



Zes integraal kunstwerken in de N421 tussen Houten en de A12

De uitdagingen van een integraal constructie

Voor een verbeterde ontsluiting vanuit Houten is tussen de Rondweg Houten en de A12 de N421 gerealiseerd. In het werk zitten zeven kunstwerken, waarvan er zes zijn uitgevoerd als integraal constructie. Integraal kunstwerken kennen een aantal grote voordelen maar zijn in sommige opzichten complex, zeker als het gaat om schuine kruisingshoeken.

ir. Rik Cederhout, ing. Nick Elbers, ir. Bart Versteeg

Royal HaskoningDHV

ir. René Houdijk

Dura Vermeer

De zes integraalconstructies in de N421 betreffen twee onderdoorgangen, twee bruggen en twee viaducten. Ze hebben allemaal relatief beperkte overspanningen van maximaal 15 m. Dat maakt deze kunstwerken uiterst geschikt om als integraalconstructie uit te voeren. Bij een integraal kunstwerk is het brugdek met het landhoofd geïntegreerd en zijn er dus geen voegovergangen en oplegblokken aanwezig. De laatste jaren is de toepassing van integraal constructies in de infrastructuur enorm toegenomen. Reden is vaak dat voegconstructies en oplegblokken en het bijbehorende onderhoud achterwege kunnen blijven. Door het ontbreken van de oplegblokken kan bovendien het landhoofd smaller worden uitgevoerd. Daarnaast kan, vanwege de inklemming in het landhoofd, het dek slanker worden uitgevoerd dan bij een traditioneel opgelegd dek. Het slanker construeren van het landhoofd resulteert uiteindelijk in een kortere overspanning. Het toepassen van integraalconstructies is met name geschikt bij het gebruik van volstortliggers en niet te grote overspanningen. In dat geval kan relatief eenvoudig de zware wapening ten behoeve van de verbinding landhoofd - dek worden opgenomen. Bij grotere overspanningen dienen andere liggertypes toegepast te worden waarbij het opnemen van de wapening moeilijk is. Bovendien zal bij grotere overspanningen de wapening ten behoeve van de verbinding landhoofd en dek te zwaar worden.

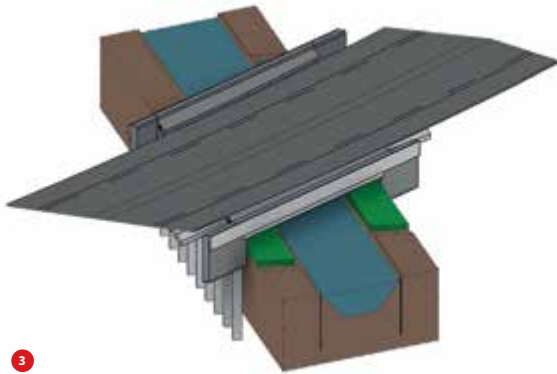
Overzicht kunstwerken

De zes integraal kunstwerken betreffen (van zuid naar noord) KW1 t/m KW6 (fig. 5). KW1 betreft de onderdoorgang van het fietspad langs de Rondweg Houten, die de N421 onderlangs kruist. Het dek bestaat uit een enkele overspanning met een lengte van 10,5 m en een kruisingshoek van 90°. Het dek is geïntegreerd in de wanden van de onderdoorgang. KW2 en KW4 zijn twee bruggen met een enkele overspanning van 15 m respectievelijk 10,5 m. Beide kunstwerken

- 1 Kruising van de N421 met de streekweg 'Achterdijk' en de naastgelegen fietspaden
- 2 DO ontwerp KW 3
- 3 DO ontwerp KW 2
- 4 Dwarsdoorsnede KW3



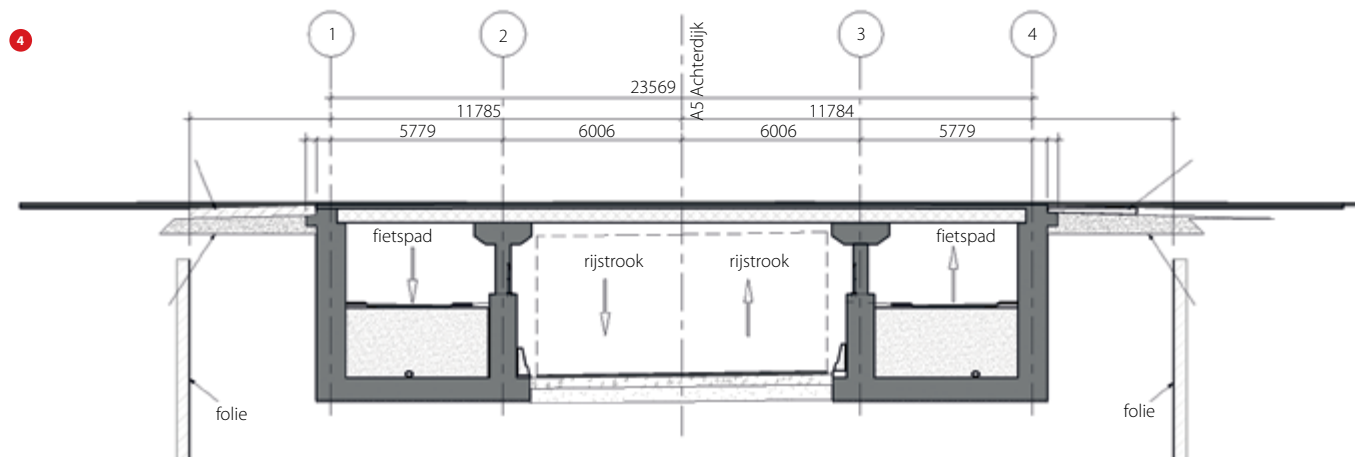
2



3

kruisen de Rietsloot onder een scherpe hoek van respectievelijk 41° en 68°.

KW3 betreft de kruising van de N421 met de streekweg Achterdijk en de naastgelegen fietspaden, die hier onder de nieuwe weg doorlopen (foto 1). Deze onderdoorgang bestaat uit drie velden met een overspanning van respectievelijk 5,8 m, 12,1 m





en 5,8 m. De dekken hebben een kruisingshoek van 45° en zijn integraal verbonden met de tussensteunpunten en de langswanden.

KW5 en KW6 (foto 6) zijn twee identiek naast elkaar gelegen integraal viaducten over de onderdoorgaande Parallelweg, vlak voor de aansluiting met de A12 (KW8). Deze viaducten hebben beide twee velden van 14 m en een kruisingshoek van 85° . Om de paalkopmomenten te beperken, zijn de landhoofden uitgevoerd als 3,5 m hoge wanden. De wanden zijn gefundeerd op een enkele palenrij.

Deze kunstwerken, KW1 t.m. KW6, zijn uitgevoerd met volstortliggers. Daarbij wordt met prefab-betonliggers een massief brugdek samengesteld. Na het plaatsen van de liggers wordt tussen en op de liggers een druklaag aangebracht (fig. 7). In dit geval zijn de liggers integraal verbonden met de landhoofden. De landhoofden hebben een breedte variërend van 750 mm tot 950 mm en zijn gefundeerd op een enkele rij funderingspalen. De onderdoorgangen (KW1 en KW3) zijn gefundeerd op staal.

Uitdagingen

De constructieve uitwerking kende voor alle kunstwerken min of meer identieke uitdagingen. Het ging hier vooral om de scheve kruisingshoek tussen de overgaande en onderdoorgaande (water)wegen in combinatie met het integrale karakter van de kunstwerken. Ook de interactie tussen de liggers en de



6

wapening bij de aansluiting met de landhoofden leidde tot de nodige hoofdbreken.

Kruisingshoek

In een aantal situaties kruist de N421 de onderliggende infrastructuur onder een bijzonder scherpe hoek tot wel 41° . Dit zorgt voor zowel een stompe als een scherpe hoek bij de uiteinden van het dek. Door de combinatie van de relatief korte dekken met een scherpe kruisingshoek trekt de stompe hoek veel krachten naar zich toe, waardoor met name het moment ter plaatse van de aansluiting van het dek op het landhoofd hoog is. Bij de scherpe hoek wordt juist een grote trekkracht gevonden door verhinderde vervormingen, door temperatuurwisselingen en krimp/kruip van het dek.

Hoge wapeningsconcentraties

Door de grote snedekrachten ter plaatse van de stompe en scherpe hoek is er lokaal veel wapening benodigd om de belastingen vanuit het dek af te kunnen dragen naar de landhoofden. Bij deze aansluitingen is echter beperkte ruimte aanwezig. De onderbouw van de landhoofden is als eerste gestort, inclusief de stekken uit de landhoofden om de belasting vanuit het dek over te dragen. De lengte van deze stekken is beperkt door de plaatsing van de prefab liggers. De ruimte boven de oplegging moet vrij worden gehouden voor het inhijzen van de liggers. Gevolg is dat er een beperkte overlappingslengte ontstaat tussen de stekken en de wapening uit het dek (fig. 8).

5 Ligging zes kunstwerken

7 Brugdek opgebouwd uit volstortliggers

6 Kunstwerk 5 en 6

8 Verbinding dek – landhoofd



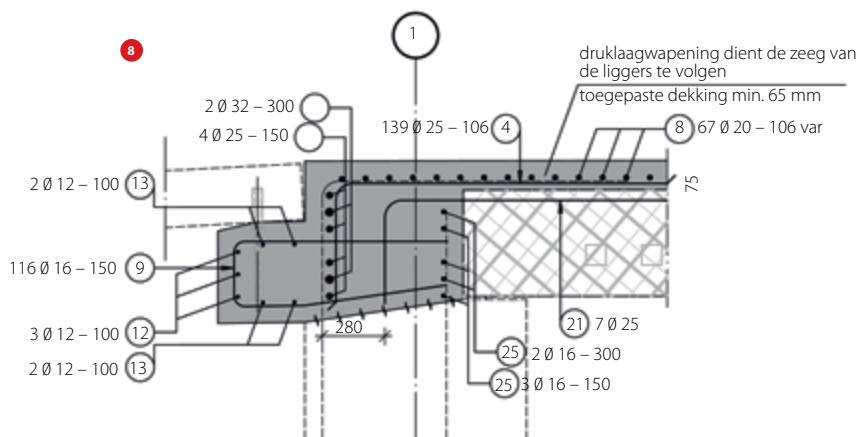
7

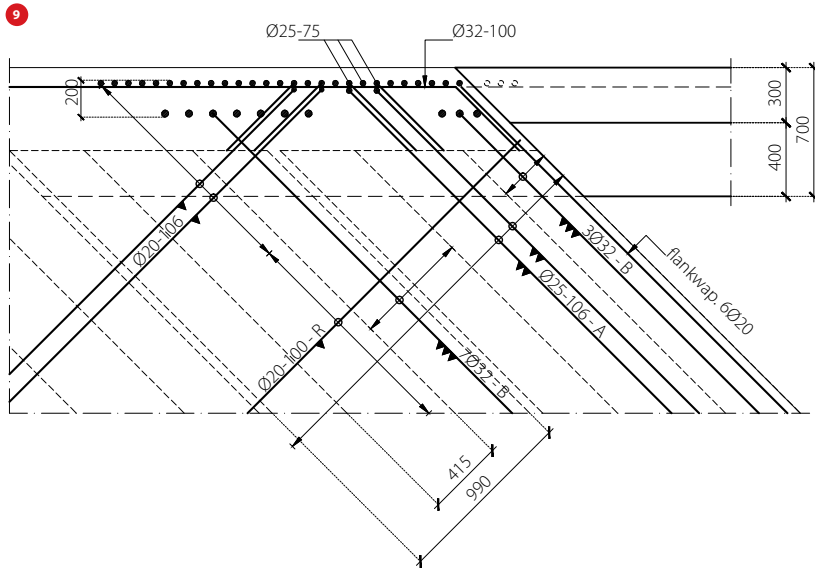
Daarnaast worden alle overlappingslassen op dezelfde afstand aangebracht; verspringend lassen is door de beperkte beschikbare ruimte niet mogelijk. Hierdoor moet er met een extra toeslag op de overlappingslengte worden gerekend (factor α_6 uit artikel 8.7.3 uit Eurocode 2), boven op de toeslag in verband met de overlapping ter plaatse van de bovenstaven. Door de combinatie van hoge belastingen en een beperkte beschikbare overlappingslengte is de inpassing van de wapening ter plaatse van de aansluiting van landhoofdbalk en dek erg complex.

De volgende uitdaging is de tussenruimte tussen de wapeningsstaven bij de overgang tussen dek en het landhoofd ter plaatse van de overlappingslassen. Doordat alle overlappingslassen op dezelfde afstand zijn geplaatst en er wapeningsstaven met grote diameter ($\text{Ø}25 / \text{Ø}32$) zijn toegepast, blijft er weinig ruimte over om het beton te verdichten (fig. 8). Dit punt is als specifiek aandachtspunt meegegeven met de uitvoering, waardoor een aangepaste betonsamenstelling is toegepast.

Wapeningsrichting in het dek

De wapening in de druklaag wordt bij voorkeur evenwijdig aan de brugassen uitgevoerd: in de langsrichting evenwijdig aan de overgaande wegas, in de dwarsrichting evenwijdig aan de onderdoorgaande wegas. Op deze manier kunnen de staven over de volledige breedte en lengte worden toegepast, waardoor staven met een variabele lengte worden beperkt. Bij een





- 9 Wapeningssschets stompe hoek KW3
- 10 Wapeningsconfiguratie scherpe hoek KW3 (doorsnede frontwand en vleugel), dek sluit aan op onderzijde afbeelding)
- 11 Wapeningsconfiguratie stompe hoek KW3 (doorsnede frontwand en vleugel), Dek sluit aan op onderzijde afbeelding)

schuine kruisingshoek strookt deze configuratie echter meestal niet met de beugelwapening van de volstortliggers. De beugels staan namelijk loodrecht op de as van de liggers ofwel op de as van de overgaande weg. De dwarswapening kan hiermee niet tussen de beugels worden gelegd. Een oplossing zou zijn de beugelwapening evenwijdig aan de landhoofden te plaatsen. Dit bleek echter productietechnisch niet haalbaar (standaardkorven). Daardoor moest de dwarswapening in het dek loodrecht op de volstortliggers en dus niet evenwijdig aan de onderdoorgaande weg worden geplaatst. Deze detaillering bleek grote gevolgen te hebben voor de wapeningsconfiguratie. Gevolg was dat de dwarsstaven allemaal een variabele lengte kregen. Ook moest een deel van deze staven worden verankerd bij de aansluiting tussen landhoofdbalk en het dek, juist waar al een hoge wapeningsconfiguratie aanwezig was (fig. 9).

Voorbeeld KW3

De langs- en dwarswapening in het dek is aangebracht met een gelijke tussenafstand van 106 mm. Evenwijdig aan het landhoofd bedraagt deze afstand 150 mm, vanwege de kruisingshoek van 45°. Met deze afstand moest worden gerekend bij het plaatsen van de stekken uit het landhoofd. Doordat ook de dwarswapening hier h.o.h. 150 mm moest worden verankerd, werd de tussenruimte 75 mm. Binnen deze tussenruimte moesten ook de overlappingslassen met de stekken uit de landhoofdbalk worden gemaakt, waardoor een aangepast betonmengsel moest worden toegepast.

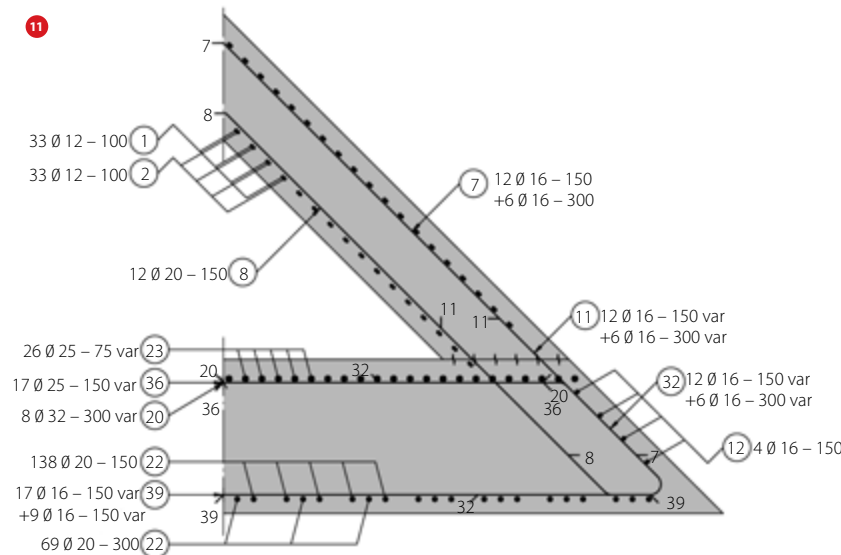
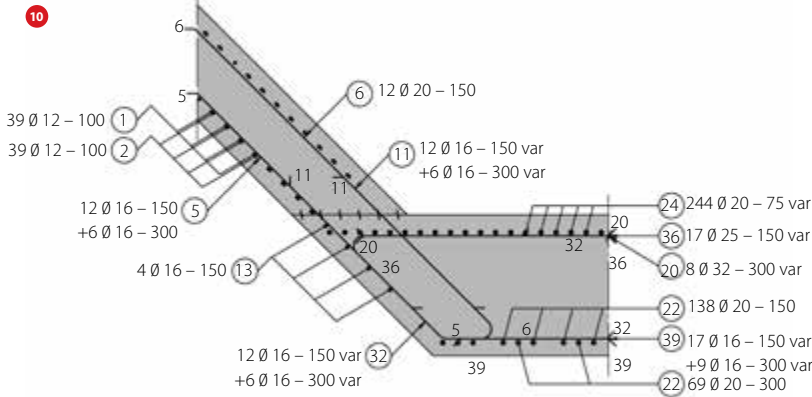
Uitvulling in beton (aan te houden zeeg, uitzetten buiten)

De druklaag op de volstortliggers kan worden aangepast naar het wegalignment, het zogenoemde uitzetten van de zeeg. Groot voordeel hiervan is dat men geen uitvulling in verschillende lagen asfalt op het dek hoeft uit te voeren. Daarbij is het wel de vraag welke hoogte moet worden aangehouden. De rustende belasting is namelijk nog niet aanwezig op het moment van storten van de druklaag. Indien de uitvulling in beton wordt uitgevoerd moet er daarom rekening worden gehouden met doorbuiging ten gevolge van de rustende belastingen.

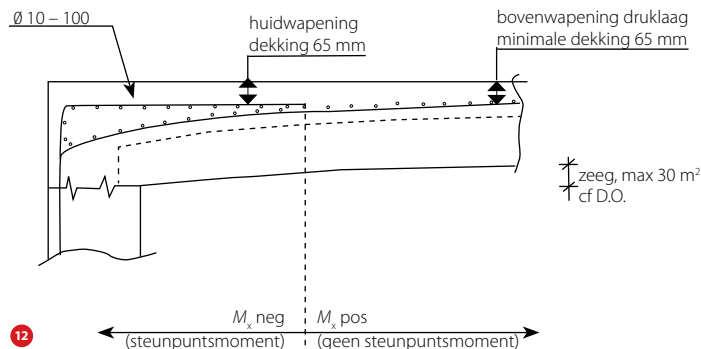
Bij beperkte overspanningen, zoals in dit project het geval is, valt deze afwijking binnen de uitvoeringstolerantie. Bij grotere overspanningen zouden de uitzetwaarden echter wel degelijk moeten worden aangepast om zodoende in rustende toestand het juiste alignment te krijgen. Kleine afwijkingen kunnen natuurlijk altijd nog worden opgevangen in het asfalt.

Dekking wapening (toepassing krimpnet)

Bij voorkeur wordt de langswapening in de druklaag boven op of juist door de beugels van de volstortliggers geplaatst. De beugels uitvoeren in een verlopende hoogte, rekening houdend



- 12 Toepassingsgebied krimpnet (overdreven toog getekend)
 13 Voorbeeld oplegging volstortliggers op tussensteunpunt



12

met de zeeg, is vanuit het werken met eenduidige prefab beugels niet wenselijk. Gevolg is echter dat door de zeeg in de ligger en de constante hoogte van bovenkant dek, de dekking op de bovenwapening toeneemt naar het landhoofd toe (fig. 12). In veel gevallen is de ruimte tussen de beugels van de volstortliggers en het stortvlak te gering om wapening in door te voeren (fig. 13).

Voor dit project moest een minimale dekking van 65 mm worden aangehouden in verband met de duurzaamheid. Bij een dekking van meer dan 70 mm moet, conform de detailleringregels uit de Eurocode, krimpwapening worden toegepast (conform bijlage J van de NEN-EN 1992-1-1). Indien een zeeg van bijvoorbeeld 15 - 20 mm moet worden uitgevuld, moet dus gebruik worden gemaakt van een krimpnet. De lengte van dit krimpnet is in dit geval echter zeer beperkt, omdat de aanwe-

zige dekking al gauw kleiner is dan 70 mm (fig. 12). Daarnaast conflicteert de krimpwapening qua plek al snel met de constructief benodigde wapening.

Koppeling van het dek aan het tussensteunpunt

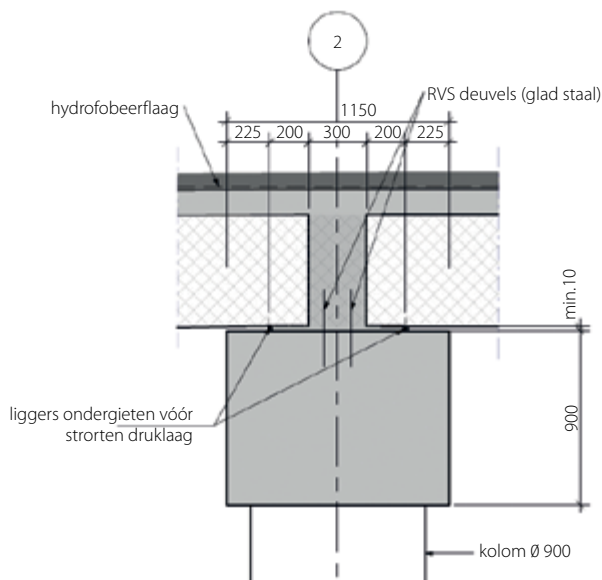
Het integraal verbinden van het dek met een tussensteunpunt is in zijn algemeenheid niet wenselijk. De krachten in het tussensteunpunt worden daardoor relatief groot en zijn moeilijk op te nemen. Een goede oplossing is het doorkoppelen van het dek over het steunpunt en alleen een koppeling te maken tussen dek en tussensteunpunt voor het opnemen van horizontale belastingen zoals wind en aanrijdbelastingen. Hiertoe zijn RVS-deuvels aangebracht die enkel horizontale belasting opnemen. Hierdoor blijven de langsmomenten in het dek en worden deze niet naar het tussensteunpunt afgedragen.

Conclusies en aanbevelingen

In veel gevallen wordt de toepassing van integraalconstructies gezien als optimalisatie, aangezien er wordt bespaard op voegconstructies en oplegblokken en daarnaast een slanker dek kan worden toegepast. De krachtswerking vergt bij dit type kunstwerken extra aandacht. Om de krachten op een goede manier af te kunnen dragen naar de landhoofden, moet lokaal veel wapening worden toegepast. Uiteindelijk zal bij een integraal kunstwerk door de smallere landhoofden een kleinere of vergelijkbare wapeninghoeveelheid worden gevonden ten opzichte van een kunstwerk op oplegblokken. De volstortliggers worden echter veelal statisch bepaald doorgerekend door de prefableverancier, waardoor een optimalisatie van de dikte van het dek vaak niet wordt uitgenut.

Om horizontale krachten en momenten op de funderingspalen te beperken, moeten de landhoofdbalken vaak over een behoorlijke diepte in de grond worden aangebracht, om op die manier voldoende tegendruk te genereren en de krachten uit het dek te kunnen spreiden.

Wordt echter gekeken naar de totale levenscyclus van het kunstwerk dan is de extra investering voor de integraalconstructie een goede manier om onderhoud en daarmee samenhangende kosten aan de voegconstructies en oplegblokken te beperken. ☒



13

PROJECTGEGEVENS

- project Kunstwerken N421
- opdrachtgever Provincie Utrecht
- constructeur Royal HaskoningDHV
- aannemer Dura Vermeer