

1. Referentieontwerp drielaags kantoorgebouw.

Inzicht in het potentieel

fase	Embodied Carbon (EC)					MKI (€/kg)	EC (kg-CO ₂ /kg)
	Milieu Kosten Indicator (MKI)						
	A	A	B	C	D		
	productie-fase	bouwfase	gebruiks-fase	sloop- en verwerkingsfase	milieulasten en -baten buiten systeemgrens		
nieuw staal	✓	✓	✓	✓	✓	0,13	1,227
donorstaal	alleen herfabricage	✓	✓	✓	✓	0,04	0,305

2. In bestaande productkaarten kan de milieu-impact worden gekwantificeerd in verschillende grootheden. De impact van donorstaal is 30 tot 25% lager dan nieuw staal.

Om inzicht te geven in de kosten en milieu-impact bij het toepassen van een donorskelet, is ‘Steel-IT’ ontwikkeld. Via de parametrische tool kan hergebruikt staal worden vergeleken met een referentieontwerp waarin nieuw staal is gebruikt.

Doel: een valide verdienmodel met een lage milieulast vinden. Na invoer toont het instrument de invloed van de ontwerpparameters en de – al dan niet – geschikte donorstaal-eigenschappen.

ir. K. Aardoom

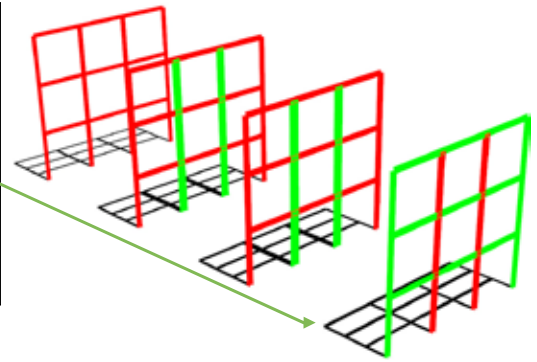
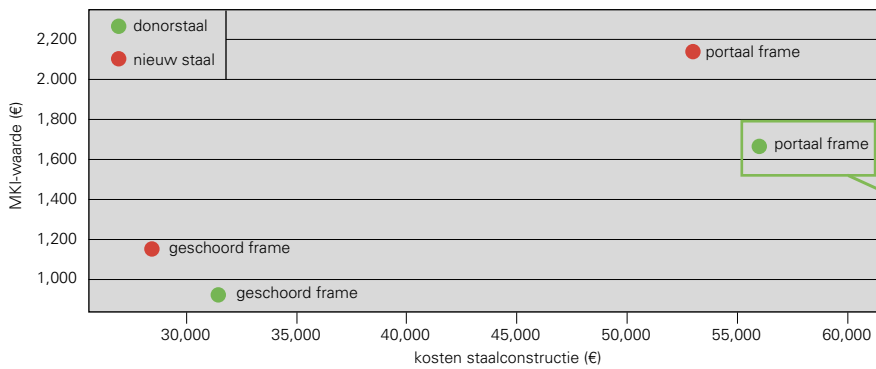
Koen Aardoom is constructeur bij IMd Raadgevende Ingenieurs. Dit artikel is gebaseerd op zijn thesis ter afsluiting van de master Building Engineering aan de TU Delft. Zijn afstudeercommissie bestond uit (co-auteurs) dr.ir. K.C. Terwel, ir. C. Noteboom, dr. F. Kavoura, ir. P. Peters en ir. G. Hoogerwaard.

De nieuwe NTA 8713 beschrijft een procedure om de geometrische en materiaalkundige eigenschappen te bepalen van donorelementen. Over het economische aspect is echter nog een leemte te vullen. Daarom de onder-

zoeksvraag, hoe kunnen we de business-case van donorstaal aantrekkelijk maken? Aan deze vraag is, in samenwerking met de TU Delft en IMd Raadgevende ingenieurs, een thesis gewijd. Om uit te zoeken wat ervoor nodig is om een business-case en gunstige milieu-score te genereren, is een referentieontwerp opgezet met nieuw staal. Hieraan is een database met donorelementen gekoppeld die als basis dient om inzicht te geven in het economische aspect bij toepassing van donorstaal in het referentieontwerp.

Flexibel

Om optimaal gebruik te kunnen maken van donorstaal moet het ontwerpproces ‘flexibel’ zijn. Betrokken partijen moeten de vrijheid hebben om zaken aan te kunnen passen, naar gelang er steeds meer duidelijk wordt over het donormateriaal. Zo kunnen mee- of tegenvalers gaandeweg worden verwerkt in het ontwerp. Tijdens demontage kunnen elementen worden beschadigd bijvoorbeeld, waardoor ze niet meer hergebruikt kunnen worden. Het is dan aan het ontwerpteam om deze ‘gaten’ op te vullen. Het kan ook voorkomen dat tijdens het proces er een nieuwe bron van donorele-



4. Visualisatie oplossingen uit tool.

menten beschikbaar komt. Om deze kansen te kunnen benutten, moeten er wijzigingen kunnen worden doorgevoerd in een later ontwerp stadium. Afwijkingen en dus extra handelingen gaan gepaard met extra kosten. Dat is nadelig voor de business-case.

Kosten donorskelet

Bouwkosten worden grofweg verdeeld in drie componenten: materiaal-, fabricage- en montagekosten. Om deze kosten voor een constructie met donorstaal te bepalen, is voor deze thesis informatie opgehaald bij stakeholders in de staalbouw en -handelssector, in casu Vic Obdam, Reijrink, Deltastaal en HPStaal. De kiloprijs van donorstaal ligt lager, aangezien alleen schrootprijs en extra kosten voor het voorzichtig demonteren moeten worden betaald aan het demontagebedrijf. Echter, de materiaalkosten beslaan enkel een deel van de totaalkosten. Bijkomende handelingen voor materiaaltesten, eventuele opslag, herfabricage en een hoger risico op onvoorziene kosten, zorgen ervoor dat het donorskelet duurder kan uitvallen.

De kosten voor het valideren van de materiaaleigenschappen kunnen nu worden ingeschat volgens de nieuwe NTA. Om een testplan op te stellen en de kosten in te schatten, moet uiteraard bekend zijn welke donorelementen worden hergebruikt. De kosten voor herfabricage van het donorstaal liggen hoger dan de fabricagekosten van nieuw staal, door extra werkvoorbereiding, reiniging en onvoorziene omstandigheden tijdens dit proces.

De werkzaamheden tijdens montage zijn gelijk aan die van een vergelijkbaar ontwerp met nieuw staal. De toegepaste profielen zullen wellicht verschillen aangezien het optimale profiel vaak niet beschikbaar is, maar de handelingen zijn vergelijkbaar. Deze kosten kunnen dus worden ingeschat met bestaande kostenkengetallen.

Steel-IT

De tool 'Steel-IT' vraagt de gebruiker eerst de beschikbare donorelementen in te voeren in een database. Strikte voorwaarden om

Add new database of donor elements

Select excel file with donor elements: C:\Users\koena\Donorgebouw\Delta\ixx Browse...

Source of donor element database: Existing building Reclaimed steel trader

Material properties: 235 Yield strength donor steel [MPa]; No Material certificate available?; 1990-1997 Year of production; No Toxic conservation systems

Database identifier: 1 Add database -->

Added databases		
Filename	Yield Strength	Tons of steel
Donorgebouw\Delta\ixx	235	100.9

Clear Database...

3. Databasecreator.



BioPartner 5

Een goed voorbeeld van een donorskelettoepassing is het BioPartner 5-gebouw in Oegstgeest. Dit project heeft zijn succes te danken aan een aantal factoren. Toen het donorstaal uit een gebouw 750 m verderop werd ontdekt, is het (constructief) ontwerp meteen aangepast. Uitvoerende partijen zijn ook direct betrokken om het maximale uit het donorskelet te kunnen halen. Slimme detaillering en het hergebruik

van complete portalen zorgde ervoor dat herfabricagekosten laag bleven. Uit een procesanalyse wordt duidelijk hoe het traject van hergebruik afwijkt van het traditioneel ontwerpen en bouwen met nieuw staal, met de grootste verschillen in:

- inventarisatie van beschikbare elementen;
- demontage van de donorconstructie;
- validatie van materiaaleigenschappen;
- herfabricage van donorelementen.

donorelementen te mogen of kunnen toepassen, zijn minimaal benodigde stijfheid (I_y), weerstandsmoment (W_y) en de lengte van het profiel. Deze gegevens worden bepaald door vergeet-me-nietjes en virtuele arbeid om de interne krachswerking en lokale en globale vervormingen te bepalen. Het referentieontwerp is een drielaags kantoorgebouw

bestaande uit ofwel een raamwerk met windverbanden (geschoord) of portalen (momentvast). Voor het raamwerk en de portaalconstructie worden dus twee donorconstructies gegeneerd om te vergelijken met de twee standaard constructies uit nieuw staal. De tool stelt ook de vraag: Komen de elementen uit een bestaand gebouw of vanuit

Literatuur

1. NTA 8713 (Hergebruik van constructiestaal), 2023.
2. MilieuPrestatie Gebouwen (MPG). <https://www.rvo.nl/onderwerpen/wetten-en-regels-gebouwen/milieuprestatie-gebouwen-mpg>.
3. M. Spitsbaard en M. van Leeuwen, *Paris proof embodied carbon rekenprotocol*, DGBC 2021.
4. H. de Jonge, *Beleidsagenda normeren en stimuleren circulair bouwen*, Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, Den Haag 2021.

Milieu-impact

De milieu-impact van donorstaal wordt gekwantificeerd met een LCA (levenscyclusanalyse), net als bij nieuw staal. Hieruit wordt duidelijk hoe groot het verschil is met name tijdens de productiefase. De meest gebruikte indicator van impact is de MPG-score, die is gebaseerd op de milieukostenindicator (MKI). De MKI includeert de volledige levenscyclus van het beschouwde materiaal en beslaat dus vaak 50 jaar. Een andere kostenindicator is de 'Paris Proof Indicator'. Hierbij wordt gekeken naar de CO₂-uitstoot tijdens de productie en uitvoering. Deze indicator staat ook wel bekend als 'embodied carbon' en richt zich dus op de korte termijn-uitstoot en staat niet toe om voordelen, die optreden aan het eind van de levensduur, mee te nemen. Deze korte-termijnfocus kan essentieel zijn om de klimaatdoelen van 2050 te halen.

opslag? Daarnaast wordt gevraagd naar de beschikbare documentatie en bouwjaar van de oorspronkelijke constructie, voor een inschatting van de materiaaleigenschappen of door middel van de ondergrensmethode (vloeisterkte), beschreven in de NTA. Als laatste moet worden aangegeven of er toxische verflagen op de profielen aanwezig zijn. Dit heeft effect op de herfabricagekosten. De tool is geprogrammeerd met een algoritme (*assignment optimisation*), met als ingrediënt weer het referentieontwerp. Het kantoorgebouw bestaat uit een aantal raamwerken met vloeren. De stabiliteit in het verticale vlak wordt verzorgd door windverbanden of portalen met momentvaste knopen. In het horizontale vlak wordt stabiliteit verzorgd door de schijfwerking van het vloersysteem. Met de *assignment optimisation*-methode wordt de toepasbaarheid van alle donorelementen op elke positie in het ontwerp beoordeeld met een score. De scores worden bepaald via het gewicht van het donorelement ten opzichte van een equivalent nieuw staalprofiel. Het ontwerp wordt eerst dus opgezet met nieuwe staalprofielen. Dit ontwerp wordt vervolgens gebruikt om overdimensionering in kaart te brengen. Als er bijvoorbeeld een HEA 240 wordt gebruikt in het nieuwe ontwerp, maar het algoritme een donorelement HEA 280 plaatst op dezelfde positie, is de overdimensionering in gewicht 16,1 kg per meter profiel.

Accurate schatting

Voor de kostenschatting zijn de kostengetallen uit het stakeholders-onderzoek ingevoerd. De gebruiker kan de waardes zelf updaten voor een accurate of actuele schatting. Daarnaast vraagt de tool naar de afstand

van de oogstplaats naar de staalbouwer om de milieulast van transport te bepalen. Het referentieontwerp is ingevoerd met een Grasshopper-script. De volgende parameters kunnen worden aangepast:

- aantal overspanningen;
- overspanning(en);
- aantal verdiepingen;
- verdiepinghoogte;
- vloersysteem.

De overspanningen worden gelimiteerd tot typische beukmaten: 3,6; 5,4; 7,2 en 10,8 m. Voor de vloeren worden gekozen tussen een licht en zwaar vloersysteem, een houten kanaalplaatvloer of een betonnen kanaalplaatvloer. Het algoritme wordt vervolgens gebruikt om de vier ontwerpen door te rekenen en te visualiseren in een grafiek en in Rhino-Grasshopper. De grafiek zet de milieu-impact uit tegen de kosten. Aangezien de hoeveelheid donorstaal nu bekend is, kunnen kosten voor materiaal, materiaaltests, herfabricage en montage worden ingeschat. Deze schatting voor zowel kosten als milieu-impact wordt gemaakt volgens de eerder beschreven methode. Door parameters aan te passen, kunnen de effecten van doorsnede-eigenschappen en profiellengtes van het donorskelet in het nieuwe ontwerp worden geanalyseerd. Met deze bevindingen kan een antwoord op de onderzoeksvraag worden geformuleerd.

Vijf lessen

Hieruit volgen vijf belangrijke lessen om een donorskelet financieel haalbaar te maken.

1. Het ontwerp en de database met donorelementen moeten goed op elkaar aansluiten. Hergebruik zonder aanpassingen heeft

de voorkeur. De tool gaat op zoek naar de ultieme match.

2. De detaillering en het hergebruik van verbindingen is belangrijk voor de business-case. Het minimaliseren van herfabricage houdt de extra kosten van het donorskelet laag.
3. Donorelementen moeten efficiënt worden ingezet. Overdimensionering van elementen kan de kosten opdrijven.
4. De beste bron van donorelementen is een bestaand gebouw. Dit voorkomt opslagkosten voor de hergebruikte profielen. De uniforme herkomst maakt materiaalvalidatie van de donorelementen eenvoudiger.
5. Als het mogelijk is om de rekenkundige waarde van de vloeisterkte van het donorstaal te 'verhogen' door extra testen, is dit de moeite waard.

Toekomst

Met een eenvoudige casestudie in Steel-IT kan een impact-reductie van 25% worden bepaald zonder dat dit tot een significante toename in kosten leidt. Dit percentage kan nog hoger liggen als er een betere combinatie tussen ontwerp en donorelementen wordt gevonden en er goed naar detaillering wordt gekeken. De hoeveelheid herfabricage kan namelijk 20-35% invloed hebben op de totaalprijs van de constructie. Deze percentages komen uit een case study van de auteur. Steel-IT kan worden gebruikt door ontwerpers en slopers. De ontwerpteam kunnen het nieuwe ontwerp aanpassen op beschikbaar materiaal en de sloper kan aanbieden met het door hem geoogst donorstaal. Op deze manier kan het potentieel van een donorskelet vroegtijdig in kaart worden gebracht.

Dit inzicht in het potentieel is belangrijk om een project met donorstaal te verwezenlijken. In een dergelijk project moeten alle stakeholders achter de keuze voor deze aanpak staan. Projecten, zoals BioPartner 5, zijn belangrijke en praktische voorbeelden van succesvol hergebruik van staal. Steel-IT draagt bij aan het verlagen van de drempel voor het gebruik van donorstaal. Door inzichten te geven in de kosten en impact, die gemoeid gaan met donorstaal, kan onzekerheid weg worden genomen en wordt het aantrekkelijker om tot hergebruik over te gaan. •