Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving

CUR/BmS - Aanbeveling 104

Vloeren van kanaalplaten met geïntegreerde liggers

Aanvullende bepalingen op **NEN 6720:1995 (VBC 1995)**
NEN 6770:1997 (TGB Staalconstructies)
NEN 6071:2001 (Brandwerendheid betonconstructies)
NEN 6072:2001 (Brandwerendheid staalconstructies)
NEN 6722:2002 (VBU 2002)

Regelmatig treedt de situatie op dat constructies worden ontworpen waarvoor nog geen constructieve regelgeving bestaat. Door productontwikkeling ontstaan tevens situaties waarvoor de bestaande regelgeving onvoldoende is. Zolang regelgeving ontbreekt, worden regels door belanghebbenden vastgesteld of wordt toepassing belemmerd. Het is ongewenst dat deze situatie lange tijd voortduurt, reden waarom CUR/BmS-Aanbevelingen worden uitgebracht om in de leemte te voorzien. In deze Aanbeveling worden kanaalplaatvloeren behandeld die minimaal aan één oplegzijde niet star zijn ondersteund.
De toepassing van kanaalplaatvloeren is in het laatste decennium van de vorige eeuw verder ontwikkeld. Het gebruik van ondersteunende liggers van staal, de zogenoemde geïntegreerde stalen liggers, luidde een nieuwe fase in deze ontwikkeling in. Onderzoek naar het gedrag van een kanaalplaatvloer die door geïntegreerde stalen of betonnen liggers wordt ondersteund, leerde dat door de ontstane samenwerking van de kanaalplaten en de ligger, in de kanaalplaten een schuifspanning ontstaat die tot dan niet werd onderkend en niet in rekening werd gebracht bij het bepalen van de toelaatbare ontwerpdwarskracht. Een grootschalig onderzoek in het begin van de jaren negentig in opdracht van de Scandinavische prefab beton- en staalindustrie, heeft veel kennis opgeleverd. Bij dit onderzoek zijn proeven uitgevoerd op daar veelvuldig toegepaste kanaalplaten, met een maximale hoogte van 400 mm. Europese regelgeving stelt de maximale hoogte van een kanaalplaat op 450 mm. Vooralsnog is daarin niet voorzien, evenmin voor kanaalplaten met een hoogte kleiner dan 200 mm.
Door de fabrikanten van kanaalplaatvloeren is gedurende langere tijd gecontroleerd of de door hen berekende en geleverde constructies voldeden aan de eisen die in deze Aanbeveling zijn overgenomen uit het Scandinavische onderzoek. Aandacht wordt gevraagd voor het feit dat bij het ontwerpen van de constructie geïntegreerd moet worden gedacht. Door de stijfheid van de ondersteunende ligger te verhogen, kan de toelaatbare ontwerpdwarskracht van de kanaalplaat worden verhoogd.

Deze CUR/BmS-Aanbeveling is opgesteld door CUR/BmS-voorschriftencommissie 53 'Kanaalplaatvloeren met geïntegreerde liggers'. Op het moment van publicatie van deze Aanbeveling was de commissie als volgt samengesteld:

ir. J.G. Kraus, voorzitter	DHV
ing. J.W.P.M. Brekelmans	TNO Bouw
ir. H.E. Diepeveen	Deltabeam International B.V.
dr.ir. A.F. Hamerlinck	Bouwen met Staal
ir. H.J. Mulder	Rijksgebouwendienst DO&T/C
ir. A.G.M. van Paassen	VBI Ontwikkeling BV

ing. R. Sagel	COB Stadswerk
ing. J. de Wit	Dycore B.V.
ir. F.G. van Wagensveld	DSI B.V.
ing. R. Klein-Holte, rapporteur	Bevlon/Stuvka
ir. H.J. Prins, corresponderend lid	Prince Cladding B.V.
ing. M.J. van der Vliet	CUR
prof.ir. H.W. Bennenk, mentor	CUR

De aanvullende bepalingen op NEN 6720 en NEN 6722 in deze Aanbeveling zijn goedgekeurd door de Algemene Voorschriftencommissie 'Beton' en worden ondersteund door CUR-voorschriftencommissie 20 'TGB-Betonconstructies' (t.a.v. NEN 6720) en CUR-voorschriftencommissie 18 ´Uitvoering van betonconstructies´ (t.a.v. NEN 6722). De Aanbeveling is consistent bevonden met NEN 6720.
De aanvullende bepalingen op NEN 6770 in deze Aanbeveling zijn goedgekeurd door NEN-commissie TGB-Staalconstructies en worden ondersteund door TC 11 Staal.
Op het moment van verschijnen van deze Aanbeveling was er geen relevante normcommissie bekend om de aanvullende bepalingen op NEN 6071 en NEN 6072 te beoordelen.

inhoud

		blz.
1	**Onderwerp en toepassingsgebied**	5
1.1	Onderwerp	5
1.2	Toepassingsgebied	5
2	**Termen en definities**	6
3	**Eenheden en grootheden**	8
3.1	Eenheden	8
3.2	Symbolen	8
DEEL I		
Aanvullende bepalingen op NEN 6720 (VBC 1995)		10
4	**Eisen en bepalingen**	10
5	**Algemene voorwaarden**	10
6	**Materiaaleigenschappen**	10
7	**Schematisering en krachtsverdeling**	10
7.1	Schematisering	10
7.1.7	Meewerkende breedte en constructieve doorsnede	10
7.2	Theorieën	12
7.2.1	Algemeen	12
8	**Dimensionering en toetsing**	12
8.2	Dwarskracht	12
8.2.3	Uiterst opneembare schuifspanning	12
8.2.5	Aansluitvlakken van samengestelde liggers en platen	13
8.2.7	Hoofdtrekspanning in de kritische doorsnede van de kanaalplaat	13
8.5	Wringing en dwarskracht in liggers	20
8.5.1	Algemeen	20
8.6	Doorbuiging	20
8.6.1	Toetsingscriteria	20
8.7	Scheurvorming	20
8.7.1	Toetsingscriteria	20
8.7.5	Toetsing door middel van fictieve rek	21
9	**Detaillering**	22
9.12	Wapening ten behoeve van de samenhang	22
9.12.1	Algemeen	22
9.12.4	Ring- en koppelwapening in vloeren	22
9.14	Opleggingen	22
9.14.3	Oplegging van de kanaalplaat	22
Deel II		
Aanvullende bepalingen op NEN 6770		
6	**Bruikbaarheidsgrenstoestanden**	24
6.2	Rekenmethode	24
6.2.1	Vervormingen	24
6.2.2	Trillingen	24

10	**Rekenmethode**	**24**
10.2	Respons van de constructie	24
10.2.1	Krachtsverdeling	24
10.2.4	Doorsneden	24
11	**Toetsing van de doorsnede**	**25**
11.1	Algemeen	25
11.2	Enkelvoudige krachten en momenten	25
11.2.3	Buiging	25
11.2.4	Afschuiving	25
11.2.5	Torsie	25
11.3	Combinaties van krachten en momenten	25
11.4	Vloeicriterium	25
13	**Verbindingen**	**26**
13.4	Gelaste verbindingen	26
13.4.1	Lasvormen	26

Deel III
Aanvullende bepalingen op NEN 6071 en NEN 6072 **27**

10	**Brandwerendheid met betrekking tot bezwijken**	**27**
10.1	Rekenregels	27
12	**Detailleringen**	**28**
12.1	Algemeen	28

Deel IV
Aanvullende bepalingen op NEN 6722 **29**

13	**Aanvullende eisen voor vooraf vervaardigd beton**	**29**
13.4	Montage van betonelementen	29
13.4.2	Standzekerheid van elementen tijdens de montage	29
13.6	Mortelvoegen	29
13.6.1	Kwaliteit van de voegspecie	29

Titels van vermelde normen **30**
Overige literatuur **30**

1 Onderwerp en toepassingsgebied

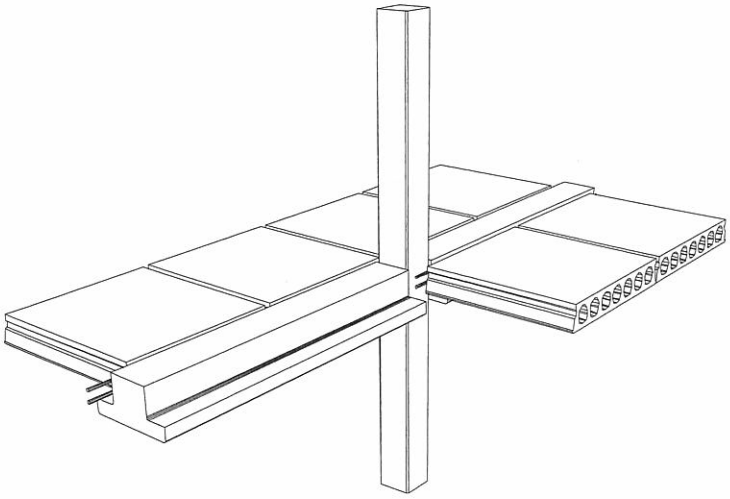
1.1 *Onderwerp*

Deze Aanbeveling bevat aanvullende bepalingen en eisen op NEN 6720 (TGB 1990, Betonconstructies) en NEN 6770 (TGB 1990, Staalconstructies) voor vloerconstructies waar kanaalplaatvloeren loodrecht op hun overspanningsrichting aan één of twee einden door stalen of betonnen geïntegreerde liggers worden ondersteund. De als aanvulling op NEN 6720 uitgebrachte CUR - Aanbevelingen 37 'Hoge Sterkte Beton' en 39 'Beton met grove lichte toeslagmaterialen' zijn in combinatie met deze Aanbeveling niet van toepassing voor de kanaalplaten.
In aanvulling op NEN 6722 (Voorschriften Beton - Uitvoering) worden bepalingen gegeven voor de montage.
Indien in deze Aanbeveling op gedeelten van bepaalde artikelen van de aangegeven normen aanvullende en/of afwijkende bepalingen worden gegeven, blijft de rest van het artikel ongewijzigd van kracht.
De normen NEN 8005, NEN-EN 206-1 en NVN 6725 (Vrijdragende systeemvloeren van vooraf vervaardigd beton) blijven onverkort van toepassing.
Doordat aanvullende bepalingen en eisen worden gegeven ten aanzien van meerdere normen, wordt deze CUR/BmS-Aanbeveling onderverdeeld in vier delen, om op de juiste wijze te kunnen refereren aan de bestaande artikelen in deze normen. In deel I worden aanvullende bepalingen en eisen gegeven op NEN 6720, in deel II op NEN 6770, in deel III op NEN 6071 en in deel IV op NEN 6722. Men dient deze Aanbeveling echter als één samenhangend geheel te beschouwen. Op onderdelen wijkt deze Aanbeveling af van CUR/BmS-rapport 2001-2, met name bij de controle van de voorgespannen kanaalplaat. Deze wijze van presenteren is niet parallel aan de logische stappen in het ontwerp of de berekening. Met name de voorwaarden ten aanzien van de brandwerendheid van onderdelen en de constructie als geheel hebben invloed op het ontwerp, maar zijn opgenomen in deel III.

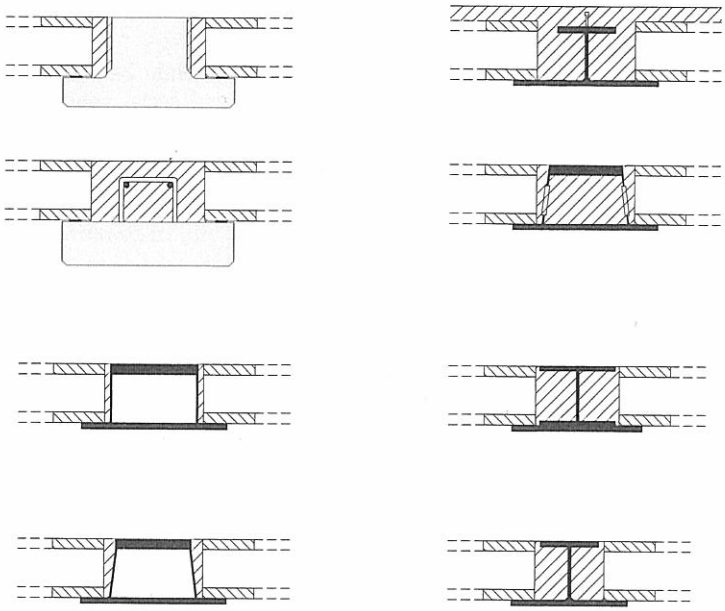
1.2 *Toepassingsgebied*

Deze CUR/BmS-Aanbeveling geldt voor overwegend statisch en gelijkmatig belaste constructies met voorgespannen kanaalplaten, 200 mm tot en met 400 mm hoog, die in de overspanningsrichting op zijn minst aan één zijde niet star zijn ondersteund door een stalen of betonnen ligger, die geheel of gedeeltelijk in de vloerconstructie is geïntegreerd, zoals aangegeven in de figuren 1 en 2. De kanaalplaatvloer kan van een gewapende constructieve druklaag zijn voorzien. Een oplegging op een wand wordt gezien als een starre ondersteuning, op een geïntegreerde ligger als een niet starre ondersteuning.

Figuur 1 Schematische weergave van een kanaalplaatvloer met geïntegreerde liggers



Figuur 2 Doorsneden van geïntegreerde liggers, passend binnen deze Aanbeveling



2 Termen en definities

Lengte- en dwarsrichting kanaalplaat
De lengterichting van de kanaalplaat loopt evenwijdig aan de kanalen. De dwarsrichting van de kanaalplaat loopt dan evenwijdig aan de lengterichting van de ondersteunende ligger.

Gewapende constructieve druklaag
Gewapende constructieve dekvloer op de kanaalplaatvloer waarvan de minimale dikte is gemeten in het midden van de overspanning van de kanaalplaatvloer.

Ondersteunende ligger
Ligger waarop de kanaalplaat is opgelegd.
De positie van de kanaalplaatvloer ten opzichte van de ondersteunende ligger kan verschillen. De kanaalplaatvloer wordt opgelegd op de onderflens, die onder de kanaalplaat uitsteekt en in dikte en stijfheid zal verschillen bij een stalen ligger en een gewapende of voorgespannen betonnen ligger.

Geïntegreerde ligger
Stalen, staalbetonnen of betonnen ligger die geïntegreerd is in de kanaalplaatvloer. Alleen een gedeelte van deze ligger steekt onder de kanaalplaatvoer uit en vormt daarmee de oplegging voor de kanaalplaatvloer. Door de aan te brengen stortstroken en verbindingswapening ontstaat een constructieve samenwerking tussen de ondersteunende ligger en de kanaalplaatvloer.

Opvulstrook
In het werk aangebracht beton tussen de koppen van de kanaalplaten en de ligger, of tussen de koppen van de kanaalplaten bij toepassing van een balkbodem. Uitgangspunt is dat deze opvulstrook gelijktijdig met de voegen tussen de kanaalplaten wordt aangebracht.

Vuldiepte van het kanaal
De diepte van de kanaalvulling, wordt bepaald door de plaats van de afsluitdoppen in de kanalen.

Kopsleuf
In de fabriek aan de kopzijde aangebrachte sparing in een kanaalplaat, waarbij het beton boven het kanaal over de vereiste lengte wordt verwijderd.

Niet star ondersteunde kanaalplaatvloer
Kanaalplaatvloer met aan minimaal één kopzijde een niet starre ondersteuning.

Ringwapening
Trekbandwapening die noodzakelijk is om de kanaalplaatvloer als horizontale schijf te laten werken. De wapening wordt aangebracht in de opvulstroken en doorgevoerd tot en met de plaats waar de horizontale oplegreactie wordt overgedragen aan het stabiliserende constructieonderdeel.

Koppel - en verbindingswapening
Wapening die de verbinding vormt tussen de trekbandwapening en de randliggers met de vloerschijf. Ook bij tussenondersteuningen van de kanaalplaatvloer wordt wapening aangebracht om de vloervelden onderling te verbinden en de schijfwerking en de oplegging van de kanaalplaat te verzekeren. Deze wapening kan in de voeg of in, in de kanaalplaten aangebrachte kopsleuven worden aangebracht.

Constructieve doorsnede in de bruikbaarheidsgrenstoestand
Werkzame doorsnede in de gebruiksfase, die bestaat uit de ondersteunende ligger, de stortstroken, een deel van de doorsnede van de kanaalplaat ter breedte van de meewerkende breedte b_e en de eventueel aanwezige gewapende constructieve druklaag.

Constructieve doorsnede in de uiterste grenstoestand
Werkzame doorsnede voor de toetsing van de ondersteunende ligger in de gebruiksfase, die bestaat uit de stalen ligger exclusief de kanaalplaat en de opvulstroken, of de betonnen ligger exclusief de kanaalplaat. Voor de staalbetonligger, voorzien van opgelaste stiften, kunnen de gewapende constructieve druklaag en de stortstrook mede in beschouwing worden genomen.

Meewerkende breedte b_e
De bijdrage van de kanaalplaat in de constructieve doorsnede omvat de dikte van de onderflens en de bovenflens ter plaatse van het hart van het kanaal aan één zijde van de ondersteunende ligger over de breedte $b_{eff,i}$. De meewerkende breedte b_e is de som van $b_{eff,1}$ en $b_{eff,2}$ en de breedte van de ligger inclusief de opvulstroken (fig. 3).

Onderstempelen
Tijdelijk ondersteunen van de ligger of de vloerplaten totdat de aangebrachte stortstrook voldoende is verhard. Deze wijze van onderstempelen heeft invloed op de krachtsverdeling in de constructieve doorsnede.

Montageonderstempeling
Tijdelijke ondersteuning van de ligger of de vloerplaten gedurende de bouwfase om ongewenste vervormingen en verdraaiingen te voorkomen. Deze onderstempeling wordt verwijderd voordat de opvulstroken en voegen worden gestort. Deze wijze van onderstempelen heeft *geen* invloed op de krachtsverdeling in de constructieve doorsnede.

Schuifkrachten in dwarsrichting van de kanaalplaat
Schuifkrachten in de lijven van de kanaalplaten, evenwijdig aan de balkoverspanning en loodrecht op de lengterichting van de kanaalplaat, die een schuifspanning τ_{vyd} in het lijf veroorzaken. Deze schuifkrachten ontstaan door samenwerking van de kanaalplaten en de ondersteunende ligger.

Toegevoegde belasting
De belasting die schuifkrachten veroorzaakt in de constructieve doorsnede van de kanaalplaten in de uiterste grenstoestand. Hieronder vallen tevens de krachten die vrijkomen bij het verwijderen van de onderstempeling *nadat* de opvulstroken en voegen zijn verhard.

Bouwfase
Periode waarin het bouwwerk in oprichting is. Specifieke belastingen zijn hier belastingen door niet verharde betonspecie, stoot- en stortbelastingen.

Gebruiksfase
Periode na de bouwfase, waarin het bouwwerk in gebruik is. De duur van deze periode (referentieperiode) is 50 jaar.

3 Eenheden en grootheden

3.1 Eenheden

De in deze CUR/BmS-Aanbeveling toegepaste eenheden zijn in overeenstemming met NEN 6720, NEN 6770 en NEN 6072.

3.2 Symbolen

In overeenstemming met en in aansluiting op de in 3.1 vermelde normen worden in deze Aanbeveling de volgende symbolen en namen van grootheden gebruikt.

A_b	oppervlakte van de doorsnede van kanaalplaat
A_p	oppervlakte van de doorsnede van het voorspanstaal
b_e	meewerkende breedte in de constructieve doorsnede
$b_{eff,0}$	meewerkende breedte bepaald uit proeven bij een standaardoverspanning L_0
$b_{eff,i}$	meewerkende breedte van de kanaalplaat aan één zijde van de ligger
b_{kr}	kritische breedte
b_0	liggerbreedte inclusief de opvulstroken
b_{pl}	breedte van de kanaalplaat
b_w	lijfbreedte
b_{wu}	lijfbreedte van het lijf aan de rand van de kanaalplaat
ES_f	lineair-oppervlaktemomentstijfheid van de rekenkundige bovenflens en eventuele gewapende constructieve druklaag
E_{pl}	elasticiteitsmodulus van de kanaalplaat
EI_0	buigstijfheid van de beschouwde doorsnede
$EI_{0\text{-}dr}$	buigstijfheid van de rekenkundige doorsnede exclusief de gewapende constructieve druklaag
f_b	rekenwaarde van de betontreksterkte van de kanaalplaat
f_{bm}	gemiddelde betontreksterkte van de kanaalplaat
$f'_{ck;dr}$	karakteristieke kubusdruksterkte van de gewapende constructieve druklaag
$h_{pl,}$	hoogte van de kanaalplaat
$h_{pl,t}$	dikte van de bovenflens van de kanaalplaat
$h_{pl,c}$	hoogte met een constante dikte van het lijf van de kanaalplaat
h_{dr}	dikte van de gewapende constructieve druklaag
I_{pl}	kwadratisch oppervlaktemoment van de kanaalplaat (zonder gewapende constructieve druklaag)
L	overspanning van de ligger of de afstanden tussen de momentennulpunten als de ligger doorgaand is geconstrueerd
L_0	basisoverspanning van de ligger tijdens proeven
l_v	verankeringslengte
M_d	rekenwaarde van het buigend moment door de fundamentele belastingscombinatie
$p_{d\text{-}g}$	rekenwaarde van de gelijkmatig verdeelde belasting volgens de fundamentele belastingscombinatie exclusief eigen gewicht
$p_{d;d}$	rekenwaarde van de belasting ten gevolge van het eigen gewicht van de gewapende constructieve druklaag
S	lineair oppervlaktemoment (afschuivend deel t.o.v. zwaartelijn) van de totale constructieve doorsnede
S_{pl}	lineair oppervlaktemoment (afschuivend deel t.o.v. zwaartelijn) van de kanaalplaat

T_d rekenwaarde van het torsiemoment ten gevolge van de fundamentele belastingscombinatie

V_d rekenwaarde voor de dwarskracht ten gevolge van de fundamentele belastingscombinatie

$V_{d;toe}$ rekenwaarde van de dwarskracht op de kanaalplaat ten gevolge van de fundamentele belastingscombinatie van de toegevoegde belastingen (d.w.z. exclusief eigen gewicht en eventuele gewapende constructieve druklaag)

$V_{d;g}$ rekenwaarde van de dwarskracht op de kanaalplaat ten gevolge van het eigen gewicht van de kanaalplaat inclusief eventuele gewapende constructieve druklaag in de fundamentele belastingscombinatie

$V_{d;st}$ rekenwaarde voor de dwarskracht op de kanaalplaat ten gevolge van het verwijderen van de tijdelijke ondersteuningen nadat het beton van de opvulstroken en voegen voldoende is verhard, in de fundamentele belastingscombinatie

$V_{u,s}$ uiterst opneembare dwarskracht van een star ondersteunde kanaalplaat met eventuele gewapende constructieve druklaag, bepaald volgens NEN 6720, 8.2.3.3

$V_{\theta,d}$ rekenwaarde van de optredende dwarskracht bij brand

y_0 afstand van de neutrale lijn van de samenwerkende liggerdoorsnede inclusief gewapende constructieve druklaag tot de onderzijde van de kanaalplaat

$y_{0\text{-}dr}$ afstand van de neutrale lijn van de samenwerkende liggerdoorsnede exclusief gewapende constructieve druklaag tot de onderzijde van de kanaalplaat

β_f reductiefactor op de horizontale schuifspanning voor de vuldiepte van de kanalen met beton

β_{dr} reductiefactor ten gevolge van een eventueel aanwezige gewapende constructieve druklaag

β_p reductiefactor in verband met een verminderd aantal effectieve voorspanstrengen ten gevolge van scheurvorming in langsrichting van de kanaalplaat

η belastingsgraad

$\varnothing$ diameter

v_{yd} horizontale schuifstroom ten gevolge van niet-starre ondersteuning

$\sigma_{1;ns}$ maximale hoofdtrekspanning in de kritische doorsnede over de lijven van een niet star ondersteunde kanaalplaat

σ'_{bmd} gemiddelde betonspanning in de beschouwde doorsnede ten gevolge van de voorspanbelasting

$\sigma'_{bmd;r}$ gemiddelde betonspanning in de beschouwde doorsnede ten gevolge van de voorspanbelasting met een verminderde effectieve voorspanning

τ_{vyd} horizontale schuifspanning ten gevolge van niet starre ondersteuning

DEEL I
Aanvullende bepalingen op NEN 6720 (TGB 1990, Betonconstructies)

4 Eisen en bepalingen

Geen aanvullende bepalingen

5 Algemene voorwaarden

Geen aanvullende bepalingen

6 Materiaaleigenschappen

Geen aanvullende bepalingen

7 Schematisering en krachtsverdeling

7.1 *Schematisering*

Toelichting
Kanaalplaten zonder gewapende constructieve druklaag worden altijd toegepast als ligger op twee steunpunten, dus als statisch bepaalde ligger. Zie ook NVN 6725.

7.1.7 *Meewerkende breedte en constructieve doorsnede*

7.1.7.1 *Bruikbaarheidsgrenstoestand van de ligger*

Voor de toetsing van de bruikbaarheidsgrenstoestand van de ligger in de gebruiksfase geldt voor de constructieve doorsnede van de betonligger, stalen ligger en staalbetonligger de meewerkende breedte volgens 7.1.7.2.

7.1.7.2 *Uiterste grenstoestand van de kanaalplaten*

Voor de toetsing van de uiterste grenstoestand van de kanaalplaten in de gebruiksfase geldt als meewerkende breedte van de constructieve doorsnede:

$b_e = b_0 + b_{eff,1} + b_{eff,2}$ bij middenbalken
$b_e = b_0 + b_{eff,1}$ bij randbalken

waarin (fig. 3):

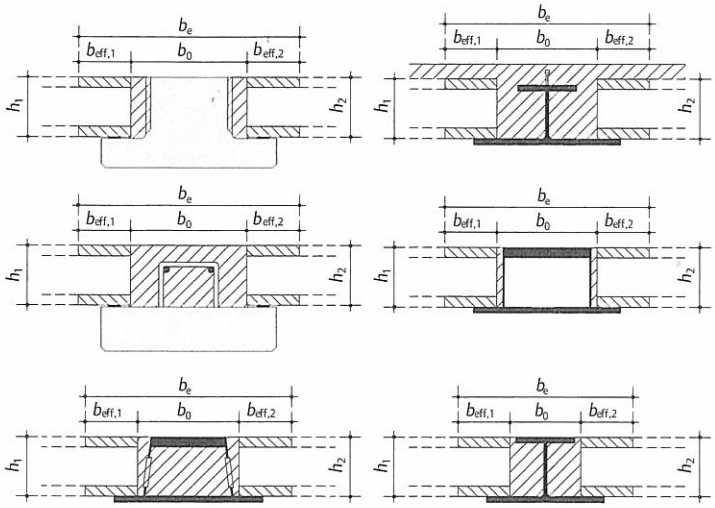
b_0 is de breedte van de ligger of de flensbreedte in de vloerhoogte vermeerderd met de breedte van de opvulstroken;

b_{eff} $= (L/L_0)\, b_{eff,0}$ is de *effectieve breedte* van de delen van de kanaalplaat en de eventueel aanwezige gewapende constructieve druklaag;

L is de overspanning van de ligger of de afstand tussen de momentennulpunten indien de ligger doorgaand is geconstrueerd;

$b_{eff,0}$ is de effectieve breedte van de kanaalplaat afhankelijk van het soort ligger, bepaald uit proeven bij een standaardliggerlengte L_0, volgens tabel 1. Met beton gevulde stalen liggers worden beschouwd als staalbetonligger.

Figuur 3 Constructieve doorsnede van geïntegreerde liggers voor de toetsing van de bruikbaarheidsgrenstoestand van de ligger en de uiterste grenstoestand van de kanaalplaten, beide in de gebruiksfase



Tabel 1 Effectieve breedte $b_{eff,0}$ in mm voor statisch bepaalde liggers met een overspanning $L_0 = 5$ m

dikte kanaalplaat	betonnen ligger	staalbetonligger	stalen ligger
200 mm	*150*	*95*	*80*
260 mm	185	120	90
320 mm	*270*	*140*	*100*
400 mm	400	180	115

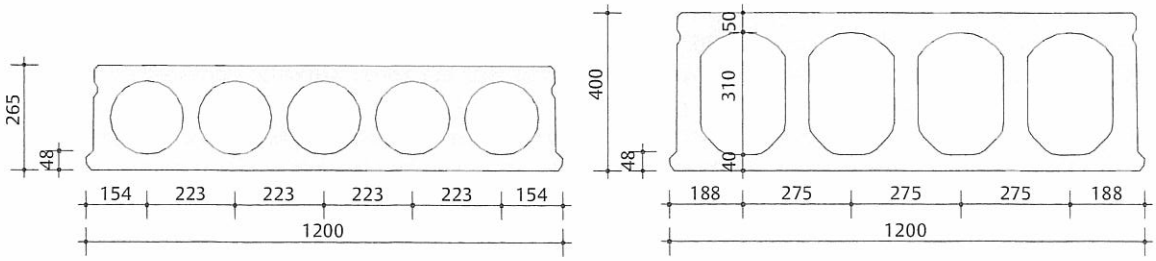
Toelichting

De doorsneden van de kanaalplaten die in de proeven zijn gebruikt, zijn weergegeven in figuur 4. De waarden van $b_{eff,0}$ voor deze kanaalplaten zijn in tabel 1 weergegeven. De waarden van de overige in tabel 1 vermelde hoogten van kanaalplaten zijn door interpolatie en extrapolatie tot stand gekomen (cursief gedrukt). De effectieve breedte zoals aangegeven in figuur 3 is nauwkeurig afgestemd op het bezwijkcriterium van het lijf van de kanaalplaat. De doorbuiging die wordt berekend met de constructieve doorsnede komt vrijwel overeen met de in de proeven gemeten waarden. De toetsing van de uiterste grenstoestand van de ligger wordt niet met de constructieve doorsnede uitgevoerd, maar met een gereduceerde doorsnede, zoals hierna aangegeven.

Maatgevend voor de bepaling van de grootte van de horizontale schuifspanning τ_{vyd} is de dwarskracht, die gebruikelijk maximaal is bij de oplegging van de ligger.

Bij doorgaand geconstrueerde liggers is door de tegenkromming ter plaatse van het steunpunt, en het daardoor willen opendraaien van de voegen, de dwarskracht ter plaatse van het momentennulpunt maatgevend voor de berekening van τ_{vyd}. Door de kortere lengte neemt de effectieve breedte af en daardoor de schuifstroom v_{yd}.

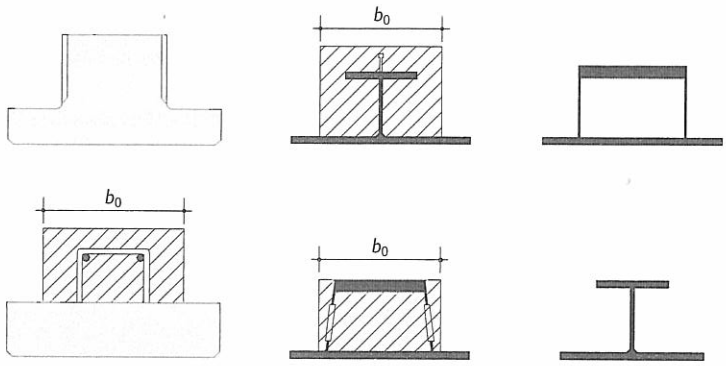
Figuur 4 Doorsnede van de beproefde kanaalplaten



7.1.7.3 *Uiterste grenstoestand van de ligger*

De toetsing van betonligger, stalen ligger en staalbetonligger in de uiterste grenstoestand wordt uitgevoerd op de doorsneden zoals aangegeven in figuur 5.

Figuur 5 Constructieve doorsnede voor toetsing van de ligger in de uiterste grenstoestand



Toelichting

Uit onderzoek is gebleken dat scheurvorming ontstaat langs de kopzijde van de kanaalplaten of langs de liggers, ongeacht of in de zijvlakken van de betonliggers profileringen zijn aangebracht, zoals 'shear-keys'. De toetsing in de uiterste grenstoestand voor de ligger wordt uitgevoerd op:

- de betonligger met de eventuele gewapende constructieve druklaag;
- de stalen ligger zonder de opvulstroken en de eventuele gewapende constructieve druklaag

In geval van een staalbetonligger wordt de toetsing uitgevoerd op de stalen ligger en meewerkende opvulstrook en de eventuele gewapende constructieve druklaag, zoals in figuur 5 aangegeven.

7.2 *Theorieën*

7.2.1 *Algemeen*

De toetsing van de bruikbaarheidsgrenstoestand van de ligger en de uiterste grenstoestand van de kanaalplaten, beide in de gebruiksfase, dient te worden uitgevoerd volgens de *lineaire-elasticiteitstheorie*.

8 Dimensionering en toetsing

8.2 *Dwarskracht*

8.2.3 *Uiterst opneembare schuifspanning*

8.2.3.3 *Doorsneden met geringe buigtrekspanningen*

Bij kanaalplaten met een niet starre ondersteuning en een dwarskracht waarvoor geldt $V_d > 0{,}35\ V_{u;s}$, moet ter plaatse van de kritische doorsnede worden voldaan aan de volgende voorwaarde:

$$\sigma_{1;ns} \leq f_b$$

waarin:

$\sigma_{1;ns}$ is de hoofdtrekspanning in de kritische doorsnede van de kanaalplaat volgens 8.2.7;

f_b is de rekenwaarde van de treksterkte van het beton in het lijf van de kanaalplaat.

Bij kanaalplaten met een starre ondersteuning of een dwarskracht $V_d \leq 0{,}35\ V_{u;s}$ geldt 8.2.3.3 van NEN 6720.

Toelichting
De waarde voor $\sigma_{1;ns}$ moet worden berekend met de maximale invloed van τ_{vyd} ter plaatse van het momentennulpunt van de balk, volgens 8.2.7.2. De waarde van $\sigma_{1;ns}$ van de kanaalplaten bij het midden van de liggeroverspanning dient te worden berekend, met inachtneming van het mogelijke verlies van voorspanning door scheurvorming, volgens 8.2.7.5.

8.2.5 *Aansluitvlakken van samengestelde liggers en platen*

Geen nadere toetsing van schuifspanningen in het contactvlak van balk - stortstrook en stortstrook - kopzijde van de kanaalplaat is vereist, behalve bij de toepassing van een staalbetonligger, zoals in 7.1.7.3 is aangegeven.

Toelichting
Het rekenmodel is gebaseerd op het gedrag van de constructie onder belasting, waarbij geen mechanische verbindingsmiddelen zijn gebruikt. Het gedrag van de constructie is impliciet verwerkt in de aangegeven rekenmethode.

8.2.7 *Hoofdtrekspanning in de kritische doorsnede van de kanaalplaat*

De maximale hoofdtrekspanning, $\sigma_{1;ns}$, in de kritische doorsnede over de lijven van een niet star ondersteunde kanaalplaat is gelijk aan de grootste waarde van:

$$\sigma_{1;ns} = -\frac{\sigma'_{bmd}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma'_{bmd}}{2}\right)^2 + \tau_d^2 + \tau_{vyd}^2}$$

en

$$\sigma_{1;ns} = -\frac{\sigma'_{bmd;r}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma'_{bmd;r}}{2}\right)^2 + \tau_d^2}$$

waarin:

$\sigma'_{bmd} = \alpha \cdot \dfrac{\gamma_p \cdot \sigma_{pw} \cdot A_p}{A_b}$, en is de gemiddelde betondrukspanning in de beschouwde doorsnede ten gevolge van de voorspanning;

α $= l_x / l_0 \leq 1$ is een factor die de overgedragen voorspankracht in de beschouwde doorsnede ten opzichte van de volledig overgedragen voorspankracht in rekening brengt (fig. 6);

l_x $= a + 0{,}5\, b_{kr}$, is de afstand van de beschouwde doorsnede vanuit het plaateinde;

b_{kr} is de kritische breedte;

a is de opleglengte;

γ_p is de belastingsfactor van de voorspanbelasting;

σ_{pw} is de werkvoorspanning in het voorspanstaal buiten de overdrachtszone;

A_p is de doorsnede van het voorspanstaal;

A_b is de doorsnede van de kanaalplaat;

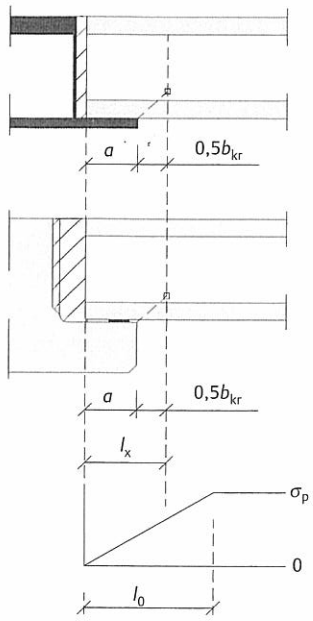
τ_d is de rekenwaarde van de schuifspanning volgens 8.2.7.1 in het lijf van de kanaalplaat ten gevolge van de verticale belasting;

τ_{vyd} is de rekenwaarde van de schuifspanning volgens 8.2.7.2 in de kritische doorsnede evenwijdig aan de balk (resp. loodrecht op de kanaalplaat) ten gevolge van de niet starre ondersteuning;

$\sigma'_{bmd;r}$ $= \beta_p \cdot \sigma'_{bmd}$, is de gemiddelde betondrukspanning in de beschouwde doorsnede ten gevolge van de voorspanning, waarbij het aantal effectieve voorspanstrengen ten gevolge van scheurvorming in langsrichting is gereduceerd;

β_p is de reductiefactor in verband met een verminderd aantal effectieve voorspanstrengen ten gevolge van scheurvorming in langsrichting van de kanaalplaat volgens 8.2.7.4.

Figuur 6 Plaats van de kritische doorsnede in relatie tot de overdrachtslengte



8.2.7.1 *Rekenwaarde van de schuifspanning in het lijf van de kanaalplaat loodrecht op de balk*

De rekenwaarde van de schuifspanning ten gevolge van de verticale belastingen in de op dwarskracht belaste beschouwde doorsnede van de kanaalplaat moet worden bepaald uit:

$$\tau_d = (V_{d;g} - V_{d;st}) \frac{S_{pl}}{I_{pl} \cdot \Sigma b_w} + (V_{d;toe} + V_{d;st}) \frac{S}{I \cdot \Sigma b_w}$$

waarin:

$V_{d;g}$ is de rekenwaarde van de dwarskracht in de fundamentele belastingscombinatie op de kanaalplaat ten gevolge van het eigen gewicht van de kanaalplaat inclusief een eventuele gewapende constructieve druklaag;

$V_{d;st}$ is de rekenwaarde van de dwarskracht in de fundamentele belastingscombinatie op de kanaalplaat ten gevolge van het verwijderen van de tijdelijke ondersteuningen nadat het beton (opvulstroken, voegen en eventuele gewapende constructieve druklaag) voldoende is verhard;

$V_{d;toe}$ is de rekenwaarde van de dwarskracht op de kanaalplaat ten gevolge van de fundamentele belastingscombinatie van de toegevoegde belastingen (d.w.z. exclusief eigen gewicht van de kanaalplaat en een eventuele gewapende constructieve druklaag).

Toelichting
Voor praktisch gebruik zijn in tabel 2 de statische grootheden weergegeven van kanaalplaten met een 50 mm dikke gewapende constructieve druklaag C20/25.

Tabel 2 Eigenschappen kanaalplaten per meter breedte

dikte	kwadratisch oppervlaktemoment incl. druklaag I mm^4	kwadratisch oppervlaktemoment alleen kanaalplaat I_{pl} mm^4	lineair oppervlaktemoment incl. druklaag S mm^3	lineair oppervlaktemoment alleen kanaalplaat S_{pl} mm^3
200	$1040 \cdot 10^6$	$570 \cdot 10^6$	$5830 \cdot 10^3$	$3830 \cdot 10^3$
260	$2040 \cdot 10^6$	$1180 \cdot 10^6$	$9000 \cdot 10^3$	$6080 \cdot 10^3$
320	$3320 \cdot 10^6$	$2130 \cdot 10^6$	$12300 \cdot 10^3$	$8830 \cdot 10^3$
400	$5400 \cdot 10^6$	$3870 \cdot 10^6$	$16000 \cdot 10^3$	$12500 \cdot 10^3$

De uitvoeringswijze, alsmede het al of niet aanbrengen van een gewapende constructieve druklaag, heeft gevolgen voor de rekenwaarde van de dwarskracht in de verschillende stadia van uitvoering; deze aspecten kunnen met $V_{d;st}$ in rekening worden gebracht.

8.2.7.2 *Rekenwaarde van de schuifspanning in het lijf van de kanaalplaat evenwijdig aan de balk*

De schuifspanning in het lijf van de kanaalplaat evenwijdig aan de balk ten gevolge van de interactie met de balk wordt als volgt berekend:

$$\tau_{vyd} = \frac{3 \cdot v_{yd} \cdot b_{pl}}{2 \cdot b_{kr} \cdot \Sigma b_w \cdot n_{pl}} \cdot \beta_f$$

waarin:

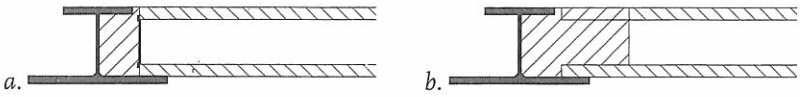
v_{yd} is de rekenwaarde van de horizontale schuifstroom in de dwarsrichting van de kanaalplaat volgens 8.2.7.3;
b_{pl} is de totale breedte van de kanaalplaat;
Σb_w is de som van de lijfbreedten van de kanaalplaat;
n_{pl} is het aantal kanaalplaten in de constructieve doorsnede;
n_{pl} = 2 voor een middenbalk;
n_{pl} = 1 voor een randbalk;
β_f is de reductiefactor op de horizontale schuifspanning afhankelijk van de vuldiepte van de kanalen volgens tabel 3, voor de diepte waarover de kanalen worden gevuld (fig. 7);
b_{kr} = $h_{pl} - h_{pl,c}$, is de kritische breedte;
h_{pl} is de totale hoogte van de kanaalplaat;
$h_{pl,c}$ is de hoogte met een constante van dikte van het lijf. Voor een kanaalplaat met ronde gaten is $h_{pl,c} = 0$.

Tabel 3 Factoren voor β_f

hoogte van de kanaalplaat in mm	200	260	320	400
vuldiepte = 0 mm	1,00	1,00	1,00	1,00
vuldiepte minimaal gelijk aan de hoogte van het kanaal en alle kanalen in de plaat gevuld	0,70	0,70	0,50	0,50

Voor vuldiepten korter dan de hoogte van het kanaal mag lineair worden geïnterpoleerd. Als de afsluitdoppen van de kanalen vlak zijn en in het kopvlak van de kanaalplaten zijn gelegen, moet ter compensatie minimaal 1 kanaal per plaat over een lengte van ten minste de hoogte van de kanaalplaat worden gevuld; in dat geval is β_f =1,0.

Figuur 7 Diepte waarover de kanalen worden gevuld.
a. vuldiepte = 0 mm
b. vuldiepte ≥ hoogte kanaal



Toelichting
De dwarskrachtcapaciteit van de kanaalplaten is onderzocht op kanaalplaten voorzien van afsluitdoppen, 30 - 50 mm diep en op diepere vullingen. De vulling van de kanalen levert een positieve bijdrage aan het draagvermogen.
De horizontale schuifspanning in het lijf van de kanaalplaat wordt verminderd door het gedeeltelijk vullen van de kanalen met ter plaatse gestort beton. Dit wordt in rekening gebracht door τ_{vyd} te reduceren. Het aanbrengen van de betonspecie kan plaatshebben via de ruimte tussen het einde van de kanaalplaat en de balk, zodat hiervoor geen kopsleuven in de kanaalplaten noodzakelijk zijn. Aanbevolen wordt in het ontwerpstadium rekening te houden met dan nog onvoorziene omstandigheden en zowel de balk als de kanaalplaten niet in dat stadium reeds volledig te benutten.

8.2.7.3 *Rekenwaarde van de schuifstroom*

De horizontale schuifstroom v_{yd} in de dwarsrichting van de kanaalplaat wordt als volgt berekend:

$$v_{yd} = v_{d;b}\frac{(ES)_{pl,t}}{(EI)_{0-dr}} + (V_{d;toe;b}+V_{d;st;b})\frac{(ES)_f}{(EI)_0}\beta_{dr}$$

waarin:

$V_{d;b}$ $= V_{d;g;b} - V_{d;st;b} \not< 0$;

$V_{d;g;b}$ is de rekenwaarde van de dwarskracht in de balk ter plaatse van het momentennulpunt ten gevolge van het gewicht van de gewapende constructieve druklaag;

$V_{d;st;b}$ is de rekenwaarde van de dwarskracht in de balk ter plaatse van het momentennulpunt ten gevolge van het verwijderen van de tijdelijke ondersteuningen;

$V_{d;toe;b}$ is de rekenwaarde van de dwarskracht in de balk ter plaatse van het momentennulpunt ten gevolge van de fundamentele belastingscombinatie van de toegevoegde belastingen (d.w.z. exclusief eigen gewicht en eventuele gewapende constructieve druklaag);

$(ES)_{pl,t}$ is het lineair oppervlaktemoment van de bovenflens van de kanaalplaat ten opzichte van de zwaartelijn van de gehele doorsnede, uitgezonderd de gewapende constructieve druklaag;

$(EI)_{0\text{-}dr}$ is de buigstijfheid van de gehele doorsnede uitgezonderd de gewapende constructieve druklaag; het beton wordt als ongescheurd aangenomen;

$(ES)_f$ is het statisch moment van de totale bovenflens, inclusief de gewapende constructieve druklaag, ten opzichte van de zwaartelijn van de gehele doorsnede;

$(EI)_0$ is de buigstijfheid van de gehele doorsnede, inclusief de gewapende constructieve druklaag. Het beton wordt als ongescheurd aangenomen;

β_{dr} is de reductiefactor voor de aanwezigheid van een gewapende constructieve druklaag volgens 8.2.7.4.

Toelichting
In de voorgaande formule zijn de waarden voor de ongescheurde betonbalk beschouwd, ongeacht of de betonbalk gewapend of voorgespannen is.
Voor gelijkmatig belaste constructies is het lijf van de kanaalplaat ter plaatse van de oplegging van de balk maatgevend, maar in andere belastingssituaties moet de maatgevende dwarskracht worden opgezocht en in rekening worden gebracht.
Als er geen constructieve druklaag aanwezig is, wordt de formule vereenvoudigd tot:

$$v_{yd} = (V_{d;toe;b} + V_{d;st;b}) \frac{(ES)_{pl,t}}{(EI)_{0-dr}}$$

8.2.7.4 *Reductiefactor voor de aanwezigheid van een gewapende constructieve druklaag*

Bij aanwezigheid van een gewapende constructieve druklaag mag de schuifstroom v_{yd} ten gevolge van de toegevoegde belasting worden gereduceerd met de factor β_{dr}. De wapening in de constructieve druklaag moet voldoende verankerd zijn aan weerszijden van de veronderstelde scheur evenwijdig aan de balk. De reductiefactor wordt als volgt bepaald:

$$\beta_{dr} = \frac{F_{lijf}}{F_{dr} + F_{lijf}}$$

waarin:

F_{lijf} is de schuifkracht in dwarsrichting van de kanaalplaat opgenomen door de lijven van de kanaalplaat;
F_{dr} is de schuifkracht in dwarsrichting van de kanaalplaat opgenomen door de gewapende constructieve druklaag.

Deze krachten worden als volgt berekend:

$$F_{dr} = 2 b_{pl} A_s f_s \mu$$

of, indien kleiner:

$$F_{dr} = 0{,}2 f'_{ck;dr} h_{dr} b_{pl}$$

en

$$F_{lijf} = \frac{4}{3} \cdot \Sigma b_w \cdot b_{kr} \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{f_{bm}}{\beta_f}$$

waarin:

A_s is de oppervlakte van de wapening in de druklaag loodrecht op de richting van de balk per lengte;
f_s is de rekenwaarde van de treksterkte van de wapening in de constructieve druklaag;
μ = 2,0 (vergelijkbare waarde als wrijvingscoëfficiënt);
$f'_{ck;dr}$ is de karakteristieke kubusdruksterkte van het beton van de gewapende constructieve druklaag;
h_{dr} is de dikte van de gewapende constructieve druklaag ter plaatse van de balk;
f_{bm} is de gemiddelde treksterkte van het beton van de kanaalplaat;
β_f is een factor om de invloed van de vuldiepte van de kanalen in rekening te brengen;
b_{pl} is de totale breedte van de kanaalplaat;
Σb_w is de som van de lijfbreedten van de kanaalplaat;
b_{kr} is de kritische breedte.

8.2.7.5 Reductie van de voorspanning door scheurvorming in de kanaalplaat

Door mogelijke scheurvorming in de lengterichting van de kanaalplaat en daardoor onthechting van de voorspanwapening dient de gemiddelde betondrukspanning in de beschouwde doorsnede ten gevolge van de voorspanning te worden gereduceerd met:

$$\beta_p = 1 - \frac{A_{p;r}}{A_p} \qquad \text{indien } \sigma_{b2} > f_b$$

$$\beta_p = 1 \qquad \text{indien } \sigma_{b2} \leq f_b$$

waarin:

A_p is de doorsnede van het voorspanstaal;

$A_{p;r}$ is de doorsnede van het voorspanstaal van de onthechte strengen door langsscheuren volgens tabel 4. Zie ook figuur 9;

$$\sigma_{b2} = \frac{E_{pl} \cdot M_{d;toe} \cdot y_0}{(EI)_0} + \frac{E_{pl} \cdot M_{d,dr} \cdot y_{0-dr}}{(EI)_{0-dr}}$$ is de buigtrekspanning in dwarsrichting;

E_{pl} is de elasticiteitsmodulus van het beton van de kanaalplaat;

$M_{d,toe}$ is de rekenwaarde van het buigend moment ten gevolge van de toegevoegde belasting;

y_0 is de afstand tussen de zwaartelijn van de samengestelde doorsnede en de uiterste vezel aan de onderzijde van de kanaalplaat, zie ook figuur 8;

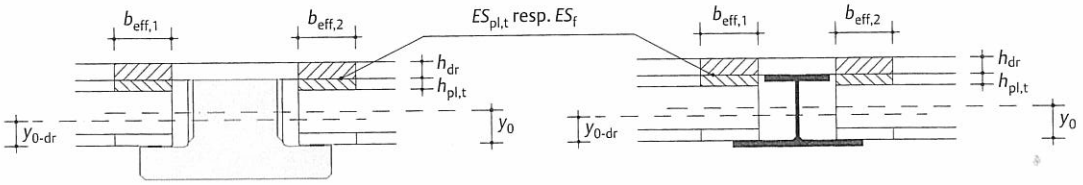
$(EI)_0$ is de buigstijfheid van de gehele doorsnede, inclusief de gewapende constructieve druklaag;

$M_{d,dr}$ is de rekenwaarde van het buigend moment ten gevolge van het gewicht van de gewapende constructieve druklaag;

$y_{0\text{-}dr}$ is de afstand tussen de zwaartelijn van de samengestelde doorsnede en de uiterste vezel aan de onderzijde van de kanaalplaat uitgezonderd de gewapende constructieve druklaag, zie ook figuur 8;

$EI_{0\text{-}dr}$ is de buigstijfheid van de totale doorsnede uitgezonderd de gewapende constructieve druklaag.

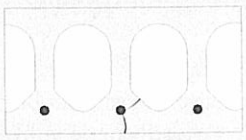
Figuur 8 Grootheden voor het bepalen van de schuifstroom



Toelichting

In de uiterste grenstoestand neemt door de scheurvorming in lengterichting van de kanaalplaat (fig. 9), de aanhechting van de voorspanstrengen aan het omhullende beton af.

Figuur 9 Scheurpatroon ter plaatse van de voorspanstrengen



De scheurvorming heeft geen invloed op het bezwijken van de lijven van de kanaalplaten door de horizontale schuifkrachten in dwarsrichting. Het is daarom voldoende het effect van de scheurvorming in de lengterichting van de kanaalplaat op het uiterste draagvermogen te bezien zonder rekening te houden met de horizontale schuifkracht, maar wel met een verminderde voorspankracht. De

horizontale schuifkracht is maximaal bij de oplegzone van de balk, de scheurvorming in de lengterichting van de kanaalplaat in het midden van de overspanning van de balk.

Tabel 4 Aantal in rekening te brengen onthechte strengen indien $\sigma_{b2} > f_b$

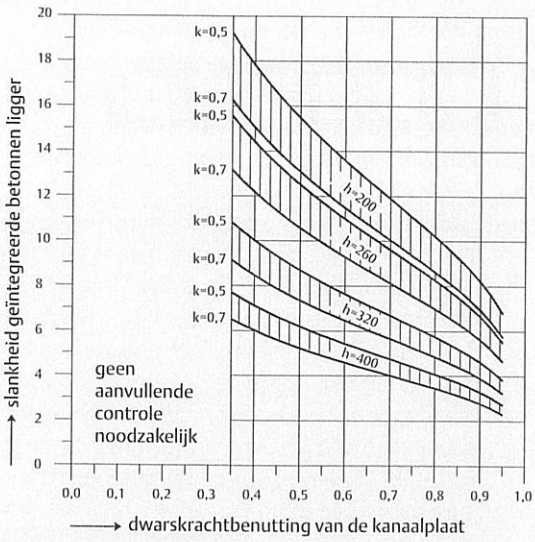
aantal strengen per rib	1	2 of meer
aantal onthechte strengen per plaat	1	-
aantal onthechte strengen per rib	-	0,5
lengte van de onthechting in mm	500	500

Toelichting

Het verminderen van de aanhechting van de voorspanstrengen in de kanaalplaten als gevolg van de scheurvorming in de lengterichting van de kanaalplaat moet in rekening worden gebracht door het aantal effectieve voorspanstrengen te verminderen, zoals aangegeven in tabel 4.

De onthechting wordt in rekening gebracht in het gebied waar de trekspanningen in de onderste vezels van de onderflens in de dwarsrichting van de kanaalplaat groter zijn dan de treksterkte van het beton.

Voor geïntegreerde liggers van beton kan in de grafiek van figuur 10 een slankheid worden afgelezen waarbij de hoofdtrekspanning in de kanaalplaat volgens



8.2.3.3 kritisch is. Deze slankheid is afhankelijk van de dikte (h) en de uitnutting van de dwarskrachtcapaciteit van de kanaalplaatvloer en het aandeel van de toegevoegde belasting (k).

Figuur 10 Dwarskrachtbenutting van de kanaalplaat

De slankheid van de geïntegreerde betonnen ligger is de verhouding van de afstand tussen de momentennulpunten en de hoogte van de geïntegreerde ligger.

De opneembare dwarskracht is afhankelijk van de doorsnede, de voorspanning en de producent. Indien er geen betere informatie beschikbaar is, kan als richtwaarde voor de opneembare dwarskracht worden aangehouden:

$h = 200$: $V_{u,s} = 90$ kN/m
$h = 260$: $V_{u,s} = 120$ kN/m
$h = 320$: $V_{u,s} = 180$ kN/m
$h = 400$: $V_{u,s} = 240$ kN/m

Figuur 10 is gebaseerd op de volgende uitgangspunten:
balkbreedte 600 mm, f_b = 1,9 N/mm^2, voorspanning in de kritische doorsnede van de kanaalplaat: 1,4 N/mm^2, maximaal opneembare schuifspanning bij deze voorspanning: 2,5 N/mm^2; standaard kanaaldeksels.

8.5 Wringing en dwarskracht in liggers

8.5.1 Algemeen

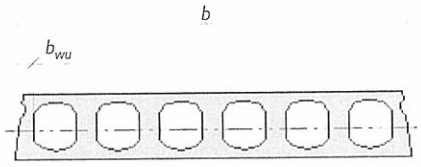
Om de effecten ten gevolge van torsie in de kanaalplaat te kunnen verrekenen, staan in NVN 6725 onder meer spreidingsbreedten voor de dwarskracht aangegeven.
Door een verschil in stijfheid van de twee opleggingen zal een wringend moment in de kanaalplaat ontstaan.
Voor kanaalplaten is de invloed van een wringend moment op de rekenwaarde van de dwarskracht:

$$V_{dT} = \frac{T_d}{2 \cdot b_{wu}} \cdot \frac{\Sigma b_w}{b - b_{wu}}$$

waarin:

T_d is de rekenwaarde van het wringend moment;
Σb_w is de kleinste som van de lijfbreedten;
b_{wu} is de breedte van het lijf aan de buitenzijde van de kanaalplaat, gemeten op de zwaartelijn.

Figuur 11 Definitie van b en b_{wu}



Toelichting
De volgorde van aanbrengen van de kanaalplaten in een vloer kan de ondersteunende balk excentrisch belasten, hetgeen dan ook implicaties heeft voor de aansluiting ligger-console of ligger-kolom. De eenmaal opgetreden vervorming om de lengteas van de ligger is slechts deels herstelbaar bij het leggen van een naastgelegen veld. De montagevolgorde moet door de constructeur op de tekeningen worden aangegeven, zowel ten aanzien van het onderstempelen als voor de legvolgorde. Bij velden aan weerszijden van een ligger, die een ongelijke overspanning hebben of ongelijk worden belast en bij randliggers dienen de effecten daarvan in rekening te worden gebracht.

8.6 Doorbuiging

8.6.1 Toetsingscriteria

De berekening van de doorbuiging van de ligger mag worden uitgevoerd met de constructieve doorsnede volgens 7.1.7.1.

8.7 Scheurvorming

8.7.1 Toetsingscriteria

De toetsing van scheurvorming in de lengterichting van de kanaalplaten moet worden berekend door middel van de fictieve rek op basis van de constructieve doorsnede. Ter plaatse van het maximale buigend moment in de balk moet worden voldaan aan de voorwaarde:

$$\varepsilon_2 \leq \varepsilon_{kr}$$

waarin:

ε_2 is de fictieve rek in dwarsrichting van de onderzijde van de kanaalplaat volgens 8.7.5, zie ook figuur 12;

ε_{kr} is de kritische rek voor de uiterste vezel aan de onderzijde van de kanaalplaat volgens tabel 5.

Toelichting
In de bruikbaarheidsgrenstoestand in de gebruiksfase kan scheurvorming in de onderflens in de lengterichting van de kanaalplaat niet altijd worden voorkomen. Om corrosie van de voorspanstrengen te voorkomen, is het daarom belangrijk de scheurwijdte te limiteren.

8.7.5 *Toetsing door middel van fictieve rek*

De toetsing van de mate van scheurvorming in de onderzijde, in dwarsrichting, in de eindzone van de kanaalplaat is gebaseerd op de fictieve rek ε_2:

$$\varepsilon_2 = \frac{M_{k,toe} \cdot y_0}{(EI)_0} + \frac{M_{k,dr} \cdot y_{0-dr}}{(EI)_{0-dr}}$$

waarin:

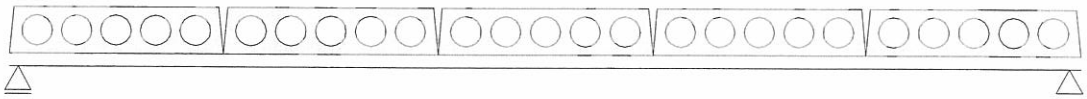
$M_{k,toe}$ is het buigend moment van de balk ten gevolge van de toegevoegde belasting;

$M_{k,dr}$ is het buigend moment van de balk ten gevolge van het gewicht van de gewapende constructieve druklaag;

y_0 is de afstand tussen de zwaartelijn van de samengestelde doorsnede en de uiterste vezel aan de onderzijde van de kanaalplaat, zie ook figuur 8;

$y_{0\text{-}dr}$ is de afstand tussen de zwaartelijn van de samengestelde doorsnede en de uiterste vezel aan de onderzijde van de kanaalplaat, uitgezonderd de gewapende constructieve druklaag, zie ook figuur 8.

Figuur 12 Te beschouwen ligger voor de scheurvorming



Tabel 5 Kritische rek ε_{kr} voor de uiterste vezel aan de onderzijde van de kanaalplaat

milieuklasse	$\varepsilon_{kr} \cdot 10^{-3}$ (mm/mm)
XC1	1,0
XC2 t.m. XC4 XF1 en XF3	0,7
XD1 t.m. XD3 XS1 t.m. XS3 XF2 en XF4 XA1 t.m. XA3	0,4

9 Detaillering

9.12 *Wapening ten behoeve van de samenhang*

9.12.1 *Algemeen*

Toelichting
De samenhang wordt met name ook van belang geacht voor de brandwerendheid van de constructie als geheel. In deel III van deze Aanbeveling zijn aanvullende bepalingen gegeven.

9.12.4 *Ring- en koppelwapening in vloeren*

De vereiste wapening dient bepaald te worden volgens NEN 6720, 9.12.4 (fig. 13).
Voor de verankeringslengte van de koppelwapening moet worden aangehouden:
$l_v = 50\ \varnothing_k$ voor verankering in een sleufsparing van een kanaalplaat;
$l_v = 100\ \varnothing_k$ voor verankering in de langsvoeg van een kanaalplaat.
Voorbeelden van details met koppelwapening zijn aangegeven in figuur 14.

Toelichting
Voor de berekening wordt in NVN 6725 tevens verwezen naar CUR-rapport 136. In NVN-ENV 1992-1-3 zijn regels opgenomen ten aanzien van de minimale doorsnede van de trekbandwapening en koppelwapening. In CUR/BmS-rapport 2001-2 'Vloeren van kanaalplaten met geïntegreerde stalen liggers' wordt in 3.4 ingegaan op de functies van de koppelwapening en de minimale afmetingen daarvan. Deze zijn respectievelijk: wapening voor de samenhang, wapening voor de brandwerendheid, wapening voor de trekband voor schijfwerking en wapening om het oplegpunt van de kanaalplaat te verschuiven. Daarnaast zijn de functies en minimale afmetingen van de ringwapening of trekbandwapening omschreven.

9.14 *Opleggingen*

9.14.3 *Opleglengte van de kanaalplaat*

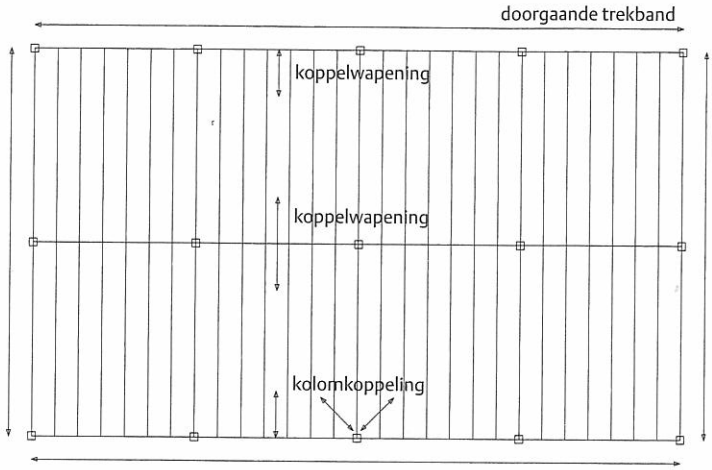
Toelichting
Kanaalplaten moeten altijd direct worden opgelegd, zodat het 'ophangen' aan de lijven wordt vermeden.

In 5.7.4.1 van NVN 6725 zijn aanvullende voorwaarden opgenomen met betrekking tot de opleglengte van kanaalplaten: bij vloerbelastingsklasse I is aan bovenstaande eis voldaan als de opleglengte volgens het ontwerp ten minste gelijk is aan:
- 80 mm bij een oplegging op beton;
- 70 mm bij een oplegging op profielstaal of vormvast plaatstaal.

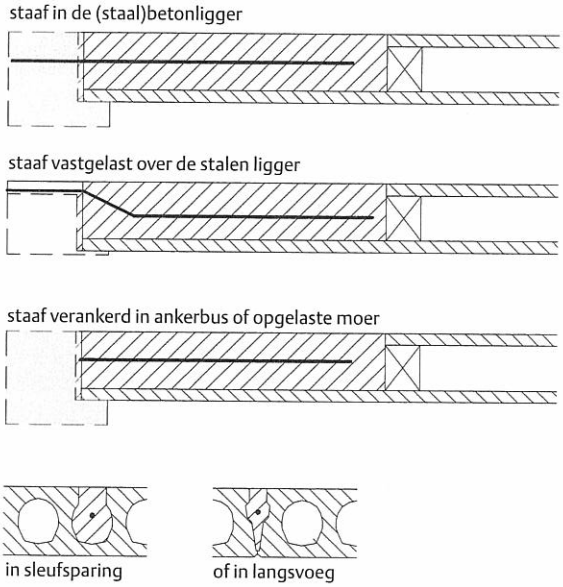
Als voorkeursmaat voor de ontwerp-opleglengte van de kanaalplaat wordt aangehouden:
$a = 80$ mm voor overspanningen $\leq 10{,}0$ m;
$a = 100$ mm voor overspanningen $\leq 15{,}0$ m.

Bij de bepaling van de breedte van de opvulstrook dient rekening te worden gehouden met maatafwijkingen van de lengte van de kanaalplaat. Als richtwaarde voor de overmaat van de opleglengte kan worden aangehouden:
20 mm voor haaks afgekorte kanaalplaten;
35 mm voor schuin afgekorte kanaalplaten.

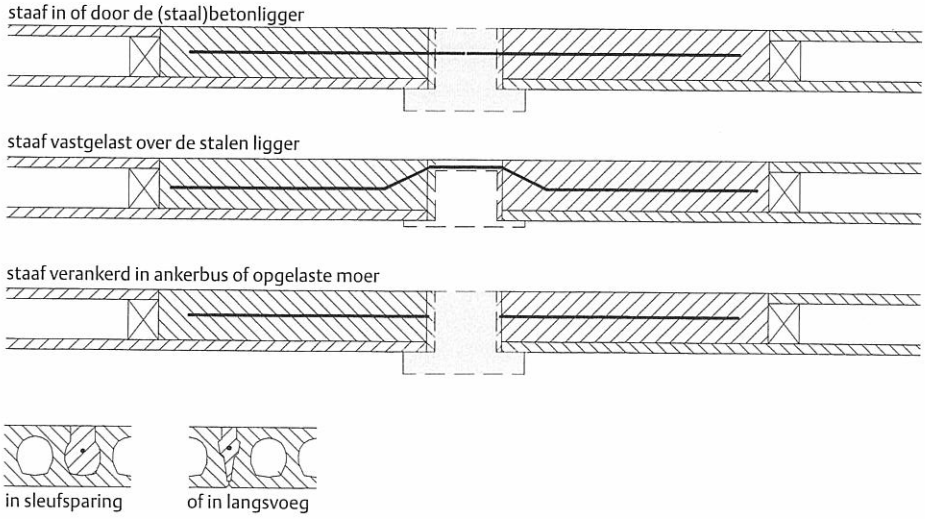
Figuur 13 Schematische weergave van ringwapening en koppelwapening ten behoeve van de constructieve samenhang



Figuur 14 Mogelijke uitvoeringen van de koppelwapening bij een randbalk



Figuur 15 Mogelijke uitvoeringen van de koppelwapening bij een tussenbalk



Deel II
Aanvullende bepalingen op NEN 6770

6 Bruikbaarheidsgrenstoestanden

6.2 *Rekenmethode*

6.2.1. *Vervormingen*

De bijkomende doorbuiging en eindzakking moeten worden bepaald uitgaande van een lineair-elastische respons van de constructieve doorsnede, volgens 7.1.7 in deel I.

Toelichting
In de berekening van de eindzakking moet rekening worden gehouden met de belastingshistorie, corresponderend met de uitvoeringswijze zoals op de werktekeningen is aangegeven

6.2.2 *Trillingen*

Voor de berekening van de resonanties mag worden uitgegaan van de constructieve doorsnede volgens 7.1.7 in deel I.

10 Rekenmethode

10.2 *Respons van de constructie*

10.2.1 *Krachtsverdeling*

Toelichting
De krachtsverdeling moet worden bepaald volgens 10.2 van NEN 6770. Voor doorsneden in klassen 2, 3 en 4 (zie 10.2.4.1 van NEN 6770) moet worden uitgegaan van een elastische momentenverdeling. Voor doorsneden in klasse 1 mag worden uitgegaan van een plastische momentenverdeling ter beoordeling van de grenstoestanden in de gebruiksfase. In de bouwfase en ter beoordeling van de bruikbaarheidsgrenstoestand in de gebruiksfase is een plastische momentenverdeling voor doorsneden in klasse 1 alleen toegestaan ter plaatse van het plastisch scharnier.

10.2.4 *Doorsneden*

10.2.4.1 *Classificatie van doorsneden*

Toelichting
De doorsnede van de geïntegreerde stalen ligger mag in klasse 1 worden ingedeeld als boven het steunpunt schotten worden ingelast en indien een gedrukt deel van de ligger tweezijdig door in het werk gestort beton zijdelings wordt gesteund. In de bouwfase kan nog niet op die zijdelingse steun van in het werk gestort beton worden gerekend. Indien de ligger eenzijdig door in het werk gestort beton wordt gesteund, mag de doorsnede niet in een betere klasse worden ingedeeld. Omdat de liggerdoorsneden om de sterke as asymmetrisch zijn, is de classificatie verschillend voor een beoordeling van het positief buigend moment (in het veld) of negatief buigend moment (boven het steunpunt).

11 Toetsing van de doorsnede

11.1 *Algemeen*

Voor de toetsing van de uiterste grenstoestand in de bouwfase en de gebruiksfase dient de doorsnede zonder medewerking van het beton van de kanaalplaatvloer te worden beschouwd.

11.2 *Enkelvoudige krachten en momenten*

11.2.3 *Buiging*

De onderflens van de geïntegreerde ligger wordt op dubbele buiging belast. Het theoretisch oplegpunt van de kanaalplaat dient te worden aangenomen halverwege de vereiste opleglengte. Getoetst moet worden of aan het vloeicriterium van Huber-Henckey wordt voldaan, zie ook 11.4. Bij de toetsing dient te worden uitgegaan van de doorsnede zonder beton.

Toelichting
In de bouwfase zijn plastische vervormingen niet toegestaan, behalve boven het steunpunt van doorgaande liggers, waarbij de onderflens ter plaatse wel elastisch moet blijven. Voor een excentrische belastingsopbouw, zie de toelichting bij 11.2.5. De rekenmethode wordt toegelicht in 5.4.1 van CUR/BmS-rapport 2001-2.

11.2.4 *Afschuiving*

In de bouwfase mag in de ligger geen plasticiteit optreden.

Toelichting
Door excentrische belasting kan in een van de lijven van een niet I-vormige ligger een hogere dwarskracht optreden.

11.2.5 *Torsie*

In de bouwfase mag in de ligger geen plasticiteit optreden.

Toelichting
Door de excentrische belastingsopbouw tijdens de montage van de kanaalplaten zal rotatie van de ligger optreden, die een blijvende vervorming veroorzaakt. Dit moet worden afgestemd met de opdrachtgever. Het theoretisch oplegpunt moet halverwege het oplegvlak worden gekozen. Aanwijzingen voor de uitvoeringswijze, die correspondeert met de berekening, dienen door de constructeur op tekening te worden vastgelegd.

11.3 *Combinaties van krachten en momenten*

Er mogen geen plastische vervormingen optreden, behalve ter plaatse van het steunpunt van doorgaande liggers. De onderflens van de ligger moet ook boven het steunpunt elastisch blijven.

Toelichting
Liggers die een functie hebben bij de samenhang van de constructie en zorgen voor schijfwerking, worden minimaal belast op axiale krachten. Behalve de ligger dient ook de verbinding met de kolom te worden getoetst.

11.4 *Vloeicriterium*

De oplegkrachten op de flens van de ligger dienen in de toetsing te worden betrokken, zie voor de relevante doorsneden figuur 5. De bijdrage van het beton moet worden verwaarloosd, behalve bij staalbetonliggers, mits het verbindingsmiddel de optredende schuifkracht kan overdragen.

13 Verbindingen

13.4 Gelaste verbindingen

13.4.1 Lasvormen

Bij liggers met dubbele lijfplaten en waarbij een plaat is gelast onder de onderflens van een I-profiel, zijn enkelzijdige hoeklassen wel toegestaan.

DEEL III
Aanvullende bepalingen op NEN 6071 en NEN 6072

10 Brandwerendheid met betrekking tot bezwijken

10.1 *Rekenregels*

Voor de niet star ondersteunde kanaalplaatvloer zijn aanvullende bepalingen van kracht, gerelateerd aan de eis van brandwerendheid van een bouwconstructie of hoofddraagconstructie, zoals omschreven in 5.1 van NEN 6071 met betrekking tot bezwijken en in 5.2 met betrekking tot de scheidende functie. Voldaan moet worden aan de aanvullende eisen in hoofdstuk 12.

Toelichting
Op basis van onderzoek is een aantal ontwerprichtlijnen vastgesteld, waarbij aan de aanvullende eisen moet zijn voldaan. Het betreft NEN 6720, zie hoofdstuk 7, 8 en 9 van deel I, en NEN 6770, zie hoofdstuk 6, 10 en 11 van deel II van deze Aanbeveling.
De aan de eis van brandwerendheid gerelateerde ontwerpvoorwaarden voor niet star ondersteunde kanaalplaten, ondersteund door geïntegreerde betonnen of stalen liggers, zijn geformuleerd in hoofdstuk 12. Voor details wordt verder verwezen naar hoofdstuk 9 in deel I van deze Aanbeveling. Voor de kanaalplaten, betonnen of stalen balken dient een toetsing te worden uitgevoerd, tenzij in hoofdstuk 12 anders is aangegeven. Voor de kanaalplaten is geen nadere toetsing op dwarskracht vereist.

Voor de geïntegreerde stalen- en staalbetonligger wordt voldaan aan de eis met betrekking tot bezwijken bij een brandwerendheid van:
- 30 minuten zonder nadere maatregelen en
- 60 minuten voor staalbetonliggers en open stalen liggers indien de belastingsgraad η, volgens 10.3.2 van NEN 6072, met betrekking tot bezwijken op buiging lager is dan 0,35.

Indien de belastingsgraad hoger is of een gesloten stalen ligger wordt toegepast of een hogere brandwerendheid is vereist, dient een berekening volgens NEN 6072 te worden uitgevoerd.

Toelichting
Er wordt onderscheid gemaakt tussen open liggers waarbij het oppervlak van de ligger volledig in contact is met het aangestorte beton, zoals IFB liggers,
en gesloten liggers, waarbij zich in de doorsnede open ruimtes bevinden, zoals hoedliggers.
Voor de bepaling van de profielfactor van de ligger moet worden uitgegaan van de profielfactor van de aan brand blootgestelde onderflens en moet de correctiefactor worden toegepast voor driezijdig verhitte liggers, volgens 10.3.3 in NEN 6072.
In TNO-rapport 2002-CVB-R06136 is voor verschillende geïntegreerde stalen liggers de temperatuurverdeling bij brand beschouwd.
Voor de berekening van de bijdrage aan de brandwerendheid en van de staalbetonliggers kan op basis van het gelijkwaardigheidsbeginsel worden verwezen naar Eurocode 4 (NVN-ENV 1994-1-1).

De brandwerendheid van de geïntegreerde betonnen ligger moet worden bepaald volgens NEN 6071.

12 Detailleringen

12.1 *Algemeen*

Aan de eis met betrekking tot bezwijken van een vloerconstructie is voldaan bij:

- Een brandwerendheid van 30 en 60 minuten als de samenhang van de constructie is gewaarborgd volgens 9.12 van NEN 6720. Als een gewapende constructieve druklaag wordt toegepast met een minimale dikte van 50 mm en minimaal een kruisnet van Ø5-200, wordt voldaan aan de eisen met betrekking tot de koppelwapening in NEN 6720 en in deze Aanbeveling.

- Een brandwerendheid van 90 minuten als de samenhang van de constructie is gewaarborgd door middel van koppelwapening (met een kenmiddellijn van ten minste 10 mm) over een lengte van minimaal 600 mm in met beton gevulde kopsleuven (zie fig. 15), en de belastingsgraad met betrekking tot dwarskracht voldoet aan de eis $\eta \leq 0{,}2$. De belastingsgraad η is gedefinieerd als:

  $$\eta = V_{\theta,d} / V_{u;s}$$

  waarin:
  $V_{\theta,d}$ is de rekenwaarde van de optredende dwarskracht bij brand;
  $V_{u;s}$ is de rekenwaarde van de opneembare dwarskracht bij kamertemperatuur en in gebruiksomstandigheden op een starre ondersteuning.

  Indien aan voornoemde voorwaarden niet wordt voldaan, moet de flens, waarop de kanaalplaten zijn opgelegd, worden geïsoleerd, zodat de temperatuur in de stalen flens niet hoger wordt dan 650 °C.

  Toelichting
  In TNO-rapport 2002-CVB-R06136 is voor verschillende geïntegreerde stalen liggers de temperatuur in de dragende onderflens bepaald.

  De wapening in een gewapende constructieve druklaag kan de benodigde koppelwapening vervangen.

- Een brandwerendheid van 120 minuten als een gewapende constructieve druklaag van 50 mm is aangebracht en deze minimaal is gewapend met een kruisnet van Ø5-200 en tevens de belastingsgraad van de dwarskracht $\eta \leq 0{,}2$. De koppelwapening dient te worden aangebracht in minimaal twee kopsleuven per plaateinde over een lengte van 600 mm; kenmiddellijn ten minste 10 mm.

  Indien aan de voorwaarde van de belastingsgraad $\eta \leq 0{,}2$ niet wordt voldaan, dient de flens, waarop de kanaalplaten zijn opgelegd, te worden geïsoleerd, zodat de temperatuur in de stalen flens niet hoger wordt dan 650 °C.

  Toelichting
  De ontwerpregels zijn gebaseerd op een beperkt aantal brandproeven op niet star ondersteunde kanaalplaten en zijn ontleend aan de 'Guidelines for the application of prestressed hollow core slabs supported on built-in beams'. De belastingsgraad van de dwarskracht η is een belangrijke parameter. De samenhang van de constructie is van belang; door de opsluitende werking van de trekbandwapening ontstaan positieve effecten op het dwarskrachtdraagvermogen bij lokale verhitting van de constructie.
  De wapening van de constructieve druklaag moet zijn gedimensioneerd op de mate van toegestane scheurvorming, maar nooit minder dan het aangegeven kruisnet van Ø5-200 (98 m^2/m).

Deel IV
Aanvullende bepalingen op NEN 6722

13 Aanvullende eisen voor vooraf vervaardigd beton

13.4 *Montage van betonelementen*

13.4.2 *Standzekerheid van elementen tijden de montage*

In aanvulling op NEN 6722 moeten in de projectspecificatie zijn uitgewerkt:

- de montagevolgorde en (montage)onderstempeling, indien van belang voor de stabiliteit van de ligger tijdens montage;
- de tijdsduur van de onderstempeling;
- de (montage)onderstempeling, voor zover deze van belang is voor de uiteindelijke krachtsverdeling in de liggers, conform de berekeningen.

Toelichting
De montagevolgorde moet zowel ten aanzien van het onderstempelen als de legvolgorde worden aangegeven. Bij velden aan weerszijden van een ligger met een ongelijke overspanning of ongelijke belasting en bij randliggers dienen de effecten daarvan in rekening te worden gebracht. De keuze is, afhankelijk van de omstandigheden, de onderstempeling alleen in de montagefase te gebruiken en deze te verwijderen vóór het storten van de voegen en opvulstroken, of te laten staan totdat het beton voldoende is verhard. De krachtsverdeling in de constructie dient hierop te worden beoordeeld.
Bij randliggers worden de montageondersteuningen veelal pas verwijderd nadat de opvulstroken gestort en verhard zijn.

13.6 *Mortelvoegen*

13.6.1 *Kwaliteit van de voegspecie*

In aanvulling op 13.6.1 in NEN 6722 moeten de eisen zijn gespecificeerd die aan het beton in de vulstroken langs de liggers worden gesteld (sterkteklasse, maximale korrelafmeting).

Toelichting
De voegen tussen de vloerelementen dienen volgens BRL-0203 volledig te worden gevuld met beton of zand-cementmortel met de volgende eigenschappen:

- sterkteklasse volgens specificatie en minimaal C12/15;
- grootste korrelafmeting van het toeslagmateriaal 8 mm, bij voegbreedten groter dan 50 mm mag de grootste korrelafmeting 16 mm zijn.

Titels van vermelde normen

NEN 6071:2001	Rekenkundige bepaling van de brandwerendheid van bouwdelen. Betonconstructies
NEN 6072:1991	Rekenkundige bepaling van de brandwerendheid van bouwdelen. Staalconstructies, inclusief wijzigingsblad NEN 6072/A2:2001
NEN 6720:1995	Technische grondslagen voor bouwconstructies TGB 1990. Voorschriften Beton. Constructieve eisen en rekenmethoden (VBC 1995), inclusief wijzigingsblad NEN 6720/A3:2004
NVN 6725:1999	Vrijdragende systeemvloeren van vooraf vervaardigd beton
NEN 6770:1997	Technische Grondslagen voor Bouwconstructies TGB 1990. Staalconstructies. Basiseisen en Basisrekenregels voor Overwegend Statisch Belaste Constructies, inclusief wijzigingsblad NEN 6770/A1:2001
NEN 6772:2000	Technische Grondslagen voor Bouwconstructies TGB 1990. Staalconstructies. Verbindingen, inclusief wijzigingsblad NEN 6772/A1:2001
BRL-0203	Nationale Beoordelingsrichtlijn voor het KOMO-attest-met-produktcertificaat voor Vrijdragende Systeemvloeren van Vooraf Vervaardigd Constructief Beton, KIWA, april 1995
NVN-ENV 1992-1-1:1997	Eurocode 2 - Ontwerp en Berekening van Betonconstructies. Deel 1-1: Algemene Regels en Regels voor Gebouwen
NVN-ENV 1992-1-3:1994	Eurocode 2 - Ontwerp en Berekening van Betonconstructies. Deel 1-3: Algemene Regels. Geprefabriceerde Betonnen Elementen en Constructies
NVN-ENV 1994-1-1:1995	Eurocode 4 - Ontwerp en Berekening van Staalbetonconstructies. Deel 1-1: Algemene Regels en Regels voor Gebouwen
NAD-NVN-ENV 1994-1-1:1995	Richtlijnen voor het Gebruik van NVN-ENV 1994-1-1 Eurocode 4 - Ontwerp en Berekening van Staalbetonconstructies. Deel 1-1: Algemene Regels en Regels voor Gebouwen

Nederlandse normen, voornormen en NAD's zijn een uitgave van de stichting Nederlands Normalisatie-instituut (NEN), Vlinderweg 6, postbus 5059, 2600 GB Delft. Bestellingen bij NEN, verkoop- en informatielijn, tel. 015 - 2690391.

Overige literatuur

CUR/BmS-rapport 2001-2	Vloeren van kanaalplaten en geïntegreerde stalen liggers. Ontwerp, vervaardiging en toetsing. CUR, Gouda, 2001.
CUR-rapport 136	Voegen in geprefabriceerde vloeren. CUR, Gouda 1988.
Breunese, A., Fellinger, J.H.H.,	Brandwerendheid van Geïntegreerde Liggers. TNO-rapport 2002-CVB-R06136, november 2002.

Met nadruk wordt erop gewezen dat deze CUR/BmS-Aanbeveling de stand van techniek en kennis weergeeft op moment van uitgifte. De CUR houdt zich dan ook aanbevolen te worden geïnformeerd over ervaringen die met het gebruik van deze Aanbeveling worden opgedaan.
CUR-Aanbevelingen worden drie jaar na publicatie geëvalueerd en, als daar aanleiding toe bestaat, geactualiseerd. Hiervan wordt melding gemaakt in de vakpers.

Auteursrechten
Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van CUR.
Het is toegestaan overeenkomstig artikel 15a Auteurswet 1912 gegevens uit deze uitgave te citeren in artikelen, scripties en boeken, mits de bron op duidelijke wijze wordt vermeld, alsmede de aanduidingen van de maker, indien deze in de bron voorkomt. "CUR/BmS-Aanbeveling 104 'Vloeren van kanaalplaten met geïntegreerde liggers', januari 2006, Stichting CUR, Gouda".

Aansprakelijkheid
De CUR en degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het samenstellen van deze uitgave. Nochtans moet de mogelijkheid niet worden uitgesloten dat er toch fouten en onvolledigheden in deze uitgave voorkomen. Ieder gebruik van deze uitgave en gegevens daaruit is geheel voor eigen risico van de gebruiker en de CUR sluit, mede ten behoeve van al degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van deze uitgave en de daarin opgenomen gegevens, tenzij de schade mocht voortvloeien uit opzet of grove schuld zijdens CUR en/of degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt.

Gouda, januari 2006
Het bestuur van de CUR/het bestuur van Bouwen met Staal

Stichting CUR, Büchnerweg 1, Postbus 420, 2800 AK GOUDA, tel (0182) 54 06 00
Bouwen met Staal, Postbus 190, 2700 AD Zoetermeer, tel (079) 353 12 77