

Royal HaskoningDHV
Enhancing Society Together

Hergebruik prefab betonnen brugliggers

Stufib – Stutech - Stubeco

Project related
Rob Vergoossen
16 oktober 2024

1

Introductie

- SBIR-uitvraag RWS Circulaire Bruggen en Viaducten 2020: 32 inschrijvers
- Haalbaarheidsstudie RHDHV; selectie: 3 partijen pilot, 2021
- Voor pilotproject Hergebruik consortium Liggers2.0 gevormd, 2021
- Succesvol pilotproject viaduct A1 Hoog Burel gerealiseerd, 2023 (Meedenbrug Appingedam 2022; N386 De Groeve 2023/2025)
- Vervolgopdracht RWS aan (Liggers2.0 en Closing the Loop=) Groene Liggers

Opschaling van hergebruik tientallen naar honderden liggers in komende jaren.

2 Hergebruik prefab betonnen brugliggers | 16 oktober 2024

2

Het begin

- STUVO - Studievereniging Voorgespannen Beton (1949)
 - Richtlijnen Voorgespannen Beton (R.V.B.)
 - Concept 1955
 - Definitief 1957
 - R.V.B. 1962
 - R.V.B. 1967
- Stupré - Studiekring tot ontwikkeling van het geprefabriceerd
 - Richtlijnen Prefab-beton 1967 (R.P.B.)
- KOMO Kwaliteitseisen voor Bouwelementen van Voorgespannen Beton 1967 (K.B.V.B. 1967)
 - Levering onder certificaat

KWALITEITSEISEN VOOR BOUWELEMENTEN VAN VOORGESPANNEN BETON 1967
(gewijzigde uitgave dec. 1970)

STICHTING KOMO
VOOR ONDERZOEK, BEOORDELING EN KEURING VAN MATERIELEN EN CONSTRUCTIES
ALEXANDERSTRAAT 8 - DEN HAAG

3 Hergebruik prefab betonnen brugliggers | 16 oktober 2024

3

Sterkte

- R.V.B. 1967
 - 2.9. Kubussterkte¹⁾ wordt aangehouden het gemiddelde resultaat, verkregen met ten minste zes proefkubus, met zijden van 20 cm, na 28 dagen²⁾ verharding (zie uitzondering in art. 2.10.15).
 - 2.9.8. Bij het beproeven moet de druk worden uitgeoefend op drie zijvlakken van de kubus, die in de mediane lagen de vlakke platen hebben geraast. Bij de beproeving moet onder en boven de kubus een tussenlaag van 3 mm dik karton worden toegepast.
- 9.1. Toelaatbare drukspanningen in het beton
 - 9.1.1. Toelaatbare werkspanningen
 - 1. t.g.v. buiging:
 - $\sigma_{\text{b}} = 100 + 0,20 (\sigma_{\text{w,28}} - 300) \text{ kgf/cm}^2 < 160 \text{ kgf/cm}^2$, of
 - $\sigma_{\text{b}} = 1 + 0,20 (\sigma_{\text{w,28}} - 3) \text{ kN/cm}^2 < 1,6 \text{ kN/cm}^2$
 - 4. Toestemming kan worden verleend om de toelaatbare buig-drukspanningen in het beton 8 kgf/cm² of 16 kgf/cm², en de centrale drukspanning met 6 resp. 12 kgf/cm² te verhogen, indien aangetoond wordt, dat de standaardafwijking van de bereikte betondrukkersterkte lager ligt dan 50 resp. 40 kgf/cm². In afwijking van art. 7.4.2 c. mag dan de breukdrukspanning 20 kgf/cm² resp. 40 kgf/cm² worden verhoogd.

volledig weggevoerde klemmende tussenlaag

bezwijkingspatroon

bezwijkingspatroon

kwaliteit volgens Rilem-methode (kubus 15 cm zonder karton) in kgf/cm ²		kwaliteit volgens GBV-methode (kubus 20 cm met karton) in kgf/cm ²	
171	250	K 180	K 225
342	500	K 360	K 450
513	750	K 540	K 675
684	1000	K 720	K 900

4 Hergebruik prefab betonnen brugliggers | 16 oktober 2024

4

Betonsterkte

- Ontwerpsterkte K600 ($f_{\text{cm,cube}} = 71 \text{ MPa}$) conform RBK → C40/50
- Levering onder certificaat nr. 704 → maximale standaardafwijking 40 kgf/cm² → $f_{\text{ck,cube}} = 64 \text{ MPa}$, $f_{\text{ck}} = 52 \text{ MPa}$ → C50/60 of C52/64
- 16 kernen (in 2006) $f_{\text{cm,cube}} = 96,5 \text{ MPa}$ → $f_{\text{ck}} = 60 \text{ MPa}$ → C60/73 incl. k_1
- HIP liggers grootschalig onderzoek (RWS 2010-2011); 55 kernen/11 complexen $f_{\text{cm,cube}} = 97,5 \text{ MPa}$ → $f_{\text{ck}} = 66 \text{ MPa}$ → C66/81 incl. k_1

	f_{ck}	$f_{\text{ck,cube}}$	f_{cm}	$f_{\text{cm,cube}}$	f_{cm}	$f_{\text{cm,0,05}}$	f_{td}	f_{td}
K600 (RBK)	40	50	48	- (71)	3,5	2,46	26,7	1,64
K600 (cert.)	52	64	60	- (71)	4,1	2,9	34,7	1,93
Onderzoek 2006	60	73	68	96,5 +40%	4,35	3,05	34,0	1,73 -10%
RBK C55/67 Grootschalig onderzoek	66	81	74	97,5	4,5	3,2	37,6	1,79

5 Hergebruik prefab betonnen brugliggers | 16 oktober 2024

$f_{\text{cm,sp,0,05}} = 5,25 \text{ MPa}$ → $f_{\text{cm,0,05}} = 4,73 \text{ MPa}$ (+16%)
 $f_{\text{cm,0,05}} = 3,70 \text{ MPa}$ (+29%); $f_{\text{td}} = 2,10 \text{ MPa}$

5

Gegevens uit ontwerpberekeningen

- Dagproductie
 - Na ca. 16 uur verharding; R.B.V.B. > 300 kgf/cm² (productienorm 415 kgf/cm² of 450 kgf/cm²)

VOORSPANSTAAL	BETON
soort kwaliteit certificaat S.B.B.B.	fabricaat cement kwaliteit cement B
treksterkte in kg/mm ² = 190	na 28 dagen in kg/cm ² = 450
toelaatbare aanwasp. in kg/mm ² = 123,5	na 28 dagen in kg/cm ² = 600
.. werksp. in kg/mm ² = 104,5	elastische modulus in kg/cm ² E _s = 20.000
elastische modulus in kg/mm ² E _s = 20.000	elastische modulus in kg/cm ² E _s = 600.000

Let op: Vanaf R.O.B.K. 1 (RWS – 1988) maximaal **aan te houden** betonkwaliteit B52.5

6 Hergebruik prefab betonnen brugliggers | 16 oktober 2024

6

Restlevensduur (>100 jaar)

- Toename sterkte (ondanks hoge ontwerpsterkte)
 - Van gem. 70 MPa naar gem. ca 100 MPa !
- Dekkingseisen voldoen aan 100 jaar nieuwbouw Eurocode
 - (XD3/XS3 ; \geq C45/55)
- Carbonatatie diepte < 1 mm na ca. 50 jaar
 - restlevensduur >> 100 jaar
- Chlorideindringing verwaarloosbaar (<0,4% in 0-10 mm) na ca. 50 jaar
 - restlevensduur >> 100 jaar
- Niet gevoelig overige aantastingsmechanismen (o.a. ASR)
 - Lage wcf (<0,4), hoge dichtheid
- Geen scheurvorming
- Elementen ontworpen op volledige druk onder karakteristieke belastingcombinatie

7 Hergebruik prefab betonnen brugliggers | 16 oktober 2024

7

Intermezzo als u geen betonconstructeur bent

- In het areaal van Rijkswaterstaat zijn er heel veel bruggen en viaducten (kunstwerken).
- Bruggen met hele grote overspanningen of beweegbaar.
- De innovatie gaat over vaste bruggen en viaducten met overspanningen (10m-40m).
- Bijna altijd van beton. Ter plaatse gestort of het dek opgebouwd met prefab liggers.
- Prefab voorgespannen volstortliggers, kokerliggers, T-liggers of deze omgekeerde T-liggers.

Helaas voor het hergebruik:

- Hebben de viaducten in Nederland allemaal verschillende lengtes/overspanningen
- Hebben we te maken met verschillende kruisingshoeken tussen de snelweg en de kruisende weg, water of spoor.
- Moet de oplossing dus flexibel zijn voor verschillende afmetingen en kruisingshoeken.

8 Hergebruik prefab betonnen brugliggers | 16 oktober 2024

8

Herbruikbaarheid omgekeerde T-liggers

- Helaas voor de losmaakbaarheid:
 - Worden deze tot 1 brugdek gemaakt door gebruik te maken van ter plaatse gestort beton.
 - Zitten er in de prefabliggers beugels die zorgen voor de samenhang met het ter plaatse gestort beton.
 - *Na het verwijderen van het beton moeten deze beugels weer kunnen functioneren.*



9 Hergebruik prefab betonnen brugliggers | 16 oktober 2024

9

Nieuw: keuze voor direct hergebruik



10 Hergebruik prefab betonnen brugliggers | 16 oktober 2024

10

Demontage, transport en (tijdelijke) opslag



11 Hergebruik prefab betonnen brugliggers | 16 oktober 2024

11



Het modificeren van de liggers

- Het verwijderen van de druklaag
- Het inkorten van de liggers en aanpassen aan nieuwe kruisingshoek
- Het boren van gaten voor het doorvoeren van dwarswapening

12

12



13



14



15



16



17



18

Duurzaamheidswinst project Hoog Burel

Hergebruik 16 liggers in 2 van de 4 overspanningen:

- 72 ton CO₂ bespaard
- 160 ton primaire grondstoffen (grind/zand/cement) bespaard
- De MKI wordt per ligger met 73% gereduceerd en de CO_{2-eq} met 97%
- [Homepage | SBIR Circulaire viaducten Hergebruik Liggers consortium Liggers2.0 \(ireporting.nl\)](#)

19 Hergebruik prefab betonnen brugliggers | 16 oktober 2024



19

Aanbevelingen

- Als beleid "Hergebruik tenzij" invoeren
 - Alle prefab demonteren tbv hergebruik (ipv laagwaardig betonpuingranulaat)
- De waarde van de CO₂ – en grondstoffenbesparing beter waarderen bij aanbestedingen (hogere MKI-waardering)
 - nieuwe set milieu-impact categorieën (EN15804+A2)
 - van €0,05 /kg CO_{2-eq} naar €0,116 /kg CO_{2-eq}
- **Oproep aan beheerders:**
 - Kritisch meedenken vanuit een positieve grondhouding
 - Demontage herbruikbare onderdelen stimuleren (verplichten)
 - Opslagterreinen realiseren

20 Hergebruik prefab betonnen brugliggers | 16 oktober 2024



20

Betrouwbaarheidsniveau

NIEUWE CONSTRUCTIES/ONDERDELEN

- Nieuwbouwniveau CC3 (β=4,3)
- Belastingcombinaties cf EN 1990
- Partiele belastingfactoren cf EN 1990
- Combinatiefactoren cf EN 1990
- Belastingen cf EN 1991 (-2) veelal 100 jaar ontwerplevensduur
- Capaciteit cf EN 1992 (of door proeven ondersteund ontwerp)
- Duurzame veiligheid door SLS

BESTAANDE (aan te passen) CONSTRUCTIES/ONDERDELEN

- Verbouwniveau CC3 (β=3,6)
- Belastingcombinaties cf EN 1990
- Partiele belastingfactoren cf NEN 8700
- Combinatiefactoren cf EN 1990
- Belastingen cf EN 1991 (-2) (toekomstvast) of NEN 8700 (werkelijk/vermoeding) veelal 30 jaar restlevensduur/referentieperiode
- Capaciteit cf EN 1992 of RBK 1.2.1+NEN 8702 (of FIB modelcode) (of door proeven ondersteund ontwerp)
- Duurzame veiligheid door inspectie (en evt. proeven)

21 Hergebruik prefab betonnen brugliggers | 16 oktober 2024



21

Betrouwbaarheidsniveau

BESTAANDE AAN TE PASSEN CONSTRUCTIEONDERDELEN IN NIEUWE CONSTRUCTIES

- Nieuwbouwniveau CC3 (β=4,3)
- Belastingcombinaties cf EN 1990
- Partiele belastingfactoren cf EN 1990
- Combinatiefactoren cf EN 1990
- Belastingen cf EN 1991 (-2) 100 jaar ontwerplevensduur
- Capaciteit cf EN 1992 (of door proeven ondersteund ontwerp)
- Duurzame veiligheid door SLS
- Belastingen cf EN 1991 (-2) (evt. werkelijk toekomstig gebruik) vermoeiing leeftijd+100 jaar
- Capaciteit cf RBK 1.2.1+NEN 8702 (of FIB modelcode) (of door proeven ondersteund ontwerp)
- EN inspectie (en evt. proeven)

22 Hergebruik prefab betonnen brugliggers | 16 oktober 2024



22

IABSE Congress Ghent 2025

"The Essence of Structural Engineering for Society."

August 27-29, 2025

Key Sub-Themes Include:

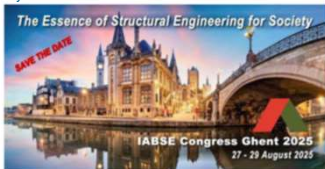
- Structural Safety and Reliability
- Serviceability of Structures
- Deterioration, Monitoring, and Maintenance
- Sustainability and Circularity
- Climate Change and Extreme Loads

Important Deadlines:

- Abstract Submission Deadline: **15 November 2024**
- Acceptance Notification: 15 December 2024

Submit abstracts at: [IABSE - Technical Programme](#)

Don't miss out - submit your abstract now!



LAST and FINAL CALL for Abstract Submissions!

special Young Engineers Program

23 Hergebruik prefab betonnen brugliggers | 16 oktober 2024



23

Vragen?



24 Hergebruik prefab betonnen brugliggers | 16 oktober 2024



24

Demontage van liggers

25 Hergebruik prefab betonnen brugliggers | 16 oktober 2024

25

Matchmaking

- Liggers veilig gesteld uit:
 - A9 GDW: 6 liggers, die oorspronkelijk uitgehesen en gesloopt zouden worden
 - A7 ZRG: 26 liggers die oorspronkelijk in situ gesloopt zouden worden
- **Vraag gestuurd** match gemaakt tussen benodigde liggers in viaduct A1 Hoog Burel en vrijkomende liggers uit KW 21 A7 ZRG (realisatie Q1/23)
- **Aanbod gestuurd** matches gemaakt tussen:
 - Vrijgekomen liggers uit A7 ZRG en brug Oling Appingedam (gerealiseerd)
 - Vrijgekomen liggers uit A9 GDW en viaduct De Groeve, Drenthe (nog verder uit te werken)
- Doelen: zo snel mogelijk matchen, zo kort mogelijke opslag, zo weinig mogelijk aanpassen, zo kort mogelijke transportafstanden

26 Hergebruik prefab betonnen brugliggers | 16 oktober 2024

26

Royal HaskoningDHV
Advies en Ontwerp

27

27

Te oogsten 360 liggers uit kunstwerken A9

28

28

Herinzet kunstwerken kaagbruggen a44

29

29