

versie 8 oktober 2018

Toetsingshulpmiddel

voor

Staalvezelbeton

voor

Funderingsconstructies

Toetsingshulpmiddel “Staalvezelbeton voor funderingsconstructies”.

Voor het toepassen van staalvezelbeton zijn in eerste instantie de Eurocodes van toepassing, aangevuld met CUR-Aanbeveling 111 “Staalvezelbeton bedrijfsvloeren op palen – dimensionering en uitvoering”. Verder kunnen ter aanvulling de CUR-Rapporten C 245 “Staalvezelbeton, kennis en kennisleemten” én C 246 “Staalvezelbeton, inventarisatie van regelgeving” geraadpleegd worden.

De praktijk wijst echter uit dat ontwikkelingen op het gebied van staalvezelbeton doorgaan, maar dat passende regelgeving en documentatie hiervoor ontbreken. Als voorbeeld hierbij kan worden genoemd de toepassing van staalvezelbeton in funderingsconstructies voor met name de woningbouw. Bij het beoordelen en goedkeuren hiervan stuit het Bouwtoezicht op problemen door het ontbreken van regelgeving.

Indien innovatieve toepassingen niet onderbouwd kunnen worden door regelgeving, ontstaan discussies tussen toetsende en ontwerpende constructeurs over interpretaties van regelgeving die feitelijk van toepassing zijn op andere typen constructies. Aan de andere kant wil Bouwtoezicht meewerken aan innovaties.

Om dit te kunnen doorbreken, heeft COBc, tezamen met de industrie, dit Toetsingshulpmiddel voor staalvezelbeton opgesteld. Op deze wijze wordt mogelijk gemaakt dat daarmee innovatieve oplossingen breed toegepast zouden kunnen worden in Nederland.

De MC2010 (*fib Model Code for Concrete Structures 2010*) wordt als belangrijk uitgangspunt gebruikt voor het opstellen van de toekomstige Eurocode, waar “staalvezelbeton” ook onderdeel van zal uitmaken. Door de MC2010 te gebruiken als basis voor dit Toetsingshulpmiddel, wordt in feite geanticipeerd op de toekomst.

Aan het opstellen van dit Toetsingshulpmiddel hebben deelgenomen: Anne Hoekstra, Bart Wight, Christiaan Veenink, René Braam (*rappporteur*), Marco Labeur (*voorzitter*), Mohammed Al-Saadi, Aïda Jusufagic, Ron Kerp (*secretaris*) en Jos Vermeeren (*corresponderend lid*).

Joop van Leeuwen,
Voorzitter COBc



Inleiding

De toepassing van staalvezelbeton (SVB) is thans breder dan die voor elastisch en puntvorming ondersteunde bedrijfsvloeren; toepassingen waarvan het constructief ontwerp is beschreven in CUR-Aanbevelingen.

Een van de toepassingen die thans in toenemende mate in de belangstelling staan en uit het ontwikkelingsstadium zijn, is SVB in de fundering van woningen en utiliteitsgebouwen met één bouwlaag. Om op deze nieuwe ontwikkeling in te spelen, is het initiatief tot het opstellen van de voorliggende richtlijn genomen.

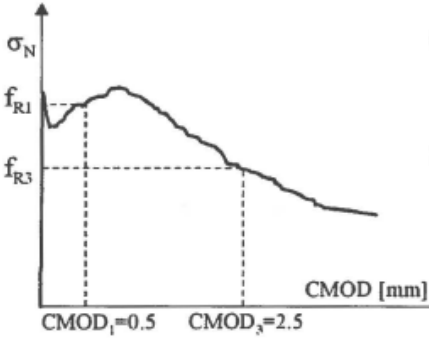
Deze richtlijn geeft regels voor het constructief ontwerp van funderingsstroken, -platen, -balken en beganegrondvloeren van SVB, eventueel in combinatie met betonstaal. De wijze van funderen is, in deze definities, op staal (funderingsstroken en -platen) of palen en daarmee puntvormig ondersteund (funderingsbalken en beganegrondvloeren).

Een belangrijk aspect van SVB, dat in deze richtlijn veel aandacht krijgt, is de te gebruiken na-scheur trekspanning-rekrelatie. De basis hiervoor zijn de uitkomsten van buigproeven op SVB balkjes. Die resultaten, in de vorm van kracht-scheuropeningrelaties, moeten worden omgerekend tot spanning-rekrelaties. Door dit voor twee karakteristieke scheuropeningen te doen, wordt een voor het materiaal representatieve trekspanning-rekrelatie verkregen. De verkregen na-scheursterkten bepalen de na-scheur sterkteklasse. De gekozen aanpak is aan de *fib* Model Code 2010 ontleend. Bij het opstellen van de richtlijn is ervoor gekozen de Model Code 2010 spanning-rekrelatie te vereenvoudigen. Dit maakt de tekst van de richtlijn enerzijds korter en sneller te doorgronden en leidt anderzijds tot een voor praktijkberekeningen geschikt resultaat dat een voor constructieve berekeningen voldoende nauwkeurige weergave van het werkelijke gedrag is.

artikel NEN-EN 1992-1-1	toevoeging
1.1.2 (105)	<p>Toepassingsgebied: Deze richtlijn heeft betrekking op funderingsstroken, funderingsbalken, funderingsplaten en beganegrondvloeren van woningen en utiliteitsgebouwen in gevolgklasse CC1 of CC2a in staalvezelbeton (SVB), eventueel in combinatie met betonstaal, waaronder zich geen verblijfsruimte bevindt.</p> <p>Indien gevolgklasse CC2a van toepassing is, is het bouwwerk maximaal 1 bouwlaag hoog.</p> <p>De funderingsstroken en funderingsplaten zijn elastisch ondersteund (op de grond gestort); de funderingsbalken en beganegrondvloeren zijn puntvormig ondersteund.</p> <p>De richtlijn is qua opzet afgestemd op de Nederlandse regelgeving en bevat aanvullende bepalingen op NEN-EN 1992-1-1.</p> <p>In discontinuïteitsgebieden (zogenaamde D-gebieden zoals, bijvoorbeeld, tanden, neuzen, poeren en inkassing bij funderingsherstel) van de constructie mag alleen een bijdrage aan de sterkte door wapening in de vorm van betonstaal worden toegekend.</p> <p>Deze richtlijn is alleen van toepassing voor staalvezelbeton met getrokken staaldraadvezels, zie hoofdstuk 3 en 4.</p>
1.6	<p>Symbolen</p> <p>b = breedte testbalk (150 mm)</p> <p>f_{ck} = karakteristieke cilinderdruksterkte van beton</p> <p>f_{Fts} = gemiddelde waarde van de na-scheur trekspanning waarbij de scheurwijdte $w = 0,5$ mm (= CMOD₁) (s = SLS)</p> <p>f_{Ftsd} = rekenwaarde van f_{Fts}</p> <p>f_{Ftsk} = karakteristieke waarde van f_{Fts}</p> <p>f_{Ftsm} = gemiddelde waarde van f_{Fts}</p> <p>f_{Ftu} = gemiddelde waarde van de na-scheur trekspanning bij scheurwijdte w_u (een in het ontwerp te kiezen waarde, maar niet groter dan 2,5 mm = CMOD₃) (u = ULS)</p> <p>f_{Ftud} = rekenwaarde van f_{Ftu}</p> <p>f_{Ftuk} = karakteristieke waarde van f_{Ftu}</p> <p>f_l = residuele buigtrekspanning bij de kracht F_{LOP} (LOP = limit of proportionality)</p> <p>f_{Lk} = karakteristieke ondergrenswaarde van de buigtrekspanning bij de</p>

		kracht F_{LOP} volgens EN 14651
f_{Ri}	=	residuele buigtreksterkte van staalvezelbeton volgens EN 14651 bij een scheurwijdte opening van 0,5 mm ($i = 1$; $CMOD_1$) of 2,5 mm ($i = 3$; $CMOD_3$)
f_{Rid}	=	rekenwaarde van een residuele buigtreksterkte van staalvezelbeton volgens EN 14651 bij $CMOD_i$ met $i = 1$ of 3
f_{Rik}	=	karacteristieke waarde van een residuele buigtreksterkte van staalvezelbeton volgens EN 14651 bij $CMOD_i$ met $i = 1$ of 3
h	=	hoogte van de doorsnede
h_{sp}	=	hoogte testbalk boven zaagsnede (125 mm)
k	=	schaalfactor voor dwarskrachtweerstand
l	=	overspanning bij balkproef (500 mm)
l_{cs}	=	karacteristieke lengte van het SVB constructie-element
s_{rm}	=	gemiddelde scheurafstand
v_{min}	=	minimale dwarskrachtweerstand schuifspanning van SVB
w_u	=	limietwaarde van de geaccepteerde scheurwijdte ($u = ULS$; een in het ontwerp te kiezen waarde, maar niet groter dan 2,5 mm = $CMOD_3$)
y	=	hoogte van het gescheurde deel van de SVB doorsnede onder SLS belasting
A_{ct}	=	oppervlakte van het deel van de ongescheurd veronderstelde SVB doorsnede dat onder trek staat
A_{ct}^f	=	oppervlakte van de dwarsdoorsnede van het op trek gescheurde deel van een SVB doorsnede
$A_{s,min}$	=	oppervlakte van de dwarsdoorsnede van minimum wapening in de vorm van betonstaal
CMOD	=	Crack Mouth Opening Displacement (balkproef) ($CMOD_1 = 0,5$ mm, $CMOD_3 = 2,5$ mm)
F_i	=	kracht behorend bij $CMOD_1$ ($i = 1$) of $CMOD_3$ ($i = 3$)
F_{LOP}	=	grootste kracht tussen $CMOD = 0$ en $CMOD = 0,05$ mm
K_F^f	=	vezeloriëntatie factor (invloed van de vezeloriëntatie op de nascheur treksterkten van SVB)

	K_G^f = invloed van de elementgrootte op de na-scheur treksterkten van SVB $K_{k,max}$ = grootste toegestane waarde voor de verhouding tussen de karakteristieke ondergrenswaarde en de gemiddelde waarde van een na-scheur treksterkte SVB = staalvezelbeton V_f = volume percentage (v/v) staalvezels $V_{Rd,c}$ = pons- of dwarskrachtweerstand; beton aandeel $V_{Rd,cmin}$ = pons- of dwarskrachtweerstand; minimum waarde voor het beton aandeel $V_{Rd,f}$ = pons- of dwarskrachtweerstand; staalvezel aandeel $V_{Rd,F}$ = pons- of dwarskrachtweerstand; SVB W_f = hoeveelheid staalvezels in massa per m ³ beton α_{cc} = langeduurfactor beton γ_c = materiaalfactor beton γ_{SF} = materiaalfactor SVB $\epsilon_{ft,max}$ = rek ter hoogte van de uiterste op trek belaste vezel van een SVB doorsnede ϵ_{Fu} = rek bij gekozen w_u ϵ_{SLS} = rek bij f_{Fts} (s = SLS) ϵ_{ULS} = rek bij f_{Ftu} (u = ULS) σ_{cp} = spanning t.g.v. voorspanning (positief bij een drukspanning)
2.3.3 (104)	<p>Krimp- en temperatuurbelastingen moeten worden beschouwd als blijvende belastingen en moeten in de bruikbaarheidsgrenstoestand in rekening worden gebracht. Zij behoeven niet bij toetsing aan de uiterste grenstoestand in rekening te worden gebracht.</p> <p>De krimpbelasting is, conform CUR-Aanbeveling 36, een combinatie van een gemiddelde krimp en een lineaire gradiënt. Twee belastinggevallen zijn in rekening te brengen, te weten (a) een gelijkmatig optredende krimpvervorming en (b) een combinatie van een gemiddelde krimpvervorming en een krimpgradiënt. Voor de grootte van de vervorming en de gradiënt wordt naar CUR-Aanbeveling 36 verwezen.</p>
2.4.2.4 (104) en tabel 2.1N	<p>De materiaalfactor van SVB dat op druk wordt belast of ongescheurd is onder een trekspanning (γ_c), is overeenkomstig tabel 2.1N.</p> <p>Voor SVB dat op trek is belast en gescheurd is, is de materiaalfactor $\gamma_{SF} = 1,5$. Deze</p>

	<p>materiaalfactor van SVB is van toepassing op de residuele treksterkten.</p> <p>Als de resultaten van residuele treksterkte beproevingen beschikbaar zijn en het aantal beproefde proefstukken aan NEN-EN 206 + NEN 8005 art. 8.2.1.3.2 voldoet, dan mag worden verondersteld dat de gemiddelde waarde van een residuele treksterkte aan de resultaten van de eerder uitgevoerde beproevingen mag worden ontleend.</p> <p>Als met betrekking tot het aantal beproevingen en het tijdschema niet aan NEN-EN 206 + NEN 8005 art. 8.2.1.3.2 wordt voldaan, dan kunnen karakteristieke ondergrenswaarden gebruik makend van NEN-EN 1990 bijlage D worden berekend.</p> <p>De karakteristieke ondergrenswaarde (5%) van een na-scheur treksterkte van SVB is maximaal 0,6 maal de gemiddelde waarde van de betreffende na-scheur treksterkte.</p>
3.5	<p>De in SVB toegepaste staalvezels moeten conform NEN-EN 14889-1 “Vezels in beton – deel 1: Staalvezels” zijn gekarakteriseerd en moeten aan BRL 5061 voldoen. Deze richtlijn is van toepassing voor SVB met getrokken staaldraadvezels.</p> <p><i>Staalvezelgehalte:</i> De hoeveelheid staalvezels per m³ betonspecie, uitgedrukt in massa (kg/m³; W_f) of volume (%; V_f).</p> <p>De betonspecie waaraan de staalvezels worden toegevoegd, moet voldoen aan NEN-EN 206-1. De betonsamenstelling en de consistentie van de betonspecie moeten zijn afgestemd op het type en de hoeveelheid vezels, de verwerkingsmethode (bv. pomp of kubel) en de toepassing.</p>
3.6	<p><u>Driepunts buigproef</u></p> <p>De (na-)scheur eigenschappen van SVB worden met de driepunts buigproef uit NEN-EN 14651 vastgesteld.</p> <p>Betonnen balkjes worden aan een driepunts buigproef onderworpen. De balkjes zijn in het midden van de overspanning aan de onderzijde van een zaagsnede voorzien. De relaties tussen de uitgeoefende kracht F en de doorbuiging van een balkje in het midden van de overspanning en de toename van de breedte van de zaagsnede ter hoogte van de onderzijde van een balkje (CMOD = crack mouth opening displacement), worden weergegeven.</p> <p><u>SVB sterkteklasse</u></p> <p>De na-scheur sterkteklasse van SVB wordt bepaald door de karakteristieke ondergrenswaarden van de (na-scheur) buigtreksterkten bij $CMOD_1 = 0,5$ mm en $CMOD_3 = 2,5$ mm, zie figuur 3.11.</p> 

Figuur 3.11: De twee na-scheur buigtreksterkten van SVB die de na-scheur sterkteklasse bepalen

Na-scheurtreksterkten van SVB en de sterkteklasse van SVB

SVB vertoont rekenkundig lineair gedrag tot een kracht F_{LOP} (LOP = limit of proportionality) waarbij F_{LOP} is de grootste kracht in het interval $CMOD = 0$ tot $CMOD = 0,05$ mm. De bijbehorende buigtreksterkte is:

$$f_L = \frac{3}{2} \cdot \frac{F_{LOP} l}{bh_{sp}^2}$$

De na-scheur buigtreksterkten worden berekend door te veronderstellen dat het SVB boven de zaagsnede ongescheurd is en lineair-elastisch gedrag vertoont:

$$f_{R1} = \frac{3}{2} \cdot \frac{F_1 l}{bh_{sp}^2}$$

$$f_{R3} = \frac{3}{2} \cdot \frac{F_3 l}{bh_{sp}^2}$$

waarin:

l = de overspanning van het balkje (500 mm)

b = de breedte van het balkje (150 mm)

h_{sp} = de hoogte van het balkje boven de zaagsnede ($150 - 25 = 125$ mm)

De resultaten van de buigproeven op balkjes moeten statistisch worden geanalyseerd, gebruik makend van bijlage A van BRL 5073.

Als tenminste 35 resultaten van eerder uitgevoerde experimenten op balkjes beschikbaar zijn, is het toegestaan een karakteristieke ondergrenswaarde van de resultaten uit het gemiddelde resultaat te berekenen.

De karakteristieke ondergrenswaarde (5%) van een na-scheur treksterkte van SVB is maximaal 0,6 maal de gemiddelde waarde van de betreffende na-scheur treksterkte (zie 2.4.2.4 (104)):

$$K_{k,max} = 0,6$$

De SVB sterkteklasse wordt in een getal en een letter uitgedrukt. Het getal is op f_{R1k} , de karakteristieke ondergrenswaarde van f_{R1} , gebaseerd. De letter volgt uit de verhouding f_{R3k} / f_{R1k} .

Het vermelde getal is de laagste waarde van de sterkte in een interval dat loopt tot de eerstvolgende hogere waarde in een oplopende set getallen.

Getallen:

1,0 – 1,5 – 2,0 – 2,5 – 3,0 – 4,0 – 5,0 – 6,0 – 7,0 – 8,0 -[N/mm²]

Letters:

a – b – c – d – e

- a: $0,5 < f_{R3k} / f_{R1k} < 0,7$
 b: $0,7 \leq f_{R3k} / f_{R1k} < 0,9$
 c: $0,9 \leq f_{R3k} / f_{R1k} < 1,1$
 d: $1,1 \leq f_{R3k} / f_{R1k} < 1,3$
 e: $1,3 \leq f_{R3k} / f_{R1k}$

Voorbeeld:

De SVB sterkteklasse classificatie “4c” wijst op een $f_{R1k} = 4,0 - 5,0 \text{ N/mm}^2$ en $f_{R3k} / f_{R1k} = 0,9 - 1,1$.

Het is in een constructief ontwerp toegestaan de werkelijke waarden van f_{R1k} en f_{R3k} te gebruiken; het is niet vereist die waarden af te ronden tot de laagste waarden binnen de intervallen die het getal en de letter die de sterkteklasse aangeven.

Na-scheur treksterkten van SVB en de uiterste grenstoestand

De na-scheur sterkte van SVB mag in uiterste grenstoestand analyses in rekening worden gebracht als aan de navolgende twee voorwaarden wordt voldaan:

$$f_{R1k} / f_{Lk} \geq 0,4$$

$$f_{R3k} / f_{R1k} \geq 0,5$$

Spanning-scheurwijdterelatie

De resultaten van de buigproef worden omgerekend tot een vereenvoudigde na-scheur trekspanning-scheurwijdte relatie.

De scheurwijdte is gelijk aan CMOD_1 ($= 0,5 \text{ mm}$) bij een na-scheur trekspanning f_{Fts} ($s = \text{serviceability limit state} = \text{bruikbaarheidsgrenstoestand}$) die wordt ontleend aan de na-scheur treksterkte f_{R1} :

$$f_{Fts} = 0,45 f_{R1}$$

De scheurwijdte is w_u bij een na-scheur trekspanning ($u = \text{ultimate limit state} = \text{uiterste grenstoestand}$):

$$f_{Ftu} = f_{Fts} - \frac{w_u}{\text{CMOD}_3} (f_{Fts} - 0,5 f_{R3} + 0,2 f_{R1}) \geq 0$$

De scheurwijdte w_u is de maximum scheurwijdte die in het ontwerp wordt geaccepteerd en is afhankelijk van de vereiste ductiliteit, maar mag niet groter zijn dan $\text{CMOD}_3 = 2,5 \text{ mm}$.

Opmerking:

De karakteristieke waarden f_{Ftsk} en f_{Ftuk} volgen uit de twee voorgaande uitdrukkingen door daarin de karakteristieke waarden van f_{R1} en f_{R3} in te vullen (f_{R1k} , respectievelijk f_{R3k}).

Tussen de treksterkten f_{Fts} en f_{Ftu} wordt een rechtlijnige spanning-scheurwijdterelatie aangehouden.

Als $f_{Fts} > f_{Ftu}$ is sprake van na-scheur softening; als $f_{Fts} \leq f_{Ftu}$ is sprake van na-scheur hardening.

Spanning-rekrelatie

De bij de na-scheur treksterkten behorende rekken volgen uit de bij na-scheur treksterkten optredende scheurwijdte en de karakteristieke lengte l_{cs} van het SVB constructie-element.

SVB zonder betonstaal

Bruikbaarheidsgrenstoestand:

$$\varepsilon_{SLS} = \frac{CMOD_1}{l_{cs}} = \frac{0,5 \text{ mm}}{l_{cs}}$$

waarin:

$$l_{cs} = h$$

Uiterste grenstoestand:

$$\varepsilon_{ULS} = \frac{w_u}{l_{cs}} = \min \left\{ \varepsilon_{Fu}, \frac{2,5 \text{ mm}}{l_{cs}} \right\}$$

waarin:

$$l_{cs} = h;$$

ε_{Fu} is 2% als de rek over de hoogte van de doorsnede varieert en is 1% als de rek over de hoogte van de doorsnede constant is.

SVB met betonstaal

Bruikbaarheidsgrenstoestand:

$$\varepsilon_{SLS} = \frac{CMOD_1}{l_{cs}} = \frac{0,5 \text{ mm}}{l_{cs}}$$

waarin:

$$l_{cs} = \min \{ s_{rm}, y \}$$

met:

s_{rm} is de gemiddelde scheurafstand;

y is de hoogte van het gescheurde deel van de doorsnede in de bruikbaarheidsgrenstoestand, uitgaande van lineair gedrag van op druk belast beton, en bij verwaarlozing van de na-scheur treksterkte van gescheurd SVB.

Uiterste grenstoestand:

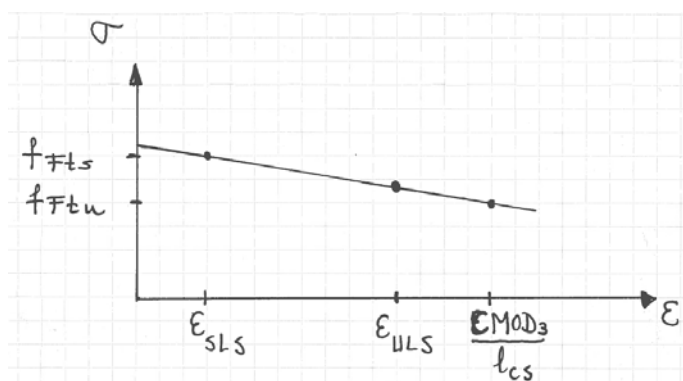
$$\varepsilon_{ULS} = \frac{w_u}{l_{cs}} = \min \left\{ \varepsilon_{Fu}, \frac{CMOD_3}{l_{cs}} \right\} = \min \left\{ \varepsilon_{Fu}, \frac{2,5 \text{ mm}}{l_{cs}} \right\}$$

waarin:

$$l_{cs} = h;$$

ϵ_{Fu} is 2% als de rek over de hoogte van de doorsnede varieert en is 1% als de rek over de hoogte van de doorsnede constant is.

Het is toegestaan de na-scheur spanning-rekrelatie te vereenvoudigen, bijvoorbeeld door het gebruik van een rechte lijn door de twee punten met de na-scheur treksterkten f_{Fts} en f_{Ftu} en de rekken ϵ_{SLS} en ϵ_{ULS} , zie figuur 3.12.



Figuur 3.12: Lineaire na-scheur trekspanning –rek relatie.

Het gedrag van SVB in een constructie kan anders zijn dan het gedrag in de standaard test (de driepunts buigproef). De invloed hiervan wordt in rekening gebracht met factoren voor de vezeloriëntatie en de elementgrootte.

Vezeloriëntatie

De invloed van de vezeloriëntatie wordt met de factor K_F^f in rekening gebracht:

$$K_F^f = 0,5 \text{ (basiswaarde)}$$

$K_F^f = 1,0$ voor een op buiging en/of trek belast element waarvoor geldt:

- vlak, liggend gestort met $b > 5h$ (bv. plaat en wand);
- balk in langsricting belast.

Elementgrootte

De invloed van de elementgrootte op de variatiecoëfficiënt van de na-scheur treksterkten wordt met de factor K_G^f in rekening gebracht:

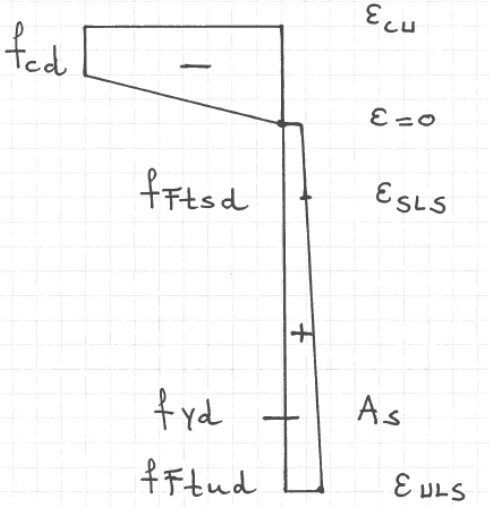
$$K_G^f = 1,0 + 0,5A_{ct}^f \leq 1,50$$

waarin:

A_{ct}^f is de oppervlakte van de dwarsdoorsnede van de op trek belaste gescheurde zone dan wel het plastische scharnier in m^2 .

Voor elementen belast op buiging zonder normaalkracht mag $A_{ct}^f = 0,9A_c$ worden aangehouden.

	<p><u>Rekenwaarden van na-scheur treksterkten:</u></p> $f_{R1d} = K_F^f K_G^f \frac{f_{R1k}}{\gamma_{SF}}$ $f_{R3d} = K_F^f K_G^f \frac{f_{R3k}}{\gamma_{SF}}$ $f_{Ftsd} = K_F^f K_G^f \frac{f_{Ftsk}}{\gamma_{SF}}$ $f_{Ftud} = K_F^f K_G^f \frac{f_{Ftuk}}{\gamma_{SF}}$
4.4.1.2 (114)	Milieuklassen XA en XF zijn veelal niet nader genoemd in HS 4. Dit omdat zij invloed hebben op de mengselsamenstelling (water-bindmiddel factor) en het minimum bindmiddelgehalte.
4.4.1.2 (115)	De betondekkingen $c_{min,dur}$ en $c_{min,b}$ zijn van toepassing op het eventueel in een doorsnede aanwezige betonstaal.
4.5	Als de staalvezels gedurende de ontwerplevensduur niet afdoende tegen corrosie zijn beschermd, dan mag de na-scheurtreksterkte in een zone vanaf het vlak waar milieuklasse XS2, XS3, XD2 of XD3 van toepassing is, niet in rekening worden gebracht. Die zone heeft een dikte van 10 mm bij milieuklasse XS2 of XD2 en 20 mm bij milieuklasse XS3 of XD3. Dit is van toepassing voor constructieklassen S1 tot en met S6.
4.6	Met het oog op esthetische aspecten wordt er op gewezen dat staalvezels die zich in de buitenvlakken van de beton bevinden, zich door corrosie kunnen aftekenen.
5.5 (107)	<p>Een betondoorsnede moet voldoende rotatiecapaciteit in het bezwijkstadium hebben. Daarvan is sprake als de relatieve betondrukzone in de uiterste grenstoestand niet groter is dan de waarde die volgt uit NEN-EN 1992-1-1 vgl. (5.10a) of (5.10b), (rekening houdend met hetgeen vermeld in de nationale bijlage).</p> <p>Voor een SVB doorsnede zonder betonstaal mag daarbij, in plaats van de nuttige hoogte d van de doorsnede, worden gerekend met de totale hoogte h van de doorsnede. Voor de in de berekening aan te houden klasse van de wapening wordt de klasse gebruikt die voor het betonstaal elders in de constructie van toepassing is.</p> <p>Bij het vaststellen van de in een constructieve berekening aan te houden hoogte h van een SVB doorsnede moet eventueel rekening worden gehouden met een reductie op de werkelijk toegepaste hoogte, zie 4.5.</p>
5.6.2 (106)	<p>Voor funderingsplaten (op een bedding) en puntvormig ondersteunde funderingsvloeren mag, mits dit door proefresultaten wordt onderbouwd, de plasticiteitstheorie zonder rotatiecapaciteit controle worden toegepast.</p> <p><i>Toelichting:</i> Bij het gebruik van andere theorieën dan de lineaire-elasticiteitstheorie dient te worden gewaarborgd dat de mechanismen op basis waarvan de krachtsverdeling tot stand komt, ook daadwerkelijk binnen het materiaal kunnen optreden. Daarnaast dient te worden voorkomen dat onduidelijkheid ontstaat over de toepassing van niet-lineaire theorieën in het geval van SVB.</p> <p>In vergelijking met de in NEN-EN 14651 beschreven balkproeven, kunnen proeven op grote</p>

	<p>schaal wel informatie leveren over het vloei-moment en de rotatiecapaciteit van SVB.</p>
<p>6.1 (109)</p>	<p>Uiterste grenstoestand - buiging met/zonder normaalkracht</p> <p><i>Voorbeeld, zie figuur 6.101:</i> Spanningen en rekken over de hoogte van een SVB doorsnede met betonstaal. Verondersteld is, dat in de uiterste grenstoestand het beton in de drukzone op stuk bezwijkt en tegelijkertijd aan de tegenoverliggende zijde juist de treksterkte f_{Ftud} wordt bereikt. Tevens is verondersteld, dat sprake is van na-scheur strain hardening gedrag; $f_{Ftud} > f_{Ftsd}$.</p>  <p>Figuur 6.101 Voorbeeld van spanningen en rekken over de hoogte van een op zuivere buiging belaste SVB doorsnede met betonstaal</p> <p><i>Opmerking:</i> In voorgaande figuur is van een vereenvoudigde uiterste grenstoestand spanning-rekrelatie uitgegaan. De relatie wordt geheel bepaald door de na-scheur treksterkten f_{Ftsd} en f_{Ftud} en de rekken ϵ_{SLS} en ϵ_{ULS}.</p>
<p>6.2.2 (101) Dwarskracht</p>	<p>In een SVB doorsnede van een elastisch ondersteund constructiedeel (dat is: op een bedding, dus een funderingsstrook of een funderingsplaat) mag bij het berekenen van de dwarskrachtweerstand een bijdrage door de staalvezels in rekening worden gebracht, zodanig dat de totale weerstand van het beton gelijk is aan:</p> $V_{Rd,F} = V_{Rd,c} + V_{Rd,f} = \left\{ \frac{0,18}{\gamma_c} k \sqrt[3]{100 \rho_l \left(1 + 7,5 \frac{f_{Ftuk}}{f_{ctk}} \right) f_{ck} + 0,15 \sigma_{cp}} \right\} b_w d$ <p>waarin:</p> $V_{Rd,c} = \left\{ \frac{0,18}{\gamma_c} k \sqrt[3]{100 \rho_l f_{ck} + 0,15 \sigma_{cp}} \right\} b_w d$ <p>$V_{Rd,c}$ behoeft niet kleiner te worden genomen dan:</p> $V_{Rd,cmin} = \{ v_{min} + 0,15 \sigma_{cp} \} b_w d$ <p>waarin:</p> $v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$



	<p>Als in een SVB doorsnede van een (puntvormig ondersteunde) funderingsbalk of beganegrondvloer minstens de minimum langwapening in de vorm van betonstaal aanwezig is, mag, bij het berekenen van de dwarskrachtweerstand, een bijdrage door de staalvezels in rekening worden gebracht. Dit is ook van toepassing als het element of de vloer door een geconcentreerde last wordt belast. Als geen minimum langwapening in de vorm van betonstaal aanwezig is, mag, bij het berekenen van de dwarskrachtweerstand, geen bijdrage door de staalvezels in rekening worden gebracht. Dan is $V_{Rd,cmin}$ van toepassing.</p>
6.3.1 (106) Torsie	<p>De torsieweerstand van een SVB element met langwapening en dwarskrachtwapening (bij torsie: schuifkrachtwapening) wordt door staalvezels verhoogd. Omdat nog geen rekenmodellen daarvoor beschikbaar zijn, moeten modellen door experimenten met elementen op ware grootte, worden gevalideerd.</p>
6.4.4 (103) Pons	<p>In een SVB element van een elastisch ondersteund constructiedeel (dat is: op een bedding, dus een funderingsstrook of een funderingsplaat) zonder ponswapening, mag bij het berekenen van de ponsweerstand een bijdrage door de staalvezels in rekening worden gebracht, zodanig dat de totale weerstand van het beton gelijk is aan:</p> $V_{Rd,F} = V_{Rd,c} + V_{Rd,f} \leq 1,6V_{Rd,c}$ <p>waarin:</p> $V_{Rd,c} = \left\{ \frac{0,18}{\gamma_c} k \sqrt[3]{100\rho_l f_{ck}} + 0,15\sigma_{cp} \right\} b_w d$ <p>met:</p> $V_{Rd,cmin} = \{v_{min} + 0,15\sigma_{cp}\} b_w d$ <p>waarin:</p> $v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$ <p>en:</p> $V_{Rd,f} = \frac{f_{Ftuk}}{\gamma_{SF}} b_w d$ <p>Als in een SVB doorsnede van een (puntvormig ondersteunde) funderingsbalk of beganegrondvloer minstens de minimum langwapening in de vorm van betonstaal aanwezig is, mag, bij het berekenen van de ponsweerstand, een bijdrage door de staalvezels in rekening worden gebracht. Dit is ook van toepassing als het element of de vloer door een geconcentreerde last wordt belast. Als geen minimum langwapening in de vorm van betonstaal aanwezig is, mag, bij het berekenen van de ponsweerstand, geen bijdrage door de staalvezels in rekening worden gebracht. Dan is $V_{Rd,cmin}$ van toepassing.</p>
7.3.2 (105) Minimumwapening	<p>Minimumwapening voor scheurwijdtebeheersing:</p> $A_{s,min} = k_c k (f_{ctm} - f_{Ftsm}) \frac{A_{ct}}{\sigma_s}$ <p>waarin:</p> <p>f_{Ftsm} is de gemiddelde waarde van de SVB na-scheur treksterkte bij $CMOD_1 = 0,5$ mm.</p>
7.3.4 (106) Berekening van scheurwijdtes	<p><u>SVB zonder betonstaal</u></p>

Aangenomen wordt dat sprake is van een lineair verloop van de scheurwijdte over de gescheurde zone, zie figuur 7.3. De met een doorsnede-berekening gevonden rek in de uiterste vezel van de trekzone is $\varepsilon_{ft,max}$. De scheurwijdte ter hoogte van die vezel is gelijk aan:

$$w_{max} = l_{cs} \varepsilon_{ft,max}$$

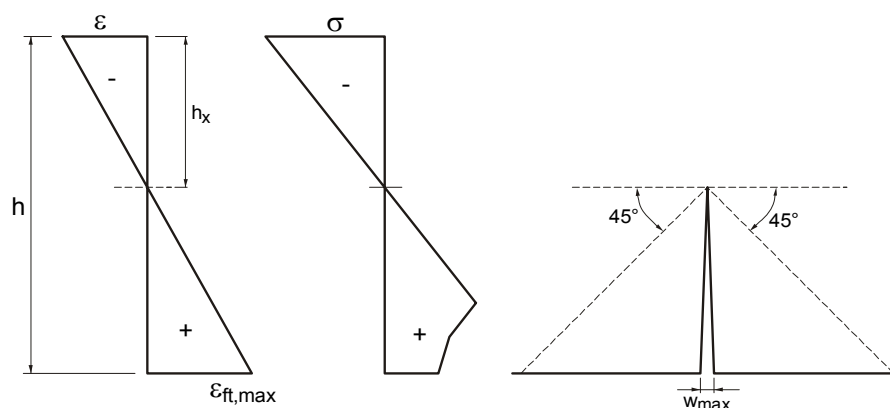
waarin:

l_{cs} is de karakteristieke lengte van het constructie-element, zie par. 3.6.

De karakteristieke bovengrens van de in de constructie optredende scheurwijdte wordt verondersteld gelijk te zijn aan w_{max} .

Toelichting

Bij het vaststellen van de spanning-rekrelatie conform NEN-EN 14651 is uitgegaan van de resultaten van buigproeven op balken met een zaagsnede. Een zaagsnede verkleint de kans op het optreden van meervoudige scheurvorming. Ook in de uitdrukking voor de scheurwijdte in staalvezelbeton is uitgegaan van enkelvoudige scheurvorming. Dat is een conservatieve aanname omdat, afhankelijk van het vezelgehalte, in zekere mate meervoudige scheurvorming zal optreden. Daarom is gesteld dat direct de maximale scheurwijdte wordt berekend.



Figuur 7.3: Rekverdeling, betonspanning- en scheurwijdteverloop over de hoogte van een op buiging belaste SVB doorsnede zonder betonstaal

SVB met betonstaal

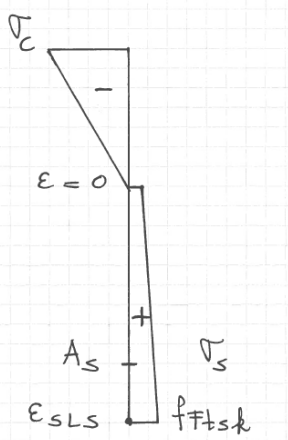
Het verschil tussen de gemiddelde betonstaal rek en beton rek is:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{(f_{ctm} - f_{ftsm})}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

De staalspanning in de scheur volgt uit een doorsnede-berekening. Een voorbeeld hiervan is in figuur 7.4 getoond.

Voorbeeld:

Spanningen en rekken over de hoogte van een SVB doorsnede met betonstaal, zie figuur 7.4. Verondersteld is, dat in de bruikbaarheidsgrenstoestand het beton in de drukzone lineair gedrag

	<p>vertoont en dat tegelijkertijd aan de tegenoverliggende zijde juist de na-scheur treksterkte f_{Ftsk} wordt bereikt.</p>  <p>Figuur 7.4: Rekverdeling en betonspanning verloop over de hoogte van een op buiging belaste SVB doorsnede zonder betonstaal</p> <p>Opmerking: In figuur 7.4 is van een vereenvoudigde bruikbaarheidsgrenstoestand spanning-rekrelatie uitgegaan. De relatie wordt geheel bepaald door de na-scheur treksterkten f_{Ftsk} en f_{Ftuk} en de rekken ϵ_{sLS} en ϵ_{ULS}. Voor dit voorbeeld is verondersteld dat van na-scheur strain hardening gedrag sprake is; $f_{Ftuk} > f_{Ftsk}$.</p>
9.2.1.1 (106)	<p>Minimumwapening – funderingsstrook (elastisch ondersteund)</p> <p>Als de rekenwaarde van het buigend moment in een funderingsstrook rekenkundig <u>niet leidt tot scheurvorming</u> (bereken het scheurmoment van de doorsnede met NEN-EN 1992-1-1 9.2.1.1 (1) uit de nationale bijlage), dan moet gecontroleerd worden of de doorsnede met staalvezels tenminste de rekenwaarde van het buigend moment kan opnemen. Dit eventueel in combinatie met betonstaal wapening.</p> <p>Als de rekenwaarde van het buigend moment in een funderingsstrook rekenkundig <u>leidt tot scheurvorming</u> (bereken het scheurmoment van de doorsnede met NEN-EN 1992-1-1 9.2.1.1 (1) uit de nationale bijlage), dan moet een <u>minimum hoeveelheid betonstaal</u> worden toegepast die tenminste het scheurmoment van de doorsnede kan opnemen. Tevens moet gecontroleerd worden of de doorsnede met betonstaal en staalvezels de rekenwaarde van het buigend moment kan opnemen.</p> <p>Minimumwapening – funderingsbalk (puntvormig ondersteund)</p> <p>In een funderingsbalk moet een <u>minimum hoeveelheid betonstaal</u> worden toegepast die tenminste het scheurmoment van de doorsnede kan opnemen (bereken het scheurmoment van de doorsnede met NEN-EN 1992-1-1 9.2.1.1 (1) uit de nationale bijlage).</p>
9.2.1.1 (107)	<p>Maximumwapening – funderingsstrook (elastisch ondersteund) en funderingsbalk (puntvormig ondersteund)</p> <p>In een betondoorsnede, eventueel voorzien van betonstaal, behoort de relatieve betondrukzone hoogte in de uiterste grenstoestand te voldoen aan de voorwaarde die volgt uit 5.5 (107).</p>
9.3.1.1 (109)	<p>Minimumwapening – funderingsplaat (elastisch ondersteund)</p>

	<p>Als de rekenwaarde van het buigend moment in een funderingsplaat rekenkundig <u>niet leidt tot scheurvorming</u> (bereken het scheurmoment van de doorsnede met NEN-EN 1992-1-1 9.2.1.1 (1) uit de nationale bijlage), dan moet gecontroleerd worden of de doorsnede met staalvezels tenminste de rekenwaarde van het buigend moment kan opnemen. Dit eventueel in combinatie met betonstaal wapening.</p> <p>Als de rekenwaarde van het buigend moment in een funderingsplaat rekenkundig <u>leidt tot scheurvorming</u> (bereken het scheurmoment van de doorsnede met NEN-EN 1992-1-1 9.2.1.1 (1) uit de nationale bijlage), dan moet een <u>minimum hoeveelheid betonstaal</u> worden toegepast die tenminste het scheurmoment van de doorsnede kan opnemen. Tevens moet gecontroleerd worden of de doorsnede met betonstaal en staalvezels de rekenwaarde van het buigend moment kan opnemen.</p> <p>Minimumwapening – beganegrondvloer (puntvormig ondersteund)</p> <p>In een puntvormig ondersteunde vloer moet, op de posities van de funderingspalen, een <u>minimum hoeveelheid betonstaal</u> worden toegepast die tenminste het scheurmoment van de doorsnede kan opnemen (bereken het scheurmoment van de doorsnede met NEN-EN 1992-1-1 9.2.1.1 (1) uit de nationale bijlage).</p>
9.3.1.1 (110)	<p>Maximumwapening – funderingsplaat (elastisch ondersteund) en (puntvormig ondersteunde) beganegrondvloer</p> <p>In een betondoorsnede, eventueel voorzien van betonstaal, behoort de relatieve betondrukzone hoogte in de uiterste grenstoestand te voldoen aan de voorwaarde die volgt uit 5.5 (107).</p>
9.2.2 (105)	<p>Als dwarskrachtwapening vereist is, geldt:</p> $\frac{A_{sw}}{sb_w \sin \alpha} + \frac{f_{Ftud}}{f_{yk}} \geq 0,08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$
9.4.3(102)	<p>Als ponswapening vereist is, geldt:</p> $\frac{A_{sw, \min} (1,5 \sin \alpha + \cos \alpha)}{s_r s_t} + \frac{f_{Ftud}}{f_{yk}} \geq 0,08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$

Uitvoering staalvezelbeton in funderingen – Praktijkadviezen

Berekeningen en tekeningen:

In de berekeningen en op de tekeningen moeten de toe te passen betonsterkteklasse, het staalvezeltype en de hoeveelheid staalvezels, de consistentie en de milieuklasse zijn vermeld.

Betonspecie:

Het staalvezelbeton moet op de betoncentrale worden vervaardigd.

Indien het staalvezelbeton wordt geleverd onder KOMO certificaat op basis van BRL 1801 én BRL 5060 zijn geen verdere controles nodig.

In de overige gevallen zijn de onderstaande keuringseisen van toepassing.

Homogeniteit en buigtreksterkte:

Per betoncentrale groep minimaal 1 keer en vervolgens 1 keer per 250 m³ of minimaal 1 keer per jaar homogeniteit en buigtreksterkte toetsen volgens art. 8.2.4 en 8.2.7 van BRL 5060.

Indien meerdere vestigingen van één bedrijf worden aangestuurd door een centrale kwaliteitsdienst, dan kan het onderzoek bij één vestiging van toepassing worden verklaard op de overige vestigingen, mits dezelfde betonsamenstelling en type/dosering staalvezels worden toegepast.

Betonsamenstelling en consistentie van de betonspecie moeten worden afgestemd op het type en de hoeveelheid staalvezels, de verwerkingsmethode (pomp of kubel) en de toepassing.

Als traditionele wapeningsnetten worden toegepast moet de maaswijdte van het net minimaal 1,5 x zo groot zijn als de lengte van de staalvezel.

Integratie staalvezels:

Voor het toevoegen van de staaldraadvezels zie hoofdstuk 7.2 van de BRL 5060.

Stortnaden:

Stortnaden moeten zoveel mogelijk voorkomen worden. Als een stortnaad wordt toegepast, dan moet het volledige buigend moment t.p.v. de stortnaad worden opgenomen door traditionele wapening.

Leidingen:

Horizontale leidingen in de constructie moeten vermeden worden, omdat ze de buigend momentweerstand van het staalvezelbeton reduceren. Als leidingen onvermijdelijk zijn, moet de buigend momentweerstand worden verzekerd met aanvullende traditionele wapening.

Afwerken en nabehandelen:

Het (staalvezel)beton moet worden aangebracht en verwerkt volgens NEN-EN 13670.

Tijdens en na het storten moet een trilnaald met de nodige voorzichtigheid worden gebruikt. Het verplaatsen van het beton m.b.v. een trilnaald is, net als bij normaal beton, niet toegestaan.

Overmatig verdichten met de trilnaald kan tot ontmenging leiden.

Gebruik van een trilnaald wordt aanbevolen bij aansluitingen, hoeken en ingestorte wapening en voorzieningen. Direct na het storten moet het staalvezelbeton worden beschermd tegen uitdroging en bevriezing. Ook bij het storten van plaatvormige constructies moet worden verdicht en heeft het gebruik van een trilbalk of trilplaat daarbij de voorkeur boven een trilnaald. Ter beperking van de kans op het optreden van plastische krimp scheuren bij voorkeur 600 gram/m³ PP micro synthetische kunststofvezels toevoegen aan het staalvezelbeton.

Nabehandeling conform NEN-EN 13670.

