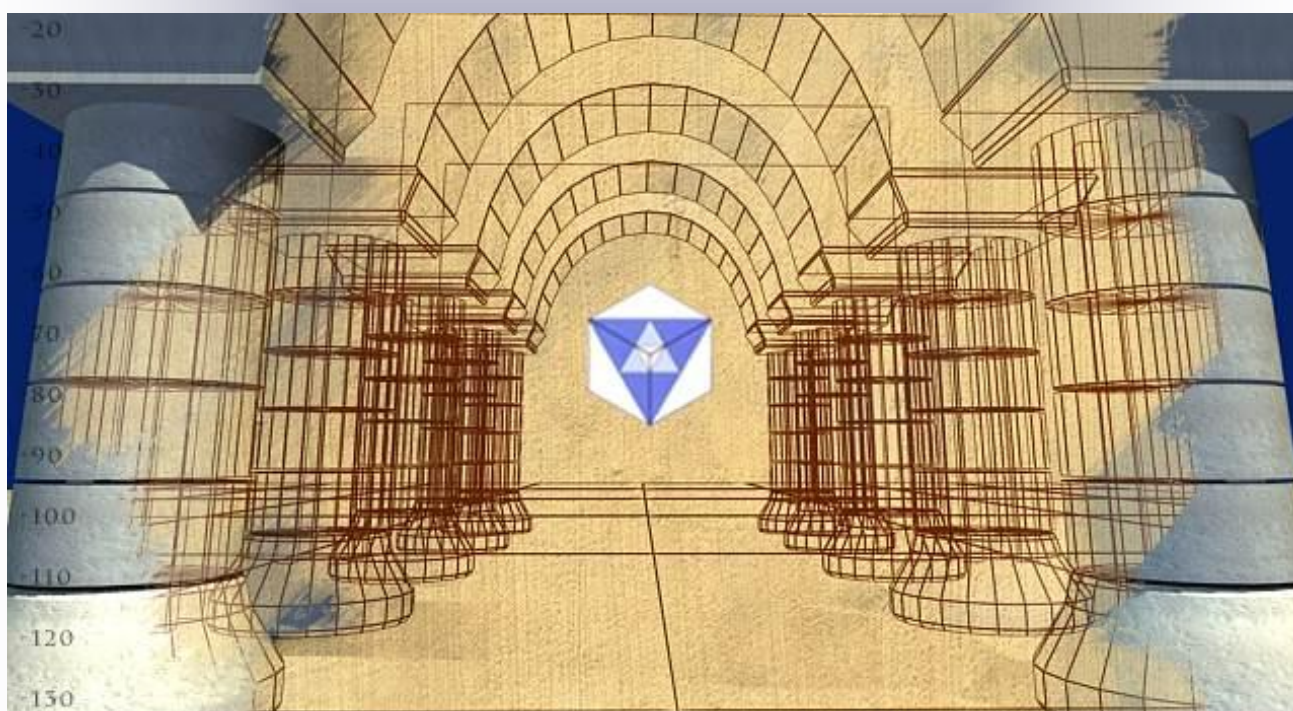


Bijzondere wapening



Stubeco studiecel B 07

Bijzondere wapening

Definitieve versie rapport, april 2008

Stubeco studiecel B 07

W.M. van der Meijden, MVM Betonstaal
ing. Th.J.A. Paap, vh PRC - SAOB
ir. G.M. Wolsink, RWS Bouwdienst
M. Deijkers, MVM Betonstaal
J. van Leeuwen, BAM Civiel
A. Nieuwenhuyzen, RWS Bouwdienst

De Studievereniging Uitvoering Betonconstructies (Stubeco) en degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het verwerken van de in deze publicatie vervatte gegevens. Nochtans moet niet de mogelijkheid worden uitgesloten dat er zich toch onjuistheden in deze publicatie kunnen bevinden. Degene die van deze publicatie gebruik maakt, aanvaardt daarvan het risico. De Stubeco sluit, mede ten behoeve van al degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van deze gegevens.

Gehele of gedeeltelijke overname van de inhoud is alleen toegestaan met schriftelijke toestemming van het Stubeco-bestuur.

*Deze publicatie is verkrijgbaar bij:
Stubeco, Büchnerweg 3, Postbus 411, 2800 AK Gouda
tel.nr. (0182) 53 92 33, fax (0182) 53 75 10
e-mail: info@stubeco.nl - website: www.stubeco.nl*

Inhoudsopgave

1.	Inleiding	4
2.	Dwarskrachtwapening	5
2.1.	Geschiedenis	5
2.2.	Is dwarskrachtwapening altijd nodig?	6
2.3.	Detaillering van dwarskrachtwapening	7
2.4.	De ontwikkeling van dwarskrachtwapening in vloeren en dekken	8
2.4.1.	<i>Dwarskrachtwapening in afzinktunnels</i>	11
2.4.2.	<i>Wapenen op dwarskracht met haarspelden (lassen verticaal)</i>	12
2.4.3.	<i>Haarspelden met lassen horizontaal</i>	18
2.4.4.	<i>Wapenen op dwarskracht met beugels</i>	19
2.4.5.	<i>Wapenen op dwarskracht met schuine haarspelden</i>	21
2.4.6.	<i>Wapenen op dwarskracht met schuine staven</i>	23
2.4.7.	<i>Wapenen op dwarskracht met prefab haarspelden</i>	25
2.4.8.	<i>Wapenen op dwarskracht met prefab korven</i>	29
2.4.9.	<i>Waardering dwarskrachtoplossingen</i>	32
2.4.10.	<i>Dwarskrachtwapening in wanden</i>	34
2.4.11.	<i>T-head staven</i>	36
3.	Wapeningsdichtheid	38
4.	Dilatatievoeg wapening	42
4.1.	Inleiding	42
4.2.	Wapening	45
5.	Borgstaven	47
6.	Afstandhouder/pieleman in balken en vloeren	50
7.	Literatuurlijst	51
8.	Bronvermelding	51

1. Inleiding

Aan het eind van de 20^e eeuw en het begin van de 21^e eeuw zijn verschillende zware civieltechnische betonwerken gebouwd, zoals afzinktunnels voor het wegverkeer, de vele viaducten, bruggen en tunnels voor de Hoge SnelheidsLijn en de Betuweroute. Alleen al voor de Betuwelijn waren dat er 130. Al deze omvangrijke betonwerken zijn uitgevoerd in een intensieve samenwerking met adviseurs, constructeurs en bouwbedrijven. Naast de schaalvergroting van de projecten was er ook:

- de invloed van de ontwikkeling in de betonvoorschriften,
- Rijkswaterstaat die zich terugtrok in de rol van opdrachtgever en het ontwerpen overliet aan constructiebureaus en bouwers,
- het expliciet maken van de levensduur van bouwwerken tot 100 jaar,
- nieuwe aanbestedingsvormen enz.

Op de bouwplaatsen is vooral in de werkvoorbereidingsfase veel werk verzet om alle getekende constructies ook uitvoerbaar te maken. Voor gelijke problemen zijn niet altijd gelijke oplossingen gekozen. Om een voorbeeld te noemen: het toepassen van borgstaven onder dek- of vloerwapeningen werd niet toegestaan (vanwege de verkleining van de effectieve hoogte (hefboomsarm)), respectievelijk toegestaan met of zonder aanpassing van de betondekking.

Bij de uitvoering van de vele ook niet civieltechnische werken is gebleken dat de uitvoeringsregels zoals bijvoorbeeld in de VBU nog onvoldoende aansluiten op de dagelijkse praktijk.

De Stubeco (**ST**udievereniging **U**itvoering **BE**ton**CO**nstructies) heeft dit onderkend en heeft hiervoor een studiecel opgestart, die een aantal aspecten van het wapenen van betonconstructies verder moest onderzoeken. De studiecel kreeg als doel-/taakstelling: een inventarisatie en evaluatie te maken van hetgeen bij het wapenen van zware betonconstructies heeft plaatsgevonden. Het voorstellen van een uniformering van praktische oplossingen.

Vanuit deze doelstelling is het onderzoek opgedeeld in vijf hoofdonderdelen:

- De wapening die volgt uit de schuifspanningscontrole: de dwarskrachtwapening.
- De wapening die nodig is om de krachten op te vangen in de dilatatievoegen tussen moten van afzinktunnels.
- De wapeningsdichtheid.
- Het toepassen van borgstaven.
- Afstandhouders in balken en vloeren.

Bijzondere dank is de studiecel verschuldigd aan:

- Rijkswaterstaat voor het ter inzage verstrekken van interne rapporten. Zie de literatuurlijst.
- Ing L. Leeuw (vh RWS Bouwdienst) voor het opbouwend volgen van het studiewerk.
- EGBB uit Veldhoven voor documentatie en foto's van M&M hulzen.

2. Dwarskrachtwapening

2.1. Geschiedenis

Tot en met de betonvoorschriften van 1962 kwam dwarskrachtwapening in vloeren en wanden nauwelijks voor. Na de introductie van de betonvoorschriften van 1974 veranderde dat en vanaf dat moment komt bijvoorbeeld in afgezonken tunnels, maar ook in andere zwaar belaste betonconstructies, dwarskrachtwapening regelmatig voor.



Figuur 1 - Een vloer van een tunnelmoot met (nog maar) de helft van de dwarskrachtwapening

De in het midden van de vorige eeuw veel toegepaste schuine trekstaven in balken en vloeren kwamen zelden voort uit de noodzaak om deze onderdelen te wapenen op schuine trekspanningen, veel meer kwamen deze schuine trekstaven voort uit de wens om de steunpunt wapening te laten overgaan in de veld wapening. Dit waren de zogenaamde hele en halve zakstaven. Uit rationeel oogpunt komen deze zakstaven tegenwoordig niet meer voor.

In de GBV 1962 was al een schuifspanningscontrole opgenomen. Deze leidde meestal niet tot een dwarskrachtwapening. Uit voortschrijdend inzicht is in de VB'74 de berekening van dwarskrachtwapening gewijzigd. Rijkswaterstaat heeft toentertijd getwijfeld aan de hoeveelheid benodigde dwarskrachtwapening in afzinktunnels. Zij heeft op eigen initiatief proeven uit laten voeren door TNO. Hieruit volgde dat de noodzaak tot wapenen op dwarskracht zeker aanwezig was, maar dat de hoeveelheid wapening ten opzichte van de VB enigszins kon worden verminderd. In latere versies van de betonvoorschriften, na de VB'74, wordt deze vermindering teruggevonden.

Na de tweede wereldoorlog zijn bij de bouw van de bunkers op het vliegveld Ypenburg de wanden op dwarskracht gewapend doormiddel van spekhaken. Iedere kruising van het voornet werd door middel van een spekhaak verbonden met een kruising van het

achternet. Een spekhaak kan uitgevoerd zijn als een haarspeld met korte poten, maar ook als sierlijk gebogen staaf gelijk aan de haken die een slager gebruikt om geslachte varkens op te hangen. Op speciale verticale buigtafels werden deze spekhaken gebogen.

2.2. Is dwarskrachtwapening altijd nodig?

Met de huidige betonvoorschriften en de gebruikelijke betonkwaliteiten ontkomt men er niet aan om in bepaalde betonconstructies, zoals afgezonken tunnels dwarskrachtwapening toe te passen.

Een aantal afzinktunnels is gebouwd met de betonvoorschriften GVB 1962 of eerder, dus zonder dwarskrachtwapening. Deze tunnels voldoen formeel niet aan de huidige betonvoorschriften. Toch is de veiligheid groter dan 1, want anders waren de tunnels ingestort.

De meeste tunnels kennen twee rijstroken per tunnelbuis. De binnenhoeken en buitenhoeken van het dek zijn afgeschuind. Dat is gunstig voor het opvangen van de dwarskracht.

De treksterkte is gerelateerd aan de druksterkte van het beton. Dit houdt in, dat wanneer men een hogere betonkwaliteit toepast men wel eens geen dwarskrachtwapening nodig hoeft te hebben, omdat dan de treksterkte van het beton de dwarskracht kan opvangen. In de Willemsspoortunnel met zijn vier tunnelkokers hebben het tunneldek en de tunnelvloer relatief kleine overspanningen. Het is in deze tunnel mogelijk gebleken door het verhogen van de betonkwaliteit van C20/25 naar C25/30 de dwarskrachtwapening te voorkomen.

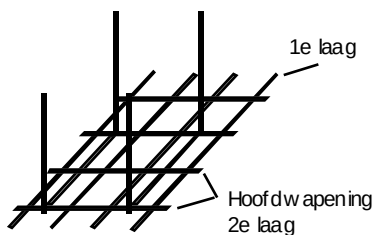
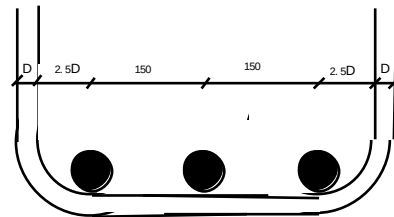
Met een zwaardere betonconstructie zou men ook dwarskrachtwapening kunnen voorkomen. Maar voor iedere tunnel is een bepaald profiel van vrije ruimte nodig. Zo is voor de HSL, vanwege de hogere snelheden van de treinen, het profiel van vrije ruimte groter dan bijvoorbeeld van de metrokokers in de Beneluxtunnel. Het tunnelelement moet drijvend naar zijn definitieve plaats worden gebracht. Met de hoeveelheid beton en het profiel van vrije ruimte kan maar weinig worden geschoven. Een zwaardere betonconstructie zit er dan ook niet in voor deze afzinktunnels. Volgens de leer van de mechanica is er de wens om meer beton in de doorsnede te stoppen, maar daarmee komt het drijvend vermogen van het tunnelelement in gevaar. Viaducten kunnen eenvoudiger iets dikker worden gemaakt om dwarskrachtwapening te voorkomen. Men kan ook kiezen voor sterker beton, het C20/25 kan vervangen worden door een C35/45 of een C45/55. Dit zou een winst van 10% tot 20% minder dwarskrachtwapening opleveren. Men kan ook streven naar betonconstructies zonder dwarskrachtwapening. Voor de huidige afzinktunnels moet men al gauw denken aan C80/95. Een hogere kwaliteit beton vraagt een grotere hoeveelheid cement, wat een prijsverhoging geeft per m³ beton. Beton technologisch wordt er echter voor deze volumineuze beton doorsnedes het probleem geschapen van de warmte ontwikkeling. Om een grote warmte ontwikkeling tegen te gaan, zullen de dikke vloeren en wanden intensiever moeten worden gekoeld. Hieruit volgt dat dwarskrachtwapening in de afzinktunnels nodig blijft.

2.3. Detaillering van dwarskrachtwapening

Paragraaf 2.3 is ontleend aan een richtlijn van de projectorganisatie Hoge Snelheids Lijn Zuid.

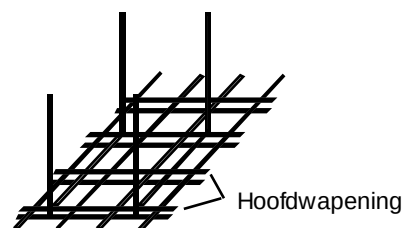
De richtlijn beschrijft de detaillering van dwarskrachtwapening in de vorm van beugels in een betonnen plaatconstructie.

Om de schuine trekspanningen te kunnen opvangen, moeten de beugels aan de druk-/trekzijde voldoende verankerd zijn. Aan de trekzijde dienen de beugels de hoofdwapening nauw te omsluiten zodat een goede verankering ontstaat om de trekkrachten uit de trekdiagonalen te kunnen opvangen. Daarom is het noodzakelijk dat in iedere hoek van de beugel een wapeningsstaaf aanwezig is, in verband hiermee mag de beugelbreedte niet te groot worden gemaakt. Aan de drukzijde moet de verankering van beugels zo hoog mogelijk beginnen.



Figuur 2 - Dwarskrachtbeugel in eerste laag

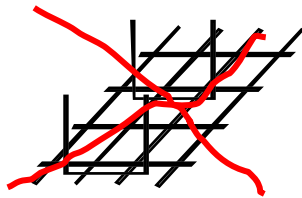
In figuur 2 ligt de verdeelwapening en de dwarskrachtwapening in de eerste laag en de hoofdwapening in de tweede laag. Dit is een hele goede oplossing. In de hoofd draagrichting wordt de druk diagonaal goed verankerd. 100% van het beugeloppervlak is effectief. Voor opname van de dwarskracht uit de richting loodrecht op de hoofd draagrichting mag alleen de wapening meegerekend worden die in de binnenkant van de beugel aangrijpt. In de getekende situatie betekent dit dat 50% van het beugeloppervlak effectief is.



Figuur 3 - Dwarskrachtbeugels in de tweede laag

Hoofdwapening in de eerste laag, verdeelwapening en dwarskrachtbeugels in de tweede laag, resterende hoofdwapening in de derde laag. Van deze hoofdwapening in de derde laag moet minstens 50% door beugels omsloten worden. In de hoofd draagrichting is 100% van het beugeloppervlak effectief. In de richting loodrecht op de hoofd draagrichting is slechts 50% van het beugeloppervlak effectief.

De eerste laag hoofdwapening en de verdeelwapening zijn door de vlechters eenvoudig uit te lopen, of aan te brengen door middel van netten of rolwapening. Hiermee is deze variant een praktische oplossing.

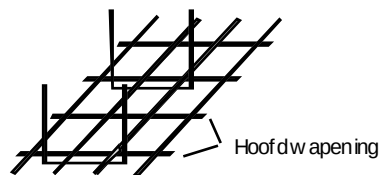


Figuur 4 - Niet toegestane oplossing

In figuur 4 hoofd- en verdeelwapening in de eerste twee lagen, de dwarskrachtbeugels in de tweede laag. In geen van de twee draagrichtingen wordt de dwarskrachtbeugel door wapeningsstaven verankerd. Dit is een niet toegestane oplossing.

Figuur 5 - Dwarskrachtbeugels haaks op de hoofd draagrichting

Hoofdwapening en dwarskrachtwapening in de eerste laag, verdeelwapening in de tweede laag. Voor het door vlechters aanbrengen van de dwarskrachtwapening en de verdeelwapening mogelijk een ideale oplossing. De constructeurs mogen voor de opname van de dwarskracht in de hoofd draagrichting het beugeloppervlak slechts voor 50% in de berekening verwerken. Voor opname van dwarskracht loodrecht op de hoofd draagrichting is deze beugel configuratie 100% effectief.



Alle oplossingen dienen ook aan de volgende eisen te voldoen:

- De diameter van de hoekstaven binnen de dwarskrachtbeugels dient tenminste anderhalf maal de beugel diameter te zijn.
- De beugelafstand in de rij beugels mag niet groter zijn dan $\frac{2}{3}$ van de nuttige hoogte d (hart wapening tot aan andere zijde van de beton).
- De beugelafstand in de rij beugels moet minimaal de afstand zijn van de kleinste staafafstand in de richting loodrecht op de hoofd draagrichting
- De tussenruimte tussen de rijen beugels mag niet groter zijn dan de nuttige hoogte d .
- De beugelbreedte is maximaal 500 mm. Meersnede beugels mogen maximaal 400 mm breed zijn.
- Indien volgens de berekening dwarskrachtwapening over een bepaald oppervlak in de vloeren en dekken noodzakelijk is, dient minimaal een percentage van 0,1% van het betreffende oppervlak in betonstaal te worden toegepast.
- De ombuigingsdiameter van de beugels dient tenminste gelijk te zijn aan vijfmaal de diameter van de beugelstaaf.
- Wordt zoals in figuur 3 de hoofdwapening in de eerste en derde laag toegepast, dan verdient het constructief, vanwege scheurwijdte beheersing, de voorkeur om in beide lagen kleinere diameters toe te passen. Uit kostenoverwegingen is een zo groot mogelijke diameter de goedkoopste oplossing.

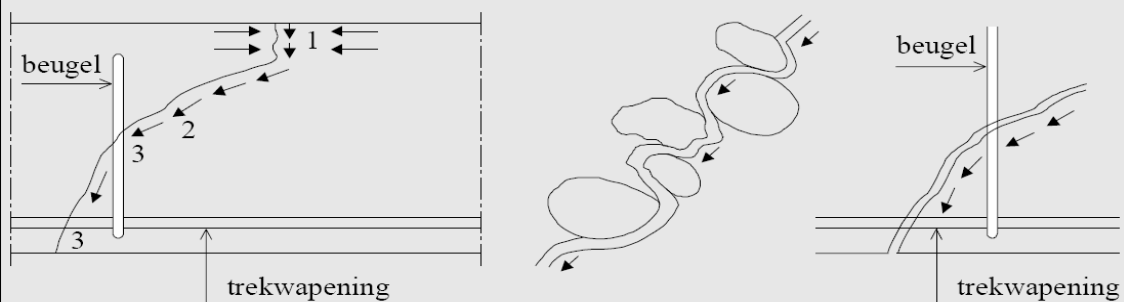
2.4. De ontwikkeling van dwarskrachtwapening in vloeren en dekken

Alvorens dieper in te gaan op de vormen waarin dwarskrachtwapening kan worden toegepast eerst een aantal algemene opmerkingen.

Voor constructies waaraan constructieve eisen worden gesteld, zorgt de constructeur er met behulp van factoren, zoals belasting- en materiaalfactoren, voor dat alle onderdelen de geëiste veiligheidscoëfficiënt bezitten.

Zowel bij buiging als dwarskracht is er sprake van trekbelastingen in de betonconstructie. Ongewapend beton is uitstekend in staat om drukbelastingen op te nemen. Een ongewapende betonconstructie is echter nauwelijks in staat om trekbelastingen op te nemen. Deze zal dus moeten worden gewapend. Dwarskrachtscheuren staan onder een hoek met de lengte as van een constructie element. De hoek varieert met de afstand tot de oplegging, maar bedraagt gemiddeld circa 45 graden. Een wapeningsstaaf onder 45 graden is voor het opvangen van deze krachten het meest efficiënt. Dwarskrachtwapening in verticale richting is gemakkelijker uitvoerbaar. Deze wapening geeft meer mogelijkheden om te prefabriceren om zo kortere cyclustijden te bereiken.

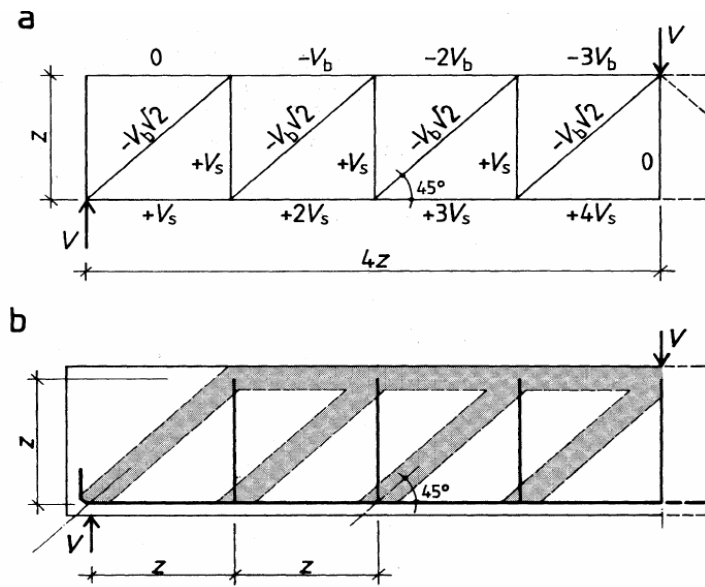
Krachtswerking in een op dwarskracht belaste balk:



- 1 ongescheurde drukzone: grote schuifkracht overdragen
- 2 wrijvingskrachten via vertanding (aggregate interlock)
- 3 deuvelwerking wapening

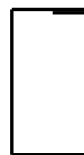
De dwarskrachtwapening dient te voldoen aan de regels van de vakwerktheorie. Dit houdt in, dat de in de vakwerken aanwezige horizontale liggers en verticale stijlen en de eventuele schuine staven degelijk met elkaar verbonden dienen te zijn door middel van lassen of knoopplaten. Dwarskrachtwapening tussen onder- en bovennet zonder omsluiting van staven in het bovennet of ondernet, voldoet dus beslist niet aan deze vakwerktheorie. Wanneer beugels als dwarskrachtwapening worden toegepast, dienen deze zowel in het ondernet als in het bovennet een drietal wapeningsstaven te omvatten. Constructief het meest effectief zijn hoofdwapeningsstaven tussen de beugels.

Vakwerkanalogie: verticale beugels



Het is gebruikelijk dat de hoofdwapening van vloeren en dekken in zowel het ondernet als bovennet in de eerste laag wordt toegepast. En in de tweede laag de verdeelwapening. Bij het toepassen van dwarskrachtbeugels moeten de beugels de hoofdwapening omvatten, waardoor deze beugels in de eerste laag terecht komen, met de normale vereiste dekking. De hoofdwapening verschuift dan naar de tweede laag. Vanzelfsprekend kan dan de verdeelwapening eenvoudigheidshalve ook naar de eerste laag worden verplaatst.

Moet er hoofdwapening in twee lagen worden toegepast, dan kan hiervoor de eerste en derde laag worden gebruikt. In de tweede laag komt dan de verdeelwapening. De eis blijft bestaan dat de beugels drie wapeningsstaven dienen te omvatten. Zoals we nog zullen zien, geeft dwarskrachtwapening in de tweede laag en hoofdwapening in de eerste en derde laag een belangrijk eenvoudiger wapeningsproces dan de dwarskrachtwapening al in de eerste laag.



Wordt voor dwarskrachtwapening beugels toegepast dan geven deze beugels de laagste staalkosten, omdat maar één keer laslengte hoeft te worden betaald. De vlechter geeft in de meeste gevallen de voorkeur aan twee haarspelden. Twee



haarspelden vereisen een tweede overlappinglas en zijn hiermee in staalkosten duurder dan een beugel. Omdat twee haarspelden mogelijkheden geven voor een belangrijk andere vlechtvolgorde is deze oplossing in kg/mu voordeliger.

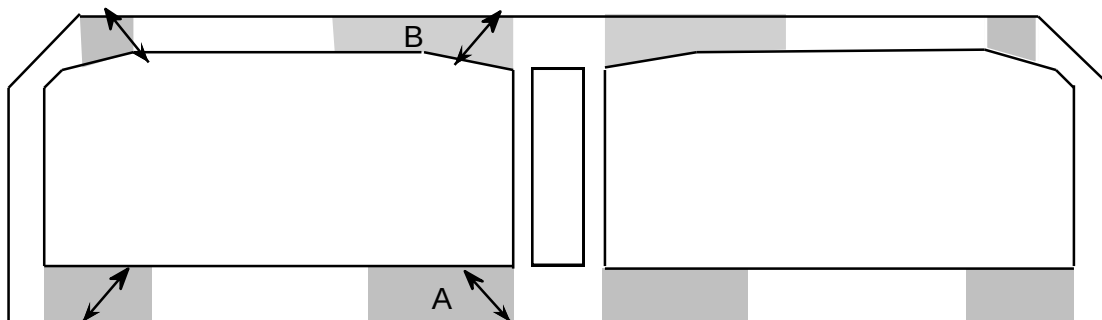
Alle overlappinglassen dienen te voldoen aan de vereiste verankeringslengte, zonodig



dient de onderste haarspeld aan de bovenzijde te worden omgezet in twee horizontale gedeelten.

2.4.1. Dwarskrachtwapening in afzinktunnels

Vanuit de huidige voorschriften moeten de afzinktunnels zoals wij die in Nederland gewend zijn te bouwen in alle doorsnedes gewapend worden met dwarskrachtwapening. Dus zowel de ondervloer, de buitenwanden en het tunneldek vereisen dwarskrachtwapening. In figuur 6 is door middel van een arcering aangegeven waar in ieder geval dwarskrachtwapening in de vloeren en dekken voorkomt. Bij zwaardere belaste tunnels zal de dwarskrachtwapening zich over het gehele vloer- en tunneldek uitbreiden.



Figuur 6 - Tunneldoorsnede met gearceerde gedeelten waar het eerst dwarskrachtwapening nodig is

In Nederland worden tot nu toe de afgezonken tunnels belast door 10 tot 15 meter waterkolom. Een afzinktunnel in de Westerschelde of naar een eiland in de Noordzee zal dieper komen te liggen. In Zuid-Korea wordt tussen Busan -Korea's tweede grote stad- en het eiland Geoje een afgezonken verkeerstunnel met 18 tunnelelementen en 50 meter waterkolom gebouwd. De oplevering is in 2009 gepland. Naast de belasting door de waterkolom kan daar plaatselijk de belasting van hoge dijklichamen bij komen. Het water drukt alzijdig, wat inhoudt dat het tunneldek belast wordt door de waterkolom en het eigen gewicht van de betonconstructie. De vloer van de tunnel wordt vanuit de onderzijde belast door een hogere waterkolom. Het eigen gewicht van de tunnelvloer kan van de belasting worden afgetrokken. Het gewicht van de tunnelvloer werkt nu dus gunstig. In de praktijk komt het erop neer dat de belastingen op tunneldek en tunnelvloer nagenoeg gelijk zijn. Ook de behoefte aan dwarskrachtwapening zal elkaar niet veel ontlopen.

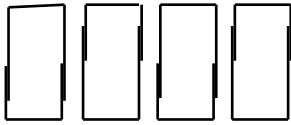
In het veld van de tunnelvloer moet er aan de bovenzijde gewapend worden op de trekspanningen uit de belasting. Bij de steunpunten bevinden de trekspanningen zich aan de onderzijde van de tunnelvloer. De schuine trekspanningen verlopen onder 45 graden tussen deze twee trekgebieden. Deze richting is met een enkele schuine lijn in figuur 6 aangegeven.

In het tunneldek is de belasting omgedraaid, dus trekspanningen aan de onderzijde in het veld en aan de bovenzijde van het tunneldek boven de steunpunten. De richting waarin op schuine trekspanningen gewapend moet worden, is hier dus ook omgedraaid.

In de paragrafen 2.4.2. tot en met 2.4.6. wordt uitgegaan van de hoofdwapening in twee lagen. Aan het eind van elke paragraaf worden de consequenties van wapenen met één laag hoofdwapening aangegeven.

2.4.2. Wapenen op dwarskracht met haarspelden (lassen verticaal)

Wapenen met haarspelden geeft de vlechter de mogelijkheid om relatief eenvoudig de hoofdwapening op zijn plaats te leggen.



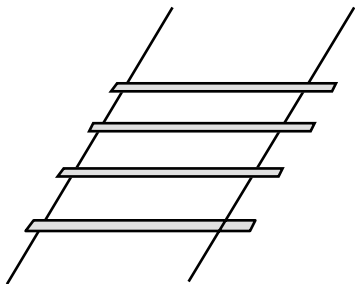
Figuur 7 - Beugels samengesteld uit twee haarspelden

Uit de sterkteberekening volgt een op te nemen dwarskracht in N/mm^2 . Daarmee is het aantal mm^2 staal per m^2 beton in het horizontale vlak en in het midden van de vloer of het dek uit te rekenen. Hieruit volgt de toe te passen diameter en het aantal staven. Een gelijkmatige verdeling van de dwarskrachtstaven over de betondoorsnede is noodzakelijk. Plaatselijk een concentratie en daarna vijf meter niets is uit den boze. In theorie is kippengaas het meest ideaal. (Maar dan wel in grote hoeveelheden: 0.1 % van de doorsnede.) In de figuren 9 t/m 12 is het ideaal benaderd door de haarspelden een staaf verspringend te plaatsen. De hoofdwapening wordt maximaal door beugel haarspelden omsloten. Door middel van lage en hoge haarspelden verspringen de lassen in de haarspeldbeugels.



Figuur 8 - Borgstaaf op stelblokjes

Na het aftekenen begint een vlechter op een nieuw vloerveld met het uitlopen en het op zijn plaats leggen van de betonnen stelblokjes (100x100mm).

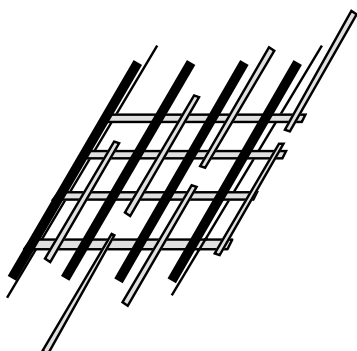
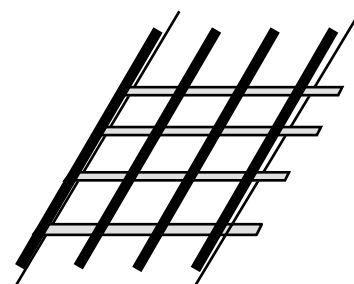


Figuur 9 - Hoofdwapening op borgstaven

Na het uitlopen van de borgstaven kan de vlechter de onderlinge afstanden van de hoofdwapening op enkele borgstaven aftekenen (bij het toepassen van rolwapening vervalt dit). Na het aanvoeren wordt de eerste laag hoofdwapening op de borgstaven uitgelopen.

Figuur 10 - De verdeelwapening volgt in de tweede laag

Na het aftekenen van de onderlinge afstanden van de verdeelwapening op enkele staven hoofdwapening, kunnen de aangevoerde staven van de verdeelwapening haaks op de eerste laag hoofdwapening worden uitgelopen. Na het uitlopen kunnen de hoofdwapeningsstaven en verdeelwapeningstaven door middel van bindingen op de borgstaven op de aangestreepte plaatsen worden vastgezet.

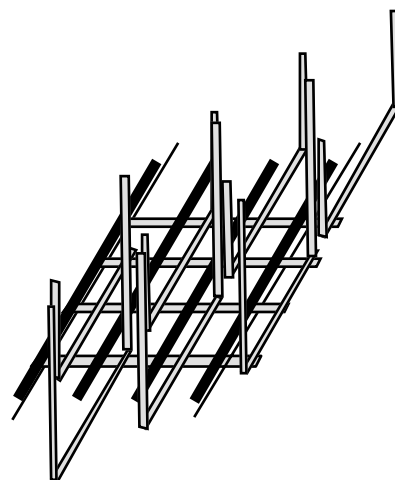


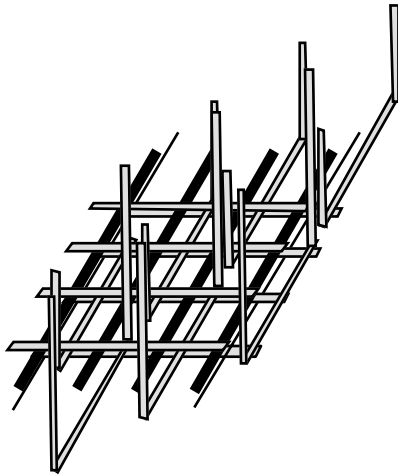
Figuur 11 - Dwarskracht haarspelden verspringend plaatsen

De onderste helft van de haarspeldbeugels kan nu worden aangevoerd en versprongen worden uitgelopen.

Na het op z'n plaats zetten van iedere haarspeld, wordt deze haarspeld direct met bindingen vastgezet. Plaatsen en vastzetten volgt rij na rij.

Figuur 12 - Haarspeldbeugels vastgezet op eerste laag hoofdwapening



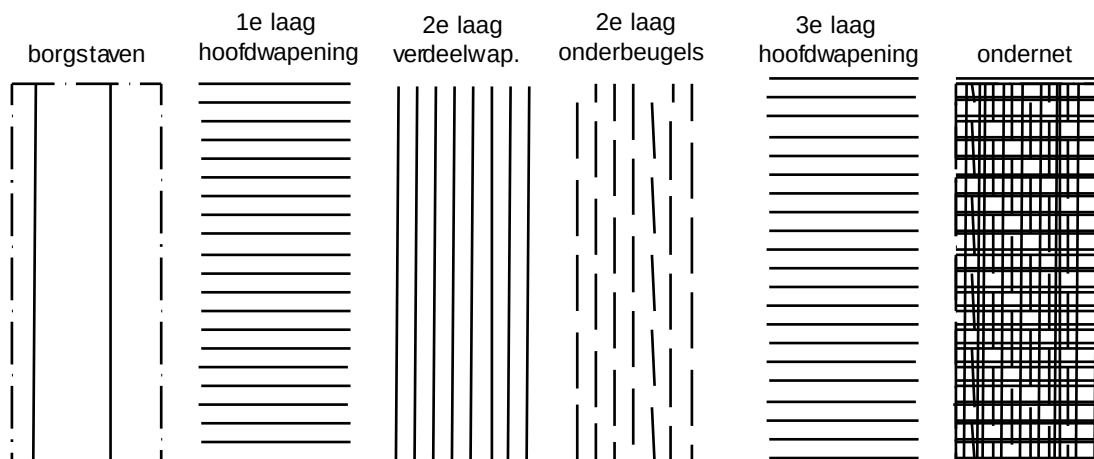


Figuur 13 - Tweede laag hoofdwapening tussen de haarspeldbeugels

De tweede laag hoofdwapening moet tussen de haarspeldbeugels komen. Het veld met verspringende haarspelden laat uitlopen nauwelijks toe, de vlechter kan alleen diagonaalsgewijs tussen de haarspeldbeugels door. Dit uitlopen is nagenoeg een onmogelijke opgave voor de vlechters. Na het uitlopen van de tweede laag hoofdwapening wordt deze hoofdwapening in de hoeken van de beugels met bindingen vastgezet.



Figuur 14 - Geen verspringende haarspelden. Dit veld is wel goed toegankelijk voor vlechters.



Figuur 15 - De opbouw van het ondernet met verspringende haarspeldbeugels

De verschillende stadia van het tot stand komen van het ondernet die beschreven zijn in de figuren 9 t/m 13 zijn herhaald in figuur 15. In figuur 15 is beter te zien dat de tweede laag hoofdwapening door het verspringend plaatsen van de haarspeldbeugels moeilijk uitloopwerk vraagt van de vlechters.

De bovenwapening begint met het plaatsen van de supportrekken of melanspanten. De rekken komen haaks op de tweede laag hoofdwapening van het ondernet te staan. Met een bouwkraan wordt supportrek voor supportrek geplaatst. Ieder rek of spant wordt zonodig met een schoorstaaf overeind gehouden. Bij dit werk staan de vlechters nog steeds op het moeilijk toegankelijke ondernet.

De plaats van de staven van de hoofdwapening van het bovennet wordt met krijt aangegeven op de supportrekken, waarna de kraan de hoofdwapening op de supportrekken kan laten zakken en de vlechters, nog steeds staande op het ondernet, de staven uitlopen en vastzetten.

Na het maatvoeren van de verdeelwapening kan de vlechter de door de kraan aangevoerde verdeelwapening, nu lopend over het bovennet, uitlopen en vast zetten.

De vele bovenhaarspelden van de dwarskrachtwapening moeten recht boven de onderhaarspelden worden geplaatst. Ze dienen op dezelfde wijze als in het ondernet, de hoofdwapening in de hoeken van de haarspeldbeugel te omsluiten. Het met binddraad vastzetten van de bovenhaarspelden is weliswaar arbeidsintensief, maar het behoort tot de gebruikelijke werkzaamheden van de vlechters.

De verankeringslas tussen onder- en bovenhaarspeld geeft meer hoofdbrekens voor de vlechters. De verankeringslas kan worden uitgevoerd als een:

- elektrische las
- overlappingslas.

Zoals de verankeringslas in figuur 7 is getekend, is hij te kort om te functioneren als overlappingslas. Om de trekbelasting in de ene haarspeld goed over te brengen naar de andere haarspeld zullen de twee constructieve lassen met een elektrode elektrisch moeten worden gelast. Dat kan niet vanaf het bovennet. De vlechter zal dit moeten doen tussen onder- en bovennet. Door de kleine beugelafstanden is het gebied van de

dwarskrachtwapening echter ontoegankelijk voor het menselijk lichaam. Elektrisch lassen is dus onuitvoerbaar.

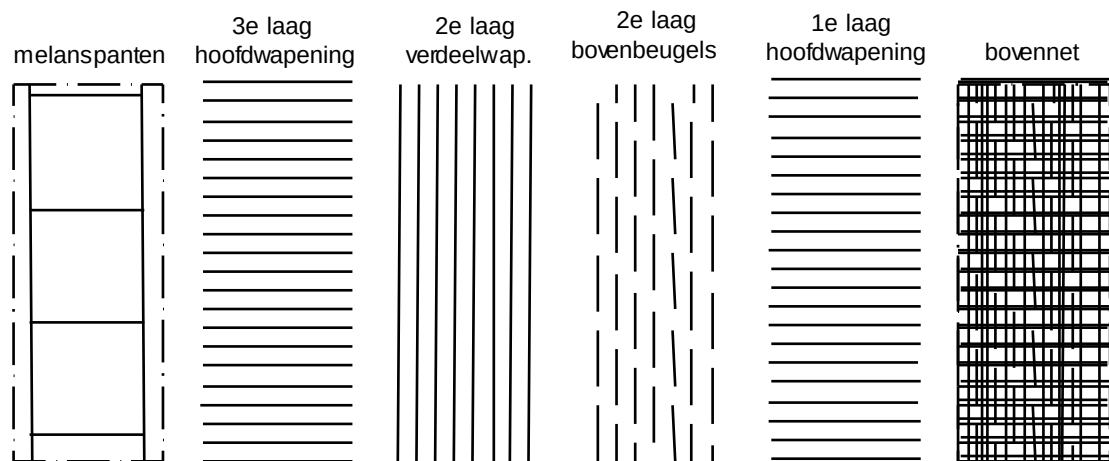
Gekozen kan worden voor een normale overlappingslengte. Ook dan is het echter noodzakelijk dat de vlechter boven- en onderbeugel verbindt door middel van een binding. En dat levert dezelfde bezwaren op als het elektrisch lassen. Binden van versprongen haarspelden is ook onuitvoerbaar.

De vlechtbranche heeft voor dit probleem in de afgelopen jaren enkele oplossingen bedacht. Eén van de oplossingen is het lassen van twee kleine beugeltjes aan de onderhaarspeld zie figuur 16. De twee beugeltjes moeten op ongelijke hoogte aan de haarspeld zijn gelast. Staande op het bovennet is het voor de vlechter goed mogelijk om de bovenhaarspeld in de kleine beugeltjes te steken. Hiermee is het probleem van lassen of binden van de twee haarspelden opgelost.



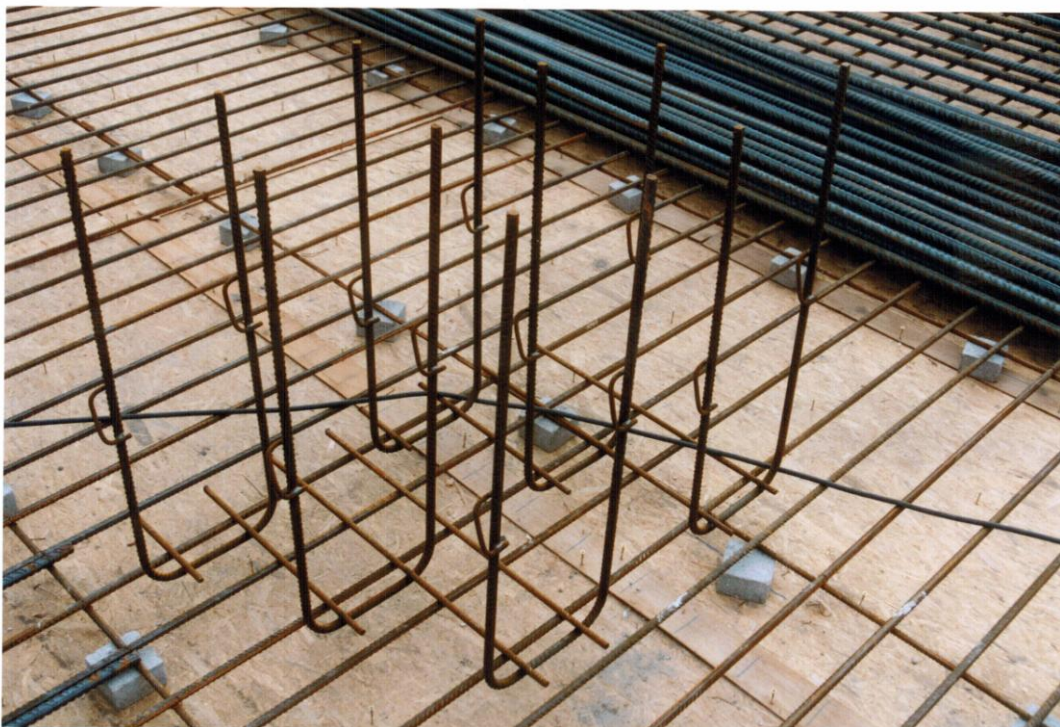
Figuur 16 - Extra (in hoogte verspringende) beugeltjes om de overlappingslas goed te laten aansluiten

Is een tweede laag hoofdwapening vereist dan kan deze worden aangevoerd, uitgelopen en vastgezet over de verdeelwapening en de haarspeldbeugels.



Figuur 17 - De opbouw van het bovennet met verspringende haarspeldbeugels

Bij één laag hoofdwapening in onder- en bovennet vervallen de twee buitenste lagen hoofdwapening. De verdeelwapening en de onderhaarspelden komen direct op de borgstaven.

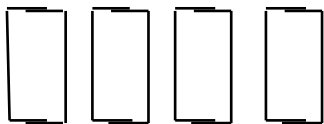


Figuur 18 - Verspringende beugels op borgstaven. De prefabricage stelt niet veel voor.

Conclusie: verspringende haarspeldbeugels op onderling kleine afstanden is constructief één van de betere oplossingen. De in eerste instantie onuitvoerbare constructie is in de afgelopen jaren door de vlechters uitvoerbaar gemaakt. De oplossing is binnen de cyclustijd nogal arbeidsintensief. Hoge vlechtkosten en een langere cyclusduur van een tunnelmoot zijn de gevolgen.

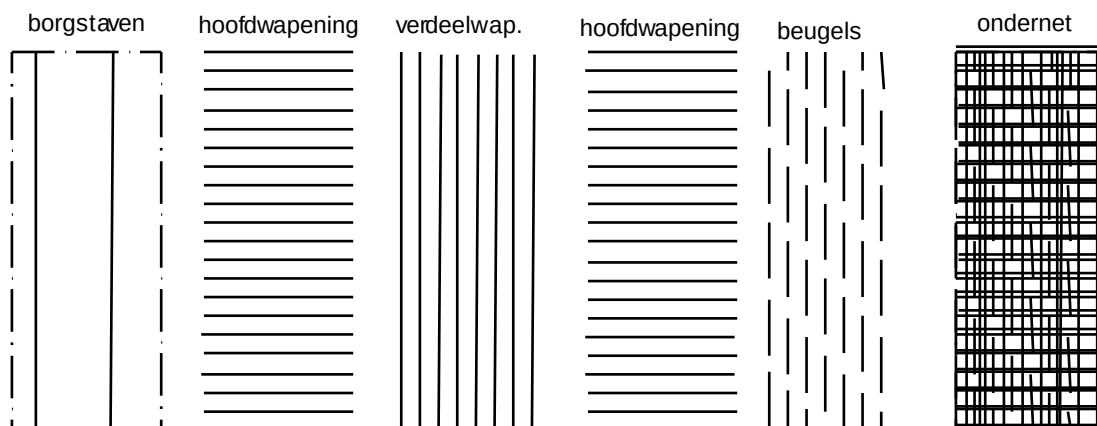
2.4.3. Haarspelden met lassen horizontaal

Dwarskrachtbeugels kunnen ook gevormd worden door twee haarspelden met horizontale verankeringslassen (zie figuur 19).



Figuur 19 - Beugels samengesteld uit twee haarspelden

Wanneer wij van dezelfde constructeurswensen uitgaan, zoals die zijn beschreven in de vorige paragraaf, kan het ondernet nagenoeg op dezelfde wijze worden opgebouwd. Na de stelblokjes volgen de borgstaven. Bij twee lagen hoofdwapening komt de eerste laag daarvan op de borgstaven. Op de staven van de hoofdwapening volgen de verdeelstaven die vastgezet worden op de eerste laag hoofdwapening. De tweede laag hoofdwapening kan uitgelopen worden, waarna de losse haarspelden onder de tweede laag hoofdwapening kunnen worden geschoven. De overlappingslassen van de beugels zijn te kort om voor voldoende laslengte te kunnen zorgen, beugel voor beugel zal tijdens het plaatsen direct met een elektrode moeten worden vastgelast. Ten opzichte van de onderhaarspelden uit de vorige paragraaf moeten hier twee keer zo veel haarspelden op het ondernet worden gelast. Dit is zeer arbeidsintensief.



Figuur 20 - De opbouw van het ondernet met verspringende haarspeldbeugels

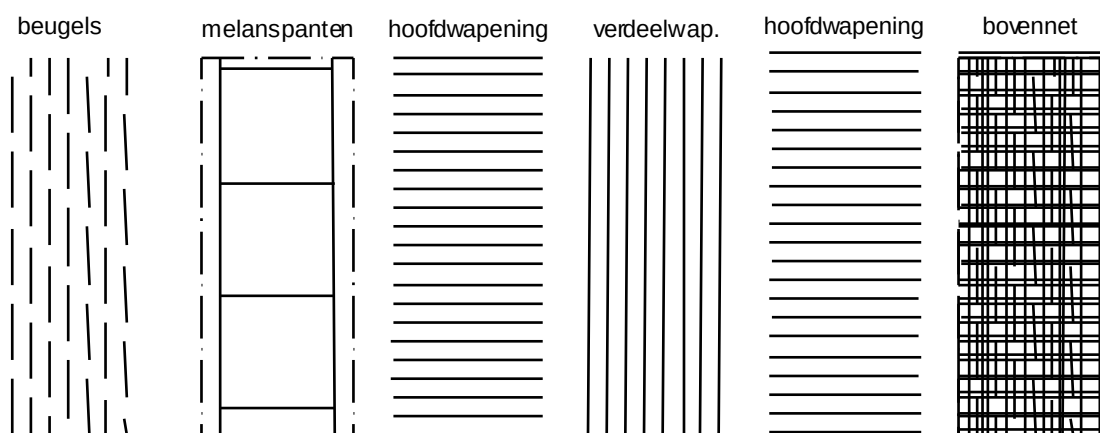
De opbouw van het bovennet begint met het plaatsen van de supportrekken. De kraan voert de supportrekken stuk voor stuk aan. De vlechters zullen moeten proberen deze rekken tussen de haarspeldbeugels te plaatsen. In principe staan de vlechters op het ondernet, maar vooral bij grote velden dwarskrachtbeugels zal dit ondoenlijk zijn. Er zal dan niets anders opzitten, dan dat de vlechters tijdelijke vlonders plaatsen bovenop de haarspeldbeugels. Nadat op de één of andere wijze de supportrekken tegen omvallen geborgd zijn, kan de kraan een eerste laag hoofdwapeningsstaven aanvoeren. Het plaatsen door middel van inschuiven zal in veel gevallen niet gaan, in verband met de beperkte ruimte. Toch zullen deze staven binnen de haarspeldbeugels moeten worden geplaatst. Beugel voor beugel zal dan ook uit elkaar moeten worden gebogen om de hoofdwapeningsstaaf te laten zakken op het supportrek. Door het versprongen staan van de haarspeldbeugels is dit voor de vlechters een zware klus.

Als de eerste laag hoofdwapening van het bovennet ligt, kan de verankeringslas van iedere haarspeldbeugel met een elektrode worden dichtgelast. Bindingen zullen voor

deze laag nauwelijks meer nodig zijn. De laag verdeelwapening komt tussen de beugels. De tweede laag hoofdwapening maakt het bovennet compleet.

Bij één laag hoofdwapening in onder- en bovennet vervallen de twee buitenste lagen hoofdwapening. De verdeelwapening komt direct op de borgstaven.

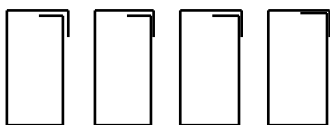
Conclusie: dwarskrachtbeugels met lassen horizontaal die door de vlechters verspringend zijn aangebracht, is constructief één van de betere oplossingen. De vlechters hebben binnen de cyclustijd met deze oplossing meer moeite dan de oplossing met de lassen verticaal. Het gevolg hiervan is: belangrijk hogere vlechtkosten voor de opdrachtgever en verlenging van de cyclusduur van de tunnelmolen.



Figuur 21 - De opbouw van het bovennet met verspringende haarspeldbeugels

2.4.4. Wapenen op dwarskracht met beugels

De gesloten beugel is natuurlijk de meest voor de hand liggende vorm als een constructeur moet kiezen bij het wapenen op dwarskracht.



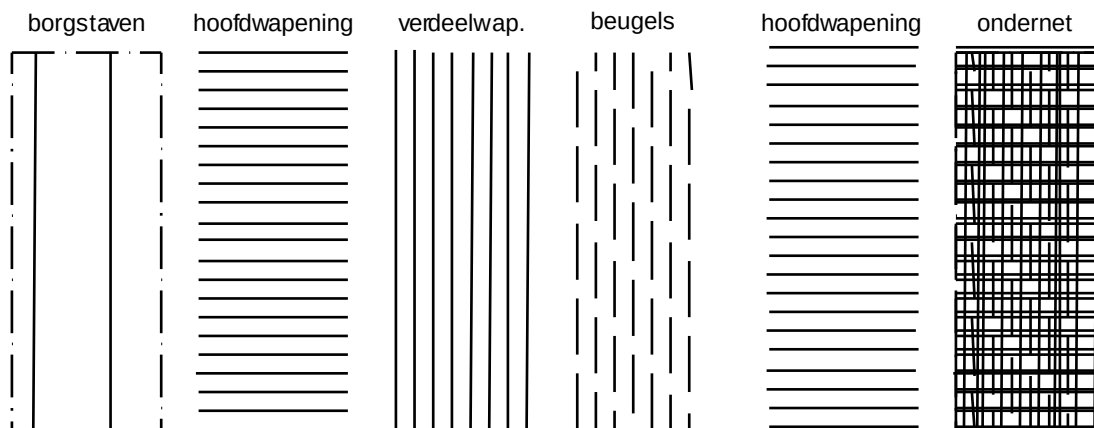
Figuur 22 - Beugels

Met beugels zijn eenvoudig prefab balkkorven te maken om het wapeningsproces te versnellen. Wanneer de constructeur echter vraagt om deze beugels verspringend te plaatsen dan is er van prefabricage geen sprake.

Een nieuw ondernet vangt aan met het maatvoeren van de borgstaven. Na het plaatsen van de stelblokken en deze borgstaven kan de onderlinge afstand van de eerste laag hoofdwapening worden afgetekend. Al of niet via rolwapening kan de eerste laag hoofdwapening en verdeelwapening over elkaar heen worden uitgelegd. De daarna aangevoerde beugels verspringend plaatsen en overeind vastzetten, is voor de vlechters nog goed te doen. De problemen ontstaan bij het plaatsen van de tweede laag hoofdwapening. Bij gesloten beugels die verspringend staan geplaatst, zal staaf voor staaf vanuit de zijkant ingevoerd moeten worden. Dit is door de lengte van de hoofdwapeningsstaven en de grote diameters nagenoeg een onmogelijke opdracht. Het tijdelijk weglaten van één van de langszijdschotten van het vloerveld kan het werk

van de vlechters enigszins verlichten. Als de staven op zijn plaats liggen, zal bindwerk nauwelijks meer nodig zijn.

Wanneer slechts één laag hoofdwapening nodig is, vervalt de eerste laag hoofdwapening, verdeelwapening en beugels komen dan in de eerste laag en de hoofdwapening in de tweede laag.



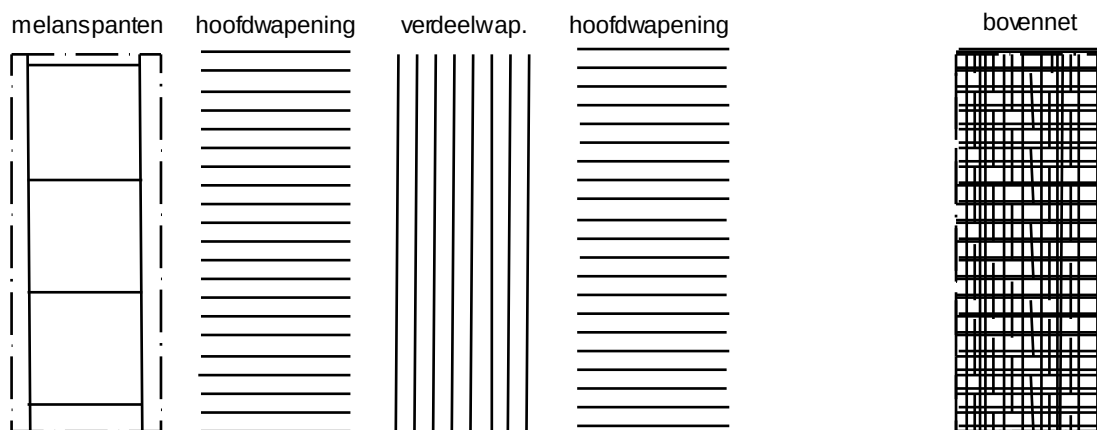
Figuur 23 - De opbouw van het ondernet met verspringende beugels

Het wapenen van het bovennet vangt aan met het plaatsen van prefab in elkaar gelaste supportrekken. De supportrekken worden tussen de overeind staande beugels geplaatst. Na het borgen van de supportrekken tegen omvallen komt de eerste laag hoofdwapening aan de beurt. Deze staven komen op de supportrekken en gaan onder de beugels door. Dus van opzij inschuiven en vanaf tijdelijke loopvlonders staaf voor staaf sturen door de vele beugels. Het binden van deze wapening zal nauwelijks meer nodig zijn.

Het plaatsen van de verdeelwapening en de laatste laag hoofdwapening zal voor de vlechters verder weinig problemen meer opleveren.

Wanneer zowel bij het ondernet als bovennet de tweede laag hoofdwapening niet volledig is, kan de aangegeven oplossing zo niet worden uitgevoerd. Bij een niet volledige tweede laag hoofdwapening zijn er dwarskrachtbeugels te vinden waar tussen geen hoofdwapeningsstaven liggen. Dit is constructief niet verantwoord. Men zal dan moeten overgaan om de dwarskrachtwapening te plaatsen om alle hoofdwapeningsstaven heen. Ook zal er aan de twee buitenzijden van het net een extra laag verdeelwapening nodig zijn. De consequenties van een niet volledig tweede hoofdwapeningsnet gelden ook voor de twee vorige en twee volgende varianten met dwarskrachtbeugels/-staven.

Conclusie: schuine trekspanningen opvangen door middel van verspringende gesloten beugels is constructief ook één van de betere oplossingen. Arbeidstechnisch en ARBO- technisch is de methode met beugels nauwelijks verantwoord. Bij een niet volledig aanwezige tweede laag hoofdwapening worden de bezwaren belangrijk uitgebreid. Deze methode verdient het om te worden verboden.



Figuur 24 - De opbouw van het bovennet met verspringende beugels

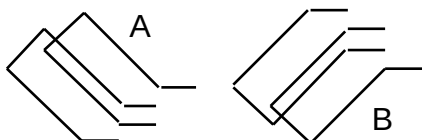
Door de Rijkswaterstaat Directie Sluizen en Stuwen is in 1979 voor een bepaalde betondoorsnede en belasting uitgerekend hoeveel kg betonstaal er voor de verschillende situaties aan dwarskrachtwapening nodig is. Wanneer de variant met de beugels zoals deze beschreven is in deze paragraaf op 100% wordt gesteld, dan vergen de twee varianten met haarspelden uit de vorige paragrafen 112 á 118% wapening. 112% wanneer haarspeldbeugel wapening Ø 12 wordt gebruikt en 118% wanneer haarspeldbeugel wapening Ø 16 wordt gebruikt.

De twee volgende varianten met schuine haarspelden en schuine staven vergen slechts 80 á 84 gewichtsprocenten dwarskrachtwapening.

Wapenen met de minste kilogrammen dwarskrachtwapening is aantrekkelijk in landen met lage lonen. In landen met hoge uurloonkosten, zoals in Nederland, is het meestal voordeliger te kiezen voor een arbeidsarme uitvoering ten koste van soms wat extra staal.

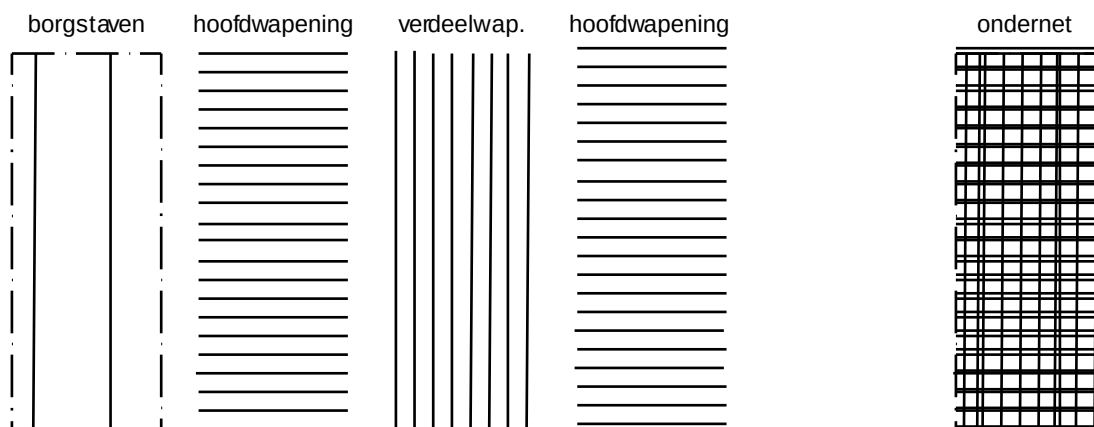
2.4.5. Wapenen op dwarskracht met schuine haarspelden

Met schuine haarspelden kan de constructeur effectief op dwarskracht wapenen. Wel moeten de schuine haarspelden aan dezelfde eisen voldoen als de rechtopstaande haarspelden of beugels. De haarspelden of beugels moeten voldoende verankerd zijn.



Figuur 25 - Schuine haarspelden

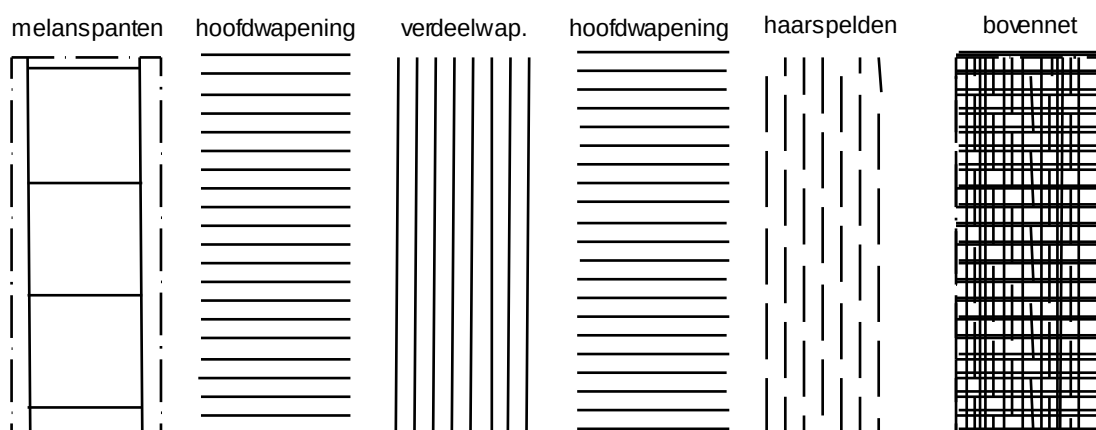
De schuine haarspelden dienen de staven van de hoofdwapening aan de trekzijde in het veld goed te omvatten. Daar de trekzijde van de tunnelvloer en het tunneldek wisselt, zal er ook verschillend gewapend moeten worden. Het wapenen van de tunnelvloer is het eenvoudigst. Het ondernet met een enkele of dubbele laag hoofdwapening kan op de gebruikelijke wijze worden opgebouwd, zonder dat er rekening hoeft te worden gehouden met de schuine haarspelden.



Figuur 26 - De opbouw van het ondernet van de tunnelvloer zonder schuine haarspelden

Het bovennet op de supportrekken of melanspanten met een enkele of dubbele laag hoofdwapening geeft bij het toepassen van schuine haarspelden voor de vlechter geen problemen. De schuine haarspelden worden pas op het laatste moment aan het bovennet toegevoegd. Haarspeld voor haarspeld wordt verspringend om drie staven hoofdwapening naar beneden gestoken. Een collega vlechter zal gezeten tussen onder- en bovennet de haarspelden direct moeten vastzetten op de verdeelwapening van het ondernet. De vlechter op het bovennet zal met het insteken van de volgende haarspeld moeten wachten totdat zijn collega klaar is met het vastzetten van de haarspeld op het ondernet. Het horizontale gedeelte van de schuine haarspeld op het ondernet dient voldoende verankeringlengte te bezitten.

Conclusie: dwarskrachtwapening voor tunnelvloeren doormiddel van schuine haarspelden is constructief een uitstekende oplossing. Vlecht-technisch en ARBO-technisch is deze oplossing door de ontoegankelijkheid en kleine werkhoogte minder ideaal en wordt daarom in de praktijk nauwelijks toegepast.



Figuur 27 - De opbouw van het bovennet met verspringende schuine haarspelden

Schuine haarspelden toegepast in het tunneldek vergt een geheel andere volgorde. Na het uitlopen van de bindstaven op de stelblokken volgt bij toepassing van twee lagen hoofdwapening eerst één laag hoofdwapening. Aan de verdeelwapening op de eerste laag hoofdwapening kunnen de verspringende schuine haarspelden worden bevestigd, deze kunnen plat blijven liggen waarna de tweede laag hoofdwapening over de schuine haarspelden kan worden uitgelopen en vastgezet. Hierbij is het wel noodzakelijk dat de tweede laag hoofdwapening alle schuine haarspelden afdekt. Bij

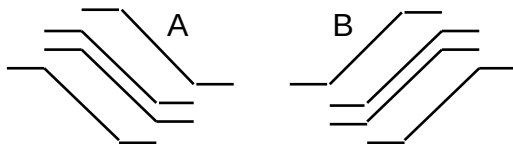
een niet volledige tweede laag hoofdwapening is het noodzakelijk dat de schuine haarspelden onder de eerste laag hoofdwapening moeten worden geplaatst, maar dit leidt tot een nagenoeg onmogelijke vlecht opgave.

Het wapenen van het bovennet begint met het plaatsen van de supportrekken of melanspanen. Door de versprongen liggende schuine haarspelden is dit verre van eenvoudig. Men zal een groot aantal schuine haarspelden moeten omslaan om ruimte te maken voor het er tussen plaatsen van de supportrekken. Is het terugslaan misschien nog mogelijk, het weer terugdraaien van de schuine haarspelden zal voor een aantal haarspelden niet lukken.

Conclusie: schuine haarspelden als dwarskrachtwapening toepassen in een tunneldek leid tot een onuitvoerbare wapeningsconstructie.

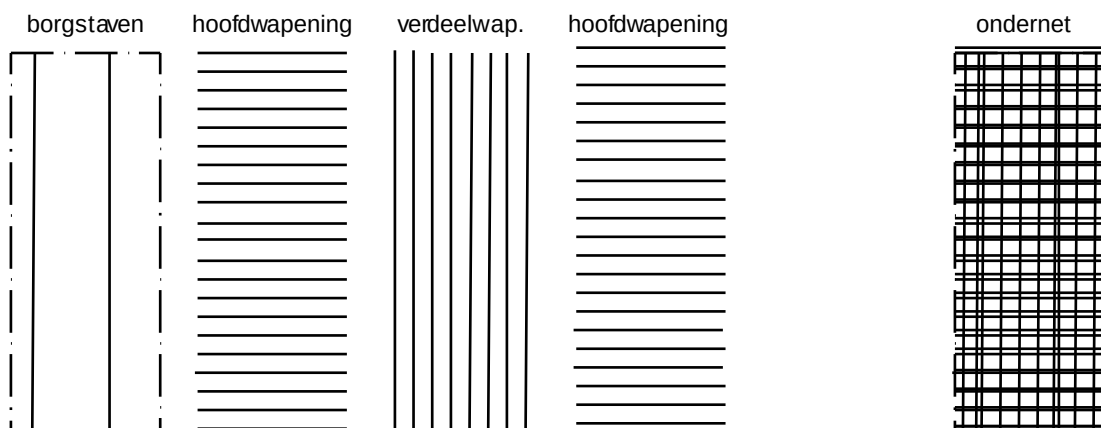
2.4.6. Wapenen op dwarskracht met schuine staven

Een tunnelvloer of tunneldek wapenen op dwarskracht kan ook met verspringende schuine staven die onder en boven met voldoende laslengte zijn ontworpen.



Figuur 28 - Schuine staven als dwarskrachtwapening

Het wapenen van het ondernet met één of twee lagen hoofdwapening kan op de gebruikelijke wijze worden uitgevoerd, er hoeft daarbij geen rekening te worden gehouden met de schuine staven voor de dwarskrachtwapening.



Figuur 29 - De opbouw van het ondernet bij toepassing van schuine staven als dwarskrachtwapening

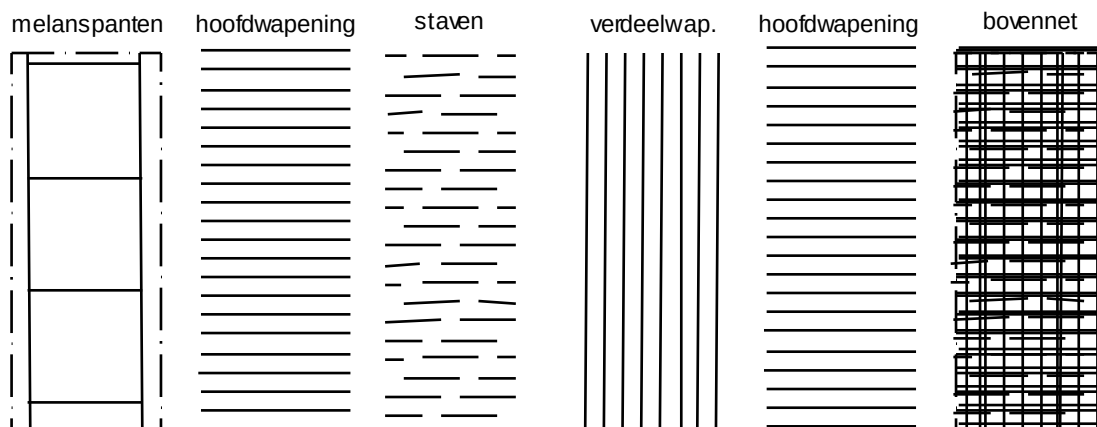
Het bovennet vangt aan met plaatsen van de supportrekken waarover de eerste laag hoofdwapening wordt geplaatst. Er is nu volop ruimte om de schuine staven langs de hoofdwapening te laten zakken tot op het ondernet. Iedere staaf dient direct vastgezet te worden aan de hoofdwapening van het bovennet. Een vlechter die tussen beide netten staat, moet iedere staaf vastzetten op de verdeelwapening van het ondernet. Het is dus teamwerk voor twee personen. Als alle schuine staven zijn geplaatst, volgt de verdeelwapening en de tweede laag hoofdwapening.

Bij het toepassen van schuine staven voor dwarskrachtwapening is er uitvoeringstechnisch in principe geen verschil van moeilijkheidsgraad tussen het aanbrengen van de wapening voor de tunnelvloer of het tunneldek.

Wanneer boven- en ondernet worden uitgevoerd met één laag hoofdwapening vervallen de twee buitenste lagen hoofdwapening. De verdere opbouw van onder- en bovennet kan worden uitgevoerd zoals beschreven.

Een niet volledige tweede laag hoofdwapening maakt de constructie nagenoeg onuitvoerbaar wanneer daarbij wordt geëist, dat de laslengte van de schuine staven langs de hoofdwapening van de buitenste lagen moet worden gebonden. Er is dan onvoldoende ruimte om de schuine staven door de laag verdeelwapening van het ondernet te steken.

Conclusie: wanneer de constructeur dwarskrachtwapening wil toepassen die verspringend is geplaatst, is de variant met schuine staven arbeidstechnisch en ARBO-technisch te verkiezen boven de andere varianten met verspringende beugels of haarspelden. Constructief behoort de oplossing met schuine staven tot één van de beste oplossingen. Er wordt echter niet voldaan aan de eis dat drie staven hoofdwapening omvat moeten zijn.



Figuur 30 - De opbouw van het bovennet met verspringende schuine staven

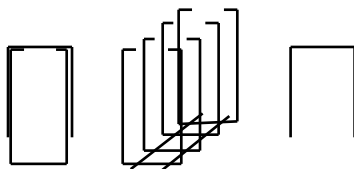
Naast de wapening moet er in elke betonconstructie meer ingestort worden, meestal samengevat onder de term 'in te storten voorzieningen'. Een constructeur houdt er, zeker in de B- en U-bouw, meestal geen rekening mee. Hij hoeft er ook geen rekening mee te houden, omdat het aan de werkvoorbereiders en uitvoerders met hun installateurs is om dit verantwoord te doen.

In afgezonken tunnels bestaan de voorzieningen uit onderstroomleidingen, voorspankabels, vizzels, staalprofielen als steunen voor de kopschotten en in het tunneldek mechanische voorzieningen voor de ventilatie, elektrotechnische leidingen, bolderverankeringen, rioleringsbuizen enzovoorts. Deze voorzieningen zijn belangrijk zwaarder en verdienen wel degelijk de aandacht van de constructeur.

In de paragrafen 2.4.2 tot en met 2.4.6 staan de dwarskrachtstaven steeds een hoofdwapeningsstaaf verschoven. Hierdoor ontstaat een woud van rechtopstaande staven die geen ruimte laten aan 'in te storten voorzieningen' en de mensen die deze voorzieningen moeten aanbrengen. In de praktijk komt men één van deze dwarskrachtoplossingen dan ook niet tegen.

2.4.7. Wapenen op dwarskracht met prefab haarspelden

Constructeurs en vlechters hebben gezamenlijk gezocht naar beter uitvoerbare dwarskrachtwapeningsconstructies. Eén van de gevonden oplossingen is het wapenen met niet versprongen dwarskrachtbeugels en prefab korven van de onderhaarspelden. Constructief is dit echter helaas een veel minder goede oplossing!



Figuur 31 - Korven van haarspelden

De haarspeldbreedte blijft tussen de 390 en 480 mm zodat bij een hart op hart afstand van 150 mm er drie hoofdwapeningsstaven binnen de haarspeldbeugels kunnen worden geplaatst. Door voor de haarspelden staafdiktes van 16, 20 of 25 mm te gebruiken, kan de onderlinge afstand tussen de haarspelden groter worden. Om laswerk tussen de wapeningsnetten te voorkomen zal het al snel nodig zijn, dat de onderhaarspelden verlengd worden met een omgezet horizontaal gedeelte. De losse onderbeugels worden met twee hulpstaven in vlechtcentrales tot korven gelast. In elkaar gestapeld laten de korven zich efficiënt naar de bouwplaats transporteren.

Na het maatvoeren, uitlopen en plaatsen van de stelblokken en borgstaven kunnen de verdeelwapeningsstaven worden afgetekend en uitgelopen voor het ondernet. Dan volgt het aftekenen van de hoofdwapening en het aanvoeren met de kraan van de hoofdwapening. Voor het uitlopen en neerleggen van de hoofdwapening is er alle ruimte, er staat niets in de weg. De staven $\varnothing 32$ of $\varnothing 40$ hoeven niet hoger dan het bovenbeen te worden opgetild.



Figuur 32 - De eerste helft van de hoofdwapening en de prefab korven zijn geplaatst

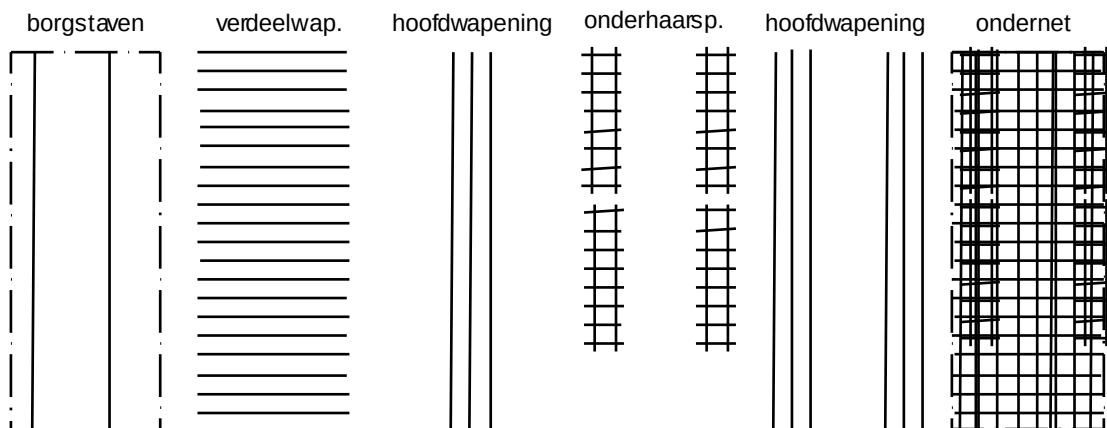
Nadat drie of vier staven zijn uitgelopen, worden er drie staven overgeslagen waarna de volgende drie á vier staven kunnen worden neergelegd en vastgezet. Na het

uitlopen van de helft van de hoofdwapening volgen de dwarskrachtkorven. Deze worden in de open gaten tussen de hoofdwapeningsstaven geplaatst. Staan alle korven en deelkorven, dan kan de tweede helft van de hoofdwapening van het ondernet worden aangevoerd. Het uitlopen daarvan valt niet mee. Staaf voor staaf moet tot schouderhoogte worden opgetild, uitgelopen en neergelegd binnen de haarspeldkorven. Vlechters die dit een aantal uren hebben uitgevoerd hoeven 's-avonds niet meer naar bodybuilding. Na het in de hoeken van de haarspelden vastzetten van de hoofdwapening, is het ondernet gereed.



Figuur 33 - Vlechters tillen tot schouderhoogte de zware staven hoofdwapening op

Zijn er twee lagen hoofdwapening nodig, dan wordt deze hoofdwapening als eerste uitgelegd op de borgstaven.



Figuur 34 - De opbouw van het ondernet met haarspeldkorven

Het wapenen met het bovennet begint met het plaatsen van de supportrekken. Op de gewenste afstanden worden de rekken tussen de onderhaarspelden geplaatst en met

dun betonstaal tegen omvallen gezekeerd. Een laag hoofdwapening en een laag verdeelwapening kan achtereenvolgens worden gemaatvoerd, aangevoerd, uitgelopen en vastgezet.

De bovenhaarspelden maken de dwarskrachtwapening compleet. De haarspelden moeten nauwkeurig over de hoofdwapeningsstaven omlaag worden gestoken, zodanig dat onder- en bovenhaarspeld een goede overlappingslas met elkaar vormen.



Figuur 35 - Zo hoort het niet. Boven- en onderhaarspeld hebben met elkaar geen laslengte. Dit kan gebeuren wanneer de kleine beugeltjes op gelijke hoogte aan de twee eind van de haarspeld zijn gelast.

Om dit te borgen tijdens het storten, moeten de overlappingslassen gebonden of gelast worden. Met de nodige moeite kan een vlechter deze bindingen of lassen tussen onder- en bovennet maken. Tussen de rijen haarspelden is daar, voor de meeste vlechters, voldoende ruimte om er bij te komen.



Figuur 36 - Met een enkele las is een kokertje aan de haarspeld gelast

Het binden en lassen kan voorkomen worden door de onderbeugels te voorzien van twee extra beugeltjes of kokertjes op ongelijke hoogte aan de twee opstaande einden van de haarspeld. Dit bespaart het arbeidsintensieve binden of lassen tussen de wapeningsnetten. Bij (grote) ongelijke hoogte kan eerst het ene been van de haarspeld worden ingestoken en vervolgens het andere been. Tegelijk insteken bij beugeltjes of kokertjes op gelijke hoogte is niet eenvoudig. De ongelijke hoogte bevordert ook het netjes naast elkaar liggen van de benen.



Figuur 37 - De twee benen van de haarspelden liggen strak langs elkaar. Goede overbrenging van de dwarskracht is hiermee geborgd

Een eventuele tweede laag hoofdwapening volgt als laatste.

Conclusie: constructief is de oplossing met prefab haarspelden minder goed. Het niet versprongen staan van de dwarskrachtwapening geeft echter een aanmerkelijke verbetering van de uitvoerbaarheid van de wapeningsconstructie. Enige prefabricage is al mogelijk. Een belangrijke cyclustijdverkortung wordt ermee bereikt. Arbotechnisch is er het bezwaar van het schouderhoog tillen van de hoofdwapening die binnen de prefab korven moet worden aangebracht.



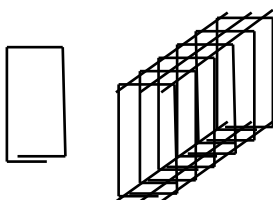
Figuur 38 - De opbouw van het bovennet met losse haarspelden



Figuur 39 - Zwaardere dwarskrachtwapening leidt tot lagere wapeningskosten en een betere uitvoerbaarheid voor de vlechters

2.4.8. Wapenen op dwarskracht met prefab korven

Om te komen tot een verkorting van de cyclustijd van tunnelmoten kan overgegaan worden op gedeeltelijke prefabricage van de wapening. Constructief is dit helaas een minder goede oplossing.



Figuur 40 - Prefab korven van dwarskrachtbeugels

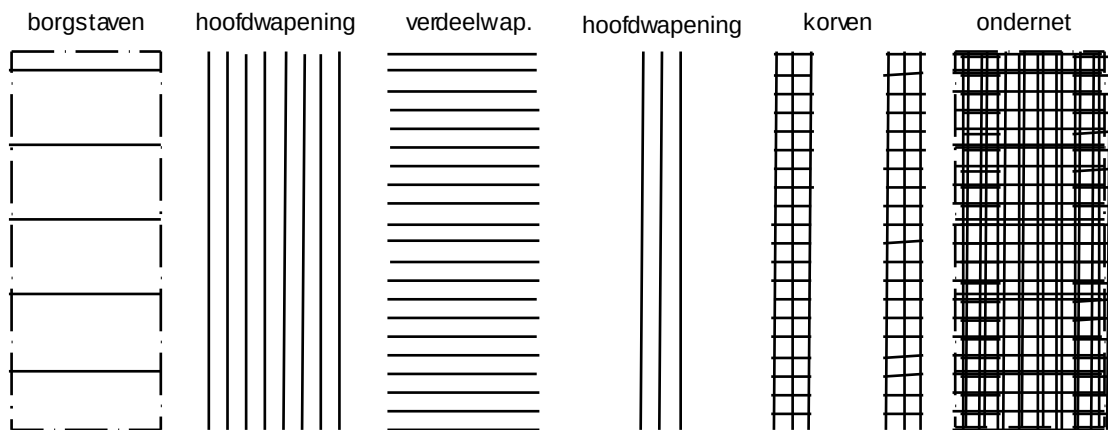


Figuur 41 - Prefab korven liggen klaar om in het werk te worden gehesen. Veel arbeid blijft hiermee buiten de cyclus.

In vlechtcentrales of op een speciaal ingerichte plek op de bouwplaats worden prefab korven gemaakt van bijvoorbeeld zes staven hoofdwapening en de vereiste dwarskrachtbeugels. Bij prefabricage op de bouwplaats wordt met het prefab vlechten de tijd opgevuld tussen cyclusbonden werkzaamheden op of aan de bekisting. Leeglooptijd wordt hiermee verminderd.

Bij prefabricage op de bouwplaats worden de meeste kruisingen gebonden. Bij prefabricage in een vlechtcentrale geeft men uit kostenoverwegingen de voorkeur aan hechtlassen. Met enkele hulpstaven als schrankstaven zijn de korven compleet en kunnen in voorraad worden opgeslagen. Bij kraantransport tijdens laden, lossen en in het werk brengen is een evenaar aan de tweesprong noodzakelijk.

Bij twee lagen hoofdwapening worden eerst op de gebruikelijk wijze de borgstaven, de eerste laag hoofdwapening en verdeelwapening aangevoerd en op zijn plaats gebracht. Na het binden volgt de helft van de tweede laag hoofdwapening. Namelijk de staven die tussen de korven op het ondernet komen. Als deze staven met binddraad zijn gefixeerd volgen de prefab korven die tussen de reeds aanwezige hoofdwapening worden geplaatst. Daarmee is het ondernet gereed.

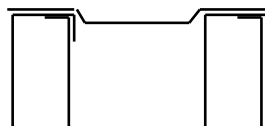


Figuur 42 - De opbouw van het ondernet met prefab korven



Figuur 43 - Prefab korven in een diepe bouwput. De vlechters halen hier hoge productiesnelheden.

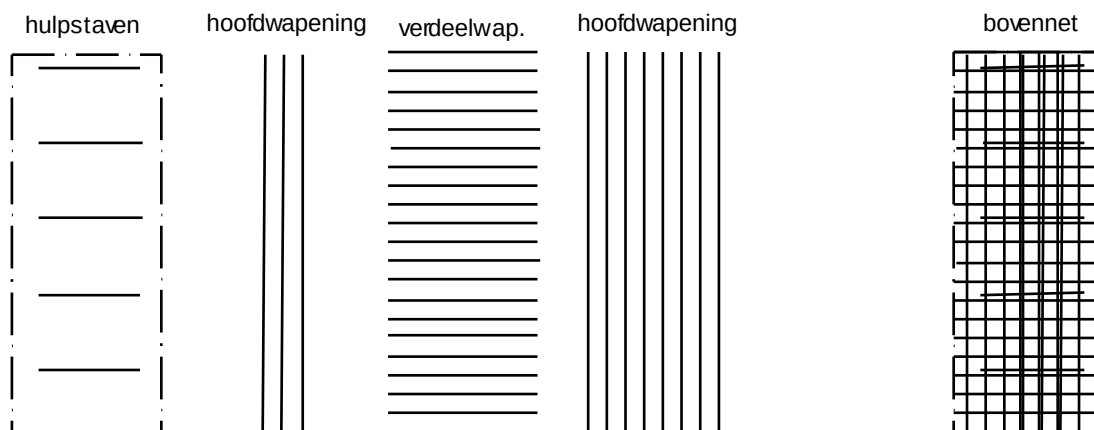
Voor het bovennet zijn in deze variant geen supportrekken of melanspanten nodig. Deze hulpwapening kan worden bespaard. Wel is een aantal hulpstaafjes nodig die de hoofdwapening van het bovennet dragen tussen de prefab balkkorven.



Figuur 44 - Hulpstaafje tussen de prefab korven

Na de hoofdwapening tussen de prefab korven volgt de verdeelwapening en indien noodzakelijk de tweede laag hoofdwapening. Na het binden van de verschillende lagen wapening is het bovennet compleet.

Conclusie: constructief de minste oplossing. Met behulp van prefab korven is echter een belangrijke verbetering doorgevoerd op arbotechnisch- en arbeidstechnisch gebied. Meer dan een dag aan cyclus gebonden werkzaamheden is met deze methode vervallen en vervangen door prefabricage in de centrale of op de bouwplaats. Mogelijke leeglooptijd van vlechters wordt hiermee opgevuld.



Figuur 45 - De opbouw van het bovennet bij toepassing van prefab korven

2.4.9. Waardering dwarskrachtoplossingen

In de paragrafen 2.4.2. tot en met 2.4.8 zijn zeven oplossingen gepresenteerd om betonconstructies op dwarskracht te wapenen. Uit de presentatie volgt geen beste oplossing op alle aspecten. Een constructief goede oplossing scoort laag op het vlak van veiligheid en gezondheid (het arbo-aspect).

Om de lezer te helpen bij het maken van een verantwoorde keuze, zijn de dwarskrachtoplossingen op een zestal aspecten naast elkaar gezet:

- Constructief
- Arbo
- In te storten voorzieningen
- Staalkosten
- Vlechtkosten
- Cyclusgebonden vlechttijd

Het arbo-aspect is vooral gebruikt in de zin van gezond uitvoeren op de lange duur – hoge leeftijd. Bij cyclus gebonden vlechttijd worden de oplossingen naast elkaar gezet op snelheid van uitvoeren. Met welke oplossing is de hoogste bouwsnelheid te realiseren. Er is geen relatie tussen de aspecten. Ieder aspect moet los van de andere aspecten worden gebruikt

Aan de waarderingen liggen geen berekeningen ten grondslag. Ze zijn het resultaat van een discussie tussen de leden van de studiecél.

Weinig o geeft aan: lage waardering. Veel o o o o o geeft aan: hoge waardering.

Aspect Constructief:

1. Haarspelden met lassen verticaal o o o

2. Haarspelden met lassen horizontaal	0 0 0
3. Beugels	0 0 0
4. Schuine haarspelden	0 0 0 0 0
5. Schuine staven	0 0 0 0
6. Prefab haarspelden	0 0
7. Prefab korven	0

Aspect Arbo:

1. Haarspelden met lassen verticaal	0
2. Haarspelden met lassen horizontaal	0
3. Beugels	0
4. Schuine haarspelden	0 0 0 1)
5. Schuine staven	0 0 0
6. Prefab haarspelden	0 0 0 0
7. Prefab korven	0 0 0 0 0

Aspect In te storten voorzieningen:

1. Haarspelden met lassen verticaal	0
2. Haarspelden met lassen horizontaal	0
3. Beugels	0
4. Schuine haarspelden	0
5. Schuine staven	0
6. Prefab haarspelden	0 0 0 0 0
7. Prefab korven	0 0 0 0 0

Aspect Staalkosten:

1. Haarspelden met lassen verticaal	0 0
2. Haarspelden met lassen horizontaal	0 0
3. Beugels	0 0 0
4. Schuine haarspelden	0 0 0 0 0
5. Schuine staven	0 0 0 0 0
6. Prefab haarspelden	0
7. Prefab korven	0

Aspect Vlechtkosten:

1. Haarspelden met lassen verticaal	0 0 0
2. Haarspelden met lassen horizontaal	0 0
3. Beugels	0
4. Schuine haarspelden	0 0 0 0 1)
5. Schuine staven	0 0 0
6. Prefab haarspelden	0 0 0 0
7. Prefab korven	0 0 0 0 0

Aspect Cyclusgebonden vlechtijd:

1. Haarspelden met lassen verticaal	0 0
2. Haarspelden met lassen horizontaal	0
3. Beugels	0
4. Schuine haarspelden	0 0 0 1)
5. Schuine staven	0 0
6. Prefab haarspelden	0 0 0 0
7. Prefab korven	0 0 0 0 0

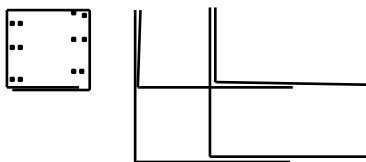
1) Dit geldt voor tunnelvloeren, in een tunneldek scoort deze oplossing belangrijk lager.

Conclusie: de 5 constructief beste oplossingen (1 tot en met 5) zijn soms niet uitvoerbaar, geven veel arbotechnische bezwaren en zijn voor in te storten voorzieningen, zeker in tunneldekken met zijn mechanische en elektrotechnische in te storten voorzieningen, een groot probleem. De voorkeur gaat uit naar de oplossingen 6 en 7 met prefab haarspelden of korven. De oplossing (7) met prefab korven leidt tot de kortste cyclustijden.

2.4.10. Dwarskrachtwapening in wanden

In wanden is het gewenst en gebruikelijk dat de hoofdwapening in de buitenste laag wordt geplaatst. De verdeelwapening volgt dan in de tweede laag. Bij toepassing van dwarskrachtwapening dient de plaats van hoofd- en verdeelwapening te worden omgedraaid.

Evenals bij vloeren is het bij wanden gewenst de dwarskrachtbeugels te plaatsen om drie verticale staven. Dit vereist de nodige aandacht bij de stekwapening uit de vloeren. Bij onvoldoende aandacht kan het zijn, dat er een onmogelijk patroon van stekwapening ontstaat.



Figuur 46 - Stekwapening voor wanden

Voor wanden verdient het aanbeveling om eenzelfde hart op hart afstand aan te houden van de hoofdwapeningsstaven in de vloeren en de wanden. Wanneer de voorwandstekken en achterwandstekken uit onder- en bovennet van de vloeren achter elkaar worden geplaatst, ontstaat er een overzichtelijk patroon van stekwapening (zie figuur 46). Twee van de vier stekken komen dan in de derde laag, zowel voor als achter. Wanneer de beugel in figuur 46 wordt beschouwd als een stelbeugel tijdens het vlechten van de stekken in de vloeren, ontstaat er voldoende ruimte voor het plaatsen van prefab korven van dwarskrachtbeugels met verticale wandwapening. Met de kraan zijn deze korven te plaatsen over de stekken van de vloeren. De wanden kunnen afgevlochten worden door het plaatsen en vastzetten van de horizontale staven en aanvullende verticale staven tussen de korven.



Figuur 47 - Korven aangevuld met losse verticale en horizontale staven.

Figuur 48 laat een oplossing zien met twee in elkaar geschoven prefab korven. Om voldoende laslengte te krijgen, zijn de haarspelden van de eerste korf een keer extra omgezet.



Figuur 48 - Twee korven met dwarskracht haarspelden in elkaar

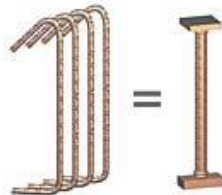
Waarschuwing: zowel in vloeren als wanden wordt door het toepassen van dwarskrachtwapening de wapeningsdichtheid vergroot. De toegankelijkheid van de wapeningsconstructie voor het toevoegen van koelbuizen respectievelijk het kunnen verdichten met trilnaalden, kan hierdoor voor de nodige problemen zorgen. Bij het tekenen van de wapening moet men aangeven hoe op de bouwplaats toch de buizen kunnen worden aangebracht en de specie overal kan worden verdicht. De constructeur/tekenaar mag dat niet afschuiven op de vlechter en de timmerman.

2.4.11. T-head staven

Op meer plaatsen in de wereld heeft men te maken met grote hoeveelheden dwarskrachtwapening in betonconstructies. Vooral de verankeringslengte van de dwarskrachtwapening zorgt voor veel problemen. De hoofdwapening dient ten alle tijde “omvat” te zijn. Een oplossing is de toepassing van T-head staven.



Figuur 49 - Chaos, niet te verdichten.

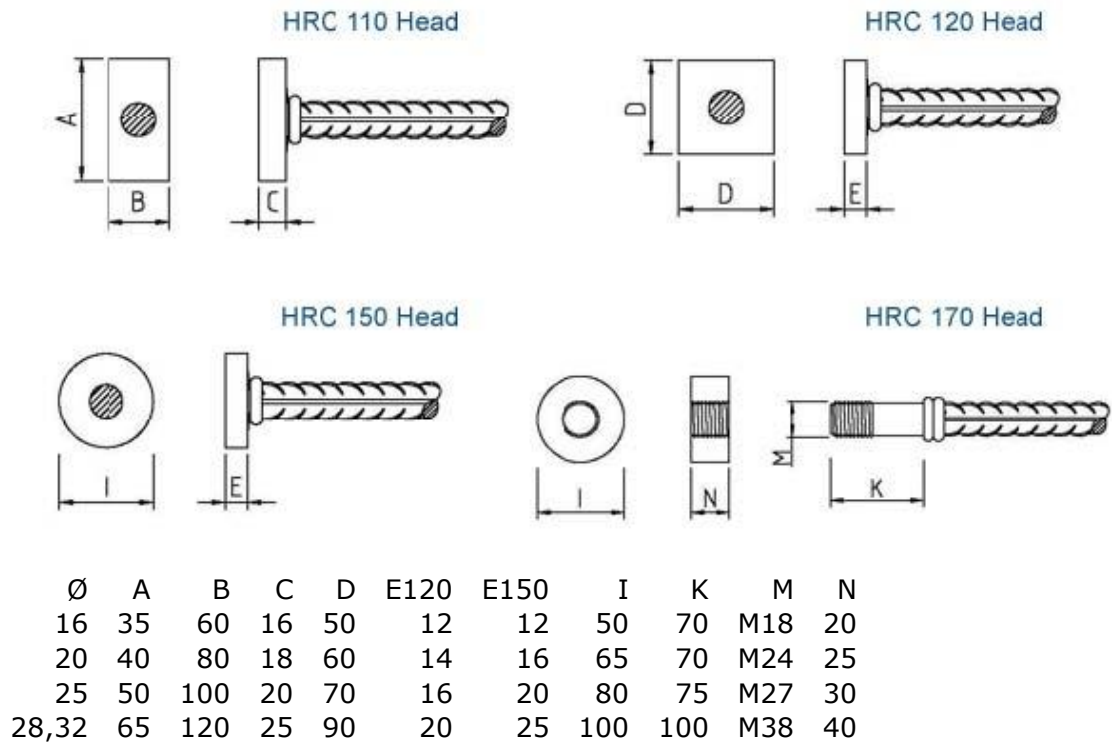


Figuur 50 - Een T-head staaf vervangt 4 staven



Figuur 51 - Orde, goed te verdichten

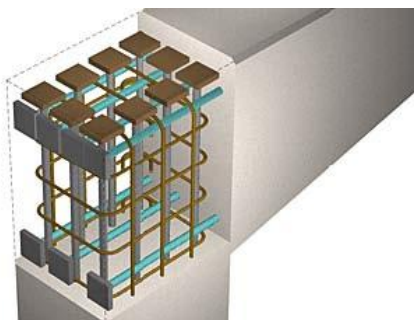
Aan de dwarskrachtwapening wordt daarbij door smeltlassen een vierkant, rechthoekig of rond verankeringsplaatje aangebracht.



Figuur 52 - Vorm en afmetingen van de verankeringsplaatjes

De T-head staven zijn in 1998 voor het eerst in Nederland toegepast in het Hoogradioactief Afval Behandelings- en OpslagGebouw (HABOG) in Borsele. In 2008 zijn de T-head staven in grote getale gebruikt bij de bouw van de MPU Heavy Lifter in het bouwdok van Verolme in de Botlek.

Figuur 53 - Door het plaatje snel rond te draaien tegen de vastgehouden staaf wordt in enkele seconden de smeltlas gemaakt



Figuur 54 - T-head staven in een kolom-balk verbinding

3. Wapeningsdichtheid

De wapeningsdichtheid in vloeren en dekken, maar ook in wanden voor afgezonken tunnels kan hoog zijn. Bij een concentratie van overlappinglassen en dwarskrachtbeugels ontstaan kleine maaswijdten. De maaswijdten zijn meestal nog wel voldoende voor het doorlaten van de grootste grindkorrels. De maaswijdten zijn echter te klein voor het doorlaten van de trilnaalden om de betonspecie te verdichten. Figuur 55 is gemaakt bij de bouw van de tweede Beneluxtunnel in het bouwdok.



Figuur 55 - Op vele plaatsten kan de trilnaal niet door het dichte wapeningsnet

Voor zware betonconstructies is vanuit de betontechnologie een betonspecie met een nominale grindkorrelgrootte van 32 mm gewenst. Een grove betonspecie heeft minder cementpasta nodig. Er kan dus met minder cement per m³ beton worden volstaan. Een laag cementgehalte geeft minder hydratatiewarmte en minder krimp, waardoor minder of geen scheurvorming optreedt. Om de hydratatiewarmte verder te beperken wordt een Hoogovencement toegepast.

Een constructeur dient er voor te zorgen dat de maaswijdten van voldoende grootte zijn, zodat zware betontrilnaalden er door heen kunnen en dat de betonspecie niet op het wapeningsnet blijft liggen. Het storten met de kubel is de laatste jaren bijna geheel vervangen door het storten met behulp van een betonpomp. Hierbij zijn hogere zetmaten in consistentieklasse S3 gebruikelijk.



Figuur 56 - De trilnaald kon er niet bij komen

De gedachte om ingeval van dichte wapening maar naar een fijner betonmengsel (kleinere korreldiameter) over te stappen is principieel fout. De stap wordt gedaan onder het mom van “anders komt er geen beton”. De uitvoering ziet zich geconfronteerd met het resultaat van de constructeur. Aan de wapening kan vlak voor het storten niets meer worden veranderd. Noodgedwongen wordt dan gekozen voor een uitvoering met een fijner beton dan helemaal geen beton.

Werkvoorbereiders van bouwbedrijven die tekeningen ontvangen met niet normaal te verdichten wapeningsconstructies zouden deze tekeningen terug moeten sturen naar het constructiebureau, met het verzoek de wapening in meer lagen en/of zwaardere diameters te ontwerpen.

Een kleinere grindkorreldiameter jaagt het cementgehalte omhoog. Bij een B35 beton met een nominale korrel van 32 mm is een cementgehalte van minimaal 310 kg cement per m³ haalbaar. Het cementgehalte stijgt naar meer dan 360 kg/m³ bij kleinere grindfracties. Vloeren en dekken in de tunnelbouw kunnen dikten hebben die variëren van 1,00 tot 1,40 m. De ontwikkeling van de hydratatiewarmte dient op kritieke punten te worden doorgerekend. Er kan dan blijken, dat koelen van de betonspecie bij toepassing van een kleinere nominale korrel alsnog nodig is. Koelen van betonspecie is duur. In de praktijk worden alleen aansluitingen van nieuwe op oude betononderdelen (wanden) gekoeld om de verhardingstemperatuur laag te houden ten opzichte van de oude beton. Hiervoor worden stalen koelbuizen in het midden van een wand ingestort, circa 60 cm hart op hart. Er wordt koelwater door de buizen gepompt met een temperatuur van circa 8 graden celcius met een stroomsnelheid van circa 0,5 m/sec.



Figuur 57 - Gelukkig komt dit zelden voor

Scheuren ten gevolge van hydratatiewarmte in een betonconstructie leiden tot onaangename gevolgen. Het lekwater in de tunnel kan in de winter water op het wegdek en ijsvorming tot gevolg hebben. De beheerder zal de weg dan moeten afsluiten.

Injecteren van de betonconstructie van tunnels is een specialiteit en vereist veel vakkennis. Om al deze problemen te voorkomen dient een constructeur uit te gaan van minimaal aan te houden maaswijdten. Voorkomen moet worden dat wapeningsproblemen op het laatste moment, buiten op de werkvloer, moeten worden opgelost. Het mag niet zo zijn, dat op de bouwplaats gekozen moet worden: wat voor beton er ingaat is niet belangrijk, als er maar beton komt.

De bouwbedrijven voor civiele werken, maar ook voor woningbouw en utiliteitsbouw, die de door constructeurs vormgegeven zware wapeningsconstructies moeten bouwen, zouden het ten eerste op prijs stellen als die constructeurs, voor betonspecies met een nominale korrelgrootte van 32 mm, een maaswijdte van minimaal 100 mm aanhouden. Met deze maaswijdte is de specie met normale trilnaalden te verdichten.

Als constructeurs toch een hoge wapeningsdichtheid eisen, zouden zij tevens, om grindnesten te voorkomen, op tekeningen of in bestekken stortkokers moeten voorschrijven.



Figuur 58 - Een wapeningsspiraal om de specie met normale trilnaalden te verdichten



Figuur 59 - Stortkokers (wapeningsstaal) tussen de wapening

Te kleine maaswijdten kunnen worden voorkomen door het kiezen van grotere diameters betonstaal, het wapenen in meer lagen of het bundelen van de staven.

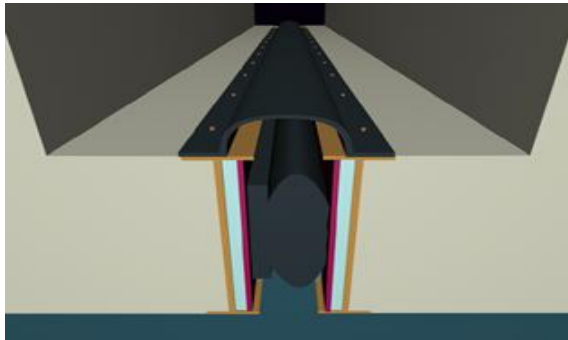
Het storten met een kleinere nominale korrel is dus geen juiste oplossing. Het storten met zelfverdichtende betonspecie daar en tegen behoort wel tot de juiste, maar voorlopig nog dure oplossingen. Bij grotere hoogten van de bekistingen kunnen de kosten extra oplopen door de hogere betonspeciedruk van de zelfverdichtende betonspecie.

4. Dilatatievoeg wapening.

4.1. Inleiding

In civiele bouwconstructies komen diverse naden voor. Dit kunnen zijn: stortnaden en naden van dilatatievoegen. Bij afzinktunnels treffen we ook nog de afzinkvoegen en de sluitvoeg aan. Dit zijn bijzondere dilatatievoegen. Bij een dilatatievoeg wil de constructeur vervormingen tussen en van bouwdelen kunnen opnemen. Bij stortnaden loopt de wapening over de stortnaad door en is vervorming minder gewenst. De naden tussen de moten van afzinktunnels zijn altijd dilatatievoegen.

Wanneer de naden zich onder water bevinden, zullen de naden voorzien moeten zijn van een rubber voegprofiel. In de afzinkvoegen tussen de tunnelelementen zijn dit de (tijdelijke) forse Gina profielen, die als definitieve afdichting een Omega profiel krijgen. Vervormingen tussen de stortmoten van de tunnelelementen kunnen opgevangen worden met de gebruikelijke rubberen metalen voegstroken in de dilatatievoegen.

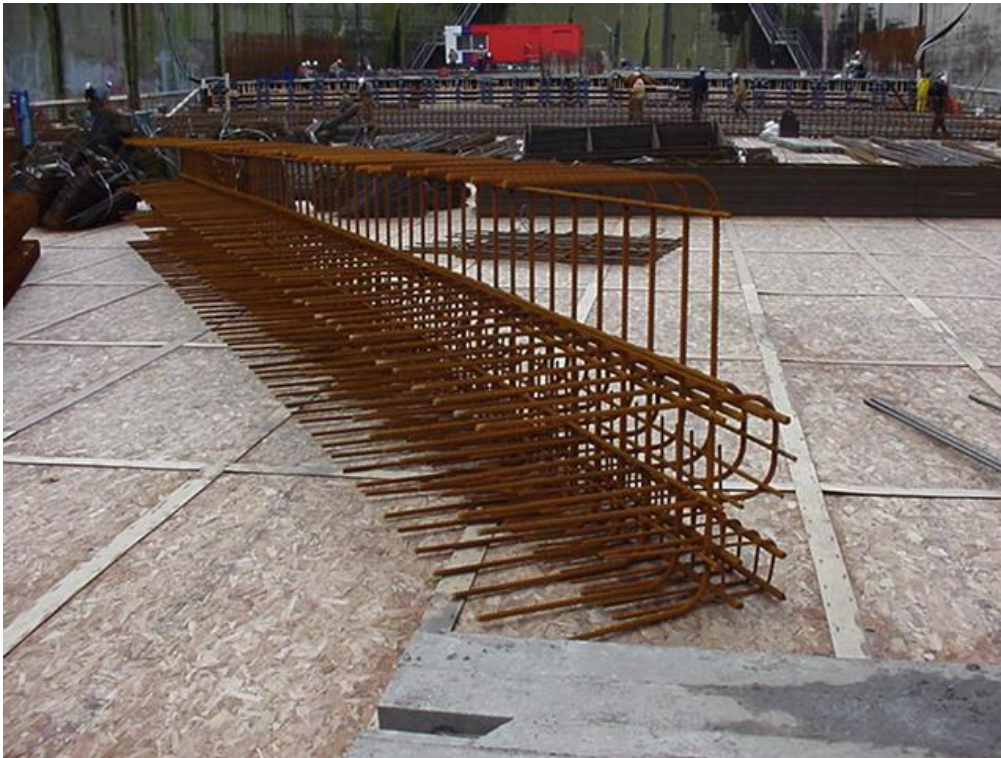


Figuur 60 - Het tijdelijke Gina profiel en het definitieve Omega profiel in een afzinkvoeg



Figuur 61 - Het Omega profiel tussen twee afzinkelementen in de Callandtunnel

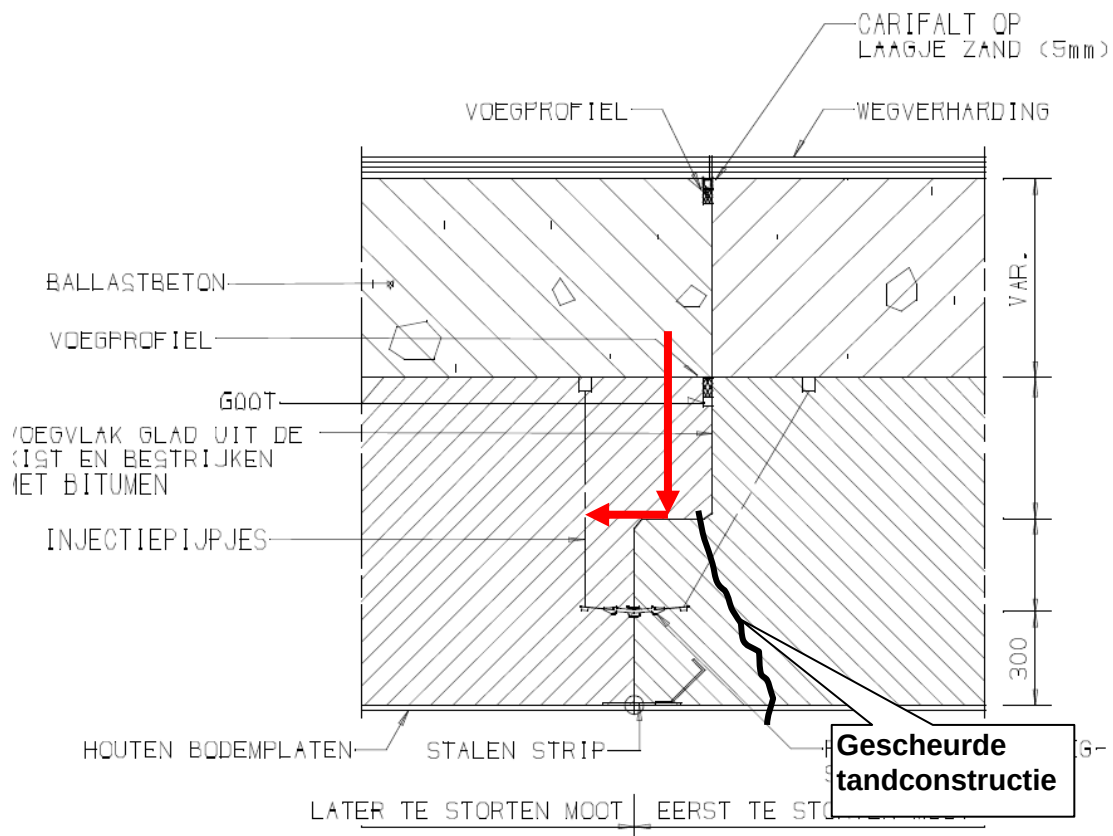
In dilatatievoegen is de waterdichte afsluiting ook nodig om de verhardingskrimp van de moten op te vangen. Ook krijgt men met de rubberen metalen voegstroken enigszins flexibele tunnelementen. De eerste Coentunnel is gestort zonder rubberen metalen voegstroken in de naden. Bij deze tunnel zijn krimpstroken van ongeveer één meter breed vrijgehouden tussen de tunnelmoten. Nadat de verhardingskrimp is opgetreden, worden deze krimpstroken alsnog met betonspecie gevuld. Alle nadien gemaakte tunnels zijn voorzien van rubber metalen voegstroken in de dilatatievoegen.



Figuur 62 - Tand- en voegstrookwapening met drie losse haarspelden gebruikt bij de bouw van de Callandtunnel

De voeg is vaak als een tand uitgevoerd. Met een tand kunnen dwarskrachten tussen de moten respectievelijk elementen worden opgevangen. De tandconstructie dient rondom voldoende gewapend te zijn.

Tussen twee tunnelmoten kan als gevolg van verschil in zettingen in de lengterichting van de tunnel rotatie in de voeg ontstaan. De tandconstructie kan hierdoor naast op dwarskracht ook op trek worden belast. Hierop moet voldoende gewapend worden. Weinig wapening rond de metalen voegstrook geeft kans op grote scheuren en dus lekkage. Veel wapening geeft kleine scheuren met weinig kans op lekkage.



Figuur 63 - Mogelijk bezwijkmechanisme als het "scharnier" gaat draaien

Als de rubber metalen voegstrook te licht met wapening is ingepakt, kan de tand afscheuren en ontstaat er een naad achter de voegstrook. Hierdoor kan de nodige lekkage ontstaan. Dit is in één van de Nederlandse tunnels (Kiltunnel) gebeurd. Binnen één jaar was al het lekwater automatisch weggepompt. Dat viel niet op, wel de circa negen m³ zand die met het water was meegekomen.

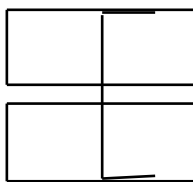
Uit bovenstaande volgt, dat de rubber metalen voegstrook in een dilatatievoeg goed met wapening moet worden ingepakt. Uitvoeringsdeskundigen daar in tegen maken zich grote zorgen over het vullen van deze zone met voldoende betonspecie. Dat onvoldoende gevulde zones in de praktijk voorkomen, bewijst figuur 64. De trilnaalden konden kennelijk deze zone onvoldoende bereiken. Zware wapeningsconcentraties dienen uitgevoerd te zijn met voldoende grote maaswijdten.



Figuur 64 - Het resultaat als de trilnaald er niet bij kan

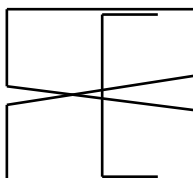
4.2. Wapening

Gebruikelijk is om de rubberen metalen voegstrook in te pakken met een (prefab) korf opgebouwd uit drie losse beugels. Wanneer ook op dwarskracht in deze vloer moet worden gewapend kan de derde beugel onderdeel uitmaken van deze dwarskrachtwapening.



Figuur 65 - Drie haarspelden als dilatatiwapening

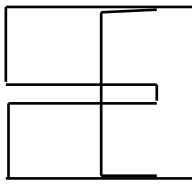
De betondekking met behulp van afstandhouders dient overal geborgd te zijn. Dus ook op de metalen voegstrook. Bij prefabricage van balkkorven met drie losse haarspelden is het moeilijk een vormvaste wapeningskorf te realiseren die voldoende ruimte geeft om de metalen voegstrook te plaatsen.



Figuur 66 - Uitvoering met twee kruisende haarspelden

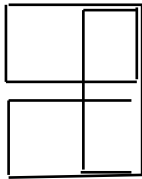
Om te komen tot meer vormvastheid van de wapeningskorf, kan de korf uitgevoerd worden met twee kruisende haarspelden. Toch is dit slechts een kleine verbetering.

Alle horizontale delen van de haarspelden dienen de geëiste verankerslengte te bezitten.



Figuur 67 - Uitvoering met slingerbeugel

Met behulp van de grote beugelautomaten die in knip- en buigcentrales beschikbaar zijn, kunnen volledig automatisch vormvaste slingerbeugels worden gemaakt. In figuur 67 is een uitvoering getekend met zo'n beugel en nog een losse haarspeld. Met zo'n slingerbeugel wordt de vormvastheid bevorderd. Omdat plaatselijk minder laslengte nodig is, is met deze uitvoering geen extra staal nodig. Wel wordt met deze slingerbeugel bespaard op arbeid.



Figuur 68 - Uitvoering met verbeterde slingerbeugel

Vooraf in het geval de vloer op dwarskracht moet worden gewapend, kan gebruik worden gemaakt van een verbeterde slingerbeugel. De vormvastheid van de wapeningskorf wordt er ten opzichte van de vorige uitvoeringen verder mee verhoogd. Een goede uitvoering is hiermee verzekerd.



Figuur 69 - Slingerbeugel in mootvoeg dek tweede Beneluxtunnel

5. Borgstaven

Vanuit het verleden is het gebruikelijk dat de eerste laag wapening van een civiele betonconstructie wordt neergelegd op een dubbele rij betonnen stelribben. De afstand tussen de dubbele rij stelribben is afhankelijk van de diameter van de eerste laag wapening. Bij $\varnothing 16$ kunnen de dubbele rijen 800 mm uit elkaar liggen. Bij $\varnothing 20$ kan de onderlinge afstand worden opgevoerd tot 1200 mm. Een gebruikelijk stelriblengte is 300 mm. Dit moet ook de afstand zijn tussen de dubbele rij, om zo voldoende ruimte te realiseren voor het schoonspuiten van de vloeren op de dag van het storten. In de lengte worden de stelribben overlappend gelegd zodat de dekking van bijvoorbeeld 50 mm altijd gerealiseerd wordt.



Figuur 70 - Uitvoering op stelribben. De onderlinge afstand tussen de dubbele rij is te klein.

Vlechters en aannemers hebben de voorkeur voor een uitvoering met borgstaven. De stelribben zijn hierbij vervangen door stelblokken van 100 x 100 mm en de juiste betondekking van bijvoorbeeld 50 mm.

De gebruikelijke stelribben en stelblokken zijn wel is waar van hoge kwaliteit maar niet waterdicht. Minder betonblokjes per m² verhoogt de betonkwaliteit.

In de rij worden de stelblokken uitgelopen met een hart op hart afstand van 600 tot 800 mm. De onderlinge afstand tussen de rijen is 800 tot 1200 mm afhankelijk van de diameter van de eerste laag wapening. Op de stelblokken komt een borgstaaf van $\varnothing 12$ of $\varnothing 16$. De borgstaven vormen dus eigenlijk de eerste laag wapening. Alle overige wapeningslagen schuiven dus een laag omhoog. De inwendige hefboomsarm wordt met de borgstaafdikte verkleind. Dit zal in de praktijk nauwelijks tot meer wapening leiden.

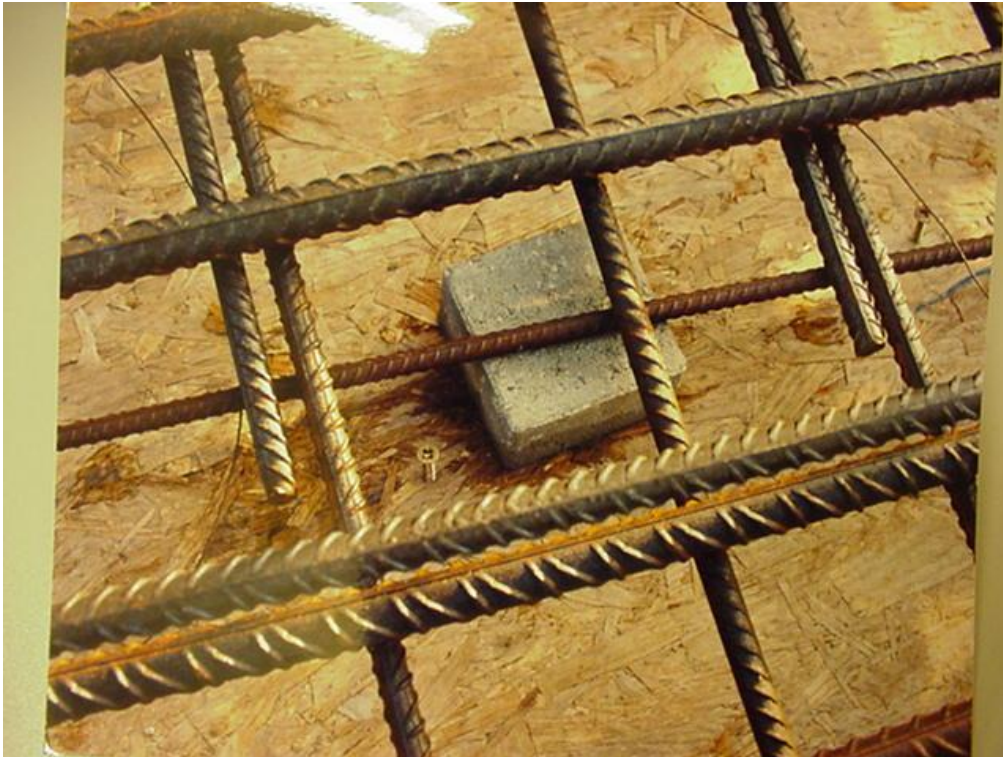


Figuur 71 - Eerste laag wapening op borgstaven en stelblokken

De voordelen van het toepassen van borgstaven zijn:

- Aanzienlijke verhoging van de betonkwaliteit in de dekkingszone
- Grotere garantie op de betondekking
- Grotere dekking op de hoofdwapening
- Minder betonnen afstandhouders
- De vloer is beter schoon te spuiten

Het plaatsen van de borgstaven in het dekkingsgebied is niet toegestaan. Plaatsing in het dekkingsgebied tast de duurzaamheid van de constructie aan.



Figuur 72 - Drie lagen wapening op een stelblok. Losse stukken binddraad dienen nog weggehaald te worden.

De borgstaaf mag in het dekkingsgebied geplaatst worden als gekozen wordt voor een van de volgende uitvoeringen:

- Thermisch verzinkt staal
- Roestvast staal
- Kunststof staven

6. Afstandhouder/pielemann in balken en vloeren

Bij twee lagen hoofdwapening ter plaatse van de oplegpunten of boven in het veld van balken past men enkele korte pielemannen toe Ø 40 mm. (Een pieleman in de wapeningsbranch is een kort stuk betonstaal om lagen wapening op afstand te houden.) De grootste grindkorrel van 32 mm kan dan tussen de hoofdwapeningslagen door om het dekkingsgebied te bereiken. Op deze wijze worden grindnesten voorkomen.

In agenda's op vloerentekeningen vindt men regelmatig "Afstand staven 2^e en 4^e laag 40 mm". In figuur 73 is dit toegepast.



Figuur 73 - De laag verdeelwapening is aangevuld met enkele staven Ø 40 mm

In de praktijk zal de vlechter een aantal verdeelwapeningsstaven vervangen door staven van 40 mm. Uiteraard heeft hij daar geen moeite mee, hij levert meer kg betonstaal. Toch geldt hier niet het aspect dat de grootste grindkorrel tussen de twee lagen hoofdwapening door moet kunnen. (Bevestigd in een richtlijn van het Deutsche Ausschuss für Stahlbeton.) Bij normaal verdichte betonspecie zal zonder deze afstandseis tussen de twee lagen hoofdwapening geen hogere kans zijn op grindnesten. Onder normaal verdichten van betonspecie wordt verstaan, dat de betonspecie tijdens het storten niet met de trilnaalden horizontaal wordt verplaatst.

Een afstandhouder tussen twee lagen hoofdwapening in vloeren is dus niet nodig.

7. Literatuurlijst

- [1] Dilatatievoegen, Stubeco studiecel C07 03 maart 2006.
- [2] Bouwdok tweede Beneluxtunnel, Tijdbestedingsonderzoek, HCB Hollandsche Combinatie Benelux, SAOB rapport december 1998.
- [3] Catalogus & productinformatie, Molenaar betonindustrie, september 2004
- [4] Product catalogus 2004, Stoter*beton, april 2004.
- [5] Memo Werkgroep zettingen Kiltunnel, Rijkswaterstaat, oktober 2001
- [6] Richtlijn HSL 1004C, Detaillering van dwarskrachtwapening, Projectorganisatie Hogesnelheidslijn-Zuid, oktober 1999.
- [7] Productinformatie, Schöck Bauteile GmbH, maart 2006.
- [8] Discussie Wolsink-Loeters-.v.d.Vliet-Memelink-Vries-Kooijman-Zeilmaker-Gulikers-Leeuw, maart 2006.
- [9] Massige Bauteile aus Beton, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb). Berlin, maart 2005

8. Bronvermelding

- Tunnel Dordtsche Kil rivierdeel, tekening, HSL Bouwcombinatie Drechtse Steden, december 2001
- Opname “schuine trekkracht” d.m.v. “Dwarskrachtwapening”, 2 tekeningen, Rijkswaterstaat directie Sluizen en Stuwen, juni 1979.
- HSL3 – Doorgaand spoorviaduct, viaduct Bleiswijk zuid, HSL-combinatie Zuid-Holland Midden, tekening, maart 2002
- HSL3 – Doorgaand spoorviaduct, viaduct Bleiswijk zuid, Wapelux, tekeningen met alternatieven, september 2001
- Montevideo, hoog woongebouw, foto fundering.
- Montevideo, Detailtekeningen fundering, ABT, Adviesbureau voor bouwtechniek bv constructies, mei 2003.
- Foto's diverse tunnels, fotoarchief L. Leeuw.
- Holterman, wapeningschets slingerbeugel.
- Busan – Geoje fixed link, South Korea. Roadtraffic-technology.