

# ROTONDES IN BETON

INFRASTRUCTUUR | OKTOBER 2011

	(94)	Ef2	
--	------	-----	--

BBSfB

- ONTWERP
- WAPENINGEN
- UITVOERING





Net zoals in vele Europese landen wordt in België het verkeer op kruispunten steeds vaker geregeld door voorrangslotondes omdat zij veiliger zijn en minder filevorming veroorzaken. Bij zwaar en druk verkeer worden de verhardingen er bijzonder belast, zowel door de belastingen die voortvloeien uit de middelpuntvliedende kracht als door de overbelasting veroorzaakt door de buitenwielen ten gevolge van de zijdelingse overhelling van de voertuigen. De gevolgen van die belastingen zijn: spoorvorming in de asfaltverharding, verschuiving van de bovenlaag, loskomen van de granulaten aan het oppervlak, en zelfs scheurvorming door onvoldoende draagkracht van de weg ter hoogte van de buitenwielen van de voertuigen.

Op basis van deze vaststellingen is de keuze voor een verharding in beton volledig gegrond. De bouw van rotondes kan worden overwogen in betonplaten (ongewapend) of in doorgaand gewapend beton. Dit bulletin geeft de bijzonderheden in het ontwerp en de uitvoering van een rotonde in beton en in het bijzonder in doorgaand gewapend beton (DGB). In België werden de eerste rotondes in DGB gebouwd in 1995 en deze gedragen zich nog steeds heel goed. Sindsdien werden verschillende rotondes in DGB gebouwd in België en het buitenland, in het bijzonder in Frankrijk en Nederland. Het gaat bijgevolg om een beproefde techniek die het verdient om op grotere schaal te worden toegepast.

# 1. INLEIDING

Verschillende redenen rechtvaardigen de keuze van een verharding in beton voor rotondes, te weten:

- het wegnemen van het risico op spoorvorming ten gevolge van belasting door zware voertuigen die zich met een matige snelheid verplaatsen;
- het elimineren van het fenomeen van afschuiving van de bovenlaag. Dit wordt veroorzaakt door belasting afkomstig van de middelpuntvliedende kracht die wordt uitgeoefend door voertuigen;
- de mogelijkheid om op een eenvoudige en economische manier een goot te realiseren ingebouwd in de verharding. Enkel met beton kunnen lineaire elementen ingewerkt worden. Het monolithisch karakter van de structuur die zo wordt verkregen, voorkomt dat de elementen worden beschadigd of loskomen;
- een blijvende grip op het wegdek en dit in alle weersomstandigheden, door de mechanische prestaties van de gebruikte granulaten en van het beton, en dankzij de verschillende beschikbare oppervlakbehandelingstechnieken (bijvoorbeeld uitgewassen beton);
- een oppervlak in een lichte kleur met de juiste eigenschappen inzake helderheid. Dit voordeel neemt zowel overdag als 's nachts een concrete vorm aan. Overdag creëert de helderheid van de bovenlaag in beton een visuele waarschuwing, in het bijzonder door de monotonie van de klassieke structuren te doorbreken. 's Nachts is het kruispunt op zeer grote afstand zichtbaar. Dit verhoogt de veiligheid;
- het weinige onderhoud dat een verharding in beton vereist. Omdat kruispunten strategische knooppunten zijn voor de verkeersstroom, is elke oplossing die de onderhoudswerken en hun frequentie tot een minimum beperkt des te meer gerechtvaardigd. Aldus blijft de

verkeersafwikkeling verzekerd en wordt de hinder voor de gebruikers beperkt.

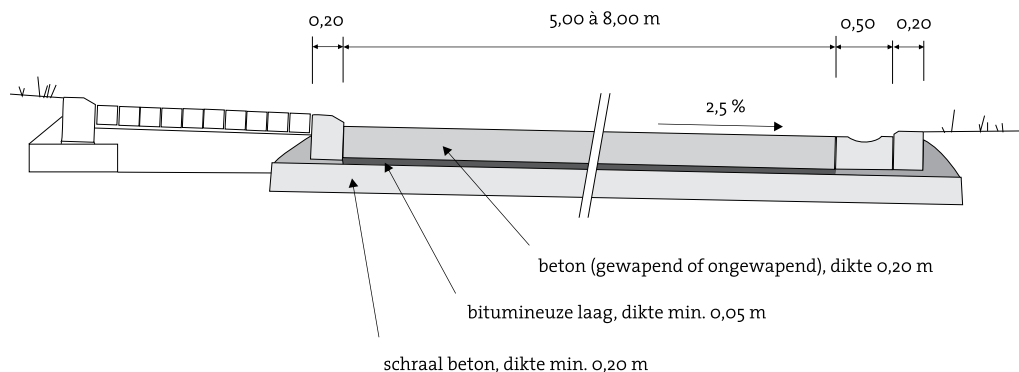
Bij het ontwerp van een rotonde in betonplaten moet in het bijzonder aandacht worden geschonken aan de situering van de krimp- en de constructievoegen. Te grote platen of platen met uitgesproken scherpe hoeken kunnen snel leiden tot ongewenste grillige scheuren. Daarom moet de ontwerper bij de uitwerking van zijn project zorgvuldig de plaats van alle voegen tekenen. Als de rotonde bedoeld is om veel verkeer te verwerken, zullen de voegen uiteraard worden gedeuveld. Daar is bij de verwerking van het beton de plaatsing van de deuvels essentieel om blokkering van de voegen te voorkomen.

Met doorgaand gewapend beton:

- kunnen radiale krachten door de aanwezigheid van dwarswapeningen worden opgevangen;
- kunnen door de aanwezigheid van doorgaande langswapeningen de klassieke krimpvoegen, die noodzakelijk zijn in verhardingen in ongewapend beton, worden weggelaten. Belastingen op plaathoeken worden hierdoor vermeden.

De randeffecten blijven echter groot. De dimensionering van de structuur en de wapeningen dienen hier rekening mee te houden. Een oplossing kan bestaan uit een overdikte van de fundering in schraal beton op het buitenste deel van de rotonde (over een breedte van minimaal 1,5 m), zodat de structuur van de weg in de meest belaste zone versterkt wordt.

Figuur 1 geeft een voorbeeld van een typedwarsprofiel. De dikte van de verharding in beton is minimaal 20 cm, maar bij zwaar verkeer kan deze toenemen tot 25 cm.



Figuur 1 –  
Voorbeeld van een  
typedwarsprofiel

In een bocht wordt de belasting van voertuigen onder invloed van de middelpuntvliedende kracht deels overgedragen naar de buitenwielen



## ROTONDES IN BETONSTRAATSTENEN

Sinds een aantal jaren hebben straatstenen ingang gevonden voor de inrichting van stedelijke ruimtes. Ze zijn hoofdzakelijk aanwezig in de agglomeratie, daar waar de snelheid van de voertuigen beperkt is en waar de openbare ruimte werd herverdeeld tussen de verschillende gebruikerscategorieën. Ze worden ook veel gebruikt in parkeerzones of op verkeersplateaus, verkeersdrempels en voor allerlei veiligheidsvoorzieningen. Het voorgestelde kleurenspeel maakt het mogelijk om de monotonie van de verhardingen te doorbreken en die hindernissen aan gebruikers te signaleren.

Specifiek voor wat rotondes betreft, zijn er in België veel voorbeelden in betonstraatstenen. Deze toepassingen betreffen echter meestal rotondes die werden aangelegd op kruispunten welke weinig door zwaar verkeer worden belast. Straatstenen moeten immers worden voorbehouden voor verhardingen van rotondes waarop de frequentie van zware voertuigen van meer dan 3,5 ton niet hoger is dan 100 per dag. Gezien de grootte van de horizontale belastingen in radiale en tangentiële richting, eigen aan het verkeer op een rotonde, wordt aanbevolen straatstenen te gebruiken met een dikte van minimum 10 cm. De straatlaag zal bestaan uit een mengsel van brekerzand 0/2 en grove toeslagmaterialen 2/6. Het gehalte aan fijne deeltjes moet worden beperkt tot

3 % en de intrinsieke eigenschappen zullen zodanig zijn dat dit materiaal goed bestand is tegen verbrijzeling en slijtage (Los Angeles- en Micro Deval-coëfficiënten van de grove toeslagmaterialen respectievelijk kleiner dan of gelijk aan 20 en 15). Over de volledige omtrek is altijd een stevige kantopsluiting met trottoirbanden of stootbanden nodig. Deze elementen moeten worden vastgezet in een mortel- of betonbed om elk risico op kantelen of verschuiven te vermijden. Het kan ook nuttig zijn om een extra laag straatstenen te voorzien en deze op hun kant te plaatsen.

Om de belastingen ter hoogte van de voegen zo goed mogelijk te verdelen, wordt keperverband, elleboogverband of visgraatverband aanbevolen. Soms wordt de voorkeur gegeven aan halfsteensverband in de lengterichting, maar dit moet voorbehouden blijven voor gevallen waarin geen zwaar verkeer is.



FEBE

## 2. ONTWERP VAN ROTONDES IN PLATENBETON - DISCONTINUE VERHARDINGEN

Verhardingen in betonplaten worden ook discontinue verhardingen genoemd: het beton wordt « doorgaand » aangelegd, maar de voegen worden zo gezaagd dat de verharding in betonplaten wordt verdeeld. De specifieke kenmerken van de rotondes in platenbeton hebben betrekking op hun cirkelvormig tracé, de geometrie van de op- en afritten en het al dan niet aanwezig zijn van verkeerseilanden. Dit houdt in dat het voegenpatroon en de aansluitingen met de wegen van en naar de rotonde nauwkeurig worden uitgetekend.

Het werkplan moet rekening houden met de volgende regels:

- de tussenafstand tussen de radiale voegen bedraagt maximum 5 m voor betondiktes vanaf 20 cm en 4 m voor diktes kleiner dan 20 cm. Als er een straatkolk, een verkeerseiland of een andere voorziening aanwezig is, kan de radiale voeg lichtjes worden verschoven en zodanig worden aangebracht (in de aslijn van een cirkelvormig deksel, langs een zijde van een straatkolk of precies op de hoek van een verkeerseiland, ...) dat eventuele scheurvorming wordt vermeden;
- de breedte van een rijbaan is beperkt tot maximaal 5 m. Het kan bijgevolg noodzakelijk blijken een middenvoeg aan te brengen volgens een concentrische cirkel. Deze middenvoeg is vergelijkbaar met de langsvog in een rechthoekig wegtracé;
- de verhouding lengte/breedte van de platen bedraagt maximaal 1,5;
- geen platen met hoeken kleiner dan 75°;
- de oppervlakte van de platen beperken tot 25 m<sup>2</sup>.

Ingeval een van deze voorschriften niet haalbaar is, dan kan dit euvel verholpen worden door lokaal wapening te voorzien. Opdat deze wapening echter eventuele scheurvorming van het beton zou kunnen beheersen, moet ze in het bovenste gedeelte van de plaat worden geplaatst en ter hoogte van de voegen onderbroken (d.w.z. doorgezaagd !) worden. Een wapening bestaande uit staven van 10 mm diameter die om de 15 cm in de 2 richtingen worden geplaatst en met een

betondekking van 40 mm, vormt over het algemeen een goede oplossing. Merk op dat hoe groter de betondekking is, hoe minder efficiënt de wapening scheurvorming onder controle zal kunnen houden.

Bovendien moet nog rekening worden gehouden met verschillende bijzonderheden:

- aanzetten: om geen plaathoek te hebben in de bijzonder belaste toegangszone, worden de aanzetten van de op- en afritten in beton tegelijk met de ring bekist en gebetonneerd. De aanzet moet zodanig zijn dat de kortste zijde minstens 50 tot 100 cm lang is;
- toegangen: de toegangen tot een rotonde zijn altijd bijzonder belaste zones (remmen, versnellen, tangentiële belastingen). Het is daarom ook wenselijk de verharding van de toegangen in beton uit te voeren over een minimale lengte van 30 tot 50 m. In dit geval moet de toegang aan de ring worden verankerd om de continuïteit van de betonverharding te verzekeren. De verankering wordt uitgevoerd door middel van staven met diameter 16 mm en lengte 75 tot 100 cm. Deze worden om de 40 cm geplaatst op halve hoogte van de constructievoeg. Vervolgens worden de dwarsvoegen van de toegangszone uitgevoerd. Deze worden klassiek gedeuveld. Als de platen een complexe vorm hebben, moeten ze gewapend zijn; anders zijn ze ongewapend;
- de continuïteit van de voegen: de continuïteit van een voeg moet altijd verzekerd zijn om « sympathiescheuren » te voorkomen. Er moet bijgevolg nauwlettend over gewaakt worden dat de langse voeg van de betonnen toegangsweg overgaat in een radiale voeg van de rotondeweg. Op dezelfde wijze moet de continuïteit van de radiale voegen in de overschrijdbare binnenring (rammelstrook) worden gecontroleerd als deze volledig uit ter plaatse gegoten beton bestaat (d.w.z. zonder geprefabriceerde rand). Ook de continuïteit met de voegen van een lijnvormig element (bijvoorbeeld een ter plaatse gegoten goot) moet worden verzekerd

Vorbereiding van de aanleg van een rotonde in gedevelde betonplaten. De specifieke plaats van de radiale voegen is op de grond getekend.



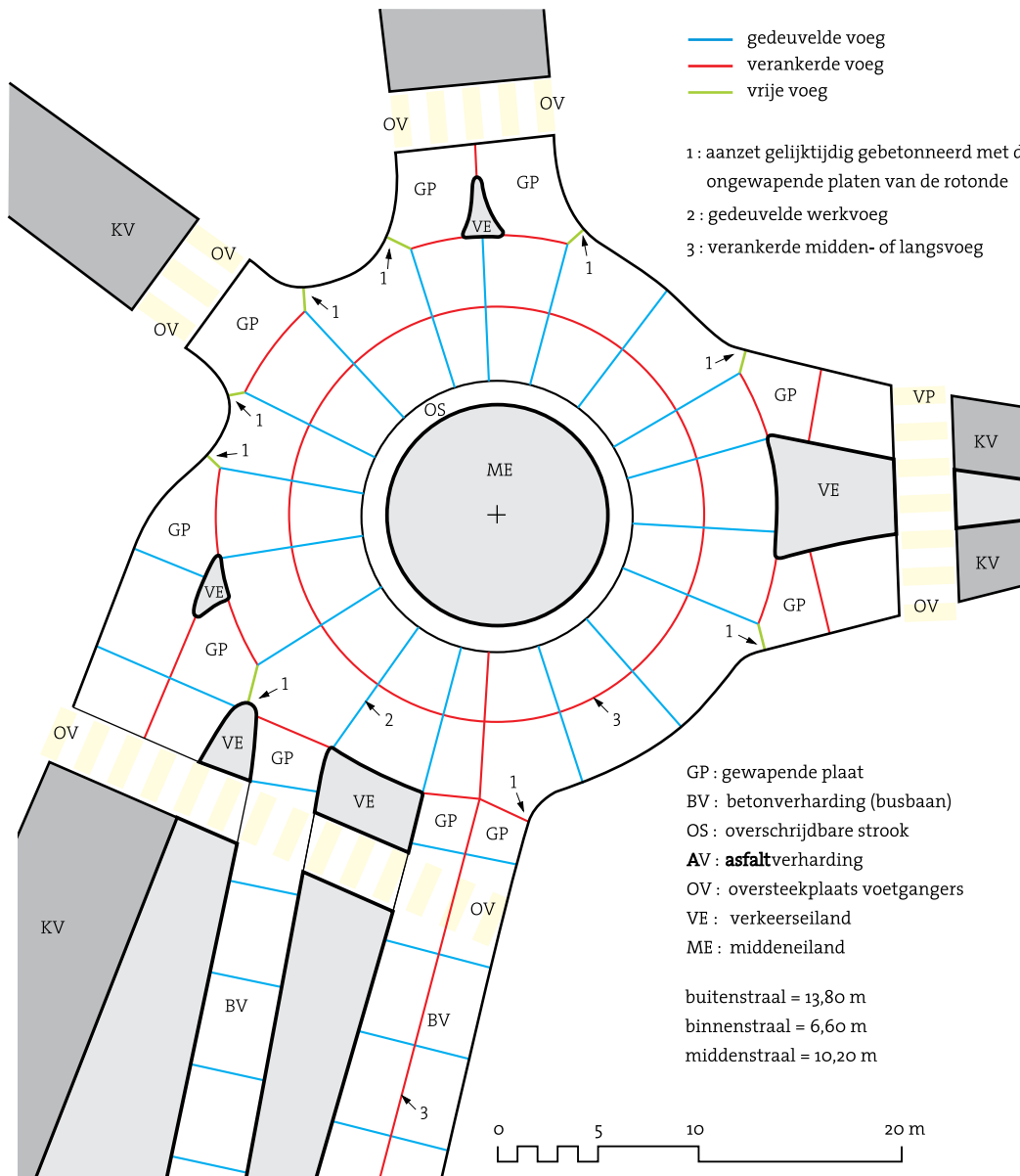
Figuur 2 geeft een voorbeeld van een werktekening voor een rotonde. Dit voorbeeld betreft een rotonde waarvan de weg in betonplaten een buitenstraal heeft van 13,80 m en een binnenstraal van 6,60 m. Omdat de breedte meer dan 5,00 m bedraagt, is een middenvoeg noodzakelijk. Verschillende wegen geven toegang tot deze rotonde. Deze hebben een bitumineuze (d.w.z. asfalt-) verharding (AV), met uitzondering van twee wegen die uit platenbeton (BV) bestaan. Merk op dat de langsvoeg van de weg wordt verlengd om de continuïteit met de rotonde te verzekeren. Gezien een langsvoeg bovendien een verankerde voeg is, moet de radiale voeg in het verlengde ervan ook een verankerde voeg zijn, in tegenstelling tot de andere radiale voegen die allemaal worden gedeveld. Daarnaast kan worden opgemerkt dat deze verankerde radiale voeg twee platen doet ontstaan waarvan de verhouding lengte/breedte niet optimaal is. Vermits deze echter verankerd zijn aan de aangrenzende platen blijft het risico op scheurvorming evenwel sterk beperkt.

De aanzetten van de op- of afritten (aangeduid met 1) moeten tegelijkertijd met de platen van de rotonde worden gebetonneerd. Deze aanzetten worden dus niet door een voeg gescheiden van de platen van de rotonde.

De korte zijde van deze aanzetten bestaat uit een vrije voeg (zonder deugel of verankering). Dit komt omdat deze zijde telkens volgt op een gedevelde radiale voeg waarvan de vrije thermische uitzetting niet mag worden verstoord.

De verwerking van het beton begint met een gedevelde voeg (aangeduid met 2) die gesitueerd wordt ter hoogte van een van de verkeerseilandjes van de toegangswegen, dit om grotere belastingen te vermijden. Veronderstellen we in dit specifieke geval dat de twee wegen in beton busbanen zijn – een de oprit, de andere de afrit. De bussen (zwaar verkeer) zullen hier zelden deze radiale constructievoeg overschrijden.

Om eerder aangehaalde redenen bestaan alle platen aan het begin van de op- en afritten uit beton. In dit geval wordt beton geplaatst tot aan de oversteekplaatsen voor voetgangers, maar dit kan worden verlengd tot een lengte van 30 tot 50 m, met de bedoeling een starre structuur te verkrijgen ter hoogte van de remzone van zware voertuigen. De platen met een complexe geometrie zijn gewapend en verankerd met de betonverharding van de rotonde.



Figuur 2 –  
 Voorbeeld van een  
 werkplan voor een  
 discontinue verharding  
 van een rotonde

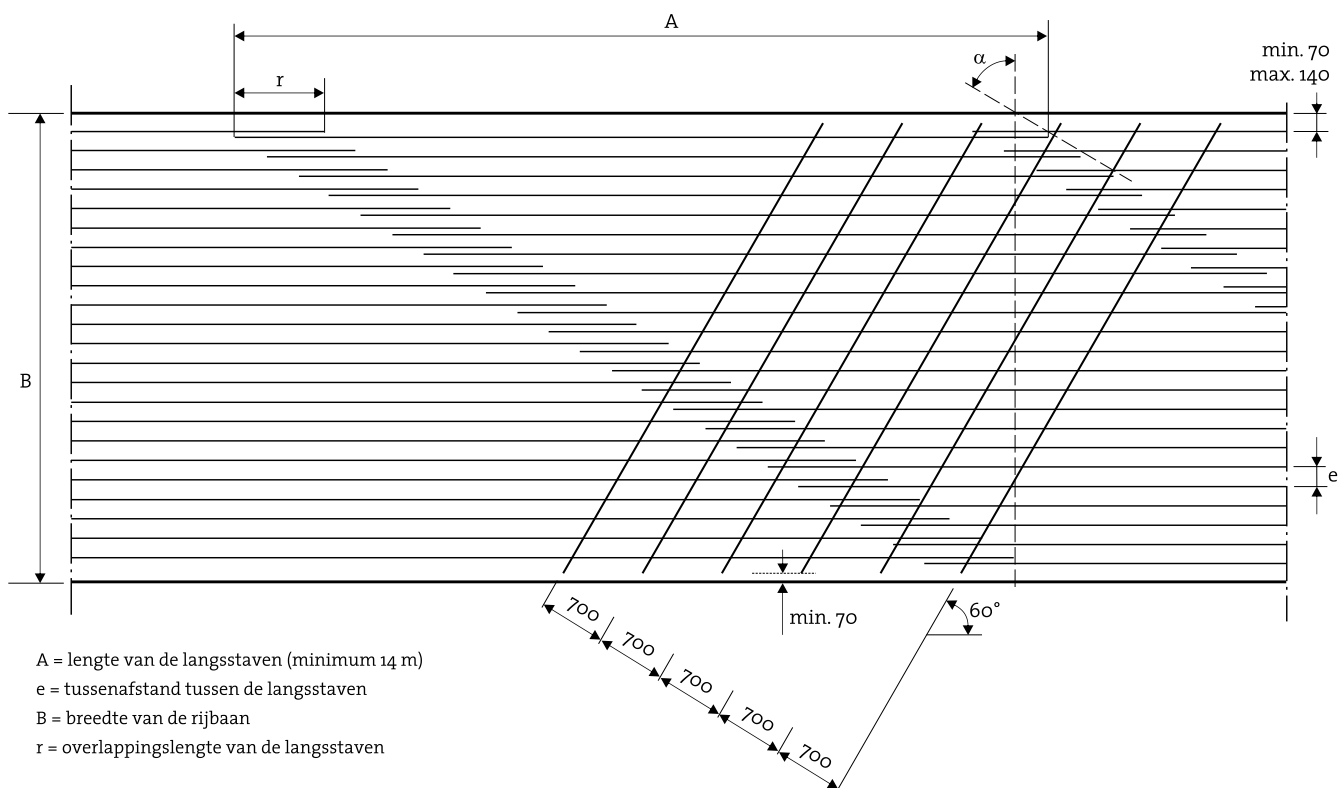
### 3. ONTWERP VAN DE ROTONDES IN DOORGAAND GEWAPEND BETON

Alle regels van de kunst die eigen zijn aan klassiek doorgaand gewapend beton (DGB) zijn uiteraard ook van toepassing op de rotondes. De voorschriften van de geldende standaardbestekken voor de verhardingen in DGB moeten worden nageleefd.

Op een rechte weg worden de langs- en dwarswapeningen geplaatst volgens de principes die in figuur 3 schematisch zijn weergegeven. Voor een rotonde volgt de schikking van de wapening diezelfde voorschriften, uitgezonderd de hierna opgesomde punten. De wapening moet bovendien in overeenstemming zijn met tabel 1. Merk op dat de dwarsstaven een diameter hebben van 14 mm en dat in de lengterichting het staal uit staven van 16 mm diameter bestaat. Door deze keuze kunnen de langswapeningen

de kromming van de rotonde beter volgen, met name bij rotondes met een kleine straal. De hoeveelheid overlans staal bedraagt 0,67 % van de betondoorsnede. Dit is minder dan in het geval van klassieke wegen, waar die hoeveelheid in de buurt ligt van 0,75 - 0,76 %. In het geval van een rotonde waarvan de rijbaan breder is dan 6 m kan de hoeveelheid staal zelfs nog worden verminderd op het binnenste deel (voorbij de 6 m). Op dit gedeelte van de verharding wordt door zwaar verkeer immers heel weinig gereden, en omdat door de cirkelvormige geometrie van de weg in gewapend beton binnenin de structuur een zelfblokkerend effect optreedt, kunnen scheuren zich niet fel openen. Eén langsstaf op twee zou aldus kunnen worden weggelaten.

Figuur 3 –  
Wapeningsplan voor een  
klassieke rechte weg



- A = lengte van de langsstaven (minimum 14 m)
- e = tussenaafstand tussen de langsstaven
- B = breedte van de rijbaan
- r = overlappingslengte van de langsstaven

$$\rightarrow \text{lengte van de dwarsstaven} = \frac{B - 140}{0,86603}$$

$$\rightarrow \text{hoek } \alpha \text{ van de overlapping van de langsstaven is zodanig dat } \text{tg } \alpha = \frac{A - r}{B - 150}$$

$$\rightarrow \text{aantal langsstaven } n = \frac{B}{e} - 1 \text{ (afgerond naar boven)}$$



## VOORSCHRIFTEN BETREFFENDE DE WAPENING

Dikte van de verharding (mm)	200	230	250	250(*)
Nominale staafdiameter van de langswapening (mm)	16	16	16	20
Nominale staafdiameter van de dwarswapening (mm)	14	14	14	14
Tussenafstand (e) tussen de aslijnen van de langsstaven (mm)	150 ± 5	130 ± 5	120 ± 5	185 ± 5
Afstand tussen het bovenzvlak van de langsstaven en het oppervlak van de afgewerkte verharding (mm)	70 à 90	80 à 100	80 à 100	80 à 100
Hoogte van de steun (mm)	90	110	130	130

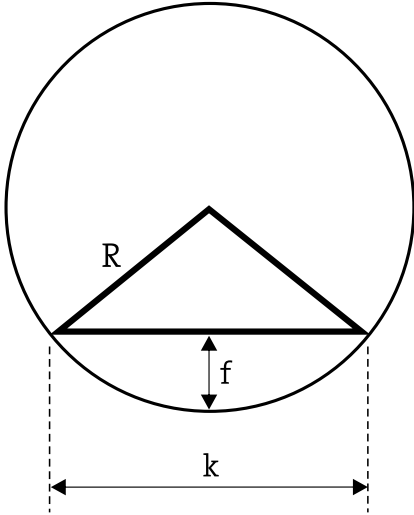
(\*) Gezien de beperkte tussenafstand tussen de langsstaven van 16 mm, wordt beton aanbevolen waarbij de nominale diameter van de granulaten beperkt is tot 20, of zelfs 14 mm. Meestal zijn de afmetingen van een rotonde waarvoor een betondikte van 25 cm wordt toegepast zodanig dat langswapeningen van 20 mm gemakkelijk kunnen worden aangewend. Met zo'n staven is een grotere tussenafstand mogelijk, hetgeen gunstig is voor een goede verwerking van het beton.

In een rotonde moet de langswapening de kromming van de rotonde perfect volgen. De overlapping van deze wapeningen heeft een lengte die minstens gelijk is aan 35 keer de nominale diameter. Het is evenwel tamelijk moeilijk om een constante overlappingshoek  $\alpha$  te behouden (dit is de hoek met de loodlijn op de raaklijn aan de as van de weg, m.a.w. een straal). De lengte van de overlapping moet bijgevolg variëren afhankelijk van de straal van de cirkel die wordt gevormd door de langswapening; ofwel moet de lengte van de langswapening aan de binnenzijde van de ring worden verminderd. Om een concentratie van overlappingsen van staven in eenzelfde snede te vermijden, is het belangrijk dat deze overlappingsen niet allemaal op eenzelfde straal worden gesitueerd.

De dwarsstaven maken een hoek van 60° met de raaklijn aan de as van de weg en op deze plaats bedraagt de (loodrechte) tussenafstand tussen twee dwarsstaven 70 cm. Bij de aanleg van een rotonde met een binnenstraal

van meer dan 20 m wordt bovendien een extra dwarsstaaf gebruikt op het buitenste deel van de ring (over een minimale lengte gelijk aan de breedte van de helft van de buitenring vermeerderd met 1 m). Idealiter varieert de lengte van die extra wapeningen met minstens één meter om een plotselinge verandering van het wapeningspercentage in eenzelfde concentrische cirkel te vermijden. Andere configuraties zijn mogelijk. Zo kan, om een te grote tussenafstand aan de buitenkant van de ring te vermijden, 70 cm worden gelaten tussen twee dwarsstaven op 1/3 van de breedte van de ring vanaf de buitenrand. Een tweede manier is het toepassen van een tussenafstand (steeds orthogonaal gemeten tussen twee dwarsstaven) van maximaal 70 cm aan de buitenkant van de ring en van minimaal 20 cm aan de binnenkant van de ring. De dwarswapeningen worden dus radiaal geplaatst en de lengte ervan wordt aan de binnenkant eventueel verminderd zodat die tussenafstand van minstens 20 cm gehaald wordt.

# BEREKENING VAN DE LENGTE VAN DE DWARSWAPENINGEN



In een cirkel met straal  $R$  kan de lengte van een koorde  $k$  worden berekend met de formule:

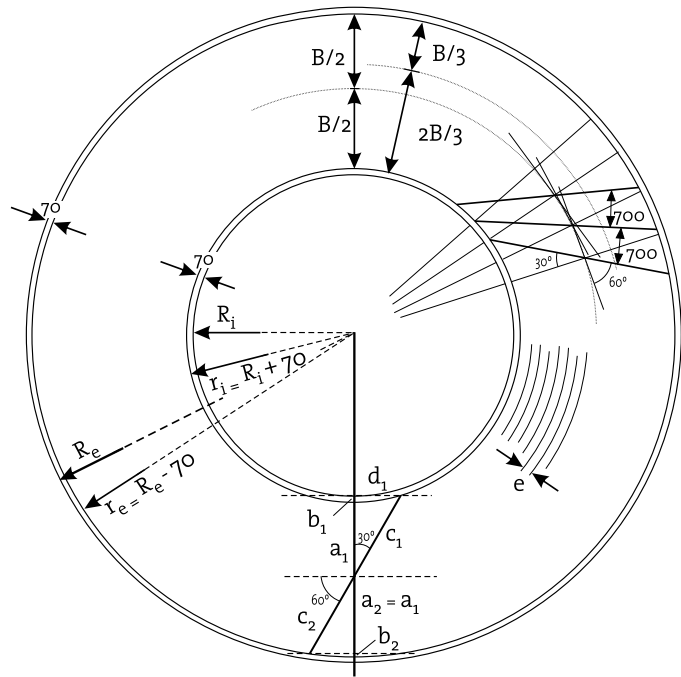
$$k = 2 \sqrt{R^2 - (R - f)^2} \quad (1)$$

deze relatie wordt ook geschreven als:

$$k = 2 \sqrt{f(2R - f)} \quad (2)$$

met  $f$  gelijk aan de pijl.

Zo kan voor een rotonde met binnenstraal  $R_i$  en buitenstraal  $R_e$  de lengte van de dwarswapeningen die een hoek van  $60^\circ$  maken met de raaklijn aan de as als volgt worden berekend.



We hebben:

$$\text{tg } 30 = \frac{d_1}{a_1 + b_1} \quad (3)$$

Uit (2) kan worden afgeleid dat:

$$d_1 = \sqrt{b_1(2r_i - b_1)} \quad (4)$$

$$\text{Welnu, } a_1 = \frac{B}{2} - 70 \quad (5)$$

waarbij  $B$  gelijk is aan de breedte van de ring in doorgaand gewapend beton. Met (3), (4) en (5) wordt  $b_1$  berekend door de volgende tweedegraadsvergelijking op te lossen:

$$b_1^2 (\text{tg}^2 30 + 1) + b_1 (2a_1 \text{tg}^2 30 - 2r_i) + \text{tg}^2 30 a_1^2 = 0 \quad (6)$$

Als we  $b_1$  kennen, kunnen we  $c_1$  berekenen:

$$\cos 30 = \frac{a_1 + b_1}{c_1} \quad (7)$$

$$\Rightarrow c_1 = \frac{a_1 + b_1}{\cos 30} \quad (8)$$

We hebben ook:

$$\operatorname{tg} 30 = \frac{d_2}{a_2 - b_2} \quad (9)$$

Uit (2) kan worden afgeleid dat:

$$d_2 = \sqrt{b_2(2r_e - b_2)} \quad (10)$$

$$\text{Maar, } a_2 = a_1 = \frac{B}{2} - 70 \quad (11)$$

En dus, met (9), (10) en (11), wordt  $b_2$  berekend door de volgende tweedegraadsvergelijking op te lossen:

$$b_2^2 (\operatorname{tg}^2 30 + 1) - b_2 (2a_2 \operatorname{tg}^2 30 + 2r_e) + \operatorname{tg}^2 30 a_2^2 = 0 \quad (12)$$

Als we  $b_2$  kennen, wordt  $c_2$  berekend. Namelijk:

$$\cos 30 = \frac{a_2 - b_2}{c_2} \quad (13)$$

$$\Rightarrow c_2 = \frac{a_2 - b_2}{\cos 30} \quad (14)$$

De lengte van de dwarsstaven is dus gelijk aan:

$$L_t = c_1 + c_2 = \frac{a_1 + b_1}{\cos 30} + \frac{a_2 - b_2}{\cos 30} \quad (15)$$

Beschouwen we een rotonde waarvan de ring in doorgaand gewapend beton een binnenstraal heeft van 10 m en een buitenstraal van 20 m. Dan hebben we dus:

$$B = 10 \text{ m} \Rightarrow a_1 = a_2 = 4,93 \text{ m}$$

$$R_e = 20 \text{ m} \Rightarrow r_e = 19,93 \text{ m}$$

$$R_i = 10 \text{ m} \Rightarrow r_i = 10,07 \text{ m}$$

We krijgen  $b_1 = 0,500 \text{ m}$  en  $b_2 = 0,189 \text{ m}$

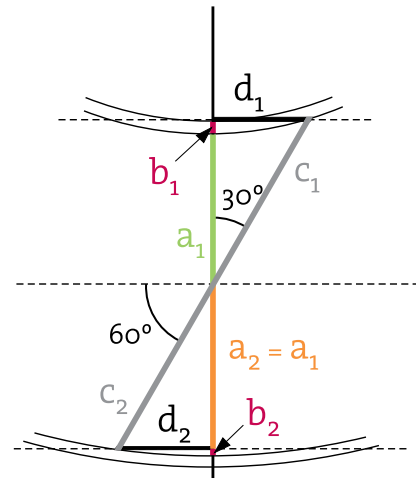
De lengte  $L_t$  van de dwarswapeningen is :

$$L_t = \frac{4,930 + 0,500}{\cos 30} + \frac{4,930 - 0,189}{\cos 30} = 11,74 \text{ m}$$

Er kan bijgevolg worden opgemerkt dat in een rotonde de lengte van de dwarswapeningen iets groter is dan de lengte in een recht stuk : bij een breedte van 10 m zijn ze 11,74 m lang in de rotonde en 11,39 m in een recht tracé.

$$11,39 = \frac{10 - 0,14}{\cos 30} \quad (\text{figuur 3})$$

Met bovenstaande nauwkeurige berekening is het inderdaad mogelijk om de lengte van de dwarswapeningen correct te bepalen en zodoende de plaatsing ervan te vergemakkelijken.





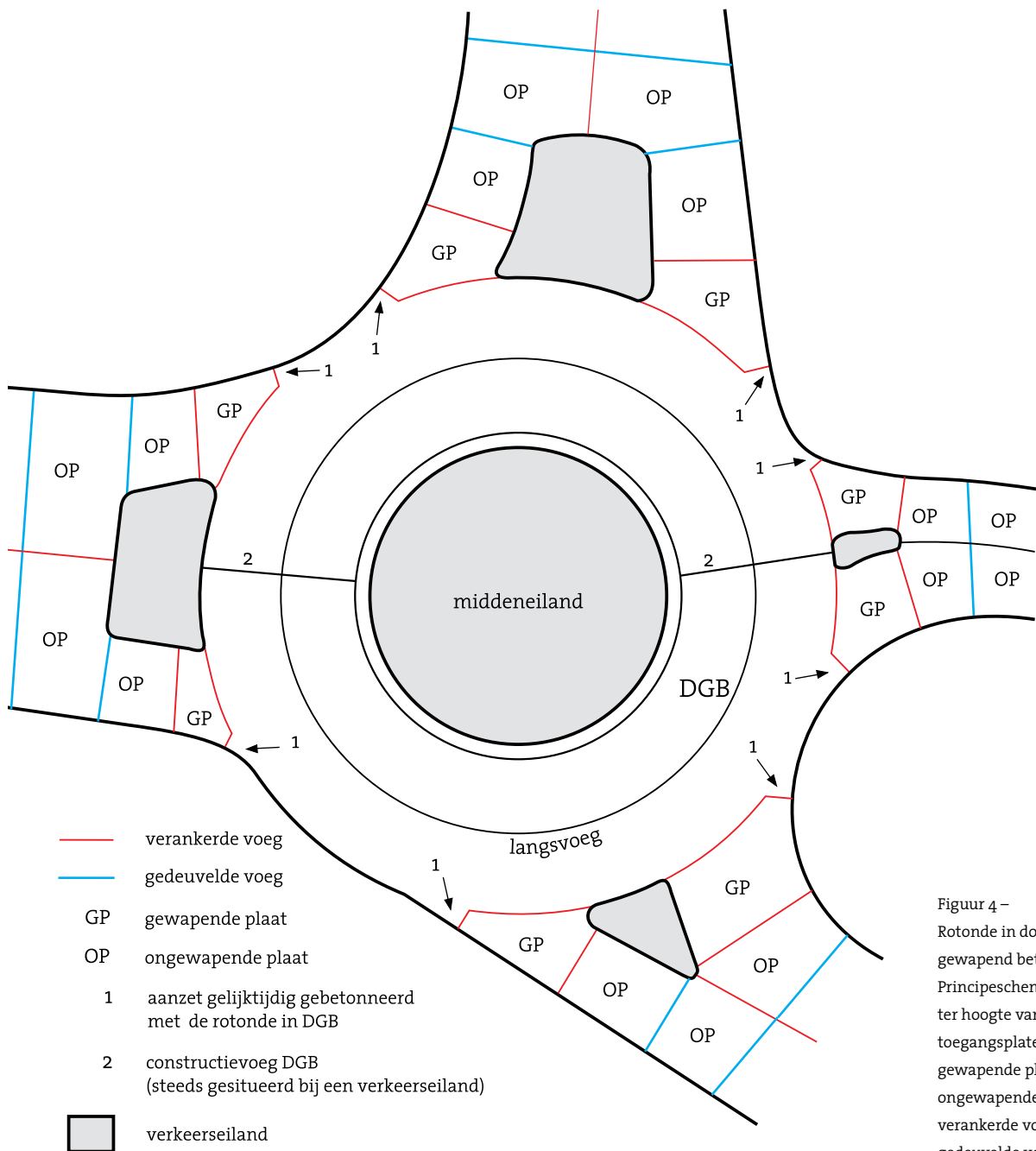
Voor een rotonde volgt de schikking van de wapeningen dezelfde principes als voor een klassieke rechte weg.

Net zoals voor een rotonde in platenbeton en om hoeken in de toegangszones te vermijden, worden de aanzetten van de op- en afritten in beton tegelijkertijd met de ring bekist, gewapend en gebetonneerd. De aanzet moet zodanig zijn dat de afmeting van de kortste zijde minstens 50 à 100 cm is. De wapening (langsstaven) zal een configuratie hebben die identiek is aan die van de ring van de rotonde.

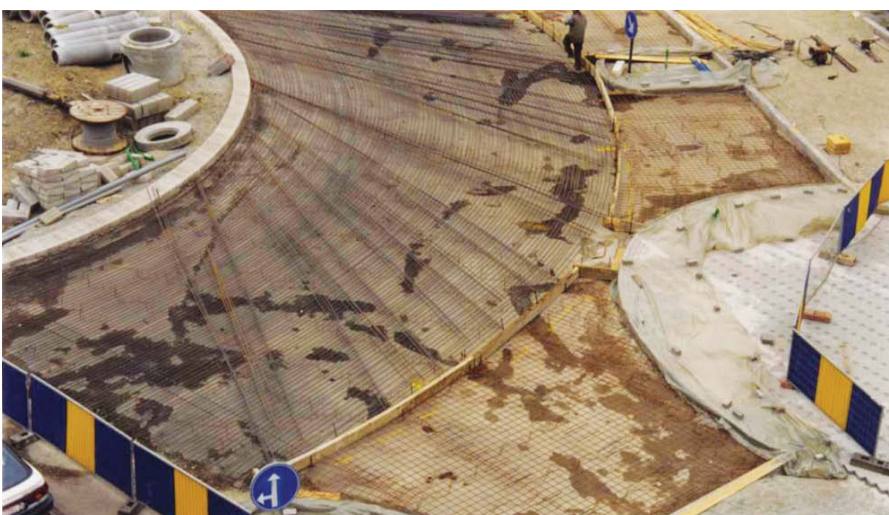
Op dezelfde wijze zullen de toegangen tot de rotonde worden uitgevoerd in beton en dient de toegang tot de ring te worden verankerd om de continuïteit van de betonverharding te verzekeren. De verankering wordt uitgevoerd met staven met diameter 16 mm en lengte 75 tot 100 cm. Deze worden om de 40 cm geplaatst op halve hoogte van de constructievoeg. Vervolgens worden de dwarsvoegen uitgevoerd. Deze worden klassiek gedeuveld. De platen zijn ongewapend of, als ze een complexe vorm hebben, gewapend (wapening bestaande uit staven van 10 mm diameter geplaatst om de 15 cm in de 2 richtingen met een betondekking van 40 mm). In sommige gevallen worden ook de toegangen gerealiseerd in DGB. Figuur 4 geeft een principeschema voor de configuratie van een rotonde in doorlopend gewapend beton met een toegang in gedeuvelde betonplaten.



Bij een rotonde van meer dan 20 m diameter worden extra dwarswapeningen geplaatst over minstens de helft van de buitenring om een te grote tussenruimte te vermijden.



Figuur 4 –  
 Rotonde in doorgaand  
 gewapend beton.  
 Principeschema  
 ter hoogte van de  
 toegangsplaten:  
 gewapende platen,  
 ongewapende platen,  
 verankerde voegen,  
 gedeuvelde voegen,...



De toegangsplaten zijn gewapend en verankerd met de rotonde. Merk op dat ze ook kunnen worden uitgevoerd in doorgaand gewapend beton zonder dwarsvoeg



Door de toegangsplaten in gekleurd beton uit te voeren kan de zichtbaarheid en zo de veiligheid van de gebruikers worden verhoogd.



Ter hoogte van de aanzetten is de configuratie van de wapening identiek aan die van de ring van de rotonde.

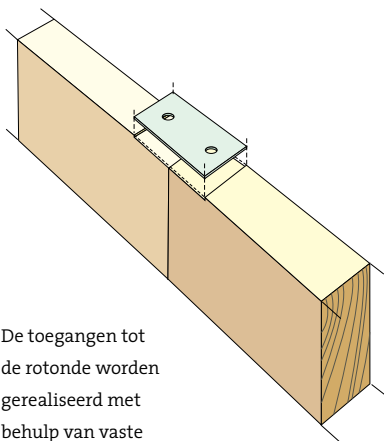
## 4. UITVOERING

Alle regels van de kunst eigen aan verhardingen in klassiek beton evenals de verschillende mogelijkheden van kleur en oppervlakbehandeling zijn natuurlijk ook van toepassing op rotondes. Hierna worden echter verschillende aspecten behandeld: bekistingen, manueel betonneren of met de glijbekistingsmachine, en voorts diverse specifieke punten.

### 4.1. BEKISTINGEN

Als het betonneren gebeurt met een glijbekistingsmachine, wordt de verharding aangelegd vóór eventueel lijnvormige elementen worden geplaatst.

Als de betonnering wordt uitgevoerd met een trilbalk kunnen de lijnvormige elementen zowel binnen als buiten de ring dienen als bekisting. Aan de toegangen wordt de bekisting gemaakt met behulp van zware plankdelen van 50 cm tot één meter lengte en een hoogte gelijk aan de voorziene hoogte van het beton. Deze planken worden eventueel aan elkaar gekoppeld door bevestigingen die in het hout moeten worden gedreven zodat de trilbalk perfect kan glijden. Aan de buitenkant worden ze gestut met zandcement.



De toegangen tot de rotonde worden gerealiseerd met behulp van vaste bekistingen, gemaakt van houten balken.



De voeg die aan het begin van de dag wordt gemaakt, moet worden bekist om een effen en loodrecht vlak te verkrijgen. Deze voeg moet onmiddellijk worden gereinigd om te vermijden dat hij nadien met een persluchthamer moet worden bijgewerkt, met scheuren in het beton tot gevolg.

### 4.2. BETONNERING

#### 4.2.1 BETONNERING MET DE TRILBALK

Deze techniek wordt het meest gebruikt omdat zij de mogelijkheid biedt de trilbalk aan te passen aan de breedte van de verharding. Deze balk glijdt aan de binnenkant op de rand van de overschrijdbare binnenring of op de binnenrand van de rotonde. Om de eventuele hoogteverschillen van deze randen te corrigeren, steunt de trilbalk op de rand door middel van een gerber-ligger (ski) met een minimale lengte van 2 m. De hoogte van de balk ten opzichte van de rand moet kunnen worden ingesteld zodat deze kan worden aangepast aan het uitspringende deel van de rand.

Na uitspreiden en op niveau brengen van het beton (bijvoorbeeld met de kraan) en vóór de passage van de trilbalk wordt het beton getrild door middel van trilnaalden. Best wordt één trilnaald voorzien per 2 m betonneerbreedte.

Met een scharnierende strijkspan kunnen kleine hoogteverschillen, veroorzaakt door het halthouden van de balk, worden weggewerkt.



Betonnering met behulp van trilnaalden en een trilbalk. Merk hiernaast op dat de trilbalk op de rand rust via een gerber-ligger (ski).

#### 4.2.2 BETONNERING MET EEN GLIJBEKISTINGSMACHINE

Deze betonningstechniek kan alleen worden gebruikt bij grote rotondes. Bij een te kleine diameter is immers geen goede extrusie van het beton mogelijk. Bovendien vergen grote rotondes het inzetten van een machine die kan betonneren over 8 of zelfs 9 of 10 m breedte, of anders dient de rotonde te worden gebetonneerd in twee concentrische ringen.

Als de rotonde in één dag wordt gebetonneerd, moet de machine aan het einde van de werken worden gereinigd op het niet volledig verharde beton en wordt de machine gedurende enkele dagen op de rotonde vastgezet. Dit is de tijd die het beton nodig heeft tot het een voldoende weerstand heeft bereikt en berijdbaar is.



Betonnering met een glijbekistingsmachine



### 4.2.3. ENKELE BIJZONDERE MAATREGELEN

#### 4.2.3.1. BETONNEREN IN ÉÉN FASE EN OP ÉÉN DAG

Omdat de sluiting van de betonnering op de ring gebeurt op beton dat nog niet verhard is, moet een loopbrug worden voorzien om de voeg te kunnen afwerken zonder in het beton te stappen. Als bovendien meer dan 150 m<sup>3</sup> moet verwerkt worden, zijn twee teams nodig. Ze lossen elkaar af na ± 10 uur.

#### 4.2.3.2. BETONNEREN IN ÉÉN FASE EN OVER TWEE DAGEN

Als de betonwerken meer dan 150 m<sup>3</sup> omvatten, kan worden overwogen om aan het einde van de dag een voeg te maken. Deze voeg moet worden uitgevoerd ter hoogte van een van de verkeerseilanden van de toegangswegen om daar, net zoals voor de voeg aan het begin van de betonnering, zwaardere belastingen te vermijden.

Bij een rotonde in betonplaten worden de constructievoegen altijd gedeuveld. Bij een rotonde in doorgaand gewapend beton lopen de langswapeningen door ter hoogte van de constructievoegen.



Ankerbalk ter hoogte van een toekomstige constructievoeg over de volledige breedte van de verharding

### 4.2.3.3. BETONNEREN IN TWEE FASEN

Als het kruispunt om verkeerstechnische redenen niet kan worden afgesloten, kan betonnering in twee fasen worden overwogen. Bewegingen aan de uiteinden als gevolg van krimp en temperatuurschommelingen blijven over het algemeen beperkt. Op dit vlak moet bijgevolg geen enkele voorzorgsmaatregel worden genomen, behalve voor rotondes met een zeer grote straal (maar in dat geval vormt het verkeer normaal geen probleem), of indien de tijd tussen de twee betonneringsfasen erg lang is (een jaar of meer).

Er dient ruime aandacht te worden besteed aan de invloed van het verkeer. Voornamelijk zwaar verkeer kan immers trillingen veroorzaken aan het uiteinde van de gebetonneerde verharding en de constructievoegen beschadigen.

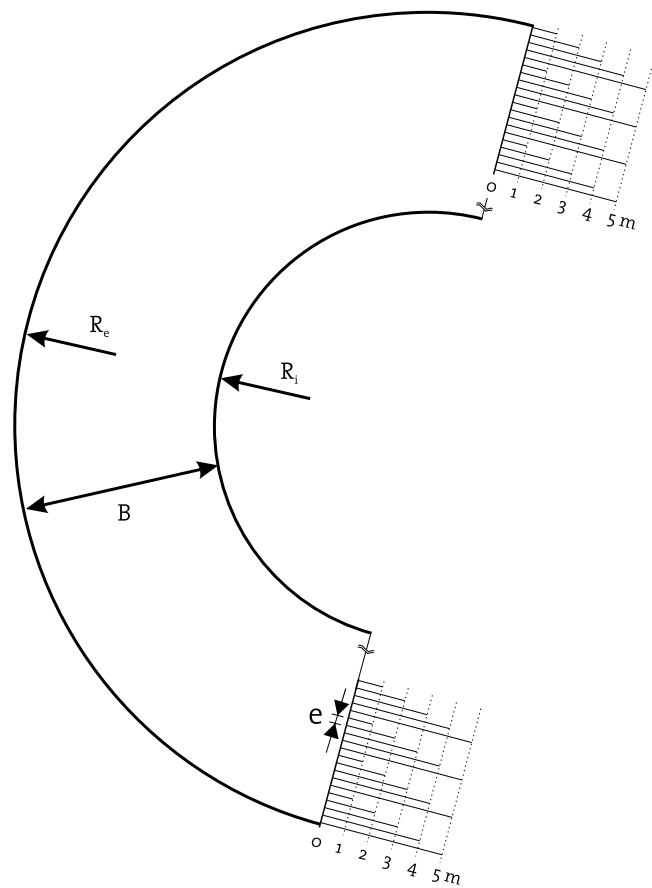
Om bewegingen aan de uiteinden tegen te gaan zijn verschillende oplossingen mogelijk:

- de twee uiteinden van de verharding van ballast voorzien, bijvoorbeeld vochtig zand. De aanbevolen belasting gebeurt over de hele breedte van de verharding, over een minimale dikte van 50 cm en een lengte van 15 m. Bij plaatsgebrek kan deze lengte worden verminderd, op voorwaarde dat de dikte van de ballastlaag toeneemt;
- een ankerbalk aanbrengen aan de twee uiteinden over de volledige breedte van de verharding, naar analogie van de rib van een verankeringslandhoofd bij een klassieke verharding in DGB.

Betonnering van een rotonde in twee verschillende fasen



Bij een rotonde in betonplaten worden de constructievoegen altijd gedeuveld. Bij een rotonde in doorgaand gewapend beton steken de langswapeningen uit om de staven van de tweede fase te kunnen koppelen aan de staven van de eerste fase, en dit met een overlappingslengte van minstens 1 m. Een belangrijk aspect is de lengte van de langse wachtstaven. Het is noodzakelijk die lengte te laten variëren om een grote concentratie overlappingsen in eenzelfde radiale sectie te vermijden. Een oplossing bestaat erin de langstaven beurtelings te verlengen met 1, 2, 3, 4 en 5 m (figuur 5).



Figuur 5 – Voorbeeld van variatie in de lengte van de langswapeningen in een constructievoeg om een grote concentratie overlappingsen op eenzelfde straal te vermijden

#### 4.2.3.4. BETONNEREN VAN DE AANZETTEN

Om eerder vermelde redenen worden de aanzetten van de op- en afritten in beton tegelijk met de ring bekist en gebetonneerd. De aanzet moet zodanig zijn dat de kortste zijde minstens 50 tot 100 cm lang is.

#### 4.2.3.5. AFSCHERMEN VAN DE STRAATKOLKEN

De eventuele straatkolken moeten worden afgedekt om te vermijden dat bij het uitwassen van het oppervlak beton of cementmelk in het afwateringssysteem dringt.

Om de continuïteit van de rijweg te verzekeren moet bij betonnering met een trilbalk de hoogte van de bekisting worden ingesteld met behulp van een plank die wordt aangebracht tegen de rand van de straatkolk.



Betonnering van de aanzetten

## UITVOERING VAN OVERSCHRIJDBARE STROKEN

Rammelstroken en verkeerseilanden vormen punten die ook ruime aandacht vereisen.

Om ervoor te zorgen dat vrachtwagens en/of lange voertuigen een rotonde gemakkelijker kunnen oversteken, is een grote diameter aangewezen. Een dergelijke rotonde heeft echter tot gevolg dat lichtere voertuigen zoals wagens niet altijd voldoende vertragen. Zo kan een oplossing worden aangereikt door een goede dimensionering en een gepast ontwerp van een overschrijdbare binnenring. Door deze ring uit te voeren in gekleurd, uitgewassen of gefigureerd beton, kunnen auto's dankzij dit visuele aspect binnen de rotonde worden geleid, terwijl de vrachtwagens over deze rammelstrook kunnen rijden.

Afhankelijk van het verkeer en de breedte ervan zal de betonverharding van de overschrijdbare binnenring een dikte hebben van 20 tot 25 cm. Dit beton moet ook gewapend zijn. Een wapening geplaatst in het bovenste gedeelte van de verharding, bestaande uit staven van 10 mm diameter, om de 15 cm en in de 2 richtingen, en met een betondekking van 40 mm is meestal een goede oplossing om een tussenafstand van 4 meter tussen de krimpvoegen mogelijk te maken. De fundering is in mager beton en 20 cm dik.

Gezien de rammelstrook is ontworpen voor vrachtwagens, wordt beter geen boordsteen op de buitenomtrek geplaatst, ongeacht het type verharding van de rotonde (beton- of asfaltverharding). Meestal zal de overschrijdbare strook op hetzelfde niveau worden aangelegd als de wegverharding. Om wagens nog meer te ontraden, kan de strook eventueel lichtjes worden verhoogd en van een afgeschuinde rand voorzien (2 cm x 2 cm). Merk op dat bij een verharding in platenbeton de continuïteit van de radiale voegen verzekerd moet zijn.

Als er slechts weinig of zelfs helemaal niet over de rammelstrook wordt gereden, kan deze worden verhoogd ten opzichte van de wegverharding. In dit geval wordt een opsluitband aanbevolen. Deze band kan bestaan uit beton met wit cement om het visuele effect te verhogen.





Rammelstrook in gefigureerd beton. Merk op dat er geen enkele rand wordt geplaatst tussen deze ring en de verharding van de rotonde. Bij een verharding in betonplaten moet de continuïteit van de radiale voegen worden verzekerd.



De lezer zal opmerken dat alle behandelde punten voor de rammelstroken ook gelden voor de verkeerseilanden.



Plaatselijke verbreding in gefigureerd beton voor een betere doorgang van de vrachtwagens

#### 4.2.3.6. AANVOER VAN HET BETON

Ongeacht of de betonnering in een of twee fasen gebeurt, is het door de beschikbare plaats aan de buitenkant van de rotonde niet vaak mogelijk om er kranen en vrachtwagens te laten rijden voor de aanvoer van het beton. Daarom gebeurt de bevoorradiging meestal via het middeneiland. Bij een verharding in doorgaand gewapend beton moet er een doorgang in de wapening worden opengelaten. Deze doorgang wordt aan het einde van de betonnering weer gesloten. De kraan die op het eiland is blijven staan om de betonnering te voltooien kan pas na enkele dagen worden weggehaald.

#### 4.2.3.7. INTEGRATIE VAN EEN ROTONDE IN EEN BESTAANDE WEG VAN DOORGAAND GEWAPEND BETON

Het gebeurt steeds vaker dat men een rotonde in doorlopend gewapend beton wil integreren op een bestaand kruispunt en waarbij de hoofdweg in beton er al ligt. De inplanting van de rotonde zal dus de continuïteit van de langswapeningen onderbreken. Om te vermijden dat de uiteinden van de onderbroken verharding door krimp en temperatuurschommelingen al te zeer bewegen, moeten ze worden geballast. De aanbevolen belasting gebeurt over de volledige breedte van de verharding ; de laag is minimum 50 cm dik en 15 m lang. Bij plaatsgebrek kan deze lengte worden verminderd, op voorwaarde dat de dikte wordt vermeerderd. Naderhand moet de verharding aan de nieuwe rotonde in doorgaand gewapend beton worden verankerd.

Een andere oplossing bestaat erin een verankeringslandhoofd te maken aan de twee uiteinden van de onderbroken verharding. Meestal volstaat een landhoofd met drie verankeringsribben, gezien het gaat om oud doorgaand gewapend beton.



Aanvoer van beton via het middeneiland.



## BESLUIT

Rotondes in beton bieden:

- een doeltreffende weerstand tegen belastingen veroorzaakt door zwaar verkeer;
- gevarieerde oplossingen zoals betonplaten of doorgaand gewapend beton, werken met kleine of grote kromtestraal, keuze aan texturen en kleuren, een integratie in elk type omgeving;
- snelle uitvoeringsmogelijkheden en beperkt onderhoud.

Rotondes in beton vereisen in alle gevallen een gedetailleerde voorstudie en een verzorgde uitvoering, rekening houdend met de plaatselijke randvoorwaarden.

In 1995 werd de eerste rotonde in doorgaand gewapend beton ter wereld aangelegd in West-Henegouwen, aan het eind van de N52, op de kruising van de steengroeven van CCB en een industriezone. Sindsdien zijn er niet minder dan een honderdtal rotondes in DGB aangelegd in Wallonië en Vlaanderen. Afhankelijk van de moeilijkheden en de beperkingen waarmee men op elk van de werven werd geconfronteerd, werd de gebruikte techniek verfijnd. Bovendien werd een analyse van het gedrag bij de scheurvorming van verhardingen uitgevoerd. Zonder in details te treden, kunnen we uit deze studie onthouden dat de verhardingen op rotondes zich, voor wat betreft scheurvorming, exact op dezelfde manier gedragen als rechte verhardingen in DGB. Onderzoek met betrekking tot scheuropening en afstand bevestigt het goede gedrag van het beton en in het bijzonder van doorgaand gewapend beton. De techniek verdient daarom zeker aanbeveling.



I-4

Dit bulletin is een publicatie van :  
**FEBELCEM**  
Federatie van de Belgische Cementnijverheid  
Vorstlaan 68 - 1170 Brussel  
tel. 02 645 52 11 - fax 02 640 06 70  
[www.febelcem.be](http://www.febelcem.be)  
[info@febelcem.be](mailto:info@febelcem.be)

Auteur :  
ir C. Ployaert

Wettelijk depot :  
D/2011/0280/06

V. u. : A. Jasienski

#### BIBLIOGRAFIE

- [1] JASIENSKI A., Rotondes in doorlopend gewapend beton. Ontwerp - Uitvoering, Dossier Cement, bulletin n° 13, Febelcem, 1997
- [2] KABRE H., ABDO J., LAURENT G., Les carrefours giratoires - Atouts de la technique de la chaussée béton, RGRA n° 889, 2010
- [3] Carrefours giratoires en béton - Guide de dimensionnement, CIMbéton, réf T63, 2003
- [4] DEBROUX R., DUMONT R., PLOYAERT C., Roundabouts in continuously reinforced concrete, Design - Construction, 11th International Symposium on Concrete Roads, Sevilla, 2010

[infobeton.be](http://infobeton.be)

