

Kom
verder



Lectoraat Duurzame Leefomgeving



Handreikingen ter verbetering van het adoptiepotentieel van Roofclix

Copyright© 2019 by Saxion University of Applied Sciences.

All rights reserved. No part of this article may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording, or by any information storage and retrieval system, without permission in writing from the authors.

Colofon

“Handreikingen ter verbetering van het
adoptiepotentieel van Roofclix”

Versie: definitief

Registratienummer: 2019 000663

Opdrachtgever:

Sustainable Durabele Systems,
dhr. ir. A.V.W. (Ton) van Ulden

Auteurs:

dhr. dr. ir. A.G. (Bram) Entrop

dhr. ir. drs. R.J.H. (Roy) Exterkate

dhr ir. T.J.H. (Twan) Rovers PDEng

Lectoraat Duurzame Leefomgeving

Enschede, 10 april 2019

Contactgegevens:

Bram Entrop, a.g.entrop@saxion.nl

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	4
2	Besteksinformatie Roofclix.....	5
3	Detallering Roofclix.....	6
4	Aanknopingspunten Roofclix met NTA 8800	7
4.1	Relatie NTA 8800 en BENG.....	7
4.2	Elementen in Hoofdstuk 7 van de NTA 8800.....	8
4.3	Elementen in Hoofdstuk 8 van de NTA 8800.....	11
4.4	Elementen in Hoofdstuk 17 van de NTA 8800.....	12
4.5	Elementen in bijlagen.....	12
5	Tot slot	14
	Bijlage A: Bestektekst Roofclix	15
	Bijlage B: Detailoverzicht bevestiging	17
	Bijlage C: Detail verticale doorsnede dakrand	18
	Bijlage D: Fragment bovenaanzicht hoek platdakconstructie.....	19
	Bijlage E: Artikel over impact software op productkeuze	20

1 Inleiding

Sustainable Durable Systems timmert al enige jaren aan de weg met de door haar aangeboden Roofclix. Dit is een modulair systeem voor op platdakconstructies voor nieuwe en bestaande gebouwen om te komen tot een zogenaamd dubbeldak-constructie, waardoor met name in bestaande gebouwen de binnentemperatuur in de zomer- en winterdag behaaglijker blijft. Dit product kan zich meer en meer verheugen op een bredere belangstelling om bewoners en werknemers een beter binnenklimaat te bieden bij een lager energiegebruik.

Om het adoptiepotentieel van energietechnieken en -maatregelen in het algemeen, en dus ook van Roofclix, verder te vergroten is het, conform het raamwerk van Entrop (2013), wenselijk om aan te sluiten bij datgene dat gebruikelijk is aan productinformatie en productspecificaties in de bouwsector. De verschillende partijen betrokken bij bouwprojecten, waarin Roofclix haar waarde kan laten gelden, hebben behoefte aan specifieke informatie. Met betrekking tot Roofclix ontbreekt nog een deel van deze informatie. De doelstelling is daarom om aan Sustainable Durable Systems informatie over Roofclix op een zodanige manier aan te reiken wat betreft bestek, tekeningen en impact energieprestatie, zodat opdrachtgevers, architecten en aannemers het product gemakkelijker kunnen opnemen in het ontwerp- en uitvoeringsproces. Deze doelstelling wordt in de volgende hoofdstukken in drie stappen bereikt.

Hoofdstuk 2 gaat in op het opstellen van besteksinformatie in eerste aanleg omtrent Roofclix, zodat dit product eenvoudig door architecten, aannemers en/of opdrachtgevers kan worden opgenomen in bestekken. Het resultaat bestaat uit een geschreven tekst met daarin productinformatie en verwerkingwijze, welke inpasbaar is in een bestek in de woning- of utiliteitsbouw. In Hoofdstuk 3 worden detailtekeningen gepresenteerd, zodat een visuele weergave van Roofclix eenvoudig kan worden opgenomen in de tekeningen van architecten, aannemers en/of opdrachtgevers. In Hoofdstuk 4 worden aanknopingspunten onderzocht voor wat betreft de bouwfysische danwel energie-technische eigenschappen van de Roofclix in relatie tot de Nederlandse Technische Afspraak (NTA) 8800 Energieprestatie Gebouwen – Bepalingsmethode (als opvolger van de NEN 7120), zodat grondslagen voor gelijkwaardigheid inzichtelijk worden. Het rapport zal worden afgesloten in Hoofdstuk 6.

2 Besteksinformatie Roofclix

In de inleiding van dit rapport is aangegeven, dat Roofclix een modulair systeem is voor op platdakconstructies van nieuwe en bestaande gebouwen om te komen tot een dubbeldak-constructie. In de STABU bestekssystematiek voor de woning- en utiliteitsbouw is er niet een hoofdstuk of paragraaf opgenomen specifiek voor dubbeldak-constructies. Hoofdstukken waar Roofclix mogelijk in kan worden ondergebracht, zijn:

- 33 Dakbedekkingen,
- 37 Na-isolatie;
- 43 Metaal- en kunststofwerk.

Aangezien van dakbedekkingen normaliter mag worden verwacht, dat deze een waterdichte laag vormen en metaal- en kunststofwerk vaak specifieke componenten of producten zijn met een beperkte omvang, lijkt Hoofdstuk 37 het best te passen bij een product dat een lagere energiegebruik en hoger comfortniveau tot doel heeft. Hoofdstuk 37 omvat de volgende paragrafen:

- 37 Na-isolatie
- 37.00 Algemeen
- 37.21 Demonteren/verwijderen bestaand werk
- 37.22 Reinigen bestaand werk
- 37.23 Voorbehandelen ondergrond bestaand werk
- 37.24 Injecteren bestaand werk
- 37.25 Herstellen bestaand werk
- 37.26 Aanpassen bestaand werk
- 37.27 Herplaatsen bestaand werk
- 37.28 Onderhouden bestaand werk
- 37.30 Isolatie-elementen
- 37.41 Spouwisolatie, ter plaatse gevormd
- 37.42 Isolatiebeklagen, ter plaatse gevormd
- 37.43 Dampremmende/dampdoorlatende lagen

Van deze paragrafen zal voor de plaatsing van Roofclix op een bestaande, maar kwalitatief hoogwaardige, platdakconstructie 37.00, 37.22 en 37.30 van toepassing zijn. Mocht de huidige platdakconstructie qua kwaliteit te wensen overlaten, dan kan worden geadviseerd om de huidige dakbedekking eerst te vervangen, alvorens Roofclix aan te brengen. Hierdoor kunnen Paragraaf 37.21 en 37.25 van toepassing zijn. Wanneer op een dak een aanzienlijk aantal dakdoorvoeren en/of installaties is aangebracht, kan ook Paragraaf 37.26 en/of 37.27 van toepassing zijn om zo de Roofclix panelen een zo goed mogelijk aansluitend geheel te laten vormen. In Bijlage A van dit rapport is een uitgewerkte bestektekst opgenomen, welke via de website van Roofclix aan potentiële opdrachtgevers kan worden aangeboden.

3 Detaillering Roofclix

Aan de hand van een mock-up van het Roofclix systeem bestaande uit vier tegels en negen verbindingsstukken, zijn de afmetingen van de producten van Sustainable Durable Systems bepaald. Deze afmetingen zijn overgenomen in een tekenprogramma. In de bouwsector wordt vaak gebruik gemaakt van referentiedetails. In Bijlagen B tot en met D zijn de resultaten opgenomen, die tot stand zijn gekomen door de opbouw van gangbare referentiedetails te volgen.

Er is nu een detailoverzicht beschikbaar dat toont hoe het Roofclix systeem in elkaar wordt gezet (zie Bijlage B). Er is een verticale doorsnede aan de rand van een platdakconstructie opgesteld (zie Bijlage C) en tot slot is er een bovenaanzicht van een platdakconstructie bedekt met het Roofclix systeem gemaakt (zie Bijlage D). De digitale bestanden van deze tekeningen zullen aan de opdrachtgever beschikbaar worden gesteld en kunnen naar diens eigen believen en inzichten worden gebruikt.

4 Aanknopingspunten Roofclix met NTA 8800

De positieve effecten qua comfort door de toepassing Roofclix is door gebruikers van dit product in het verleden meerdere malen reeds ervaren. Roofclix zorgen ervoor op een platdakconstructie dat de uit- en instraling van warmte beperkt is. In dit hoofdstuk wordt uiteengezet waar de werking en uitwerking van Roofclix en de theoretische benadering voor het bepalen van de energieprestatie van een gebouw elkaar raken. Het onderzoek naar de relatie tussen Roofclix en de Nederlandse Technische Afspraak (NTA) 8800 Energieprestatie van gebouwen – Bepalingsmethode is onderzocht aan de hand van de ICS 91.120.10; 91.140.30 van februari 2019. Dit was immers ten tijde van het onderzoek de meest recente versie die ter beschikking stond aan de onderzoekers. De NTA 8800 kent 17 hoofdstukken en 26 bijlagen. Ze telt in totaal 939 pagina's. De onderzoekers hebben uiteraard de nodige zorgvuldigheid betracht in het bestuderen van de mogelijke raakvlakken en aanknopingspunten en zetten in dit hoofdstuk graag uiteen welke dat zijn. Het kan echter voorkomen dat bijvoorbeeld door voortschrijdend inzicht of door gewijzigde regelgeving en normstelling meer of minder aanknopingspunten in de nabije toekomst beschikbaar komen, danwel overeind blijven.

Roofclix kunnen worden geplaatst op platdakconstructies alwaar ze door hun witte kleur zonnestraling sterk reflecteren. De geventileerde spouw die wordt gecreëerd door de Roofclix zorgt er samen met deze reflectie voor dat de oorspronkelijke zwarte dakbedekking op een zonnige dag een veel minder hoge temperatuur zal bereiken dan zonder de toepassing van Roofclix. Op een koude dag zal de Roofclix juist de uitstraling van het oorspronkelijk dak naar de hemel toe sterk beperken. Deze werking van Roofclix zorgt ervoor dat niet met alle 17 hoofdstukken van de NTA 8800 een relatie is. De genoemde thermische invloeden raken aan de inhoud van Hoofdstuk 7 Bepaling warmte- en koudebehoefte, Hoofdstuk 8 Transmissie en Hoofdstuk 17 Klimaatgegevens. Op het eerste gezicht leken Hoofdstuk 9 Verwarming en Hoofdstuk 10 Koeling ook relevant te zijn, maar eerste beschouwing van deze hoofdstukken wees uit dat er geen aanknopingspunten in deze hoofdstukken op dit moment besloten liggen.

4.1 Relatie NTA 8800 en BENG

De Bijna-Energie-Neutrale-Gebouwen (BENG) eisen vervangen de eisen met betrekking tot de EnergiePrestatieCoëfficiënt (EPC), welke voor woningbouw reeds sinds 1995 en voor utiliteitsbouw sinds 1998 werden gebruikt. De energieprestatie van gebouwen wordt per 1 januari 2020 (voor overheidsgebouwen reeds sinds 1 januari 2019) vastgesteld aan de hand van drie eisen:

1. de maximale energiebehoefte in kWh per m² gebruiksoppervlak per jaar;
2. het maximale primair fossiel energiegebruik in kWh per m² gebruiksoppervlak per jaar;
3. het minimale aandeel hernieuwbare energie in procenten.

De concrete waarden horende bij deze drie eisen, die op 9 januari 2019 per brief aan de Tweede Kamer kenbaar zijn gemaakt, zijn opgenomen in Tabel 1. De NTA 8800 is de rekenmethode die zal worden gebruikt om deze waarden voor een specifiek gebouw uit te rekenen. De methode kan, anders dan in het verleden, voor zowel nieuwbouw, als bestaande bouw en voor zowel woningen, als utiliteitsgebouwen worden gebruikt.

Tabel 1: overzicht concept BENG-eisen conform brief aan de Tweede Kamer van 8 januari 2019

Gebouw	Energiebehoefte [kWh/m ² ·jr]	Primair fossiel energiegebruik [kWh/m ² ·jr]	Aandeel hernieuwbare energie [%]
Woongebouw	$A_{Is}/A_g \leq 2,2 \rightarrow 70$ $A_{Is}/A_g > 2,2 \rightarrow 70 + 50 * (A_{Is}/A_g - 2,2)$	50	40
Woonfunctie niet in woongebouw	$A_{Is}/A_g \leq 2,2 \rightarrow 70$ $A_{Is}/A_g > 2,2 \rightarrow 70 + 50 * (A_{Is}/A_g - 2,2)$	30	50
Woonwagen	$105 + 35 * (A_{Is}/A_g - 2,0)$	60	50
Woonfunctie in drijvend bouwwerk nieuwe ligplaats	$100 + 32 * (A_{Is}/A_g - 2,0)$	50	50
Woonfunctie in drijvend bouwwerk bestaande ligplaats	$100 + 32 * (A_{Is}/A_g - 2,0)$	70	50
Logieswoning	$A_{Is}/A_g \leq 2,2 \rightarrow 70$ $A_{Is}/A_g > 2,2 \rightarrow 70 + 50 * (A_{Is}/A_g - 2,2)$	40	50
Kantoor	$A_{Is}/A_g \leq 2,0 \rightarrow 90$ $A_{Is}/A_g > 2,0 \rightarrow 90 + 30 * (A_{Is}/A_g - 2,0)$	50	30
Bijeenkomst	110	60	30
Onderwijs	$A_{Is}/A_g \leq 2,0 \rightarrow 180$ $A_{Is}/A_g > 2,0 \rightarrow 180 + 25 * (A_{Is}/A_g - 2,0)$	80	40
Zorg zonder bed	$A_{Is}/A_g \leq 2,0 \rightarrow 100$ $A_{Is}/A_g > 2,0 \rightarrow 100 + 22 * (A_{Is}/A_g - 2,0)$	60	40
Zorg met bed	350	150	30
Winkel	90	60	30
Sport	100	100	50
Logies	110	130	40
Cel	$A_{Is}/A_g \leq 2,0 \rightarrow 150$ $A_{Is}/A_g > 2,0 \rightarrow 150 + 40 * (A_{Is}/A_g - 2,0)$	120	30

4.2 Elementen in Hoofdstuk 7 van de NTA 8800

Hoofdstuk 7 geeft aan dat er voor de berekening van de warmte- en koudebehoefte van een gebouw in de NTA 8800 gebruik wordt gemaakt van een maandmethode, die oorspronkelijk komt uit Sectie 6.6 van NEN-EN-ISO 52016-1:2017. In deze maandmethode is de (maandgemiddelde) omgevingstemperatuur aan de buitenzijde van de constructie, gezien vanuit de rekenzone, een essentieel gegeven. Indien die temperatuur hoger is dan de rekentemperatuur in de rekenzone, is het warmteverlies negatief. Hierdoor lijkt het voor een energiemaatregel als Roofclix goed mogelijk haar impact in de bepaling van de energieprestatie van een gebouw te laten gelden. Maar voor constructies grenzend aan de buitenlucht geldt dat, ook voor mediterrane klimaten, de maandgemiddelde buitentemperatuur zelden of nooit hoger is dan de rekentemperatuur die in de norm wordt gebruikt. Het inzetten op maandgemiddelde zorgt er dus eigenlijk wel vrij gemakkelijk voor dat temperatuurschommelingen van dag tot nacht als het ware worden uitgevlakt, terwijl een product als Roofclix juist in de pieken van hele heldere koude nachten en hete zomerse dagen het verschil kan maken. In de benuttingsfactor van een gebouw kunnen nog wel enige dynamische effecten tot uitdrukking worden gebracht, maar hier zullen we later op terugkomen.

In de inleiding van Hoofdstuk 7 wordt verder uitgelegd dat de berekening van de warmte- en koudebehoefte uit twee onderdelen bestaat:

- a) warmte- en koudebehoefte van de rekenzone zelf;
- b) warmte- en koudebehoefte voor centrale voorverwarming en/of voorcooling van aan de rekenzone toegevoerde lucht, indien van toepassing.

Het moge duidelijk zijn dat het eerste raakt aan de impact van Roofclix, maar dat het reeds genoemde maandgemiddelde parten speelt. Wanneer installaties voor een gebouw op het dak zijn geplaatst, kunnen Roofclix ook een impact hebben met betrekking tot het tweede punt. De aan de koelinstallatie toegevoerde lucht kan immers in de zomerdag boven een wit oppervlak een lagere temperatuur hebben dan boven een zwart traditioneel dakoppervlak, wat resulteert in een lager energiegebruik van de koelinstallatie. Op blz. 143 wordt ook in de NTA 8800 opgemerkt dat de temperatuur waarmee de lucht de rekenzone binnenkomt een essentieel gegeven is. Gemeten waarden voor de impact van Roofclix in deze zijn nog niet beschikbaar, maar de NTA 8800 biedt hier dus een aanknopingspunt om dit wel inzichtelijk te gaan maken.

Sectie 7.3.2 toont de rekenformules om de totale warmteoverdracht door transmissie voor verwarming ($Q_{H;tr;zi;mi}$) en koeling ($Q_{C;tr;zi;mi}$) beide in kWh te berekenen. Op blz. 141 wordt over de numerieke waarde in deze formules een opmerking gemaakt, die van belang kan zijn voor Roofclix: *De numerieke waarde kan verschillend zijn voor verwarming en koeling (bijv. door verschillende aannames voor het gebruik van luiken). De waarden kunnen verschillen per maand, bijv. door de verschillende duur van het gebruik van luiken.* Wanneer we Roofclix beschouwen als een continu aanwezig horizontaal 'luik' boven het dak, in plaats van een dynamische verticale constructie voor een raam, dan bestaat hier de mogelijkheid om impact te hebben op het berekenen van de totale warmteoverdracht door transmissie.

In Sectie 7.6 Warmtewinst door opvallende zonnestraling van de NTA 8800 wordt uitgelegd dat dit deel van de norm is ontleend aan 6.6.8 van NEN-EN-ISO 52016-1:2017. Ter inleiding wordt vermeld dat de constructies die in beschouwing worden genomen, transparante constructies zijn als beglazing (inclusief eventuele geïntegreerde of toegevoegde zonwerende voorziening), niet-transparante uitwendige scheidingsconstructies en scheidingsconstructies achter een transparante afdekking of transparante isolatie. Roofclix zouden daarbij op het eerste gezicht kunnen worden geschaard onder de niet-transparante uitwendige scheidingsconstructies.

Op blz. 154 wordt duidelijk dat de warmtestroom door opvallende zonnestraling door een niet-transparante constructie op,k , voor verwarming/koeling, $Q_{H/C;sol;op;k;mi}$, in kWh, in maand mi , voor elk element k wordt berekend met de volgende formule:

$$Q_{H/C;sol;op;k;mi} = \alpha_{sol} \cdot R_{se} \cdot U_{c;op,k} \cdot A_{c;op,k} \cdot F_{sh;obst;op;k;mi} \cdot I_{sol;op;k;mi} \cdot t_{mi} - Q_{sky;op;k;mi} \quad (7.33)$$

waarin, voor elke niet-transparante constructie k en elke maand mi :

- α_{sol} is de dimensieloze absorptiecoëfficiënt voor zonnestraling. Deze bedraagt 0,6;
- R_{se} is de warmteovergangswaarde aan de buitenzijde, bepaald volgens C.2, in m^2K/W ;
- $U_{c;op,k}$ is de warmtedoorgangscoefficiënt van niet transparant element op,k , bepaald volgens 8.2.2, in $W/(m^2 \cdot K)$;
- $A_{c;op,k}$ is de geprojecteerde oppervlakte van niet transparant element op,k , bepaald volgens K.1.2, in m^2 .
- $F_{sh;obst;op;k;mi}$ is de dimensieloze beschaduwingsreductiefactor voor externe belemmeringen van niet transparant element op,k , bepaald volgens 17.3;

- $I_{sol;op,k;mi}$ is de maandgemiddelde totale opvallende zonnestraling per m^2 oppervlakte van niet transparant element op,k, bij gegeven hellingshoek β_{op} en oriëntatie γ_{op} , bepaald volgens 17.2, in W/m^2 ;
- t_{mi} is de rekenwaarde voor de lengte van de beschouwde maand, bepaald volgens Sectie 17.2, in h;
- $Q_{sky;op,k;mi}$ is de maandelijkse extra warmtestroom door warmtestraling naar de hemel van niet transparant element op,k, bepaald volgens Sectie 7.6.5, in kWh.

Voor de dimensieloze beschaduwingsreductiefactor voor externe belemmeringen van niet transparant element op,k, geldt: $F_{sh;obst;op,k;mi} = 1$. De NTA 8800 vermeldt tevens bij deze formule dat; *als het gebouwelement een laag bevat die (bijv. natuurlijk) is geventileerd met buitenlucht en de U-waarde is berekend in de veronderstelling dat de thermische weerstand tussen deze geventileerde laag en de buitenlucht kan worden verwaarloosd, dan zal de zonnewarmtewinst, zoals berekend volgens de bovenstaande formule, worden overschat. Om deze overschatting te voorkomen behoort een gecorrigeerde U-waarde te worden gebruikt. Hierbij wordt de geventileerde laag niet beschouwd als een kortere weg, maar als een fysiek mechanisme dat een deel van de zonnewarmte wegneemt.*

Sectie 7.6.5 gaat in op warmtestraling naar de hemel. Op koude en heldere dagen en nachten kunnen Roofclix bijdragen deze uitstraling te verkleinen. In NTA 8800 wordt deze vorm van warmtestraling als aftrekpost gezien in het bepalen van de zonnewarmtewinst. Er is immers een min-teken opgenomen voor deze variabele. De NPR-CEN-ISO/TR 52016-2:2017 geeft in sectie 6.6.4.2 uitleg over waarom deze term is opgenomen in de winst en niet in het verlies.

In Sectie 7.8 wordt stilgestaan bij benuttingsfactoren. In de gehanteerde maandmethode in de NTA 8800 worden de dynamische effecten in rekening gebracht door middel van de benuttingsfactor namelijk, zowel voor de warmtewinsten (warmtebehoefte), als voor de warmteverliezen (koudebehoefte). Roofclix zijn als het ware in staat het gebouw een zekere thermische traagheid mee te geven. Bij een heldere koude winter nacht zal het gebouw minder snel afkoelen en hoeven 's ochtends de installaties minder warmte te leveren om het gebouw weer op temperatuur te krijgen. In de zomer dag zal het langer duren voordat het gebouw binnen een onaangenaam hoge temperatuur bereikt, zodat koelsystemen hun werk moeten doen. Voor elke rekenzone en maand kan de benuttingsfactor voor warmtewinst en warmteverlies worden bepaald. Er zijn worden vijf tijdconstanten onderscheiden, namelijk: een geringe traagheid van 8 uur, 1 dag, 2 dagen, 7 dagen en een laatste oneindig grote traagheid. Op basis van meetresultaten kan het effect van Roofclix op de mate van traagheid van het gebouw mogelijk worden bepaald om via deze weg invloed uit te oefenen op de energieprestatie van een gebouw.

Het effect van de traagheid van het gebouw bij nacht- en/of weekendverlaging of -onderbreking wordt overigens apart in rekening gebracht in Sectie 7.9. In Sectie 7.9.4.1 wordt nogmaals de relevantie van de benuttingsfactoren benoemd, want op blz. 180 staat: *Voor de maandelijkse berekeningsmethoden kan bij verwarming de werkelijke gemiddelde interne temperatuur hoger zijn door onmiddellijke oververhitting. Echter, met dit effect wordt rekening gehouden door middel van de benuttingsfactor voor de warmtewinst. Vergelijkbaar kan voor koeling de werkelijke gemiddelde interne temperatuur lager zijn door onmiddellijke verliezen die groter zijn dan de winst.*

4.3 Elementen in Hoofdstuk 8 van de NTA 8800

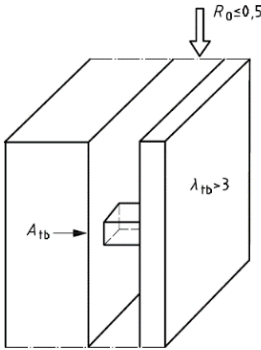
In Hoofdstuk 8 komt transmissie aan de orde. De warmtedoorgangscoefficiënt U_t kan nog steeds op traditionele wijze worden bepaald door één te delen door de totale warmteweerstand R_t , welke een optelsom is van overgangsweerstanden en de weerstanden van de constructielagen. $R_{m,i}$ is de warmteweerstand van constructielaag i , in $(m^2 \cdot K)/W$, bepaald voor luchtlagen volgens Bijlage C.3 en voor materialen als R_{calc} volgens Bijlage E.1. Bijlage C.3 heeft als titel 'Warmteweerstand van luchtlagen'. De methode voor de berekening van de warmteweerstand van niet-, zwak en sterke geventileerde luchtlagen in die bijlage is in overeenstemming met 6.9 van NEN-EN-ISO 6946.

Wanneer Roofclix op een gebouw worden toegepast, zou in lijn met Tabel C.5 – B uit Bijlage C.4.2 van de NTA 8800 een R waarde voor de luchtlaag en de Roofclix-tegels samen kunnen worden meegenomen van $0,3 m^2 \cdot K/W$. Dit is een waarde waar dus nog niet de externe overgangsweerstand R_{se} in is meegenomen. Deze waarde lijkt namelijk recht te doen aan de luchtsponw en de reflectie die Roofclix biedt. Het doet mogelijk echter nog geen recht aan de stilstaande luchtlaag in de holle cassette die Roofclix v2 is.

Wanneer elke laag van een Roofclix dak tot zijn recht komt in een totale warmtedoorgangscoefficiënt, zou men eigenlijk ook bedacht moeten zijn op Sectie 8.2.2.2.4, waarin wordt uitgelegd dat er een toeslagfactor voor een omgekeerd dak is. In die situatie wordt hemelwater onder de isolatielaag afgevoerd en blijft een gedeelte van de isolatie dus een deel van het jaar relatief vochtig. Ook onder de Roofclix wordt pas het hemelwater afgevoerd, met dien verstande dat er geen sprake zal zijn van relatief vochtige isolatie.

Een andere toeslagfactor kan worden gevonden in de koppelstukken en de naden tussen de tegels. De koppelstukken, oftewel de pilaren, dragen de hoeken van de Roofclix-tegels. Net als een spouwanker kunnen deze koppelstukken en de steun midden in de Roofclix-tegel, uitgevoerd in kunststof, een thermische brug vormen tussen het oorspronkelijke dakoppervlak en het nieuwe door het Roofclix systeem gevormde dakoppervlak. Op blz. 241 staat hieromtrent tevens een tabel afgebeeld met specifieke condities voor opneming van thermische bruggen. Een Roofclix constructie vertoont als het ware dan enige overeenkomsten met groep 2 (zie Figuur 1).

Groep 2 omvat onderdelen zoals muurankers, voor zover deze zijn gemonteerd in het metselwerk of beton of zijn geplaatst in een spouw, evenals bevestigingshulpmiddelen (ankers, stiften, (dak)schroeven e.d.) met de aangegeven, maximale warmteweerstand.

	λ_{tb} W/(m·K)	A_{tb} m ²	R_0 (m ² ·K)/W	$R_{T,i}$ (m ² ·K)/W	λ_i W/(m·K)	d_i m
	> 3	≤ 30×10 ⁻⁶	≤ 0,5	–	–	–

Figuur 1: specifieke condities voor opneming van lineaire en/of puntvormige thermische bruggen

Op basis van Sectie 8.2.2.3.4 Warmtedoorgangscoefficiënt van raam met luik, rolluik of zonwering, U_{W+shut} kan misschien een tweede vergelijking qua productkenmerk worden gevonden. Een luik, rolluik of zonwering zorgt namelijk, zoals op pagina 202 van de NTA 8800 wordt gesteld, ook voor een extra warmteweerstand, zowel door de luchtlaag tussen het raam en het luik, rolluik of zonwering als door het luik, rolluik of zonwering zelf. De insteek voor deze formule is de bepaling van een U-waarde voor de constructie, wanneer luik, rolluik en zonwering open zijn en wanneer deze gesloten zijn. De additionele warmteweerstand van het luik, het rolluik of de zonwering, luiken, rolluiken en buitenzonwering wordt daarin bepaald volgens NEN-EN 13125.

Hoofdstuk 8 geeft tevens inzichten in hoe de invloed van een toegepast oppervlak aan Roofclix nader te dimensioneren. Naar de randen van de dakconstructie toe en bij eventuele doorvoeren door het dak en de Roofclix zal immers de impact op de warmteweerstand anders zijn dan voor een gebied centraler onder een gesloten Roofclix systeem. Blz. 235 vermeldt dat aanpassingen van de dimensies van het geometrisch model ten opzichte van de werkelijke geometrie van het constructieonderdeel zijn toegelaten zolang zij geen significante invloed op het berekeningsresultaat hebben. Dit laatste mag worden aangenomen wanneer aan de bepaalde voorwaarden (opgenomen in de NTA 8800) is voldaan, onverminderd het feit dat rekenresultaten van het werkelijke model altijd voorrang hebben, met name waar het gaat om het voldoen aan bepaalde eisen.

4.4 Elementen in Hoofdstuk 17 van de NTA 8800

Dit hoofdstuk gaat in op de klimaatgegevens die als input dienen te gelden bij de berekeningen. Men ziet hier duidelijk terug dat er qua buitenluchttemperaturen met maandgemiddelden wordt gewerkt. Er zijn ook specifiek voor zomernachtventilatie buitenluchttemperaturen vastgesteld. Er wordt tevens inzicht gegeven in zonnestraling met gemiddelde waarden van $21,0 \text{ W/m}^2$ in december tot $209,3 \text{ W/m}^2$ in juni op een horizontaal vlak. In Sectie 17.3.7 worden vervolgens meerdere tabellen getoond met daarin de beschaduwingsreductiefactor $F_{sh;obst;mi}$ bij volledige belemmering. Roofclix zorgen er immers voor dat het dakoppervlak volledig in de schaduw komt te liggen. Tabellen 17.13 en 17.14 zijn specifiek voor respectievelijk verwarming en koeling. Waarden worden naar oriëntatie, hellingshoek en per maand gegeven. Voor een horizontaal vlak en onafhankelijk van oriëntatie gelden beschaduwingsreductiefactoren van 0,34 in mei tot 0,60 in december.

4.5 Elementen in bijlagen

Naast in de vorige secties reeds genoemde bijlagen, valt in de normatieve Bijlage E 'Bepaling van de rekenwaarde van de warmtegeleidingscoëfficiënt respectievelijk warmteweerstand van bouwmaterialen' Sectie E2.2.2.4 op. Voor andere dan de in secties E.2.2.2.1 tot en met E.2.2.2.3 bedoelde producten wordt de warmtegeleidingscoëfficiënt, λ_D , in $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, en/of de warmteweerstand, R_D , in $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, tot drie decimalen nauwkeurig berekend, op basis van minimaal tien meetwaarden overeenkomstig:

- voor proefstukken met een warmteweerstand $R \leq 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (zie Hoofdstukken 4 tot en met 8 van NEN-EN 12664);
- voor proefstukken met een warmteweerstand $R > 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (zie Hoofdstukken 4 tot en met 5 van NEN-EN 12939 voor dikke producten en Hoofdstukken 4 tot en met 8 van NEN-EN 12667 voor overige producten).

Deze metingen worden (voor zover relevant) uitgevoerd bij:

1. een gemiddelde referentietemperatuur van 10 °C;
2. een gemiddelde relatieve vochtigheid van 50 %.

De gedeclareerde warmtegeleidingscoëfficiënt λ_D en/of de warmteweerstand R_D moeten representatief zijn voor minimaal 90 % van de productie, met een betrouwbaarheid van 90 % ($\lambda_{90/90}$, resp. $R_{90/90}$, als bedoeld in Bijlage J van de NTA 8800). De waarde van de warmtegeleidingscoëfficiënt, λ_D , volgt uit de waarde van de warmtegeleidingscoëfficiënt, $\lambda_{90/90}$, door afronding naar boven naar de dichtstbijzijnde 0,001 (m²·K)/W. De waarde van de warmteweerstand R_D volgt uit de waarde van de warmteweerstand, $R_{90/90}$, door afronding naar beneden tot de dichtstbijzijnde 0,05 W/(m²·K). In Bijlage J van de NTA 8800 wordt hieraan toegevoegd dat de producent verantwoordelijk is voor de bepaling van de gedeclareerde warmtegeleidingscoëfficiënt, λ_D , en/of warmteweerstand, R_D , overeenkomstig het gestelde in E.2.2.2. De producent moet de 'conformiteit' van zijn product met de gedeclareerde waarden aantonen en de gedeclareerde waarden moeten representatief zijn voor de thermische prestatie gedurende de technische levensduur van dat product bij de beoogde toepassingsomstandigheden. De gedeclareerde producteigenschappen moeten zijn afgeleid vanuit onder gestandaardiseerde condities bepaalde meetwaarden en zijn afgerond volgens de in E.2.2.2 gegeven afrondingsregels.

In Bijlage H (blz. 272) staan verschillende concrete soortelijke massa's en warmtegeleidingscoëfficiënten vermeld, welke mogelijk ook betrekking hebben op het kunststof dat wordt gebruikt in Roofclix.

5 Tot slot

In de voorgaande hoofdstukken zijn drie stappen gezet om specifieke informatie te ontsluiten, welke helpt de adoptie van Roofclicx te versnellen. Voor opdrachtgevers, architecten en aannemers zijn in Hoofdstuk 2 een bestektekst en in Hoofdstuk 3 tekeningen aangedragen, welke via de website van Roofclicx beschikbaar kunnen worden gemaakt. Deze energietechnische oplossing kan zodoende gemakkelijker in het ontwerpproces van nieuwbouw-, renovatie- en/of verbeteringsprojecten van gebouwen worden ingepast.

In Hoofdstuk 4 is een uiteenzetting gegeven van aanknopingspunten voor de energetische impact van Roofclicx, die in de NTA 8800 zijn gevonden. Het moge duidelijk zijn dat het toepassen van Roofclicx op meerdere manieren zou moeten ingrijpen op het bepalen van de jaarlijkse energiebehoefte van een gebouw uitgedrukt in kWh/m². Het mooiste resultaat zou zijn wanneer in de softwarepakketten waarmee de energiebehoefte (BENG-1), primair fossiel energiegebruik (BENG-2) en het aandeel hernieuwbare energie (BENG-3) worden uitgerekend om te bepalen of een gebouw aan de geldende BENG-eisen kan voldoen, met een druk op de knop de toepassing van Roofclicx kan worden aangegeven. Dit zorgt er dan voor dat op de invoerwaarden en in de formulestructuur de in het vorige hoofdstuk benoemde aanknopingspunten geheel of gedeeltelijk in werking treden, waardoor een lager primair fossiel energiegebruik en een hoger aandeel hernieuwbare energie van toepassing worden. Het wordt Sustainable Durable Systems daarom aangeraden met software ontwikkelaars, zoals DGMR, BINK en Earth Energie Advies B.V., in gesprek te gaan om te bekijken hoe Roofclicx een plek kan krijgen. In Bijlage E is een artikel terug te vinden, waarin het belang van een dergelijke inbedding voor het toepassen van zogenaamde groene energie in GreenCalc software naar voren komt.

Wanneer de eerste officieel goedgekeurde BENG-rekensoftware pakketten vrij beschikbaar komen, kunnen studenten van Saxion mogelijk rekenexercities doen, waarbij de voorgenoemde aanknopingspunten worden meegenomen in het bepalen van de BENG-waarden van een gebouw. Het zou zeer waardevol zijn, wanneer meetwaarden beschikbaar zijn van een eenvoudig vormgegeven kantoorgebouw met een geïsoleerd of weinig geïsoleerd platdakconstructie, waarop de Roofclicx zijn aangebracht. De meetwaarden zijn dan bij voorkeur bekend voor een periode van meer dan één jaar voor en na de interventie.

Bijlage A: Bestektekst Roofclix

37 NA-ISOLATIE

37.00 ALGEMEEN

37.00.20 EISEN EN UITVOERING: ALGEMEEN

01. VOORSCHRIFTEN

- Alvorens tot een offerte te komen, stelt de potentiële opdrachtgever Sustainable Durable Systems in staat om en verleent toestemming om een dakopname te verrichten.
- De tijd tussen dakopname en het werk, de plaatsing van het Roofclix® systeem, is in overleg tussen opdrachtgever en Sustainable Durable Systems nader te bepalen.
- Uitvoering geschiedt door medewerkers van Sustainable Durable Systems of door Sustainable Durable Systems geïnstrueerde medewerkers.

02. UITVOERINGSCONDITIONS

- Voorwaarde is dat het Roofclix® systeem wordt geplaatst door medewerkers van Sustainable Durable Systems of door Sustainable Durable Systems geïnstrueerde medewerkers. Tevens dienen de producten door Sustainable Durable Systems te zijn geleverd.
- De opdrachtgever geeft de Sustainable Durable Systems of door Sustainable Durable Systems geïnstrueerde medewerkers toestemming de bouwplaats en het dak te betreden.
- Het Roofclix® systeem wordt geplaatst door medewerkers van Sustainable Durable Systems of door Sustainable Durable Systems geïnstrueerde medewerkers met in achtneming van de geldende Arbo normen en volgens de normen van BDA , VEBIDAK en de BRL 4702.
- De opdrachtgever stelt de medewerkers van Sustainable Durable Systems of door Sustainable Durable Systems geïnstrueerde medewerkers in staat tijdens dakopname en het werk, de plaatsing van het Roofclix® systeem, kosteloos gebruik te maken van elektrische aansluitingen, wateraansluitingen en sanitaire voorzieningen.
- Wanneer materieel moet worden ingezet om het dak te bereiken en het werk, de plaatsing van het Roofclix® systeem, mogelijk te maken, kan de opdrachtgever danwel Sustainable Durable Systems in nadere overeenstemming hierin voorzien.

37.00.30 INFORMATIE-OVERDRACHT: ALGEMEEN

- De opdrachtgever stelt Sustainable Durable Systems voor aanvang van de werkzaamheden in de gelegenheid het dak te bezichtigen, op te meten en om controle uit te voeren op de naleving van eventuele vernieuwing of herstelwerkzaamheden.
- De opdrachtgever moet Sustainable Durable Systems wijzigingen qua locatie, toegankelijkheid en dak tussen het moment van dakopname en moment van plaatsing het Roofclix® systeem minimaal 15 werkdagen voor aanvang melden.
- Sustainable Durable Systems brengt de opdrachtgever op de hoogte wanneer de uitvoering van het werk door weersomstandigheden naar alle redelijkheid en billijkheid niet kunnen plaatsvinden, waarbij een veilige werksituatie en het leveren van kwaliteit voorop staan.

37.00.40 RISICOVERDELING EN GARANTIES: ALGEMEEN

01. TE GARANDEREN ONDERDELEN

- Op het Roofclix® systeem en op de dakbedekking wordt een productgarantie van 10 jaar gegeven, ingaande op het moment dat de plaatsing is afgerond. Deze garanties gelden bij normaal productgebruik, normaal dakonderhoud en onder normale omstandigheden. Garantie wordt alleen gegeven in combinatie met het gebruik van de PremTack lijm én indien de Roofclix® dakplaat, dakplaat bodem, montageplaat en koppelstukken worden bevestigd door medewerkers van Sustainable Durable Systems of door Sustainable Durable Systems geïnstrueerde medewerkers.

- Brandwerendheid: niet brandbaar

Klasse 2 volgens NEN 6065 (vergelijkbaar met Klasse B1 van de Duitse standaard DIN 4102, Klasse M1 van de Franse standaard NF P 92-501 / 512, Klasse 1-2 van de Britse standaard BS 476 part 7)

02. GARANTIE EN UITVOERINGSVOORWAARDEN

- Op verzoek en geruime tijd voor aanvang van het werk, de plaatsing van het Roofclix® systeem, kan de staat van de huidige dak- en dakbedekkingsconstructie worden bekeken en beoordeeld, zodat eventuele vernieuwing of herstelwerkzaamheden voor het aanbrengen van het Roofclix® systeem door medewerkers van Sustainable Durable Systems of door Sustainable Durable Systems geïnstrueerde medewerkers kunnen worden uitgevoerd.

- De huidige dakconstructie en dakbedekking, waarop het Roofclix® systeem wordt geplaatst vallen niet onder de verantwoordelijkheid van Sustainable Durable Systems, zodoende dekt de garantie geen gebreken in de waterdichtheid van het dak. Direct na afronding plaatsing gaat een productgarantie van 10 jaar in op het Roofclix® systeem en op de dakbedekking.

37.22 REINIGEN BESTAAND WERK

- De opdrachtgever zal voor dakopname en uitvoering van het werk het dak ontdoen van losse vervuiling en bezemschoon opleveren.

37.30 ISOLATIE-ELEMENTEN

Fabrikant: Sustainable Durable Systems

Product: Roofclix®

Omschrijving: systeem bestaande uit Roofclix® dakplaten met Roofclix® dakplaat bodems van 400 mm x 400 mm x 38 mm, waarvan de hoeken op een Roofclix® montageplaat worden bevestigd. Deze Roofclix® montageplaten creëren afgedekt met een Roofclix® koppelstuk een spouw tussen de oorspronkelijke dakbedekking en de dakplaten met een hoogte van circa 25 mm.

Materiaal: anorganisch (CaZn) gestabiliseerde Polyvinylchloride (PVC)

Kleur: ultraviolet bestendig wit

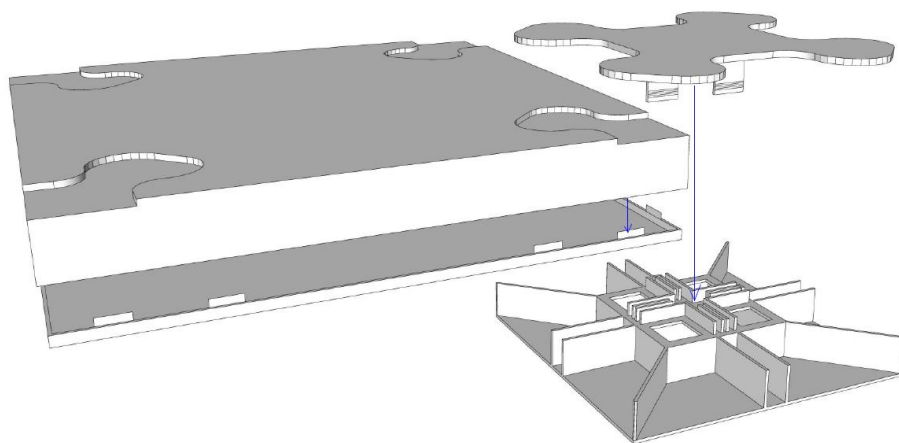
Plaatsing: het Roofclix® systeem wordt geplaatst op de bestaande horizontale dakbedekking conform een door de fabrikant opgesteld legplan.

Bevestiging: de Roofclix® montageplaten worden met de MS Polymeer (isocyanaat-, oplosmiddel- en siliconenvrije) lijm PremTack van PremTech op de dakbedekking vastgezet.

Bijlage B: Detailoverzicht bevestiging



Overzicht bevestiging



3D

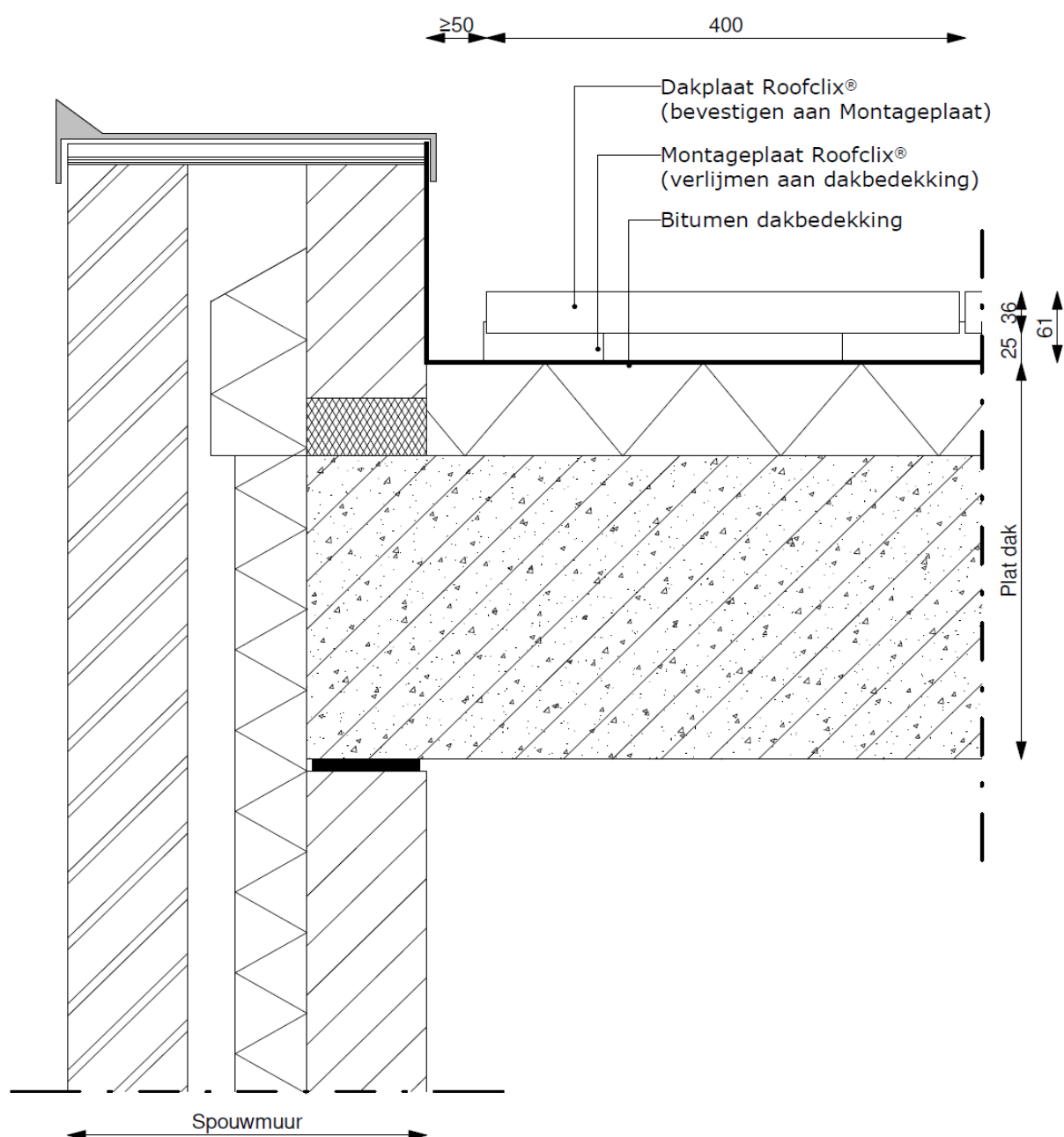
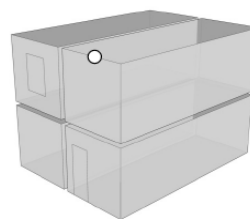
2D



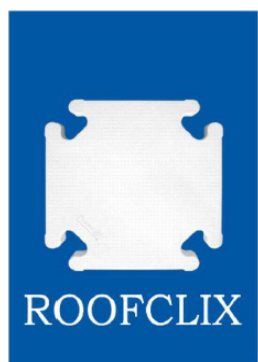
Bijlage C: Detail verticale doorsnede dakrand



Detail dakrand

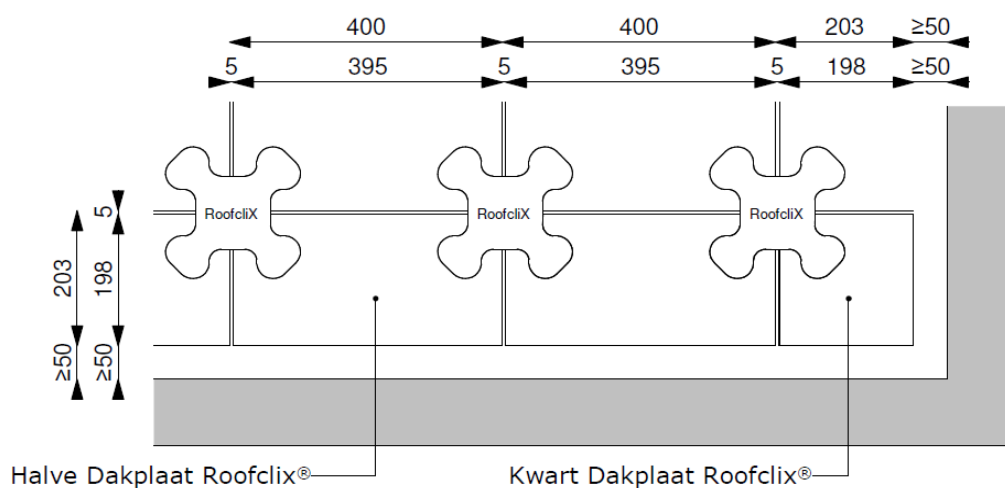
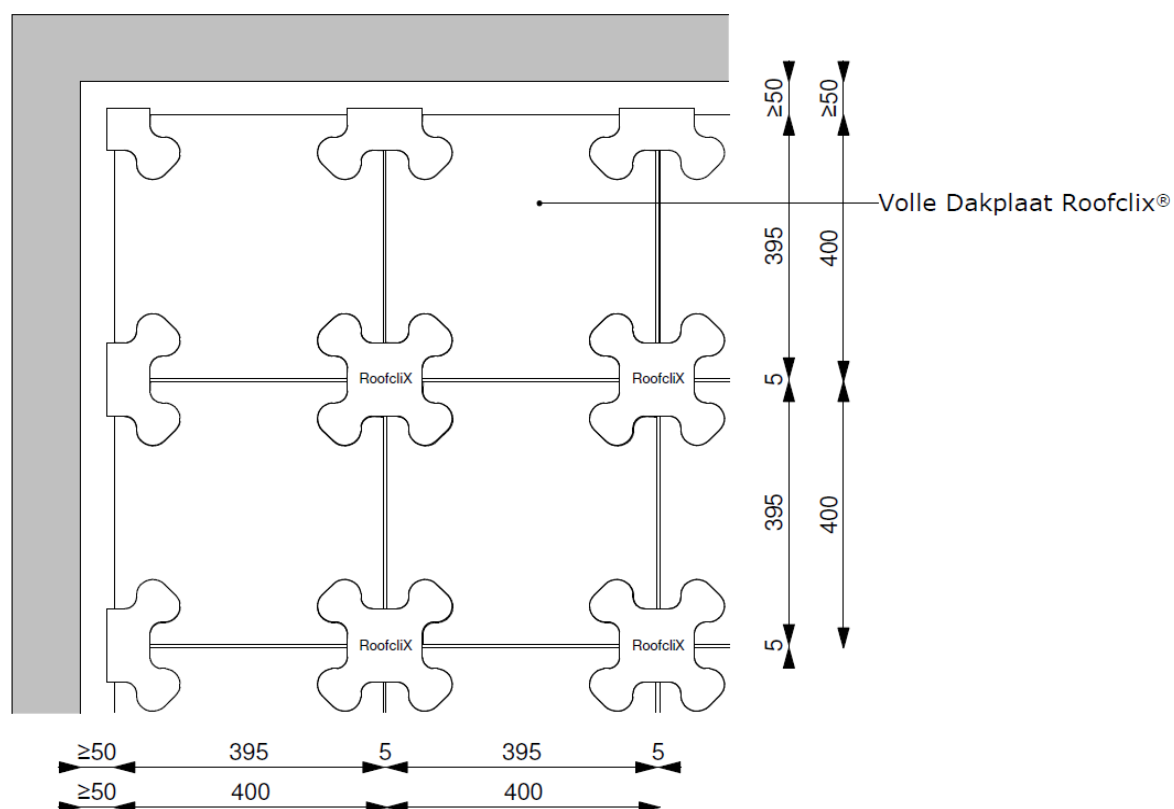
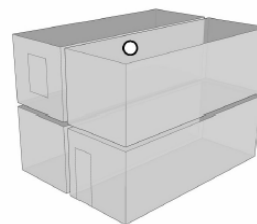


Bijlage D: Fragment bovenaanzicht hoek platdakconstructie



R O O F C L I X . N L

Overzicht verdeling



Bijlage E: Artikel over impact software op productkeuze

THE RELATION BETWEEN THE ADOPTION OF SUSTAINABLE MEASURES AND THE COMPOSITION OF AN ENVIRONMENTAL ASSESSMENT TOOL FOR BUILDINGS.

Bram ENTROP Eng.¹
Jos BROUWERS Prof. Dr. Eng.¹



Keywords: *assessment tool, GreenCalc, office building, education, students*

Abstract

Owing to a general perception of resource efficiency and due to the fact that the construction industry is traditionally a large user of natural resources, the necessity to design buildings with a low environmental impact is increasing. In the last decade many tools were developed to calculate the environmental impact of buildings and many measures came available to make buildings more sustainable. However, not many papers address the influence of the composition of the assessment tool on the adoption decision of its user.

In this research an assessment tool named GreenCalc was used to value and to improve the sustainability of an office building. To this end, more than one hundred and forty civil engineering students were involved as users of this tool. One group of students was asked to lower the environmental impact of the building with help of GreenCalc and another group was asked to do the same thing using a newer version named GreenCalc⁺. By using two different versions of the tool it is possible to reflect on the impact of the structure of the tool and the preferences of the students for particular techniques or measures. The most and least favourable aspects, and the way the assessment tool can stimulate the use of certain techniques, are addressed.

1. Introduction

Assessment tools have an important role in coming to more sustainable buildings. In the design process they enable stakeholders to communicate about the possibilities to cope with environmental performance objectives of the future building. In the construction phase and during exploitation the output of the assessment tool can be used to express the environmental attractiveness of the object by using for example certificates or labels. Besides these intended functions of the assessment tools, it could be that certain measures addressed by the assessment tools are unintentionally more applied by the users than others, because of their location or visual appearance within the tool.

In the Netherlands the assessment tool GreenCalc is commonly known. The national Government Buildings Agency has initiated its development and is stimulating the use of this particular tool (Haas et al, 2006). Multiple environmental friendly buildings are for example brought together on a poster with their GreenCalc assessment results to set an example for other project developers and redevelopers. The fact that this assessment tool has been adopted by the Dutch Government Buildings Agency is an important reason for the University of Twente to adopt this particular tool in their educational program for civil engineers.

In this research the assessment tools GreenCalc and GreenCalc⁺ will be compared with each other to find out what the influence is of their user interface. In 2007 sixty-four students were using GreenCalc and in 2008 eighty-two students were using the new edition GreenCalc⁺ to improve the environmental index of a Dutch office building called "ThermoStaete". The measures to be adopted by the students were related to the material use, energy consumption, water use, and transport need. The suggested improvements were reported per couple and graded regarding quantity and quality.

Firstly, the outline of the assessment tools GreenCalc and GreenCalc⁺ will be described in section 2. Secondly, the regarded case object will be presented and a more detailed description of the assignment will be given in section 3. Thirdly, the results of the students will be shown and analysed in section 4. Fourthly, the analysis on the derived data takes place in section 5, before finishing the paper with the conclusions and recommendations in section 6 and 7.

2. GreenCalc

In 1997 GreenCalc was introduced being an instrument to assess and compare the sustainability of office buildings based on their environmental impact during the whole lifecycle. Van Hal (2007) adds to this function that GreenCalc is also a communication instrument for sustainable building. It was developed by

¹ Department of Construction Management and Engineering, Faculty of Engineering Technology, University of Twente, Enschede, The Netherlands, a.g.entrop@utwente.nl

NIBE (Dutch Institute for Building Biology and Ecology) in order of the Dutch Government Buildings Agency (Seo, 2002).

Four aspects are in the first GreenCalc version addressed, namely the material use, energy use, water consumption and transport needs. Detailed information of the office design on these four aspects needs to be imported in the computer program. The program is able to calculate the amount of emissions, rate of exhaustion, land use, and the degree of nuisance involving these aspects. These values are then expressed in environmental hidden costs using Euros per year and per square meter (Straatman et al, 2001; Loomans et al, 2002). Furthermore an environmental index is given, that expresses the relation between the newly imported (environmental friendly) design and an automatically derived reference design. The score is given within a scale from 1 to 2,000. The reference design shows how the building traditionally was designed in 1990 having an index of 100. In 2050 the goal is to design buildings with a score of 2,000 (Seo, 2002).

With the introduction of GreenCalc⁺ in 2005 it was also possible to calculate the environmental impact of other buildings on two different levels. The first level reflects on the object itself and the second level involves the entire neighbourhood. Also the handling has been further improved, resulting in a time reduction of importing the construction into the computer program. The methodology stayed the same, but in this version the environmental impact of the design can also be shown in other units (e.g. kg CO₂ and environmental impact points) than Euros (see Figure 1). Now, the four aspects materials, energy, water and transport will be explained in more detail.

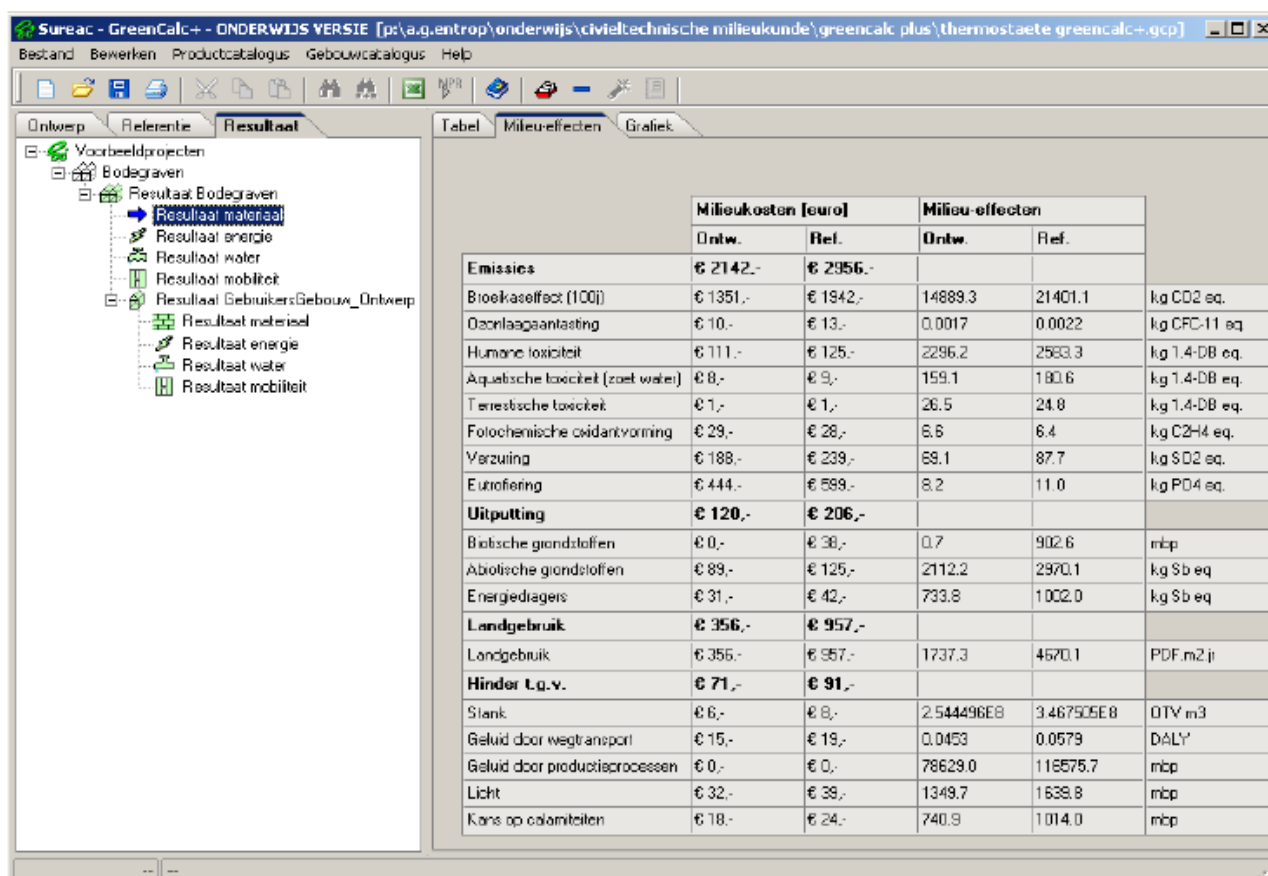


Figure 1 Lay-out of GreenCalc⁺ v2.1.0 showing the environmental impacts and costs of the materials.

2.1 Materials

By importing detailed information on the used amount and types of materials it is possible to calculate the environmental impact of the construction. The methodology is based on the TWIN-model (Haas, 1997). The software contains a large database of construction materials with their environmental impact. The students learn during a practicum how to use this database and how to compose construction elements using materials from this database, like walls, roofs and floors.

In GreenCalc⁺ seven parts of the construction are being distinguished, namely foundation, facades, inner walls, floors, roof, installations, and finishing. Regarding the installations in the building, it is not necessary to incorporate every single meter of plumbing and wiring; instead general values are used based on the gross floor area of the construction. The average annual environmental impact of materials is strongly related to the expected life time of the designed object. GreenCalc uses default life times of 35 years for offices and shops and 75 years for dwellings, schools and basic health care facilities.

2.2 Energy

During the use of a building the energy consumption accounts for the main part of the environmental impact. In the section energy the applied installations can be chosen conform the national standard on the energy performance of commercial and residential buildings (NEN 2916 and NEN 5128). This means that besides the environmental impact also the Energy Performance Coefficient is computed, that is enforced by the national Building Code. The following elements make part of the aspect energy: the use of the building, constructional specifications (shading and perimeter), climate systems, warm tap water, photovoltaic panels and/or windmills, lighting, and office equipment. Additionally some extra adjustments by means of natural gas consumption, electricity use, and heat use can be included, which can not be incorporated directly in the computer program.

2.2 Water

The third aspect to be addressed is the water consumption. The elements of this aspect are the facilities (to eat, for sports and green areas), sanitary facilities, and the use of rain water. Again it is possible to make adjustments in the water use by addressing additional savings, expressed by m³/year. New techniques can therefore always be imported in the computer program.

2.2 Transport & mobility

The fourth and last aspect in GreenCalc is transport and mobility. The accompanying transport needs of buildings have a major impact on the air quality and depletion of fossil fuels. In GreenCalc the environmental impact was part of the object's index, but in the new GreenCalc⁺ it is part of the environmental index of the neighbourhood. The location, availability of public transport, and the mode of personal transport are the three elements to complete this aspect.

3. Assignment and case object

With the assignment to improve the environmental index of ThermoStaete (see Figure 2) within a defined financial budget, the students received the specifications of the case object in form of a description, drawings and a file, that can be directly used in GreenCalc and GreenCalc⁺. The available budget for adopting sustainable measures was in 2007 two million Euros. This budget was reduced in 2008 to one million Euros.

Information on the relevance of assessing the environmental impact of buildings and the background of the assignment were provided in a 1.5 hours lecture and two practica of 4 hours each. Besides these contact hours, readers were provided containing a manual for GreenCalc, the assignment, and the grading scheme for the reports (Brouwers, 2007; Brouwers et al., 2008). During the practica the students were able to use GreenCalc to come to their improved object and were allowed to ask questions about its use. After the practica the students had more than one month to hand over their reports, during which it was still possible to use the software.



Figure 2 The case-object offered to the students was ThermoStaete, home office of DWA

The studied office building ThermoStaete has, according to Haas et al. (2006), an Environmental Index of 251 and offers a gross floor area of 2,324 m². The office building is located at Bodegraven in The Netherlands, but the students were allowed to design the improved building for a new location. Although it was already built in 1999, it still ranks a position among the ten most environmental friendly buildings in The Netherlands. In the files supplied to the students the building accounted for an Environmental Index of 285 in GreenCalc and in 252 in GreenCalc⁺. Some examples of environmental friendly measures are:

1. Materials: the construction has self supporting facades made out of lime-sandstone;
2. Energy: photovoltaic panels cover a surface of 85 m²;
3. Water: storm water is being used to flush the toilets;
4. Mobility: the office is located relatively close to a railway station.

4. Results

In this section the outcomes of the assignment will be discussed regarding the adopted sustainable techniques by students using GreenCalc. Firstly, the results will be shown of the students using GreenCalc V2.01 in 2007. Secondly, the results will be presented of the students using GreenCalc⁺ V2.1.0 in 2008.

4.1 GreenCalc

The first group of students used GreenCalc V2.01. In their thirty-two reports suggestions were made how to lower the environmental impact of the construction. In Table 1 an overview is given of the most popular measures among the students for each aspect. This means that all measures mentioned by ten or more couples are included. Twenty-one groups suggested replacing the PVC-roofing by EPDM-roofing. Within the aspect energy it is possible to choose for green electric energy supplied by the energy company. This was the most favourite measure among the students of 2007. However, one can debate about how close the relation is with the design and composition of the office. For the aspect water two measures were equally favoured from an environmental point of view, but removing the pantry from the building could be considered as socially not desirable, like many student reports addressed. Regarding transport 23% of the groups tried to alter the transport modalities themselves for multiple reasons, e.g. carpooling.

Table 1: Most often adopted techniques in GreenCalc

Materials		#	%
Foundation	A. Concrete foundation pile was replaced by wooden pile	16	50.0
Foundation	E. Compact concrete was replaced by a lime-sandstone foundation on sand	13	40.6
Superstructure	A. Floor of concrete hollow-core slabs was replaced by a pinewood floor	15	46.9
Superstructure	C. Steel columns were replaced by pinewood columns	12	37.5
Finishing	B. False ceiling with gypsum tiles was replaced by fibre glass tiles	11	34.4
Finishing	D. Ceramic tiles were replaced by natural stone	10	31.2
Finishing	G. Ballast provided by concrete tiles was replaced by slate	10	31.2
Completion	A. PVC roofing was replaced by EPDM roofing	21	65.6
Energy		#	%
Climate systems	C. Surface increase solar thermal collectors	10	31.2
Lighting	A. Dim connection on lighting	14	43.8
Green energy	A. Using 100% green energy	29	90.6
Water		#	%
Facilities	A. Reducing surface with controlled humidification rate	10	31.2
Facilities	B. Remove pantry from building	10	31.2
Transport & mobility		#	%
Location	A. Place building not on the edge, but in the center of the city	14	43.8
Public transport	A. Reduce distance to train station	10	31.2
Public transport	B. Reduce distance to bus stop	11	34.4
Private transport	A. Reducing capacity of parking lot	16	50.0
Private transport	D. Different (unique) occupation rates for each modality	23	71.9

The mostly adopted measures involve the aspect materials. On average 7.3 measures focusing on materials were mentioned per group. The grading scheme of this assignment supported the students to mention two times more measures for this aspect than for the other individual aspects. In total fifty-five different measures were mentioned for this aspect of the building. The most favourite material to come to a lower environmental impact is timber. Most groups adapted the volume of the material to roughly compensate for the lower strength of the replacement, when this was necessary. For the aspects energy, water and transport the students were expected to mention at least five measures each. On average the groups came to 3.3 (energy), 0.8 (water) and 3.3 (transport) measures.

The requirements regarding budget and effectiveness were not influencing many groups. Although most groups tried to calculate the costs, the budget was in their opinion more than sufficient to cope with these costs. Only a small number of groups weighed the investment and its effectiveness. Eight groups did not mention the Energy Performance Coefficient and at least nine groups did not reflect on all aspects regarding the hidden environmental costs. Therefore, these groups were as a matter of fact not able to derive a conclusion regarding the effectiveness of their complete package of measurements.

4.2 GreenCalc⁺

The second group of students used GreenCalc⁺ V2.1.0, developed in 2007. Their forty-one reports showed that different measures were adopted compared to the group of students using GreenCalc. Their favourite measures, adopted by ten or more groups, are presented in Table 2.

Table 2: Most often adopted techniques in GreenCalc⁺

Materials		#	%
Foundation	A. Concrete foundation pile was replaced by wooden pile, with FSC trademark and a head of concrete	26	63.4
Foundation	C. Sand is replaced by foil	12	29.3
Building shell – façade	A. Ceramic tiles, polystyrene plates, and lime-sandstone was replaced by timber frame/glass wool/gypsum	11	26.8
Building shell – façade	B. Doors and doorframes of hardwood are replaced by doors and doorframes of European plywood	10	24.4
Building shell – inner walls	A. Metal stud with gypsum plates, glass wool and gypsum plates was replaced by timber frame with pinewood and rock wool	31	73.8
Building shell – inner walls	B. Gypsum stucco is replaced by loam stucco	11	26.8
Building shell – floors	A. Concrete, polystyrene plates, and RO-anhydrite was replaced by wood, polystyrene plates, and PE	16	39.0
Building shell – floors	B. Concrete hollow-core slabs with 0% granulate were replaced by plywood and beams of pinewood with FSC trademark	14	34.1
Building shell – roof	A. Concrete hollow-core slabs with mineral wool, PVC and PE are replaced by plywood, concrete, hardboard, foil and mineral wool	10	24.4
Building shell – roof	B. Concrete hollow-core slabs with PE, mineral wool and PVC tracks were replaced by pinewood beams and polystyrene plates	11	26.8
Building shell – roof	N. HR++ Aluminium is replaced by HR+ glass with European hardwood	10	24.4
Installations	A. Mechanical ventilation with air treatment and heat recovery is replaced by natural air supply with mechanical carry off	20	48.8
Installations	B. Mechanical ventilation with air treatment and heat recovery is replaced by self-regulating grids	12	29.3
Finishing	A. By the false ceiling, L shaped profiles of steel are replaced by L shaped profiles of pinewood	17	41.5
Energy			
Structure	C. Automatic awning	14	34.1
Climate systems	A. No mechanical ventilation	16	39.0
Climate systems	B. Natural air supply with mechanical carry off	14	34.1
Climate systems	G. Electrical heatpump with as source used air	19	46.3
PV / windmills	A. Use of a windmill	23	56.1
PV / windmills	C. Surface increase PV Cells	12	29.3
Water			
Facilities	B. Use of a pantry	10	24.4
Sanitary	A. Increased number of urinals	11	26.8
Sanitary	B. Decreased volume reservoirs of toilets	20	48.8
Transport & mobility			
Public transport	A. Reduce distance to train station	17	41.5
Public transport	B. Reduce distance to bus stop	32	78.0
Private transport	F. Promotion of carpooling	11	26.8

Timber was again a common used material to come to a lower environmental impact. One similar measure compared to 2007 is the replacement of the concrete piles in the foundation by timber ones. Furthermore, the tables reveal that the students tried to replace the ceramic tiles. The students of 2008 unfortunately made the mistake that their replacement cannot withstand the outdoor environment by itself. For reducing the environmental impact of the aspect energy 56.1% suggested to use a windmill. The volume of reservoirs should be reduced regarding the water consumption and the aspect transport is being improved by relocating a bus stop. Reducing the distances to the train station and bus stop were also important measures among the students of 2007 and 2008.

In case of measure N in the category Building Shell of the aspect Materials concerning a roof window (see Table 2), many students did not notice that the environmental impact regarding energy use increased when

HR+ glazing was selected. Furthermore, the same kind of links were absent for measure A and B in the category Installations of the aspect Materials on the one hand and measure A and B in the category climate systems of the aspect Energy on the other hand.

The budget for implementing sustainable techniques was one million Euros. Although placing a windmill or photovoltaic panels were regarded as long term investments, not many groups saw the budget as a constraint not to adopt these techniques. Eleven groups did not mention the total costs of the adopted measures. Furthermore, many groups did not use all the output of the assessment tool. At least eighteen groups did not reflect on the Energy Performance Coefficient. Sixteen groups did not mention the improvements quantitatively regarding the total environmental performance of their new alternative.

5. Comparative analysis

In this section the results of the GreenCalc assignments in 2007 and 2008 will be compared, regarding:

1. The total number of measures per aspect;
2. The number of unique measures per aspect;
3. The number of measures per group per aspect.

Many measures were of course mentioned by more than one group. In 2007 471 measures were suggested in the student reports; 233 materialistic measures, 107 energetic measures regarding energy, 27 water related measures regarding water, and 104 measures regarding mobility were mentioned. Using GreenCalc⁺ the total number of measures was 727. There were 416 measures focusing on materials, 149 involving energy, 69 on water, and 93 on mobility (see Figure 3).

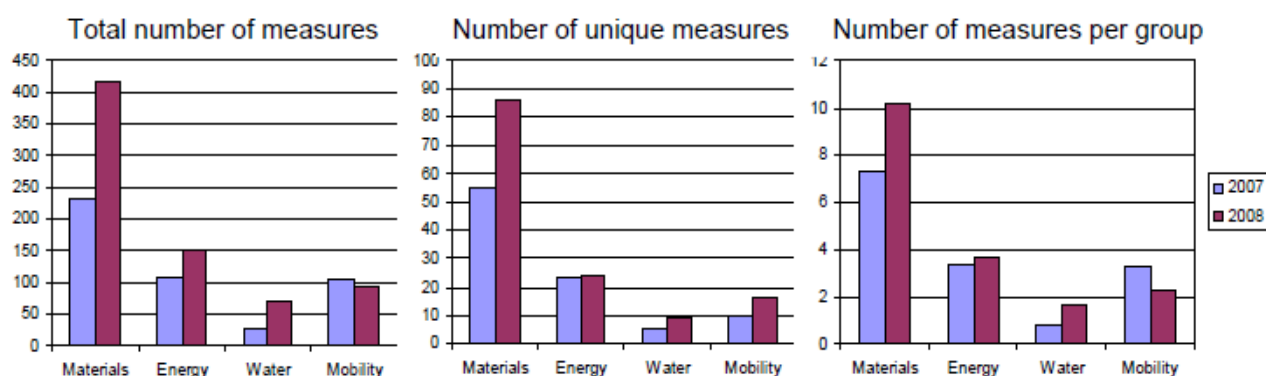


Figure 3 Histograms showing the total number of measures, the number of unique measures and the number of measures per group for each aspect of GreenCalc and for each group of students

The group of students using GreenCalc mentioned in 2007 fifty-five unique measures regarding materials, twenty-three on energy, five on water, and ten regarding mobility and transport (see Figure 3). All reports combined, 93 unique measures were suggested with the intention to lower the environmental impact of the construction. 135 unique measures were proposed using GreenCalc⁺, which is significantly higher than the year before. This increase was not really due to additional energetic measures, but due to increases within the other three aspects, which can be seen in Figure 4. This is quite surprising, because especially by the end of 2007 and in the beginning of 2008 energy saving was (and still) is an important topic in the (Dutch) news.

On average 14.7 measures were suggested per group in 2007, although the grading scheme of assignment showed that 25 measures per group were requested. Using GreenCalc⁺ on average 17.7 measures per group were mentioned, which is already 3.0 higher compared to GreenCalc. Only the number of measures regarding mobility strongly decreased, but the other three aspects were better represented. Figure 5 shows that the presence of the aspect energy was relatively reduced. The grading scheme aims on a distribution of 40%, 20%, 20% and 20%, that was according to Figure 5 best met by the students of 2007. Nevertheless, the expected amount of 25 measures was best met the students of 2008. The target of ten materialistic measures was on average met by them by 10.1 measures. The average number of measures per group for energy was 3.6, water 1.7, and transport 2.3.

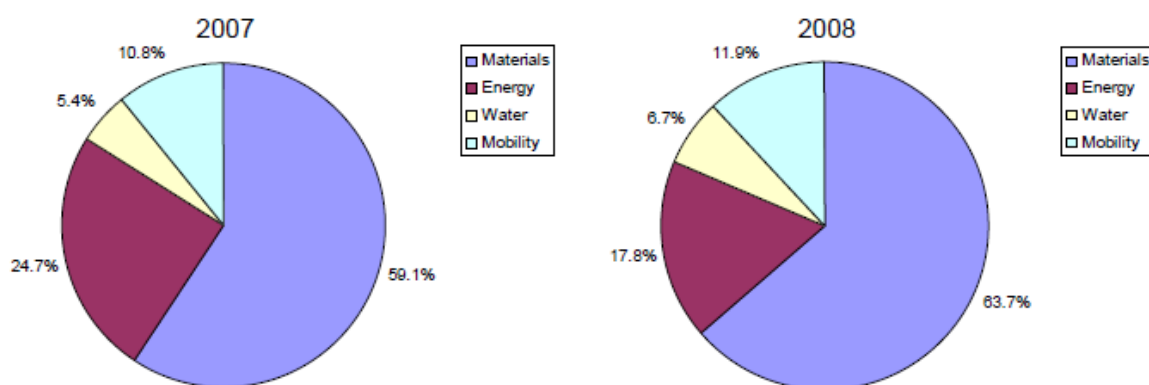


Figure 4 Pie charts showing the percentage of unique measures for each aspect of GreenCalc(+)

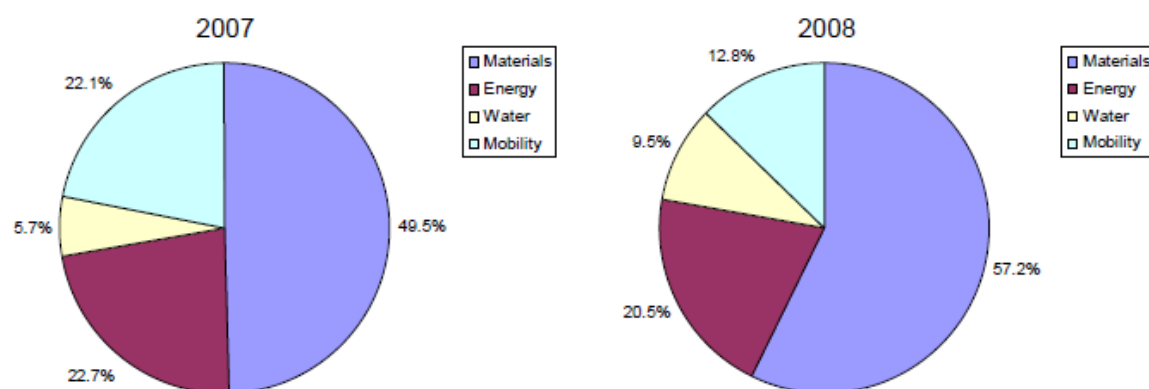


Figure 5 Pie charts showing the relative distribution of measures per aspect of GreenCalc(+)

6. Conclusions

The interface of the new GreenCalc⁺ seems to stimulate the students to come up with more environmental friendly measures than GreenCalc. More unique measures, an increase of 0.4 unique measures per group, and on average three more measures per group were given. There are however two small exceptions regarding this main conclusion.

The aspect mobility has in GreenCalc⁺ less influence on the performance of the individual object. This aspect has been upgraded to the level of the neighbourhood. Using GreenCalc, 10 unique measures and in total 104 transport measures were given. In GreenCalc⁺, 16 unique measures and in total 93 measures were given. In GreenCalc⁺ only one single field was provided to assess the environmental impact of this aspect within the direct context of the building. This field contains ten variables and the possibility to correct the eight generated modal factors. In GreenCalc three sub-topics were included, namely: location, public transport, and personal transport. In total thirteen variables were mentioned and all could be altered. It seems that the different outline and the smaller number of variables had their influence. Furthermore, it can be mentioned that the students of 2008 mentioned more social measures for this aspect than the students 2007. Some examples are "green" car insurance, promoting carpooling, and promoting public transport. By altering the position of this aspect within the tool, the attention of the students was turned to the other aspects.

A second exception is the aspect energy. More measures were indeed mentioned, but the diversity in these energetic measures was relatively smaller. GreenCalc⁺ misses the possibility to buy green electric energy from an external supplier, which was a favourite among the students of 2007. However, GreenCalc⁺ does offer options, additional to GreenCalc, to assess awning, photovoltaic installations, and windmills directly. These three extra options were often used, because with 34.1%, 29.3% and 56.1% (see Table 2) they belong to the most favourite energetic measures. The number of varieties within the aspect energy is much smaller than for materials, because the aspect energy is not based on a huge database offering environmental friendly options. As a matter of fact the building has already a very good energy performance and the number of possibilities to choose an improved item per variable is quite limited. In this regards the 24 unique measures could be close to the maximum value.

The use of GreenCalc⁺ brought also some qualitative advantages, besides the mentioned quantitative advantages. More students succeeded in lowering the Energy Performance Coefficient. It seems they were better aware of the relation between the heat resistance of materials as part of the aspect materials, and the

energy consumption assessed within the aspect energy. Both versions of GreenCalc calculate the heat resistance of walls, floors, and roofs automatically. GreenCalc⁺ incorporates also the environmental impact of installation materials being one of the sub-aspects of the aspect materials, which vice versa could have triggered the students of 2008 more to have a closer look at the relations between the aspects materials and energy, compared to the students of 2007 did using GreenCalc.

7. Recommendations and future research

In the future it is expected that GreenCalc⁺ will be used and not GreenCalc. GreenCalc⁺ can be preferred because of its clear composition and user friendliness. Nevertheless, some changes to improve the assignment in meeting the objectives of the course are suggested.

The case ThermoStaete offers a limited number of possibilities for improvement. Although a large number of unique measures can be proposed, it seems that this case limits the students to come up with additional measures regarding water consumption. The standard design of ThermoStaete already incorporates the most interesting and effective measures. Furthermore, the aspect energy use receives less attention from the students than was expected, probably because they are not familiar enough with the Energy Performance Coefficient and technical alternatives for the already adopted heat pump. An assignment involving the design of a new object or a case object with a higher environmental impact to start with will offer the students more freedom. When designing a (small) new object the total investment costs could be calculated by the students, this will give them more insights in the relation between traditional and sustainable measures regarding their (financial) costs and potential (financial) benefits.

Furthermore, the meaning and use of the environmental indices and Energy Performance Coefficient should be more profoundly explained to the students in the reader, and courses, although the Energy Performance Coefficient was already addressed in the reader, assignment, and course. The interface of the GreenCalc⁺ could be adapted in such a way, that the main screen shows the total hidden environmental costs and Energy Performance Coefficient all the time. The influence of every alteration in adopted measures is in that case directly computed and visible.

References

- Brouwers, H.J.H., 2007, *Civieltechnische Milieukunde; Reader GreenCalc. 857, University of Twente, Enschede, The Netherlands*
- Brouwers, H.J.H., Entrop, A.G., 2008 *Civieltechnische Milieukunde; Reader GreenCalc⁺. 857, University of Twente, Enschede, The Netherlands*
- Haas, M., 1997, *Milieu classificatie-model bouw; TWIN-model, thesis, University of Eindhoven*
- Haas, M., Groot, S., 2006, *One number says it all³. Rijksgebouwendienst (Government Buildings Agency), VROM (Ministry of Housing, Spatial Planning, and the Environment)*
- Hal, J.D.M. van, 2007, A labeling system as stepping stone for incentives related to the profitability of sustainable housing. *Journal of Housing and the Built Environment*, 22, pp. 393-408
- Loomans, M.G.L.C., Bluyssen, P.M., 2002, *PeBBu –Indoor Environment Domain. TNO Building and Construction Research, Delft, The Netherlands*
- Seo, S., 2002, *International review of environmental assessment tools and databases (report 2001-006-B-02). Cooperative Research Centre for Construction Innovation*
- Straatman, R., Vambersky, J.N.J.A., 2001, Precast construction and environment. *Structural Concrete*, 2, pp. 93-98