RWS INFORMATIE

Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Resultaatbeschrijving Verificatieberekening Betonnen Kokerbruggen

Versie	1.1
Status	Definitief
Datum	27-1-2023

Colofon

Titel	Resultaatbeschrijving Verificatieberekening Betonnen Kokerbruggen
Verantwoordelijke afdeling	RWS / GPO / Betonnen Bruggen en Viaducten
Opstellers	Henk Sliedrecht, Bart van den Broek
Beheerder	Bart van den Broek
Informatie	bart.vanden.broek@rws.nl
Datum	
Versie	1.1
Status	Definitief

Wijzigingen versie 1.1 t.o.v. 1.0

Pagina (in versie 1.1)	**Wijziging**
11	Toevoeging van punt (4) onder 'Plan van aanpak'
11	De belasting op de bovenbouw door temperatuur en zetting moet gebeuren conform de nieuwbouweisen / ROK.
15	De tabellen met krachten in de wanden – en combinaties daarvan - moeten ook aangeleverd worden in een bewerkbaar Excel-bestand.
22	De krachten die door wringing in de langswapening kunnen ontstaan, mogen niet meer op voorhand worden verwaarloosd.
27	Indien niet wordt voldaan aan het minimum wapeningspercentage, dan moeten desondanks zowel $V_{Rd,c}$, $V_{Rd,s}$ als $V_{Rd,c} + V_{Rd,s}$ worden bepaald en gepresenteerd.
Div.	Diverse redactionele wijzigingen

Voorwoord

Deze resultaatbeschrijving is geschreven voor gebruik bij het project Constructieve Veiligheid op Orde (CVoO) bij de beoordeling van de constructieve veiligheid van het constructietype kokers.

In het project CVoO wordt, op basis van archiefgegevens, de bovenbouw van betonnen bruggen beoordeeld volgens de RTD 1006, Richtlijn Beoordeling Kunstwerken (RBK). Hierbij wordt geen rekening gehouden met schade anders dan op basis van archief onderzoek is vastgesteld. De in de RBK beschreven onderdelen 'constructieve inspectie' en 'maatregelen' zijn geen onderdeel van de beoordeling door CVoO.

Om de constructieve veiligheid van de kokers te kunnen beoordelen worden, in opdracht van CVoO, door ingenieursbureaus verificatieberekeningen gemaakt.

Van de ingenieursbureaus wordt verwacht dat ze de resultaatbeschrijving volgen en dat ze er invulling aan geven. CVoO gebruikt de resultaatbeschrijving om te toetsen of de opdrachtnemer het gevraagde heeft geleverd en of dit voldoet aan hetgeen verwacht wordt op basis van deze resultaatbeschrijving.

Deze resultaatbeschrijving bevat aanwijzingen voor onderdelen van de verificatieberekening. Het is geen receptenboek. Van de gebruiker wordt verwacht dat deze voldoende kennis en ervaring heeft om deze resultaatbeschrijving op een juiste manier toe te passen.

Dit document zal gedurende langere tijd in ontwikkeling blijven en worden aangepast op basis van opgedane ervaringen met nog uit te voeren verificatieberekeningen.

Henk Sliedrecht
Bart van den Broek

27 januari 2023

Inhoud

1 Algemene aanwijzingen 6
1.1 Inleiding 6
1.2 Verificatieberekening 6
1.3 Te leveren producten 6
1.4 Het hoofddocument 6
1.5 Validatie en toetsing 7
2 Archiefgegevens 9
3 Plan van aanpak 11
4 Modellering 13
5 Verificatie langsrichting 15
6 Verificatie dwarsrichting 18
7 Verificatie dwarsdragers 19
8 Controle statisch evenwicht (stabiliteit) 20
9 Samenvatting, conclusies en aanbevelingen 21

BIJLAGE A: Modellering

BIJLAGE B: Verificatie moment

BIJLAGE C: Verificatie dwarskracht

1 Algemene aanwijzingen

1.1 Inleiding

Deze resultaatbeschrijving geeft aanwijzingen voor de verificatieberekening van betonnen kokerbruggen. Bij toepassing van deze resultaatbeschrijving, Verificatieberekening Betonnen Kokerbruggen, mag worden aangenomen dat wordt voldaan aan de voor verificatieberekeningen relevante onderdelen van de RTD 1004 (Resultaatbeschrijving Ontwerpdocumenten Kunstwerken).

In deze resultaatbeschrijving worden met () genummerde aanwijzingen en uitwerkingen gegeven. Van de opdrachtnemer wordt verwacht dat deze de aanwijzingen en uitwerkingen volgt en er invulling aan geeft.

Kokerbruggen worden gekenmerkt door overeenkomsten maar ook door verschillen, afhankelijk van de vigerende voorschriften en richtlijnen tijdens het ontwerp, het ontwerpbureau en de constructeur.

Van de opdrachtnemer wordt verwacht dat deze een volledige, goed volgbare en toetsbare verificatieberekening levert. Deze resultaatbeschrijving is hierbij een hulpmiddel, maar deze is zeker niet compleet en niet alles zal toepasbaar zijn.

1.2 Verificatieberekening

(1) In de verificatieberekening worden de uiterste grenstoestanden buiging en dwarskracht beoordeeld door bepaling van Unity Checks (UC's).
Opmerking: De uiterste grenstoestand vermoeiing is geen onderdeel van de beoordeling in opdracht van CVoO.

(2) De bovenbouw in langs- en dwarsrichting wordt beoordeeld volgens de RBK. Bij tegenstrijdigheid tussen de RBK en deze resultaatbeschrijving is de resultaatbeschrijving leidend.

(3) Van de uitwerkingen in deze resultaatbeschrijving mag worden afgeweken wanneer deze niet relevant of niet toepasbaar is.

1.3 Te leveren producten

(1) De te leveren producten zijn: een hoofddocument en bijlagen. Het hoofddocument bevat de rapportage op hoofdlijnen. De bijlagen bevatten relevante aanvullende informatie zoals berekeningen en uitvoer van rekenprogramma's.

(2) Het hoofddocument en de bijlagen worden geleverd als één pdf en als afzonderlijke pdf bestanden.

(3) De in- en uitvoerbestanden behorende bij de gebruikte programma's in (her)bruikbaar formaat worden geleverd.

1.4 Het hoofddocument

(1) Het hoofddocument is in het Nederlands, goed leesbaar en begrijpelijk voor de doelgroep. geschreven. De doelgroep zijn deskundigen met ervaring op het gebied van verificatieberekeningen van bestaande betonnen bruggen en viaducten, maar die onbekend zijn met de betreffende kokerbrug.

(2) Het hoofddocument bevat de rapportage op hoofdlijnen. De bijlagen bevatten detailinformatie en de berekeningsresultaten.

(3) Het hoofddocument bevat de hoofdstukken 2 en verder overeenkomstig deze resultaatbeschrijving.

(4) Het hoofddocument bevat alle informatie en het detailniveau dat nodig is om de verificatieberekening te kunnen volgen, controleren of toetsen.

(5) Wanneer onderdelen onevenredig veel ruimte vragen worden deze in een bijlage opgenomen.

(6) Het hoofddocument bevat plaatjes ten behoeve van de leesbaarheid en het begrip van de lezer.

(7) Het hoofddocument bevat zodanige verwijzingen naar bijlagen dat getallen uit het hoofdocument herleidbaar zijn naar overeenkomstige getallen in de bijlagen.

(8) Het hoofddocument bevat een voorblad, revisietabel en een inleiding.

(9) Het voorblad bevat de informatie die in één oogopslag duidelijk maakt waar de rapportage over gaat, welke versie het betreft en door wie de rapportage is opgesteld. Het voorblad bevat hiervoor ten minste de projectnaam, naam van het kunstwerk, de beheerobjectcode, documentnaam, versienummer, documentdatum, documentstatus en de registratie (naam, datum en paraaf van constructeur en controleur).

(10) De inleiding bevat ten minste de aanleiding en doel van de verificatieberekening, de namen en rollen van de vertegenwoordigers van de opdrachtgever en betrokken partijen, de scope/afkadering van de werkzaamheden, een beschrijving en de opbouw van de rapportage en een leeswijzer.

1.5 Validatie en toetsing

(1) Met validatie moet worden aangetoond dat de verificatieberekening – en daarmee dus ook de gehanteerde modellen – reële en betrouwbare resultaten geven.

(2) Voor de validatie wordt een validatieplan gemaakt. In dit validatieplan worden het proces en de producten beschreven waarbij invulling wordt gegeven aan de volgende aanwijzingen.

(3) De validatie wordt vastgelegd door controlesporen in documenten en rapportages van bijvoorbeeld controleberekeningen en gevolgde procedures die als bijlage(n) worden toegevoegd.

(4) De uitvoerend constructeur valideert alle onderdelen parallel aan de ontwikkeling hiervan.

(5) De uitvoerend constructeur maakt, als onderdeel van de validatie, ten minste de volgende controleberekeningen:

- Van 1D (ligger)berekeningen met een ander rekenprogramma of handberekeningen.
- Van 2,5D modelberekeningen met 1D (ligger)berekeningen.
- Van 2,5D modeluitkomsten zoals vergelijking van momenten en dwarskrachten in de wanden en over de volledige dwarsdoorsnede.

(6) Van de gebruikte spreadsheets wordt een uitgeschreven (voorbeeld)berekening toegevoegd.

(7) De modellen en producten van de uitvoerend constructeur worden getoetst door een senior constructeur.

(8) De toetsing van de senior constructeur bestaat uit een combinatie van:
- Controle van de modellen door analyse van modelopbouw en werking.
- Controle van de bepaalde krachtswerking en UC bepalingen door schaduwberekeningen.
- Controle van de leesbaarheid en consistentie van het hoofddocument en de bijlagen.

De toetsing wordt vastgelegd in toetsformulieren en door controlesporen in de getoetste documenten.

(9) Wanneer bij controleberekeningen verschillen groter dan 5% worden gevonden, moet de berekening worden aangepast of moeten de verschillen worden verklaard.

2 Archiefgegevens

(1) Dit hoofdstuk bevat alle voor de verificatieberekening en de beoordeling van de constructieve veiligheid relevante informatie die in de bureaustudie volgens paragraaf 1.2 van de RBK is gevonden.

(2) Dit hoofdstuk bevat minimaal de volgende onderdelen:
- Overzicht van gebruikte gegevens zoals tekeningen, berekeningen, de hieronder beschreven onderzoeken en artikelen.
- Beschrijving van de constructie.
- Beschrijving van de onderzoeken.
- Beschrijving van de toegepaste materialen zoals beton, voorspanning, en wapening.
- Resume van de gegevens met beschrijving en bron.

Uitwerking

De beschrijving van de constructie moet duidelijk maken wat de ligging, het gebruik en de opbouw van de constructie is. Ook moet de overige, voor de verificatieberekening benodigde, informatie worden gegeven zoals de bouwmethode, stortnaden, het oplegsysteem, ligging van de opleggingen ten opzichte van de wanden en relevante wijzigingen ten opzichte van het oorspronkelijke ontwerp. De beschrijving van de constructie wordt toegelicht met afbeeldingen.

De beschrijving van de onderzoeken bevat de onderzoeken die relevant zijn voor de beoordeling van de constructieve veiligheid. Bijvoorbeeld deformatiemetingen, materiaalonderzoek, meting asfaltdikte en onderzoek naar waterstofverbrossing. Van deze onderzoeken worden de resultaten en conclusies beschreven.

De beschrijving van de voorspanning bevat minimaal de kenmerken van de toegepaste systemen, de volgorde van spannen, de fasering en de bijzonderheden die van belang zijn voor de verificatieberekening. Een uitgebreid overzicht van alle voorspangegevens wordt in hoofdstuk 3 gegeven.

De bronnen van gegevens, tegenstrijdigheden in gegevens en ontbrekende gegevens worden vermeld. Wanneer aannames worden gedaan, wordt dit ook vermeld.

Zie tabel 2-1 voor een voorbeeld van het resume archiefgegevens.

tabel 2-1: Resume archiefgegevens

		Bron / toelichting
BO-code	40B-108-01 en 40B-108-02	DISK Paspoort
Archief code	40B-108 en 40B-108	DISK Paspoort
Naam	Rozendaals viaduct – West en Oost	DISK Paspoort
Omschrijving	Westelijk en Oostelijk viaduct over de Arnhemse Allee	DISK Paspoort
Bouwjaar	1957	DISK Paspoort
Locatie	Utrecht	DISK Paspoort
Relatie tot weg	Viaducten in de A12 over provinciale weg	DISK Paspoort
Wegindeling	3 rijstroken in één richting + vluchtstrook	Streetsmart
Beheerder		DISK Paspoort
Verbouw (2012)	Westelijk viaduct 8,04 m met liggers verbreed. Oostelijk viaduct 6,6 m met liggers verbreed.	DISK Paspoort
Constructie		
Ontwerper	Dir Bruggen	DISK Paspoort
Type	2 cellige koker met verlopende hoogte	B7450 - Bestekstekening
Bouwsysteem	Op steigers gebouwd	Cement artikel X
SB/SO		
Kruisingshoek [graden]	71,11 gon	DISK paspoort
Constructieafmetingen [m]		
Lengte	80 (24-32-24) m	B7450 - Bestekstekening
Breedte ontwerp	11,8 m inclusief schampkanten	B7450 – Bestekstekening
Breedte na verbouw	19,84 m Westelijk viaduct 18,44 m Oostelijk viaduct	
Breedte rijbaan tussen geleiderails		Streetsmart - meting
Hoogte	2593 mm bij tussensteunpunt 1500 mm in midden tussenveld	B7450 - Bestekstekening
Bijzonderheden	Ontwerp en uitvoering vergelijkbaar met 40B-107	Cement artikel X

3 Plan van aanpak

(1) Dit hoofdstuk bevat het plan van aanpak volgens paragraaf 1.2 van de RBK.

(2) Dit hoofdstuk bevat minimaal de volgende onderdelen:
- Uitgangspunten en randvoorwaarden
- Materiaalgegevens
- Belastingen en belastingfactoren
- Berekeningsaanpak
- Validatieplan

(3) Bij de verificatie wordt uitgegaan van niveau AII (werkelijk gebruik) volgens paragraaf 1.3.2 van de RBK met een restlevensduur en referentieperiode van 30 jaar.

(4) Indien wordt voldaan aan niveau AII, dan is aanvullend ook een beschouwing van niveau AI vereist. Indien niet wordt voldaan aan niveau, dan is aanvullend ook een beschouwing van niveau AIII vereist. Beide verificaties moeten dan volledig worden uitgewerkt.

Uitwerking

De uitgangspunten en randvoorwaarden bevatten het verificatieniveau, de gebruikte normen en richtlijnen en de gebruikte programmatuur.

Bij de materiaalgegevens worden de in de verificatieberekening gebruikte eigenschappen beschreven. Zie tabel 3-2 voor een voorbeeld van gegevens van voorspanstaal.

Voor het eigen gewicht kan 25 kN/m^3 aangehouden inclusief de wapening.

Tenzij anders overeengekomen wordt voor de asfaltbelasting 3,22 kN/m^2 aangehouden, gebaseerd op een overlaging van 140 mm met een soortelijke massa van 23 kN/m^3.

Toelichting: Aanleiding om anders overeen te komen is bijvoorbeeld de aanwezigheid van een overlaging van meer dan 140 mm.

Voor de normale verkeersbelasting (V1) wordt de huidige wegindeling genomen. De indeling hiervan wordt in figuur en tabel weergegeven tussen de geleiderails ten opzichte van de constructieve breedte en de buitenkant van de schampranden.

De tandemstelsels worden gemodelleerd tot vlaklasten aan de bovenzijde van het constructief beton.

De belasting op de bovenbouw door temperatuur en zetting moet worden bepaald. Voor de ATB-toets van de bovenbouw is het noodzakelijk om de temperatuur- en zettingsbelastingen te bepalen. Deze bepaling moet gebeuren conform de nieuwbouweisen / ROK.

Toelichting: Bij beoordeling van de uiterste grenstoestand dwarskracht moeten bij de verificatie op afschuiftrekbreuk alle relevante belastingen in rekening worden gebracht.

Bij de belastingfactoren wordt aangegeven hoe deze worden verwerkt bij de bepaling van de rekenwaarden van de belasting.

In tabel 3.1 is een voorbeeld van de gebruikte belastingfactoren gegeven. Tabel 3-2 bevat een voorbeeld van de gegevens van het toegepaste voorspanstaal in langsrichting.

tabel 3-1: Belastingfactoren

	Gebruiksniveau		**Reductie verkeer**	
Belasting	6.10a	6.10b	α_{trend}	ψ_{tijd}
Permanent	1,25	1,15	-	-
Verkeer feitelijk	1,00	1,25	0.98	0.99
Verkeer ongeval			0.98	0.92

tabel 3-2: Gegevens voorspanstaal in langsrichting

		Bron / toelichting
Systeem	**Freyssinet**	Tekening C.11429
Kabels	12 x 0,52”	Tekening C.11429
Ap	1182 mm^2	Technische documentatie Freyssinet
Wobble (μ)	0,26 rad/m	Technische documentatie Freyssinet
Wrijving (K)	0,01	Technische documentatie Freyssinet
Intrekking	16 mm bij Fpo 18 mm bij	Spanprotocol, document x
Staalkwaliteit	FeP1860	Tekening C.11429
Eigenschappen		
f_{pk}	1860 N/mm2	RBK artikel x
f_{pk}/γ_p	1690 N/mm2	RBK artikel x
$f_{p0,1k}$	1600 MPa	RBK artikel x
$f_{pd} = f_{p0,1k}/\gamma_s$	1455 MPa	RBK artikel x
ε_{uk}	3,5 ‰	RBK artikel x
Voorspankracht		
ontwerpnorm	VB74	Ontwerpberekening x
P_{max}	1814 kN	Ontwerpnorm (RBK achtergronden) Maximale kracht tijdens spannen $\leq 1,1\times 0,75\times f_{pk} x A_p$ $\leq 1,1\times 0,90\times f_{p0,1k} x A_p$
$\sigma_{pi,max}$	1395 MPa	Ontwerpnorm (RBK achtergronden) Maximale aanvangsvoorspanning $\leq 0,75\times f_{pk}$ $\leq 0,90 f_{p0,1k}$
$\sigma_{pw,max}$	1209 MPa	Ontwerpnorm (RBK achtergronden) Maximale werkvoorspanning $\leq 0,65\times f_{pk}$
$\sigma_{pw}=\sigma_{pw,max}$	1209 MPa	Schatting, wordt berekend
Relaxatie		
relaxatieniveau	2	
$\Delta\sigma_{p,1000}$	2 %	Ontwerpnorm (RBK achtergronden)

4 Modellering

(1) Dit hoofdstuk beschrijft de modellering en wordt de juiste werking aangetoond.

(2) Dit hoofdstuk bevat minimaal de volgende onderdelen:
- Modelbeschrijving verhelderd met figuren.
- Modelverificatie.
- De positionering van de verkeersbelasting.
- Beschrijving van de manier waarop de snedekrachten worden bepaald.
- Doorsneden die bij de moment- en dwarskrachtverificatie worden gebruikt.

(3) De krachtswerking door voorspanning en eigen gewicht wordt bepaald met een liggerprogramma en zo nodig met een 2,5D schalenmodel.

(4) De krachtswerking door verkeer, temperatuur en zetting wordt bepaald met een 2,5D schalenmodel.

Uitwerking

Liggermodel voor de langsrichting

De complexiteit van de modellering met een liggerprogramma is afhankelijk van de bouwfasering. Hier wordt onderscheid gemaakt in de volgende modelleringen:
1. Lineair elastisch.
   De direct optredende voorspanverliezen (intrekking, wrijving en Wobble) worden door het programma berekend. De vertraagd optredende voorspanverliezen (krimp, kruip en relaxatie) worden als verliespercentage op de aanvangsvoorspanning gegeven.
2. Lineair elastisch met bouwfasering.
   De invloed van de bouwfasering wordt in rekening gebracht zonder rekening te houden met de effecten van krimp en kruip. Deze effecten worden in dat geval handmatig bepaald volgens het principe van het kist-effect.
3. Lineair elastisch met bouwfasering en visco-elastisch gedrag van het beton.
   Ook de invloed van krimp en kruip wordt door het programma in rekening gebracht.

Wanneer de vertraagd optredende verliezen worden opgegeven als verliespercentage kan uitgegaan worden van de werkvoorspankracht uit de ontwerpberekening. Indien deze niet bekend is kan worden uitgegaan van:
- 0,52 f_{pk} voor kokers die zijn ontworpen met de RVB 1967 of eerder
- 0,60 f_{pk} voor kokers ontworpen vanaf de VB74 bij toepassing van een voorspansysteem met relaxatieniveau 1.
- 0,65 f_{pk} voor kokers ontworpen vanaf de VB74 bij toepassing van een voorspansysteem met relaxatieniveau 2.

Bij verificatie van de momentcapaciteit is het verliespercentage niet van invloed op de beoordeling bij een UC > 1. Bij verificatie van de dwarskrachtcapaciteit is de invloed afhankelijk van het bezwijkmechanisme, ATB of ABB. Wanneer bij de verificatie van de dwarskracht UC's > 0,95 worden gevonden, moet het verliespercentage door vertraagd optredende verliezen worden berekend. Met een parameterstudie moet inzichtelijk worden gemaakt wat de invloed is van de vertraagd optredende verliezen op de hoogste UC.

Bij modellering met bouwfasering is het superpositiebeginsel voor de combinatie voorspanning en eigen gewicht niet meer toepasbaar. Bij het combineren van belastingen moet hierbij rekening worden gehouden.

De doorsnedekrachten door voorspanning zijn een moment en normaalkracht. Het moment is afhankelijk van de plaats van de normaalkracht. In ALP bijvoorbeeld kan voor de presentatie van het moment gekozen worden voor de normaalkracht ter plaatse van de systeemlijn of het elastisch centrum van de (sub)beam. Bij de berekeningen met voorspanning moet worden aangetoond dat de doorsnedekrachten door moment en normaalkracht op de juiste wijze zijn gecombineerd. Om verwarring te voorkomen (het elastisch centrum kan variëren) moet bij gebruik van ALP de presentatie ten opzichte van de systeemlijn worden gebruikt, dit is de bovenzijde.

2,5D schalenmodel voor de langsrichting

De krachtswerking in langsrichting wordt bepaald met een 2,5D schalenmodel.

Bij complexe krachtswerking door bouwfasering of geometrie kan het ook nodig zijn om de belasting door voorspanning en eigen gewicht in het 2,5D schalenmodel te bepalen. Hiervoor wordt uitgegaan van de volgende mogelijkheden:

1. Voorspanning als belasting zoals bepaald met behulp van het liggerprogramma. Hierbij wordt ook de normaalkracht gemodelleerd.
2. Voorspanning als onderdeel van het model, zo nodig gecombineerd met fasering en visco elastisch gedrag.

In beide gevallen wordt de krachtswerking door voorspanning gecontroleerd met een liggerprogramma.

De krachtswerking wordt gecontroleerd met een ander rekenprogramma of handberekeningen.

2,5D schalenmodel voor de dwarsrichting

De krachtswerking in dwarsrichting wordt bepaald met het zelfde model als voor de langsrichting. Omdat de krachtswerking mede afhankelijk is van de afstand van de doorsnede tot de opleglijn moeten meerdere doorsneden worden beschouwd. Minimaal zijn dit de eerste doorsnede nabij de dwarsdrager waarbij geen positieve invloed meer is van directe afdracht en de doorsnede waar de doorbuiging het grootst is.

Zie bijlage A voor uitwerking van een aantal onderdelen van de modellering.

5 Verificatie langsrichting

(1) Dit hoofdstuk bevat de verificatie in langsrichting.

(2) Dit hoofdstuk bevat minimaal de volgende onderdelen:
- Krachten in de wanden.
- Beoordeling van de uiterste grenstoestand buiging.
- Beoordeling van de uiterste grenstoestand dwarskracht.

Uitwerking

Krachten in de wanden

Voor alle wanden moeten de krachten in langsrichting worden gegeven. Het betreft de representatieve krachten (moment, dwarskracht en normaalkracht) van de afzonderlijke belastingen en de UGT combinaties (6.10a en 6.10b).

Bij de verkeersbelasting en de UGT combinaties moeten naast de gebruikelijke maximaal moment en dwarskracht (V_{max} en M_{max}) ook het bij de maximale dwarskracht behorende moment (M bij V_{max}) en de bij het maximaal moment behorende dwarskracht (V bij M_{max}) worden bepaald.

Toelichting: De bijbehorende krachten en combinaties worden door RWS gebruikt voor onderzoek naar verificatie volgens de nieuwe generatie Eurocodes.

De krachten en combinaties worden in het hoofddocument met figuren weergegeven en in een bijlage in gedetailleerde tabellen en hieruit samengestelde figuren. De tabellen moeten ook aangeleverd worden als een bewerkbaar Excel-bestand.

Beoordeling van de uiterste grenstoestand buiging

Voor de beoordeling van de uiterste grenstoestand buiging wordt de momentcapaciteit en de hoogte van de betondrukzone geverifieerd.

De momentcapaciteit en de hoogte van de betondrukzone worden geverifieerd in de maatgevende doorsneden. Dit zijn de doorsneden in het veld met maximaal veldmoment en de doorsneden bij de steunpunten direct naast de dwarsdrager. Afhankelijk van de geometrie en wapening moet dit aangevuld worden met meer doorsneden waarbij rekening wordt gehouden met de verschuiving van de momentenlijn over de afstand $z_1 \cot\theta$. Bij de beoordeling van de uiterste grenstoestand dwarskracht wordt ook de verankeringslengte gecontroleerd. Deze doorsneden hoeven niet op momentcapaciteit te worden beoordeeld.

Van de beschouwde doorsneden worden de representatieve krachten (moment en normaalkracht) van de afzonderlijke belastingen en de UGT combinaties (6.10a en 6.10b) gegeven.

Voor elke beschouwde doorsnede wordt aangegeven welke delen, in termen van rijstroken en velden, zijn belast door de verdeelde verkeersbelasting evenals de posities van de TS.

Wanneer in doorsneden bij veldmomenten de momentcapaciteit onvoldoende is (UC > 1) moet door herverdeling van moment vanaf tussensteunpunten worden vastgesteld of alsnog aan de sterkte-eis kan worden voldaan.

Zie bijlage B voor uitwerking van een aantal onderdelen van de beoordeling van de uiterste grenstoestand buiging.

Beoordeling van de uiterste grenstoestand dwarskracht

Voor de beoordeling van de dwarskracht moeten de wanden van de kokers in lengterichting ingedeeld worden in gescheurde en ongescheurde gebieden.

Voor de overgang van gescheurd naar ongescheurd gebied wordt in de RBK het bij de maximale dwarskracht behorende moment gebruikt.

De afschuifbuigbreuk (ABB) moet in de gescheurde en de ongescheurde gebieden worden gecontroleerd. Voor de ongescheurde gebieden gelden hierbij aangepaste regels. Zie hiervoor 6.2.2.3 van de RBK aanvulling op NEN-EN 1992-1-1.

In de ongescheurde gebieden moet de afschuiftrekbreuk (ATB) worden gecontroleerd.

Voor alle verificaties (ABB verificatievlakken en ATB doorsneden) worden de representatieve krachten (moment en normaalkracht) van de afzonderlijke belastingen en de UGT combinaties (6.10a en 6.10b) gegeven.

Voor alle verificaties (ABB verificatievlakken en ATB doorsneden) wordt aangegeven waar de TS staan en welke delen, in termen van rijstroken en velden, zijn belast door de verdeelde verkeersbelasting.

Afschuiftrekbreuk

Bij de ATB beoordeling in de ongescheurde gebieden wordt volgens de RBK de maximale dwarskracht met bijbehorend moment gebruikt. In aanvulling hierop moet ook het maximale moment met bijbehorende dwarskracht worden beschouwd. Beide UC's worden in een tabel met elkaar vergeleken.

Afschuifbuigbreuk

De ABB moet in meerdere verificatievlakken worden beoordeeld vanaf de dag van de oplegging of de dag van een dwarsbalk. De te beoordelen verificatievlakken wordt bepaald door:

1. De afstand tussen de verificatievlakken, deze is maximaal de constructiehoogte. Bij variërende constructiehoogte begint het volgende verificatievlak op een afstand gelijk aan de constructiehoogte ter plaatse van het drukpunt van het beschouwde verificatievlak.
2. Het laatste verificatievlak. Deze ligt minimaal op 10 maal de constructiehoogte. Bij variërende constructiehoogte wordt deze na elke afstand gelijk aan de constructiehoogte opnieuw bepaald.
3. De aanwezigheid van ongescheurde gebieden. De ABB wordt beoordeeld tot voorbij het, richting veldmidden, laatste ongescheurde gebied.
4. De verificatievlakken bij de overgang van gescheurd-ongescheurd. Hier wordt de ABB beoordeeld met en zonder aanpassing zoals beschreven in 6.2.2.3 van de RBK aanvulling op NEN-EN 1992-1-1.
5. De geometrie en de wapening. Bij verandering hiervan wordt de ABB beoordeeld.
6. Het teken van het moment. Zowel de verificatievlakken behorende bij een positief (trek onder) als negatief moment (trek boven) worden beoordeeld.

In het hoofddocument wordt het verloop van de UC's in figuren weergegeven. In een bijlage worden de UC's berekend in tabellen en worden hieruit de figuren samengesteld.

Bij dwarskrachtwapening die volgens de RBK niet in rekening mag worden gebracht moet de bijdrage worden bepaald zoals beschreven in bijlage C. De hiermee bepaalde UC's worden gegeven in aanvulling op de UC's zonder deze wapening.

De verankeringslengte van de wapening die het verificatievlak doorsnijd moet worden gecontroleerd.

Zie bijlage C voor uitwerking van een aantal onderdelen van de beoordeling van de uiterste grenstoestand dwarskracht.

6 Verificatie dwarsrichting

(1) Dit hoofdstuk bevat de verificatie in dwarsrichting.

(2) Dit hoofdstuk bevat minimaal de volgende onderdelen:
- Krachten in het dek, de wanden en de ondervloer
- Beoordeling van de uiterste grenstoestand buiging.
- Beoordeling van de uiterste grenstoestand dwarskracht.

Uitwerking

Krachten in het dek, wanden en ondervloer

De krachten in dwarsrichting in de maatgevende doorsneden worden gegeven. Het betreft de representatieve krachten (moment, dwarskracht en normaalkracht) van de afzonderlijke belastingen en de UGT combinaties (6.10a en 6.10b).

De krachten en combinaties worden in het hoofddocument met figuren weergegeven en in een bijlage in tabellen en hieruit samengestelde figuren.

Beoordeling van de uiterste grenstoestanden buiging

De momentcapaciteit en de hoogte van de betondrukzone worden geverifieerd in de maatgevende doorsneden van het dek, de wanden en de ondervloer. Zie verder de uitwerking van de langsrichting.

Beoordeling van de uiterste grenstoestand dwarskracht

De dwarskrachtcapaciteit wordt geverifieerd in de maatgevende doorsneden van het dek, de wanden en de ondervloer. Hierbij hoeft geen rekening te worden gehouden met de krachtswerking in langsrichting.

Wanneer het dek in dwarsrichting is voorgespannen wordt deze verdeeld in gescheurde en ongescheurde gebieden.

Zie verder de uitwerking van de langsrichting.

7 Verificatie dwarsdragers

(1) Dit hoofdstuk bevat de verificatie van de dwarsdragers.

Uitwerking

Verificatie is alleen nodig als de wanden niet direct ondersteund worden door opleggingen. De modellering voor verificatie is afhankelijk van de geometrie, voorspanning en wapening. Hier wordt alleen ingegaan op volledig voorgespannen ontwerpen waarbij de ophangwapening ontbreekt.

Ontbrekende ophangwapening

Als de wanden niet direct ondersteund zijn door opleggingen moet voor de krachtsoverdracht ophangwapening aanwezig zijn (9.2.5 van NEN-EN 1992-2-2/NB).

Bij bruggen die volledig voorgespannen zijn ontworpen is geen ophangwapening gebruikt. Bij deze ontwerpen werd er vanuit gegaan dat beperking van de trekspanning voldoende veiligheid geeft. Afhankelijk van de situatie zijn de verificatiemogelijkheden in deze gevallen:
a) Vakwerkmodellen.
b) Hoofdspanningen

Het gebruik van vakwerkmodellen is afhankelijk van de geometrie en de ligging van de voorspanning + wapening en vaak niet of slechts beperkt bruikbaar.

Voor verificatie van hoofdspanningen wordt het 2,5D schalenmodel gebruikt. Hiervoor moet ook de voorspanning als belasting in rekening worden gebracht.

De hoofdspanningen in de dwarsdrager moeten worden beschouwd. Mogelijk kan in gebieden waar de rekenwaarde van de treksterkte ($f_{ctd;0,05}$) wordt overschreden deze worden opgenomen door de wapening in het betreffende gebied. Ook kunnen het spanningen zijn die veroorzaakt worden door de modellering en in werkelijkheid niet aanwezig zijn of herverdelen.

8 Controle statisch evenwicht (stabiliteit)

(1) Dit hoofdstuk bevat de controle van het statisch evenwicht.

Uitwerking

Als getwijfeld kan worden aan het statisch evenwicht, zoals bijvoorbeeld bij puntvormig ondersteuningen, dan moet het statisch evenwicht worden gecontroleerd. Zie verder de aanvulling op NEN-EN 1990+NB in de RBK.

Bij de controle van het statisch evenwicht mag er vanuit worden gegaan dat de asfaltverharding volledig aanwezig is (onderhoudssituaties worden niet beschouwd).

9 Samenvatting, conclusies en aanbevelingen

(1) Dit hoofdstuk bevat een samenvatting, conclusies en aanbevelingen.

Uitwerking

In de samenvatting wordt de hele berekeningsrapportage in vogelvlucht behandeld. De samenvatting bevat onder andere de randvoorwaarden en uitgangspunten, de berekeningsaanpak en een overzicht van de UC's.

In de conclusie wordt aangegeven welke onderdelen waar niet voldoen.

In de aanbevelingen wordt aangegeven welke mogelijkheden er zijn om de verificatieresultaten te verbeteren.

Bijlage A: Modellering

Veerstijfheid opleggingen

Wanneer verwacht kan worden dat de werkelijke veerstijfheid geen invloed heeft op de krachtswerking in de beschouwde doorsneden kan gerekend worden met vaste opleggingen.

Wanneer de werkelijke veerstijfheid van invloed is op de krachtswerking in de beschouwde doorsneden kan voor de veerstijfheid van stijve (pot) opleggingen een veerstijfheid worden aangenomen waarbij 0,1mm zakking door eigen gewicht optreed. De stijfheid van rubber opleggingen moet worden bepaald op basis van de dikte van het rubberpakket.

Wringing en verhinderde vervorming

De meest voorkomende oorzaak van wringing is excentrische verkeersbelasting. Door de krachtswerking te bepalen in een 2,5D model wordt bij kokervormige constructies rekening gehouden met het effect van deze wringing op de dwarskracht in de wanden.

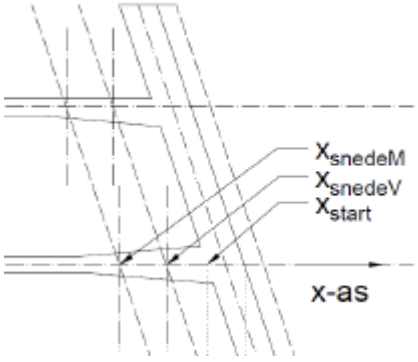
Wringing geeft ook langskrachten die door wapening moet worden opgenomen (artikel 6.3.2(3) van NEN-EN 1992-1-1). Deze krachten worden niet altijd door het EEM programma onderkend.

Bij scheve kruisingshoek ontstaan door verhinderde vervorming krachten in langsrichting. Deze (normaal)krachten beïnvloeden het moment in de wanden van de kokers nabij de dwarsdragers.

Snedekrachten bij scheve kruisingshoeken

Het 2,5D model bestaat uit schaalelementen voor het dek, de wanden en de ondervloer. De krachten in deze elementen moeten worden vertaald in snedekrachten.

Figuur B1: Krachten in sneden loodrecht op de lengteas op gelijke afstand tot de opleglijn.



De krachten in langsrichting van de wanden worden bepaald in doorsneden die loodrecht op de lengteas van de wanden staan.

Scheve kruisingshoeken verdienen speciale aandacht. De doorsneden staan in dat geval loodrecht op de wanden op gelijke afstand van de opleglijn.

Doorsnede modellen

Bij de modellering en verificatie van moment en dwarskracht worden verschillende doorsneden gebruikt. Dit zijn:
a) Werkelijke doorsnede zoals op de ontwerptekeningen gegeven.
b) Doorsneden in de rekenmodellen.
c) Effectieve buigdoorsneden volgens 5.3.2.1 van NEN-EN 1992-2
d) Effectieve afschuifdoorsnede volgens 6.2.2 van RBK 1.2.
De geometrische eigenschappen van verschillende doorsneden moeten worden aangegeven in figuren en tabellen.

Positionering van de verkeersbelasting

De verkeersbelasting wordt voor elke verificatie op de (meest) ongunstige positie worden geplaatst. Hierbij wordt uitgegaan van het volgende.

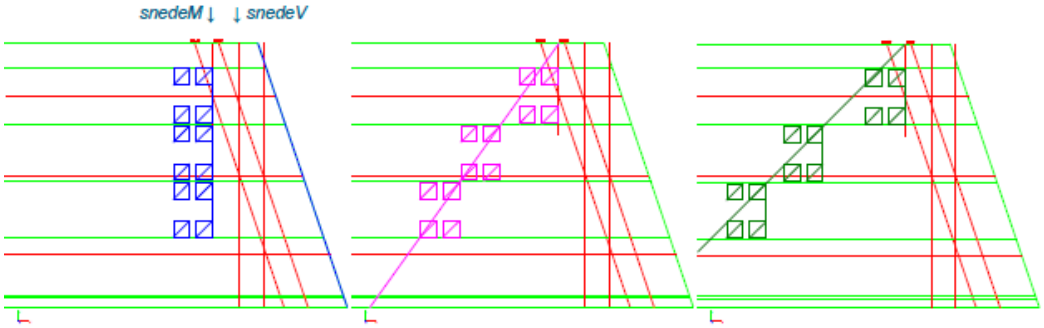
De gelijkmatig verdeelde verkeersbelasting wordt per rijstrook en per overspanning al dan niet aangebracht.

Voor de verkeerssituatie V1 wordt het aantal en de positie van de rijstroken genomen volgens de huidige wegindeling. Voor de rijstroken geldt een belaste breedte van 3 meter die wordt verdeeld over de werkelijke breedte. De nummering wordt zodanig gekozen dat het effect zo ongunstig mogelijk is.

De posities van de tandemstelsels (TS) wordt genomen in het midden van de rijstroken en gespreid tot de bovenkant van het dek.

Voor de positie van de TS in lengterichting wordt onderscheid gemaakt in de verificatie van bezwijken door moment en dwarskracht:
- Moment
  Hiervoor kan gebruik worden gemaakt van lasttreinen die zich bewegen over de verschillende rijstroken.
- Dwarskracht
  Hierbij is de locatie van de TS afhankelijk van het beschouwde verificatievlak volgens het volgende principe.
  Het belastingvlak van TS1 sluit aan op het verificatievlak. De maatgevende positie van TS2 en TS3 moet worden gezocht. Hierbij is het gebruikelijk om meerder configuraties te beschouwen van naast elkaar tot schuin achter elkaar in een lijn onder 45°.
  Bij het zoeken naar de maatgevende posities van de TS kan gebruik worden gemaakt van lasttreinen. Na vaststelling van de maatgevende posities van de TS moeten deze posities worden gebruikt voor de bepaling van de krachten door de TS.

Figuur A1: Zoeken naar maatgevende posities van TS2 en TS3.

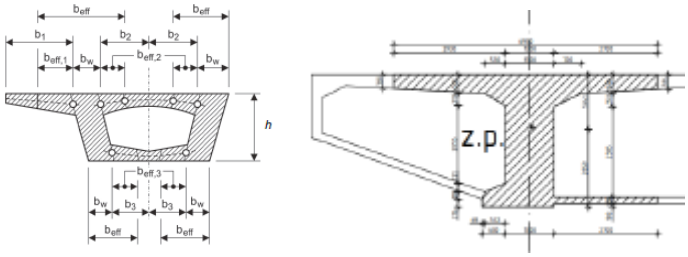


Bijlage B: Verificatie moment

Doorsnede voor de momentcapaciteit

De momentcapaciteit wordt bepaald van de effectieve buigdoorsnede die bestaat uit de doorsnede van de hoofdligger met meewerkende breedte volgens 5.3.2.,1 van NEN-EN 1992-2/NB.

Figuur B1: Effectieve buigdoorsnede.



Bij de berekening van de momentcapaciteit moet rekening worden gehouden met de afstand van de voorspanning tot de neutrale lijn. Om de bezwijkcapaciteit voldoende nauwkeurig te bepalen worden de kabels afzonderlijk of gebundeld op eenzelfde afstand tot de neutrale lijn gemodelleerd.

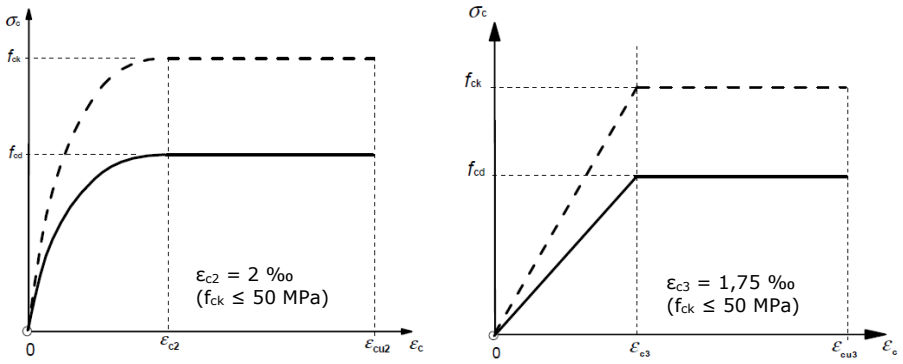
Momentcapaciteit volle doorsnede

Bij de in het verleden met volledige voorspanning ontworpen kokerbruggen werd uitgegaan van de momentcapaciteit van de volledige doorsnede. Om inzicht te krijgen in het verschil in UC tussen beoordeling per wand en beoordeling over de volledige doorsnede wordt voor de wand met de hoogste UC een vergelijking gemaakt met de UC bij volledige doorsnedecapaciteit. Hiervoor wordt de rekenwaarde van het optredend moment over de volledige doorsnede bepaald bij de belastingposities behorende bij de hoogste UC.

Gemiddelde stuik

Bij vrijwel centrisch belaste elementen zal bezwijken optreden voordat de stuikrek in het beton is bereikt. Om dit te voorkomen wordt in 6.1(5) van NEN-EN 1992-1-1 een eis gesteld aan de gemiddelde stuik in delen van dwarsdoorsneden die onderworpen zijn aan vrijwel centrische belastingen (e0 /h < 0,1), zoals flenzen onder druk van kokerliggers. In deze delen van dwarsdoorsneden moet, afhankelijk van het spanning-rekdiagram, de gemiddelde stuik worden beperkt tot εc2 of εc3.

Figuur B2: Parabool-rechthoekig (links) en bi-lineair spanning rekdiagram (rechts)



Wanneer gekozen is voor het bi-lineair diagram (figuur B2 rechts) en niet wordt voldaan aan de gemiddelde stuik eis moet de verificatie ook worden gedaan met het parabolisch rechthoekig diagram (figuur B2 links). Wanneer ook dan niet wordt voldaan aan de gemiddelde stuik eis moet de stuikrek (εcu2) worden aangepast om aan de eis van de gemiddelde stuik te voldoen.

Hoogte van de betondrukzone

Om bros bezwijken te voorkomen moet het staal vloeien voordat het beton op stuik bezwijkt. Dit wordt gecontroleerd door verificatie van de hoogte van de betondrukzone volgens 6.1(9) van NEN-EN 1992-1-1/NB. In figuur B4 is een voorbeeld gegeven van een verificatietabel

Figuur B3: Maximale hoogte van de betondrukzone

$$\frac{x_u}{d} \le \frac{\varepsilon_{cu}10^6}{\varepsilon_{cu}10^6 + 7f} \qquad f = \frac{(\frac{f_{pk}}{\gamma_S} - \sigma_{pm\infty})A_p + f_{yd}A_s}{A_p + A_s}; \qquad \frac{x_u}{d} \le \frac{500}{500 + f}$$

Bij ε_{cu} = 3,5 ‰ voor f_{ck} ≤ 50 MPa

Wanneer niet wordt voldaan aan de gestelde eis ($x_u/d > x_u/d_{max}$) moet in de verificatie het voorspanstaal wat niet nodig is om aan de sterkte eis te voldoen zijn weggelaten. De voorspankracht blijft in dat geval onverminderd aanwezig (M_{Ed} en N_{Ed} blijven ongewijzigd).

Figuur B4: Overzichtstabel verificatie hoogte van de betondrukzone.

	A_p mm²	f_{pd} MPa	σ_{pmoo} MPa	$\Delta\sigma_p$ MPa	f_{yd} MPa	f MPa	$(x_u/d)_{max}$	x_u mm	d mm	x_u/d	UC
Stp 5	38485	1465	904	561	435	538	0.482	1700	3229	0.526	1.09

Herverdeling van momenten

Herverdeling van momenten is alleen toegestaan van steunpunt naar veld. Hierbij wordt aangenomen dat de afname van het steunpuntsmoment gelijk is aan de toename van het veldmoment.

Artikel 5.5(4) van NEN-EN 1992-2 geeft de toegestane verhouding (δ) tussen het herverdeelde moment en het elastisch bepaalde moment. Deze verhouding is afhankelijk van x_u/d en de maximaal toegestane x_u/d. De x_u moet worden bepaald bij de aanwezige hoeveelheid wapening, reductie is niet toegestaan.

Werkwijze:
1. Pas herverdeling toe en bepaal de nieuwe UC's.
2. Bepaal voor de doorsnede waarvan het moment wordt herverdeeld de verhouding van het herverdeelde moment ten opzichte van het elastisch buigend moment en de maximaal toegestane verhouding volgens 5.5 (104) van NEN-EN 1992-2-2.

Deze werkwijze moet ook worden gevolgd bij ductiliteitsklasse A. In dat geval wordt de volgende opmerking toegevoegd:
Volgens de RBK aanvullling op 5.5. (105) van NEN-EN 1992-2-2 is herverdeling bij de hier toegepaste ductieliteitsklasse (A) niet toegestaan.

Bijlage C: Verificatie dwarskracht

RBK methode

Bij de ontwikkeling van de NEN-EN 1992-1-1 was één van de wensen om de mogelijkheid te bieden om met een flauwere scheurhelling te rekenen. Om dit met een eenvoudige ontwerpmethode mogelijk te maken is er voor gekozen om het betonaandeel ($V_{Rd,c}$) en het aandeel door dwarskrachtwapening ($VR_{d,s}$) los te koppelen. Het gevolg hiervan is dat voor bestaand constructies met lage percentages dwarskrachtwapening deze methode onnodig conservatief is. Bij de RBK is er daarom voor gekozen om de in het verleden aangehouden combinatie van $V_{Rd,c}$ en $V_{Rd,s}$ onder voorwaarden weer mogelijk te maken. De belangrijkste voorwaarde is hierbij de beperking van de helling van de drukdiagonaal, 45º voor gewapend beton en 30º voor voorgespannen beton.

Bij de beoordeling van voorgespannen statisch onbepaalde kokers is er bij de eindsteunpunten en tussensteunpunten sprake van door buiging ongescheurde gebieden. In deze ongescheurde gebieden kan geen afschuifbuigscheur ontstaan. Uit onderzoek blijkt echter dat de ABB toets, met enkele aanpassingen, voldoende conservatief is om ook in de ongescheurde gebieden te worden toegepast. In de RBK is er dan ook voor gekozen om de ABB te toetsen in de gescheurde en ongescheurde gebieden. Omdat echter de ABB toets voor ongescheurde gebieden is aangepast moeten de te onderzoeken gebieden worden ingedeeld in gescheurde en ongescheurde gebieden.

De ABB toets in ongescheurde gebieden wordt verondersteld conservatiever te zijn als de ATB toets. Dit is de reden dat in deze gebieden ook op ATB getoetst moet worden. In de RBK wordt hierbij het voorbehoud gemaakt dat bij een UC<1 bij tussensteunpunten niet mag worden aangenomen dat de dwarskrachtweerstand voldoende is. Onderzoek hiernaar is in een afrondende fase.

Minimum dwarskrachtwapening

Met onderzoek is aangetoond dat bij gewapende betonnen constructies de aandelen $V_{Rd,c}$ en $V_{Rd,s}$ bij elkaar mogen worden opgeteld zonder dat er eisen gesteld worden aan $\rho_{w,min}$. Bij voorgespannen constructies is optelling alleen aangetoond voor constructies met $\rho_w > \rho_{w,min}$. In de RBK aanvulling op 9.2.2 (5) van NEN-EN 1992-1-1 wordt om deze reden voor voorgespannen beton $\rho_{w,min} = 0{,}08\ f_{ck}^{1/2} / f_{yk}$ voorgeschreven.

Indien $\rho_w < \rho_{w,min}$, dan moeten desondanks zowel $V_{Rd,c}$, $V_{Rd,s}$ als $V_{Rd,c} + V_{Rd,s}$ worden bepaald en gepresenteerd. Dit wordt gevraagd om de invloed (van het eventueel wél optellen) inzichtelijk te krijgen, in het geval dat de brug niet zou voldoen.

Verankering van de trekwapening

De wapening die het verificatievlak doorsnijd moet voldoende verankerd zijn overeenkomstig hoofdstuk 8 van NEN-EN 1992-1-1. Deze controle wordt uitgevoerd in verificatievlakken die doorsneden wordt met wapening die niet volledig is verankerd.

De kracht in de wapening wordt bepaald met een doorsnedeberekening van de geprojecteerde verticale doorsnede waarbij het beton geen trek op kan nemen. Voor het moment (M_{Ed}) wordt het grootste moment over de breedte van het verificatievlak genomen.

Door deze controle is verschuiving van de momentenlijn bij de beoordeling van de uiterste grenstoestand buiging in deze doorsneden niet nodig.

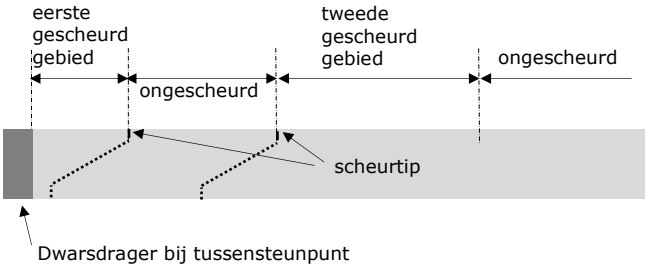
ATB verificatie

De ATB wordt beoordeeld in verticale doorsneden waarbij er vanuit wordt gegaan dat bij het bereiken van de rekenwaarde van de treksterkte de maximale dwarskrachtcapaciteit is bereikt. Dit maakt het noodzakelijk om de belasting door temperatuur en zetting in rekening te brengen. Ook moet de invloed van de gevoeligheid van de aangenomen voorspanverliezen inzichtelijk worden gemaakt met een parameterstudie. Dit omdat er aanwijzingen zijn dat de feitelijk aanwezige voorspanbelasting lager kan zijn dan wordt aangenomen.

ABB verificatie in overgang gescheurd-ongescheurd gebied

Bij de overgang van gescheurd naar ongescheurd gebied worden verificatievlakken (figuur C1) beoordeeld met en zonder aanpassingen zoals in de beschreven in 6.2.2.3 van de RBK aanvulling op NEN-EN 1992-1-1.

Figuur C1: Verificatievlakken bij overgang gescheurd-ongescheurd gebied.



Combinatie van krachten

De verticale wapening in de wanden wordt in lengterichting van de wanden op dwarskracht belast en in dwarsrichting van de wanden op buiging. Deze twee belastingen hoeven niet te worden gecombineerd.
Opmerking: Combinatie is niet nodig omdat het moment in dwarsrichting in de wand snel afneemt en omdat het moment trek en druk geeft.

Open beugels

Volgens de RBK moet de dwarskrachtwapening de trekzone omsluiten en voldoende verankerd zijn in de drukzone. Bij oudere kokerbruggen is de trekzone echter niet altijd omsloten. Hier zijn beugels in de vorm van omgekeerde haarspelden toegepast. Omdat verwacht mag worden dat deze 'beugels' een bijdrage aan de dwarskrachtcapaciteit leveren wordt hier een rekenregel gegeven waarvan aangenomen wordt dat deze voldoende conservatief is. Dit moet nog verder worden onderzocht. De UC's met deze bijdrage moeten dan ook als aanvulling worden gegeven op de UC's zonder deze bijdrage.

De bijdrage van beugels die de trekzone niet omsluiten maar wel het verificatievlak doorsnijden wordt als volgt in rekening gebracht (figuur C2):

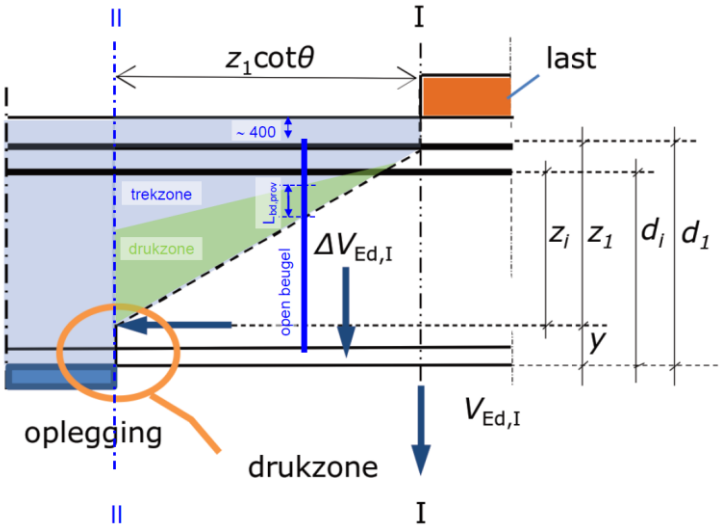
- Bepaal bij de doorsnijding van het verificatievlak door wapening de hoogte van de drukzone in verticale sneden met doorsnedeberekeningen waarbij het beton geen trek op kan nemen.
- Bepaal de bijdrage van de wapening aan de dwarskrachtcapaciteit naar ratio van de verankeringslengte in de drukzone (geen bijdrage van de verankering in de trekzone).

De bijdrage wordt voor twee situatie bepaald:

1. Bij maximale dwarskracht en het bijbehorend moment.
2. Bij maximaal moment en de bijbehorende dwarskracht

De kleinste bijdrage wordt in rekening gebracht.

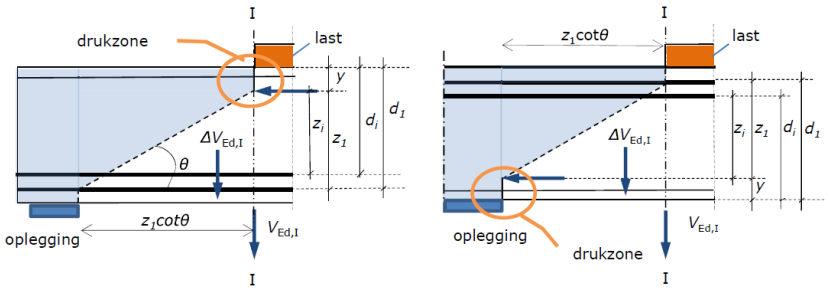
Figuur C2: Drukzone voor bijdrage verticale wapening.



Optredende dwarskracht bij verlopende hoogte

In de RBK wordt uitgegaan van een horizontale gelegen elementen met constante hoogte.

Figuur C3: Verificatievlak bij afschuifbuigbreuk



a) Druk aan bovenzijde b) Druk aan onderzijde

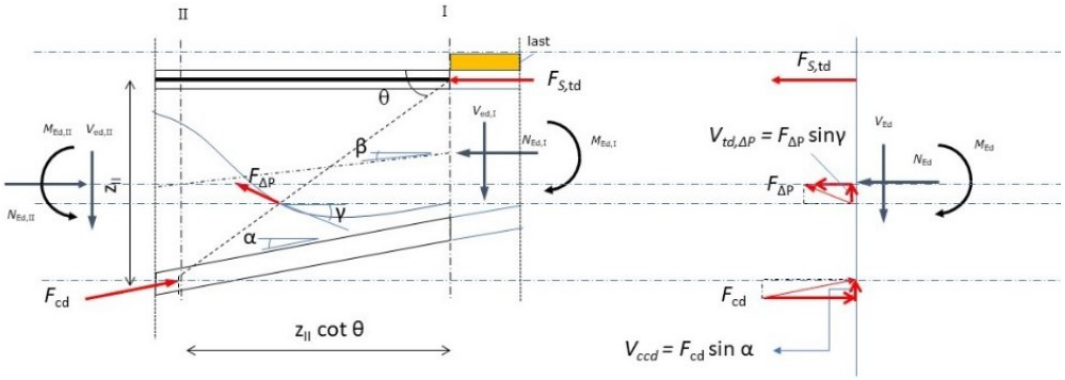
De optredende dwarskracht bestaat uit de krachten die door het verificatievlak moeten worden overgedragen. Volgens het RBK model (figuur C3) is dit de dwarskracht in doorsnede I en de verticale belasting die aangrijpt onder het schuine deel van het verificatievlak zoals eigen gewicht en krommingsdruk van de voorspanning.

Bij kokers met een schuin verlopende ondervloer zoals bij uitbouwbruggen gebruikelijk heeft de drukkracht in deze ondervloer een verticale component. Deze mag in mindering worden gebracht op de dwarskracht die door het verificatievlak moet worden overgedragen.

In figuur C4 zijn rechts de snedekrachten aangegeven die evenwicht moeten maken met de externe krachten zoals links aangegeven. De dwarskrachtwapening is in deze figuren niet aangegeven. De verticaal bijdrage van $F_{\Delta p}$ door het deel van de voorspanning die als wapening in rekening mag worden gebracht (f_{pd}-σ_{pw})) is relatief klein en wordt daarom meestal verwaarloosd.

De kracht in de ondervloer wordt bepaald met een doorsnedeberekening van de geprojecteerde verticale doorsnede waarbij het beton geen trek op kan nemen. Voor het moment (MEd) wordt het bij de maximale dwarskracht behorend moment genomen.

Figuur C4: Snedekrachten bij verlopende ondervloer



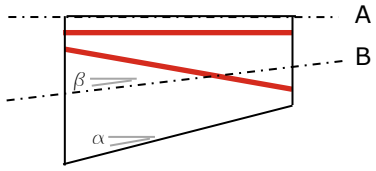
a) Verificatievlak met externe krachten aan linker en rechterzijde.

b) Overzicht interne (links) en externe (rechts) krachten op snede voor toetsing

Verticale snedekrachten

Bij een schuin verlopende ondervloer moet goed opgelet worden op de vertaling van de krachten uit het model naar de krachten in het verificatievlak. In modellen worden krachten vaak weergegeven in lokale assenstelsels met de assen evenwijdig en loodrecht op de systeemlijn, die niet horizontaal hoeft te zijn. In dat geval moeten voor verificatie de verticale componenten van deze krachten worden genomen.

Figuur C5: Verschillende systeemlijnen



In figuur C5 zijn twee mogelijke systeemlijnen gegeven. In het programma ALP wordt in de Design mode systeemlijn A gebruikt. In de Build en Expert mode kan ook voor systeemlijn B worden gekozen (door elastisch centrum, alleen bij enkele subbeam). In dat geval moeten de krachten in verticale en horizontale richting worden ontbonden.

Ook de vorm van het element kan van invloed zijn. In figuur C6 zijn twee verschillende elementen getekend. Beide met een horizontale systeemlijn. De voorspanning in het linker element (ALP) heeft geen en het rechter element wel een dwarskrachtcomponent.

Figuur C6: Verschillende elementen

