_{d_{i7}} = 1249 - 2.98 \cdot 10^{-9} \cdot (0 + 486000000 + (2.268 \cdot 10^{10}) + (8.1 \cdot 10^{10}) + (2.268 \cdot 10^{10}) + 0 + (6.48 \cdot 10^9) + 0) = 863.$$

Dit geeft volgende resultaten voor de maand november

	Temp.	p'd	pd
θ_i	18,35	2111,55	1249,00
θ_{i0}	17,97	2061,19	1249,00
θ_{i1}	17,91	2054,84	1247,60
θ_{i2}	12,20	1422,00	1182,02
θ_{i3}	11,94	1397,60	947,81
θ_{i4}	6,22	949,74	882,24
θ_{i5}	6,22	949,74	882,24
θ_{i6}	6,09	935,67	863,50
θ_{i7}	5,97	933,11	863,50

Uit deze tabel kan men reeds afleiden of er inwendige condensatie optreedt.

Wanneer de verzadigingsdampdruk kleiner is dan de onderstelde dampdruk zal er condensatie optreden, daar het fysisch onmogelijk is dat de onderstelde dampdruk groter is dan de verzadigingsdampdruk.

Wanneer dit fenomeen zich voordoet zal er dus een condensatievlak ontstaan.

Aangezien men hier op geen enkel moment met een pd-waarde zit die groter is dan p'd waarden, zal men zich in deze maand dan ook geen zorgen hoeven te maken over het optreden van condensatie in de constructie.

De resultaten van de andere maanden vindt u terug in bijlagen. Wanneer u de tabellen gaat bestuderen ziet u dat er in geen enkele maand spraken is van inwendige condensatie.

Wanneer men wel kan vaststellen dat pd groter is dan p'd zal men moeten overgaan naar de volgende stap.

Stap 5: Bepalen van de hoeveelheid inwendige condensatie of droging (Kg/m² per maand)

Het optreden van inwendige condensatie hoeft niet steeds negatieve gevolgen te hebben. Er mag gedurende enkele maanden een kleine hoeveelheid condensatie optreden. Men heeft namelijk ook enkele drogingsmaanden in een jaar. Wanneer de hoeveelheid droging (D [kg/m² per maand] groter of gelijk is aan de hoeveelheid opgetreden inwendige condensaat (K [kg/m² per maand] zal de gecumuleerde hoeveelheid condensatie en droging (V [kg/m²) positief of gelijk zijn. Hierdoor zal de constructie niet vochtig blijven en is het gevaar op bijvoorbeeld schimmelvorming geëlimineerd.

Om de maanden te bepalen waarin condensatie of droging optreedt zal men gebruik moeten maken van de resultaten die in de vorige stap zijn gekomen.

- Werkwijze voor het bepalen van de hoeveelheid inwendige condensatie/droging

1. Stel een $p_d, p'_d - Z$ diagram.
2. Zet de waarden van p_d en p'_d uit op de y-as en verbindt deze, het dampdruk verloop tussen p_i en p_e is een rechte.
3. Als ergens $p' \geq p'_d$ dan treedt er condensatie op.
4. Verbindt vervolgens p_i en p_e met p'_d op het condensatie vlak.
5. p_i en p'_d vormen een rechte en p'_d en p_e vormen een rechte, de hellingsgraad van deze rechte wordt bepaalt door de dampstroomdichtheden q_1 (ingaande dampstroomdichtheid) en q_2 (uitgaande dampstroomdichtheid)
6. Wanneer $q_1 > q_2$ zal er inwendige condensatie optreden $\Rightarrow G = q_1 - q_2$ [kg/m*s) of $G = (q_1 - q_2) * 3600 * 24 * 31 * 1000$ [g/m², maand]
Met $q_1 = (p_i - p'_{dc}) / Z_{tp'_{dc}}$ en $q_2 = (p'_{dc} - p_e) / (Z_t - Z_{tp'_{dc}})$

p'_{dc} = de waarde waar condensatie optreedt

$Z_{tp'_{dc}}$ = de totale Z-waarde tot aan punt p'_{dc}

Conclusie

Wanneer we alle resultaten langs elkaar leggen en bestuderen zien we dat er op geen enkel moment een risico is op inwendige condensatie doorheen de constructie.

Dit resultaat toont aan dat het plaatsen van een dampscherm overbodig is, het zal in deze constructie geen meerwaarde bieden.

De kosten die verbonden zijn aan het dampscherm (aankoop en plaatsing) kunnen worden geëlimineerd, maar niet enkel het financiële speelt een rol. In de praktijk wordt er al te vaak gezondigd tegen het plaatsen van het dampscherm volgens de voorgeschreven regels en met het ICF-systeem neutraliseert men de kans op foutieve plaatsing.

3.4.2 Akoestische eigenschappen

Akoestische kwaliteit van materialen is nog maar een aantal jaar een 'hot topic' in de bouwwereld, daar het geen enkele positieve of negatieve invloed heeft op de constructie zelf. Niet zoals bijvoorbeeld thermische isolatie waar inwendige condensatie kan zorgen voor schimmelvormingen of minder brandstofverbruik door betere temperatuurbeheersing van de constructie. Akoestische eigenschappen van een constructie zijn enkel bedoeld om de levenskwaliteit van de eigenaar/bewoner te verbeteren.

De laatste jaren zijn er veel onderzoeken geweest met betrekking tot de akoestische kwaliteit van een gebouw en steeds vaker worden er door bouwheer/architecten eisen gesteld aan deze kwaliteiten.

Vaak komen problemen met betrekking tot akoestiek aan het licht in de gebruikersfase. Deze problemen zijn veelal op te lossen door het toepassen van bepaalde technieken van de bouwakoestiek maar deze ingrepen zijn zeer kostelijk. Daarom is het belangrijk dat er in de ontwerpfase voldoende aandacht wordt besteed aan de akoestiek van het gebouw.

Een goede akoestiek staat vaak lijnrecht tegenover andere eisen zoals bijvoorbeeld: Energieverbruik

Een grote massa is nefast voor thermisch isolerende vermogen daar dit bij akoestische isolatie een positief effect heeft.

Ventilatie

Hier is een conflict nog wat duidelijker, daar alle aan- en afvoeropeningen van het ventilatiesysteem zorgen voor akoestische onderbrekingen

Wanneer men gebruik maakt van mechanische systemen B (aanvoer), C (afvoer) of D (aan- en afvoer), zal er ook aandacht geschonken moeten worden aan het installatielawaai van de pompen.

Daglichttoetreding

Daglicht wordt in de meeste gevallen gecreëerd door het gebruik van glas.

Glas is een akoestisch hard materiaal, hiermee wordt bedoeld dat glas het geproduceerde geluid niet zal absorberen maar terug zal kaatsen in de ruimte, wat kan leiden tot lange nagalmtijden.

Er is een eigenschap die samen gaat met akoestische eisen, namelijk luchtdichtheid van het gebouw. Hoe luchtdichter een materiaal, hoe beter de gevelgeluidisolatie van een gebouw.

Luchtdichtheid van het E-blocksysteem wordt in volgend hoofdstuk besproken aan de hand van een uitgevoerde blowerdoortest.

Bouwakoestiek kan men verdelen in verschillende onderdelen:

- Geluidabsorptie: Dit heeft betrekking op de nagalmtijd in een ruimte
- Luchtgeluidisolatie: Het weren van geluid tussen 2 ruimtes
- Gevelgeluidisolatie: Het weren van geluid tussen ruimte en omgeving
- Contactgeluidisolatie: Het weren van contactgeluid tussen 2 ruimtes
- Installatielawaai: filteren van installatiegeluid.

Voor bouwakoestiek bestaan geen berekenings – of uitvoeringsnormen, er zijn enkel richtlijnen. Deze richtlijnen werden/worden opgesteld door het WTCB. Wanneer men deze richtlijnen volgt kan men akoestische eisen met redelijke grote zekerheid behalen.

3.4.2.1 Geluidabsorptie

Elk materiaal absorbeert geluid, al is het zeer minimaal. Wanneer een materiaal geluid absorbeert zal de geluidenergie omgezet worden in warmte-energie.

Eisen gesteld aan residentiële bouw: NBN S01-4001

$$A_w > 0.3S_h$$

Met S_h : De totale horizontale geprojecteerde begaanbare oppervlakte.

Dit zal zelden een probleem geven en vaak wordt er automatisch aan voldaan.

Het niveau van geluidabsorptie kan ons een beeld geven van de nagalmtijd. Wanneer een ruimte gevuld is met slecht absorberende materialen, bv glas, zal de nagalm tijd in de ruimte zeer hoog zijn, waardoor er een onaangenaam geluid gecreëerd wordt.

Wanneer men gaat kijken naar de opbouw van de E-block:

2 lagen EPS (7cm)

Beton

EPS heeft een zeer gesloten celstructuur en bijgevolg zal het absorberend vermogen eerder gering zijn. Wanneer men niet zou voldoen aan de eisen kan men altijd opteren om een akoestische pleister aan te brengen als afwerking.

3.4.2.2 Luchtgeluidisolatie

Luchtgeluid is het geluid dat rechtstreeks door de bron aan de omgevende lucht wordt afgegeven, dit is het grote verschil met contactgeluid. Bij contactgeluid zorgt de bron voor een trilling rechtstreeks in het constructiedeel.

Luchtgeluidisolatie wordt in situ gemeten door middel van een gestandaardiseerd geluiddrukkniveau verschil tussen 2 ruimtes.

Het is zo'n meting die het WTCB heeft uitgevoerd voor een rijwoning in Mechelen.

Aan de hand van deze meting zal het isolerend vermogen met betrekking tot luchtgeluid besproken worden.

Wat verstaat men onder geluiddrukkniveauverschil tussen 2 ruimte:

Verschil in geluiddrukkniveau aan zend- en ontvangstzijde

$$\Rightarrow D = L_{pz} - L_{po}$$

D is afhankelijk van:

Wandoppervlakte

Absorptie in het ontvanglokaal

Omloopgeluid, lekken en nevenwegen

Hieruit valt af te leiden dat D geen specifieke wandeigenschap is maar , zoals bij luchtdichtheid , een functie wordt van de gehele constructie.

Door het aanpassen van de totale oppervlakte of de nagalmtijd kan D beïnvloed worden. Om dit te elimineren heeft men het gestandaardiseerd geluiddrukkniveauverschil tussen 2 ruimten in het leven geroepen.

$$\Rightarrow D_{nT} = L_{pz} - L_{po} + 10\log (T/T_0) \text{ [dB]}$$

Met T: nagalmtijd ontvangstlokaal

T_0 : Referentienagalmtijd (0.5 indien lokaal $>30\text{m}^2$)

Zoals eerder vermeldt heeft een goede luchtdichtheid een positieve invloed op geluidisolatie. Dit wordt duidelijk door de negatieve invloed die omloopgeluid, luchtlekken en neven wegen hebben op het geluidsisolerende vermogen van een constructie.

Normering

Residentiële bouw: NBN S 01-400-1

¹⁰

EISEN VOOR LUCHTGELUIDISOLATIE TUSSEN TWEE RUIMTEN			
ZENDRUIMTE buiten de woning	ONTVANGSTRUIMTE binnen de woning	normaal akoestisch comfort	verhoogd akoestisch comfort
Elke ruimte	Elke ruimte uitgezonderd een technische ruimte of inkomhal	$D_{nT,w} \geq 54 \text{ dB}$	$D_{nT,w} \geq 58 \text{ dB}$
Elke ruimte van een nieuwbouw rijwoning of halfopen bebouwing	Elke ruimte van een nieuwbouw rijwoning of halfopen bebouwing uitgezonderd een technische ruimte	$D_{nT,w} \geq 58 \text{ dB}$	$D_{nT,w} \geq 62 \text{ dB}$
ZENDRUIMTE binnen de woning	ONTVANGSTRUIMTE binnen de woning	normaal akoestisch comfort	verhoogd akoestisch comfort
Slaapkamer, keuken of woonkamer	Slaapkamer	$D_{nT,w} \geq 35 \text{ dB}$	$D_{nT,w} \geq 43 \text{ dB}$

Dit zijn de nieuwe normen gesteld aan rijbouwwoningen. Bij rijbouwwoningen is het mogelijk om het akoestisch comfort te verhogen zonder dat er buitensporige kosten optreden. Hierdoor zijn de eisen gesteld aan rijbouwwoningen 4dB strenger dan deze gesteld aan nieuwbouw appartementen.

¹⁰ Tabel met eisen voor luchtgeluidisolatie ,
http://www.wtcb.be/homepage/download.cfm?dtype=publ&doc=Nieuwe%20akoestische%20criteria_woongebouwen.pdf&lang=nl , 15/05/2014

Meting in situ

De meting is uitgevoerd in 2010 door het WTCB. Het verslag en metingen werden uitgevoerd door Verantwoordelijke ingenieur der proeven Ir. Debby Wuyts.

Het proefverslag zit in zijn geheel in bijlage. Alle vermelde resultaten en waarnemingen zijn specifiek voor de beproefde meetplaats en situatie. Het is dan ook niet mogelijk om de resultaten voor andere situatie aan te vatten.

Men kan wel aantonen dat bepaalde waarden met waarschijnlijkheid gehaald kunnen worden mits goede uitvoering. Voor een exacte bepaling van de geluidisolatie zal men steeds een beroep moeten doen op een in situ meting.

Deze gebeurt als volgt:

- Men gaat in de verzendruimte een ruissignaal verzenden, men moet ervoor zorgen dat dit signaal een voldoende breed frequentiespectrum bevat.(Roze ruis)
- Voor een positie van luidspreker in de zendruimte wordt een geluidsdrukniveau bepaald
- Voor een positie van microfoon in de ontvangstruimte wordt een geluidsdrukniveau bepaald
- Hier na worden alle waarden van de microfoonposities gemiddeld
- Bepaling van nagalmtijd in de ontvangstruimte
- Bepaling van de absorptie door de formule van Sabine

$$\Rightarrow T = (0.161 \times V) / A_{\text{tot}} [\text{s}]$$

Met A_{tot} : Totale absorptie van de ruimte in m^2

Bij de eerste meting is men uitgegaan van volgende opstelling:

Opstelling 1

Zendruimte	Woning B – Living/keuken
Ontvangruimte	Woning A – Living
Wandopbouw	E-blocksysteem (15cm) Eenzijdige gipskartonwand
Resultaat	$D_{bT,w} = 55\text{dB}$

Opstelling 2

Zendruimte	Woning B – Living/keuken
Ontvangruimte	Woning A – Keuken
Wandopbouw	E-blocksysteem (15cm) Eenzijdige gipskartonwand
Resultaat	$D_{bT,w} = 53\text{dB}$

De wanden worden geflankeerd door doorlopende betonwelfsels(17cm) met een druklaag (4cm).

Uit deze resultaten valt af te leiden dat voor de toepassing waarvoor het werd onderzocht nl. woning scheidende wanden bij nieuwbouw rijwoning of halfopen bebouwing, de norm voor normaal akoestisch comfort niet behaald wordt. De norm vereist een waarde van minimaal 58 dB.

Het WTCB heeft dan nog enkele voorspellingsberekeningen en simulaties gedaan om eventuele verbeteringen te bekomen. Uit de simulaties , uitgevoerd via Bastian software , blijkt dat volgende waardes gehaald kunnen worden:

- Betonwand 15cm + Akoestische voorzetwand (1zijde) : ±58 dB
- Betonwand 15cm + Akoestische voorzetwand (2zijde) : ±60dB
- Betonwand 20cm : 56 à 57 dB
- Betonwand 20cm + Akoestische voorzetwand (1zijde) : ±60dB

Als we ons baseren op enkel deze resultaten kan men dus concluderen dat het behalen van normaal akoestisch comfort door gebruik te maken van E-blocksysteem + afwerking eenvoudig kan bereikt worden. Maar zoals al vaker aangehaald is geluidisolatie geen specifieke eigenschap en zal de gehele constructie/ruimte meespelen bij het resultaat.

Wel kan men hieruit afleiden dat mits voldoende aandacht voor detaillering en uitvoeringswijze men een bepaalde waarde zou kunnen behalen. De exacte waarde zal dan na uitvoering in situ bepaald moeten worden.

3.5 Luchtdichtheid

De luchtdichtheid van een gebouw in België is al jaren een gekende problematiek. Het is toch pas sinds enkele jaren dat het nadelig effect en eventuele verbetering hun weg gevonden hebben. Door de steeds strenger worden de eisen wat betreft energiezuinig bouwen heeft men ook deze problematiek aangepakt. Men is reeds enkele jaren bezig om zo comfortabel en energiezuinig als mogelijk te bouwen. Hiervoor wordt er gesteund op 3 pijlers:

- Thermische isolatie , voldoende dikte en correcte uitvoering
- Ventilatie , controle en onderhoud
- Luchtdichtheid

Al de pijlers moeten op punt staan om te voldoen aan de gestelde eisen door EPB-regelgeving.

Zoals eerder aangehaald omvat deze regelgeving onder meer het K-peil en het E-peil.

Het is het E-peil waarin een gebrekkig luchtdichtheidsniveau tot uiting komt. In Vlaanderen zal dit E peil een maximale waarde van 60 mogen hebben. Tot op heden worden er voor luchtdichtheid geen specifieke eisen opgelegd.

Het is belangrijk om te benadrukken dat de luchtdichtheid van een constructie wordt bepaald door de gehele buitenschil. Men kan uit een meting geen specifieke materiaaleigenschappen bepalen, het kan enkel aantonen of er voldoende aandacht besteed is aan de kritieke punten in het bouwproces:

- Aansluiting tussen vloerplaat en gevel
- Raam- en deuraansluitingen
- Dakdetails

3.5.1 Meting

Men kan de luchtdoorlatendheid van een gebouwschil onderzoeken door overdrukmethode, ook wel blowerdoortest genoemd. Hierbij gaat men het gebouw in overdruk zetten (50 Pa) om zo het volumegegewicht dat verloren gaat in kaart te brengen en aan de hand van deze resultaten de luchtdichtheid te bepalen. Hoe beter de luchtdichtheid, hoe minder ongewild verlies van warmte doorheen het gebouw.

Om de meting en interpretatie van de resultaten zo correct mogelijk te laten gebeuren kan men een beroep doen op de norm NBN EN 13829: Thermische eigenschappen van gebouwen – bepaling van luchtdoorlatendheid van gebouwen – overdrukmethode (ISO 9972: 1996, gewijzigd). Hierin worden alle randvoorwaarden opgesomd waaraan een blowerdoortest moet voldoen om een correct resultaat te bekomen dat wordt erkend door de EPB-regelgeving. De norm beschrijft 2 type van proefmethode, afhankelijk van het doel.

Methode A: Gebouw in gebruikstoestand

Methode B: Gebouwschil

In 2013 hebben de 3 gewesten samen een document opgesteld met aanvullende specificaties met betrekking tot in rekening brengen van een luchtdichtheidsmeting in de EPB-regelgeving.

Hierin worden specifieke eisen gesteld aan:

- Meetcondities
 - Te meten zone
 - Tijdstip van de meting en staat van het gebouw
- Methode en materiaal
 - Enkel meting op basis van methode A geeft een resultaat dat inrekening gebracht mag/kan worden
- Keuze van apparaat

- Voorbereiding van het gebouw
Verwarming, ventilatie en andere apparatuur
Bewuste openingen
- Meetprocedure
Installatie van de apparatuur
Metingen van het luchtlekdebiet
- Berekening van het totale luchtlekdebiet V_{50}
$$V_{50} = (V_{50,depress} + V_{50,press}) / 2 \text{ (m}^3/\text{h)}$$
- Afpuntlijst van het proefverslag
- Referenties
- Historiek van de documentversies
- Samenvatting van de bijkomende specificaties

3.5.2 Meting in situ

Voor een gebouw volledig uitgevoerd met het E-blocksysteem heeft men een luchtdichtheidstest uitgevoerd om zo een van de zogenaamde voordelen van het systeem te kunnen staven. Men weet van Amerikaanse en Canadese testmethodes dat het systeem op gebied van luchtdichtheid scoort maar door deze test te laten uitvoeren kan men de resultaten ok rechtstreeks afwegen ten opzichte van de eisen gesteld in België .

De meting is uitgevoerd op basis van NBN EN 13829. Hierdoor zullen de resultaten erkend worden door de EPB en opgenomen kunnen worden in de berekening van het E-peil van de woning.

Gegevens van de meting¹¹:

Uitvoerder

Adviesbureau Dirk De Groof bvba
Tinststraat 42 – 2580 Putte

In bijlage vindt u het volledige verslag van de luchtdichtheidsmeting.

Resultaten van de meting:

Onderdruk (V_{50})	506	m ³ /uur
Overdruk (V_{50})	462	m ³ /uur
Gemiddelde (V_{50})	484	m ³ /uur
Gemiddelde lekkagestroom (n50)	1.31	/uur

¹¹ Resultaten en gegevens, luchtdichtheidsproef , 10/04/2014

Gemiddelde lekkagestroom of infiltratievoud (n_{50}) , aantal maal per uur dat het volume aan lucht in het beschermd volume weglekt/inlekt bij het drukverschil van 50Pa

$$n_{50} = V_{50}/V_{int}$$

Welke grootteorde nastreven met betrekking tot luchtdichtheid?

Basisluchtdichtheid: $5/h < n_{50} < 8/h$

Verzorgde luchtdichtheid: $3/h < n_{50} < 5/h$

Hoogwaardige luchtdichtheid: $n_{50} \leq 1/h$

Om de luchtdichtheid in rekening te brengen bij de EPB software zal men een beroep moeten doen op het lekdebiet van de uitwendige schil.

Lekkageverlies : Gemiddelde (V_{50}) / oppervlakte = $1.74 \text{ (m}^3/\text{m}^2\text{)}/\text{uur}$

Deze waarde moet men ingeven bij de EPB-software

3.5.3 Conclusie

Als men de noodzakelijke aandacht besteedt aan detaillering kan met het ICF-systeem een zeer luchtdichte constructie worden gerealiseerd. Een van de voornaamste redenen van deze goede luchtdichtheid is de inwerking van leidingen. Door dat de betonwand aan de binnenzijde bekleed is met isolatie kunnen alle leidingen in de isolatie uitgesneden worden. Bij snelbouwstenen moeten deze leidingen in de stenen gekapt worden. Dit zorgt dat ter plaatsen van stopcontacten en verlichtingsarmaturen steeds hekelpunten zijn bij luchtdichtheid.

4 Case

Bovenstaande subtitels ga ik verwerken aan de hand van een case die bestaat uit een appartementen complex "De Zagerij" te Overijse. Hier ga ik de invloed van het vervangen van de kalkzandsteen buiten- en scheidingswanden door wanden gevormd door de E-block.

Het eerste wat we gaan bespreken is misschien nog wel het belangrijkste, wat zijn de financiële gevolgen bij overschakelen van een meer traditionele bouwmethode naar het ICF-bouwsysteem en meer bepaald het E-block systeem.

Na het financiële overzicht wordt er nog een vergelijking gemaakt tussen beide met betrekking tot U-waarde en akoestisch gezien. Tevens worden er eventuele alternatieve aangeboden die zeker de moeite waard zijn om te overwegen en interessant kunnen zijn voor specifieke projecten.

4.1 Het project: De Zagerij Overijse

Gegevens

Bouwheer: Immpect

Architect: M2 architecten Bvba

Aannemer: Kumpen NV

De zagerij bestaat uit 3 grote blokken, blok A, B en C. Deze zijn onderling verbonden door een ondergrondse parking. Elk blok heeft zijn specifieke afmetingen en dus ook een verschillende indeling.

Materiaalkeuze voor de ruwbouw is wel voor iedere blok dezelfde, de binnenaafwerking is wel op maat van de koper maar deze is voor de case-study niet van belang, het zal geen invloed hebben op de vergelijking tussen de huidige opbouw en deze met E-blocksysteem.

¹²



¹² De zagerij te Overijse, <http://www.immpact.be/nl/over-immpact/realisaties/de-zagerij-overijse> , 31/07/2014

4.2 Financieel

Bij het opstellen van een projectdossier zal de bouwheer samen met de architect bepalen welke materialen zij willen gebruiken. Dit is afhankelijk van de eisen van de bouwheer maar ook van het ontwerp van het bouw.

Men wil de kosten zo laag mogelijk houden en opteren voor producten die prijs/kwaliteit het meeste te bieden hebben.

De aannemer heeft dan de keuze of mee te gaan in het verhaal van de bouwheer en/of architect of dat hij een variante aanbiedt met dezelfde of vergelijkbare eigenschappen. Het indienen van een variante heeft veelal slechts 1 doel: Efficiënter en dus goedkopere uitvoering. Doorslaggevende factor bij de keuze is steeds het financiële aspect van het materiaal. Wanneer materialen aan alle technische specificaties van de bouwheer/architect voldoen zal men altijd een prijsvergelijk opstellen en de voor – en nadelen van de keuze af wegen ten op zichten van elkaar.

Er voor het project reeds een calculatie gemaakt van de bestaande wandopbouw. Ik zal nu deze voorcalculatie gebruiken om de kosten te vergelijken met de variante van het ICF-systeem.

We maken een onderscheid tussen verticaal transport, woning scheidende wanden, buitenwanden.

Opmerking:

Op vraag van Kumpen NV zijn de prijzen en rendementen in dit hoofdstuk aangepast door gebruik te maken van een gemeenschappelijke vermenigvuldigingsfactor .

4.2.1 Verticaal transport

Voor de totale realisatie van het project is een kraankost voorzien van € 219.824 voor al het verticaal transport. Daar men in de voorcalculatie heeft gewerkt met een totaalpost voor deze kost is het achteraf dan ook zeer moeilijk om percentages van deze kost toe te wijzen aan bepaalde posten.

Ik zal dan ook voor deze post een inschatting van maken van de reële kosten en de kost die men moet voorzien bij het ICF-systeem. Dit zal gebeuren in samenspraak met mijn extern promotor ing. Lode Rosvelds. Op Basis van zijn ervaring met dit project als het E-block systeem zullen we realistische kostenraming maken voor het verticaal transport.

Er is gecalculeerd met 2 torenkranen die beide 2/3 van de werf kunnen bevoorraden. Op die manier blijft een groot gedeelte van de werf bereikbaar wanneer 1 van de 2 torenkranen bezet is.

Zo zal bij metselwerk in eerste instantie de aanvoer van de blokken moeten gebeuren. Bij voldoende opslagplaats is het uiteraard voordeliger om alle blokken in een keer naar de gewenste plaats te transporteren maar veelal is hier niet voldoende ruimte voor en zal er meerdere malen beroep moeten gedaan worden op de torenkraan. De bevoorrading van mortel/mortelkuipen kan ook niet in 1 fase gebeuren en zal dus ook continu zijn. Die continuïteit in de bevoorrading is de voornaamste reden waarom men de optie van 2 torenkranen voorziet.

Wanneer men gaat kijken bij het E-blocksysteem en het verwerkingsproces gaat bekijken zijn er onmiddellijk enkele verschillen. De bevoorrading van de blokken en benodigdheden kan in 1 fase gebeuren door de beperkte afmetingen van de blokken (Gepatenteerd vouw-systeem) en het beperkt gewicht.

Daar wij het storten van de wanden steeds voorzien met een betonpomp zal ook deze bevoorrading geen kraantijd in beslag nemen.

De praktijk heeft me geleerd dat kraanbezetting op elke werf tijdens de kritieke fase discussiepunten geeft. Daarom is het belangrijk om de kraantijd zo goed mogelijk te plannen en eventuele onnodige zaken te elimineren.

Wanneer men voor het E-blocksysteem had gekozen was het wellicht haalbaar geweest om de volledige werf te bevoorraden met 1 torenkraan. Dit zou weliswaar een zwaarder model moeten zijn. Dit zou, naar inschatting van Lode , een kraankost beteken van 65%-75% van het huidige budget.

$$€ 219.824 \times 65\% = € 142.885,6$$

$$€ 219.824 \times 75\% = € 164.868$$

Men zou, indien de inschattingen correct zijn, een besparing kunnen doen van ± €55.000 van de kraankosten. Door het vrijgekomen budget kan men in kritieke fase opteren om een mobiele torenkraan of telescoopkraan te reserveren het nodige verticaal transport te realiseren.

4.2.2 Woning scheidende wanden

4.2.2.1 Originele wandopbouw

Zoals eerder vermeld is deze calculatie gebaseerd op de werkelijke voorcalculatie van dit project. De prijzen zijn vermenigvuldigd met eenzelfde factor zodat de verhoudingen dezelfde blijven.

Voor de woning scheidende wanden heeft men in dit project gekozen voor volgende opbouw:

- Kalkzandsteen : 17.5cm (gelijmd)
- GW Partywall: 3cm (Akoestische isolatie)
- Gipsblokken: 10cm

Totale oppervlakte van de woning scheidende wanden : 1592.28 m²

Dit geeft ons volgende kostenberekening.

Woning scheidende wanden	Hoeveelheid m ²	Totaalkost per m ²	
Gelijmde binnenwanden	1592,28	€	52,41
Akoestisch isolatie	1592,28	€	6,91
Gipsblokken	1592,28	€	38,50
Totaal		€	97,81

De totale kost bedraagt: 97.81 €/m², dit is levering van materialen, plaatsing en verlies.

De gedetailleerde kostprijsberekening vindt u op volgende pagina.

Gelijmde binnenwanden				1592,275	m ²	€	52,41
	eenh. 0,5m ² /m ²	EP	Verbruik	Hoeveelheid		EP (met verlies)	
Kalkzandsteen 17,5cm	m ²	€ 26,13	1,05	1671,89	m ²	€	27,44
Kalkzandsteen toebehoren	m ²	€ 2,14	1,00	1592,28	m ²	€	2,14
Lijm voor kalkzandsteen	kg	€ 0,54	4,05	6448,71	kg	€	2,17
Stelling	m ²	€ 2,25	0,50	796,14		€	1,13
Uurloon	Uur	€ 35,51	0,55	875,75	uur	€	19,53

Akoestische isolatie				1592,275	m ²	€	6,91
	eenh. 0,5m ² /m ²	EP	Verbruik	Hoeveelheid		EP (met verlies)	
AK iso GW Partywall 3cm	m ²	€ 4,12	1,03	1640,04	m ²	€	4,25
Uurloon	Uur	€ 35,51	0,08	123,00	uur	€	2,66

Gipsblokken				1592,275	m ²	€	38,50
	eenh. 10m ² /m ³	EP	Verbruik	Hoeveelheid		EP (met verlies)	
Gipsblokken 10cm	m ²	€ 31,06	1,03	1640,04	m ²	€	31,99
Suppl hydro	m ²	€ 3,94	0,5	796,14	m ²	€	1,97
Suppl hoekprofiel	m	€ 5,43	0,2	318,46	m	€	1,09
Suppl ak.strook	m	€ 5,43	0,345	549,33	m	€	1,87
Uurloon	Uur	€ 40,58	0,35	185,69	uur	€	1,58

4.2.2.2 ICF-opbouw

De calculatie van het ICF-systeem is gebaseerd op prijzen en ervaringen van mijn extern promotor Lode Rosvelds.

De prijzen zijn dan ook indicatief en kunnen voor ieder project verschillend zijn. Ieder project moet namelijk een grondige voorstudie ondergaan om tot de meest economische oplossing te komen.

Voor dit project kunnen we is volgende kostprijs gehanteerd.

Woning scheidende wanden		Hoeveelheid	m ²	Totaalkost per m ²	
		1592,28		€	84,95
Totaal				€	84,95

E-block				1592,275	m ²	€	84,95
	eenh. 1m ² /m ²	EP	Verbruik	Hoeveelheid		EP (met verlies)	
E-block 15cm	m ²	€ 37,20	1,05	1671,89		€	39,06
Beton	m ³	€ 13,53	1,10	21539,66		€	14,88
Staal	m ²	€ 4,51	1,09	7179,89		€	4,92
Braces	m ²	€ 5,64	1,05	8974,86		€	5,92
Diverse toebehoren	m ²	€ 3,38	1,10	5384,91		€	3,72
Betonpomp	m ³	€ 2,25	1,00	3589,94		€	2,25
Uurloon	Uur	€ 35,51	0,40	636,91	uur	€	14,20

De totale kostprijs: 84.95 €/m² inclusief levering, plaatsing en verlies

4.2.3 Buitenwanden

4.2.3.1 Originele wandopbouw

Als opbouw voor de buitenwanden heeft men gekozen voor volgende materialen:

- Kalkzandsteen: 17.5cm (gelijmd)
- Eurowall: 2x 4cm

Buitenwanden	Hoeveelheid	m ²	Totaalkost per m ²
Geluidde binnenwanden	1636,21	€	52,24
Thermische isolatie	1636,21	€	27,72
Totaal		€	79,96

Totale kostprijs van 79.96 €/m² inclusief levering, plaatsing en verlies.

Een gedetailleerde kostenberekening kan men terug vinden op volgende pagina.

Gelijmde binnenwanden				1636,21	m ²	€	52,24
	eenh. 0,5m ² /m ²	EP	Verbruik	Hoeveelheid		EP (met verlies)	
Kalkzandsteen 17,5cm	m ²	€ 23,29	1,05	1671,89	m ²	€	24,46
Kalkzandsteen toebehoren	m ²	€ 2,14	1,00	1592,28	m ²	€	2,14
Lijm voor kalkzandsteen	kg	€ 0,54	4,05	6448,71	kg	€	2,17
Stelling	m ²	€ 2,25	1,75	2786,48		€	3,95
Uurloon	Uur	€ 35,51	0,55	875,75	uur	€	19,53

Thermische isolatie (2x4cm)				1636,21	m ²	€	27,72
	eenh. 2m ² /m ²	EP	Verbruik	Hoeveelheid		EP (met verlies)	
Iso wand PU eurowall 4cm	m ²	€ 9,32	1,03	1685,30	m ²	€	9,60
Uurloon	Uur	€ 35,51	0,12	202,24	uur	€	4,26

4.2.3.2 ICF-opbouw

Voor buitenwanden gebruiken we dezelfde blokken als voor de woning scheidende wanden logisch gevolg hiervan is dat de kostprijs van de blokken hetzelfde blijft.

Woningscheidende wanden		Totaalkost per m ²	
	1636,21	€	84,95
Totaal		€	84,95

E-block		1636,21	m ²	€	84,95
	eenh. 1m ² /m ²	EP	Verbruik	Hoeveelheid	EP (met verlies)
E-block 15cm	m ²	€ 37,20	1,05	1718,02	€ 39,06
Beton	m ³	€ 13,53	1,10	22133,99	€ 14,88
Staal	m ²	€ 4,51	1,09	7378,00	€ 4,92
Braces	m ²	€ 5,64	1,05	9222,50	€ 5,92
Diverse toebehoren	m ²	€ 3,38	1,10	5533,50	€ 3,72
Betonpomp	m ³	€ 2,25	1,00	3689,00	€ 2,25
Uurloon	Uur	€ 35,51	0,40	636,91 uur	€ 14,20

De totale kostprijs: 84.95 €/m² inclusief levering, plaatsing en verlies.

4.2.4 Conclusie

Onderstaande tabellen geven een overzicht van de kosten.

Origineel

Overzicht	Hoeveelheid	Eenh.prijs	Totaalprijs
Woning scheidende wand	1592,28	€ 97,81	€ 155 745,09
Buitenwand	1636,21	€ 79,96	€ 130 830,86
Totaal			€ 286 575,95

E-block

Overzicht	Hoeveelheid	Eenh.prijs	Totaalprijs
Woning scheidende wand	1592,28	€ 84,95	€ 135 269,06
Binnen wand	1636,21	€ 84,95	€ 139 001,48
Totaal			€ 274 270,55

De resultaten leren ons dat voor de binnenwanden het E-block systeem een economisch interessantere variëteit biedt ten opzichte van het originele systeem. Voor de buitenwanden licht dit anders, daar is de totale kost van de originele opbouw lager.

Toch kan men niet eenvoudig stellen dat men voor de binnenwanden het E-block had moeten gebruiken en voor de buitenwanden kalkzandsteen. Er zijn verschillende factoren die prijs van materiaal bepalen, de voornaamste ervan is de afname hoeveelheid. Wanneer men deze gaat halveren kan het zijn dat men niet meer aan dezelfde prijs kan aankopen.

Wanneer men gaat kijken naar de totale kost voor beiden is er een verschil van: €12 305,40. Dit is een aanzienlijke besparing die samen met de besparing voor het verticaal transport in het voordeel pleit van het E-blocksysteem.

4.3 Invloed op U-waarde

Een opmerking moet gemaakt worden bij de resultaten terug te vinden in onderstaande tabellen. Ik ben overal uitgegaan van homogene wanden, dit wil zeggen geen rekening houdend met eventuele deur/ raamopening daar de verliezen voor beide dezelfde zijn.

4.3.1 Woning scheidende wanden

De originele wandopbouw voor woning scheidende wanden is als volgt opgebouwd:

Materiaal	λ (W/mK)	Dikte (m)	U (W/m ² K)	R (m ² K/W)
Pleister	0,520	0,010	52,00	0,02
Silicaatsteen	1,250	0,175	7,14	0,14
partywall	0,033	0,030	1,10	0,91
Luchtspouw= Ra	0,059	0,010	5,90	0,17
Gipsblok	0,430	0,100	4,30	0,23
Pleister	0,520	0,010	52,00	0,02

	α (W/m ² K)	R (m ² K/W)
Ri	8	0,125
Re	8	0,125
Ra		0,170

$$R_t = R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_e = 1,74$$

$$U = 1/R_t = 0,575$$

Wanneer we het dragende deel van de opbouw veranderen door het ICF-bouwsysteem komt men tot volgende U-waarde

Materiaal	λ (W/mK)	Dikte (m)	U (W/m ² K)	R (m ² K/W)
Pleister	0,520	0,01	52,00	0,02
EPS	0,037	0,07	0,53	1,89
Beton	1,700	0,15	11,33	0,09
EPS	0,037	0,07	0,53	1,89
Pleister	0,520	0,01	52,00	0,02

Het betreft een woningscheidende wand, zonder luchtsponw => Ra = 0

	α (W/m ² K)	R (m ² K/W)
Ri	8	0,125
Re	8	0,125
Ra		0

$$R_t = R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_e = 4,16$$

$$U = 1/R_t = 0,240$$

Het grote verschil tussen U-waarde :

Kalkzandsteen: 0.575 W/m²K

ICF: 0,240 W/m²K

kan verklaard worden door het niet gebruiken van thermische isolatie bij de originele wandopbouw. Aangezien dit gaat om 2 binnen ruimtes zullen de verliezen die men hierdoor zal generen beperkt blijven maar op langere termijn zal dit wel beginnen doorrekenen.

Ook hier zit er een verschil van dikte in opbouw tussen beide systemen:

Kalkzandsteen: 34cm

ICF: 31cm

4.3.2 Buitenwanden

Voor de buitenmuren is er gekozen voor volgende materialen:

Tabellen aan te passen.

Materiaal	λ (W/mK)	Dikte (m)	U (W/m ² K)	R (m ² K/W)
Pleister	0,52	0,01	52,00	0,02
Silicaatsteen	1,25	0,15	8,33	0,12
PUR-isolatie	0,026	0,08	0,33	3,08
Luchtpouw		0,06	0,00	0,00
Gevelsteen	1,40	0,06	23,33	0,04

De luchtpouw is sterk geventileerd dus het isolerend vermogen is verwaarloosbaar

	α (W/m ² K)	R (m ² K/W)
Ri	8	0,125
Re	25	0,04
Ra		0

> Het betreft een woning scheidende wand, zonder luchtpouw

$$R_t = R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_e = 3,42$$

$$U = 1/R_t = 0,292$$

Door gebruik te maken van het ICF-bouwsysteem komt men tot volgend resultaat:

Materiaal	λ (W/mK)	Dikte (m)	U (W/m ² K)	R (m ² K/W)
Pleister	0,520	0,01	52,00	0,02
EPS	0,037	0,07	0,53	1,89
Beton	1,700	0,15	11,33	0,09
EPS	0,037	0,07	0,53	1,89
Luchtpouw		0,06	0,00	0,00
Gevelsteen	1,400	0,06	23,33	0,04

Door gebruik te maken van het ICF-systeem zal de U-waarde van wand verbeteren en bijgevolg dus ook het isolerend vermogen wat leidt tot een energiezuinigere woning.

Kanttekening bij dit alles is zoals eerder aangehaald de dikte van het systeem.

Originele: 36cm

ICF: 42cm

4.3.3 Conclusie

Binnenwand

Het ICF-bouwsysteem maakt gebruik van thermische isolatie die voor woning scheidende wanden in eerste opzicht geen meerwaarde biedt, we zitten namelijk in het gebouw. Nu kan bij langdurige leegstand of wanneer het gaat over 2^{de} woningen, ik denk maar aan de kust streek, wel een positief effect heeft. Het ICF – bouwsysteem verbetert de U-waarde van de wanden maar het verbreedt de wand ook telkens. Met het ICF-systeem zal de wand 3 cm smaller worden wat dan weer een kleine invloed heeft op de bewoonbare oppervlakte.

Buitenwanden

Buitenwanden zijn essentieel voor het thermisch gedrag van een constructie. Hierin scoort het ICF-systeem het hoogste maar het verbreedt de wandopbouw ook met 6cm. Een verbreding van de originele isolatie (PUR) van 3cm geeft gelijkaardige thermische eigenschappen.

Voor een gebouw waar men veel variatie wenst in de buitengevel zal het ICF-systeem naar woonoppervlakte moeten inboeten ten opzichten van de meer traditionele systemen om dat zij gebruik kunnen maken van materialen met betere isolerende capaciteiten.

Het verlies van woonoppervlakte wordt voor een deel gecompenseerd door de binnenwanden. Men zal voor het niet gecompenseerde deel een verlies van bewoonbare oppervlakte in rekening moeten brengen.

4.4 Invloed op akoestiek

Zoals besproken in hoofdstuk 5.4.2 akoestische eigenschappen , bezit de E-block enkele eigenschappen die een positieve invloed hebben op deze eigenschappen. Zoals blijkt uit testen van het WTCB kan men voor nieuwbouwappartementen een voldoende hoog comfort halen door gebruik te maken van een betonwand van 15cm. Dit is ook de voornaamste reden om deze dikte aan te houden. Men kan ook opteren om de betonwand dunner uit te voeren en dan te kiezen om een akoestische voorzetwand te plaatsen , maar hierdoor moeten er weer meer handelingen gebeuren waardoor het systeem 1 van zijn voordelen verlies, nl. rendement. De financiële gevolgen van dit alles wordt in een later hoofdstuk berekend en besproken.

4.4.1 Conclusie

Daar het niet mogelijk was om dit in situ te meten moeten we uitgaan van een hypothese gebaseerd op de meting uitgevoerd in andere omstandigheden. Daarom is volgende gedachtegang ook geen zekerheid maar een logische redenering gefundeerd op bestaande resultaten.

Door het gebruik van de E-block met een betonwanddikte van 15cm zal men met hoge waarschijnlijkheid kunnen zeggen dat de gestelde eisen voor nieuwbouwappartementen kunnen gehaald worden.

5 Besluit

Mij verdiepen in het systeem van insulated concrete forms leerde mij dat er een eindeloze hoeveelheid aan mogelijkheden bestaan met elk hun specifieke toepassing. Die flexibiliteit zorgt er dan ook voor dat het systeem in enkele andere continenten reeds frequent gebruikt wordt, denk maar aan Noord-Amerika.

In Europa is het systeem veel minder bekend, dit is zeker zo voor België waar men veelal ongekend is onbemind hanteert in de bouwwereld. Men kiest vaak voor traditionele bouwmethode in plaats. Enkele wanneer er veel publiciteit en/of wanneer bouwheer of architect wensen dat er een bepaalde innoverende toepassing dient gebruikt te worden zullen aannemers het "risico" nemen.

Het gebruik van nieuwe systemen vergt van iedere partij in het bouwproces een extra inspanning, daar men niet kan terugvallen op praktijkervaring. Dit is voor het ICF-systeem niet anders. Een degelijk voorstudie en voorbereiding zijn nodige om enkel de noodzakelijk kosten te maken en het rendement zo hoog mogelijk te houden.

De aannemer zal moeten zorgen voor een degelijk opleidingen van de werkgevers , zodat de plaatsing op een correcte manier gebeurd. Alsook de mensen informeren over de risico's die gepaard gaan met de werken door middel van toolbox of veiligheidsheidskursus.

Toch heeft systeem ook enkele factoren die de keuze voor het systeem kunnen weerleggen. Op dit moment is er een beperkt ervaring met dit systeem en zijn er weinig architecten, bouwheren of aannemers die het risico willen nemen om dit systeem te introduceren. De keuze voor een systeem gaat altijd gepaard met de haalbaarheid van het systeem. Een betonconstructie zal een zwaarder gewicht bezitten dan een constructie uit metselwerk. Door het grotere gewicht is een zwaardere fundering noodzakelijk. Bij onvoldoende draagkrachtige ondergrond zal het systeem financieel niet interessant zijn.

Het systeem biedt voordelen te opzichten van metselwerk. Zo zal de snelheid van verwerking zorgen voor een versneld bouwproces, dit kan zo weer leiden tot lagere vaste kosten. Men doet namelijk verschillende handelen in een actie:

- Bekisten
- Isoleren
- Plaatsen van stelling/platform

Dit in combinatie met een beperkt en eenvoudig verticaal transport kan leiden tot een aanzienlijke kostenvermindering. De doorgedreven voorstudie en voorbereiden zorgen dan weer voor een beperkt verlies waardoor de afvalberg verkleind.

Uit het onderzoek is gebleken dat mits goede, diepgaande voorbereiding en degelijk opleiding van werkgevers, het ICF-systeem een interessante variante biedt voor de meer traditionele bouwmethoden.

Het is wachten tot er iemand het initiatief neemt om dit systeem ook op grote schaal te lanceren in België.

6 Bibliografie

1. B. Ingelaere, i. a.-d. (2008, Januari). *Nieuwe akoestische criteria woongebouwen*. Opgeroepen op 2014, van WTCB:
www.wtcb.be/homepage/download.cfm?dtype=publ&doc=Nieuwe_akoestische_criteria_woongebouwen.pdf&lang=nl
2. bbri. (2002, september). *Eurocode 1: Belastingen op constructies*. Opgehaald van antenne_norm:
www.bbri.be/antenne_norm/eurocodes/nl/table_belg_EN.html
3. bbri. (2010, mei). *Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies*. Opgehaald van antenne_norm:
www.bbri.be/antenne_norm/eurocodes/nl/table_belg_EN.html
4. bbri. (2010, november). *Eurocode 6: Ontwerp en berekening van constructies van metselwerk*. Opgehaald van antenne_norm:
www.bbri.be/antenne_norm/eurocodes/nl/table_belg_EN.html
5. Calduran. (sd). *Handboek werkvoorbereiding en uitvoering*. Opgeroepen op 2013, van Calduran: www.calduran.nl/wp-content/uploads/2014/03/handboek-werkvoorbereiding-en-uitvoering
6. Calduran. (sd). *Productieproces kalkzandsteen*. Opgeroepen op September 2013, van Calduran: <http://www.calduran.be/index.php?id=679>
7. epbd. (2013, mei 28). *Luchtdichtheidsmetingen EPB specificaties*. Opgeroepen op 2014, van etanchéié air:
www.epbd.be/media/pdf/etancheite_air/Luchtdichtheidsmetingen_EPB_specifications_v3_130528.pdf
8. Febecel. (sd). *Cellenbeton - Thermische eigenschappen*. Opgeroepen op Februari 2014, van Febecel: <http://www.febecel.be/pdf/thermisch1.pdf>
9. L.Lassoie, i. a. (2011, september). *Luchtdichtheid van gebouwen: van belang voor alle aannemers*. Opgeroepen op 2014, van WTCB:
www.wtcb.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=infofiches&pag=55
10. Nudura. (sd). *Technical Centre*. Opgehaald van
www.nudura.com/en/Technical_centre.aspx
11. Paul Mees, D. P. (2003, maart 24). *Geluidisolatie tussen appartementen*. Opgeroepen op 2014, van studiedag geluidsisolatie:
http://www.lne.be/themas/hinder-en-risicos/geluidshinder/info/activiteiten/studiedag-geluidsisolatie/AMB_studiedag24032006_isolatie%20appartementen_M0BNU_DAU_PM.pdf

12. *Technische brochure*. (sd). Opgeroepen op September 2013, van E-block:
<http://e-block.be/nl/brochure>
13. VIBE. (sd). *Vlaams instituut voor Bio-Economisch Bouwen en Wonen*.
Opgeroepen op Maart 2014, van VIBE: <http://www.vibe.be/index.php>
14. WTCB. (2014, Februari). *EPB-eisen*. Opgeroepen op 2014, van WTCB:
http://www.wtcb.be/homepage/download.cfm?dtype=na_energy&doc=PEB%20Eisen%20upd%20201402.pdf&lang=nl

6.1 Documentatie

Cursus beton: Studieboek industrieel ingenieur bouwkunde XIOS hogeschool

Cursus bouwfysica: Masterjaar industrieel ingenieur bouwkunde XIOS hogeschool

Cursus bouwfysica: 3^{de} jaar industrieel ingenieur bouwkunde XIOS hogeschool

7 Bijlage

Bijlage A – Dampspanningstabel

Bijlage B – Resultaten inwendige condensatie

Bijlage C – WTCB Proefverslag akoestiek

Bijlage D – Luchtdichtheidsmeting

Bijlage A – Dampspanningtabel

13

Dampspanningstabel bij een luchtvochtigheid van 100 %

temp [°C]	Ps [Pa]	c _{max} [g/m ³]	temp [°C]	Ps [Pa]	c _{max} [g/m ³]	temp [°C]	Ps [Pa]	c _{max} [g/m ³]
69	29849	190,1	39	6997	48,6	9	1148	8,82
68	28574	182,4	38	6630	46,2	8	1072	8,27
67	27345	175,0	37	6280	43,9	7	1002	7,76
66	26162	167,9	36	5945	41,7	6	935	7,28
65	25021	161,1	35	5627	39,56	5	872	6,83
64	23923	154,5	34	5323	37,54	4	814	6,40
63	22865	148,1	33	5033	35,62	3	758	5,99
62	21850	141,9	32	4757	33,77	2	706	5,59
61	20870	135,9	31	4496	32,02	1	657	5,21
60	19930	130,2	30	4245	30,34	0	611	4,84
59	19025	124,9	29	4007	28,73	-1	563	4,48
58	18155	119,6	28	3782	27,21	-2	517	4,14
57	17320	114,4	27	3567	25,75	-3	476	3,82
56	16517	109,3	26	3363	24,36	-4	437	3,53
55	15748	104,3	25	3169	23,05	-5	401	3,26
54	15010	99,6	24	2985	21,78	-6	368	3,01
53	14302	95,2	23	2811	20,55	-7	337	2,77
52	13620	91,0	22	2645	19,43	-8	309	2,55
51	12968	87,0	21	2488	18,35	-9	283	2,34
50	12342	83,0	20	2340	17,28	-10	260	2,15
49	11743	79,0	19	2198	16,30	-11	237	1,98
48	11168	75,3	18	2065	15,37	-12	217	1,82
47	10620	71,8	17	1938	14,47	-13	199	1,67
46	10093	68,5	16	1818	13,65	-14	181	1,53
45	9590	65,4	15	1706	12,85	-15	165	1,41
44	9107	62,5	14	1599	12,07	-16	151	1,29
43	8645	59,6	13	1498	11,35	-17	137	1,18
42	8205	56,7	12	1403	10,65	-18	124	1,08
41	7784	53,8	11	1313	10,01	-19	113	0,99
40	7381	51,15	10	1229	9,40	-20	103	0,90

¹³ Dampspanningstabel, <http://www.humida.be/downloads/> , 07/08/2014

Bijlage B – Resultaten inwendige condensatie

December

	Temp.	p'd	pd
θi	17,30	1976,10	1172,00
θi0	16,87	1922,40	1172,00
θi1	16,80	1914,00	1170,33
θi2	10,25	1250,84	1092,25
θi3	9,95	1224,95	813,39
θi4	3,40	780,96	735,31
θi5	3,40	780,96	735,31
θi6	3,25	772,56	713,00
θi7	3,12	764,72	713,00

Januari

	Temp.	p'd	pd
θi	17,06	1945,62	1154,40
θi0	16,61	1892,40	1154,40
θi1	16,55	1884,00	1152,67
θi2	9,81	1213,61	1071,73
θi3	9,49	1188,50	782,66
θi4	2,76	745,52	701,73
θi5	2,76	745,52	701,73
θi6	2,60	737,72	678,60
θi7	2,46	729,92	678,60

Februari

	Temp.	p'd	pd
θi	17,45	1945,62	1183,00
θi0	17,03	1892,40	1183,00
θi1	16,96	1884,00	1181,37
θi2	10,53	1213,61	1105,07
θi3	10,23	1188,50	832,59
θi4	3,81	803,36	756,30
θi5	3,81	745,52	730,33
θi6	3,66	737,72	734,50
θi7	3,52	729,92	734,50

Maart

	Temp.	p'd	pd
θi	18,50	2131,50	1260,00
θi0	18,13	2082,29	1260,00
θi1	18,07	2074,31	1258,63
θi2	12,48	1448,60	1194,84
θi3	12,22	1423,90	967,02
θi4	6,63	977,21	903,23
θi5	6,63	977,21	903,23
θi6	6,50	968,50	885,00
θi7	6,38	960,46	885,00

April

	Temp.	p'd	pd
θi	19,70	2297,40	1348,00
θi0	19,39	2253,38	1348,00
θi1	19,35	2247,70	1346,94
θi2	14,71	1674,97	1348,00
θi3	14,49	1651,43	1120,65
θi4	9,85	1216,85	1071,14
θi5	9,85	1216,85	1071,14
θi6	9,74	1207,94	1057,00
θi7	9,65	1200,65	1057,00

Mei

	Temp.	p'd	pd
θi	21,65	2590,05	1491,00
θi0	21,45	2558,65	1491,00
θi1	21,41	2552,37	1490,44
θi2	18,32	2107,56	1491,00
θi3	18,18	2088,94	1370,29
θi4	15,09	1716,08	1344,01
θi5	15,09	1716,08	1344,01
θi6	15,02	1708,24	1336,50
θi7	14,95	1700,65	1336,50

Juni

	Temp.	p'd	pd
θi	22,70	2761,20	1568,00
θi0	22,55	2736,30	1568,00
θi1	22,53	2732,98	1567,70
θi2	20,27	2379,96	1568,00
θi3	20,17	2365,16	1504,72
θi4	17,91	2053,57	1490,94
θi5	17,91	2053,57	1490,94
θi6	17,86	2047,22	1487,00
θi7	17,81	2040,87	1487,00

Juli

	Temp.	p'd	pd
θi	23,00	2881,00	1590,00
θi0	22,87	2328,32	1590,00
θi1	22,85	2335,60	1589,78
θi2	20,83	2462,84	1590,00
θi3	20,73	2448,04	1543,12
θi4	18,71	2159,43	1532,92
θi5	18,71	2159,43	1532,92
θi6	18,67	2154,11	1530,00
θi7	18,62	2147,46	1530,00

Augustus

	Temp.	p'd	pd
θi	22,55	2736,30	1557,00
θi0	22,39	2709,74	1557,00
θi1	22,37	2706,42	1556,67
θi2	19,99	2338,58	1557,00
θi3	19,88	2322,96	1485,51
θi4	17,50	2001,50	1469,95
θi5	17,50	2001,50	1469,95
θi6	17,45	1995,15	1465,50
θi7	17,40	1988,80	1465,50

September

	Temp.	p'd	pd
θi	21,65	2590,05	1491,00
θi0	21,45	2558,65	1491,00
θi1	21,41	2552,37	1490,44
θi2	18,32	2107,56	1491,00
θi3	18,18	2088,94	1370,29
θi4	15,09	1716,08	1344,01
θi5	15,09	1716,08	1344,01
θi6	15,02	1708,24	1336,50
θi7	14,95	1700,65	1336,50

Oktober

	Temp.	p'd	pd
θi	19,70	2297,40	1348,00
θi0	19,39	2253,38	1348,00
θi1	19,35	2247,70	1346,94
θi2	14,71	1674,97	1348,00
θi3	14,49	1651,43	1120,65
θi4	9,85	1216,85	1071,14
θi5	9,85	1216,85	1071,14
θi6	9,74	1207,94	1057,00
θi7	9,65	1200,65	1057,00

Bijlage C – WTCB proefverslag akoestiek

	WETENSCHAPPELIJK EN TECHNISCH CENTRUM VOOR HET BOUWBEDRIJF		
	INRICHTING ERKEND BIJ TOEPASSING VAN DE BESLUITWET VAN 30 JANUARI 1947		
- Proefstation : B-1342 Limelette, avenue P. Holofie 21 - Kantoren : B-1932 Sint-Stevens-Woluwe, Lozenberg 7 - Maatschappelijke zetel : B-1000 Brussel, Lombardstraat 42	Tel : (32) 2 653 77 11 Tel : (32) 2 716 42 11 Tel : (32) 2 502 66 90	Fax : (32) 2 653 07 29 Fax : (32) 2 725 32 12 Fax : (32) 2 502 81 80	
BTW nr.: BE 407.695.057	www.bbri.be	Blz. 1 / 4	
LABORATORIUM AKOESTIEK (AC) PROEFVERSLAG Nr. AC5098			
Aanvrager : EC Build Schaliehoevestraat 14B B-2220 Heist-op-den-Berg			
Gecontacteerde personen :	Aanvrager : Lode Rosvelds	WTCB - CSTC - BBRI - WTB Debby Wuyts	
Uitgevoerde proeven : Bepaling van de luchtgeluidisolatie in situ Meetadres : Liersesteenweg 320 te Mechelen			
Referentie norm : EN ISO 140-4:1998 Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms (ISO 140-4:1998) EN ISO 717-1:1996 Acoustics-Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation (ISO 717-1:1996)			
Datum en referentie van de aanvraag : Ontvangstdatum van de proefstuk(ken) : Datum van de proeven : Datum opstelling van het verslag :	19-02-10 - 03-03-10 12-03-10	Nr. DE631xA869	
Dit proefverslag bevat samen met zijn bijlagen 4 pagina's en mag slechts in zijn geheel verveelvoudigd worden. Elke bladzijde van het originele verslag is afgestempeld met de laboratoriumstempel (in het rood) en geparafeerd door het laboratoriumhoofd. De resultaten en waarnemingen zijn slechts geldig voor de beproefde meetplaatsen en -situaties.			
Verantwoordelijke ingenieur der proeven,  ir. D. Wuyts Medewerker : ing. M. Van Damme	Laboratoriumhoofd,  ing. M. Van Damme		



BESCHRIJVING METINGEN

1 DEFINITIES

- De gestandaardiseerde akoestische isolatie wordt bepaald uit de volgende formule (zelfde symbolen als hierboven) :

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \log(T/0.5s) \quad [\text{dB ref. } 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}]$$

- De genormaliseerde akoestische isolatie wordt bepaald uit de volgende formule (zelfde symbolen als hierboven) :

$$D_n = L_1 - L_2 + 10 \log(10 \text{ m}^2/A) \quad [\text{dB ref. } 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}]$$

"A" stelt de equivalente absorptieoppervlakte voor en kan uit de nagalmtijd T bepaald worden volgens de volgende formule van Sabine :

$$A = 0.16V/T \quad [\text{m}^2]$$

Voor eenzelfde constructie wordt de genormaliseerde akoestische isolatie kunstmatig slechter naarmate het volume van de ontvangtruimte (V) toeneemt boven de 32 m³. In die zin vormt de genormaliseerde akoestische isolatie een minder interessante en een te vermijden grootheid om de kwaliteit van een constructie en het comfort van de bewoners te beoordelen.

- Tussen beide grootheden bestaat de volgende relatie :

$$D_n = D_{nT} - 10 \log 0.032V \quad [\text{dB ref. } 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}]$$

2 MEETNAUWKEURIGHEID

- De nauwkeurigheid van de meetresultaten bedraagt ± 2 dB tot 315 Hz en ± 1 dB daarboven.

3 GEBRUIKTE MEETAPPARATUUR en MEETMETHODE

Signaal

- Brüel & Kjær - 4224 : Een luidspreker met ruisgenerator.

Microfoons en opname

- Brüel & Kjær - 2260 : een sonometer/analyser met ingebouwde software en automatische nagalmtijdbepaling.
- Brüel & Kjær - type 4220 : een ijkbron.

Meetmethode

- Voor een gedetailleerde beschrijving van de meetprocedure: zie EN ISO 140-4:1998.
- Een ruisbron wekt achtereenvolgens in minstens 2 posities een stabiel en voldoende luid geluidsveld met continu spectrum (tenminste tussen 80 Hz en 5 kHz) in de zendruimte op. Het verschil in geluidsdruk niveau tussen 2 opeenvolgende tertsbanden bedraagt niet meer dan 6 dB. Daarbij dient het geluidsdruk niveau in de ontvangtruimte minstens 10 dB per tertshand hoger te zijn dan dan het achtergrondgeluidniveau. De luidspreker wordt hierbij op minstens 2 verschillende plaatsen (tussentalstand minstens 1.4 m) opgesteld en op een dusdanige wijze dat een zo diffuus mogelijk geluidveld gecreëerd wordt. Hierbij worden de directe scheidingwand en flankerende wanden niet rechtstreeks aangestraald door de ruisbron. De geluidbron voldoet aan de vereisten gesteld in bijlage A van de norm.
- De geluidsdruk niveau metingen worden in zendruimte (L1) en ontvangtruimte (L2) met een bewegende microfoon gemeten. Per meetruimte, telkens rond minstens twee verschillende posities, wordt volgens een cirkelvormig patroon met een straal groter dan 0.7 m en onder een hoek van meer dan 10° met elk vlak van de ruimte gemeten. De minimale afstand tussen de meetzones bedraagt 0.7m. De gekozen plaatsen liggen zo uniform mogelijk verspreid over de te meetruimte. Elke microfoonpositie is minstens 0.5 m van elk reflecterend oppervlak en minstens 1m van de ruisbron verwijderd. De middellijntijd per meetpositie bedraagt minstens 15 s.

Nagalmtijdmeting T

- Twee posities van de ruisbron met telkens minstens 3 nagalmtijdmetingen.
- Automatische nagalmtijdmeting met behulp van de Brüel & Kjær - 2260.

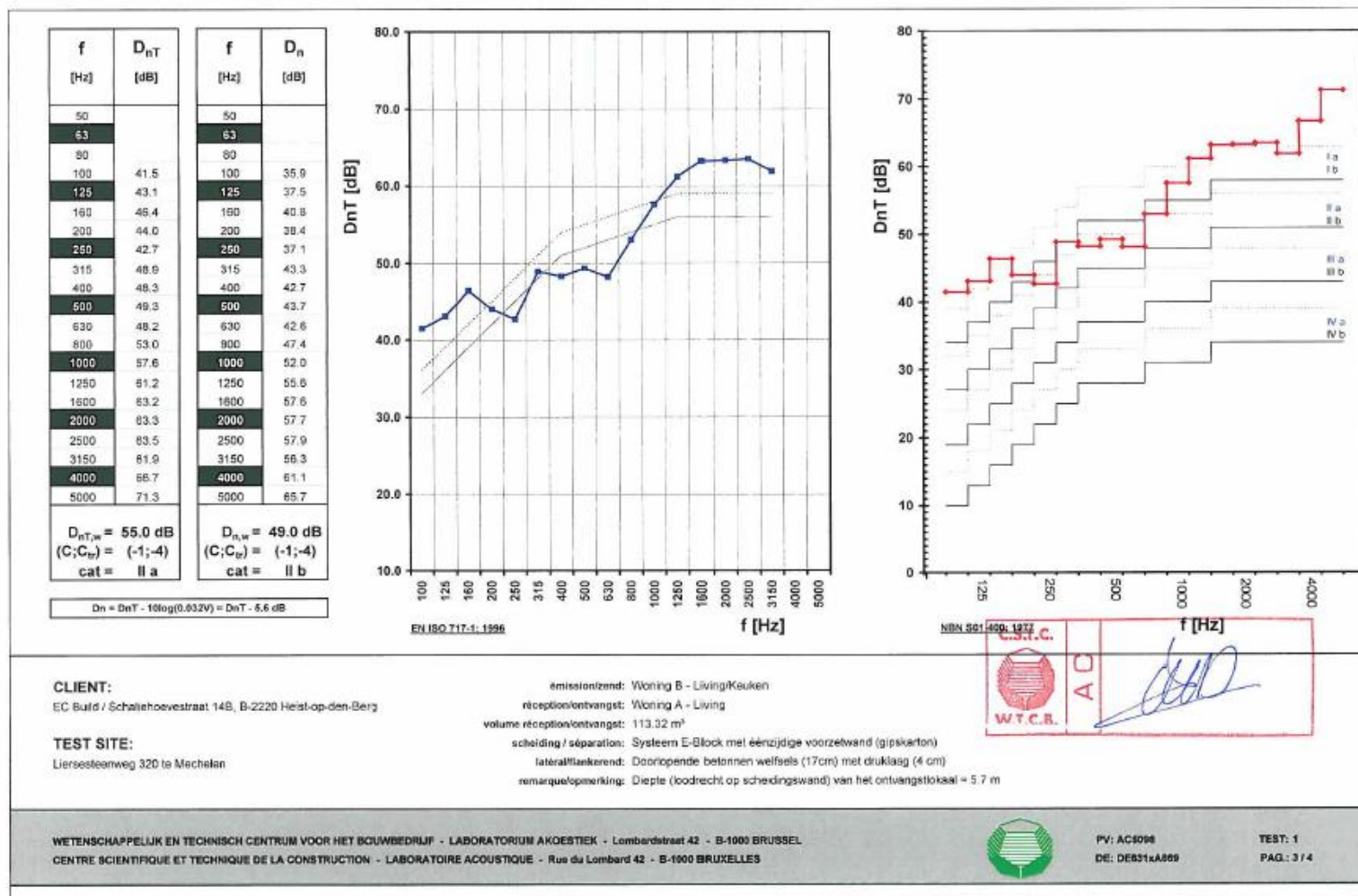
4 EENGETALSAANDUIDING

- De bepaling van de ééngetalsaanduiding gebeurt volgens EN ISO 717-1:1996. De berekening van de ééngetalsaanduiding kan niet op enkele tijden geschiedt worden. Berekeningsmodules en meer informatie over de ééngetalsaanduiding (en over bouwakoestische normalisatie in het algemeen) kunnen teruggevonden worden op de website van het laboratorium Akoestiek, nl.:

www.normen.be

- Als extra informatie worden eveneens de oudere Belgische ééngetalsaanduidingen volgens NBN S01-400:1977 opgegeven.



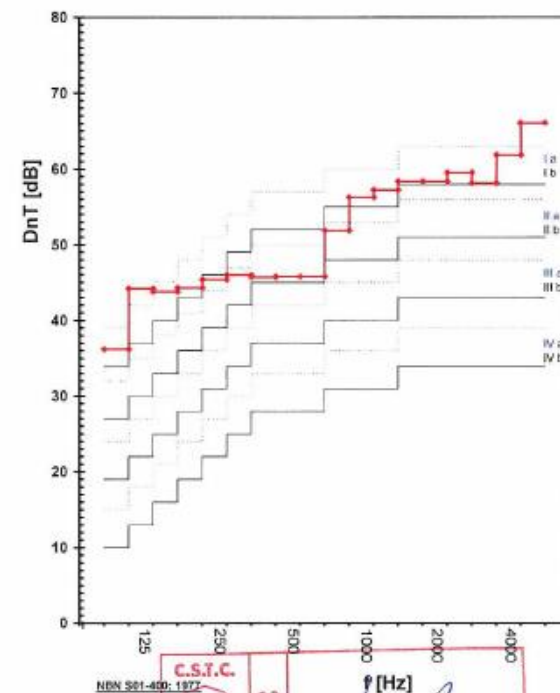
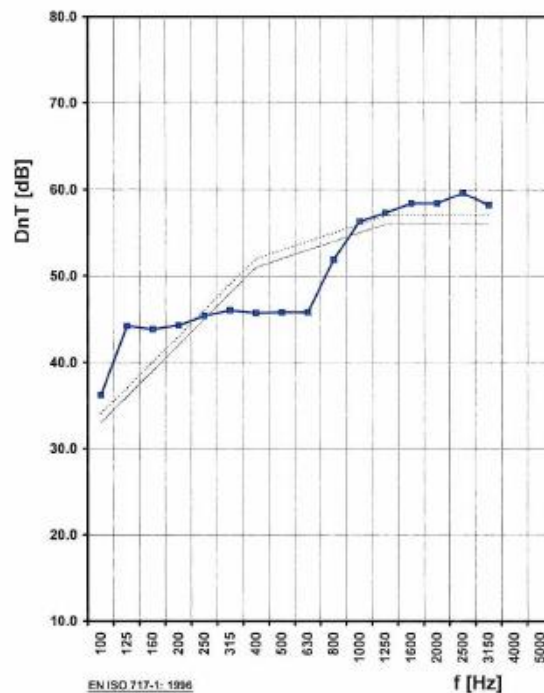


f [Hz]	D _{nT} [dB]	f [Hz]	D _n [dB]
50		50	
63		63	
80		80	
100	36.2	100	38.2
125	44.2	125	46.2
160	43.8	160	45.8
200	44.3	200	46.3
250	45.4	250	47.4
315	46.0	315	48.0
400	45.7	400	47.7
500	45.8	500	47.8
630	45.8	630	47.8
800	51.9	800	53.9
1000	56.3	1000	58.3
1250	57.3	1250	58.3
1600	58.4	1600	60.4
2000	59.4	2000	60.4
2500	59.6	2500	61.6
3150	59.2	3150	60.2
4000	61.9	4000	63.9
5000	66.1	5000	68.1

D_{nT,w} = 53.0 dB
(C;C_w) = (-2;-4)
cat = II b

D_{n,w} = 55.0 dB
(C;C_w) = (-2;-4)
cat = II a

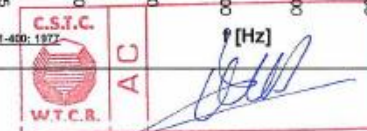
$$D_n = D_{nT} - 10 \log(0.032V) = D_{nT} - 2 \text{ dB}$$



CLIENT:
EC Buid / Schaliehoevestraat 14B, B-2220 Heist-op-den-Berg

TEST SITE:
Liersselesweg 320 te Mechelen

émission/émetteur: Woning B - Living/Kuiken
réception/ontvanger: Woning A - Kuiken
volume réception/ontvangst: 19.81 m³
séparation / séparation: Systeem E-Block met éénzijdige voorzetwand (gipskarton)
latéraal/flankerend: Doorlopende betonnen welwels (17cm) met druklaag (4 cm)
remarque/opmerking: Diepte (loodrecht op scheidingswand) van het ontvangstlokaal = 2.08 m



WETENSCHAPPELIJK EN TECHNISCH CENTRUM VOOR HET BOUWBEDRIJF - LABORATOIRE ACOESTIEK - Lombardstraat 42 - B-1000 BRUSSEL
CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION - LABORATOIRE ACOUSTIQUE - Rue du Lombard 42 - B-1000 BRUXELLES



PV: AC8098
DE: DE631xAS68

TEST: 2
PAG.: 4 / 4

Bijlage D – Luchtdichtheidsmeting

Adviesbureau
Dirk De Groof
bvba

Tinstraat 42 – 2580 Putte

VEILIGHEIDSCOORDINATIE

ENERGIEPRESTATIEREGELGEVING (EPB)
ENERGIEPRESTATIECERTIFICATEN (EPC)
ENERGIEADVIESPROCEDURE (EAP)
BLOWERDOOR – THERMOGRAFIE

Tel.: 015/23.57.67

Fax: 015/34.66.25

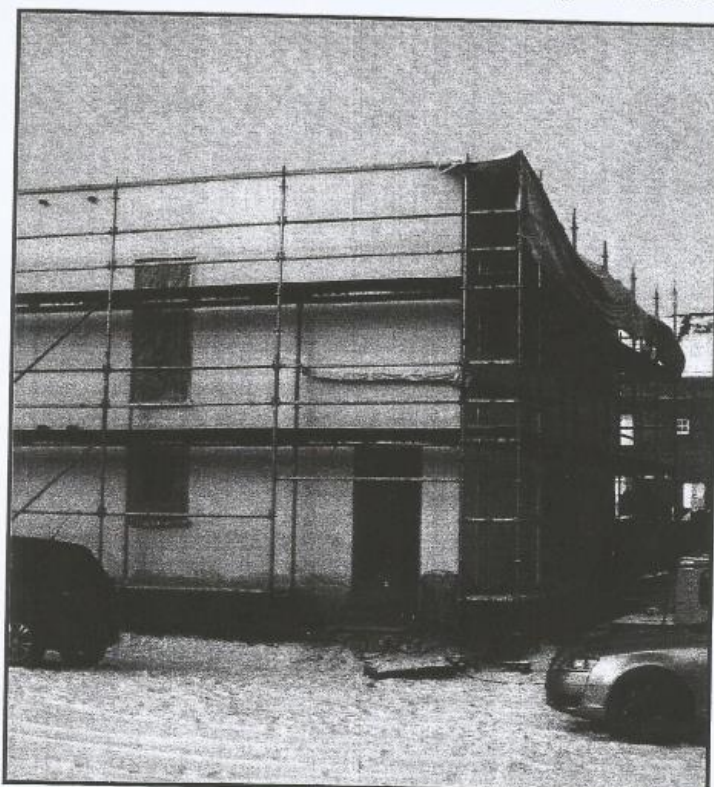
info@dirkdegroof.be

www.dirkdegroof.be

Proefverslag van de Luchtdichtheidsmeting

Blowerdoor-meting conform de norm EN BIN 13829

Dit verslag geeft de luchtdichtheid weer van de woning conform de meetnorm BIN 13829. De voorwaarden van deze norm werden strikt nageleefd waardoor de resultaten van de meting kunnen gebruikt worden in de energieprestatieberekeningen van de woning.



Dossiernummer : D201005
Aanvrager : Looca bvba
Adres : Vrouwvlietbeemden 9 A

1 van 5

Adviesbureau
Dirk De Groof

bvba

Tinstraat 42 – 2580 Putte

VEILIGHEIDSCOORDINATIE

ENERGIEPRESTATIEREGELGEVING (EPB)
ENERGIEPRESTATIECERTIFICATEN (EPC)
ENERGIEADVIESPROCEDURE (EAP)
BLOWERDOOR – THERMOGRAFIE

Tel.: 015/23.57.67

Fax: 015/34.66.25

info@dirkdegroof.be

www.dirkdegroof.be

Aard van de meting

Meting A

De meting werd uitgevoerd conform de meetnorm EN BIN 13829. Deze normen zijn neergeschreven door het Vlaamse, Waalse en Brusselse gewest en dienen strikt nageleefd te worden. Enkel en alleen als deze normen gevolgd worden, mogen de resultaten geïnterpreteerd worden in het kader van een EPB-onderzoek.

Uitvoerder

Adviesbureau Dirk De Groof bvba

Tinstraat 42

2580 Putte

BTW BE 0890.140.195

Tel.: 015/23 57 67

Fax: 015/34 66 25

Controleur: Wijns Nick

0497/52 33 38

nick@dirkdegroof.be

Datum van de meting

De meting werd uitgevoerd op donderdag 07 januari 2010.

Aanvrager

Looica bvba

Dhr. Lode Rosvelds

Hulshoutsesteenweg 84 A

2220 Heist-op-den-Berg

Mobiel: 0473/68 39 82

Te meten gebouw

Vrouwvlietbeemden 9 A

2800 Mechelen

Gemeten zone

Het beschermd volume omvat alle ruimtes die rechtsreeks door een verwarmingselement worden verwarmd. De garage is niet opgenomen in het verwarmd beschermd volume.

Binnenvolume:	384 m ³ (± 1% foutenmarge)
Nettogrondoppervlakte A(f):	131 m ²
Beschermd oppervlakte A(e):	287 m ²

Gegevens met betrekking tot de meting

Hieronder zijn de algemene gegevens weergegeven van de toestellen die bij het onderzoek betrokken zijn.

Merk blowerdoor toestel: Mineapolis BlowerDoor Model 4 (230 volt)

Type luchtdruk toestel: DG – 700 (gekalibreerd op 04/08/2009)

De gebruikte luchtdrukmeters zijn in staat om drukverschillen te meten tot op ± 2 Pascal nauwkeurig.

De gebouwschil is volledig dicht. Dit wil zeggen dat ramen en deuren geplaatst zijn en dat de binnenspouwbladen afgewerkt zijn.

Het blowerdoor-toestel werd geplaatst in de voordeur van de woning. Deze opening in de bouwschil bevindt zich op de gelijkvloerse verdieping en is voorzien van rubberen strips. op de profielen zodat een luchtdichte aansluiting wordt gegarandeerd.

Volgende werken zijn voltooid:

- Afwerking van de muren (geschilderd/gipskartonplaten)
- Afwerking van de vloer
- Sanitair
- Keuken
- Ventilatie-toestellen
- Verwarmingstoestellen

Binnentemperatuur: $\pm 5^{\circ}\text{C}$

Buitentemperatuur: $\pm - 4^{\circ}\text{C}$

Standaard luchtdruk: 1013,25 Pascal

Gemiddeld luchtlekdebiet (v50): 484 m³/uur

Voorbereiding van het gebouw

Vooraleer de meting wordt gestart, is de woning grondig onderzocht naar potentiële bewuste en onbewuste luchtlekken. Door middel van de NBN EN 13829 werden zo alle openingen zorgvuldig geanalyseerd en indien nodig naar luchtdichtheid behandeld.

De woning is voorzien van een ventilatiesysteem D met warmterecuperatie. Deze werd ter hoogte van de aan- en afvoer met de buitenlucht hermetisch afgesloten.

Elke wachtopening voor aan- en afvoeren van waterkanalen zijn hermetisch afgedicht door middel van luchtdichte kleefband.

Alle sifons aanwezig in sanitaire installaties werden met water gevuld, evenals de afvoeropeningen in deze sanitaire installaties werden met tape afgedicht.

Natuurlijke drukverschillen volgens NBN EN 13829

Zie bijlage 1.

In deze bijlage worden de verschillende natuurlijke drukverschillen weergegeven. Dit luchtdrukverschil tussen binnen en buiten werd 30 keer gemeten voor en na de onder- en overdruk test.

Lekkagecurve

Zie bijlage 2.

Deze grafiek toont het verloop van het luchtdebiet dat in en uit de woning wordt gepompt. Onderaan is het luchtdrukverschil tussen binnen-en buitenomgeving van de woning weergegeven. Links van de grafiek kan men zien hoeveel volume lucht (m³) per uur wordt ververst.

Meetstaat volgens NBN EN 13829

Zie bijlage 3.

Deze meetstaat geeft de algemene gegevens van het gebouw weer. Verder kan men hier de omstandigheden terugvinden waarin de BlowerDoor test is uitgevoerd.

Op deze pagina worden ook de uiteindelijke resultaten van de meting weergegeven.

Resultaat van het onderzoek

Om het resultaat van het onderzoek te kunnen berekenen, werd de luchtdichtheid van de woning gemeten in onder –en overdruk. Beide meetmethodes zorgen voor een drukverschil van 50 Pascal tussen binnen en buiten.

Onderdruk (v50):	506 m ³ /uur
Overdruk (v50):	462 m ³ /uur
Gemiddelde van beide metingen:	484 m ³ /uur
Gemiddelde lekkagestroom (n50):	1,3 l/uur

De gemiddelde lekkagestroom geeft weer hoeveel keer het verwarmde/beschermde volume wordt ververst per uur.

Besluit

Het verwarmde/beschermde volume wordt **1,3 keer per uur** ververst.

Met de gemeten gegevens kan men het lekkageverlies (V50) berekenen, deze waarde mag men daar toepassen in de EPB-berekeningen waar standaard 12 (m³/m²)/uur wordt ingegeven.

Lekkageverlies (V50) = 1.74 (m³/m²)/uur

Opmerking

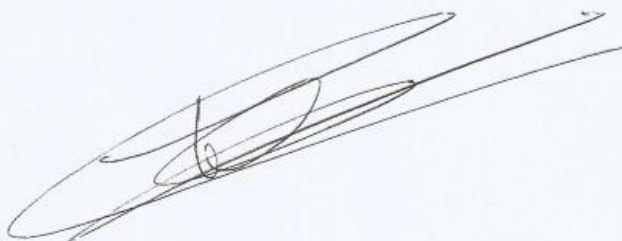
Dit proefverslag, bestaande uit 8 pagina's, is opgemaakt in eer en geweten om te dienen voor wie het hoort en dit onder voorbehoud van alle recht en zonder nadelige erkenenis ervan.

Dit verslag is opgemaakt conform de norm NBN EN 13829 en verzonden aan onderstaande partij:

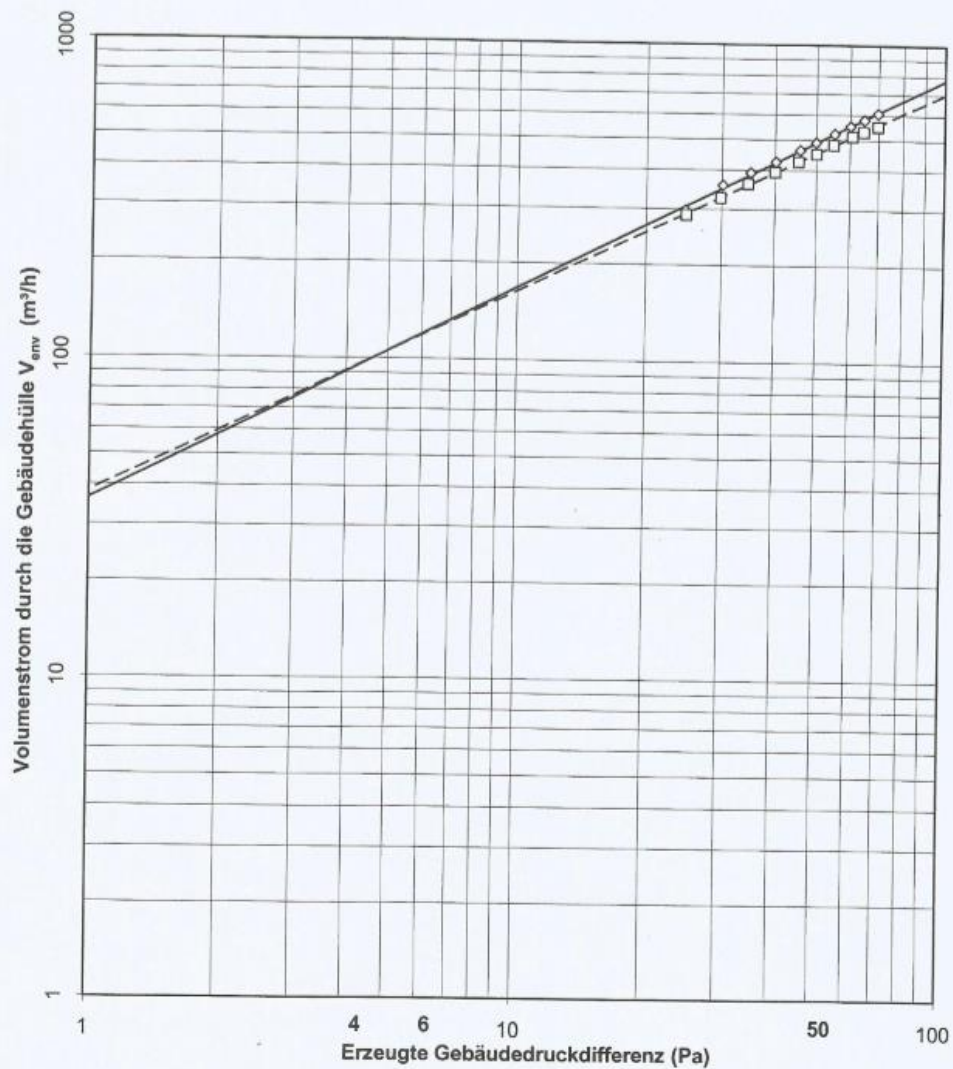
Looica bvba, Dhr. Lode Rosvelds, Hulshoutsesteenweg 84 A te 2800 Mechelen

Met energievriendelijke groeten,

Adviesbureau Dirk De Groof bvba
Dhr. Nick Wijns



BlowerDoor-Leckagekurve
Objekt: Halfopen bebouwing



- ◇ Volumenstrom Unterdruck (m³/h)
- Volumenstrom Überdruck (m³/h)
- Regressionsgerade Unterdruck
- - - Regressionsgerade Überdruck

neting in excell omgezet.xlsm

November 2007

Anlage A

BlowerDoor-Proefbericht

Berekeningen volgens NBN EN 13829

Natürliche Druckdifferenzen und Fehlerbetrachtung

Object : Vrouwvlietbeemden 9 A	Controleur: Wijns Nick
Mechelen	Datum: 1/07/2010 FLIB-Nr:

Onderdruk

Meet waarde	Natuurlijk drukverschil	
	Voor de meting	Na de meting
1	-2,0	-2,0
2	-2,0	-2,1
3	-2,0	-2,0
4	-2,0	-2,1
5	-2,1	-2,2
6	-2,1	-2,1
7	-2,1	-2,1
8	-2,0	-2,0
9	-1,9	-2,1
10	-2,0	-2,1
11	-2,0	-2,1
12	-2,1	-2,0
13	-2,1	-2,0
14	-2,0	-2,1
15	-2,0	-2,1
16	-2,0	-2,0
17	-2,0	-2,1
18	-2,0	-2,1
19	-2,0	-2,1
20	-2,1	-2,1
21	-2,0	-2,1
22	-2,0	-2,1
23	-2,1	-2,1
24	-2,1	-2,0
25	-2,0	-2,0
26	-2,1	-2,1
27	-2,1	-2,1
28	-2,0	-2,2
29	-2,0	-2,1
30	-2,1	-2,1

Overdruk

Meet waarde	Natuurlijk drukverschil	
	Voor de meting	Na de meting
1	-2,0	-1,4
2	-2,1	-1,5
3	-2,1	-1,5
4	-2,0	-1,6
5	-2,0	-1,7
6	-2,0	-1,8
7	-2,0	-1,8
8	-2,0	-1,8
9	-2,0	-1,7
10	-2,0	-1,7
11	-2,0	-1,7
12	-2,0	-1,8
13	-2,1	-1,7
14	-2,0	-1,7
15	-2,1	-1,7
16	-2,1	-1,7
17	-2,1	-1,7
18	-2,2	-1,7
19	-2,1	-1,8
20	-2,0	-1,8
21	-2,0	-1,8
22	-2,0	-1,8
23	-2,0	-1,9
24	-2,0	-1,9
25	-2,1	-1,9
26	-2,0	-1,9
27	-2,0	-1,8
28	-2,1	-1,9
29	-2,1	-1,9
30	-2,1	-1,9

Positieve en negatieve gemiddelde waarden van de natuurlijke drukverschillen

Gemiddelde waarde	Δp_{01+}	Δp_{01-}	Δp_{02+}	Δp_{02-}	Gemiddelde waarde	Δp_{01+}	Δp_{01-}	Δp_{02+}	Δp_{02-}
-	-	-2,0	-	-2,1	-	-	-2,1	-	-1,8

Gezamenlijke gemiddelde waarde van de natuurlijke drukverschillen

Nat. Drukversch.	Δp_{01} (Pa)	Δp_{02} (Pa)	Nat. Drukversch.	Δp_{01} (Pa)	Δp_{02} (Pa)
-	-2,0	-2,1	-	-2,1	-1,8

Opmerking

Fehlerbetrachtung

Bezeich.	Unsicherheiten nach dem FLIB-Beiblatt 11/2002	Unterdruck	Überdruck
a	Volumenstrommessenrichtung	+/- 4 %	+/- 4 %
b	Gebäudedruckdifferenzmessung	+/- 3 %	+/- 3 %
c	Windeinfluss	+/- 0 %	+/- 0 %
d	Dichtekorrektur (Luftdruck)	+/- 5 %	+/- 5 %
e	Auslassen der Unter- oder Überdruckmessung	+/- 0 %	+/- 0 %
g	Bezugsgrößen	+/- 1 %	+/- 1 %
informativ	Statistischer Fehler des Leckagestromes	+/- 1 %	+/- 1 %

BlowerDoor-Proefbericht

Berekeningen volgens NBN EN 13829
Minneapolis BlowerDoor Modell 4 - Tectite Express 3.6.7.0

Object : Vrouwvlietbeemden 9 A Mechelen	Controleur: Wijns Nick Datum: 1/07/2010 FLIB-Nr:
--	---

Klimaatgegevens

Binnentemperatuur: 5 °C	Gebouw drukverschil: 1 Außenmessstelle
Buitentemperatuur: -4 °C	Positie gebouw: B (teilweise exponiert)
Luftdruck (Standard): 101325 Pa	Meet onzekerheid door wind: 0 %

Onderdruk

Natürliche Druckdiff.	Δp_{01+}	Δp_{01-}	Δp_{02+}	Δp_{02-}
-	-	-2,0 Pa	-	-2,1 Pa

Overdruk

Natürliche Druckdiff.	Δp_{01+}	Δp_{01-}	Δp_{02+}	Δp_{02-}
-	-	-2,1 Pa	-	-1,8 Pa

Meet volgorde

Soort afdekkap	Gebouw-druk Δp_m	Ventilator-druk	Gebouw-druk Δp	Volume-stroom V_f	Soort afdekkap	Gebouw-druk Δp_m	Ventilator-druk	Gebouw-druk Δp	Volume-stroom V_f
O ABCDE	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(m³/h)	O ABCDE	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(m³/h)
Δp_{01}	-2,0	-----	-----	-----	Δp_{01}	-2,1	-----	-----	-----
B	-72	64	-70	646	B	68	48	70	558
B	-67	58	-65	616	B	63	44	64	537
B	-62	53	-60	589	B	59	41	61	519
B	-57	47	-55	556	B	53	36	55	488
B	-52	42	-50	521	B	48	32	50	456
B	-48	37	-46	492	B	43	28	45	431
B	-42	31	-40	452	B	38	24	40	400
B	-37	27	-35	417	C	33	300	35	366
B	-32	22	-30	380	C	28	245	30	330
C	-27	227	-25	316	C	23	193	25	291
Δp_{02}	-2,1	-----	-----	-----	Δp_{02}	-1,8	-----	-----	-----

Correlatiecoëfficiënt: r:	0,998	Vertrouwensinterval (95%):		Correlatiecoëfficiënt: r:	1,000	Vertrouwensinterval (95%):	
C_{env} (m³/(h Pan))	36	max. 41	min. 32	C_{env} (m³/(h Pan))	38	max. 41	min. 36
C_L (m³/(h Pan))	37	max. 42	min. 33	C_L (m³/(h Pan))	39	max. 41	min. 37
n	0,67	max. 0,70	min. 0,63	n	0,63	max. 0,65	min. 0,62

Resultaat

Resultaat			V =		384 m³		A _F =		131 m²		A _E =		287 m²	
	V ₅₀	Unsicherheit	n ₅₀	Unsicherheit	w ₅₀	Unsicherheit	q ₅₀	Unsicherheit						
	m³/h	%	1/h	%	m³/m²h	%	m³/m²h	%						
Onderdruk	506	+/- 7 %	1,3	+/- 7 %	3,9	+/- 7 %	1,8	+/- 7 %					+/- 7 %	
Overdruk	462	+/- 7 %	1,2	+/- 7 %	3,5	+/- 7 %	1,6	+/- 7 %					+/- 7 %	
Gemiddelde waarde	484	+/- 7 %	1,3	+/- 7 %	3,7	+/- 7 %	1,7	+/- 7 %					+/- 7 %	

Eisen volgens

nbn en 13829

***	***	***
-----	-----	-----

wählen

Opmerking: De meetresultaten sluiten (verborgen) gebreken in de constructie niet uit.

Opdrachtnemer: Wijns Nick

Datum, Handtekening

meting in excell omgezet.xlsm

November 2007

Stempel

Seite 2

Auteursrechtelijke overeenkomst

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

Prestaties en rendabiliteit van het ICF-bouwsysteem

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,

Timmers, Jelle

Datum: **25/08/2014**