

BIO-BASED BOUWEN

Studie naar het bouwen van een appartementen complex met een mycelium casco



TABLE OF CONTENTS

Voorwoord	03
Doel van het rapport	04
Partners	05
Introductie Mycelium	06
Eigenschappen Mycelium	10
Systeem- & productiekeuzes	17
Ontwerpkeuze gevel	21
Conclusie	23

VOORWOORD

We begonnen, zoals gebruikelijk bij Bouwlab R&Do, met inspiratie. Het was eind 2023 nog niet meer dan een idee. Na een bezoek aan de onderzoeksruiimte van Hans Borra waren we geïnspireerd door de potentie van Mycelium. Waarom dit materiaal niet inzetten om een volledig biobased casco te realiseren was een meer dan logische vraag. Een bouw materiaal dat je volledig kan produceren met een onuitputtelijke bron van grondstoffen die letterlijk rondom je productielocatie te vinden zijn. Een samenstelling van natuurproducten die daarbij nauwelijks energie vragen om er bouw materiaal van te maken. Circulariteit en de positieve voetafdruk van het materiaal zijn daarbij zo duidelijk dat we die hier niet eens benoemen.

En zo kwam het dat we, Bouwlab R&Do en student bouwkunde Reyer Witteveen, deze verkenning zijn begonnen. Welke mogelijkheden heeft Mycelium om tot een constructief element te komen? Snel vonden we partners die ons enthousiasme deelde en ieder vanuit zijn of haar eigen motivatie de kansen wilde ontdekken. We begonnen met een idee voor een huis, al snel werd dit een appartementencomplex. Toen duidelijk werd dat de potentie groot is en we een mock-up gingen maken, werd het een dampopen hoogbouw element. Waarom niet als het kan.

Het door Reyer Witteveen opgestelde rapport is een eerste verkenning, maar wel gebaseerd op de jarenlange praktijkervaring van experts en de onderzoeken van Florent Gauvin en zijn team bij de TU Eindhoven. De resultaten zijn veelbelovend en het is dan ook onze intentie om een vervolgstudie te doen waarin we de gevonden waarden verder willen valideren om tot een realiseerbaar ontwerp te komen. Niet alleen op basis van de waarden, maar ook een technisch en economisch haalbaar ontwerp. Het pragmatisme van Bouwlab R&Do en de partners in dit onderzoek zal daar borg voor staan. Mocht u interesse hebben om bij te dragen aarzel niet om contact met ons op te nemen.

Bouwlab R&Do staat voor verbinden en samenwerken aan praktisch toepasbare oplossingen. In dit geval een bio-based casco. We kunnen dit niet zonder partners en bij dit project zijn we naast dank aan Reyer Witteveen veel dank verschuldigd aan Iris van den Brink en Rob Wesselink van RuPa Architecten, Antwan van Haaren van DGMR, Florent Gauvin van de TU Eindhoven, Oene Wassenaar van Vianen Kozijnen en natuurlijk de grote inspirators Roland van Driel en Hans Borra van FC-I.

Tot gauw, Rob Buren.

DOEL VAN HET RAPPORT

Deze studie richt zich op de mogelijkheid om een appartementencomplex te bouwen met mycelium als bouw materiaal. De focus ligt op het beoordelen van de structurele integriteit, duurzaamheid, milieu-impact en praktische toepassingen van mycelium. Specifieke deelvragen helpen de haalbaarheid en voordelen van het gebruik van mycelium in grootschalige bouwprojecten te evalueren.

Onderzoeksvraag

Kan je een appartementencomplex bouwen van een mycelium casco?

Deelvragen






1. Wat zijn de constructieve eigenschappen? Druksterkte?
2. Overspanningsmogelijkheden, en hoeveel lagen?
3. Wat zijn de akoestische eigenschappen? Contact- en luchtgeluid en geluidsabsorptie?
4. Wat zijn de brandtechnische eigenschappen?
5. Hoe verouderd Mycelium? Wat is de levensduur?
6. Wat kan er met het materiaal gebeuren bij einde levensduur?
7. Hoeveel CO₂ wordt er in het materiaal opgeslagen?
8. Hoe goed is het bestandigd tegen brand?
9. Hoe regelt mycelium de vochtregulatie binnen?
10. Wat gebeurt er met de zettingsverschillen?

PARTNERS

Tijdens dit project zijn er meerdere expert meetings geweest om te discussiëren en overleggen over de verschillende mogelijkheden van het bouwen met mycelium, de voor en nadelen en waarom het bouwen met mycelium beter is dan met andere biobased materialen. Tijdens deze sessies waren Hans Borra, expert op het gebied van mycelium, Antwan van Haaren, expert op het gebied van bouwfysica en Rob Wesselink en Iris van den Brink, experts op het gebied van architectuur. Later in het project hebben we ook nog samengewerkt met Florent Gauvin, assistent-professor bij de TU Eindhoven, om het te hebben over de onderzoeken die zij op het gebied van mycelium hebben gedaan. Ook hebben we gesproken met Oene Wassenaar, expert op het gebied van HSB productie, om te kijken of het systeem ook echt te produceren is.



REYER WITTEVEEN
STUDENT BOUWKUNDE

Hans Borra & Roland van Driel	
Oene Wassenaar	
Florent Gauvin	
Antwan van Haaren	
Rob Wesselink & Iris van den Brink	

INTRODUCTIE MYCELIUM

Wat is Mycelium

Mycelium is het vegetatieve deel van een schimmel, bestaande uit een massa vertakte draadachtige structuren, genaamd schimmeldraad. Mycelium is voor schimmels, wat wortels voor planten zijn. Het speelt een cruciale rol in de levenscyclus en ecologie van schimmels.

Schimmeldraden zijn microscopische structuren die groeien en zich verspreiden. Het verspreiden kan in de grond, in vergaan organisch materiaal of zelfs in levende organismen. De belangrijkste functies van mycelium zijn het absorberen van voedingsstoffen uit de omgeving, het afbreken van complexe organische verbindingen en het faciliteren van de uitwisseling van voedingsstoffen met andere organismen.

Mycelium is vaak verborgen onder het oppervlak. Het zichtbare deel van de schimmel, zoals paddenstoelen, is de voortplantingsstructuur die tevoorschijn komt wanneer de omstandigheden gunstig zijn voor sporenproductie.

Naast het ecologische belang heeft mycelium praktische toepassingen. De netwerken van mycelium kunnen symbiotische relaties vormen met planten, waardoor de opname van voedingsstoffen wordt verbeterd, tevens worden sommige schimmels gebruikt bij de productie van voedsel en medicijnen. Op mycelium gebaseerde materialen hebben aandacht gekregen vanwege hun potentieel in duurzame verpakkings- en bouwindustrieën.

Hoe wordt het geproduceerd?

Naast het ecologische belang heeft mycelium praktische toepassingen. De netwerken van mycelium kunnen symbiotische relaties vormen met planten, waardoor de opname van voedingsstoffen wordt verbeterd, tevens worden sommige schimmels gebruikt bij de productie van voedsel en medicijnen. Op mycelium gebaseerde materialen hebben aandacht gekregen vanwege hun potentieel in duurzame verpakkings- en bouwindustrieën.

Tijdens deze periode begint het mycelium te groeien door gebruik te maken van de voedingsstoffen van het substraat. Het substraat is het materiaal waarop het mycelium groeit, dit wordt samen met het medium in de mal gestopt. Afhankelijk van het beoogde gebruik van het mycelium, kan het substraat verschillende samenstellingen hebben. Voor de productie van duurzame materialen kunnen landbouwafval, stro of houtsnippers worden gebruikt. Voor kleine ondernemingen of hobbyisten kan ook gebruik worden gemaakt van versnipperd karton of koffiedik.

Dit substraat kan ook kunstmatig gemaakt worden, dit komt voor in laboratoria. Hier wordt een mix gemaakt van alle noodzakelijke voedingsstoffen.

Na het kiezen van het substraat zal het mycelium groeien en zich verspreiden voor het substraat, waarbij het zich vertakt en een netwerk vormt. Dit proces kan enkele weken duren, afhankelijk van de schimmelsoort en de groeiomstandigheden. Zodra het mycelium zich over het hele substraat heeft gevestigd, kan het worden geoogst. Als het mycelium geoogst is moet het eerst worden afgedood, hierdoor zal het niet verder groeien. Dit afdoden kan gedaan worden door het te bakken of door middel van elektrolyse. Als alles is gedood, is het klaar voor gebruik.

Wat zijn de eigenschappen?

Mycelium heeft diverse eigenschappen die het aantrekkelijk maken voor verschillende toepassingen, zowel in de natuur als in door de mens gecreëerde toepassingen. Zo kan mycelium zich snel uitbreiden, afhankelijk van de schimmelsoort en de omgevingsomstandigheden. Dit maakt het efficiënt voor toepassingen waarbij groeisnelheid een belangrijke factor is. Een andere belangrijke eigenschap is dat mycelium biologisch afbreekbaar is. Na gebruik kan het worden afgebroken door micro-organismen en omgezet in natuurlijke componenten, hierdoor is het een milieuvriendelijk materiaal.

Mycelium is sterk en licht in gewicht. In toepassingen zoals verpakkingen en bouwmaterialen biedt het een goede balans tussen stevigheid en gewicht. Het is adaptief en dus kan het makkelijk aanpassen aan verschillende omstandigheden en makkelijk verschillende vormen aannemen. Het is duurzaam omdat het de mogelijkheid heeft om schadelijke stoffen af te breken. Dit maakt het nuttig voor milieutoepassingen.

Het is ook zelf herstellend en bindend, wat inhoudt dat het kleine beschadigingen kan herstellen (mits het mycelium niet afgedood is) en dat het de eigenschap heeft om andere materialen adaptief aan elkaar te binden. Het heeft een goede isolatie werking, zowel thermisch als geluid. Het wordt al als isolatiemateriaal gebruikt in de bouw en er wordt getest met het vervangen van bestaande geluidsisolatie door mycelium.

De combinatie van deze eigenschappen maakt mycelium een veelbelovend materiaal voor uiteenlopende toepassingen, variërend van duurzame verpakkingen tot biologisch afbreekbare bouwmaterialen en meer. Onderzoek en innovatie op dit gebied dragen bij aan verdere ontwikkelingen en ontdekkingen met betrekking tot de eigenschappen en toepassingen van mycelium.

Hoe ziet mycelium eruit?

Wanneer mycelium wordt samengeperst tot een blok en vervolgens gedroogd of geconserveerd wordt, neemt het de vorm aan van een compact, lichtgewicht materiaal. Dit blok vertoont gelijkenissen met geperste vezels of kurk, afhankelijk van de mate van compressie die is toegepast op het mycelium. Het oppervlak van het blok kan glad zijn, maar behoudt vaak nog steeds een zekere mate van vezeligheid of kleine poriën.

De kleur varieert vaak van crèmekleurig tot bruinachtig, afhankelijk van de oorspronkelijke kleur van het mycelium en eventuele toegevoegde materialen.

Over het algemeen heeft het myceliumblok een licht en stevig gevoel, vergelijkbaar met compact hout of kurk. Bij aanraking kan men een zekere vezelige textuur waarnemen, vooral als het oppervlak niet volledig glad is door het productieproces. Het blok kan ook enige mate van porositeit vertonen, afhankelijk van de compressie en het type mycelium dat wordt gebruikt. Ondanks zijn lichte gewicht is het blok duurzaam en stevig, met een zekere mate van flexibiliteit wanneer er druk op wordt uitgeoefend.

Welke rol kan mycelium spelen in de bouwopgave?

De bouwsector is al een tijdje op zoek naar nieuwe ontwikkelingen en toepassingen om de bouw te verduurzamen. Met de komst van mycelium kan er een goede stap gezet worden naar bouwen met biobased materialen en het helpen met het verminderen van de CO₂-uitstoot. Maar zover is het nog niet: mycelium kan nog niet gebruikt worden voor het echte constructieve werk. Het wordt wel al gebruikt voor isolatie. Ook zijn er al verschillende projecten geweest waar er getest of gebouwd is met mycelium bakstenen. Deze mycelium bakstenen zijn nog niet sterk genoeg om ook echt mee te gaan bouwen.

Wel zou er in combinatie met bijvoorbeeld hout tussenwanden gemaakt kunnen worden die niet constructief zijn.

Door de nieuwe ontwikkelingen van de CarbonBrix en het nieuwe sandwichpaneel van mycelium, gemaakt door Hans Borra en Roland van Driel, kan er een goede stap gezet worden naar het bouwen met biobased materialen.

Waarom een studie naar appartementencomplex?

In eerste instantie was het plan om een studie te doen naar woningen, specifiek twee- tot drielaagse rijtjeshuizen. Na een gesprek met een architect hebben we echter geconcludeerd dat er momenteel meer vraag is naar appartementen. Het is wel uitdagender om appartementen te onderzoeken, omdat appartementen vaak meer lagen hebben dan woningen en er meer belastingen bij komen kijken. In de studie wordt onderzocht of een vierlaags appartementencomplex gebouwd kan worden van mycelium. Als dit kan dan is het zeer aannemelijk dat er dan ook woningen van gemaakt kunnen worden.



EIGENSCHAPPEN MYCELIUM

Constructieve eigenschappen	Waarde
Druksterkte	>100 kPa
Overspanningsmogelijkheden	N.t.b., er is van 8m uitgegaan
Hoeveel Lagen	N.t.b., er is uitgegaan van max 4 lagen
Zettingsverschillen	Zie toelichting

Technische eigenschappen	Waarde
Brandwerendheid	Voor een vervolgstudie
Branddoorslag	Voor een vervolgstudie
Brandoverslag	Voor een vervolgstudie
Brandvoortplantingsklasse	Voor een vervolgstudie
Lambda waarde	0,037 - 0,043 W/mK
Dampdoorlatendheid open/dicht	Ademend materiaal

Akoestische eigenschappen	Waarde
Contactgeluid	Voor een vervolgstudie
Luchtgeluid	Voor een vervolgstudie
Geluidabsorptie	Voor een vervolgstudie

Milieu eigenschappen	Waarde
CO2 Opslag	Nog niet bekend
Levensduur	>50 jaar
Hoe verouderd mycelium	Zelfde eigenschappen als hout

Constructieve eigenschappen

Druksterkte

Druksterkte is cruciaal in de bouw, verwijzend naar de weerstand van een materiaal tegen drukkrachten zoals belastingen en compressie. Materialen zoals beton en staal, die een hoge druksterkte bevatten, worden gekozen voor hun vermogen om gewicht te dragen in funderingen en draagconstructies. Het zorgvuldig selecteren en evalueren van materialen op basis van hun druksterkte is essentieel voor de structurele integriteit en veiligheid in het bouwontwerp. De materialen moeten in staat zijn om de verwachte belastingen gedurende hun

levensduur te weerstaan. De myceliumblokken zelf zijn nog niet sterk genoeg om een zelf dragend materiaal te zijn, maar als isolatie tussen een sandwichpaneel kan het mycelium voor veel stabiliteit en stevigheid zorgen in de constructie.

Overspanningsmogelijkheden

Overspanningsmogelijkheden duiden op het vermogen van een materiaal om grote afstanden te overbruggen zonder extra ondersteuning. Dit is van bijzonder belang bij het ontwerpen van vloeren en daken, waarbij het creëren van ruime en open interieur een ontwerpdoelstelling is.

Materialen met uitstekende overspanningsmogelijkheden stellen architecten in staat om grote overspanningen te realiseren zonder de noodzaak van tussenliggende steunpunten. Dit resulteert in een flexibeler ontwerp en een efficiënter gebruik van ruimte. Bij het selecteren van materialen voor dergelijke toepassingen wordt rekening gehouden met zowel sterkte als lichtheid om optimale overspanning prestaties te bereiken.

De overspanning is vooral voor het dakelement belangrijk. Daarvoor wordt er gerekend met een overspanning van maximaal 8 meter.

Aantal lagen

Het aantal lagen in bouwelementen is een ontwerpaspect dat de complexiteit, sterkte en functionaliteit van het eindproduct beïnvloedt. Of het nu gaat om vloerconstructies, muren of daken, het aantal lagen bepaalt vaak de prestaties van het bouwelement. Het zorgvuldig kiezen van het aantal lagen is van essentieel belang om de gewenste eigenschappen te bereiken, zoals isolatie, draagvermogen en geluidsisolatie. Hierbij wordt rekening gehouden met de specifieke functionele vereisten van het bouwelement en de algehele

doelstellingen van het bouwontwerp. In de sandwichpanelen hoeven de myceliumblokken geen tot weinig gewicht te dragen waardoor er veel meer lagen kunnen worden gebouwd. Voor deze studie gaan we echter nog steeds uit van 4 lagen.

Zettingsverschillen

Zettingsverschillen, fluctuaties in hoogte of vervormingen van bouwelementen, zijn een natuurlijk fenomeen in de bouw en vereisen zorgvuldige planning en ontwerpmaatregelen. Deze zettingsverschillen kunnen optreden als gevolg van belastingen, bodemomstandigheden en andere externe factoren. Bij het ontwerpen van vloeren en funderingen wordt rekening gehouden met mogelijke zettingsverschillen om scheurvorming en structurele problemen te voorkomen. Flexibele constructiematerialen en geavanceerde funderingstechnieken worden vaak ingezet om deze variaties te minimaliseren en duurzame bouwresultaten te waarborgen.

Er mag geen zettingsverschil plaatsvinden, want als de blokken gaan uitzetten kunnen er gaten en kieren komen waardoor de isolatiewaarde wordt verminderd.

Technische eigenschappen

Brandwerendheid

Brandwerendheid is een kritieke eigenschap in de bouw. Het geeft de weerstand van materialen tegen vuur aan. Bouwelementen met hoge brandwerendheid dragen bij aan de veiligheid van gebouwen, door de verspreiding van vuur te vertragen. Hierdoor ontstaat kostbare evacuatielijd. Materialen zoals brandwerende gipsplaten en coatings worden gebruikt in wanden, plafonds en vloeren om een beschermende barrière te creëren tegen de intense hitte die ontstaat bij brand.

Branddoorslag

Branddoorslag verwijst naar de horizontale verspreiding van vuur van het ene gebied naar het andere gebied. Het voorkomen van branddoorslag is van essentieel belang om te voorkomen dat een brand zich snel door een gebouw verspreidt. Bouwelementen worden zorgvuldig ontworpen en getest op hun vermogen om branddoorslag te voorkomen en brandwerende barrières worden geïntegreerd om de veiligheid te waarborgen en de structurele integriteit te behouden.

Brandoverslag

Brandoverslag doet zich voor wanneer vuur van het ene gebouw naar het aangrenzende gebouw overslaat. Het minimaliseren van brandoverslag is een complex ontwerpaspect dat

betrokkenheid vereist van architecten en brandveiligheidsdeskundigen. Materialen met hoge brandwerendheid en goed geplaatste brandwerende barrières zijn van cruciaal belang om de verspreiding van vuur naar aangrenzende structuren te voorkomen en zo een veilige omgeving te waarborgen.

Brandvoortplantingsklasse

De brandvoortplantingsklasse geeft aan hoe snel vuur zich over het oppervlak van een materiaal kan verspreiden. Materialen met een lage brandvoortplantingsklasse zijn van belang om de snelheid van brandverspreiding te beperken. Bij het selecteren van materialen voor gevels en buitenste lagen van bouwelementen wordt rekening gehouden met deze eigenschap om te voldoen aan brandveiligheidsnormen en de veiligheid van de gebouwde omgeving te waarborgen.

Voor alle brandeisen geldt dat er door het bouwbesluit strikte eisen worden gesteld aan het brandveilig maken van het gebouw. Als de blokken niet voldoen aan de eisen van het bouwbesluit, moeten ze worden aangepast om aan deze eisen te voldoen. Dit kan bijvoorbeeld door een coating aan te brengen of de wand volledig af te werken met brandwerende materialen waardoor er geen brand bij komt.

Warmteweerstand

Warmteweerstand is een technische eigenschap die aangeeft hoe goed een materiaal de doorgang van warmte kan vertragen. Materialen met hoge warmteweerstand worden ingezet in vloer- en dakconstructies om de energie-efficiëntie van gebouwen te verbeteren. Deze eigenschap draagt bij aan het handhaven van een comfortabele binnentemperatuur en het verminderen van energiekosten.

Het is belangrijk dat er door de blokken een juiste Rc-waarde wordt behaald. Dit betekent namelijk dat er zo min mogelijk warmteverlies is in het huis. Mycelium staat wel om bekend dat het een goede isolatiewaarde heeft.

Dampdoorlatendheid open/dicht

Dampdoorlatendheid verwijst naar het vermogen van een materiaal om waterdamp door te laten. Het beheersen van dampdoorlatendheid is van belang om condensatieproblemen te voorkomen en een gezond binnenklimaat te handhaven. Bouwelementen moeten zowel dampopen als dampdicht kunnen zijn, afhankelijk van de specifieke eisen van de toepassing. Dampdicht voorkomt vochtschade en bevordert een optimale thermische prestatie van de constructie. Terwijl dampopen er voor kan zorgen dat je een natuurlijke ventilatie hebt en daardoor een lekker binnenklimaat.

Het reguleren van vocht is voor de mycelium blokken extra van belang aangezien het gemaakt is van natuurlijke materialen. Als hier te lang vocht in blijft kan het gaan schimmelen en dat is niet de bedoeling. Mycelium staat wel bekend om het goed kunnen reguleren van vocht, dus dat biedt mogelijkheden voor in de bouw.

Akoestische eigenschappen

Contactgeluid

Contactgeluid geproduceerd door fysiek contact met een oppervlak, zoals voetstappen op een vloer, is een belangrijk aspect van akoestisch ontwerp in gebouwen. Materialen met geavanceerde contactgeluidsisolatie verminderen de overdracht van geluid naar aangrenzende ruimtes, wat van essentieel belang is voor geluidsbeheersing in woningen, kantoren en andere gedeelde omgevingen. Dit omvat het gebruik van dempende materialen en technieken om geluidsoverlast te minimaliseren.

Luchtgeluid

Luchtgeluid, dat zich via de lucht verspreidt, zoals stemgeluid of verkeerslawaaï, vereist effectieve isolatie om geluidsoverlast te verminderen. Bouwelementen met geoptimaliseerde luchtgeluidsisolatie dragen bij aan het creëren van een comfortabele binnen omgeving door geluid van buitenaf tot een minimum te beperken.

Dit omvat het gebruik van geluidsisolerende materialen en constructiemethoden om te voorkomen dat geluidstrillingen zich door de lucht verspreiden.

Geluidsabsorptie

Geluidsabsorptie is een essentieel aspect van akoestisch comfort en wordt bereikt door materialen te selecteren met het vermogen om geluidsgolven op te nemen en te verminderen. Bouwelementen zoals wanden en plafonds met goede geluidabsorptie-eigenschappen verbeteren de akoestiek binnen een ruimte, verminderen nagalm en creëren een aangename geluidsomgeving. Dit is bijzonder relevant in ruimtes zoals theaters, concertzalen en kantoren, waar een optimale geluidsomgeving essentieel is voor het welzijn en de prestaties van de gebruikers.

Mycelium staat er om bekend een goede akoestische waarde te hebben. Dat kan betekenen dat de blokken die gemaakt zijn dus niet meer hoeven worden aangepast of dat er nog een extra element moet worden toegepast om aan de geluidseisen te voldoen.

Milieu

CO2 Opslag

CO2-opslag in bouwelementen verwijst naar het vermogen van bepaalde materialen om koolstofdioxide (CO2) op te nemen en vast te houden. Hiermee spelen ze een actieve rol in de

strijd tegen klimaatverandering. Materialen met deze eigenschap absorberen CO2 gedurende hun levensduur. Dit proces, ook wel carbonatie genoemd, draagt niet alleen bij aan het verminderen van de koolstofvoetafdruk van de constructie, maar biedt ook een duurzame benadering van bouwen door broeikasgassen uit de atmosfeer te verwijderen.

Tijdens het maken van de mycelium blokken komt CO2 vrij, maar ongeveer 60% van het uitgestoten CO2 wordt weer opgeslagen door de blokken.

Levensduur

De levensduur van bouwelementen is een cruciale overweging bij het ontwerpen van duurzame constructies. Het omvat de verwachte periode waarin een bouwelement zijn functionaliteit en structurele integriteit behoudt onder normale omstandigheden. Bij het selecteren van materialen en bouwmethoden wordt rekening gehouden met factoren zoals duurzaamheid, weerstand tegen verval, en de impact van externe omgevingsfactoren. Door te streven naar langere levensduur draagt men bij aan een efficiënter gebruik van hulpbronnen en een verminderde behoefte aan vervanging of renovatie.

Op dit moment weten we dat mycelium een levensduur heeft van meer dan 50 jaar.

De veroudering van mycelium

Mycelium, een biologisch materiaal dat steeds vaker wordt toegepast in de bouw, ondergaat een verouderingsproces onder invloed van verschillende factoren. De blootstelling aan vocht, temperatuurschommelingen en microbiële activiteit kan van invloed zijn op de structurele en functionele eigenschappen van mycelium materialen. Onderzoek en ontwikkeling zijn gericht op het begrijpen van deze verouderingsprocessen en het ontwikkelen van methoden om de duurzaamheid van mycelium materialen te verbeteren. Dit omvat het verkennen van nieuwe groeicondities, beschermende coatings en verbeterde productietechnieken om de bruikbaarheid van mycelium in de bouw te optimaliseren.

Met het verouderen weten we dat mycelium dezelfde eigenschappen heeft als hout. Het reageert enigszins hetzelfde als hout als het enige tijd meegaat.

Bevindingen TU Eindhoven

De TU Eindhoven heeft al verschillende onderzoeken gedaan naar de eigenschappen van mycelium. De onderzoeken hebben veel andere inzichten gegeven voor de uiteindelijke keuzes die gemaakt zijn. Door het onderzoek dat de TU heeft gedaan naar de vocht- en dampregulatie van mycelium, zijn we er achter gekomen dat het beter tegen vocht kan dan in eerste instantie werd gedacht.

Hierdoor kunnen we dampopen gaan bouwen, dit houdt in dat er een natuurlijke ventilatie plaats kan vinden waardoor er geen mechanische installaties nodig zijn. Het mycelium neemt vocht op, maar kan dit ook weer afstaan waardoor de mycelium blokken ook niet te lang in contact komen te staan met het water. Dit betekent dat het vocht door de constructie gaat en er binnen in het gebouw dus een beter klimaat ontstaat, hierdoor zijn er ook geen dure installaties nodig om voor ventilatie te zorgen.

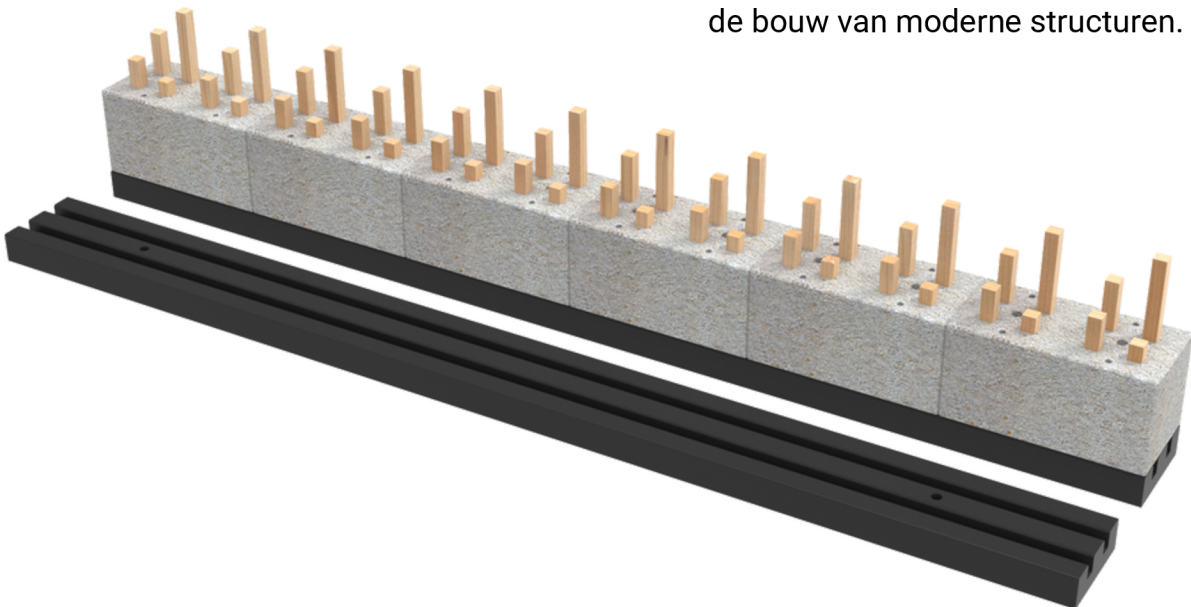
SYSTEEM- & PRODUCTIEKEUZES

CarbonBrix

De CarbonBrix zijn innovatieve bouwblokken vervaardigd uit mycelium. Ze dienen zowel voor de constructie als de isolatie van gebouwen. Het proces om deze blokken te maken begint met het plaatsen van landbouwafval in een mal, hier wordt het vervolgens geïmpregneerd met mycelium. Na enkele dagen begint het mycelium te groeien en wanneer het volledig ontwikkeld is, wordt het uit de mal gehaald. Deze blokken zijn voorzien van acht gaten waarin houten paaltjes passen, waardoor een soort "lego"-structuur ontstaat die gemakkelijk in elkaar te zetten is.

De toevoeging van de houten paaltjes is cruciaal voor de constructie, omdat de myceliumblokken op zichzelf niet voldoende stevigheid bieden om meer laags gebouwen te ondersteunen. Door de paaltjes toe te voegen, wordt de structuur aanzienlijk versterkt, waardoor het mogelijk wordt om gebouwen tot vier verdiepingen hoog te bouwen.

Hoewel het exacte effect van de paaltjes op de sterkte van de blokken niet volledig vaststaat, is het wel zeker dat ze een significante bijdrage leveren aan de algehele stabiliteit en duurzaamheid van de constructie. Dit maakt de CarbonBrix niet alleen een milieuvriendelijke keuze, maar ook een praktische en betrouwbare optie voor de bouw van moderne structuren.



Waarom veranderen?

De CarbonBrix is een goede toepassing, alleen moet het nog beter ontwikkeld worden. Er zijn veel problemen waar nog geen antwoord op gevonden is met de middelen die ter beschikking zijn. Er moet veel geïnvesteerd worden om de problemen die tijdens het onderzoek naar boven zijn gekomen verder te onderzoeken en te testen, om uiteindelijk een oordeel te kunnen vormen over de CarbonBrix. De belangrijkste problemen die tijdens het onderzoek naar voren zijn gekomen en die niet snel op te lossen zijn, zijn vocht, arbeid en vormvastheid.

Vocht

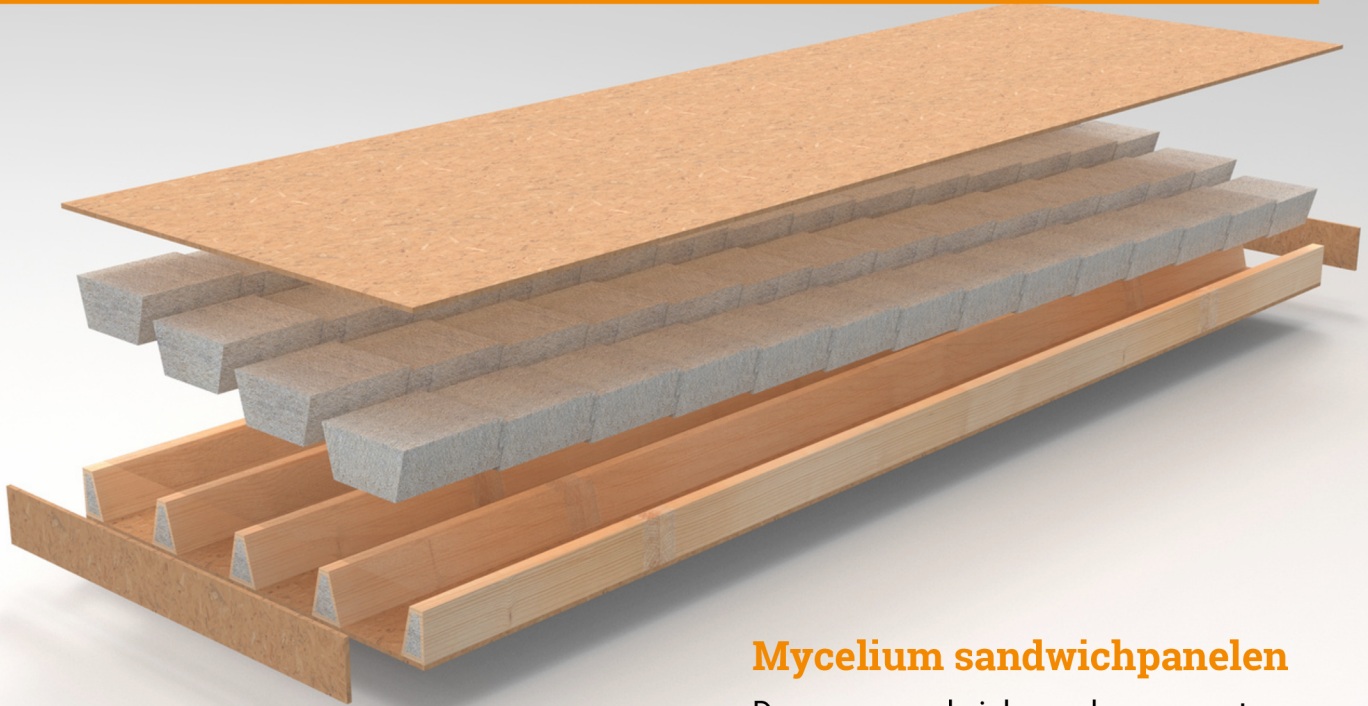
Mycelium kan van zichzelf vocht opnemen en ook weer afstaan, waardoor het een bijzonder materiaal is en waardoor er gedacht kan worden dat vocht dus geen groot probleem zou moeten zijn. Alleen, zoals met veel dingen, kan mycelium problemen krijgen als er te veel vocht in komt. Mycelium kan het vocht dan niet meer makkelijk afstaan en er is kans dat het mycelium opnieuw gaat schimmelen. Mycelium kan wel een tijdje in water liggen, maar als het eruit wordt gehaald, begint het te schimmelen. Bij de CarbonBrix is er geen goede bescherming tegen vocht omdat de blokken los op elkaar worden gezet, waardoor ze goed afgeschermd moeten worden om te voorkomen dat er regenwater bij kan komen.

Daarnaast moeten de blokken ver genoeg van de vloer staan om te zorgen dat er geen plas water bij de gevel kan blijven staan, waardoor het mycelium te veel in contact komt met water.

Prefab

Het tweede probleem is dat het blokkensysteem nog niet makkelijk prefab te krijgen is. Omdat het momenteel allemaal losse blokken zijn, is er veel arbeid vereist. Dit geldt voor zowel de elementen als voor de muur die al in elkaar gezet worden in een loods, maar ook op de bouwplaats als de blokken los worden geleverd. Voor alle blokken moeten de houten balken er nog ingeslagen worden voordat je ze op elkaar kunt zetten. Dit vereist veel extra mankracht en tijd tijdens het bouwen. Hoewel de blokken zelf snel kunnen groeien, waardoor er minder voorbereidingstijd nodig is, kost het meer tijd op de bouwplaatsen in een opslag als voorbereiding. Hierdoor zijn extra mensen nodig voor het leggen van de blokken en duurt de bouwtijd langer, wat het ook duurder maakt.





Vormvastheid

Het laatste probleem is dat de blokken niet vormvast blijven na het groeien. Dit kan betekenen dat de blokken niet meer passen als ze op de bouwplaats aankomen, hierdoor kunnen er kieren en spleten ontstaan. Het gevolg is dat de isolatie niet meer goed kan werken en dat het kan gaan tochten in huis of er onnodig vocht kan ontstaan op deze plekken. Als de blokken krimpen, kan het zo zijn dat de houten balken er ook niet meer in passen, waardoor het hele Lego-systeem niet meer werkt.

Deze drie problemen zijn de belangrijkste redenen waarom er is overgestapt van blokken naar een sandwichpaneel. Je moet de blokken zo goed inpakken met hout of een ander materiaal dat goed water kan afstoten om het mycelium droog te houden, dat het bijna al een sandwichpaneel is.

Mycelium sandwichpanelen

Deze sandwichpanelen vertonen gelijkenissen met houtskeletbouw, maar in plaats van traditionele isolatiematerialen bevatten ze mycelium. In tegenstelling tot rechthoekige houten balken, zijn de balken in deze panelen driehoekig van vorm. Hierbij wordt mycelium gebruikt om de lambda-waarde te optimaliseren en koudebruggen te minimaliseren. Het mycelium dat tussen de balken en in de balken zelf wordt gebruikt, wordt gekweekt in mallen, net zoals bij de blokken voor de CarbonBrix.

De driehoekige vorm van de balken maakt het mogelijk om de blokken tussen de balken te plaatsen, waardoor de kans op kieren en naden aanzienlijk wordt verkleind. Bij deze kolommen zit er ook mycelium in om zo voor te zorgen dat de koude burgen van de kolommen een stuk minder zijn.

Deze sandwichpanelen vinden ook toepassing in dakconstructies, waarbij hetzelfde productieproces wordt gevolgd.

Productie

Om te kijken of het systeem ook echt geproduceerd kan worden zijn we langsgegaan bij Vianen, zij produceren houtskeletbouw elementen voor de hoogbouw. Vianen was meteen erg enthousiast over het idee, maar zag nog wel wat problemen met de wigvormige kolommen en het formaat van de myceliumblokken.

Wigvormige kolommen

Een belangrijke vraag is waarom er wigvormige kolommen gebruikt worden en wat het verschil is tussen deze en de I-liggers. De wigvormige kolommen zijn belangrijk voor het element omdat er hiermee een harde isolatie tussen de constructie geklemd kan worden om het geheel luchtdicht te maken. De kolommen bevatten ook een beetje mycelium, waardoor ze geen koudebrug veroorzaken en dus extra isolatie toevoegen. Dit is het verschil met de I-liggers: die bevatten geen isolatie en hadden ook geen koudebruggen. Het belangrijkste bij de kolommen blijft het inklemmen van de isolatie, waardoor het luchtdicht gemaakt kan worden. Een ander probleem met de kolommen is dat ze niet makkelijk te produceren zijn.

Er moeten veel moeilijke vormen gezaagd worden, wat veel meer tijd kost dan wanneer er gewone balken gebruikt worden. Met gewone balken is er minder tijd nodig voor het verlijmen van de kolommen en het zagen.

Myceliumblokken

Myceliumblokken zijn harde isolatiematerialen en kunnen niet zoals steenwol strak opgerold worden. Hierdoor neemt het meer ruimte in bij het vervoer. Omdat de blokken niet strak opgerold kunnen worden, is er voor dezelfde hoeveelheid isolatie meer transport nodig.

Daarnaast kunnen de elementen die gemaakt worden verschillen in formaat. Door de kozijnen die je in de wand plaatst, ontstaan vakken die soms groter en soms kleiner zijn. Dit betekent dat de blokken niet altijd zullen passen en dat ze bewerkt moeten worden. Dit kost ook weer veel tijd en energie, vandaar dat de vraag is gerezen of het mycelium ook ingespoten kan worden. Het zou dan geshred kunnen worden en vervolgens in een silo bewaard, waarna het kan worden gebruikt voor de vakken die niet hetzelfde zijn als de blokken.



ONTWERPKEUZE GEVEL

Wat moet er ontworpen worden?

Aan het begin van het onderzoek is er gebruik gemaakt van een ontwerp van Ru+Pa architecten. Dit ontwerp diende als referentie tijdens het onderzoek en bood rekenwaarden en afmetingen om een goed uitgangspunt te hebben. Dit ontwerp betreft een vier- tot vijf laags appartementencomplex, wat ook de basis vormde voor de berekeningen in dit onderzoek.

Hierdoor was er voor het ontwerpen niet veel nodig, want er was al een ontwerp waarbij de meeste elementen konden worden aangepast met het nieuwe ontwerp. Zo konden de wanden van het bestaande ontwerp worden vervangen met de nieuwe sandwichpanelen om vervolgens te kijken hoe dit het gebouw zou veranderen. Hierbij wordt vooral gekeken naar de binnenruimte: worden de kamers kleiner of groter als je mycelium gebruikt en welke complicaties kunnen zich voordoen? Dit ontwerp konden we dus gebruiken als referentie om te onderzoeken hoe wij ons element konden aanpassen aan de problemen die we tegenkomen. De opdracht voor het ontwerpen werd

hierdoor anders dan het ontwerpen van een heel gebouw; het ging alleen om de gevel. Na een gesprek met de architecten was de opdracht dat de gevel een verhaal moest vertellen. De gevel moest zodanig ontworpen worden, dat het direct duidelijk maakt dat het een mycelium gebouw is, en dat dit zichtbaar is van de buitenkant.

Wat is er ontworpen?

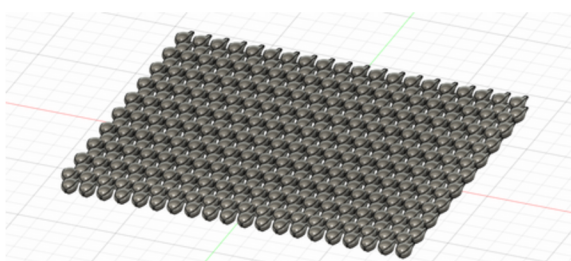
Met dat verhaal is er meteen aan de slag gegaan. Eerst werd vastgesteld wat het verhaal precies inhield en wat eruit gehaald moest worden. Er zijn twee bijzonderheden in het myceliumelement: ten eerste het mycelium zelf en ten tweede het feit dat het een dampopen constructie zou worden. Dit betekent dat er vocht in de constructie kan komen, maar dat het ook weer door het mycelium eruit kan worden afgevoerd.

Met deze twee aspecten werd begonnen aan het ontwerpen van een gevelbekleding. Er zijn veel verschillende soorten rabatdelen ontworpen, met steeds verschillende vormen en maten, maar wel volgens het principe van rabat, waarbij de delen telkens overlappen.

Het idee van de rabatdelen komt voort uit het feit dat dit lijkt op de kieuwen van vissen. Wanneer zij ademen, is dit vergelijkbaar met het dampopen principe waarbij de gevel een beetje 'ademt'. Deze rabatdelen kunnen ook makkelijk van hout worden gemaakt en dus in het biobased gebouw worden toegepast.

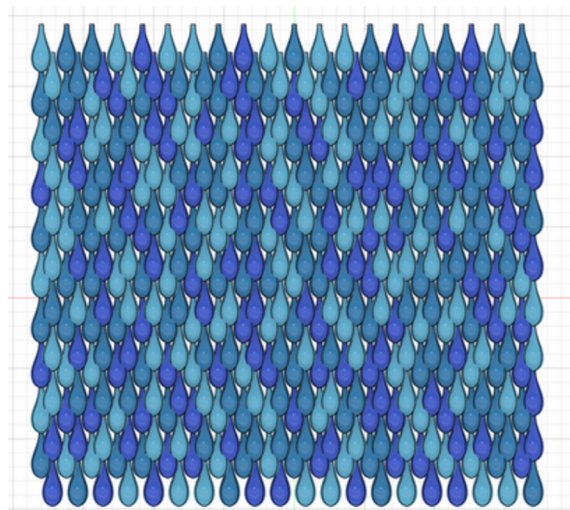
Het tweede ontwerp richt zich meer op het mycelium aspect. Hierbij ontstond het idee om een aantal langwerpige driehoeken te maken waarvan de bovenkant een golvende beweging maakt. Hierdoor ontstaat als meerdere van deze driehoeken boven elkaar hangen, een textuur die lijkt op de myceliumdraden. Dit idee was echter niet makkelijk te produceren en ook moeilijk te monteren aan de gevel, waardoor het geen goede keuze was. Het ontwerp zou veel aanpassingen vereisen, wat het minder praktisch maakte.

Bovendien is dit ontwerp niet te maken van hout of een ander biobased product, waardoor het van staal of kunststof gemaakt zou moeten worden, wat niet wenselijk is voor een biobased appartement.



Het derde ontwerp, waarvoor uiteindelijk gekozen is, bestaat uit druppels die aan de gevel bevestigd worden, waardoor het lijkt alsof er water uit de gevel komt lopen. Dit idee sluit goed aan bij het dampopen bouwen, omdat het symboliseert dat vocht wordt opgenomen en weer wordt uitgestoten door de gevel. Dit ontwerp kan het idee geven dat het echt een dampopen constructie is. De druppels kunnen worden gemaakt van gerecycled kunststof, geprint met een 3D-printer, en vervolgens aan de gevel bevestigd worden.

Na overleg met de partners uiteindelijk gekozen voor het derde ontwerp, omdat dit een goed verhaal vertelt over het gebouw en een uniek ontwerp is dat opvalt. Het eerste ontwerp was het makkelijkst te produceren, omdat er al langer met rabatdelen gebouwd wordt, maar daardoor valt het ook niet op. Het tweede ontwerp vertelde ook een goed verhaal, maar was veel moeilijker te produceren. Daardoor was de keuze voor het derde ontwerp snel gemaakt.



CONCLUSIE

De vraag aan het begin van de studie is of het mogelijk is om met mycelium een appartementencomplex te bouwen. Het eerste idee om met de Carbonbrix te gaan bouwen gaat nog niet lukken, omdat er nog verder onderzoek naar gedaan moet worden.

Uit gehouden onderzoek is naar voren gekomen dat de blokken niet vormvast en kunnen ze gaan krimpen, waardoor de blokken niet meer op elkaar passen. Ook is het nog niet goed genoeg ontwikkeld om het in prefab elementen te krijgen. Doordat het een lego systeem is, is er veel arbeid vereist op de bouwplaats of in de fabriek om alle blokken op elkaar te stapelen.

Daarom zijn we overgestapt op de mycelium sandwichpanelen, deze panelen lijken erg veel op houtskeletbouw, maar hebben een grote verandering en dat zijn de wigvormige kolommen die er in zitten. De wigvormige kolommen zorgen voor de grootste stevigheid in de constructie en bevatten mycelium, zodat er geen koudebruggen in de kolommen komen. De kolommen zorgen ervoor dat de mycelium blokken er in geperst kunnen worden. Hierdoor kunnen er geen kieren of gaten in komen, wat normaal

gesproken sneller kan voorkomen met harde isolatiematerialen. Dankzij de onderzoeken bij de TU Eindhoven hebben we kunnen ontdekken dat het mogelijk is om dampopen te gaan bouwen. Dit is een enorm grote stap in de bouw, omdat het tot op heden nog niet mogelijk was om dit te doen. Dit betekent dat er in de constructie geen folies worden toegepast en dat er ook geen mechanische installaties nodig zijn om het in een gebouw te ventileren. Het mycelium kan heel goed vocht opnemen en ook weer afstaan waardoor het als ademend materiaal fungeert en daardoor een goed binnenklimaat creëert.

Vianen heeft aangetoond door middel van de mockup dat het produceren van dit systeem mogelijk is. In deze mockup is goed te zien hoe het mycelium tussen de wigvormige kolom zit en dat er ook geïsoleerd kan worden met mycelium snipper in plaats van volledige blokken. Het is nog niet helemaal bekend hoe goed de isolatiewaarde is van de snippers, maar het laat wel zien dat er met mycelium verschillende mogelijkheden zijn om te bouwen. Deze mock-up is ook voor de hoogbouw een voorbeeld.

Vianen gebruikt veel houtskeletbouw in de hoogbouw en wilden weten of het ook mogelijk is om dit te realiseren met mycelium. Het kozijn dat er in zit is een speciaal ontworpen klimaatkozijn van Vianen zelf.

Met de mycelium sandwichpanelen, de onderzoeken bij de TU Eindhoven en de gemaakte mock-up van Vianen, kan er aanvullend onderzoek en testen worden gedaan. Dit is een goede basis om over een aantal jaar appartementen mee te bouwen. Er kan een goede stap worden gezet naar een wereld waarin gebouwd wordt met biobased materialen.

