viaverda

HYGROTHERMISCHE EFFECTEN VAN GEVELGROEN

SAMENVATTEND RAPPORT

GROEN BOUWEN
WonderWalls Facilitating green façades
total value wall
ECITIES
COOLTOWNS
Universiteit Antwerpen
Interreg 2 Seas Mers Zeeën
VLAIO
VLAANDEREN CIRCULAIR
fwo
DEPARTEMENT OMGEVING

Inhoudstafel

1. Inleiding 2
   1.1 Voor- en nadelen van gevelgroen 2
   1.2 Urban Heat Island (UHI) – effect 3
   1.3 Mechanismen die het hygrothermisch gedrag van gevelgroen bepalen 3
   1.4 Wall Leaf Area Index (WLAI) 4
2. Doelstelling 4
3. Resultaten uit Vlaamse onderzoeken 5
   3.1 In de praktijk 5
      3.1.1 Hygrothermisch effect van direct grondgebonden gevelgroen (dGW) 5
      3.1.2 Hygrothermische effecten van indirect grondgebonden gevelgroen (idGW) 6
      3.1.3 Hygrothermisch effect van een Living Wall Systeem (LWS) 6
      3.1.4 idGW vs. LWS 9
      3.1.5 Effect van gevelgroen op omgeving 11
   3.2 In theorie (model) 12
   3.3 Energiebesparend effect van gevelgroen 14
4. Synthese en implicaties voor uitvoering 15
5. Samenvatting 16
6. Bronnen 19
   6.1 Gebruikt in rapport 19
      6.1.1 Websites 19
      6.1.2 Papers 19
   6.2 Extra informatie – studies wereldwijd 19
      6.2.1 Websites 19
      6.2.2 Papers 19

1. Inleiding

Door de grote klimaatveranderingen wordt gevelgroen steeds belangrijker voor lokale temperatuurbuffering. Er zijn twee types gevelgroen. Het grondgebonden gevelgroen (Green Walls, GW), waarbij de planten in volle grond geplaatst worden aan de voet van de gevel, en de Living Wall Systemen (LWS), waarbij de planten rechtstreeks aan de gevel hangen. Binnen de Green Walls kunnen de planten direct op de gevel (direct Green Wall, dGW) of op een klimhulp (indirect Green wall, idGW) groeien.

1.1 Voor- en nadelen van gevelgroen

Gevelgroen heeft slechts enkele nadelen ten opzichte van zijn voordelen (Tabel 1). De focus van dit rapport ligt op het positief effect van gevelgroen op de lokale temperatuur, waarbij gekeken wordt naar de impact op zowel omgeving als de gebouwen.

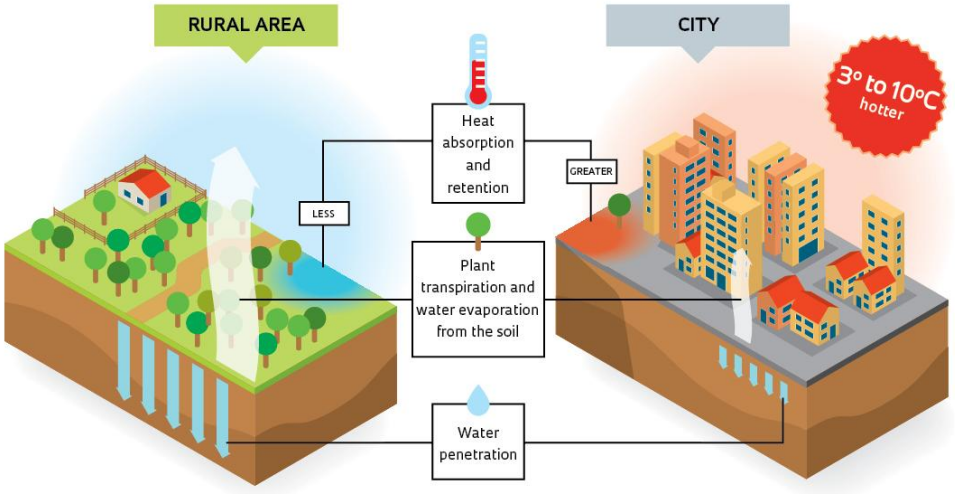
Tabel 1: Voor- en nadelen van gevelgroen, zowel algemeen, als specifiek voor groene gevels en LWS.

Voordelen algemeen	**Nadelen algemeen**
Extra isolatie → energiebesparing	Onderhoud
Temperatuurbufferend effect binnen en buiten gebouw (koeling in zomer en opwarming in winter)	Investerings- en onderhoudskosten
Verminderde luchtvervuiling, luchtzuiverende werking → minder fijn stof doordat het aan de boven- en onderkant van de bladeren blijft hangen	Beschadiging aan de muur (indien bepaalde plantensoorten op ongeschikte ondergrond toegepast worden)
Verhoging van de biodiversiteit (én uit ervaring blijkt minder ongedierte in huis)	
Minder geluidsoverlast (absorptie i.p.v. weerkaatsing)	
Fungeert als regenmantel → houdt achterliggende gevel droog	Indien de gevel toch vochtig wordt, droogt die moeilijker op door de bedekking met planten
Goed voor psychologisch welzijn	
Esthetisch, verhoogde vastgoedwaarde	
Verlaagt UV inval door de zon → positieve invloed op duurzaamheid van gebouw (want UV straling breekt materialen af door fotochemische reacties)	
Neemt minder plaats in dan traditioneel groen	
Voordelen groene gevels	**Nadelen groene gevels**
Goedkoper	Beperkt in hoogte (max. 25 m)
Geen irrigatiesysteem nodig	Beperkte plantkeuze
Houdt funderingen en onderkant van de gevel droog doordat de wortels voortdurend water onttrekken	Tijd nodig voor volledige bedekking
Minder onderhoud nodig dan LWS	
Voordelen LWS	**Nadelen LWS**
Grote variatie aan planten mogelijk	Duurder
Onmiddellijk resultaat (indien voorgecultiveerd)	Irrigatiesysteem nodig

Door het gebrek aan technische kennis in verband met gevelgroen worden er nog vaak slechte keuzes gemaakt wat betreft de gebruikte plantsoorten, onder meer in functie van de oriëntatie van de gevel. Ook het onderhoud is hierbij een aandachtspunt. Daarnaast moet, bij een LWS, het irrigatiesysteem correct ingesteld worden en hebben de planten voldoende, maar ook niet te veel, voedingsstoffen nodig. Door deze aspecten wordt er nog te vaak terughoudend gereageerd op het plaatsen van een groene wand. Om dit gegeven toch te kunnen realiseren, is een goede samenwerking tussen de bouw- en de groensector van groot belang.

1.2 Urban Heat Island (UHI) – effect

Door de sterke klimaatveranderingen treden er steeds vaker hittegolven op. Ook in België zien we dit meer en meer, met een jaarlijkse oversterfte van 2 tot 6% als gevolg. Bij temperaturen die ver boven (of onder) de optimale temperatuur liggen, neemt de mortaliteit toe (Bron: VMM). De klimaatveranderingen zijn het sterkst voelbaar in steden. Men spreekt van het Urban Heat Island (UHI) effect, waarbij het stedelijk gebied aanzienlijk warmer is dan de omliggende plattelandsgebieden. De grootste oorzaken hiervoor zijn menselijke activiteiten (bv. verkeer en industrie), de stedelijke structuur, het gebrek aan vegetatie en de aanwezigheid van materialen die warmte goed vasthouden en traag loslaten, zoals asfalt en beton. Ook de beperkte luchtcirculatie door de vele gebouwen leidt tot hogere temperaturen. In de stad kan het daardoor tot wel 10°C warmer zijn dan in de omliggende gebieden (Figuur 1). Het effect is 's nachts het grootst omdat gebouwen en wegen veel trager afkoelen dan natuurlijke elementen. Als de omgevingstemperatuur met 1°C stijgt, kan dit leiden tot 2 tot 4% meer elektriciteitsverbruik. Daarom willen we dit effect verkleinen door het verhogen van de aanwezigheid van groen in steden. Uit een Nederlandse studie bleek dat 10% meer groen (bomen, tuinen, gevelgroen,…) zorgde voor een daling van het UHI-effect met 0,6°C (Hiemstra, 2018). Dit werd later ook bevestigd met modelberekeningen. Veel steden hebben echter maar beperkte ruimte beschikbaar. Een mogelijke oplossing hiervoor is de implementatie van groen op en tegen gebouwen.



Figuur 1: Urban Heat Island Effect (Greentexx by SIOEN).

1.3 Mechanismen die het hygrothermisch gedrag van gevelgroen bepalen

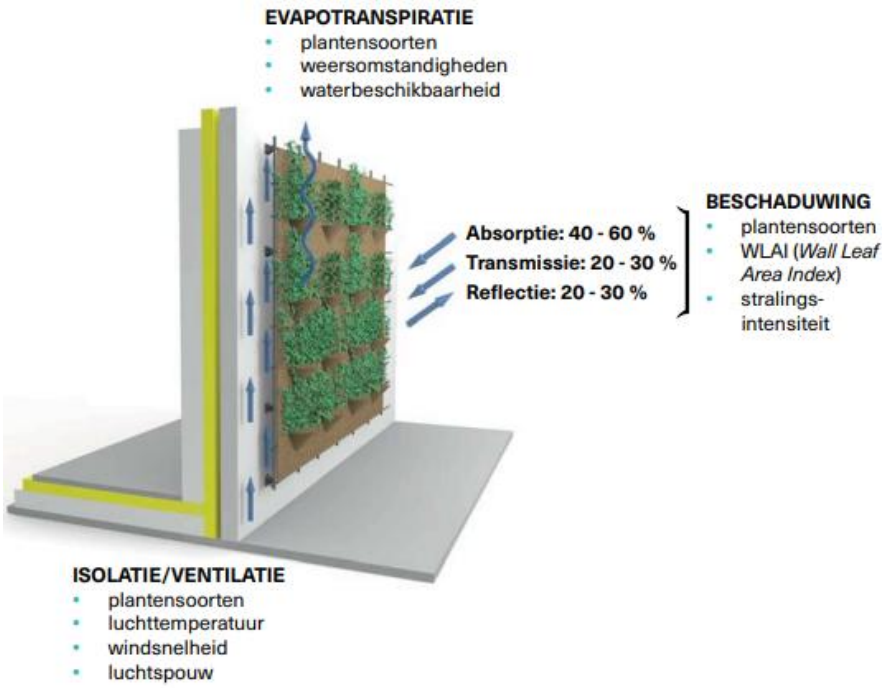
Hoe gevelgroen reageert op vocht (hygro) en temperatuur (thermisch), ofwel het hygrothermisch gedrag, dat hoofdzakelijk bepaald wordt door een combinatie van drie mechanismen: beschaduwing, evapotranspiratie en thermische weerstand (Figuur 2).

Beschaduwing is een van de belangrijkste verkoelingsfactoren in de zomer. In deze context beschouwen we beschaduwing als de zonnestraling die de muur die is uitgerust met gevelgroen niet kan bereiken door een combinatie van twee mechanismen, nl. absorptie en reflectie. De zonnestralen die niet geabsorbeerd of gereflecteerd worden, worden doorgelaten (transmissie) en kunnen de muur opwarmen. Een lagere transmissiewaarde resulteert in minder oververhitting in de gebouwen en verbetert het binnenklimaat. Door de aanwezigheid van de vegetatie (en eventueel het substraat of de klimhulp), zal er minder transmissie plaatsvinden doordat het oppervlak van de onderliggende wand beschermd wordt tegen extreme opwarming van invallende zonnestralen.

Evapotranspiratie is een combinatie van transpiratie en evaporatie. Bij transpiratie komt waterdamp vrij door de openstaande huidmondjes op de bladeren tijdens het fotosyntheseproces, hetgeen resulteert in een temperatuurverlaging in de nabije omgeving van de vegetatie. Bij evaporatie wordt water (afkomstig van neerslag, dauw of irrigatie) van op het plantoppervlak (en vanaf het substraat in

geval van een LWS) verdampt naar de lucht. Bij die verdamping wordt warmte uit de lucht onttrokken waardoor een verkoelend effect (enkele cm) rondom de vegetatie verkregen wordt.

Een derde mechanisme is **isolatie/ventilatie**. Tussen het bladerdek en achter gevelgroen zijn vaak (semi-)stilstaande luchtlagen aanwezig, zowel bij grondgebonden gevelgroen met klimhulp, als bij LWS, in zowel het substraat als in de spouw (tussen de vegetatie en de gevel). In de spouw is de temperatuur in de zomer maximaal 5 tot 10°C koeler dan de omgevingstemperatuur. Het koelend effect is groter bij een grotere spouwbreedte. Een grotere spouwbreedte laat ook voldoende droging toe in geval de gevel nat wordt.



Figuur 2: Overzicht van de 3 mechanismen die zorgen voor het hygrothermisch effect van gevelgroen (Groen Bouwen).

1.4 Wall Leaf Area Index (WLAI)

Een belangrijke parameter die de voordelen van gevelgroen bepaalt, is de Wall Leaf Area Index (WLAI). De WLAI is de hoeveelheid bladoppervlakte per wandeenheid. Meer bladoppervlakte per wandeenheid geeft een hogere WLAI waarde en resulteert in betere prestaties van gevelgroen, zoals een hoger koelingspotentieel, het beter vasthouden van fijnstof en het reduceren van geluid. Een optimale WLAI ligt tussen 4 en 6, WLAI-waarden groter dan 6 bieden geen extra voordelen meer (nog meer bladoppervlak biedt geen meerwaarde). Er moet ook opgemerkt worden dat de WLAI sterk soortafhankelijk is en dat de waarde verandert in functie van het groeiseizoen en dus niet constant is voor een plantensoort (Convertino *et al.*, 2022), hetgeen de bepaling van het koelingspotentieel van gevelgroen uitdagend maakt.

2. Doelstelling

Dit rapport heeft als doel om een overzicht te geven van de beschikbare kennis rond de impact van gevelgroen op gebouw- en omgevingstemperatuur in Vlaanderen. Deze resultaten werden verkregen via zes verschillende projecten: het VLAIO-VIS project Groen Bouwen (2014-2018), VLAIO TETRA project WonderWalls (2020-2022), Vlaanderen Circulair project Total Value Wall (2017), Interreg 2 Zeeën Cool Towns (2018-2022), SBO EcoCities (2018-2022) en een doctoraatsonderzoek (FWO project) over de impact van gevelgroen op historische materialen, in erfgoedstudies aan UAntwerpen (2021-2025).

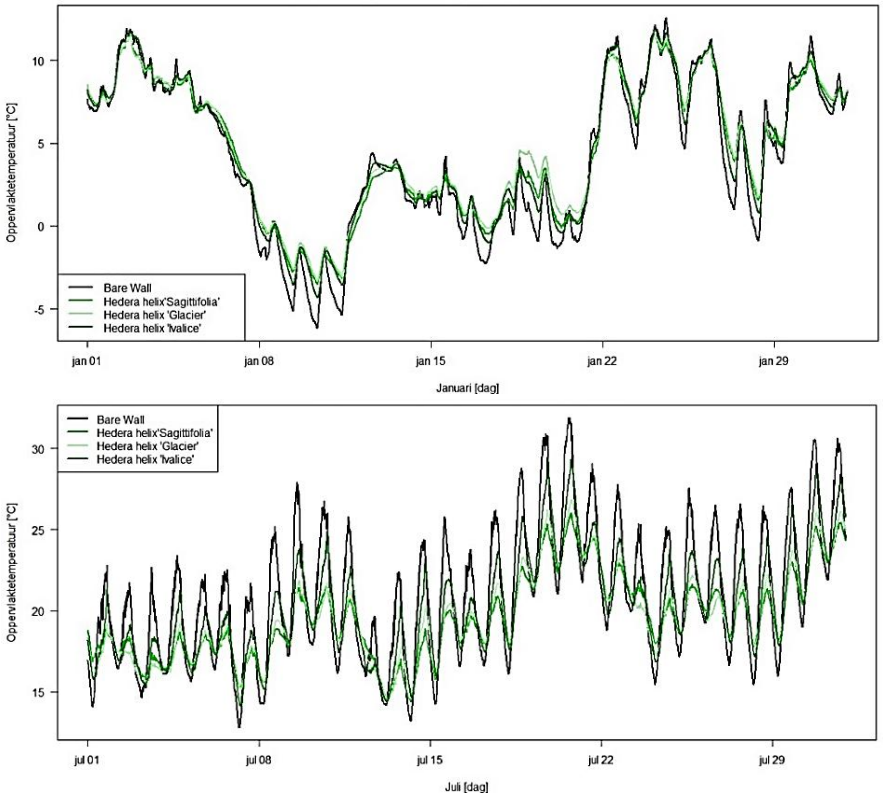
3. Resultaten uit Vlaamse onderzoeken

3.1 In de praktijk

3.1.1 Hygrothermisch effect van direct grondgebonden gevelgroen (dGW)

De hygrothermische effecten van direct grondgebonden gevelgroen werden onder de loep genomen in een doctoraatsonderzoek aan UAntwerpen. Er werd een experiment opgezet over de impact van verschillende klimopcultivars op het lokale microklimaat aan het geveloppervlak. Voor het onderzoek werden drie makkelijk van elkaar te onderscheiden cultivars geselecteerd: *Hedera helix* 'Glacier', *H. helix* 'Ivalice' en *H. helix* 'Sagittifolia'. Deze cultivars werden geplaatst op een noordelijke gevel waar geen zonlicht op inviel. Bij elke cultivar werd er een oppervlaktetemperatuursensor achter de groene gevel op de buitenmuur geplaatst. Ook werd er een sensor op het niet-begroeide deel van de muur geplaatst als referentie.

Wat meteen opviel, was dat het temperatuurprofiel stabieler was in aanwezigheid van de groene gevel in zowel warme als koude omstandigheden (Figuur 3). De maximumtemperaturen werden gereduceerd en de minimumtemperaturen waren warmer in vergelijking met de gevel zonder begroeiing. De maximumtemperaturen lagen gemiddeld 2,23°C, 2,06°C en 1,67°C lager voor respectievelijk *H. helix* 'Sagittifolia', *H. helix* 'Glacier' en de *H. helix* 'Ivalice'. Bij de minimumtemperaturen was er een minder groot verschil, maar alle cultivars zorgden wel voor een verhoging van gemiddeld 1,24°C (*H. helix* 'Glacier'), 1,14°C (*H. helix* 'Sagittifolia') en 0,84°C (*H. helix* 'Ivalice'). Ondanks de grootste WLAI, zorgde *H. helix* 'Ilvace' toch voor de kleinste verhoging van de minimumtemperatuur. Dit kan te maken hebben met de morfologie van de bladeren, door de gekrulde bladeren is er meer ventilatie en warmte-uitwisseling mogelijk tussen de omgeving en de gevel (De Groeve, Under review).



Figuur 3: Temperatuursverloop voor de niet-begroeide gevel en de drie cultivars voor de maanden januari (boven) en juli (onder) (Marie De Groeve).

Ook werden de cultivars onderling vergeleken. Er werden significante verschillen waargenomen tussen de cultivars. De sterkste daling in maximumtemperatuur werd gezien bij *H. helix* 'Sagittifolia'. De meest isolerende cultivar tijdens koude periodes was *H. helix* 'Glacier' met een maximale verhoging van de

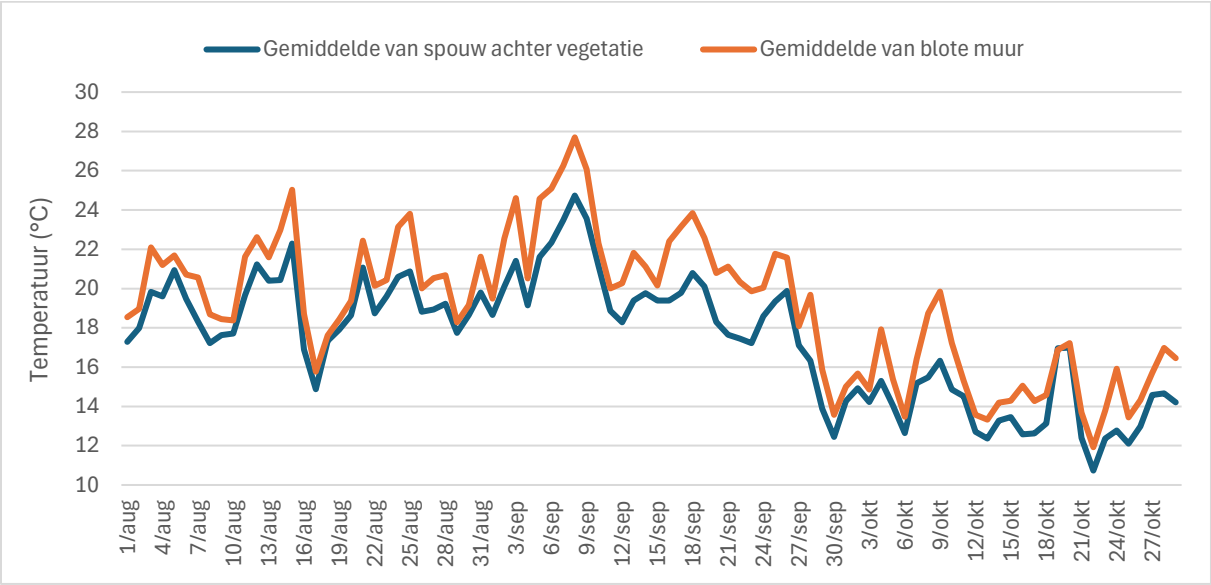
minimumtemperatuur met 3,14°C. Deze cultivar zorgde ook voor een lagere frequentie, duur en sterkte van de koude periodes. De derde cultivar, *H. helix* 'Ivalice', leverde dan weer de kleinste fluctuaties en dus de meest stabiele oppervlaktetemperaturen doorheen het jaar (De Groeve, Under review).

Minder temperatuurschommelingen in aanwezigheid van groene gevel in zowel warme als koude omstandigheden

Verschil in bufferend effect tussen verschillende klimopcultivars

3.1.2 Hygrothermische effecten van indirect grondgebonden gevelgroen (idGW)

In het EcoCities-project werd het effect van een indirect grondgebonden groene wand op de geveltemperatuur onderzocht. De temperatuur werd gemeten tijdens een warme periode (Figuur 4). Uit de metingen bleek dat de gemiddelde spouwtemperatuur achter de idGW steeds koeler was dan de gemiddelde temperatuur aan de kale muur.



Figuur 4: Gemiddeld temperatuurverloop van de kale muur en de idGW gemeten van begin augustus tot eind oktober (EcoCities).

Minder opwarming in spouw achter idGW tijdens warme periode

3.1.3 Hygrothermisch effect van een Living Wall Systeem (LWS)

Hygrothermische effecten van LWS werden in verschillende projecten onderzocht.

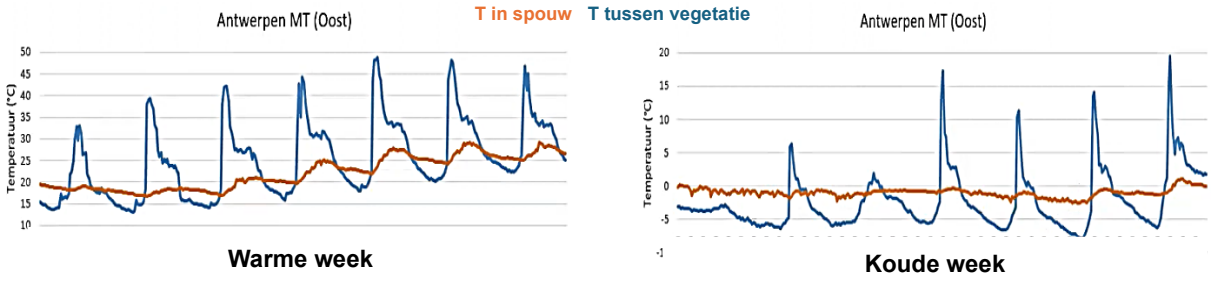
Total Value Wall (TVW): temperatuurreductie van groene wand naar spouwmuur bij 2 bestaande LWS

Voor het TVW-project werd het effect van twee LWS geanalyseerd: een muurtuin (MT) geplaatst in Antwerpen in zuidoostelijke oriëntatie, en een Total Value Wall (TVW) in Gent gericht naar het zuiden. Het substraat bestond uit lava, potgrond en biochar en beide LWS werden geplaatst op een muur van metselwerk of beton. Bij de MT werd een temperatuurmeting uitgevoerd tussen de bladeren en in de spouw tussen LWS en buitenmuur. Bij de TVW werd de temperatuur gemeten tussen de bladeren, in het substraat en in de spouw (Figuur 5).

Figuur 5: Opbouw van de MT (links) en TVW (rechts) met geplaatste temperatuursensoren weergegeven als rode kruisjes. Spouw = ruimte tussen LWS en buitenmuur.

Tijdens **warme periodes** zorgde de vegetatie 's nachts voor meer afkoeling. Op het moment van de eerste instraling in de ochtend werden bij de MT de maximale temperaturen minder sterk gemeten in de spouw in vergelijking met de kale muur. Het temperatuurverloop in de spouw was zichtbaar gedempt in vergelijking met de temperatuur gemeten in het midden van de vegetatie. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de aanwezigheid van vegetatie op de gevel een temperatuurbufferend effect heeft, dat voelbaar is in de spouw (Figuur 6, links). In de TVW zag men gelijkaardige resultaten, maar lagen de temperaturen gemeten in de spouw en tussen de vegetatie dichter bij elkaar. Dit is te wijten aan het feit dat de MT eerder geplaatst werd, waardoor deze een dichtere vegetatielaag kon ontwikkelen ten opzichte van de TVW.

Tijdens **koude periodes** konden voor zowel de MT als de TVW dezelfde conclusies getrokken worden. De instraling van de zon was eveneens overdag minder voelbaar in de spouw ten opzichte van op de blote muur. 's Nachts werden er echter hogere temperaturen behouden omdat er minder snel afkoeling optrad, waardoor we een gelijkmatiger temperatuursverloop zagen dan bij de kale muur (Figuur 6, rechts).



Figuur 6: Resultaten van het temperatuurverloop voor de MT in Antwerpen voor een warme week (links) en een koude week (rechts) (Total Value Wall).

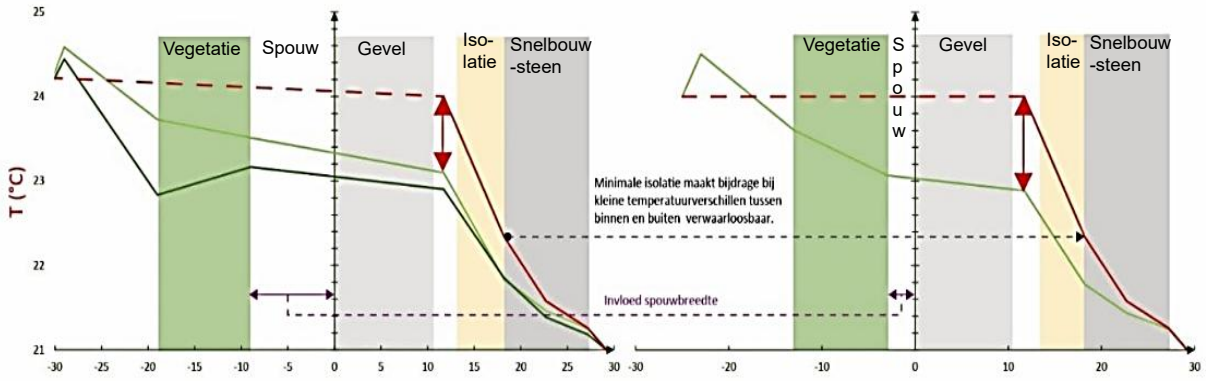
Wonderwalls (WW): Vergelijking verschillende LWS + effect van spouwbreedte

Het WW-project ging dieper in op de variabelen die het thermisch effect van groene wanden bepalen, en vergeleek verschillende LWS met standaard gevelbekleding. Deze studie werd uitgevoerd in een grote modulaire klimaatkamer van UAntwerpen, waarin verschillende temperatuurs-, vochtigheids- en luchtdrukprofielen opgelegd kunnen worden aan weerszijden van een proefstuk (1,7 x 1,7 m²). De buitenmodule representeert de buitenomgeving en de binnenmodule bootst de condities binnen na. In de modules kunnen zowel de temperatuur (T) als de relatieve luchtvochtigheid (RV) onafhankelijk van elkaar gevarieerd worden. Er werden statische condities ($T_{buitenmodule}$ = 24°C, $RV_{buitenmodule}$ = 55%, $T_{binnenmodule}$ = 21°C, $RV_{binnenmodule}$ = 45%) ingesteld op een traditionele spouwmuur uit baksteen. De wand werd geïsoleerd met rotswol zoals een traditionele Vlaamse woning gebouwd rond het jaar 2000. De opbouw van de proefwand inclusief vegetatie wordt weergegeven in Figuur 7.

Figuur 7: Opbouw van de proefwand met groene gevel uit het Wonderwalls-project. De geplaatste temperatuursensoren worden aangeduid met rode kruisjes.

Er werden zeven verschillende groene gevelsystemen uitgetest. Twee daarvan bestonden uit plantenbakken, zowel metalen als plastieken, met substraat. Bij drie anderen werd er gewerkt met textieldoeken waarin een beperkte hoeveelheid potgrond zat waar de planten in konden wortelen. In nog een ander systeem werden de planten in rotswol geplant en een laatste systeem bestond uit een metalen korf met veenmos. Er werd een plantenmix gebruikt met volgend sortiment: *Carex morowii*, *Bergenia cordifolia*, *Vinca minor, Lonicera nitidia, Nepeta 'Dropmore'* en *Iberis sempervirens.*

Van de gemeten temperaturen op de verschillende posities (zie Figuur 7) werd een gemiddelde genomen en daarvan werd een temperatuurprofiel opgesteld. Dit werd per systeem herhaald voor verschillende spouwbreedtes (3 cm (Figuur 8, rechts), 6 cm (niet weergegeven) en 9 cm (Figuur 8, links)). Over het algemeen werd gezien dat een groene wand zorgde voor een temperatuurbufferend effect. Er werd een kleinere temperatuurtoename gezien van het binnen- ten opzichte van het buitenklimaat bij de aanwezigheid van vegetatie. Er moet wel rekening gehouden worden met het feit dat in de klimaatkamer geen kunstzon gebruikt werd, waardoor het effect van transpiratie door de vegetatie niet volledig waargenomen kon worden. Uit de resultaten bleek **hoe kleiner de spouwbreedte, hoe groter de temperatuursreductie door het LWS.** De invloed van het LWS wordt namelijk kleiner naarmate de afstand tot het buitenspouwblad groter is. Er is ook een verschil tussen een dik of dun LWS; in een **dun LWS** is er minder massa om water vast te houden waardoor het effect van evaporatie uit het substraat kleiner is en waardoor dus ook **het koelend effect verkleint** in vergelijking met dikke LWS. Uit een andere studie, het EcoCities-project, bleek namelijk dat het substraat van een LWS aanzienlijk bijdraagt aan de energieprestatie en dat **het grootste deel van de evaporatieve koeling kan worden toegekend aan het substraat**. Hierin werd een maximale koeling van 11,7°C waargenomen, hetgeen bijna twee keer zo groot was als de koeling door de vegetatie zelf.



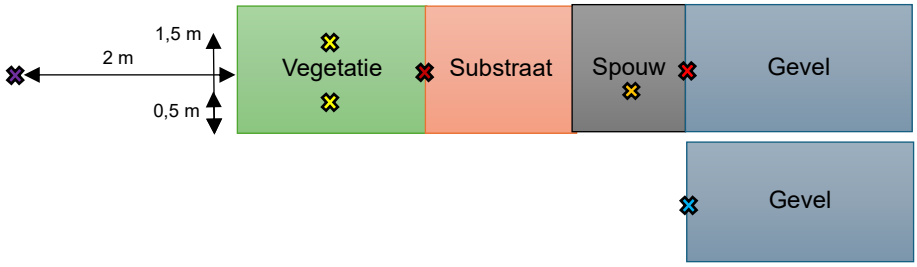
Figuur 8: Invloed van een dun (donkergroen) en dik LWS (lichtgroen) op het temperatuurverloop over de wand in vergelijking met de afwezigheid van een LWS (rood) voor een spouwbreedte van 9 cm (links) en 3 cm (rechts) (WonderWalls).

Deze resultaten werden nadien gebruikt om een model op te stellen, wat de resultaten bevestigde en ook het bufferend effect van gevelgroen duidelijk weergaf (zie 3.2).

EcoCities: Invloed van LWS onder droogtestress op geveltemperatuur en microklimaat

Een belangrijke factor voor de koelingscapaciteit van gevelgroen is waterbeschikbaarheid. In het EcoCities-project werd de invloed van droogtestress bij een LWS op de geveltemperatuur en op het microklimaat onderzocht. Er werden twee LWS met elkaar vergeleken. Het ene LWS kreeg na een optimale bewateringsperiode polyethyleen glycol (PEG) toegediend aan het irrigatiewater, hetgeen ervoor zorgde dat de plant het water niet kon absorberen en zo onder droogtestress kwam te staan. Het andere LWS werd de hele periode optimaal bewaterd. De gevels (6 x 2 m²) stonden zuidoost georiënteerd en waren beplant met *Bergenia cordifolia, Campanula carpatica* en *Heuchera micrantha*. Er werd kraantjeswater gegeven omdat er geen regenwater in de buurt ter beschikking was en er werden geen meststoffen toegediend.

De temperatuur werd gedurende drie maanden (augustus t.e.m. oktober) opgevolgd aan de hand van sensoren in de spouw en op het substraat (Figuur 9). Dan werden de temperatuurverschillen bepaald tussen de kale wand en de twee LWS om het koelingseffect van het LWS, zowel bij optimale bewatering als onder droogtestress, waar te kunnen nemen (Tabel 2). Het temperatuureffect van LWS op de gevel was ook in deze studie duidelijk te zien. De periode met optimale bewatering zorgde voor een lagere temperatuur in de spouw en onder de vegetatie tijdens een warme periode. Na het induceren van droogtestress werd nog steeds een koelingseffect waargenomen, zowel in het substraat als in de spouw, maar dit effect was lager in vergelijking met de optimale bewateringsperiode. **Het paneel onder droogtestress zorgde dus nog steeds voor koeling, maar het effect was minder groot dan bij het systeem dat optimaal bewaterd werd**. Dit wijst op het belang van zowel beschaduwing als evapotranspiratie in het koelingsmechanisme van het LWS, waarbij de laatste het meest belangrijk lijkt te zijn. Bij een LWS onder droogtestress werd koeling door evapotranspiratie uitgeschakeld, maar was toch nog een kleine koeling te zien door beschaduwing van de vegetatie.



Figuur 9: Schematische weergave van de proefopzet van de LWS met de temperatuursensoren weergegeven als kruisjes. De sensoren werden voor elke plantensoort op de gerepresenteerde manier geplaatst.

Tabel 2: Gemiddelde en maximale koeling door aanwezigheid van de vegetatie, voor zowel de geveltemperatuur als de luchttemperatuur. Per gemeten temperatuur zijn de gebruikte sensoren weergegeven (zie Figuur 9).

	Geveltemperatuur				**Luchttemperatuur**			
Gemeten in:	Spouw (✖ - ✖)		Substraat (✖ - ✖)		Vegetatie (✖ - ✖)		Spouw (✖ - ✖)	
	Gem.	Max.	Gem.	Max.	Gem.	Max.	Gem.	Max.
Optimale bewatering	2,8°C	21,4°C	2,6°C	11,7°C	1,0°C	3,1°C	0,9°C	3,7°C
Droogtestress								
- Met PEG	1,7°C	19,8°C	1,7°C	9,7°C	0,3°C	1,4°C	-0,4°C*	1,1°C
- optimaal	0,8°C	19,6°C	2,2°C	13,6°C	0,9°C	1,7°C	-0,3°C*	0,5°C

* LWS zorgde voor opwarming i.p.v. koeling

Minder temperatuurschommelingen in zowel warme als koude periode

Kleinere spouwbreedte → groter koelend effect in warme periode

Dunner LWS → kleiner koelend effect in warme periode dan bij dikker LWS (reden: minder massa bij dun LWS)

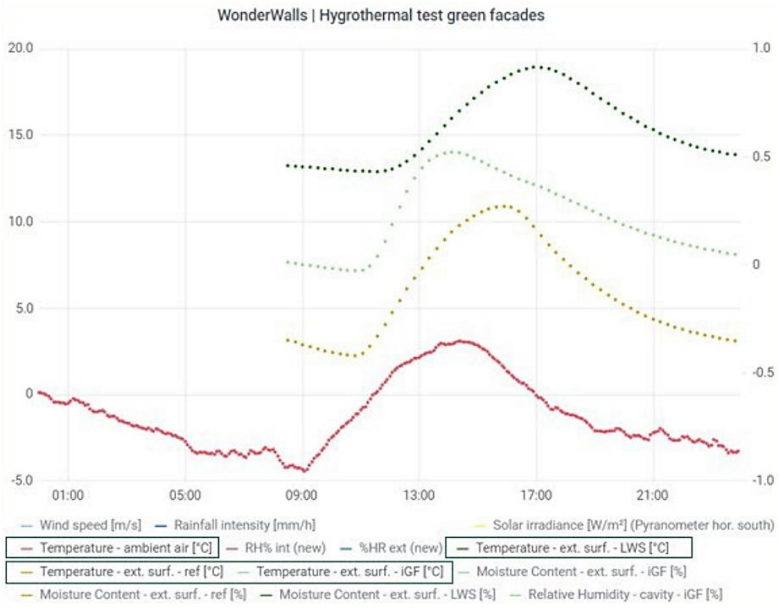
3.1.4 idGW vs. LWS

Bij de proeftuin van het project WonderWalls bij Buildwise te Limelette werden twee types groene wanden gemonitord (Tabel 3) op een witte (houtskelet)wand. In de proefwanden werden sensoren geplaatst om verschillende parameters, inclusief de temperatuur, gedurende 1 jaar om de 15 minuten op te volgen.

Tabel 3: Opbouw van de twee types groene wanden in het WonderWalls project.

Referentiewand	Indirect grondgebonden systeem	LWS
	Kant-en-klaar haag	GreenTecStyle van Sioen
Proefcentrum WTCB in Limelette Gevelbekleding in vezelcement Witte horizontale planken, overlappend geplaatst	Geplaatst op DO-IT cellen in proefcentrum WTCB in Limelette Lichte wanden: houtskeletbouw Daken en vloeren van proefpanelen (1,2 x 1,2 m²) Testvakken ingeklemd in draagstructuur door houten afstandshouders, de rest is opgevuld met isolatiemateriaal Gevelbekleding in vezelcement → verwijderd en vervangen door gevelgroen op ZZW-georiënteerde gevel (groene wanden vervangen hier dus het buitenspouwblad!) De proefpanelen liggen in een groene en open omgeving → sterke blootstelling aan zon en wind Binnenklimaat aanwezig met T = 20°C en RV = 60% Buitenklimaat: reële omstandigheden	
Geen vegetatie, kale muur	Type *Heldera helix* 'Woerner' (120 x 200 cm²) In volle grond (bovenzijde komt gelijk met bovenrand van volledig afgedekt proefvak) Geen irrigatiesysteem	Plantenmix: *Bergenia cordifolia*, *Stachys byzantina*, *Geranium*, *Nepeta cataria*, *Hakonechloa* en *Festuca glauca* Irrigatieregime: 6 gietmomenten van elk 6 min (winter: 3 min/ gietmoment)

De temperatuur werd aan de binnenzijde van de beplating gemeten. **Beide groene wanden zorgden op koude dagen voor een positief effect met hogere temperatuur** (Figuur 10). De **grootste temperatuurstijging werd verkregen bij het LWS** doordat er een grotere thermische massa aanwezig was die overdag kon opwarmen en zijn warmte traag afgaf.



Figuur 10: Verloop op een koude dag van de buitentemperatuur en de temperatuur aan de referentiewand, de wand met indirect grondgebonden gevelgroen en de wand met het LWS (WonderWalls).

Bij de metingen **in de zomer** presteerden sommige groensystemen slechter dan de referentie. Aangezien er gewerkt werd met witte planken als referentie, trad er over het algemeen al minder weerkaatsing en dus minder opwarming op. Dit gepaard gaande met de minder goede begroeiing bij zowel het grondgebonden systeem als het LWS, waardoor een deel van de zonnestraling de constructie toch kon bereiken en dus verder opwarmen, zorgde voor deze onverwachte resultaten. Bij het LWS

kwam daar nog bij dat er gewerkt werd met een zwarte textieldoek, met als gevolg dat er aan het begin van de metingen meer opwarming plaatsvond doordat de planten nog niet voldoende gegroeid waren. Naarmate de vegetatie dichter begroeid was, kwam het temperatuurbufferend effect van het LWS wel naar voren. Het grondgebonden gevelgroen had echter steeds een hogere temperatuur in vergelijking met zowel het LWS als de referentiewand. De temperatuur gemeten aan de referentiewand volgde steeds sterk de buitentemperatuur. **Om het gewenste effect van groene wanden te verkrijgen, moet er ook rekening gehouden worden met andere factoren, zoals de achterliggende bekleding en de bedekkingsgraad van de vegetatie.**

Gevelgroen zorgt voor een isolerende waarde in de winter
Temperatuurisolatie_LWS > Temperatuurisolatie_idGW > Temperatuurisolatie_kaal

100% bedekking is nodig om een maximaal temperatuurbufferend effect te verkrijgen

Algemeen kwam het temperatuurbufferend effect van gevelgroen in vrijwel alle onderzoeken naar boven, zowel in de winter als in de zomer. Zelfs bij een gewone warmtecamerameting, waarbij een deel van het gebouw bedekt is met vegetatie en de andere helft van de gevel niet, wordt al een enorm verschil in temperatuur waargenomen (Figuur 11). Een van de belangrijkste conclusies die uit de verschillende onderzoeken getrokken kon worden, was dat **groenwanden de sterkste invloeden uitoefenen bij meer extreme temperaturen**. Dus **hoe warmer** de dag, **hoe groter het koelend effect** van gevelgroen.

Figuur 11: Temperatuureffect van gevelgroen tegen gebouw vs. in afwezigheid van gevelgroen (Greentexx by SIOEN).

3.1.5 Effect van gevelgroen op omgeving

Om het effect van gevelgroen op de omgevingstemperatuur weer te geven, wordt vaak gebruik gemaakt van de Physiological Equivalent Temperature (PET), hetgeen een universele weergave is van de thermische omgeving en de gevoelstemperatuur representeert.

Voor het CoolTowns project werd in Gent een directe groene wand (4 x 6 m²) met *Parthenocissus quinquefolia*-vegetatie (100% bedekking) geïnstalleerd op een zuidelijk georiënteerde gevel met betonnen ondergrond. De groene wand was omringd door gebouwen en een parking. De sensoren werden op 25 cm van de vegetatie geplaatst en het referentiepunt lag in het midden van de parking. De effectiviteit van de groene wand werd gemeten op een warme zomerdag met een buitentemperatuur van 34°C. De aanwezigheid van de vegetatie leidde tot een **daling van de PET met 1,5°C.**

In Merelbeke werd er op de noordoostelijke wand van een fietsenstalling een LWS (4 x 2 m²) geïnstalleerd met een mix van verschillende plantensoorten (90-95% bedekking). De fietsenstalling werd omgeven door gebouwen en stond op een ondergrond van kasseien, hetgeen zorgt voor een hoge reflectie van de zonnestralen. De meting werd uitgevoerd op een warme dag met een buitentemperatuur van 28°C. Kort bij de LWS werd een **koeling van 2°C (PET)** waargenomen.

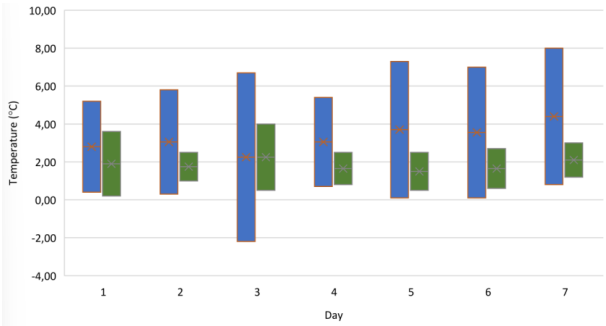
Op een warme dag heeft gevelgroen een koelend effect op de gevoelstemperatuur in de nabije omgeving

3.2 In theorie (model)

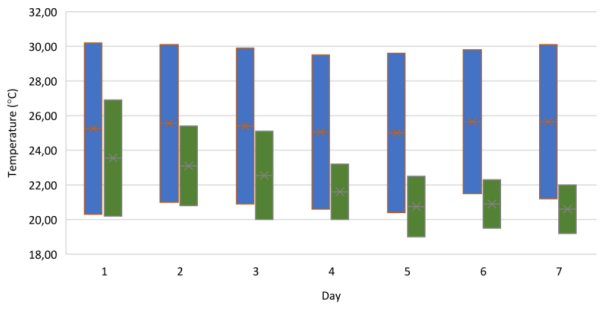
De metingen besproken onder 3.1 werden zowel in het Total Value Wall (TVW) project als in Wonderwalls (WW) aangevuld met modelsimulaties. Deze laatste laten toe om het effect van verschillende parameters en situaties te gaan onderzoeken, die vaak in werkelijkheid moeilijk naast elkaar na te bootsen zijn. Het is echter heel belangrijk om het opgestelde model in eerste instantie te kalibreren met metingen, zodat de werkelijke situatie zo goed mogelijk nagebootst wordt.

Bij het TVW-experiment werd een model opgesteld van een huis in Gent met behulp van DesignBuilder software. Het in simulatie gebouwde huis was rechthoekig en bestond uit bakstenen met een isolatielaag (4 cm) aan de binnenste wanden en een gipsplaat (1 cm). Het huis bestond uit 40 Living Wall panelen (elk 60 x 60 x 10 cm^3), had 3 ramen en het dak was niet geïsoleerd. Elk paneel bestond uit een stalen structurele frame met zakken van geotextiel die 25,6 kg substraat (lava + biochar) voor de planten bevatte. Er werd een verticale groengevel geïnstalleerd op de zuidwestelijk georiënteerde zijde. De verschillende plantensoorten waren 10 tot 25 cm groot.

In deze simulatie werd **in de winter** een hogere temperatuur gezien achter de wand met gevelgroen in vergelijking met de referentiewand zonder vegetatie. Achter de groene wand was de temperatuur gemiddeld 5°C hoger dan de omgevingstemperatuur. Ook waren de **temperatuurfluctuaties veel minder groot door het gebruik van gevelgroen** (Figuur 12). Wat ook bleek uit deze simulatie was dat de wand zonder gevelgroen in de winter sneller afkoelde 's avonds. Achter de groene wand was de temperatuur 's nachts en 's ochtends hoger in vergelijking met de kale wand. Hieruit werd het isolerend effect van gevelgroen duidelijk**. In de zomer** zag men een effect van gevelgroen door een verlaging in temperatuur, zowel voor als achter de groene wand. In de zomermaand juli werd gekeken naar de temperatuurfluctuaties van de wand met gevelgroen in vergelijking met de kale wand (Figuur 13). Het gemeten temperatuurverschil tussen de groene wand en de kale wand was significant, met een maximaal verschil van 8°C. Ook hier werden grote temperatuurfluctuaties beperkt door het gevelgroen. Op de warmste dag van juli was de temperatuur achter de groene wand bijna 10°C lager dan bij de gevel zonder vegetatie. Het gevelgroen kon de opgestapelde warmte van de omgeving traag afgeven waardoor ook de buitentemperatuur verlaagd werd. De groene wand kan dus de buitentemperatuur overdag verlagen en 's nachts verhogen zodat oververhitting tijdens de dag vermeden wordt.



Figuur 12: Temperatuurrange van de wand zonder vegetatie (blauw) en de wand met gevelgroen (groen) gemeten in de spouw tijdens de koudste week (Total Value Wall).



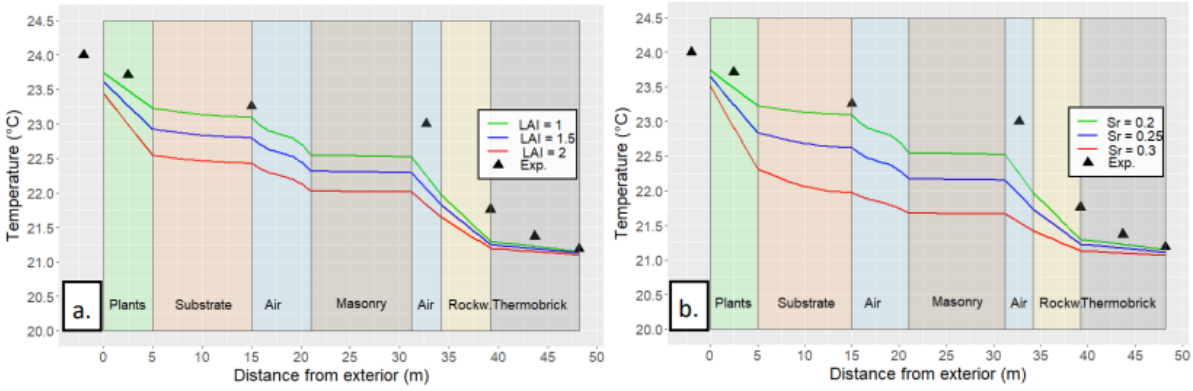
Figuur 13: Temperatuurrange van zowel de wand zonder vegetatie (blauw) als de wand met gevelgroen (groen) gemeten in de spouw tijdens de warmste week (Total Value Wall).

Om de betrouwbaarheid van de experimentele metingen te bevestigen, werd in het WW-project een model opgesteld aan de hand van de resultaten die verkregen werden in de klimaatkamer (zie 3.1.3) met behulp van COMSOL MULTIPHYSICS®. In het model werd dezelfde opbouw gehanteerd als in de praktijk (Figuur 7). Laag per laag werden de thermofysische materiaaleigenschappen gespecificeerd met waarden die in het model aanwezig waren. Bij het vergelijken van het model met de experimentele

resultaten in de klimaatkamer werd een hoge overeenkomst (hoge R-waarde) en lage foutmarge (lage RMSE) gezien. Resultaten uit het model bevestigden dus de verkregen resultaten van in de praktijk. In het model werden vervolgens verschillende panelen uitgetest en in elk van die panelen kwamen de statistische metingen sterk overeen met de gesimuleerde resultaten.

Om het effect van de groene wand te onderzoeken, werd de temperatuur van het buitenoppervlak van de wand vergeleken met de temperatuur aan de gevel zonder vegetatie. De bijdrage van de groene wand op de testpanelen werd weergegeven aan de hand van de simulaties van het hygrothermische model. De temperatuur van het metselwerk daalde tot 1,7°C in aanwezigheid van het gevelgroen. Er moet echter wel opgemerkt worden dat er in het model geen rekening gehouden werd met invallende zonnestraling. Aangezien beschaduwing een van de belangrijkste voordelen is van gevelgroen en dit hier dus niet in rekening gebracht werd, lagen de resultaten een stuk lager dan in andere studies. De resultaten van het model lagen voor alle panelen ook iets lager dan de experimenteel verkregen resultaten. Een mogelijke reden hiervoor zou kunnen zijn dat de spouw in de praktijk niet perfect gesloten was en dat er warmere lucht aangevoerd werd vanuit de kamer.

Zowel de dichtheid van de bladoppervlakte (LAI: 1,0 – 2,0) als de waterverzadiging van het substraat (Sr: 0,2 – 0,3) werden gevarieerd in de virtuele proeftuin. Die variaties zijn belangrijk om de beste combinatie van variabelen te vinden die leiden tot een maximale temperatuurverlaging. Uit de resultaten bleek dat **hoe hoger de LAI-waarde was, hoe meer de temperatuur achter het substraat en aan de buitenwand verlaagde** (Figuur 14a). Het effect van Sr wordt weergegeven in Figuur 14b. Hieruit volgde dat een **hogere Sr leidde tot een sterkere temperatuurdaling** doordat er meer water ter beschikking is dat verdampt kan worden. Substraten verschillen wel sterk van thermofysische eigenschappen maar dikkere en meer continue substraatlagen zouden kunnen leiden tot grotere dalingen in temperatuur omdat daarin meer verdamping kan plaatsgrijpen.



Figuur 14: Temperatuurverloop in aanwezigheid van gevelgroen bij variatie van (a) LAI-waarde en (b) waterverzadiging van het substraat (Sr) in vergelijking met de referentiewand (WonderWalls).

In de winter lag de spouwtemperatuur achter het LWS hoger dan de omgevingstemperatuur

In de zomer zorgde het LWS voor een temperatuurverlaging zowel voor als achter de vegetatie

Minder grote temperatuurschommelingen in aanwezigheid van LWS

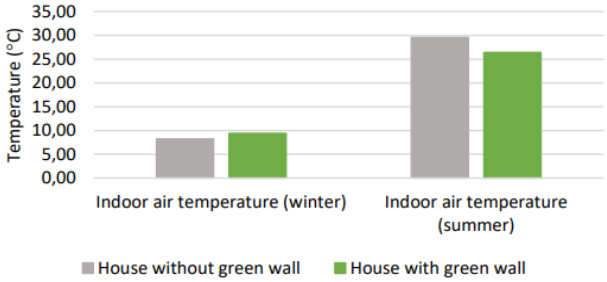
LAI ↑ ➔ Spouw- en geveltemperatuur ↓ in de zomer (geen metingen gedaan in de winter)

Substraat met hoge waterverzadiging ➔ Grotere temperatuurdaling in de zomer (geen metingen gedaan in de winter)

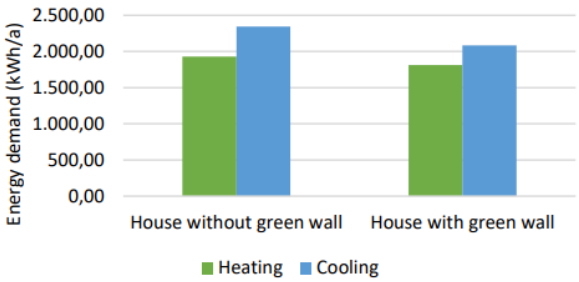
Modellen bevestigen resultaten van in de praktijk

3.3 Energiebesparend effect van gevelgroen

Bij het TVW-project werd in de simulatie ook gekeken naar het verschil in binnentemperatuur bepaald in aan- en afwezigheid van de groene wand (Figuur 15). Er werd in de winter een 1,2°C hogere temperatuur waargenomen in aanwezigheid van de groene wand, terwijl de temperatuur in de zomer 3,2°C lager lag. In de simulatie werd ook het energieverbruik in aan- en afwezigheid van het gevelgroen onderzocht (Figuur 16). Hier bleek dat het energieverbruik voor zowel verwarming als koeling lager lag bij het huis met groene wand op de zuidwestelijke gevel. In de winter fungeert die groene wand als een soort extra isolatie waardoor energie bespaard kan worden. Uit de simulatie werd een verlaging in energieverbruik van 6% verkregen. In de zomer werd extra koeling verkregen doordat de vegetatie zorgt voor beschaduwing. Uit de simulatie bleek dat er tot wel 11% energie bespaard kan worden in de zomer. Het **huis met gevelgroen zal dus minder energie verbruiken dan het huis zonder gevelgroen door de isolerende en verkoelende werking van de vegetatie.**



Figuur 15: Vergelijking van het verschil in luchttemperatuur binnen in het gesimuleerde huis voor de wand met vegetatie (groen) en de wand zonder vegetatie (grijs) (Total Value Wall).



Figuur 16: Energievraag van het huis met gevelgroen en het huis zonder gevelgroen voor zowel opwarming in de winter (groen) als koeling in de zomer (blauw) (Total Value Wall).

De grootte van het effect van gevelgroen op die energiebesparing is afhankelijk van de dikte van de isolatie. Dat bleek uit de Levenscyclus Impact Analyse (LCIA) van het WonderWalls-project. In deze analyse worden de effecten op het milieu geanalyseerd op basis van 4 levenscyclusfasen: productie, gebruik, onderhoud en end-of-life. Indien de gevel niet geïsoleerd was, dan was er een groter effect van de groene wand waardoor er een grotere afname in warmtevraag ten gevolge van het plaatsen van die groene wand. Echter, bij een isolatie van 5 cm dik is er een kleinere warmtevraag waardoor de impact op het milieu nog steeds positief maar wel kleiner is. Bij een nog dikkere isolatie van 15 cm was de milieu-impact nog kleiner (Tabel 4).

Tabel 4: Invloed van de isolatiedikte op de milieu-impact van een gebouw met gevelgroen.

	Geen isolatie	Isolatie van 5 cm	Isolatie van 15 cm
Milieu-impact	- 43%	- 6,8%	- 1,8%

Bij niet-geïsoleerde muren heeft gevelgroen een duidelijke impact en komt het bufferend effect meer naar voor, terwijl het effect van gevelgroen quasi verwaarloosbaar is bij goed geïsoleerde muren doordat het effect van de thermische isolatie zo groot is. Gevelgroen kan dus gebruikt worden als extra isolatielaag voor gebouwen maar kunnen het isolatiemateriaal niet vervangen!

Het energieverbruik in aanwezigheid van gevelgroen is lager voor zowel verwarming in de winter (↓ 6%) als koeling in de zomer (↓ 11%)

Groene wanden kunnen gebruikt worden als extra isolatielaag voor gebouwen maar kunnen het isolatiemateriaal niet vervangen

4. Synthese en implicaties voor uitvoering

In dit rapport werden de hygrothermische effecten van verschillende types gevelgroen weergegeven aan de hand van Vlaamse onderzoeksprojecten. In alle onderzoeken kwam naar boven dat de **verschillen tussen minimum- en maximumtemperaturen van een muur met gevelgroen lager waren dan die van een muur zonder gevelgroen, wat erop wijst dat planten een grote hoeveelheid zonnestraling absorberen en reflecteren en op die manier een bufferend effect hebben op de temperatuur**. Het **grootste effect** werd gezien **bij meer extreme temperaturen**. **Hoe warmer de dag, hoe groter het koelend effect van gevelgroen en hoe kouder de dag, hoe groter het isolerend effect ervan.** Dit zou dan ook een positief effect kunnen hebben op het UHI-effect, waarbij de temperatuur in de stad 5 tot 10°C kan oplopen in vergelijking met het platteland. Hoe meer groene wanden er in een stad geïnstalleerd zullen worden, hoe effectiever. Een belangrijke voorwaarde is wel dat de planten goed geïrrigeerd worden. Indien ze onder droogtestress staan, bieden ze nog steeds, maar wel een minder uitgesproken, koelingseffect door beschaduwing.

Uit de verschillende onderzoeksprojecten konden quasi dezelfde conclusies getrokken worden. Het onderling vergelijken van de studies is moeilijk omwille van de grote verschillen in experimentele opstellingen en omstandigheden. Er zijn ook veel parameters die een effect hebben op het temperatuurbufferend effect van gevelgroen zoals weersomstandigheden, standplaats van het gebouw, gevelsamenstelling,… Om de impact van deze variabelen mee te nemen op het hygrothermisch effect, zijn goed gekalibreerde modellen een grote hulp. Ook de plantkeuze is van groot belang, zeker in functie van de standplaats. Hoe groter de bladoppervlakte per m² muur, hoe groter het bufferend effect. Hier moet ook opgemerkt worden dat verschillende cultivars binnen een soort ook verschillende effecten op de temperatuur kunnen hebben, bijvoorbeeld door de bladmorfologie en de dikte van begroeiing. Ook de dikte van het LWS speelt duidelijk een rol in het effect van gevelgroen op de temperatuur. Of dit nu door de substraatdikte, de waterverzadiging, het type substraat of een andere reden komt, dient nog verder onderzocht te worden.

Door deze studies zijn de eerste stappen naar meer gevelgroen in de stad alvast gezet. Echter is er nog meer onderzoek nodig naar de impact op comforttemperaturen in en rond het gebouw. Daarnaast ontbreekt er nog een duidelijke link met de praktijk, zoals hoe de isolerende waarde van gevelgroen geïmplementeerd kan worden als architect, of hoe het effect van gevelgroen geïmplementeerd kan worden in de EPB-wetgeving. Dit moet nog verder onderzocht worden, maar de positieve effecten van gevelgroen zijn alvast duidelijk. Reden genoeg dus om dit in de toekomst meer te implementeren.

5. Samenvatting

Tabel 5: Samenvattende tabel van de verschillende studies

Studie	Type gevel-groen*	Bouw gevel		Gebruikte plantensoorten	Geteste parameters	Belangrijkste resultaten / conclusies
		Materiaal, grootte, irrigatie, condities,…	Oriëntatie Gevel-groen			
Total Value Wall	Praktijk / Experimenteel					
	LWS	Muurtuin: Muur in metselwerk / beton Substraat: lava + biochar Druppelirrigatie	ZO	Plantenmix uit sortiment*: Ajuga reptans, Asplenium scolopendrium, Bergenia cordifolia, Campanula poscharskyana, Carex flacca, Deschampsia cepitosa, Heuchera / Heucheralla, Lysimachia nummelaria, Juncus inflexus*	Aan- vs. afwezigheid van gevelgroen: Temperatuurmeting tussen bladeren en in spouw	Warme dag: vegetatie zorgde voor meer afkoeling Koude dag: vegetatie zorgt dat hogere T behouden blijven en dat er minder snel afkoeling optrad Gedempter temperatuurprofiel in aanwezigheid van gevelgroen voor zowel warme als koude periode ⇨ Temperatuurbufferend vermogen van gevelgroen
	LWS	TVW: Muur in metselwerk / beton Substraat: lava + biochar Druppelirrigatie	Z		Aan- vs. afwezigheid van gevelgroen: Temperatuurmeting tussen bladeren, in substraat en in spouw	
	Model / Simulatie					
	LWS	4 cm isolatielaag (dak niet geïsoleerd) 1 cm gipsplaat 40 PVC panelen (60 x 60 x 10 cm³) Stalen structurele frame met zakken van geotextiel met substraat (lava + biochar) Druppelirrigatie	ZW	Plantenmix uit sortiment: *Carex morrowii, Acorus gramineus, Mazus reptans, Ajuga reptans, Deschampsia cespitosa, Geum rivale, Heuchera hybrid, Houttuynia cordata, Campanula posharskyana, Geranium wlassovianum* en *Hemerocallis hybrid*	Geveltemperatuur bij kale muur vs. achter groene wand	Winter → hogere T achter groene wand (gem. 5°C ↑) Wand zonder gevelgroen koelde sneller af 's avonds ⇨ Isolerend effect van gevelgroen Zomer → lagere T, zowel voor als achter groene wand (max. 8°C ↓) Groene wand verlaagt buitenT overdag en verhoogt buitenT 's nachts ⇨ Verkoelend effect van gevelgroen ⇨ Temperatuurfluctuaties in beide gevallen minder groot ⇨ Temperatuurbufferend vermogen van gevelgroen
WonderWalls	Praktijk / Experimenteel					
	LWS	Klimaatkamer Lichte houtskeletwand (1,7 x 1,7 m²) isolatie met rotswol (5 cm) $T_{buitenmodule}$ = 24°C, $RV_{buitenmodule}$ = 55%, $T_{binnenmodule}$ = 21°C, $RV_{binnenmodule}$ = 45% Geen kunstzon	n.v.t.	Plantenmix uit sortiment: *Carex morowii, Bergenia cordifolia, Vinca minor, Lonicera nitidia, Nepeta 'Dropmore', Iberis sempervirens*	Temperatuurprofiel bepalen a.d.h.v. sensoren Invloed van spouwbreedte Dun vs. Dik LWS	Temperatuurbufferend vermogen van gevelgroen Minder brede spouw → grotere invloed van LWS Dun LWS → effect van evaporatie uit substraat kleiner → koelend effect kleiner

	LWS & idGW	Lichte (houtskelet)wand (1,2 x 1,2 m²) thermische isolatie Groene wand vervangt buitenspouwblad Binnenklimaat: T = 20°C en RV = 60% Buitenklimaat: reële omstandigheden LWS: irrigatieregime: 6 gietmomenten van elk 6 min in zomer en 6 gietmomenten van elk 3 min in winter idGW: In volle grond (bovenzijde komt gelijk met bovenrand van volledig afgedekt proefvak); Geen irrigatie-systeem	ZZW	*LWS: Heldera helix* 'Woerner' *(120 x 200 cm²)* idGW*:* Plantenmix uit sortiment: *Bergenia cordifolia, Stachys byzantina, Geranium, Nepeta cataria, Hakonechloa* en *Festuca glauca*	Temperatuur aan binnen-zijde van beplating	Winter: hogere T achter gevelgroen → grootste stijging bij LWS Zomer: minder uitgesproken resultaten door witte gevel als referentie → LWS resulteerde in temperatuurbufferend effect als beplanting goed dichtgegroeid was
	Model / Simulatie					
		Model opgesteld a.d.h.v. resultaten in klimaatkamer Opm: geen invallende zon gesimuleerd → effect van beschaduwing niet in rekening gebracht	n.v.t.	Generieke vegetatielaag met homogene eigenschappen	T aan buitenoppervlak van wand met gevelgroen vs. T aan kale wand Effect van LAI en water-verzadiging van substraat op temperatuurverloop met groene wand Praktijk vs. Model	T van het metselwerk ↓ tot 1,7°C in aanwezigheid van het gevelgroen Hogere LAI → sterkere T ↓ aan buitenwand Hogere waterverzadiging van substraat → sterkere T ↓ doordat er meer water ter beschikking is dat verdampt kan worden Hoge overeenkomst tussen gesimuleerde resultaten uit model en experimentele resultaten in klimaatkamer Resultaten van in model iets lager dan experimenteel
CoolTowns	dGW	Gevel: 4 x 6 m² Omgeven door verharding: gebouwen + parking BuitenT = 34°C	Z	*Parthenocissus quinquefolia* → 100% bedekking	PET	PET 1,5°C lager nabij vegetatie
	LWS	Op fietsenstalling: 2 x 4 m² Omgeven door verharding: gebouwen BuitenT = 28°C	NO	Mix van plantensoorten → 90-95% bedekking	PET	Op 2 punten gemeten kort bij LWS Punt 1: PET 1,6°C lager Punt 2: PET 2,3 °C lager
EcoCities	LWS	Viltzakkensysteem 2 panelen van elk 6 x 2 m² Aan 1 paneel werd later PEG toegediend om droogtestress te induceren Kraantjeswater Geen meststoffen toegediend	ZO	*Bergenia cordifolia*, *Campanula carpatica* en *Heuchera micrantha*	Oppervlaktetemperatuur Omgevingstemperatuur Welke plantensoort geeft beste resultaten? Effect van droogtestress	Zomer: kale muur gem. 2,1°C warmer Koude dagen: spouw het warmste Ideale condities: *Heuchera* presteert het beste, heeft ook hoogste bedekkingsgraad Onder droogtestress: - *Bergenia* & *Campanula* → uitgedroogde planten blijven functie uitoefenen (maar in mindere mate)

<table>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>- Heuchera → uitgedroogde planten weinig functioneel, T blijft rond T van kale muur</td></tr>
<tr><td></td><td>idGW</td><td>In potten</td><td>Z</td><td>Trachelospermum jasminoides, Hedera hibernica en Hydrangea anomala ‘Petiolaris’</td><td>Oppervlaktetemperatuur
Omgevingstemperatuur</td><td>T kale muur t.o.v. muur achter vegetatie: achter idGW tot wel helft koeler dan op kale muur
Temperatuurspieken op het heetst van de dag sterk verminderd, pieken ook afgevlakt in koude periode</td></tr>
<tr><td>Doctoraats-onderzoek UAntwerpen</td><td>dGW</td><td>n.v.t.</td><td>N</td><td>Hedera helix ‘Glacier’
Hedera helix ‘Ivalice’
Hedera helix ‘Sagittifolia’</td><td>Oppervlaktetemperatuur
Verschil in effect op T tussen cultivars</td><td>Stabieler temperatuurprofiel
Effect op temperatuur per cultivar:
<table>
<tr><th>Cultivar</th><th>Winter</th><th>Zomer</th></tr>
<tr><td>H. helix ‘Glacier’</td><td>+1,09°C</td><td>-2,08°C</td></tr>
<tr><td>H. helix ‘Ivalice’</td><td>+0,70°C</td><td>-1,60°C</td></tr>
<tr><td>H. helix ‘Sagittifolia’</td><td>+0,96°C</td><td>-2,31°C</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

* dGW = directe groene wand, idGW = indirecte groene wand (met klimhulp), LWS = Living Wall Systeem

6. Bronnen

6.1 Gebruikt in rapport

6.1.1 Websites

https://www.gevelgroen.be/

https://www.gevelgroen.be/wp-content/uploads/2022/12/HBC20202102_WonderWalls_Wetenschappelijk_Eindrapport.pdf

https://www.gevelgroen.be/wp-content/uploads/2020/02/Hygrothermisch_rapport-UA_2019-.pdf

https://www.buildwise.be/umbraco/surface/publicationitem/DownloadFile?file=31400%2Fnl%2Funprotected%2FIP_38_NL.pdf

https://www.totalvaluewall.com/nl/

https://www.interreg2seas.eu/en/cooltowns#:~:text=Overall%20objective,across%20public%20and%20private%20spaces.

https://EcoCities.be/

6.1.2 Papers

Cameron, R. W., Taylor, J. E., & Emmett, M. R. (2014). What's 'cool'in the world of green façades? How plant choice influences the cooling properties of green walls. *Building and environment*, *73*, 198-207.

Convertino, F., Schettini, E., Blanco, I., Bibbiani, C., & Vox, G. (2022). Effect of Leaf Area Index on Green Facade Thermal Performance in Buildings. Sustainability, 14(5), 2966. https://doi.org/10.3390/su14052966

De Groeve M., Kale E., De Bock A., Orr S.A., De Kock T., (Under review), *The influence of plant characteristics on the wall surface temperature: an analysis of Hedera helix cultivars*, Urban Forestry and Urban Greening.

E.C.M. Hop, M. (2010). Dak- en gevelgroen. In *Actifolia*. Plant Publicity Holland. https://edepot.wur.nl/156202

Hiemstra, J. A. (2018). Groen in de stad: Klimaat en temperatuur. Wageningen University & Research. https://edepot.wur.nl/460543

Koch, K., Ysebaert, T., Denys, S., & Samson, R. (2020). Urban heat stress mitigation potential of green walls: A review. *Urban Forestry & Urban Greening*, *55*, 126843.

Ottelé, M. (2011). The green building envelope. *Vertical Greening, Delft*.

Perini, K., Ottelé, M., Haas, E. M., & Raiteri, R. (2011). Greening the building envelope, façade greening and living wall systems. *Open Journal of Ecology*, *1*(1), 1-8.

6.2 Extra informatie – studies wereldwijd

6.2.1 Websites

https://greatermanchester-ca.gov.uk/what-we-do/environment/natural-environment/ignition/

6.2.2 Papers

Djedjig, R., Belarbi, R., & Bozonnet, E. (2017). Green wall impacts inside and outside buildings: experimental study. *Energy Procedia*, *139*, 578-583.

Hunter, A. M., Williams, N. S., Rayner, J. P., Aye, L., Hes, D., & Livesley, S. J. (2014). Quantifying the thermal performance of green façades: A critical review. *Ecological Engineering*, *63*, 102-113.

Koch, K., Ysebaert, T., Denys, S., & Samson, R. (2020). Urban heat stress mitigation potential of green walls: A review. *Urban Forestry & Urban Greening*, *55*, 126843.

Oquendo-Di Cosola, V., Olivieri, F., & Ruiz-García, L. (2022). A systematic review of the impact of green walls on urban comfort: temperature reduction and noise attenuation. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 162, 112463.

Price, J. W. (2010). *Green facade energetics*. University of Maryland, College Park.