

# Groen Bouwen

## Groene gevels voor duurzame gebouwen en steden

### WP 1: diagnose bestaande toestand Literatuurstudie

Datum 31/07/2017  
Auteurs WTCB



## Inleiding

De literatuurstudie werd uitgevoerd met documenten bekomen via [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com) en verschillende partners en leden van de gebruikersgroep. Een uitgebreide bibliografie is als bijlage terug te vinden.

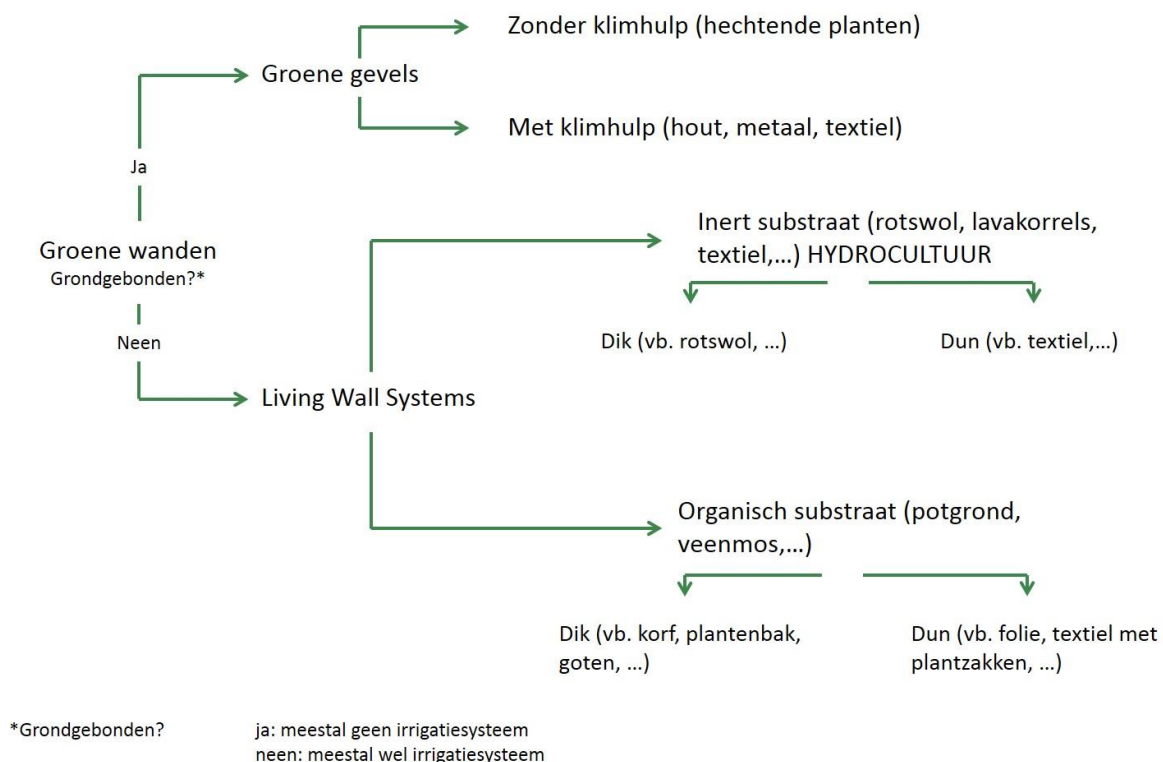
De documenten bestaan onder andere uit wetenschappelijke artikels, handleidingen, eindwerken, literatuurstudies, wetgevingen en 1 Avis Technique (Franse technische goedkeuring – ATG).

## Algemene opmerking

Gezien het een onderwerp in volle ontwikkeling is, is de bibliografie niet compleet en is het raadzaam om dit document met een open geest te lezen.

Bijna elk artikel begint met de (gevoelsmatige) voordelen van groen op 3 niveaus: stedelijk, gebouw en binnenklimaat. De voordelen van groene wanden zijn afhankelijk van zeer veel factoren: plantsoort, soort systeem, oriëntatie, klimaat,...

De algemene indeling tussen groene gevels en living wall systems wordt aangehouden. Verder verschilt de perceptie over de indeling van de living wall systems per land. In consensus met de partners van het project werd volgend boomdiagram opgesteld:



Gezien de verscheidenheid aan documenten en definities is het zeer moeilijk om algemene conclusies te trekken tussen de verschillende onderzoeken. Er is verder nog veel nood aan onderzoek.

## Literatuurstudie

Algemeen wordt er aangenomen dat groene wanden volgende voordelen hebben:

- Energiebesparing (extra isolatie: verminderde kosten voor koeling in de zomer en verwarmingskosten in de winter)
- Vermindering van luchtvervuiling
- Vermindering van het hitte-eilandeffect (verminderde oppervlaktetemperatuur)
- Esthetiek en verhoogde vastgoedwaarde
- Vermindering van geluidsoverlast (absorptie in plaats van weerkaatsing)
- Watermanagement
- Natuur terug naar de mensen brengen (psychologisch welzijn) en biodiversiteit naar de stad (ecologische leefgebieden)

Als negatieve punten worden vermeld:

- Onderhoud
- Investeringskosten
- Beschadiging aan muren (enkel indien bepaalde plantsoorten op een ongeschikte ondergrond worden toegepast)

Groene gevels (klimplanten) – eigenschappen:

- Goedkoop
- Beperkingen in hoogte (max. 25m)
- Beperkingen in plantkeuze
- Tijd nodig voor volledige bedekking (0,5m/jaar)

Living Wall Systems (niet-grondgebonden) – eigenschappen:

- Grote variatie aan planten mogelijk
- Irrigatiesysteem noodzakelijk – meestal druppelleidingen (afhankelijk van het systeem)
- Indien voorgecultiveerd: onmiddellijk resultaat
- Duur

De meeste Living Wall Systems zijn opgebouwd als hydrocultuur: aanvoer van water dat aangereikt wordt met voedingsstoffen. De keuze van de planten is afhankelijk van de klimaatomstandigheden, karakteristieken van het gebouw en de omgevingsomstandigheden. Sommige LWS worden voorgeweekt, zodat er onmiddellijk een volgroeide wand getoond kan worden.

### **AKOESTIEK**

Groene wanden kunnen bijdragen tot de akoestische isolatie van het gebouw en de vermindering van het stedelijk lawaai, voornamelijk afkomstig van verkeer.

Een vegetatielaag met een dikte van 20-30cm kan de geluidsisolatie verhogen met 1dB (verkeerslawaai). Bij roze ruis (pink noise) is er een vermindering met 2dB (LWS) en 3dB (groene gevel). Deze waardes gelden enkel voor de vegetatie, er moet ook rekening gehouden worden met het substraat (dikte, samenstelling, dichtheid,..), type modulaire eenheid, ondoordringbaarheid

(dichtingsvoegen) en de structurele isolatie. Elk systeem heeft andere akoestische eigenschappen, afhankelijk van de opbouw en de gebruikte materialen.

Indien er systemen met substraat worden toegepast, kan het geluid verminderd worden met 5-10 dB door absorptie (voor de middelste frequenties). Een extra vermindering van 2-3,9 dB wordt bekomen voor de hogere frequenties door de verspreiding van het geluid door de planten.

Substraten hebben een hoge porositeit en lage dichtheid, waardoor ze een ingewikkeld akoestisch gedrag vertonen. De aanwezigheid van water heeft ook een invloed: volledig verzadigd kan het substraat vergeleken worden met een vast materiaal.

Het absorptievermogen van planten is afhankelijk van het type, de dikte van de vegetatielaag, de dichtheid en van de oriëntatie van de bladeren.

Meer informatie over de akoestische eigenschappen van groen is terug te vinden in het Europese onderzoeksproject [HOSANNA](#).

### **LCA (= levenscyclusanalyse)**

Bij en levenscyclusanalyse wordt de impact van het ontginnen van de grondstoffen, productie, transport, installatie, werking, onderhoud en afvalverwerking bepaald. Duurzaamheid is afhankelijk van de gebruikte materialen, onderhoud, voedingsstoffen en watergift. Vooral het productieproces heeft een groot aandeel in de duurzaamheid. Er wordt aangeraden om lokale materialen te gebruiken (minder transport).

Groene gevels hebben slechts een kleine ecologische bijdrage (energiebesparing, thermische isolatie en bescherming van een gebouw). De invloed op de koelingseigenschappen (schaduw en evapotranspiratie van de planten) is iets groter dan de ecologische bijdrage.

LWS op basis van textiel en op basis van minerale wol hebben een hoge last omwille van de lage duurzaamheid (niet recycleerbaar en de panelen moeten om de 10 jaar vervangen worden). LWS op basis van kunststof modules en op basis van minerale wol hebben de grootste invloed op de energiebesparing (thermische isolatie).

Indien het buitenspouwblad vervangen wordt door een groene wand, zal dit een positieve invloed hebben op de LCA.

In warmere klimaten is de invloed van groene wanden groter door de vermindering van de kosten voor airconditioning.

### **LCC (= levenscycluskosten = kosten-baten analyse)**

Voor een LCC worden vooral de persoonlijke en sociale voordelen en kosten in rekening gebracht. Op deze manier wordt de economische duurzaamheid bepaald.

Persoonlijke kosten en voordelen zijn:

- Initiële kost
- Onderhoudskost
- Afvalkost
- Economische voordelen (verhoging van huurinkomsten - vastgoedwaarde)
- Langere levensduur van de gebouwschil
- Vermindering van de energievraag voor verwarming en koeling
- Vermindering van belastingen

Sociale kosten en voordelen:

- Verbetering van de luchtkwaliteit
- Vermindering van CO<sub>2</sub>
- Creëren van leefgebied
- Esthetiek
- Vermindering stedelijk hitte-eiland
- Vermindering van belastingen

Volgende aannames werden gedaan voor de groene gevels: klimop met een dikte van 20cm en een groeisnelheid van 0,5m per jaar. Hierbij zou er na 15 jaar een volledige bedekking zijn en na 10 jaar zou men van de voordelen kunnen genieten. De terugverdientijd zou hier 20 jaar zijn.

Voor klimop in plantenbakken met een klimhulp wordt er vanuit gegaan dat men na 3 jaar van de voordelen kan profiteren. De initiële kost is hier hoger, maar de terugverdientijd zou 16 jaar bedragen.

Voor een LWS op basis van textiel kan men van de voordelen genieten na 1 jaar. Volgens deze studie zou dit systeem niet economisch duurzaam zijn door de hoge installatie – en onderhoudskosten.

Zowel installatie- als onderhoudskosten spelen een belangrijke rol in de duurzaamheid vooral bij niet-grondgebonden systemen. Deze systemen hebben wel meer voordelen op persoonlijk en sociaal vlak.

Zowel bij LCA als LCC wordt er met een levensduur van 50 jaar gerekend (net zoals voor bouwmaterialen). Dit wil zeggen dat bepaalde systemen tijdens deze levensduur (een aantal keer) vervangen zullen moeten worden, met extra kosten tot gevolg.

## **LUCHTKWALITEIT**

De concentraties aan fijn stof en NO<sub>2</sub> overstijgen de standaard waarden, waardoor het ziekte- en sterftecijfer verhoogt. De concentraties kunnen verlaagd worden door:

- Controle op de uitstoot
- Verhogen van de verspreiding
- Verhogen van de afzetting

Vegetatie in de stad verhoogt de esthetiek en heeft recreatieve voordelen. Vegetatie verlaagt de luchttemperatuur en verwijdert luchtvervuiling. Bomen en hagen in een smalle straat (street canyon) kunnen ervoor zorgen dat de vervuiling van het verkeer op het niveau van het voetpad blijft hangen (verminderde ventilatie), waardoor de luchtkwaliteit verslechtert. Het is beter om in een smalle straat voor verticale groene wanden te kiezen omdat de vervuiling dan niet blijft hangen, maar meegevoerd wordt door de wind of afgezet wordt op de bladeren van de planten.

De vervuiling wordt voornamelijk veroorzaakt door voertuigen. De vervuiling wordt beter opgenomen door planten dan door andere oppervlakten door de 'plakkerigheid' van de bladeren, de grote oppervlakte aan bladeren en hun aerodynamische eigenschappen. De plantkeuze is van groot belang voor het luchtzuiverend effect.

## **SUBSTRAAT**

Een goed substraat heeft volgende eigenschappen: zorgt voor een goede verankering van de plant (ontwikkeling van de wortels), heeft een goed gehalte aan water, vocht en voedingsstoffen, is licht en duurzaam.

Veen, rotswol en perliet worden momenteel het meeste gebruikt in tuinen en horticultuur. Zij hebben echter enkele nadelen:

- veen: de voorraad is beperkt, het is niet hernieuwbaar en de ontginning zorgt voor een enorme impact op het milieu
- rotswol: heeft weinig mechanische stabiliteit, een beperkte levensduur en het zorgt voor problemen bij de verwijdering
- perliet: is fysisch afbreekbaar, waardoor er kleine partikels ontstaan

Een combinatie van dennenschors met kokosvezels zorgt voor een lage dichtheid en een hoge porositeit, een optimaal pH niveau, elektrische geleidbaarheid en een stabiele inhoud van organische materialen.

Voor groene wanden is het beter om een lage dichtheid te hebben, omdat dit het transport en de installatie vergemakkelijkt, alsook de lasten op de draagstructuur verlaagt.

## **THERMISCH**

Er werden al meerder thermische studies uitgevoerd over groene wanden. Echter, elke studie houdt rekening met een ander klimaat, andere oriëntatie, andere opbouw van de dragende structuur, gebruikt een ander type groene wand, andere planten,... Hierdoor is het heel moeilijk om deze studies met elkaar te vergelijken en te weten of de resultaten ook voor België geëxtrapoleerd kunnen worden.

Elke groen wand zorgt voor schaduw op de muur waartegen het geplaatst wordt. Hierdoor zal de gebouwconstructie minder gaan opwarmen (verminderde oppervlaktetemperatuur). Doordat de materialen minder opwarmen, is er 's avonds ook minder uitstraling van warmte, waardoor het hitte-eiland effect verminderd kan worden (verminderde omgevingstemperatuur). Op gebouwniveau zal de binnenlucht minder opwarmen doordat de constructie minder opwarmt (vermindering van warmtestroming), waardoor er bespaart kan worden op airconditioning. Uiteraard kan een groene wand nooit de isolatie in een muur vervangen. Het zorgt wel voor extra isolatie. De invloed van de planten is afhankelijk van de absorptiecoëfficiënt en de thermische weerstand van de wand waartegen ze groeien.

Doordat er een plantlaag aan het gebouw wordt toegevoegd, zal de windsnelheid langs het gebouw lager zijn, waardoor er minder warmteverliezen zijn in de winter (vermindering van warmtestroming) en er dus bespaard kan worden op verwarmingskosten. Het effect op de windsnelheid is gunstig in koudere klimaten (isolerende eigenschappen). Indien er een luchtspouw wordt gecreëerd, zal de lucht hierin quasi stilstaan, waardoor dit een extra isolatielaag vormt. De optimale dikte van een luchtspouw bedraagt 40-60mm. In zeer warme, droge klimaten, hebben groene wanden met een irrigatiesysteem meer voordelen dan in andere klimaten (d.w.z. planten hebben de grootste invloed bij hoge temperaturen en een lage relatieve vochtigheid).

Verder regelt een groene wand ook de relatieve vochtigheid rond het gebouw. Hierdoor worden temperatuurschommelingen ingeperkt (evaporatieve koeling). De bladeren reflecteren en absorberen een belangrijk deel van de zonne-energie. Hoe warmer de dag, hoe groter het koelend effect van de groene wand. De plantsoort, - morfologie, -fysiologie en dikte spelen een belangrijke rol bij de thermische eigenschappen van een groene wand.

Planten zijn thermische gezien beter dan andere schaduwmaterialen, omdat de oppervlaktetemperatuur van bladeren lager is dan deze van de schaduwmaterialen, door de transpiratie van de bladeren.

---

Bijna alle artikels wijzen op het gebrek aan technische informatie, onderhoudsinstructies en informatie over planten. Verder zijn er weinig mensen op de hoogte van de voordelen en de prestaties. Er zijn weinig subsidies en ondersteuning voor groene wanden.

Het [Avis Technique](#) (Frankrijk) van Vertiflore: een Avis Technique in Frankrijk komt overeen met een [ATG](#) (Technische Goedkeuring – een gunstige beoordeling van één bepaald bouwproduct van één fabrikant voor een welbepaalde toepassing). De uitgangspositie is dat het systeem wordt geplaatst als een voorhanggevel (“bardage”), waarbij de gevelbekleding aan een secundaire structuur wordt bevestigd die op zijn beurt aan de primaire draagstructuur wordt gehangen. Het onderwerp van het

Avis Technique is een modulair systeem op basis van metalen korven die gevuld worden met een substraat dat omhult wordt door textiel. De criteria die vastgesteld worden, zijn standaard criteria voor een systeem: stabiliteit, veiligheid bij brand, thermische isolatie, gezondheidsaspecten, enz. .

Aangezien de procedure tot het bekomen van een ATG voor “nieuwe” producten een zekere tijd kan duren, werd innovatie ID opgericht voor “duurzame innovatieve producten”. Dit is een soort van “mini-ATG” voor innovatieve producten waarvoor geen productnorm of andere referentiedocument bestaat. In opstartfase dienden aanvragen bij het WTCB ingediend te worden en verliep de evaluatie van de geschiktheid in overleg met BUtgb. Het was ook een initiatief vanuit het Waalse Gewest en dus ook enkel voor Waalse bedrijven. Momenteel dient er een klassieke ATG-aanvraag gedaan te worden en beslist BUtgb op basis van het innovatieve karakter of het in aanmerking komt voor innovatie ID. Daarbij is dit toegankelijk voor bedrijven uit alle Gewesten. Meer informatie is terug te vinden op [www.iidi.be](http://www.iidi.be).

[Britse wetgeving](#) omtrent brandgedrag voor groene daken en wanden: er staat te lezen dat een wand die goed onderhouden wordt en waarvan het irrigatiesysteem juist werkt, geen brandgevaar zou vormen. Een aanbeveling die geformuleerd wordt is dat voor een substraat het niet-brandbare materiaal verhoogd kan worden, het organische materiaal verlaagd en dat men moet voorkomen dat het systeem uitdroogt. Verder heeft de keuze van de planten ook een invloed op het brandgedrag: vetplanten zijn te verkiezen boven planten met een hoog gehalte aan vluchtige oliën of harsen. Compartimenteren is een middel om te voorkomen dat de brand van 1 verdieping naar een andere overslaat. Hierbij is het ook belangrijk dat de breedte van de luchtsponw beperkt wordt.

FOD Binnenlandse Zaken heeft in december 2015 een werkgroep opgericht die het brandgedrag van gevels bestudeerd. Hierbij worden vnl. traditionele gevels zoals gordijnggevels, voorhanggevels, ETICS (buiten isolatie met bepleistering) maar ook groene wanden bestudeerd. Er wordt verwacht dat de huidige brandvoorschriften inzake gevels zullen worden herzien. Normaal gezien zou ook voorschriften over het brandgedrag van groene gevels voorzien moeten worden.

De 6 boeken die bestudeerd werden, zijn vooral handleidingen uit Duitsland, Frankrijk, Groot-Brittannië en Oostenrijk ([Leitfaden Fassadenbegrünung](#)). Deze zijn allen nog recent (meestal vanaf 2013) en in Frankrijk zal er eind 2017 nog een nieuwe handleiding verschijnen, waarbij de bouwkundige aspecten van groene wanden bekeken worden. Voor tuinaannemers zijn reeds 2 documenten verschenen (1 over klimplanten en 1 over LWS). Deze documenten kunnen [hier](#) geraadpleegd worden.



# Bijlage 1: analyse wetenschappelijke literatuur

## Algemeen

1. Wong, N.H. et al. (2010). Perception Studies of Vertical Greenery Systems in Singapore. Journal of urban planning and development pg. 330-338.

Algemene inleiding over de voor- en nadelen van groene wanden (summiere literatuurstudie) en de stand van zaken in de verschillende delen van de wereld.

Enquête uitgevoerd bij 5 verschillende groepen (**architectenbureaus**, landschapsarchitecten, consultatie- en ontwikkelingsfirma's (ingenieursbureaus en bouwaannemers), **overheidsinstanties** en bewoners) in verband met het potentieel van groene wanden in Singapore.

⇒ Zie eigen conclusies van enquêtes (ongeveer identiek, beschikbaar op de website [www.gevelgroen.be](http://www.gevelgroen.be))

2. Manso, M. & Castro-Gomes, J. (2015). Green wall systems: A review of their characteristics. Renewable and Sustainable Energy Reviews 41 pg. 863-871

Planten integreren in een **stedelijke context** kan leiden tot:

- Bijdrage aan de stedelijke biodiversiteit
- Beheersen van overvloedige waterval bij storm
- Luchtkwaliteit
- Temperatuur vermindering
- Vermindering van het hitte-eiland effect
- Aangenamer stedelijk gebied
- Psychologische gezondheid
- Verbeteren van het imago van de stad
- Verhogen van de vastgoedprijzen
- Aanvullende thermische en akoestische bescherming

Planten integreren in de **gebouwschil** heeft volgende voordelen:

- Passieve ontwerplossing die kan bijdragen aan de duurzaamheidsprestaties
- Verbetering van het microklimaat: in de winter door een extra isolatielaag, in de zomer door schaduw en evaporatieve koeling
- absorptie van zonnestraling: hogere relatieve vochtigheid en lagere oppervlaktetemperaturen

Ten opzichte van het **binnenklimaat**:

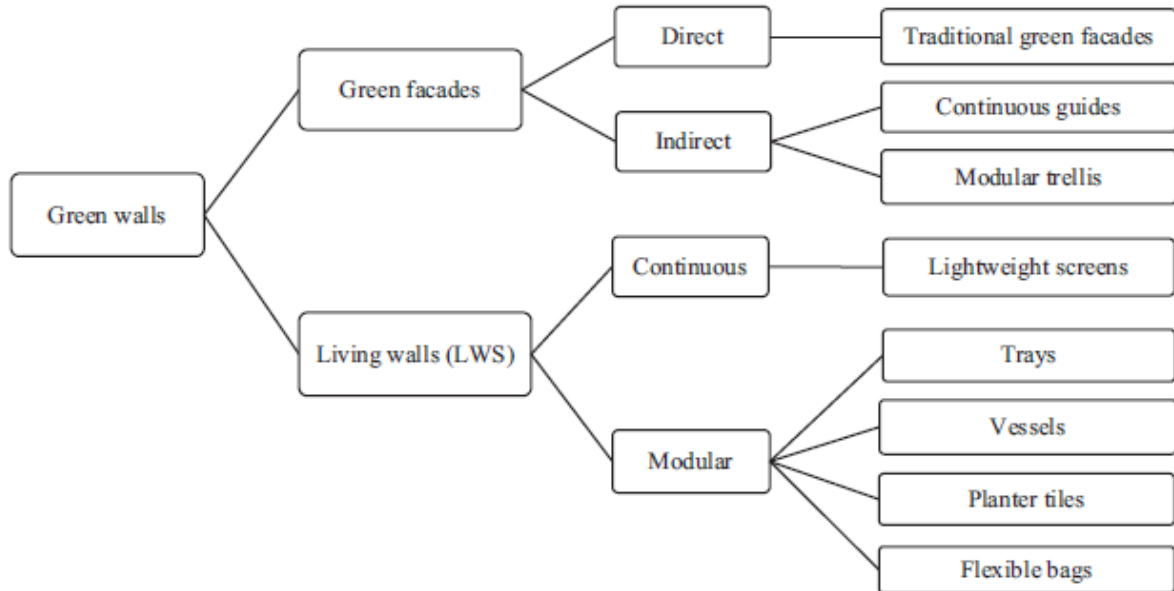
- Controle van warmtewinsten en – verliezen
- Verbetering van het thermische comfort
- Vermindering van het energieverbruik voor verwarming en koeling

Vergelijking van de verschillende systemen op basis van:

- Dragende structuur
- Substraat
- Type planten
- Drainage

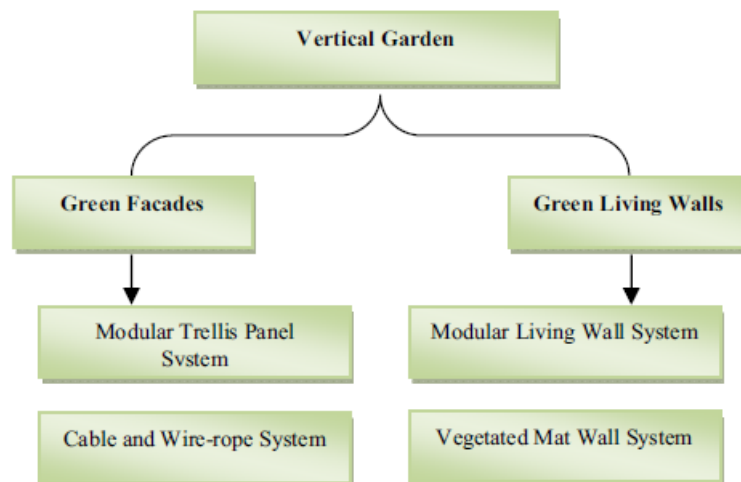
Irrigatie  
 Plaatsing en onderhoud  
 Duurzaamheidsprestaties en –kosten

Boomdiagram:



- Elgizawy, E.M. (2016). The Effect of Green Facades in landscape Ecology. Procedia Environmental Sciences 34 pg. 119-130.

Verrijking van ecosystemen, versterking van de biodiversiteit, verbetering van de mentale gezondheid en verminderen van vervuiling, wateroverlast, geluidsoverlast en hitte-eilandeffect



## Akoestiek:

Pérez, G., Coma, J., Barreneche, C., de Garcia, A., Urrestarazu, M., Burés, S. & Cabeza, L.F. (2016). Acoustic insulation capacity of Vertical Greenery Systems for buildings. Applied Acoustics 110 pg. 218-226;

Groene wanden kunnen bijdragen tot de akoestische isolatie van het gebouw en de vermindering van het stedelijk lawaai, voornamelijk afkomstig van verkeer.

In situ metingen volgens EN ISO 140-5.

20-30cm vegetatie kan de geluidsisolatie verhogen met 1dB (verkeerslawaai).

2dB (LWS) en 3dB (groene gevel) geluidsisolatie bij roze ruis (pink noise)

Enkel vegetatie, ook rekening houden met substraat (dikte, samenstelling, dichtheid,..), type modulaire eenheid, ondoordringbaarheid (dichtingsvoegen) en de structurele isolatie.

Harde oppervlakken reflecteren geluid, terwijl substraat (lage frequenties) en planten (hoge frequenties) geluid absorberen.

Vermindering van het geluidsniveau op 3 verschillende manieren:

1: het geluid wordt gereflecteerd en verspreid door de verschillende delen van de planten

2: geluidsabsorptie door de planten

3: geluidsreductie door de substraatlagen

Belangrijke factoren bij het bepalen de eigenschappen van de groene wand: plantsoort, afmetingen, vorm en plaats ten opzichte van de geluidsbron.

Elk systeem heeft andere akoestische eigenschappen, afhankelijk van de opbouw en de gebruikte materialen.

Groene gevels: traditioneel (klimplanten zonder klimhulp), dubbele huid (klimplanten met klimhulp) en groene gordijnen (hangende planten) => enkel geluidsisolatie door de planten

Living Walls: geotextiel vilt en/of panelen => geluidsisolatie door de planten en de andere onderdelen waaruit het systeem is opgebouwd (substraat, module, textiel,...)

Bij beide systemen moet het akoestische gedrag van de dragende structuur in rekening gebracht worden.

Indien er systemen met substraat worden toegepast, kan het geluid verminderd met 5-10 dB door absorptie (voor de middelste frequenties). Een extra vermindering van 2-3,9 dB wordt bekomen voor de hogere frequenties door de verspreiding van het geluid door de planten.

Substraten: hoge porositeit en lage dichtheid => ingewikkeld akoestisch gedrag

Aanwezigheid van water heeft ook een invloed => volledig verzadigd kan het vergeleken worden met een vast materiaal.

Planten: absorptievermogen is afhankelijk van de dichtheid en van de oriëntatie van de bladeren.

Een groene wand als een passieve akoestische isolatie: testen volgens EN ISO 10140-2 en EN ISO 354. Door het aanbrengen van een groene wand wordt de nagalmtijd verminderd => geluidsabsorberende eigenschappen.

Er zijn meer in situ metingen nodig om de resultaten uit het laboratorium te toetsen.

Proefopstelling: 1 met klimplanten op klimhulp (2mm stalen net, 25cm van de muur), 1 met voorgecultiveerde gerecycleerde polyethyleen modules gevuld met een substraat van kokosvezels, geplaatst op roestvrije stalen kokers.

Metingen werden gedaan in 2 fases: eerst net na de aanplant (weinig vegetatie) en daarna wanneer de planten volledig volgroeid waren. De geluidsbron was zijdig gericht. De groene gevels geeft een constantere curve, het LWS is zeer onregelmatig. Het substraat heeft een grote invloed op de akoestische prestaties.

Voor lage frequenties is er een vermindering van de isolatie eigenschappen (geluidsgolven buigen rondom obstakels bij lage frequenties). Het LWS heeft een kleinere geluidsisolatie dan de groene gevel bij lage frequenties.

Massa: hoe zwaarder de materialen, hoe moeilijker ze gaan trillen en hoe moeilijker het geluid wordt doorgegeven.

Bij LWS kan men rekening houden met de samenstelling van het substraat om tegemoet te komen aan de thermische en akoestische isolatie-eigenschappen. Bij groene gevels kan men hier geen rekening mee houden.

Een andere manier om massa te krijgen is door planten te kiezen die een hogere bladdichtheid hebben en/of door de plantlaag dikker te laten groeien.

Ondoordringbaarheid: kleine scheuren hebben een groot effect op de globale akoestische isolatie. Het is noodzakelijk dat deuren, ramen en doorvoeren goed worden afgesloten. Groene gevels zijn volledig doorlaatbaar omdat de akoestische isolatie enkel door de plantlaag bereikt wordt. Voor LWS kan men een grotere akoestische isolatie bekomen door de voegen tussen modules en de randen van de gevel af te dichten.

Structurele isolatie: fysische scheiding tussen constructie elementen. De luchtsponw moet zo groot mogelijk zijn en opgevuld met isolatiemateriaal. De groene wanden kunnen akoestische bruggen vormen als ze bevestigd worden aan de dragende structuur.

Bij groene gevels moet er rekening gehouden worden met andere factoren (massa, ondoordringbaarheid en structurele isolatie) om de akoestische isolatie te verbeteren.

Planten kunnen een wezenlijke bijdrage leveren aan de geluidsisolatie van een gebouw. Er moet rekening gehouden worden met alle factoren: type planten, dikte van de plantlaag, dikte en samenstelling van het substraat, type draagstructuur en materialen. Er moeten ook voorzorgen genomen worden om de transmissie van geluid tegen te gaan.



## LCA:

1. Ottel , M. et al. (2011). Comparative life cycle analysis for green façades and living wall systems. Energy and Buildings 43 pg. 3419-3429.

ISO 14044

LCA = verschil tussen de lasten en de voordelen voor het milieu

Voordelen van groene wanden:

- verhoging van de biodiversiteit en ecologische waarde
- Vermindering van het stedelijk hitte-eiland effect
- Buiten- en binnencomfort
- Isolatie –eigenschappen
- Verbetering van de luchtkwaliteit
- Verbetering van het sociale en psychologische welzijn van stadsbewoners
- Duurzaamheid verhoogt van en onderhoud verminderd voor de onderliggende constructie

Besparing op energie, effect op de regeling van de buitentemperatuur

Zomer: warmte kan de gebouwschil niet bereiken

Winter: interne warmte kan niet ontsnappen

Wind kan niet direct langs de wanden waaien

Materialen en substraten in geval van LWS

Analyse van spouwmuur

- Spouwmuur met directe begroening (klimplant), dikte ongeveer 20 cm
- Spouwmuur met indirecte begroening (met klimhulp), dikte ongeveer 10 cm
- Spouwmuur met LWS met kunststof modules (HDPE)
- Spouwmuur met LWS op basis van textiel (vilt)

2 verschillende klimaten: gematigd klimaat en Mediterraans klimaat

Besluit:

LWS op basis van textiel: hoge last omwille van lage duurzaamheid (niet recycleerbaar, panelen moeten om de 10 jaar vervangen worden)

Directe en indirecte begroening: weinig bijdrage aan energiebesparing, grotere invloed op koelingseigenschappen

LWS met kunststof modules: hoogste energiebesparing

Gematigd klimaat: enkel de directe begroening is duurzaam

Mediterraans klimaat: de directe begroening is duurzaam

LWS met kunststof modules is bijna duurzaam (dankzij de bijdrage tot het verminderen van airconditioning kosten)

Indirecte begroening is duurzaam mits er gekozen wordt voor een gepaste klimhulp (niet in roestvrij staal)

De invloed in een Mediterraans klimaat is 2 keer groter dan in een gematigd klimaat (koeling).  
Spouwmuur met directe begroening (klimplant), dikte ongeveer 20 cm: altijd een duurzame oplossing

Spouwmuur met indirecte begroening (met klimhulp), dikte ongeveer 10 cm: afhankelijk van de gebruikte klimhulp kan dit een duurzame oplossing zijn

Spouwmuur met LWS met kunststof modules (HDPE): positieve invloed op de thermische weerstand van de wand, nog beter indien geïntegreerd in het wandontwerp (vervangt buitenspouwblad)

Spouwmuur met LWS op basis van textiel (vilt): hoge last voor het milieu, zelden duurzaam

2. Ottel , M., Perini, K. & Haas, E.M. (2014). Life cycle assessment (LCA) of green façades and living wall systems. Woodhead Publishing Limited pg. 457-483.

Analyse van

Spouwmuur

Spouwmuur met directe begroening (klimplant), dikte ongeveer 20 cm

Spouwmuur met indirecte begroening (met klimhulp), dikte ongeveer 10 cm

Spouwmuur met LWS met kunststof modules (HDPE)

Spouwmuur met LWS op basis van textiel (vilt)

**EXTRA:** Spouwmuur met LWS op basis van minerale wol (aluminium drager)

Besluit (zie ook 1.):

Textiel en minerale wol = minst duurzaam wegens moeilijk recycleerbaar. Andere materialen kiezen met een kleinere last voor het milieu of integreren in de spouwmuur (vervanging buitenspouwblad) kan helpen om deze systemen meer duurzaam te maken.

De energiebesparing bij LWS op basis van minerale wol is vergelijkbaar met deze bij LWS met kunststof modules. De minerale wol-laag verzekerd hogere isolatie-eigenschappen.

De energiebesparing bij LWS op basis van textiel is iets lager.

Spouwmuur met LWS op basis van minerale wol (aluminium drager): hoge last voor het milieu, zelden duurzaam, zorgt wel voor beter isolatie-eigenschappen!

3. Feng, H. & Hewage, K. (2014). Lifecycle assessment of living walls: air purification and energy performance. Journal of Cleaner Production 69 pg. 91-99.

Drie verschillende LWS systemen:

Klimplant (groenblijvend) met klimhulp (roestvrij stalen net)

Plantbakken uit HDPE, gevuld met teelaarde, irrigatiesysteem, groenblijvende planten

Textiel, verschillende lagen, ondersteund door een PVC plaat, irrigatiesysteem

Verschillende plantsoorten, afhankelijk van de geografische ligging, de functie en de weersomstandigheden.

Chemische uitstoot en energieverbruik worden geëvalueerd.

De prestaties van de LWS systemen is afhankelijk van het type materiaal en de gekozen planten.

Verder spelen ook externe factoren een rol: klimaat en gebouwtype.

Ecologische voordelen van groene gevels zijn kleiner als bij LWS systemen (energiebesparing, thermische isolatie en bescherming van het gebouw).

Constructiematerialen voor LWS: kunststof, geëxpandeerd polystyreen, synthetische weefsels, klei, metaal of beton

Voordelen voor het milieu: verhoging van de thermische prestaties van gebouwen (minder kosten voor energieverbruik), verbetering van de luchtkwaliteit, temperen van het Hitte-eiland effect, vermindering van de geluidsoverlast, verbetering van de gevoeligheid aan wateroverlast, verhoging van de stedelijke biodiversiteit en de stedelijke voedselproductie en verbetering van de menselijke gezondheid en welzijn.

De twee grootste voordelen van groene wanden zijn energiebesparing en luchtzuivering.

LCA: 1. ontginning van ruwe materialen  
2. productie  
3. vervoer  
4. installatie  
5. onderhoud  
6. afvalverwerking

Functionele unit: 1m<sup>2</sup>; referentiewand: 200m<sup>2</sup>

Stap 1: % energiebesparing berekenen

Stap 2: Energieverbruik van een standaard gebouw in verschillende klimaatomstandigheden evalueren

Stap 3: totale energiebesparing berekenen

SimaPro en EnergyPlus modellering

Textiel: 3 keer meer uitstoot van giftige substanties tijdens het productieproces dan plantbakken en groene gevel, 23 jaar nodig om de vervuiling uit te balanceren

Verwachte levensduur: 10 jaar => het opnemen van vervuiling weegt niet op tegen het creëren van vervuiling voor de productie

Plantbakken en groene gevels: levensduur wordt geschat op 50 jaar => zij kunnen gemakkelijk de vervuiling compenseren die er gecreëerd wordt bij de productie.

Energieverbruik: om het textiel systeem te produceren wordt er 11 keer meer energie verbruikt dan om een groene wand te produceren en 4 keer meer energie verbruikt dan om een systeem met plantbakken te produceren.

In een Mediterraans klimaat heeft het textiel systeem zijn volledige levensduur (10 jaar) nodig om de energiebesparing te kunnen behalen. Voor een gematigd klimaat zou de energiebalans pas in evenwicht zijn na 36 jaar (3,6 keer de levensduur van de wand).

De groene wand heeft slechts een kleine bijdrage aan de besparing op verwarmingskosten. LWS systemen hebben een grotere isolatiewaarde, waardoor hun bijdrage groter is.



Het koelend effect wordt voornamelijk veroorzaakt door de schaduw en de evapotranspiratie van de planten.

Tijdens het productieproces worden de meeste schadelijke stoffen uitgestoten en wordt de meeste energie verbruikt. Onder het productieproces wordt verstaan: ontginning van ruwe materialen, opslag, **transport**, productie van materialen, afvalverwerking,...

Onderhoud is afhankelijk van het type planten en hun locatie. Planten met lage onderhoudsnoden en lage voedingsnoden zijn te verkiezen boven anderen.

Factoren die een invloed hebben op de luchtzuivering: planttype, concentratie van de vervuiling, duur van het groeiseizoen, weertype, gedrag van de planten in een bepaald klimaat.

Besluit: het textiel is niet duurzaam voor luchtzuivering en energiebesparing ten opzichte van de andere 2 systemen. De gebruikte materialen (PCV schuimplaat) in het textiel systeem zijn hiervoor verantwoordelijk. De klimplant met klimhulp heeft de beste prestaties voor luchtzuivering en energiebesparing. Er is nood aan milieuvriendelijke materialen voor duurzame groene wanden.

## LCC:

Perini, K. & Rosasco, P. (2013). Cost-benefit analysis for green façades and living wall systems. Building and Environment 70 pg. 110-121.

Cost-benefit analysis

Persoonlijke en sociale voordelen en kosten

⇒ Economische duurzaamheid

Persoonlijke kosten en voordelen:

Initiële kost

Onderhoudskost

Afvalkost

Economische voordelen (verhoging van huurinkomsten - vastgoedwaarde)

Langere levensduur van de gebouwschil

Vermindering van de energievraag voor verwarming en koeling

Vermindering van belastingen

Sociale kosten en voordelen:

Verbetering van de luchtkwaliteit

Vermindering van koolstof

Creëren van leefgebied

Esthetiek

Stedelijk hitte-eiland

Vermindering van belastingen

LWS: veel duurder als directe en indirecte begroening

Onderhoud (voedingsstoffen en irrigatiesysteem)

Gebruikte materialen

Ontwerpcomplexiteit

Voordelen: grote variatie in planten

Veel meer creatief en esthetisch potentieel

Analyse van directe begroening, dikte ongeveer 20 cm

Indirecte begroening met een kunststof klimhulp, dikte ongeveer 20 cm

Indirecte begroening met een stalen klimhulp, dikte ongeveer 20 cm

Indirecte begroening met HDPE plantenbakken en een kunststof klimhulp, dikte ongeveer 20 cm

Indirecte begroening met stalen plantenbakken en een stalen klimhulp, dikte ongeveer 20 cm

LWS op basis van geotextiel

Allen op een standaard spouwmuur, bepleisterd!

Mediterraans klimaat, enkel groen toegepast op de zuidgevel

Net Present Value (NPV): the discounted value of the sum of costs and benefits that occur within the period of life considered.

Internal Rate of Return (IRR): the annual percentage rate of return on investment.

Pay Back Period (PBP): the number of years from which the total revenue equals (or exceeds) for the first time the total costs.

Besluit:

Directe begroening: duurzaam voor alle scenario's (lage installatie-, onderhouds- en afvalkost), pay back period: 20 jaar

Indirecte begroening: duurzaam voor het beste scenario (HDPE ook duurzaam bij middelste scenario) (hogere installatie- en afvalkosten), pay back period: 16 jaar

Indirecte begroening met plantenbakken: duurzaam voor het beste scenario (hoge installatie- en onderhoudskosten)

LWS op basis van geotextiel: niet economische duurzaam (hoge installatiekost voor de voorgedecultiveerde panelen, hoge onderhoudskosten voor het volledige systeem)

- ⇒ Zowel installatie- als onderhoudskosten spelen een belangrijke rol in de duurzaamheid vooral bij niet- grondgebonden systemen. Deze systemen hebben wel meer voordelen op persoonlijk en sociaal vlak.
- ⇒ Energie besparing voor koeling (Mediterraans klimaat) en verhogen van de huurinkomsten

## Luchtkwaliteit

1. Manes, F., Salvatori, E., La Torre, G., Villari, P., Vitale, M., Biscontini, D. & Incerti, G. (2008). Urban green and its relation with air pollution: ecological studies in the Metropolitan area of Rome. Italian journal of public health. Year 6, Volume 5, Number 4 pg. 278-283.

Groen in de stad heeft niet enkel esthetische en recreatieve voordelen, maar kan ook helpen bij de vermindering van de luchttemperatuur en de luchtvervuiling.

Bomen kunnen grote hoeveelheden ozon uit de atmosfeer filteren.

HEREPLUS: Europees onderzoeksproject. Kennis over het verband tussen stedelijk groen en stedelijke luchtkwaliteit

2. Pugh, T. A. M., MacKenzie, A. R., Whyatt, J. D. & Hewitt, C. N. (2012). Effectiveness of Green Infrastructure for Improvement of Air Quality in Urban Street Canyons. Environmental Science & Technology pg. 7692-7699.

De concentraties aan fijn stof en NO<sub>2</sub> overstijgen de standaard waardes, waardoor het ziekte- en sterftcijfer verhoogt. De concentraties kunnen verlaagd worden door:

Controle op de uitstoot

Verhogen van de verspreiding

Verhogen van de afzetting

Er werd tot nu toe weinig aandacht besteed aan het afzetten van concentraties op planten. Dit zou slechts een kleine verbetering (< 5%) teweeg brengen.

Echter, in street canyons is de verblijftijd langer, waardoor er meer afzetting op de planten is. Hierdoor zouden de concentraties van NO<sub>2</sub> met 40% verminderen en het fijn stof met 60%.

De vervuiling wordt voornamelijk veroorzaakt door voertuigen.

De vervuiling wordt beter opgenomen door planten dan door andere oppervlakten door de 'plakkerigheid' van de bladeren, het grote oppervlakte aan bladeren en hun aerodynamische eigenschappen.

De verblijftijd van de vervuilde lucht in de street canyon is hoger naarmate de windsnelheid lager ligt en de verhouding hoogte/breedte van de straat verhoogt.

Planten: zowel klimop als LWS. LAI (Leaf Area Index): 1-2 m<sup>2</sup> blad m<sup>-2</sup> muur

Vergroenen van de wanden van een street canyon zorgt voor een grotere daling van de luchtvervuiling dan het installeren van een groen dak.

Groen is een natuurlijke buffer tegen periodes van hoge vervuiling.

Bomen verminderen het fijn stof, maar verhogen de NO<sub>2</sub> concentraties in street canyons met een hoge luchtvervuiling. Er moet dus goed nagedacht worden en alle factoren bekeken worden alvorens bomen worden geplaatst.

3. Vos, P.E.J., Maiheu, B. Vankerkom, J. & Janssen S. (2012). Improving local air quality in cities: To tree or not to tree? Environmental Pollution XXX pg. 1-10 (article in press).

Bomen langs de kant van de weg verhogen plaatselijk de concentraties luchtvervuiling, omdat ze de ventilatie verminderen, waardoor de luchtvervuiling blijft hangen. Hierdoor zijn zij niet de beste oplossing om de luchtvervuiling aan te pakken.

ENVI-met computermodel – LAD: leaf area density

Windsnelheid: 3m/s

4 verschillende parameters:

De geometrie van de bebouwde omgeving: street canyon en vrijstaande huizen

Het type vervuiling

De weersomstandigheden: enkel de windrichting varieert

De planten: bomen, hagen en groene schermen (17 verschillende scenario's)

144 verschillende scenario's werden onderzocht

Indien er hoge (3-4m), zeer niet doorlaatbare groene schermen worden toegepast tussen rijweg en voetpad, zal de luchtkwaliteit op het voetpad aanmerkelijk verbeteren. => realistisch en praktisch haalbaar?

Planten zullen vooral een invloed hebben op de vervuiling veroorzaakt door verkeer (NO<sub>2</sub> en EC – elemental carbon) en minder op de concentraties PM<sub>10</sub>.

Hagen en bomen langs drukke wegen hebben het omgekeerde effect (verhoging van de luchtvervuiling).

## Substraat:

Lopez-Rodriguez, G., Pérez-Esteban, J., Ruiz-Fernandez, J. & Masaguer, A. (2016). Behaviour and evolution of sustainable organic substrates in a vertical garden. *Ecological Engineering* 93 pg. 129-134.

Eigenschappen van substraat: goede verankering van de plant (ontwikkeling van de wortels), bijdrage van water, lucht en voedingsstoffen zodat de plant goed kan ontwikkelen, licht en duurzaam.

5 verschillende substraattypes en 2 verschillende bodembedekkers

Combinatie van dennenschors met kokosvezels zorgt voor een lage dichtheid en een hoge porositeit, een optimaal pH niveau, elektrische geleidbaarheid en een stabiele inhoud van organische materialen.

Veen, rotswol en perliet worden momenteel het meeste gebruikt in tuinen en horticultuur.

Nadelen:           veen: de voorraad is beperkt, het is niet hernieuwbaar en de ontginning zorgt voor een enorme impact op het milieu

                      Rotswol: weinig mechanische stabiliteit, beperkte duur en het zorgt voor problemen bij de verwijdering

                      Perliet: is fysisch afbreekbaar, waardoor er kleine partikels ontstaan

⇒ Andere materialen zoeken die duurzaam, efficiënt, stabiel en lokaal zijn. Kunnen afvalmaterialen dienen als substraat?

Voor de testen werden modulaire panelen (Naturpanel) gebruikt.

Gebruikte substraten: 1: 70% gecomposteerde dennenschors + 30% kokosvezels

                          2: 70% kokosvezels + 30% gecomposteerde dennenschors

                          3: 70% gecomposteerd plantafval + 30% gecomposteerde dennenschors

                          4: 70% gecomposteerd plantafval + 30% kokosvezels

                          5: 90% kokosvezels + 10% geëxpandeerde polystyreen (controle)

Fysicochemische en chemische eigenschappen: pH, elektrische geleidbaarheid, organisch materialen en C/N (carbon/nitrogeen) ratio.

De substraten werden gedurende 8-9 maanden gevoed met Osmocote Exact.

De modules werden horizontaal ingeplant. Na 60 dagen werden ze onder een hoek van 45 graden geplaatst en na 90 dagen werden ze verticaal geplaatst.

Bepaling van: vochtgehalte, droog gewicht, C en N, dichtheid van de massa, dichtheid van de partikels, totaal poriënvolume, dichtheid van de massa na verdichting in een laboratorium, pH, elektrische geleidbaarheid. Planten: lucht- en wortellengte, droog en vers gewicht en het percentage droge massa

Minimum vochtgehalte: 30%

Wanneer er een hoge dichtheid van de massa is, kan dit de vervoerskosten verhogen en de porositeit en de luchtcapaciteit verlagen.

Wanneer het poriënvolume laag is, kan dit de capaciteit om water vast te houden beïnvloeden.

Voor groene wanden is het beter om een lage dichtheid te hebben, omdat dit het transport en de installatie vergemakkelijkt, alsook de lasten op de draagstructuur verlaagt.

Wanneer er plantafval gebruikt wordt, is de wateropslagcapaciteit na een jaar verminderd. Hierdoor is de beluchting wel beter.

Er is een daling van het zoutgehalte.

## Thermisch:

1. Eumorfopoulou, E.A. & Kontoleon, K.J. (2009). Experimental approach to the contribution of plant-covered walls to the thermal behaviour of building envelopes. Building and Environment 44 pg. 1024-1038.

Gebruik van **klimplanten** in warme landen (Mediterraans klimaat, dichtbevolkt gebied) op een naar het oosten georiënteerde muur om te verhinderen dat de zon tijdens de zomerperiode het gebouw opwarmt.

Planten = zonnenscherm, piektemperaturen (oppervlakte temperaturen) zijn lager, vermindering van verliezen door warmtestroming.

Studie uitgevoerd met **geïsoleerde** wanden => Thermisch gedrag van de gebouwschil verbeteren

- ⇒ Minder energie nodig voor de koeling van het gebouw
- ⇒ Vermindering van het hitte-eiland effect

Bereiken en behouden van thermische comfortomstandigheden in het gebouw

Verminderen van luchtverplaatsingen langs de gevel

Regelt de RV van de bebouwde omgeving

- ⇒ Temperatuurschommelingen worden drastisch beperkt

Tussen de bladeren = laag van stilstaande lucht = extra isolatie => afhankelijk van de dichtheid en de hoogte van de vegetatie (dikte van de plantlaag: 25cm). Bladeren absorberen een belangrijk deel van de zonne-energie.

Bladeren beperken de invloed van externe omstandigheden zoals omgevingstemperatuur, zonnestraling, relatieve vochtigheid en windsnelheid en – richting

Invloed is ook afhankelijk van de overige elementen van de gebouwschil. Planten kunnen nooit de isolatie vervangen! De invloed van de planten is afhankelijk van de absorptiecoëfficiënt en de thermische weerstand van de wand waartegen ze groeien.

De voorkeur gaat uit naar bladverliezende planten op een pleister met donkere kleur. In de zomer zullen de planten voorkomen dat er oververhitting ontstaat en in de winter zorgt de donkere kleur voor meer warmteopslag in de thermische massa van de muur.

Kans op oververhitting tijdens de zomer door het gelijktijdig optreden van hoge luchttemperaturen en intense zonnestraling. Invloed van de wind is zeer beperkt en wordt niet meegenomen in de studie.

Overdag is de oppervlaktetemperatuur achter een groene wand lager dan bij een naakte wand. 's Nachts is de oppervlaktetemperatuur hoger achter een groene wand.

$$h_{si} = 8,33 \text{ W/m}^2\text{K}$$



2. Cheng, C.Y., Cheung, Ken K.S. & Chu, L.M. (2010). Thermal performance of vegetated cladding system on façade walls. *Building and Environment* 45 pg. 1779-1787.

Groene wand opgebouwd uit verticale modules en substraat op basis van turf. Koelend effect door de planten en het vochtgehalte in het substraat.

Welke rol spelen planten bij de thermische eigenschappen?

Zwaartekracht om vocht en voedingsstoffen te verdelen – grassoort voorgekweekt op turf + hydroponic medium

Oriëntatie: west, drain wordt opgevangen, ondergrond: 30 cm dikke betonnen, niet geïsoleerde muren

Permanente temperatuurmonitoring, elke dag manuele vochtmeting op 4 verschillende plaatsen per paneel

Groot verschil in vochtgehalte tussen de boven- en onderkant van de module (enkel irrigatie aan de bovenkant), hoogte: 0,5m

Clusters => bovenste panelen veel natter dan de onderste, druppelleiding => veel water in bovenste, enkel overtollige water zakt naar de onderliggende modules

Irrigatie afhankelijk van de vochtigheid van het substraat => vochtsensoren plaatsen. Zo weinig mogelijk drain produceren.

Substraat is overdag koeler dan de omgevingstemperatuur en 's nachts warmer.

Hoe warmer de dag, hoe groter het koelend effect van de groene wand. Door de lagere warmtewinsten werd de energieconsumptie voor airco verlaagd.

Omdat de oppervlaktetemperatuur lager blijft, is er ook minder schade door thermische uitzetting. Het opwarmen van de wand wordt tot 4u vertraagd door de vegetatie. Veel kleinere temperatuurverschillen bij een groene wand.

Belangrijk om het substraat vochtig te houden en de planten gezond om het koelend effect zo groot mogelijk te houden.

3. Perini, K., Ottel , M., Fraaij, A.L.A., Haas, E.M. & Raiteri, R. (2011). Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. *Building and Environment* 46 pg. 2287-2294.

Groene wanden:

- koelend effect tijdens de zomer in warmere klimaten
- Groenblijvend: isolatielaag in koudere klimaten: minder energieverbruik en warmteverliezen

Invloed van de windsnelheid en het effect op de thermische weerstand => oppervlakte- en luchttemperatuur en windsnelheid meten

Efficiëntie afhankelijk van :

- dikte van de bladeren (luchtlaag en schaduw)
- Waterinhoud
- Materiaaleigenschappen
- Mogelijke luchtlagen tussen de verschillende lagen (luchtlagen zorgen voor een vertraging van de warmtedoorgang)

geen temperatuurverschil 1m van de groene wand, wel een opmerkelijk verschil in oppervlaktetemperatuur tussen een naakte en een begroende wand.

Windsnelheid: 4,0m/s (NEN) => groene wand: bijna stilstaande laag lucht tussen de gevel en de groene wand => verbetering van de thermische weerstand van de muur

Onderzochte wanden:

- directe gevelbegroening (klimop, noordwest georiënteerd, dikte: ongeveer 20cm)
- Indirecte gevelbegroening (verschillende soorten groenblijvende klimplanten op een stalen drager, computergestuurd irrigatiesysteem, noordoost georiënteerd, dikte: ongeveer 10cm, luchtspouw van 20cm)
- LWS met plantenbakken gevuld met potgrond (verschillende soorten groenblijvende planten, computergestuurd irrigatiesysteem, west georiënteerd, dikte planten: ongeveer 10cm, dikte plantenbakken: 22cm, luchtspouw van 4cm)

Het LWS systeem zorgt voor het grootste oppervlaktetemperatuurverschil tussen het systeem en een naakte muur => 100% vermindering van de zonnestraling door de gebruikte materialen.

De invloed van planten is afhankelijk van de omgevingscondities (temperatuur, zonnestraling, seizoen,...).

Windsnelheid: bijna 0 in de bladeren (voor alle onderzochte wanden).

Windsnelheid stijgt bij indirecte gevelbegroening. Dit kan te maken hebben met de grote luchtspouw (20cm) en met de porositeit van de bladeren.

LWS: samengesteld uit meerdere dichte lagen => minder effect van windpenetratie. LWS: grootste invloed op de thermische weerstand.

Energiebesparing door verhoogde thermische weerstand (zowel in koudere als in warmere klimaten) en extra besparing in warmere klimaten door een daling van de oppervlaktetemperatuur (schaduw).

Bij grotere luchtspouwen gedraagt deze laag zich niet meer als een bijna stilstaande laag lucht => optimale dikte van de luchtspouw kan bepaald worden (40-60mm).

Groen kan een bijdrage leveren voor de thermische weerstand. Groen zal een grotere invloed hebben bij niet-geïsoleerde gebouwen. Groen kan nooit de isolatie vervangen!

4. Haggag, M., Hassan, A. & Elmasry, S. (2014). Experimental study on reduced heat gain through green façades in a high heat load climate. *Energy and Buildings* 82 pg. 668-674.

Een groene wand kan de oppervlaktetemperatuur verlagen met 5°C ten opzicht van een naakte muur, waardoor de energievraag voor airco daalt en de energie prestatie van het gebouw verbeterd. Akoestische isolatie: tot 30dB beter bij een groene wand. Afhankelijk van dikte van het groeimedium (substraat), type planten, gebruikte materialen voor de structuur van de LWS en de luchtlaag tussen de planten en de muur.

Systeem: kunststof plantenbakken met druppelleidingen

Minder warmtewinsten door minder directe straling, evaporatieve koeling door het irrigatiewater en verhoogde warmte weerstand

- ⇒ 20,5% energiebesparing voor koeling dankzij de groene wand (in zeer warme, droge klimaten)

5. Susorova, I., Azimi, P. & Stephens, B. (2014). The effects of climbing vegetation on the local microclimate, thermal performance, and air infiltration of four building façade orientations. *Building and Environment* 76 pg. 113-124

Verbetering van de thermische prestaties van de wand door: vermindering van de oppervlaktetemperatuur buiten, vermindering van de omgevingstemperatuur buiten, vermindering van de windsnelheid langs de gevels => vermindering van de luchtinfiltraties.

De relatieve vochtigheid is hoger in de plantlaag, maar heeft geen invloed op de absolute vochtigheid.

- ⇒ Kleine energiebesparing tijdens de zomerperiode

De impact is afhankelijk van de dichtheid van de plantlaag en de weersomstandigheden.

Hoewel de groene wand ervoor zorgt dat de oppervlakte temperatuur buiten lager is dan bij een niet begroende wand, zorgt de groene wand er ook voor dat er 's nachts minder koeling is. Gedurende de nacht heeft de wand dus een isolerende functie.

Het is nuttiger om groene wanden te voorzien op het oosten en het westen dan op het zuiden gezien de hoge intensiteit van de zonnestraling door de lagere stand van de zon.

De RV is hoger in de buurt van begroende wanden. De impact is eerder zichtbaar door de dalende temperatuur dan door extra waterdamp in de lucht.

De windsnelheid is afhankelijk van de oriëntatie, de begroeide oppervlakte en de hoogte.

6. Olivieri, F., Redondas, D., Olivieri, L. & Neila, J. (2014). Experimental characterization and implementation of an integrated autoregressive model to predict the thermal performance of vegetal façades. *Energy and Buildings* 72 pg. 309-321.

Testen met volledig ontwikkelde, voorbegroneide *sedum* panelen => effect van begroeiende en niet-begroeiende modules onderzoeken.

Hoe hoger de vochtigheid, hoe kleiner het temperatuurverschil tussen de twee modules.

Hoe hoger de temperatuur, hoe groter het temperatuurverschil tussen de twee modules.

Planten hebben de grootste invloed bij hoge temperaturen en een lage relatieve vochtigheid.

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

Focus op klimplanten, met of zonder klimhulp.

Planten koelen de wanden door:

- schaduw
- Evaporatieve koeling
- Reflectie van zonnestraling
- Thermisch isolerende luchtsponw
- Vermindering van de windsnelheid langs het oppervlak

De beste resultaten worden gehaald in een warm en droog klimaat en op een gevel georiënteerd naar het westen.

Urban heat island effect: materialen warmen op => grotere vraag naar airco => restwarmte in de buitenlucht => vicieuze cirkel => hoger energieverbruik

Twee types groene gevels:

1. Zonder klimhulp:
  - voordelen: vermindering van de extreme oppervlaktetemperaturen => minder snel verweren, goedkoop en efficiënt
  - nadelen: kan schade toebrengen aan bepaalde materialen
2. met klimhulp: extra isolerende luchtsponw

Er moet rekening gehouden worden met de fysische beperkingen van de planten. Studies zijn nodig om de bekijken welke planten in dichtbebouwde gebieden kunnen overleven met weinig tot geen direct zonlicht. Een andere belangrijke factor is de wind, die mechanische schade kan toebrengen aan de planten. Het effect van de wind op de groei, duurzaamheid en thermische prestaties van de planten is niet bekend. Veel wind en verhoogde luchttemperaturen leiden tot een lage relatieve vochtigheid. => Er moet meer rekening gehouden worden met de omstandigheden waarin de plant zal moeten overleven.

Studies moeten minstens een jaar lang duren (idealiter langer) om de planten de kans te geven om goed te groeien.

De meeste studies die werden uitgevoerd zijn specifiek voor een bepaalde geografische plaats met zijn randvoorwaarden (stad, platteland, andere gebouwen in de nabijheid, windsnelheid,...).

De klimhulp kan best zo veel mogelijk gelijken op de structuren die de planten in de natuur gebruiken: diameter van de stam en takken, baststructuur,... om een snelle groei te bevorderen.

Bij groene gevels met een klimhulp ontstaat er een luchtsponw. Er zijn weinig tot geen gegevens beschikbaar over de windsnelheid en de convectie die zich voordoen in de luchtsponw. Dit zijn twee belangrijke aspecten om het thermische gedrag van groene gevels te bepalen. Het kan nuttig zijn om een optimale sponwbreedte te definiëren.

Er zijn momenteel weinig gegevens beschikbaar over de substraten die gebruikt werden bij vorige onderzoeken. Invloed van de eigenschappen van het substraat op de evaporatieve koeling? Is er een optimum tussen een efficiënt waterverbruik en de evaporatieve koeling? Ook de plantsoort, - morfologie en -fysiologie spelen een belangrijke rol bij de thermische eigenschappen van een groene wand.

In tegenstelling tot kunstmatige beschaduwingsystemen zijn groene gevels dynamische, zelf regulerende thermische controle systemen.

6 parameters die zeker vermeld moeten worden in elk onderzoek:

- Zonnestraling
- Luchttemperatuur
- Windsnelheid
- ⇒ Allen voor de groene gevel
- Zonnestraling
- Luchttemperatuur
- Windsnelheid
- ⇒ Tussen de groene gevel en de muur

8. Safikhani, T., Abdullah, A. M., Ossen, D. R. & Baharvand, M. (2014). A review of energy characteristic of vertical greenery systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews 40 pg. 450-462.

Verticale groensystemen kunnen opgedeeld worden in 4 categorieën:

Boom-tegen-muur

Klimplanten (direct of met klimhulp)

Hangende planten

Modulesystemen (voorbegroeide panelen, textielsystemen of plantenbakken met klimhulp)

De keuze voor het type groene wand is afhankelijk van het doel, het klimaat, de nutsvoorzieningen, het budget, etc.

Voordelen: **voor de omgeving:** absorberen van stof en luchtzuivering, opname van CO<sub>2</sub> en vrijgave van O<sub>2</sub>, vermindering van geluidswaerkaatsing en geluidsoverlast  
**Economisch:** schaduw voor ramen, vermindering van het hitte-eiland effect, vermindering van de energiebehoefte voor koeling en verwarming, verbetering van de thermische isolatie van gebouwen, vermindering van wateroverlast  
**Sociaal:** esthetisch, planten creëren plaatsen van recreatie en rust, psychologische impact, verhogen van de gezondheid en welzijn, vermindering van stres en obesitas  
Planten in, op en rond gebouwen zijn aantrekkelijker dan planten in een tuin.

Mensen moeten geïnformeerd worden. Momenteel is er te weinig informatie publiek beschikbaar.

De juiste plantensoorten moeten gekozen worden in functie van klimaatomstandigheden, oriëntatie, hoogte,... . Verder hebben irrigatie, onderhoud en installatie een grote invloed.

Het koelend effect van planten en de schaduw zorgen voor een temperatuursvermindering, vermindering van energieverbruik en vermindering van airco-gebruik. Groene wanden hebben zowel een effect op het binnenklimaat als op het buitenklimaat.

Hoe groter de dichtheid van de planten, hoe groter de temperatuursvermindering. Planten verminderen de omgevings- en oppervlaktetemperatuur. Ze vertragen het effect van het transport van de zonnewarmte.

Groene wanden hebben het meeste effect in een warm en droog of vochtig klimaat. In een street canyon hebben groene wanden meer effect dan groendaken.

Elk type groene wand heeft zijn eigen specifieke effect op de temperatuursvermindering en de windsnelheid. Het effect op de windsnelheid is gunstig in koudere klimaten (isolerende eigenschappen).

Oriëntatie: meeste effect op de westkant, daarna oostkant, zuidkant en noordkant.

Groene wanden (vooral LWS met substraten) zijn windbarrières. Vooral tijdens koude seizoenen zorgen ze voor een verminderd warmtetransport van binnen naar buiten.

9. Larsen, S. F., Filippin, C. & Lesino, G. (2015). Modelling double skin green façades with traditional thermal simulation software. *Solar Energy* 121 pg. 56-67.

Planteigenschappen zijn niet opgenomen in computersimulaties. Er wordt een vereenvoudigde methode voorgesteld om een groene wand te simuleren door middel van een traditionele muur/glazen element. Het model is juister voor vochtige omstandigheden en bij lage windsnelheden.

Voordelen op 3 verschillende schalen:

Stedelijk: verzachten van het stedelijk hitte-eiland effect en verminderen van de CO<sub>2</sub> uitstoot

Gebouw: verminderen van energievraag, akoestisch comfort, extra isolerende laag, schaduw op het gebouw en evaporatieve koeling

Bewoners: esthetische waarde, bron van psychologische en therapeutische voordelen

Indeling in groene gevels en Living Walls (zie eerdere artikels)

1<sup>e</sup> poging om planten in computersimulaties te berekenen: enkel rekening houden met de vermindering van de zonnestraling (enkel schaduw, afhankelijk van de LAI – leaf area index)

⇒ Geen rekening houden met evapotranspiratie, warmte uitwisseling en andere effecten

Planten zijn thermische gezien beter dan andere schaduwmaterialen, omdat de oppervlaktetemperatuur van bladeren lager is dan deze van de schaduwmaterialen, door de transpiratie van de bladeren.

Wiskundige modellen van planten moeten ingepast worden in de beschikbare simulatiesoftware (als schaduwmiddel).

⇒ Alternatieve vereenvoudigde methode

Gedrag van de plant vanuit een thermisch standpunt:

Planten leven, waardoor ze zich aanpassen aan de omstandigheden.

Processen die plaatsvinden: absorptie van zonnestraling, warmte uitwisseling door convectie, uitwisseling van infrarood energie, verdamping, opslag van energie, geleiding (verwaarloosbaar) en energie voor stofwisselingsprocessen (verwaarloosbaar).

Een groene gevel wordt vanuit thermisch oogpunt gezien als één enkel groot blad met bepaalde eigenschappen. Er is een luchtspouw aanwezig tussen de groene wand en de dragende muur.

Zonnestraling op de groene gevel wordt deels gereflecteerd, deels geabsorbeerd en deels doorgelaten.

10. Cameron, R. W. F., Taylor, J. & Emmett, M. (2015). *A Hedera green façade – Energy performance and saving under different maritime- temperate, winter weather conditions.* Building and Environment 92 pg. 111-121.

Thermische regeling: koeling tijdens de zomer en vermindering van warmteverlies tijdens de winter

Hoe dichter begroeid, hoe meer effect. *De grootste winsten werden geboekt bij extreme weersomstandigheden: koude temperaturen, sterke wind en regen.*

⇒ Testen met klimop op klimhulp

Temperen van het hitte-eiland effect, afschermen van gebouwen tegen overtollige zonnewinsten en koeling via evapotranspiratie => verminderen van het energieverbruik voor koeling.

Echter ook verbetering van de wintereffecten: vermindering van het energieverbruik voor verwarming.

Planten zorgen voor een verminderde windsnelheid langs de gevel, waardoor er minder infiltratie is van koude lucht en verliezen door convectie.

Planten beschermen het metselwerk tegen vorst/dooi en infiltratie van vocht. Doordat planten bestaan uit meerdere lagen, zorgen ze ervoor dat vocht de muur niet kan bereiken.

De bezetting van het gebouw heeft een grote invloed op het energieverbruik.

Bij sneeuw: zelf een gedeeltelijke bedekking met planten zorgt al voor een vermindering van het energieverbruik. Sneeuw begint minder snel te smelten en smelt trager op planten.

Vorst, wind en regen: verbeterde thermische eigenschappen met begroeiing ten opzichte van geen begroeiing. Extra verbetering bij dichter bladerdak (oudere planten). Bij regen: wand achter groen is droog.

Het verschil in energieverbruik is groter bij koude nachten als bij warmere nachten.

Het energieverbruik bij begroeiing is lager bij relatieve hoge zonnestraling, hoewel dit minder uitgesproken is als bij de andere weersomstandigheden. Bij relatief warm weer werd er geen

duidelijk verschil waargenomen. Doordat de planten schaduw op het gebouw werpen, zorgen ze er ook voor dat er niet geprofiteerd kan worden van de positieve eigenschappen van de winterzon (slechts een klein nadeel).

Energiebesparing van 21% tijdens de eerste winter en 37% tijdens de tweede winter (dikkere begroening). Planten hebben een grotere invloed tijdens de avond en nacht.

Door middel van thermische camera werd een (evident) temperatuurverschil vastgelegd tussen de naakte muur en de begroeide muur.

Planten werken als isolatie, niet enkel als fysieke isolatie, maar ook door het veranderen van de wind. Planten verzachten de weersomstandigheden op het gebouw.

11. Pérez, G., Coma, J., Martorell, I. & Cabeza, L. F. (2014). Vertical Greenery Systems (VGS) for energy saving in buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 39 pg. 139-165.

Groene wanden als passief hulpmiddel voor energiebesparing.

Ze hebben een groot potentieel, vooral in warme periodes wanneer er koeling gevraagd wordt.

Er is een gebrek aan data en de onderzoeken zijn niet gelijk verdeeld over de hele wereld.

Openstaande onderzoeksonderwerpen:

- Plantsoort in functie van klimaat
- Invloed van de oriëntatie op energiebesparing
- Dikte van het gebladerte
- Aanwezigheid van luchtlagen
- Samenstelling en dikte van het substraat

De weersomstandigheden hebben een grote invloed op groene wanden, voornamelijk op hun groei (dichtheid van het gebladerte, planthoogte, enz.) en op hun fysiologische reacties (verdamping, stand van de bladeren, enz.) en dus ook op hun thermische eigenschappen.

Ook het type plant heeft een grote invloed (o.a. bladverliezend of groenblijvend). Indien er bladverliezende soorten worden gebruikt, zijn er warmtewinsten in de herfst, winter en lente.

4 voornaamste effecten:

- Schaduw: onderschepping van de zonnestraling door de planten
- Koeling: evapotranspiratie, afhankelijk van plantsoort, irrigatie en oriëntatie. Bij groene gevels enkel de planten, bij LWS combinatie van planten en substraat
- Isolatie: afhankelijk van de verschillende lagen. Tot nu toe werd enkel de luchtlaag bestudeerd. Verder studies over de isolerende eigenschappen van het substraat zijn nodig.
- Windscherm: enerzijds is er het directe effect op de wand en anderzijds het indirect effect door de invloed van de wind op de isolerende eigenschappen.

Oost- en westkanten worden aan de meeste zonnestraling blootgesteld.

De windsnelheid in het gebladerte is bijna nul.

Groene wanden hebben geen significant effect op de omgevingstemperatuur!



Planten creëren meer effectieve schaduw dan zonneschermen.

Hoe warmer en droger het klimaat, hoe groter de invloed van planten op stedelijke temperaturen.

Het is zeer moeilijk om de planten op een objectieve manier te karakteriseren.

Belangrijk:

- Welk systeem? (groene gevel – direct of indirect; LWS – textiel, kunststof, type substraat,..)
- Invloed van het klimaat – Waar ter wereld wordt de wand toegepast?
- Invloed van de plantsoort
- Werkmethode – schaduweffect, koelingseffect, isolatie-effect en effect als windscherm

Interessant om te onderzoeken:

Groene gevels – direct: tijdstip (koeling, verwarming, hele jaar), gebruikte soort, oriëntatie van de gevel en dikte van het gebladerte

Groene gevel – indirect: tijdstip (koeling, verwarming, hele jaar), gebruikte soort, oriëntatie van de gevel, dikte van het gebladerte en de luchtspouw

LWS: tijdstip (koeling, verwarming, hele jaar), gebruikte soort, oriëntatie van de gevel, dikte van het gebladerte, typologie en dikte van het substraat en de luchtspouw

12. Cameron, R. W. F., Taylor, J.E. & Emmett, M.R. (2014). What's 'cool' in the world of green façades? How plant choices influences the cooling properties of green walls. Building and Environment

## Bijlage 2: bibliografie

### 1. Artikels

- *Algemeen*

Elgizawy, E.M. (2016). The Effect of Green Facades in landscape Ecology. *Procedia Environmental Sciences* 34 pg. 119-130.

Francis, R.A. & Lorimer, J. (2011). Urban reconciliation ecology: The potential of living roofs and walls. *Journal of Environmental Management* 92 pg. 1429-1437.

Manso, M. & Castro-Gomes, J. (2015). Green wall systems: A review of their characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41 pg. 863-871.

Wong, N.H. et al. (2010). Perception Studies of Vertical Greenery Systems in Singapore. *Journal of urban planning and development* pg. 330-338.

- *Akoestiek*

Pérez, G., Coma, J., Barreneche, C., de Garcia, A., Urrestarazu, M., Burés, S. & Cabeza, L.F. (2016). Acoustic insulation capacity of Vertical Greenery Systems for buildings. *Applied Acoustics* 110 pg. 218-226;

- *LCA/LCC*

Feng, H. & Hewage, K. (2014). Lifecycle assessment of living walls: air purification and energy performance. *Journal of Cleaner Production* 69 pg. 91-99.

Ottel , M. et al. (2011). Comparative life cycle analysis for green façades and living wall systems. *Energy and Buildings* 43 pg. 3419-3429.

Ottel , M., Perini, K. & Haas, E.M. (2014). Life cycle assessment (LCA) of green façades and living wall systems. Woodhead Publishing Limited pg. 457-483.

Perini, K. & Rosasco, P. (2013). Cost-benefit analysis for green façades and living wall systems. *Building and Environment* 70 pg. 110-121.

- *Luchtkwaliteit*

Manes, F., Salvatori, E., La Torre, G., Villari, P., Vitale, M., Biscontini, D. & Incerti, G. (2008). Urban green and its relation with air pollution: ecological studies in the Metropolitan area of Rome. *Italian journal of public health*. Year 6, Volume 5, Number 4 pg. 278-283.

Pugh, T. A. M., MacKenzie, A. R., Whyatt, J. D. & Hewitt, C. N. (2012). Effectiveness of Green Infrastructure for Improvement of Air Quality in Urban Street Canyons. *Environmental Science & Technology* pg. 7692-7699.

Vos, P.E.J., Maiheu, B. Vankerkom, J. & Janssen S. (2012). Improving local air quality in cities: To tree or not to tree? *Environmental Pollution* XXX pg. 1-10 (article in press).

- *Substraat*

Lopez-Rodriguez, G., Pérez-Esteban, J., Ruiz-Fernandez, J. & Masaguer, A. (2016). Behaviour and evolution of sustainable organic substrates in a vertical garden. *Ecological Engineering* 93 pg. 129-134.

- *Thermisch*

Cameron, R. W. F., Taylor, J.E. & Emmett, M.R. (2014). What's 'cool' in the world of green façades? How plant choices influences the cooling properties of green walls. *Building and Environment*

Cameron, R. W. F., Taylor, J. & Emmett, M. (2015). A *Hedera* green façade – Energy performance and saving under different maritime- temperate, winter weather conditions. *Building and Environment* 92 pg. 111-121.

Cheng, C.Y., Cheung, Ken K.S. & Chu, L.M. (2010). Thermal performance of vegetated cladding system on façade walls. *Building and Environment* 45 pg. 1779-1787.

Eumorfopoulou, E.A. & Kontoleon, K.J. (2009). Experimental approach to the contribution of plant-covered walls to the thermal behaviour of building envelopes. *Building and Environment* 44 pg. 1024-1038.

Haggag, M., Hassan, A. & Elmasry, S. (2014). Experimental study on reduced heat gain through green façades in a high heat load climate. *Energy and Buildings* 82 pg. 668-674.

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

Larsen, S. F., Filippin, C. & Lesino, G. (2015). Modelling double skin green façades with traditional thermal simulation software. *Solar Energy* 121 pg. 56-67.

Olivieri, F., Redondas, D., Olivieri, L. & Neila, J. (2014). Experimental characterization and implementation of an integrated autoregressive model to predict the thermal performance of vegetal façades. *Energy and Buildings* 72 pg. 309-321.

Pérez, G., Coma, J., Martorell, I. & Cabeza, L. F. (2014). Vertical Greenery Systems (VGS) for energy saving in buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 39 pg. 139-165.

Perini, K., Ottel , M., Fraaij, A.L.A., Haas, E.M. & Raiteri, R. (2011). Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. *Building and Environment* 46 pg. 2287-2294.

Safikhani, T., Abdullah, A. M., Ossen, D. R. & Baharvand, M. (2014). A review of energy characteristic of vertical greenery systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 40 pg. 450-462.

Susorova, I., Azimi, P. & Stephens, B. (2014). The effects of climbing vegetation on the local microclimate, thermal performance, and air infiltration of four building façade orientations. *Building and Environment* 76 pg. 113-124

## 2. Avis Technique

[Avis Technique 2/15-1693: Vertiflore \(bac végétalisé\). Groupe Spécialisé n° 2.2 : Produits et procédés de bardage rapporté, translucide, vêtage et vêtiture](#) (Klik op de link voor het document)

## 3. Boeken

Baufle, D. & Boutavant, C. (2013). Guide des bonnes pratiques « Enveloppes végétalisées du bâti ». (Première édition). Versailles : Le Vivant et la Ville.

Grant, G. (2006). Green roofs and façades. (First publication). Bracknell: IHS BRE Press

Guinaudeau, C. (2015). Guide pratique “Végétalisation des murs”. CSTB.

Hermij, M., Schauvliege, M. & Tijssens, G. (2005). Groenbeheer, een verhaal met toekomst. Berchem: Velt in samenwerking met afdeling Bos & Groen.

Köhler, M. (2012). Handbuch Bauwerksbegrünung. Köln : Verlags Gesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co.

ökoKauf Wien, Arbeitsgruppe 25, Grün- und Freiräume (2013). Leitfaden Fassadenbegrünung. (1. Ausgabe). Wien: AV + Astoria Druckzentrum GmbH.

## 4. Eindwerken / doctoraten

Bastin, P.-H. (2013). Analyse de la faisabilité d'un projet de rénovation urbaine autour du thème de l'énergie: Analyse économique de la végétalisation des façades [Mémoire]. Université libre de Bruxelles, Master en Ingénieur de gestion, finalité spécialisée.

Marinus, P.C.P. (2011). De toepassing van groene gevels bij (bestaande) gebouwen [Afstudeeronderzoek]. Ongepubliceerd manuscript, Hogeschool Utrecht, Faculteit voor Natuur en Techniek, Afdeling Bouwkunde.

Mir, M.A. (2011). Green façades and building structures [Master thesis]. Ongepubliceerd manuscript, Technische Universiteit Delft, Faculty of Civil Engineering, section Materials and Environments, chair Materials & Sustainability.

Ottelé, M. (2011). The Green Building Envelope: Vertical Greening [Proefschrift]. Technische Universiteit Delft, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Department Materials & Environment, chair Sustainability.

Peters, B.A. (2011). Groene Gevels [Afstudeeronderzoek]. Ongepubliceerd manuscript, Technische Universiteit Delft, Faculteit Bouwkunde, afstudeerrichting Building Technology, Climate Design.

van de Meent, A. (2012). Verticaal groen: duurzame ontwikkeling of modegril? [Afstudeerscriptie]. Ongepubliceerd manuscript, Christelijke Agrarische Hogeschool Dronten, opleiding Management en Beleid Buitenruimte.

Vonk, R. & Clark, I. (2012). Wegwijzer in Verticaal Groen [onderdeel van een afstudeeronderzoek]. Ongepubliceerd manuscript, Hogeschool van Hall Larenstein Velp, Opleiding Tuin- en Landschapsinrichting, major Realisatie.

#### 5. Literatuurstudies

Aertsens Joris, De Nocker Leo, Lauwers Hugo, Norga Katelijne, Simoens Ilse, Meiresonne Linda, Turkelboom Francis, Broekx Steven. (2012). "Daarom groen! Waarom u wint bij groen in uw stad Of gemeente"; Studie uitgevoerd in opdracht van: ANB - Afdeling Natuur en Bos; 144 p.

GrünStadtKlima. Leitfaden "Grüne Bauweisen für Städte der Zukunft".

Pfoser, N. und all., (2013). Leitfaden „Gebäude Begrünung Energie – Potenziale und Wechselwirkungen“. Technische Universität Darmstadt und Technische Universität Braunschweig