



Hergebruik prefab T-liggers (2)

Demonteren en aanpassing liggers
voor toepassing in nieuw viaduct



Royal HaskoningDHV heeft samen met partners onderzocht of het mogelijk is geprefabriceerde betonnen T-liggers met druklaag uit bestaande bruggen en viaducten te hergebruiken voor nieuwe bruggen en viaducten. Dit naar aanleiding van de SBIR Circulaire Viaducten. In een haalbaarheidsonderzoek [1] is de technische haalbaarheid aangetoond. Vervolgens is het nodig de liggers daadwerkelijk te demonteren en eventueel aan te passen voor een nieuwe toepassing.

In het eerste artikel van dit tweeluik werd aangegeven dat bestaande fabrieksmatig geproduceerde omgekeerde T-liggers (railbalkliggers) met een druklaag kunnen voldoen aan alle gestelde eisen in de vigerende normen en richtlijnen. De toegepaste liggers blijken te voldoen op basis van de toetsing conform Eurocode en ROK v1.4 voor toepassing in viaducten voor Rijkswaterstaat op het beoordelingsniveau nieuwbouw met gevolgklasse CC3 voor een ontwerplevensduur (restlevensduur) van 100 jaar. Dit tweede deel gaat over het demonteren en aanpassen van de liggers en geeft een economisch perspectief voor hergebruik.

Demonteren van prefab liggers

De eerste stap is het delven van liggers uit een bestaande constructie. In de huidige praktijk worden de liggers gesloopt met een grote sloophamer en een betonbreker. Dit is een goedkope manier om een kunstwerk te verwijderen. Bovendien is de tijd die nodig is voor de sloop zeer kort, zodat de hinder voor het verkeer onder de constructie wordt beperkt tot ongeveer één dag per overspanning.

Het minimaliseren van verkeershinder staat tegenwoordig centraal in contracten. Het afbreken van een viaduct door het

demonteren van liggers mag niet meer verkeershinder opleveren, de uitvoeringstermijn mag niet toenemen en het verkeer mag niet worden beperkt door hulpconstructies of bijvoorbeeld het koelwater dat met zagen wordt gebruikt.

De in het werk gestorte druklaag verbindt de omgekeerde T-balken (fig. 2). Deze druklaag kan doormidden worden gezaagd. Met een zaagblad is in één zaagsnede een diepte tot 30 cm mogelijk. Voor de in-situdruklaag, die altijd dunner is dan 30 cm, is één snede dus altijd afdoende.

Zowel in het verleden als tegenwoordig worden constructies met een omgekeerde T-ligger met druklaag voorzien van (eind-)dwarsdragers. Ongeveer de helft van de bestaande constructies met een omgekeerde T-ligger zijn bovendien ter plaatse van de tussensteunpunten statisch onbepaald gemaakt. Dit was ook het geval bij de steunpunten van de liggers uit het donorproject in Groningen.

Bij grotere overspanningen vanaf 20 m bedraagt de constructiehoogte meer dan 90 cm. Dit is te hoog voor het zagen met een zaagblad. De dwarsdragers moeten in die gevallen worden losgemaakt door overlappend kernen te boren of te zagen met een lintzaag. Het gebruik van een lintzaag is alleen mogelijk als het lint om de dwars-

auteurs



IR. ROB VERGOOSSEN

Expert Bruggen
Royal HaskoningDHV



ING. GERT-JAN VAN ECK PMSE

Projectleider /
Technisch Manager
Royal HaskoningDHV



IR. DANNY JILISSEN

Constructeur
Royal HaskoningDHV

drager kan worden gewikkeld. In alle gevallen is het mogelijk de dwarsdragers uit elkaar te halen met een reeks overlappende verticaal geboorde cilinders (foto 3), van boven naar beneden tussen elke ligger. Het voordeel van boren is dat het benodigde koelwater ongehinderd naar beneden stroomt buiten het wegverkeer. Tijdens het zagen met een bladzaag ontstaat er een waterstraal in de zaagrichting.

Voor het losmaken van de liggers is voor gangbare brugdekbreedtes ongeveer een week per veld nodig voordat de liggers daadwerkelijk worden gedemonteerd. Andere typen geprefabriceerde dekconstructies die geen dwarsdragers hebben, zijn veel eenvoudiger, sneller en goedkoper te demonteren.

Na demontage worden de liggers op een vrachtwagen gehesen en naar een opslagplaats getransporteerd. Randliggers zijn door de randconstructie met schamkant veelal een stuk zwaarder. Zowel voor het benodigde transport als voor de kraan capaciteit kan dit maatgevend zijn.

Aanpassen van bestaande liggers

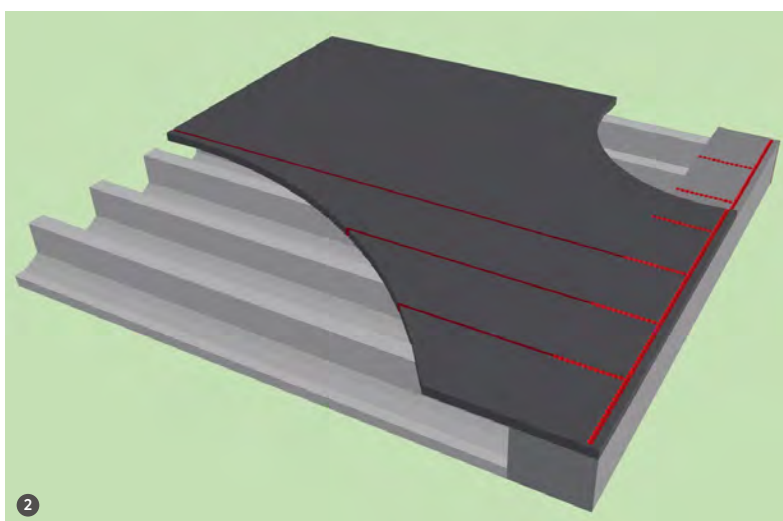
Op een opslagterrein worden de liggers geschikt gemaakt voor toekomstige gebruik. Dit kan bestaan uit het verwijderen van de in-situdelen zoals de druklaag en de einddwarsdrager, het aanpassen van de kruisingshoek, het inkorten van de liggerlengte en het aanbrengen van hijsgaten of spar-

gen voor de wapening van een nieuwe einddwarsdrager. Deze activiteiten komen achtereenvolgens aan bod.

Verwijderen van in-situdelen De druklaag op de omgekeerde T-liggers wordt verwijderd zodat in het nieuwe viaduct een nieuwe druklaag conform Eurocode nieuwbouw kan worden aangebracht. Door het verwijderen van de druklaag met behoud van de aansluitwapening, komt de oorspronkelijke ligger weer tevoorschijn. De kwaliteit van het aansluitvlak tussen de liggers en de druklaag blijkt voor liggers uit diverse viaducten te verschillen. De ruwheid van het originele schuifvlak en de sterkte van de in-situdruklaag zijn de belangrijkste parameters die de hechtsterkte beïnvloeden.

Meerdere technieken voor het verwijderen van de druklaag zijn in de praktijk uitgeprobeerd op verschillende liggers. De goedkoopste methode is het gebruik van een hydraulische hamer (foto 4). Slopen met hogedruk waterstralen en zagen is ook overwogen, maar dit brengt hoge kosten met zich mee en je houdt er vervuild water aan over.

Bij een lage hechtsterkte kan de druklaag met een zware hydraulische hamer worden verwijderd zonder beschadiging van de ligger (foto 5). Maar bij een goede aanhechting tussen de ligger en de druklaag, kunnen bij het verwijderen van de druklaag met zwaar materieel betonschollen van het



Bij constructiehoogtes van meer dan 90 cm moeten dwarsdraggers worden losgemaakt door overlappend kernen te boren of te zagen met een lintzaag



TWEELUIK

Dit artikel is het tweede deel van een tweeluik over de innovatie 'Hergebruik Prefab Liggers'. In dit artikel ligt de nadruk op de aanpassing van de liggers voor toepassing in het te realiseren viaduct Hoog Burel over de A1 voor Rijkswaterstaat. Het eerste deel [1] ging over het haalbaarheidsonderzoek en de algemene uitgangspunten.

liggerlijf worden afgedrukt. Door gebruik te maken van een lichtere hydraulische hamer en meer tijd te nemen, is verwijderen van de druklaag zonder grote beschadigingen mogelijk (foto 5 en foto 6). Een incidentele beschadiging in de vorm van een afgedrukte schol waar onvoldoende dekking op de beugelwapening resteert, is met traditioneel betonherstel conform BRL 3201 te herstellen.

Indien een goede hechting tussen de bestaande druklaag en de ligger aanwezig is, hoeft niet al het beton van de druklaag te worden verwijderd. Het is constructief voldoende als de uitstekende aansluitwapening meer dan 6 cm vrij is van het betonoppervlak. Deze aansluitwapening steekt regulier ongeveer 10 cm boven het betonoppervlak uit, zodat circa 4 cm beton met goede aanhechting →

4 Verwijderen van de druklaag met lichte hydraulische hamer

5 Resultaat van het verwijderen van de druklaag voor een ligger met lage hechtsterkte

6 Resultaat van het verwijderen van de druklaag voor een ligger met hoge hechtsterkte maar met licht materieel

Het meest circulaire resultaat is een nieuwe constructie met dezelfde lengte van de liggers en (bijna) dezelfde kruisingshoek

SBIR CIRCULAIRE VIADUCTEN

Het consortium met Royal HaskoningDHV is met de innovatie 'Hergebruik Prefab Liggers' als eerste van drie partijen gekwalificeerd om naar aanleiding van de SBIR Circulaire Viaducten (Strategic Business Innovation Research) van Rijkswaterstaat een prototype van een circulair viaduct te realiseren.

Het consortium wil als Combinatie Liggers 2.0 de innovatie ook een commercieel vervolg geven. De partners binnen dit consortium zijn naast Royal HaskoningDHV: Dura Vermeer, Vlasman Sloopwerken en Haitsma Prefab Beton, waarbij SGS als partner de kwaliteitsverklaring uitgeeft.

Meer over SBIR Circulaire Viaducten staat in het artikel 'Hergebruik liggers A9', elders in dit nummer.

kan blijven zitten. Het horizontale bovendeel van de beugel wordt soms beschadigd door de sloophamer tijdens het verwijderen van het beton. Viaduct Hoog Burel wordt uitgevoerd als een statisch bepaald systeem.

Hierdoor zijn in dit project de verticale delen (poten) van de beugel voldoende voor de overdracht van schuifkrachten (deuvelwerking).

Een alternatief is onderzocht waarbij de originele druklaag volledig behouden blijft en een nieuwe doorlopende druklaag erbovenop wordt gestort. Dit is het ultieme principe van circulariteit, *rethink the needs*. Het nadeel van het behouden van de originele druklaag is de toename van de totale constructiehoogte. De voordelen zijn meer moment- en dwarskrachtcapaciteit en besparing op beton voor een nieuwe druklaag. In gevallen waar de constructiehoogte geen harde randvoorwaarde is, is dit wellicht een optie. Hierbij is het belangrijk dat de druklaag van goede kwaliteit is. Omdat de druklaag in het werk is gestort, is de kwaliteit hierdoor minder gewaarborgd dan bij de prefab liggers uit de fabriek. Hoewel de kwaliteit van de druklaag op de liggers uit Groningen in het algemeen goed is, zijn er toch op enkele locaties grindnesten gevonden. Deze grindnesten zijn met name aan de onderzijde van de druklaag aangetroffen. Hergebruik van de druklaag kan hierdoor pas worden bevestigd na het uitvoeren van een inspectie en onderzoek na demontage van de liggers.

Aanpassen van de kruisingshoek Veel van de omgekeerde T-liggers zijn geproduceerd door de Nederlandse Spanbeton Maatschappij (N.S.M.) en haar opvolgers (Spanbeton). Deze waren gestandaardiseerd en hadden vier verschillende uitvoeringen voor de vorm en kopwapening aan de uiteinden. Met die vier uiteinden zijn alle kruisingshoeken mogelijk. Uit een data-analyse van constructies van Rijkswaterstaat blijkt dat ruim de helft van de liggerconstructies liggers heeft van Spanbeton. Bij de oudere viaducten van voor 1976 is dit percentage nog hoger. Uit diezelfde analyse blijkt ook dat 70% van de liggerconstructies een kruisingshoek heeft van meer dan 70°, waardoor deze met een-

zelfde kopdetail zijn uitgevoerd. Omdat ook nu de meeste viaducten worden aangelegd met een kruisingshoek groter dan 70° is in veel gevallen aanpassing van de kruisingshoek derhalve niet noodzakelijk. Voor liggers zonder dit detail is aanpassing van de kruisingshoek in de meeste gevallen mogelijk door alleen het afzagen van een driehoekje van de onderflens. Dit kan veelal met een bladzaag worden uitgevoerd.

Er is onderzocht en getest of het verder aanpassen van de kruisingshoek ook mogelijk is. Met een lintzaag (foto 7) is de kruisingshoek van een ligger verkleind van 80° naar 60°. Geconcludeerd is dat het zagen zonder schade aan de ligger goed mogelijk is. Hierbij is het belangrijk dat vooraf voldoende ondersteuning wordt aangebracht om het voortijdig losbreken van het af te zagen deel te voorkomen. Ook is de zaagrichting van belang vanwege de spanningen die in de ligger aanwezig zijn en met het oog op uitbreken van het laatste stuk.

Inkorten van liggers Het meest circulaire resultaat wordt verkregen als op korte transportafstanden en (vrijwel) direct na de demontage van de oude constructie een nieuwe constructie met dezelfde lengte van de liggers en (bijna) dezelfde kruisingshoek nodig is. Dit is echter op dit moment nog zelden het geval. Het meest circulair is dan om het ontwerp van de nieuwe constructie zoveel mogelijk af te stemmen op de beschikbare liggers. Als de liggers moeten worden aangepast aan het ontwerp dan is inkorten en aanpassen van de kruisingshoek goed mogelijk.

Voor het inkorten is het belangrijk om het productieproces te kennen. Bij het produceren van een ligger wordt deze binnen 16 uur na het storten uit de bekisting gehaald en komt hij onder voorspanning. De sterkte van het beton is op deze korte leeftijd niet voldoende voor de slijtspanningen uit deze voorspanning. Daarom wordt slijtwapening in de uiteinden van deze liggers aangebracht.

Door het inkorten van de liggers is deze slijtwapening niet beschikbaar in het liggereind van de ingekorte ligger. Door krimp en kruip van het beton en relaxatie

van het staal is de werkspanning in een bestaande ligger na ongeveer 30 jaar circa 25% minder dan na 16 uur. Bovendien neemt de gemiddelde treksterkte van het beton in de loop van de tijd toe tot ongeveer 4,5 MPa, in plaats van minder dan 2 MPa na 16 uur.

Met deze waarden is de overdrachtslengte van een zevendraads streng van 12,9 mm berekend met Eurocode 2 formule 8.16. Hieruit volgt een overdrachtslengte na ongeveer 30 jaar van $l_{pt} = 500$ mm. De optredende hoofdtrekspanning (σ_t) direct na het inkorten van de ligger is met een 2D-FEM-model met schaalementen voor 2D-spanningen onderzocht en met een handmatige berekening geverifieerd. In deel 1 [1] is dit reeds beschreven en geconcludeerd dat het beton de hoofdtrekspanningen kan opnemen. Inmiddels zijn 17 liggers aan beide zijden met circa 2,5 m ingekort, waarbij conform berekening geen scheurvorming is opgetreden.

In het zaagvlak, zowel bij het inkorten als bij het aanpassen van de kruisingshoek, komen de voorspanstrengen en mogelijk

ook de beugelwapening bloot of op onvoldoende dekking te liggen, deze moeten (net als bij nieuwe liggers) worden beschermd om aantasting te voorkomen.

Gaten voor einddwarsdragers en/of hijsgaten Soms zijn in een brug einddwarsdragers aanwezig. De belangrijkste (potentiele) functies daarvan zijn: het brugdek vrijzwaar maken ter vervanging van oplegblokken en robuustheid in het geval van een aardbeving of aanrijding. Het meest circulaire ontwerp bij hergebruik van liggers kan worden bereikt door het weglaten van een einddwarsdrager. Dit resulteert in minder materiaalgebruik en bespaart veel tijd, geld en emissies. Het is gangbaar om bij het constructieve ontwerp van een dek geen rekening te houden met de aanwezigheid van einddwarsdragers.

Bij kunstwerken met een kleine kruisingshoek, bijvoorbeeld onder de 70°, is een einddwarsdrager voor de krachtsverdeling constructief noodzakelijk. Ook komt het →



SAMENWERKING

Het onderzoek wordt voornamelijk uitgevoerd in het kader van de subsidie SBIR van Rijkswaterstaat. Het werk van de consortiumpartners Dura Vermeer, Vlasman Sloopwerken, SGS en Haitsma Prefab Beton wordt zeer gewaardeerd. De liggers van het beschreven onderzoek zijn beschikbaar gesteld door IXAS Gaasperdammerweg en Aannemer Combinatie Herepoort.

Voor de meeste viaducten is het op dit moment goedkoper te kiezen voor reguliere sloop en het maken van nieuwe liggers

voor dat vanuit de eisen vanuit vormgeving of eisen aan opleggingen een oplegging onder elke ligger niet wenselijk of mogelijk is, waardoor een indirecte oplegging in de einddwarsdrager noodzakelijk is. Voor de hoofdwapening in deze einddwarsdrager worden bij nieuwe liggers sparingen in de liggers aangebracht. In de bestaande liggers zijn deze gaten (na inkorten) niet aanwezig of niet op de juiste locatie.

In het nieuwe viaduct Hoog Burel was het nodig de liggers indirect op te leggen in de einddwarsdrager. Hierdoor moest er veel wapening door de liggers onder een hoek van 60° (de kruisingshoek van het viaduct) kunnen worden doorgevoerd. Het boren van deze gaten is in verschillende varianten getest, waarbij rekening is gehouden met de aanwezige beugels en voorspanning.

Hoewel de liggers rekenkundig geen dwarskrachtwapening nodig hebben, was een uitgangspunt dat de beugels in het lijf moesten worden behouden. Deze beugels staan in de basis op een afstand van 300 mm hart-op-hart uit elkaar. De (schuine) boorgaten moeten hier tussendoor worden aangebracht. Uiteraard mogen de voorspanstrengen ook niet worden beschadigd door het boren van de gaten. Vanuit de verschillende mogelijkheden is het beste resultaat verkregen door gaten met kleine diameter van Ø90 mm toe te passen evenwijdig aan de kruisingshoek (fig. 8 en 9, foto 10). Om het aantal gaten te verminderen, is het gunstig om de gaten zo laag mogelijk te boren; de inwendige hefboomsarm (z) is dan immers het grootst. In de meeste gevallen is het mogelijk om tussen de horizontale strengen in de onderflens en de neergaande strengen in het lijf te boren (fig. 8 en 9). Op eenzelfde wijze is ook een hijsgat te boren. Een hijsgat moet echter altijd loodrecht op de liggeras worden geboord; hierdoor is dit relatief eenvoudiger.

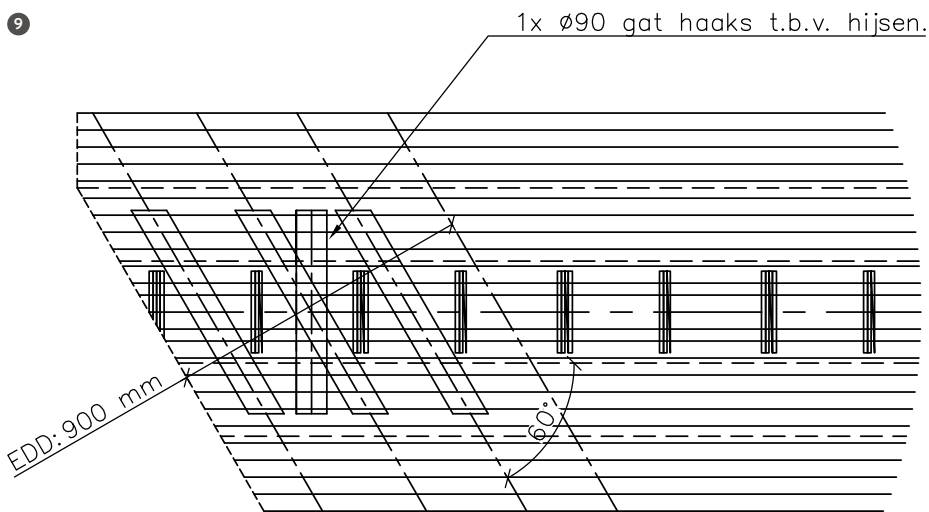
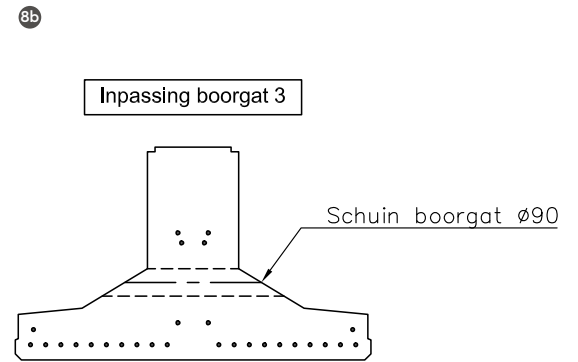
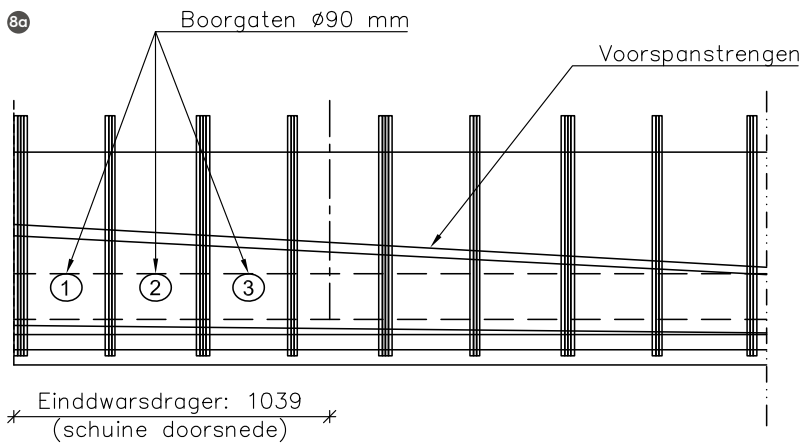
Kwaliteitsverklaring hergebruikte liggers

Om duurzame viaducten te realiseren waarbij de constructieve veiligheid en de levensduur zijn geborgd, moeten liggers die zijn geogst uit bestaande kunstwerken en zijn aangepast, worden gekeurd. Indien liggers

worden goedgekeurd, kunnen deze worden voorzien van een kwaliteitsverklaring. De keuring en kwaliteitsverklaring worden uitgevoerd en afgegeven door een externe partij (in dit project SGS Intron). Het doel van de eindkeuring is om vast te stellen in hoeverre de aangepaste liggers gebreken of afwijkingen bevatten, die moeten worden hersteld of aangepast voordat ze geschikt zijn voor hergebruik.

In de eindkeuring van de liggers uit het donorviaduct uit Groningen is beoordeeld op diverse punten, waarbij de beoordelingscriteria zijn afgeleid van Eurocode 2, NEN-EN 13369 en NEN-EN 15050 (en ROK v1.4). De liggers zijn identificeerbaar door een unieke codering, die zichtbaar op de liggers is aangebracht, in verband met het transport en het legplan. De lengte van de liggers na het inkorten is gemeten en gecontroleerd is of deze binnen de gestelde toleranties valt. Elke ligger is visueel geïnspecteerd op zichtbare restschades. Indien deze zijn waargenomen zijn de schades vastgelegd en aangegeven of de schades moeten worden hersteld. In de eindinspectie is beoordeeld of de uitgevoerde herstellingen naar behoren zijn uitgevoerd. Reparatieplekken zijn gecontroleerd op mogelijke afwijkingen, zoals holle plekken en krimpscheuren. De ruimte tussen de bovenzijde van het lijf, of resten van de druklaag, en de onderzijde van de vrijgemaakte beugels en haarspelden is gecontroleerd. Per ligger is geteld hoeveel beugels en haarspelden (aansluitwapening) zijn beschadigd bij het verwijderen van de oude druklaag. Hierbij is onderscheid gemaakt in verbogen beugels, gebroken beugels en gedeukte beugels. Op basis van berekeningen is voor elke locatie in de ligger bepaald hoeveel beugels of haarspelden tekortkomingen mogen hebben. De betondekking is steekproefsgewijs gecontroleerd. Het lijf van de liggereinden die indirect worden opgelegd in de einddwarsdrager is opgeruwd. Gecontroleerd is of bij het boren van de gaten in de liggereinden geen beugelwapening is geraakt.

Uiteindelijk zijn alle liggers goedgekeurd en voorzien van een kwaliteitsverklaring. De liggers zijn gereed voor toepassing in het nieuwe viaduct Hoog Burel. →



- 8 Langsdoorsnede over de as van de ingekorte ligger met voorspanning en beugel-/aansluitwapening (a) en dwarsdoorsnede met voorspanning t.p.v. boorgat 3 (b)
- 9 Bovenaanzicht ingekorte ligger met voorspanning, beugel-/aansluitwapening en boorgaten
- 10 Boren van een schuin gat t.b.v. de onderwapening van de einddwarsdrager

Economisch perspectief hergebruik

De kosten van hergebruik van liggers zijn projectspecifiek en afhankelijk van de situatie van het donorviaduct en het te realiseren viaduct. Voor het hergebruik van de liggers uit Groningen is specifiek gekeken naar de kosten. De beschreven relatieve kosten zijn gebaseerd op de kosten vanaf het demonteren van de liggers uit het donorproject tot en met de modificatie en keuring van de liggers op het opslagterrein.

Ongeveer de helft van de kosten zat in het demonteren, hijsen en transporteren van de liggers naar het opslagterrein. Alle aanpassingen aan de liggers, zoals eerder beschreven, nemen ruim 20% van de relatieve kosten in beslag. De laatste grote bijdrage zijn de kosten voor opslag.

De liggers uit het donorviaduct waren statisch onbepaald. Hierdoor was veel tijd en dus geld nodig om ze te demonteren. Liggers uit statisch bepaalde donorviaducten kosten fors minder door lagere demontagekosten. Bovendien geldt voor liggers die niet traditioneel kunnen worden gesloopt, dat er geen meerkosten zijn voor demontage en hijsen. Omdat het donorviaduct in Groningen stond en de liggers over ruim 150 km moesten worden getransporteerd, waren de

transportkosten ook relatief hoog. Indien donorviaduct en gastviaduct dichterbij elkaar liggen nemen de kosten en de daarmee gemoeide MKI kosten/CO₂-uitstoot af.

Omdat de liggers voor het gastproject fors moesten worden ingekort en veel voorzieningen voor de eindwarsdragers moesten worden aangebracht (boorgaten, hijsgaten en boucharderen), zijn ook de kosten voor aanpassing relatief hoog. Als ontworpen wordt met beschikbare elementen, valt direct meer dan 10% op de kosten voor hergebruik te besparen.

Voor de meeste viaducten is het op dit moment goedkoper te kiezen voor reguliere sloop en het maken van nieuwe liggers. Voor viaducten die niet regulier kunnen worden gesloopt omdat een spoorlijn of niet tijdelijk te stremmen water onder het viaduct aanwezig is, geldt wel dat deze liggers goed economisch herbruikbaar zijn.

De veel gebruikte Milieukostenindicator (MKI-waarde) levert op dit moment voor de meeste projecten te weinig voordeel op om het verschil met de lineaire werkwijze te compenseren. Op een nieuwe ligger is de MKI-waarde maar ongeveer 10% van de kosten van de ligger. Wanneer de opdrachtgevers invulling willen geven aan de ambitie



om circulair te zijn en hergebruik te stimuleren, dan zal het toepassen van een boete, verwijderingsbijdrage of bonus nodig zijn om hergebruik ten opzichte van de lineaire werkwijze economisch rendabeler te maken. Als opdrachtgevers voorschrijven dat geprefabriceerde liggers gedemonteerd en voor hergebruik moeten worden getransporteerd naar een opslag, zorgt dit voor een positieve impuls. Immers een zeer groot deel van de kosten voor hergebruik zitten al in demonteren, hijsen en transport. Zo'n eis is bovendien eenvoudig te implementeren in de contracten.

Discussie

Het slopen van de dwarsdragers ter plaatse van de steunpunten van de liggers is één van de werkzaamheden die veel tijd en kosten vergt. Daarom is onderzocht waarom deze dwarsdragers worden toegepast. Het blijkt dat de meeste functies van deze dwarsdragers door andere constructie-elementen kunnen worden overgenomen. Voorgesteld wordt om deze in-situ dwarsdrager weg te laten in zowel de constructies met hergebruikte elementen als in nieuwe constructies. Dit is de implementatie van het hoogste niveau van circulariteit, *niet doen wat niet echt hoeft*, en het vinden van niet-materiële oplossingen. Hierdoor wordt het bouwen van een nieuwe constructie en toekomstige demontage ervan eenvoudiger, sneller en goedkoper. Ook liggers statisch bepaald toepassen (evt. met een buigslappe voeg ter plaatse van tussensteunpunt) vermindert de kosten van demontage. Daarom een oproep aan de ontwerpers van nieuwe viaducten om al bij het ontwerp rekening te houden met demontage (*end-of-life-scenario*).

Het inkorten en aanpassen van de kruisingshoek van bestaande liggers is, zoals beschreven, mogelijk. Beter is het om nieuwe constructies te ontwerpen met beschikbare (lengte van) liggers. Hergebruik van bestaande liggers moet al in de ontwerpfase van nieuwe viaducten en bruggen worden meegenomen. Dit is vaak al in de (ontwerp)tracébesluitfase. In die fase worden namelijk de overspanningen en constructiehoogten door

bepaling van kunstwerkvlakken en alignementen vastgelegd. In planologische procedures zal men dus al ruimte moeten houden voor toepassing van hergebruikte liggers en het programma van eisen moet worden aangepast op beschikbare liggerlengtes. Door de overspanning en constructiehoogte in het ontwerp op vrijkomende liggers aan te passen, kan de doorlooptijd voor het aanpassen en daarmee de kosten tot een minimum worden beperkt. Ontwerpers en constructeurs worden uitgedaagd om het huidige ontwerp principe, dat uitgaat van een minimale constructiehoogte en een minimale overspanning, te veranderen in het circulair ontwerpen met beschikbare elementen.

Toekomstig hergebruik

Binnen het consortium Liggers 2.0 is men van mening dat het niet ophoudt bij het hergebruiken van omgekeerde prefab T-liggers. Zo is onderzocht of ook de bestaande druklaag kan worden hergebruikt. Ook de doorontwikkeling van een prefab dwarsvoerspanning toplaag wordt onderzocht. Op deze manier zijn de hergebruikte liggers na hun tweede levenscyclus makkelijker te demonteren en in te zetten voor een derde leven. Hergebruik van T-contactliggers is eveneens onderzocht. Deze liggers zouden door toepassing van nieuwe dwarsvoerspanning kunnen worden hergebruikt. Samen met een afstudeerder is onderzocht of ook de prefab kokerliggers [2] kunnen worden hergebruikt.

Conclusies

Geconcludeerd wordt dat liggers uit een bestaand liggerviaduct zowel rekenkundig als in de praktijk kunnen worden gedemonteerd, de druklaag zonder beschadigingen kan worden verwijderd, de liggers kunnen worden ingekort en de kruisingshoek kan worden aangepast. Tevens is het mogelijk om nieuwe gaten aan te brengen voor de wapening in nieuwe einddwarsdragers. Dit is een van de eerste stappen in de toepassing van grootschalig en hoogwaardig hergebruik van constructieve elementen. Hiermee is een belangrijke stap te maken naar de ambitie om in 2030 circulair te zijn. ●

LITERATUUR

- 1 Vergoossen, R., Eck, G.-J. van en Jilissen, D., Hergebruik prefab T-liggers (1), Haalbaarheidsonderzoek en uitgangspunten SBIR-consortium Liggers2.0. *Cement* 2022/6, p. 18-26.
- 2 Haarsma, D., Structural Assessment on the reusability of existing prestressed SDK900 girders in new bridges, Master-Thesis TU Delft.