

Deelrapportage WP9 - bijdrage aan emissiereductie



Datum van uitgifte

10 februari 2024

Opsteller

Hedgehog Company B.V.
Donauweg 10
1043 AJ Amsterdam



1. Samenvatting	2
2. Introductie	3
3. Probleemstelling en vraagstelling	3
4. Beschrijving methodiek	3
5. Deelresultaten werkpakket	4
5.1 WP3 van parametrisch ontwerp naar F2F	4
5.2 WP3 ontwerp productie faciliteit	4
5.3 WP4 1e stap digitalisering en datamanagement	5
5.4 WP5 verkenning van aansturing offsite proces	5
5.5 WP6 verkenning van aansturing onsite assemblageproces	5
5.6 WP7 testing	5
5.7 WP8 verkenning asset management	5
6. Beantwoording vraagstelling	5
7. Resultaten Emissies	6
8. Referenties	6



1. Samenvatting

De emissieresultaten van het HoutKern-bouw (HKB) project zijn significant en laten zien dat digitalisering en industrialisering aanzienlijke emissiereducties kunnen realiseren. Een MPG-berekening voor een appartement wijst op bijna een halvering van de werkelijke uitstoot, met een duidelijke besparing van 40% in 'embodied carbon' vergeleken met traditionele bouwmethoden.

Met een CO₂-emissie per m² van 206 kg CO₂-eq wordt een substantiële reductie bereikt t.o.v. conventionele bouwmethode. De houten hoofddraagconstructie het grootste aandeel voor zijn rekening neemt. Daarnaast draagt het gebruik van elektrisch aangedreven materieel verder bij aan emissievermindering op de bouwplaats.

Het modelleren van het bouwproces met behulp van Aeries toont een verwachte NOx-uitstoot van 0,88 kg per eenheid. Hoewel het moeilijk is om direct te vergelijken, geeft in vergelijking met het kengetallen van het RIVM o.b.v. een rijtjeswoning een substantiële reductie.

Deze resultaten illustreren het potentieel van digitalisering en industrialisering om emissies te verminderen en duurzaamheid te bevorderen in de bouwsector. Efficiëntere ontwerpen, digitale datamanagement, offsite en onsite assemblagesturing, evenals asset management, dragen allemaal bij aan emissiereductie. Dit onderstreept de waarde van geoptimaliseerde bouwprocessen en het belang van voortdurende innovatie in de richting van duurzame bouwpraktijken.



2. Introductie

Digitalisering en industrialisering van HoutKern-bouw (HKB) kunnen ervoor zorgen dat gebouwen schoner en sneller gerealiseerd kunnen worden. Er komen steeds meer digitale producten beschikbaar die kunnen ondersteunen bij het ontwerpproces, de productie en de montage van houtbouw modules. Deze zijn voornamelijk gericht op objectstructuren en de documenten. Voor het ontwerpproces wordt er steeds vaker gebruikgemaakt van parametrisch ontwerpen, die worden gekoppeld aan BIM en File-to-Factory. Dit zorgt op zijn beurt voor data-input die gebruikt kan worden voor een geautomatiseerde productie en montage. De gegenereerde data kan worden gebruikt om aan te tonen dat er aan zowel de gestelde eisen van de afnemer en gebruiker van de gebouwen als de WKB voldaan wordt. De ontwikkelingen op het gebied van digitalisering kunnen ervoor zorgen dat er efficiënter gewerkt wordt binnen de bouw. Er zijn minder faalkosten en er kan aan de vereiste flexibiliteit voldaan worden, wat ervoor zorgt dat de bouwunits kosteneffectief geplaatst worden. De optimalisatie heeft daarnaast de mogelijkheid voor een minimale uitstoot wat betreft CO₂ en NOx. Ook zorgt parametrisch ontwerpen ervoor dat er minimaal houtverbruik is. Dit resulteert in een lichter ontwerp, minder transport en daardoor een reductie in de uitstoot van NOx, boven op de eerder genoemde emissiereductie.

3. Probleemstelling en vraagstelling

Modulaire bouwmethodiek kenmerkt zich door standaardisatie en industrialisatie, waarbij vaak wordt verwacht significante reducties te behalen in materiaalgebruik, emissies, kosten en tijd[1]. Een digitale infrastructuur en werkmethode zijn cruciaal om deze voordelen te realiseren. In dit project heeft HKB de digitale snelweg getekend, waardoor de productie gemakkelijk kan worden gestart vanuit het uiteindelijke ontwerp.

Een belangrijk onderdeel van het project is het controleren of digitalisering en industrialisatie daadwerkelijk bijdragen aan emissiereductie. Het doel van dit werkpakket is het bepalen van de impact van digitalisering op de emissies van NOx en CO₂ in verschillende fasen van het bouwproces. Voor elk werkpakket is de invloed op de emissies in kaart gebracht, en waar mogelijk is directe emissiereductie aan het werkpakket gekoppeld.

De focus ligt met name op twee fasen in het bouwproces: de productiefase van de modules en de emissies op de bouwplaats. De werkpakketten concentreren zich voornamelijk op het productieproces, met als doel emissiereductie te realiseren op de bouwplaats.

Aangezien het project een nieuwe werkwijze voorschrijft en 3D-modulebouw nieuw is voor de partners, is het bepalen van een benchmark lastig. In dit werkpakket is ook gekeken naar het vaststellen van een benchmark op verschillende niveaus, namelijk op product-, module- en gebouwniveau.

De onderzoeksvraag van dit werkpakket luidt: "Welke impact heeft ieder werkpakket op de digitalisering en industrialisering van HKB?"

4. Beschrijving methodiek

Het bepalen van de impact per werkpakket is gedaan met verschillende methodieken. Voor 'proces'-werkpakketten is ervoor gekozen om deze kwalitatief te beschrijven en de invloed van het betreffende werkpakket te benoemen. Naast de kwalitatieve benadering is voor sommige werkpakketten de impact gekwantificeerd via de levenscyclusanalyse (LCA) en/of met behulp van de AERIUS-methodiek om specifiek de NOx-emissies in kaart te brengen. Onderstaand overzicht geeft aan welke methodieken zijn gebruikt per werkpakket:



Tabel 1: Methodiek per werkpakket

Werkpakket	Methodiek
WP1 verkenning	-
WP2 van parametrisch ontwerp naar F2F	Kwalitatief
WP3 ontwerp productiefaciliteit	Kwalitatief + LCA + AERIUS
WP4 1e stap digitalisering en datamanagement	Kwalitatief
WP5 verkenning van aansturing offsite proces	Kwalitatief + LCA
WP6 verkenning van aansturing onsite assemblageproces	Kwalitatief + LCA + AERIUS
WP7 testing	-
WP8 verkenning asset management	Kwalitatief

Een kwalitatieve benadering betekent dat er een redenatie met argumentatie wordt gegeven over het betreffende werkpakket. Deze methode legt meer nadruk op de eigenschappen en kenmerken van de emissies, zonder noodzakelijkerwijs exacte kwantitatieve metingen te vereisen. Dit is vooral relevant in een project waar nieuwe methodieken en processen worden geïntroduceerd, aangezien het de flexibiliteit biedt om bredere observaties te doen en patronen te identificeren zonder strikte cijfermatige vereisten die vaak afhangen van een retrospectief perspectief.

De LCA-methodiek is geschikt om gedetailleerd in kaart te brengen waar de emissies zich bevinden. Daarnaast neemt de methodiek de supplychain mee, waardoor het mogelijk is om de milieu-impact van verschillende aspecten van het bouwproces te analyseren. Dit geeft een holistisch beeld van de emissies gedurende de levenscyclus van het project, van grondstoffenwinning tot productie, gebruik en uiteindelijke verwijdering. Binnen de LCA-methodiek is met name naar module A1 t/m A5 gekeken.

De methodiek van AERIUS is geschikt om exact de hoeveelheid stikstofemissies in kaart te brengen tijdens een bouwproces, en de daaruitvolgende depositie van stikstof op Nederlandse Natura 2000-gebieden. Hierbij worden ook directe CO₂-emissies via de AERIUS-methodiek nauwkeurig vastgesteld, omdat bekend is hoeveel liter diesel wordt gebruikt. Het is echter belangrijk op te merken dat deze methode beperkt is tot emissies op en rondom de bouwplaats en geen inzicht biedt in emissies in de gehele keten, zoals bijvoorbeeld de LCA-methodiek dat wel doet.

5. Deelresultaten werkpakket

5.1 WP3 van parametrisch ontwerp naar F2F

Efficiëntere ontwerpen en directe vertaling naar fabricagebestanden minimaliseren foutgevoeligheid, wat op zijn beurt leidt tot minder materiaalgebruik en lagere transportkosten. Door het gebruik van parameters kan gestuurd worden op het minimaliseren van materialen en het ontwerpen voor hergebruik. Energie-efficiënte productieprocessen en monitoring optimaliseren emissiereductie. Door deze stappen te integreren, kunnen aanzienlijke emissiereducties worden gerealiseerd.

5.2 WP3 ontwerp productie faciliteit

Het ontwerp van de productiestraat biedt aanzienlijke optimalisatiemogelijkheden. Er is geleerd vanuit andere fabrieken dat met name het optimaliseren van supply chain management een cruciale factor is. Dit betekent dat onderdelen volledig prefab worden aangeleverd, waardoor enkel assemblage op locatie nodig is. Hierdoor kunnen inefficiënties, zoals het huidige 30% afval bij de spanten, worden verminderd en geoptimaliseerd.

Bovendien wordt het voordeel van het vermijden van NO_x-emissies op de bouwplaats benadrukt, hoewel het mogelijk is dat de emissies bij Heko toenemen door verhoogd verkeer. Niettemin kan een doeltreffend voorraad- en



supply chain-management resulteren in een significante reductie van transport, waardoor zowel de emissies als de impact van het verkeer worden verminderd.

5.3 WP4 1e stap digitalisering en datamanagement

Het digitaliseren van datamanagement in BIM-bibliotheken optimaliseert niet alleen het bouwproces, maar stelt ook ontwerpteam in staat om weloverwogen duurzame beslissingen te nemen, resulteren in significante emissiereducties gedurende de gehele levenscyclus van een bouwproject. De gedigitaliseerde informatie in BIM-bibliotheken vormt de basis voor automatische berekening van emissiescores. Hierbij kunnen bijvoorbeeld LCAs op projectbasis worden uitgevoerd. Dit automatiseert het proces van het verkrijgen van emissiegegevens, waardoor snelle en nauwkeurige besluitvorming mogelijk is.

5.4 WP5 verkenning van aansturing offsite proces

Een doeltreffende sturing van het offsite productieproces bij modulaire bouw kan substantiële emissiereducties realiseren. Het gebruik van volledig prefab aangeleverde elementen en beperkte assemblage op locatie resulteert in vermindering van emissies gerelateerd aan transport, met een minimalisatie van zowel CO₂- als NO_x-uitstoot. Echter, zoals in het werkpakket wordt benadrukt, kan onduidelijkheid in een inefficiënt offsite productieproces leiden tot onnauwkeurigheden en fouten, wat mogelijk extra emissies met zich meebrengt. Daarnaast kan dit ook resulteren in een mogelijk onjuist gebruik van materialen.

5.5 WP6 verkenning van aansturing onsite assemblageproces

Een effectieve sturing van het onsite assemblageproces kan aanzienlijke emissiereducties opleveren. Door efficiënte planning en coördinatie van het assemblageproces op de bouwplaats kunnen transportbewegingen en de inzet van materieel worden geoptimaliseerd, wat resulteert in een vermindering van zowel CO₂- als NO_x-uitstoot. Daarnaast draagt een nauwkeurige aansturing bij aan het minimaliseren van materiaalverspilling, wat ook een positieve impact heeft op de totale ecologische voetafdruk van het bouwproject.

Uit LCA onderzoek blijkt dat het gebruik van een mobiele kraan aanzienlijk bijdraagt aan de totale emissie. Het is daarom van belang om over te stappen naar elektrisch aangedreven materieel. Bovendien laten resultaten uit het NO_x-onderzoek van twee bouwprojecten zien dat modulariteit, vooral met lichte houten modules, de enige haalbare optie is om stikstofdepositie binnen aanvaardbare grenzen te houden. Deze aanpak maakt het gebruik van een elektrische kraan mogelijk, waardoor verdere reductie van emissies kan worden gerealiseerd.

5.6 WP7 testing

Helaas is het niet gelukt om een woongebouw met modules te realiseren, waardoor het testen van het systeem niet heeft plaatsgevonden. Wel zijn er 4 mock-up modules op elkaar gezet. Het gewicht hiervan was dusdanig laag dat dit met behulp van een elektrische heftruck mogelijk was. In vergelijking met een betonnen module zijn deze mock-up modules significant lichter. Dit wijst erop dat ook op de bouwplaats met elektrisch materieel gewerkt kan worden.

5.7 WP8 verkenning asset management

Een goed digitaal assetmanagement vanuit BIM kan aanzienlijk bijdragen aan emissiereductie door de volgende mogelijkheden voor energieverbruik, onderhoud, renovatie, transformatie, en hergebruik van een gebouw.

6. Beantwoording vraagstelling

Het is moeilijk om een exact cijfer te geven voor de emissiereductie die elk werkpakket kan bereiken. Op basis van AERIUS-berekeningen en LCA kan worden geconcludeerd dat een geïndustrialiseerd en gedigitaliseerd bouwproces voor houten modules een reductie van 10% tot 30% kan opleveren vergeleken met de productie en installatie van traditionele gebouwen. Dit is echter niet vergeleken met externe projecten vanwege een gebrek aan beschikbare data.



Met name in WP4, waarin datamanagement is geïntegreerd in de BIM-bibliotheek, worden emissies in kaart gebracht en kan er nu gericht op gestuurd worden. Dit maakt het mogelijk om de effecten van het bouwproces beter te monitoren en optimaliseren, wat een belangrijke stap is naar een duurzamere bouwindustrie.

Hoewel het ontbreken van een concreet project na de realisatie van het Natural Pavilion de metingen in de praktijk heeft bemoeilijkt, tonen de voorbereidingen voor woningcomplexen in Zaltbommel en het Energiehotel in Ede aan dat digitalisatie, met name industrialisatie, cruciaal is om duurzame projecten te realiseren, zelfs in de nabijheid van beschermde natuurgebieden zoals Natura 2000.

7. Resultaten Emissies

Om de totale emissiebesparing in kaart te brengen, is een MPG-berekening gemaakt voor een appartement om deze elders te kunnen vergelijken. Hieruit blijkt dat een wooneenheid exclusief elektrische en klimaatinstallatie een MPG van 0,318 heeft, terwijl dit met installatie stijgt naar 0,454. Dit betekent bijna een halvering van de werkelijke uitstoot. Kijkend naar de 'embodied carbon' halen we een CO₂-emissie per m² van 206. Dit betekent een besparing van 40% tegenover een traditioneel woongebouw (ongeveer 350 kg CO₂ per m²).

De houten hoofddraagconstructie neemt hierin het grootste aandeel voor zijn rekening, waarbij de vloeren (inclusief plafond en balkon) 37% van het totaal vertegenwoordigen. Daarna volgen het glas (13%), de gevel (10%), en de fundering (10%). Met behulp van de ASN-tool is de Construction Stored Carbon berekend voor de vloeren en kolommen. De hoofddraagconstructie slaat ongeveer 14,99 ton CO₂ op (zie tabel 2), wat overeenkomt met 247,36 kg CO₂ per m² BVO. Wanneer we deze opslag in overweging nemen, worden de modules zelfs CO₂-negatief.

Dit in combinatie met een hoge losmaakbaarheid en verantwoord materiaalgebruik is het resultaat van een geoptimaliseerd bouwproces. Dit toont aan dat het implementeren van efficiëntere ontwerpen en digitalisering aanzienlijke voordelen biedt voor het verminderen van emissie.

Om een inschatting te maken van de totale stikstofreductie is het bouwproces gemodelleerd met behulp van Aerius. Hieruit blijkt dat per eenheid een verwachte NO_x-uitstoot van 0,88 kg is. Het is echter lastig om dit te vergelijken, omdat er geen data beschikbaar is van traditionele woningen of andere bouwplaatsen. Uit onderzoek van het RIVM is een cijfer naar voren gekomen van 3,0 kg per woning (rijtjeswoning), waarbij de houten kernmodules aanzienlijk lager scoren. Dit wijst op een aanzienlijke reductie van stikstofemissies bij het gebruik van houten kernmodules in vergelijking met traditionele bouwmethoden.

8. Referenties

[1] Bertram, N., Fuchs, S., Mischke, J., Palter, R., Strube, G., & Woetzel, J. (2019). Modular construction: From projects to products. McKinsey & Company: Capital Projects & Infrastructure, 1-34.