
LCA-analyse hergebruik funderingen in kunstwerk KW004 project A9 BaHo

Van: Fugro NL Land B.V.
Opgesteld: Kernteam Sustainability NL Land
Datum: 14 December 2023
Onderwerp: LCA-analyse hergebruik funderingen kunstwerk KW004 project A9 BaHo
Opdrachtgever: VeenIX
Projectduur: 2020-2023

1. Inleiding

1.1 Achtergrond

Dit document beschrijft een Life Cycle Analyse (LCA) voor het hergebruik van bestaande funderingen t.p.v. nieuwe kunstwerken voor de verbreding van snelweg A9 tussen Badhoevedorp en Holendrecht (BaHo). Het doel van de bouwcombinatie VeenIX is om met name funderingen uit de jaren zestig en zeventig van de vorige eeuw her te gebruiken, hetgeen een aanzienlijke CO2 besparing en kostenreductie oplevert. De nadere uitwerking van deze uitdaging is door Sweco (constructief ontwerp) en Fugro (geotechnisch ontwerp) gedaan.

Berekeningen van de gerealiseerde besparing van kunstwerk KW004 zijn uitgevoerd met DuboCalc versie 6.0. De aanpak van deze LCA is in lijn met ISO 14040 waarbij de volgende aspecten achtereenvolgens beschreven worden:

- Projectbeschrijving.
- De bepaling van het doel en de scope van de studie.
- Dataverzameling en gegevens.
- Modelleren.
- Een interpretatie of vergelijk van de resultaten.

1.2 Projectbeschrijving

Binnen het project A9 BaHo bevinden zich meerdere kunstwerken (bruggen en viaducten) waarvan onderdelen hergebruikt kan worden. In deze LCA wordt alleen kunstwerk KW004 beschouwd.

1.3 Eisen m.b.t. herberekening van paal draagvermogen

In geval alleen de onderbouw van een kunstwerk wordt hergebruikt (de rest van het kunstwerk wordt vernieuwd) dienen er ten behoeve van het herberekenen van het paal draagvermogen de paalklassefactoren conform NEN 8707 en NEN 9997-1 te worden gebruikt. Een herberekening vindt plaats op voorwaarde dat uit de inspectie geen constructieve schade aan de onderbouw en/of (ongelijkmatige) zettingen geconstateerd worden. Indien er een te grote deformatie van de onderbouw/constructie is opgetreden, dan is een herberekening van het paal draagvermogen niet meer zinvol.

De herberekening van een kunstwerk dient op basis van NEN 8707 aan de hand van aanwezige (archief)gegevens te worden uitgevoerd. Als de aanwezige (archief)gegevens van een kunstwerk, voor het maken van de herberekening, eventueel onvolledig is, dan dient er non-destructief onderzoek aan het kunstwerk te worden verricht om zodoende de ontbrekende gegevens te verkrijgen. Ook is hergebruik alleen toegestaan mits de staat van dit constructieve onderdeel voldoende is.

1.4 Doel en scope

Het doel van het project is om daar waar geotechnisch mogelijk funderingsconstructies voor kunstwerken te hergebruiken om tot een duurzaam ontwerp te komen.

Op het project A9 BaHo wordt ter plaatse van 5 kunstwerken de fundering hergebruikt. In deze memo wordt alleen de LCA-analyse van kunstwerk KW004 beschreven. De scope van Fugro beperkt zich tot geotechnische analyses, de constructieve analyses zijn door Sweco gedaan.

2. Dataverzameling en gegevens

Uit archiefgegevens blijkt dat zowel de landhoofden als de pijlers van de bestaande kunstwerken gefundeerd zijn met behulp van prefab betonpalen van 400 x 400 mm, met sterk wisselende inheinniveaus. De paalpuntniveaus zijn op diverse locaties geverifieerd met behulp van Magnetometersonderingen en kwamen min of meer overeen.

Tabel 1: Overzicht besparing funderingspalen voor kunstwerk KW004

Constructief element	Aantal kunstwerken [stuks]	Aantal palen [stuks]	Lengte bestaande funderingspaal [m]
Landhoofden	2	50	10
Pijlers	3	36	9,5

Door hergebruik van bestaande palen onder de landhoofden en de pijlers is een besparing van $2 \times 50 + 3 \times 36 = 208$ funderingspalen mogelijk (zie Tabel 1). Uit berekeningen voor de uitbreiding van kunstwerk KW004, aan de Noord- en Zuidzijde, volgt dat daar Tubexpalen (of gelijkwaardige systemen) met diameter $\varnothing 457/560$ mm en een gemiddelde lengte van ca. 15 m benodigd zijn. Doordat de paalconfiguratie en -belasting t.p.v. de uitbreidingen vergelijkbaar zijn t.p.v. de bestaande fundering, is het mogelijk om 208 stuks Tubexpalen van ca. 15 m lang te besparen doordat deze niet geïnstalleerd hoeven te worden.

De daarbij behorende MKI-Waarde en de equivalente CO₂ emissie in verschillende LCA fases (%) is uitgewerkt in hoofdstuk 3 van dit document en de resultaten van de DuboCalc-berekening is beschreven in hoofdstuk 4.

2.1 Systeemgrenzen

De levenscyclus van een paalfundering bestaat uit de volgende fasen:

- Productiefase: winning van grondstoffen, transport en productie (A1-A3).
- Bouwfase: transport naar bouwplaats (A4) en bouw- en installatie (A5).
- Gebruiksfase: gebruik, onderhoud, reparaties, vervangingen en verbouwingen (B1-B5).
- Sloop- en verwerkingsfase: sloop (ontmanteling), transport, afvalverwerking en stort (C1-C4).
- Volgend productiesysteem: baten/lasten van hergebruik, terugwinning en recycling.

Tabel 2: Systeemgrenzen en levenscyclusfasen

Productiefase			Bouwfase		Gebruiksfase					Sloop- en verwerkingsfase				
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	D
Winning van grondstoffen	Transport	Productie	Transport	Bouw en installatie	Gebruik	Onderhoud	Reparatie	Vervanging	Verbouwing	Sloop	Transport	Afvalverwerking	Finale afvalverwerking	Hergebruik, terugwinnen en recycling

De systeemgrenzen die gebruikt zijn in deze analyse zijn weergegeven in Tabel 2. In deze analyse wordt de volledige levenscyclus met alle levenscyclusfasen beschouwd. Omdat een nieuw te installeren paalsysteem in de toekomst mogelijk ook volledig hergebruikt zou kunnen worden, zal ook de gerealiseerde besparing van alleen fase A1-A5 (productie- en bouwfase) gerapporteerd worden. In dat geval is er dan, net zoals met het volledig her te gebruiken bestaande paalsysteem, geen uitstoot voorzien voor de sloop- en verwerkingsfase C1- D.

2.1.1 Productiefase A1-A3

Deze fasen bevatten de equivalente CO₂-emissies gerelateerd aan grondstofwinning en productie van de diverse materialen. In deze categorie zijn ook de emissies van transportbewegingen tijdens de productiefase meegenomen.

2.1.2 Bouwfase A4-A5

Deze fasen bevatten de equivalente CO₂-emissies gerelateerd aan het transport van materialen en objecten naar de bouwplaats. Ook bevat dit de inzet van het benodigde materiaal om de paalfundering te installeren.

2.1.3 Gebruiksfase B1-B5

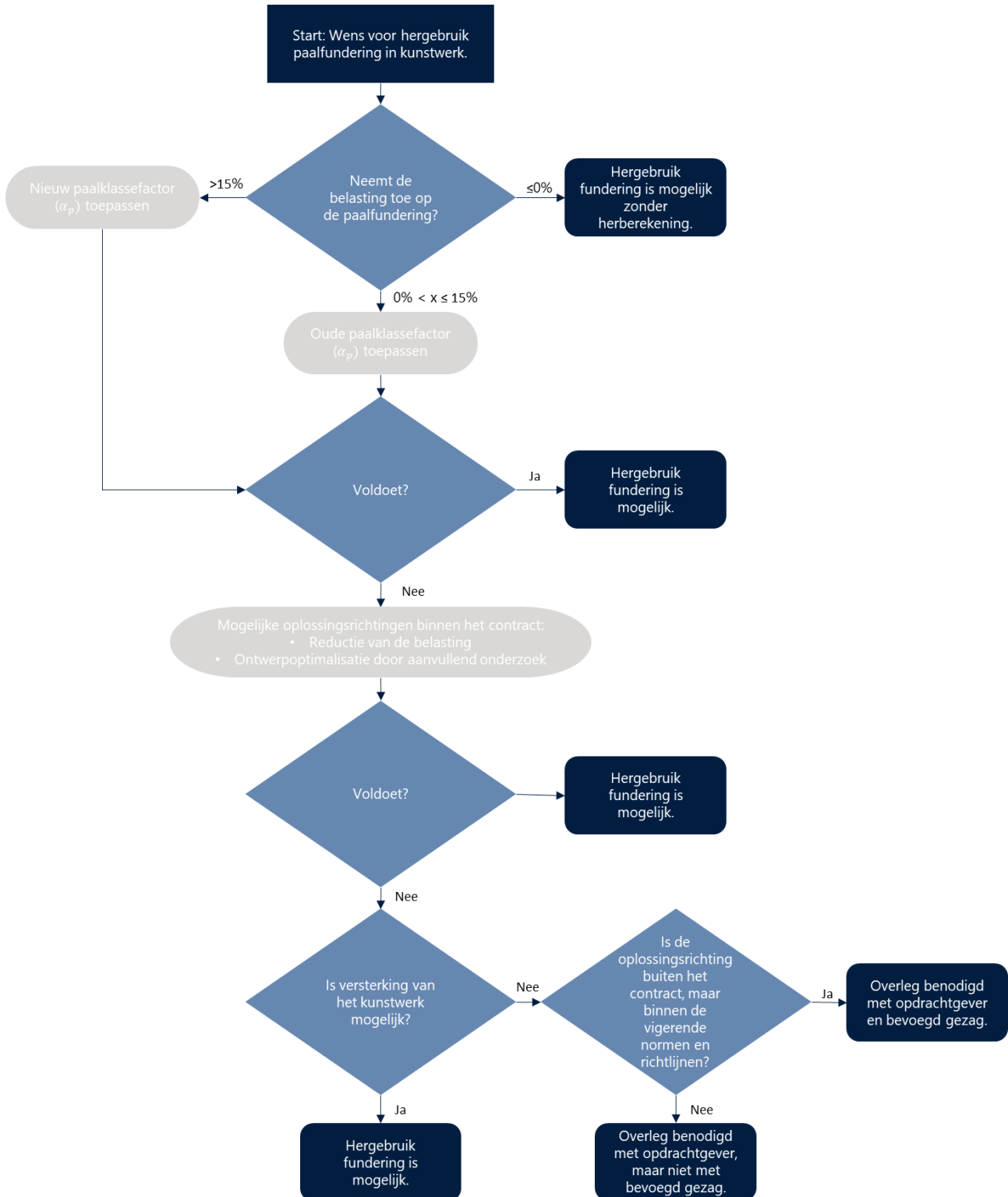
Deze fases bevatten de equivalente CO₂-emissies gerelateerd aan het onderhoud en vervanging. Deze categorieën zijn nihil voor een paalfundering.

2.1.4 Sloop-en verwerkingsfase C1-D

Deze fases bevatten de equivalente CO₂-emissies gerelateerd aan de ontmanteling, transport van de materialen naar de afval/recyclinglocatie en de finale afvalverwerking waarin het verbrandt wordt of verwerkt tot een herbruikbare grondstof. Ook bevat dit de equivalente CO₂-emissies gerelateerd aan de baten en lasten van de sloop- en verwerkingsfase. Baten zouden o.a. het uitsparen van volledig nieuwe materialen door recycling kunnen zijn.

3. Modelling en aanpak

In samenwerking met aannemerscombinatie VeenIX en RWS is het stroomschema weergegeven in Figuur 1 opgesteld om tot hergebruik van de paalfundering van een kunstwerk te komen. Voor de berekening van de MKI-Waarde en CO2 besparing is gebruik gemaakt van DuboCalc versie 6.0.4.



Figuur 1: Stroomschema voor herberekening en acceptatie paalfundering bestaande kunstwerken in project A9 BaHo.

3.1 Ontwerpaanpak herberekening geotechnisch draagvermogen bestaande funderingspalen

In het ontwerp heeft een intensieve samenwerking plaatsgevonden tussen Geotechniek (Fugro) en de Constructeur (Sweco). De herberekening van de bestaande palen is gedaan volgens NEN8707 – Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk bij verbouw en afkeur – Geotechnische constructies.

De eerste stap is het bepalen van de belastingtoename. Indien deze toename groter is dan 15% dan moeten de nieuwe paalklassefactoren worden gebruikt. In 2016 zijn een deel van de paalklassefactoren aangescherpt wat resulteert in een 30% lager puntdragvermogen. Indien de belastingtoename van de bestaande fundering <15% bedraagt, mag met de oude paalklassefactoren gerekend worden (die pre 2016 van toepassing waren). Onze ervaring is dat als de belastingtoename >15% is, het hergebruik van bestaande palen weinig kans van slagen heeft, omdat het puntdragvermogen dan ca. 30% lager wordt.

In het geval dat een nieuwe paalfundering wordt aangebracht naast een bestaande paalfundering, waarbij de poeren al dan niet met elkaar zijn verbonden, dient er rekening te worden gehouden met eventuele stijfheidsverschillen die kunnen optreden. Bestaande palen hebben namelijk een relatief lage veerstijfheid ten opzichte van nieuw te installeren palen die een relatief hoge veerstijfheid hebben. Dit zou de krachtsafdracht negatief kunnen beïnvloeden. Daarnaast dient ook rekening te worden gehouden met het voorkomen van schade aan de bestaande paalfundering of reductie van draagvermogen door installatie(-effecten) van de nieuwe paalfundering.

De haalbaarheid voor het hergebruik van palen voor kunstwerk KW004 is getoetst in het Voor Ontwerp (VO). In eerste instantie is een schatting gemaakt door de constructeur in de toename van de belasting. De toename van het totale gewicht van het kunstwerk bedroeg ca. 11%. Dit resulteert ook in een toename van de paalbelasting met ca. 11%. Het benodigd geotechnisch draagvermogen in het VO werd (net) niet gehaald. Echter waren er voldoende aanknopingspunten om door te gaan met het ontwerp op basis van hergebruik van de funderingspalen. De volgende beheersmaatregelen zijn geadviseerd (in volgorde van toepassen om tot voldoende geotechnisch draagvermogen te geraken):

- Combineren sonderingen met vergelijkbaar bodemprofiel voor verlagen ξ -factor (correlatie factor voor het aantal sonderingen)
- Optimalisatie berekening negatieve kleeft
- Eventueel aanvullende palen installeren

In het Definitief Ontwerp (DO) zijn de bestaande palen uitgebreider getoetst. De constructeur heeft aanvullende modellen opgesteld om nauwkeurig de paalbelasting in de huidige situatie te kunnen bepalen. Hieruit bleek dat de belastingtoename <15% was. Fugro heeft het benodigd draagvermogen bepaald door middel van het combineren van sonderingen. De sonderingen ter plaatse van kunstwerk KW004 waren voldoende homogeen om te voldoen aan de gestelde eisen conform NEN 9997-1 voor een optimalisatie van de ξ -factor.

Aanvullend is de belasting geschiedenis van de palen onder het kunstwerk in detail beschouwd. Hierin is een onderscheid gemaakt in de veerstijfheid van de paal boven en onder maximale belasting die is opgetreden in de paal. De veerstijfheid onder de maximale belasting is groter dan de veerstijfheid boven de opgetreden maximale belasting. Dit heeft te maken met de ontlast en herbelast veerstijfheid.

3.2 Berekeningen en aannames DuboCalc 6.0

Projectnaam	<i>A9 hergebruik funderingspalen</i>
Gebruikersnaam	
Versie DuboCalc	6.0
Versie bibliotheek	15/05/2023
Datum project	15/05/2023
Levensduur project	100
Datum Export	01/08/2023 07:13

In de berekeningen is gekozen voor grondverdringende boorpalen. Het profiel is uitgewerkt op basis van een Tubex paal (of gelijkwaardig). Tubex palen zijn in de grond gevormde, grondverdringende palen die schroevend aangebracht worden met een permanente stalen casing buis. Tijdens het boren wordt een cementvloeistof ingespoten. De gietijzeren boorpunt gaat verloren in de constructie. Omwille van de boorpunt, welke wordt afgestemd op de diameter van de boorpaal is gekozen voor per stuk als functionele eenheid. De stalen buis en het grout zullen echter schaalbaar per meter ingevoerd worden in de Nationale Milieu Database (NMD). Er is standaard uitgegaan van een boorpaal van 15 m lengte. Het gewicht is bepaald op 49,5 kgm buis en 377 kgm grout. Bij een paal van 15 m is het totaalgewicht dus 6397,5 kg. De productkaart is schaalbaar ingevoerd. De schalingsformule is in $\text{mm}\cdot\text{y} = 0,0001 \cdot \text{x}^{2,0173}$. Hierin is x is de diameter in [mm]. De boorpaal is ingevoerd met een diameter van 457 mm.

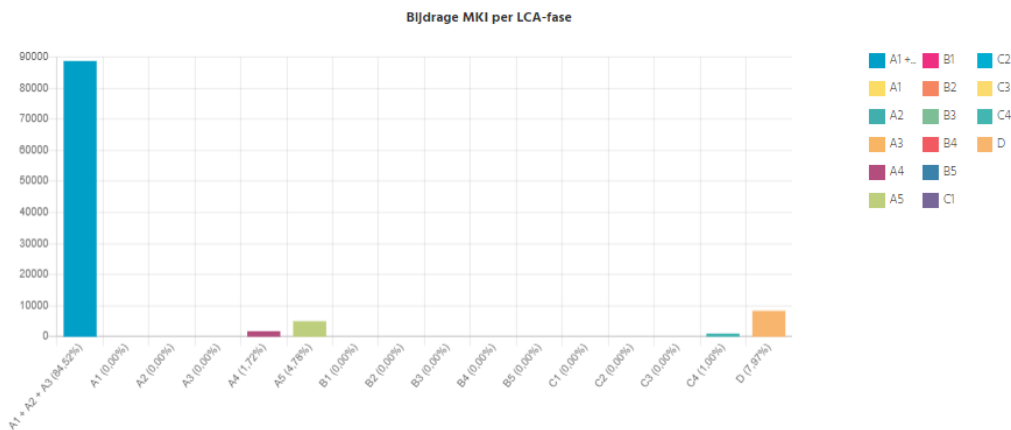
4. Resultaten en interpretatie

Onderstaand zijn de resultaten weergegeven van de Dubocalc berekening van de Milieu Kosten Indicator (MKI)-waarde (uitgedrukt in euro's) en equivalent CO₂-emissie in verschillende LCA fases (%) weergegeven voor het type funderingspaal dat gebruikt zal worden voor kunstwerk KW004. Onderaan Figuur 2 is het totaal CO₂ equivalent in kg weergegeven.

MKI-waardes		
MKI inclusief toeslag (totaal)		134.018,89
MKI exclusief toeslag		105.022,93
MKI Toeslag		28.995,96
Bijdrage		100 %
Productiefase	^	88.769,71
	A1-A3	88.769,71
	A1	0
	A2	0
	A3	0
Bouwfase	^	6.828,22
	A4	1.803,33
	A5	5.024,90
Gebruiksfase	^	0
	B1	0
	B2	0
	B3	0
	B4	0
	B5	0
Sloop- en verwerkingsfase	^	9.425,00
	C1	0
	C2	0
	C3	0
	C4	1.055,26
	D	8.369,73
CO ₂ (kg CO ₂ -eq)		1.211.442,93
Details		
Hoeveelheid		1
Levensduur (in jaren)		100
Werkelijke Levensduur (in jaren)		100

Figuur 2: Resultaat DuboCalc berekening gerealiseerde besparing kunstwerk KW004 project A9 BaHo

Uit de DuboCalc berekening blijkt dat de totale CO₂ besparing voor kunstwerk 4 ca. 1.211 ton CO₂ equivalent bedraagt. In MKI-waarde bedraagt deze besparing € 134.019 waarbij de LCA-productiefases (A1-A3) verantwoordelijk zijn voor het grootste deel (88,8%) van deze waarde (zie Figuur 2 en Figuur 23). De bouwfase (A4-A5) is verantwoordelijk voor 6,8%, de gebruiksfase (B1-B5) voor 0% en de sloop- en verwerkingsfase (C1-D) voor 9,4% van de MKI-waarde.



Figuur 23: MKI-waarde DuboCalc berekening hergebruik kunstwerk KW004 project A9 BaHo.

5. Conclusie

In dit rapport is een LCA-analyse conform ISO 14040 uitgevoerd op de door VeenIX gerealiseerde besparing ten opzichte van het referentieontwerp. Voor deze analyse is DuboCalc en de Nationale Milieu Database gebruikt. Deze analyse is uitgevoerd op de besparing die mogelijk bleek door de paalfundering van het bestaande kunstwerk KW004 te hergebruiken in project A9 BaHO. In dit project worden de bestaande kunstwerken verbreed.

Door de geotechnische analyse en aanvullend grondonderzoek bleek het mogelijk om in kunstwerk 4 voor zowel de landhoofden als de pijlers 208 bestaande funderingspalen te kunnen hergebruiken. De totale **CO₂ besparing** voor **kunstwerk 4** bedraagt **1.211 ton CO₂ equivalent**. Voor de **MKI-waarde**, in euro's uitgedrukt, is er een besparing gerealiseerd van **€ 134.019,-**. Daarnaast is er nog een aanzienlijke kostenbesparing doordat er geen nieuwe palen behoeven te worden aangebracht.

6. Bevindingen van de externe controle

Deze LCA is extern gecontroleerd door waarbij de volgende bevindingen zijn gedaan:

“Voor mij bevat het document alles wat de ISO norm hierover schrijft. Het doel en reikwijdte staat beschreven, de verschillende levens fases van het product zijn goed geïdentificeerd en beschreven. Het verzamelen van de gegevens bevatten ook de verwijzingen, de milieu impact en besparing is bij elke fase aangegeven als wel de interpretatie van de resultaten”.

7. Update van de LCA 29 maart 2024

Voor het project 'Veenix' is een LCA opgesteld waarbij een CO₂ Reductie in het ontwerp door Fugro voorgesteld met een omvang van **1.211 Ton CO₂** door middel van het **hergebruik van materiaal van oude fundaties**. Dit ontwerp is in uitvoering genomen.