



Funderingen in schraal beton voor lijnvormige elementen

Inleiding

Context en doelstelling van de studie

In de praktijk worden regelmatig moeilijkheden ondervonden voor funderingen in schraal beton onder lijnvormige elementen om de minimale druksterkte van 15 MPa op individuele boorkernen te bereiken, zoals vereist door het typebestek Qualiroutes (Service Public de Wallonie (SPW), Infrastructures, 2021a). Dit roept vragen op over de bepalende parameters voor de prestaties van dit materiaal onder werfomstandigheden. Om hierop een antwoord te bieden, heeft het OCW vanaf mei 2023 een experimentele studie opgezet, gebaseerd op de aanleg van twee proefvakken, met als doel de invloed van de verschillende uitvoerings- en controleparameters op de prestaties van schraalbetonfunderingen te evalueren.

Eigenschappen en normatief kader van fundering in schraal beton

Eigenschappen en toepassingen

Schraal beton is een star funderingsmateriaal, samengesteld uit cement, water, zand en granulaten. Vergelijkbaar met klassiek ("rijk") beton, maar met lagere cement- en watergehaltes, vertoont het een "droge" consistentie van het type S1 ("vochtige aarde"), die verdichting vereist tijdens de uitvoering (Fédération Belge du Ciment [FEBELCEM], 2004).

Dankzij zijn stijfheid zorgt het voor een spreiding van de belastingen over een groter oppervlak van de ondergrond en beperkt het zo de spanningen die worden overgebracht naar het baanbed. Het is bijzonder geschikt voor, heterogene of kleiïge gronden en draagt bij tot een verbeterde duurzaamheid van infrastructuur ten aanzien van mechanische belastingen, inwerking van water en vorst. Schraal beton wordt courant gebruikt als funderingslaag onder rijwegen in beton of asfalt en fietspaden. Het kan ook dienen als fundering voor voetpaden en lijnvormige elementen zoals boordstenen, watergreppels en goten, die het hoofdonderwerp van dit artikel vormen.

In deze laatste toepassing bestaat de rol ervan uit het waarborgen van de ondersteuning, de opsluiting en de stabiliteit van de constructies, terwijl de belastingen naar de ondergrond worden gespreid. Het is bekend dat de prestaties van schraal beton sterk afhangen van de uitvoeringsomstandigheden, met name het watergehalte, de verdichting en de nabehandeling, die rechtstreeks de bekomen densiteit en mechanische sterkte beïnvloeden.

Volgens de norm NBN B 15-001 (Bureau voor Normalisatie [NBN], 2026a) moet schraal beton minstens behoren tot een sterkteklasse C12/15, een consistentie S1 hebben en een maximale korreldiameter $D_{\max}$ van 20 mm vertonen.

Het Waalse regelgevend kader

Voor funderingen van voetpaden en lijnvormige elementen in Wallonië schrijft, indien het schraal beton met gespecificeerde prestaties betreft, het typebestek Qualiroutes (Service Public de Wallonie (SPW), Infrastructures, 2021b) schraal beton van sterkteklasse C16/20 voor volgens de NBN EN 206 (NBN, 2026b) en de NBN B 15-001 (NBN, 2026a). Volgens deze normen wordt schraal beton beschouwd als een klassiek stortklaar beton. Het bestek Qualiroutes legt dan op dat het minstens 100 kg/m³ cement moet bevatten en een effectief watergehalte van minder dan 8% (Hoofdstuk F.4.5.2.2.2) (Service Public de Wallonie (SPW), Infrastructures, 2021b).

Het beton moet worden aangebracht (F.4.5.2.2.5), verdicht en beschermd binnen een maximale termijn van twee uur na de vervaardiging ervan. Het aanbrengen is verboden indien de luchttemperatuur om $8u \leq 1^\circ\text{C}$ bedraagt of indien het 's nachts heeft gevoren bij $\leq -3^\circ\text{C}$. De conformiteit wordt beoordeeld op basis van boorkernen genomen op de werf, met een minimale individuele sterkte van 15 MPa na 90 dagen (F.4.5.3.1). De controle (F.4.5.4.2.1.) voorziet minstens één boorkern per 200 m lijnvormige elementen of één boorkern per 500 m² voetpad, met een minimum van drie monsternames per werf (Service Public de Wallonie (SPW), Infrastructures, 2021b).

Het Vlaamse regelgevend kader

In Vlaanderen hanteert het Standaardbestek 250 (Vlaamse Overheid, Agentschap Wegen en Verkeer [AWV], 2025) een andere benadering, gebaseerd op zowel een minimale gemiddelde sterkte van 12 MPa als een minimale individuele sterkte van 9 MPa. Het materiaal wordt gespecificeerd als een schraal beton van klasse C9/12 conform de NBN EN 14227-1 (NBN, 2013), die dit type materiaal beschouwt als een wegfundering behandeld met hydraulische bindmiddelen. Deze benadering vereist stelselmatig een voorafgaande studie van de mengselsamenstelling in het labo om de samenstelling van het mengsel te bepalen, alsook een conformiteitscontrole via boorkernen op de werf a posteriori.

Het SB 250 legt dus een systematische voorafgaande studie op, en er worden controles op boorkernen uitgevoerd per sectie en subsectie, waarbij doorgaans een boorkern willekeurig wordt genomen in elke subsectie om de individuele sterktes en diktes te bepalen, terwijl de gemiddelde waarden worden berekend op het niveau van de sectie (zie Tabel 1).

Toepassingen	SB Qualiroutes	SB 250
Wegen en verharde zijstroken	Individueel ≥ 12 MPa (handmatig spreiden verboden)	Individueel ≥ 9 MPa Gemiddeld ≥ 12 MPa (labo 28D ≥ 15 MPa)
Parkings	Individueel ≥ 12 MPa	
Ter plaatse gestorte lijnvormige elementen	Individueel ≥ 15 MPa (zelfde machine als het lineaire element)	
Voetpaden en geprefabriceerde lijnvormige elementen	Individueel ≥ 15 MPa (indien samen met de weg uitgevoerd, Individueel ≥ 12 MPa)	

Tabel 1 – Vereisten van het typebestek Qualiroutes en van het SB 250 (v5.0) –
Druksterktes na 90 dagen op boorkernen van schraal funderingsbeton

Eerste proefvak: invloed van de draagkracht van de ondergrond

Doelstelling en hypothese

Dit eerste proefvak werd opgezet om de hypothese te toetsen dat de verdichtingskwaliteit van schraal beton wordt beïnvloed door de draagkracht van de onderfundering waarop het wordt aangebracht. Om dit effect te evalueren, heeft het OCW een experimenteel proefvak aangelegd, bestaande uit een funderingslaag in schraal beton met een identieke samenstelling over de volledige lengte, maar rustend op verschillende secties van de onderfundering met uiteenlopende draagkrachtniveaus.

Uitvoering

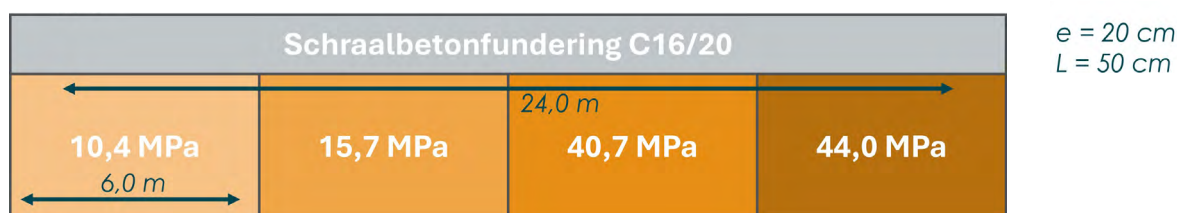
Het eerste proefvak voor de fundering in schraal beton werd aangelegd op de site van OCW te Sterrebeek in mei 2023. In het kader van een voorafgaand terreinonderzoek werd een dynamische PANDA-penetrometer gebruikt om de meest geschikte locatie voor de proef te bepalen. Vervolgens werd een uitgraving uitgevoerd om een fundering in schraal beton van 20 cm dikte, 50 cm breedte en 24 m lengte aan te brengen, onderverdeeld in vier secties van 6 m.

De draagkracht van de onderfundering, gemeten met de Belgische statische plaatproef, verschilde bewust tussen deze vier secties, met respectieve draagkrachtmoduli M1 van 10,4; 15,7; 40,7 en 44,0 MPa. Om de hoogste draagkrachtniveaus te bereiken, heeft OCW de grond vervangen door een steenslaglaag van (gebroken) beton. Zo werd een vervangingslaag van 35 cm aangebracht in zone 3, terwijl deze 45 cm bedroeg in zone 4.

Er werd schraal beton van sterkteklasse C16/20 gebruikt. De verdichting gebeurde met trilplaten die conform zijn voor deze toepassing. Proctor-proefstukken vervaardigd met datzelfde beton in het laboratorium vertoonden een gemiddelde druksterkte na 28 dagen (R_{c28f}) van 21,6 MPa bij een dichtheid van 2380 kg/m³.



Figuur 1 – Uitvoeringsstappen van de fundering in schraal beton op de site van Sterrebeek. © OCW



Figuur 2 – Schematische voorstelling van het proefvak bedoeld om de invloed van de draagkracht van de onderfundering te evalueren. © OCW

Na de uitvoering werd in elke zone een boorkernproefprogramma gevolgd, met kernen met een diameter van 113 mm:

- Druksterkte: 3 kernen per zone getest na 28 dagen en 3 kernen na 100 dagen.
- Splijttreksterkte: 3 kernen per zone voor trekproeven na 100 dagen.

Resultaten

Het gebruikte beton (C16/20) vertoonde een gemiddelde druksterkte van 21,6 MPa in het laboratorium (bepaald op Proctorproefstukken) ter vergelijking.

	Draag- vermogen (M1) [MPa]	28 dagen				100 dagen					
		VM [kg/m³]		Druksterkte [MPa]		VM [kg/m³]		Druksterkte [MPa]		Splijttreksterkte [MPa]	
		Ind.	Gem.	Ind.	Gem.	Ind.	Gem.	Ind.	Gem.	Ind.	Gem.
Z1	10,4	2420	2390	23,1	21,0	2330	2330	26,3	26,6	2,30	2,43
		2370		20,1		2340		28,0		2,50	
		2380		19,7		2320		25,4		2,60	
Z2	15,7	2410	2397	19,8	20,9	2350	2360	27,8	26,0	2,80	2,33
		2400		19,6		2370		28,5		2,20	
		2380		23,2		2360		21,8		2,00	
Z3	40,7	2360	2337	21,4	21,2	2350	2340	28,4	25,0	2,70	2,68
		2340		21,9		2330		20,1		2,85	
		2310		20,4		2340		26,6		2,50	
Z4	44,0	2350	2330	22,1	21,4	2330	2333	26,0	27,6	2,60	2,42
		2320		20,9		2330		28,2		2,35	
		2320		21,3		2340		28,5		2,30	

Tabel 2 – Resultaten van de proeven uitgevoerd op de genomen boorkernen (VM = natte volumieke massa)

De druksterktes gemeten aan boorkernen op 28 dagen liggen relatief dicht bij elkaar en variëren van 19,6 tot 23,2 MPa, ondanks een meer dan verviervoudiging van de draagkracht van de ondergrond tussen de zones Z1 en Z4. Deze tendens wordt bevestigd na 100 dagen, met sterktes tussen 25,0 en 27,6 MPa, wat wijst op een beperkte invloed van de draagkracht van de onderfundering op de mechanische sterkte van het schraal beton.

De op de boorkernen gemeten dichtheden na 28 dagen, gelegen tussen 2310 en 2420 kg/m³, vertonen een zekere spreiding rond de referentie-Proctordichtheid van 2380 kg/m³. Na 100 dagen blijkt deze spreiding kleiner, met gemiddelde dichtheden tussen 2320 en 2370 kg/m³.

Bovendien tonen de resultaten na 28 dagen licht hogere dichtheden in de zones 1 en 2 dan in de zones 3 en 4, terwijl deze laatste net veel hogere draagkrachtwaarden vertonen. Na 100 dagen kan geen duidelijk verband worden vastgesteld tussen de gemeten dichtheid van de boorkernen en de draagkracht van de onderfundering.

Het eerste proefvak heeft de oorspronkelijke hypothese niet kunnen bevestigen: er werd geen significante invloed van de draagkracht van de ondergrond vastgesteld op de druksterkte of de splijttreksterkte van de boorkernen van deze fundering in schraal beton, ongeacht of de ondergrond een zeer lage of juiste hoge draagkrachtwaarde vertoonde. Er dient echter te worden opgemerkt dat de geometrie van het proefvak de verdichtingsomstandigheden van het materiaal mogelijk heeft bevoordeeld. De aanwezigheid van grond aan weerszijden van de fundering creëerde immers een zijdelingse opsluiting die de verplaatsing van het beton tijdens de verdichting kon beperken. Deze configuratie heeft waarschijnlijk bijgedragen tot het bekomen van hoge en relatief homogene dichtheden, en tegelijk de spreiding van de gemeten sterktes beperkt.

Dit heeft OCW ertoe gebracht zijn onderzoek te heroriënteren naar meer operationele factoren met betrekking tot de uitvoering van funderingen in schraal beton (verwerkbaarheidstijd, randeffect, staalnamevoorwaarden, enz.).

Tweede proefvak: invloed van de werf- en controleparameters

Doelstelling en hypothese

Het tweede proefvak werd aangelegd tussen mei en augustus 2025 op de site van Tradecowall te Fernelmont. Dit proefvak bouwde voort op de resultaten van het eerste proefvak van Sterrebeek en had tot doel de volgende parameters te isoleren:

- het effect van de tijdsperiode tussen het mengen en het aanbrengen van het schraal beton;
- de invloed van de methode voor het boren van de kernen;
- de invloed van het boormateriaal;
- de invloed van de leeftijd van het beton bij de staalname;
- het effect van de positie van de boorkern in de fundering.

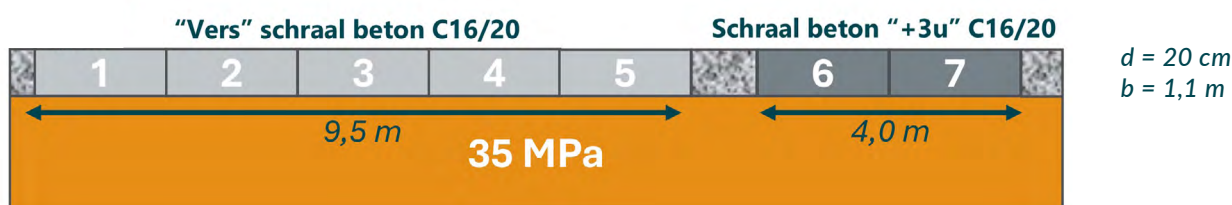
Uitvoering

Het gebruikte schraal beton was strikt conform aan het typebestek Qualiroutes: klasse C16/20, 160 kg/m³ CEM III/A, omgevingsklasse EE1, consistentie S1, D_{max} = 20 mm. De verdichting gebeurde met trilplaten die conform zijn voor deze toepassing.

Om de reële werfomstandigheden beter te weerspiegelen, werd het proefvak met name uitgevoerd zonder zijdelingse opsluiting. De fundering in schraal beton werd manueel aangebracht over een breedte van 1 meter om het randeffect te observeren, en over een dikte van 20 cm. Er werd een totale lengte van 14 meter aangelegd, onderverdeeld in 7 zones. Eén sectie werd uitgevoerd met “vers” beton (aangebracht 15 minuten na vervaardiging) en een andere met beton “+3u”, waarbij de wachttijd voor het aanbrengen 3 uur bedroeg. Het doel was om bepaalde werfsituaties na te bootsen waarin eenzelfde levering schraal beton gedurende meerdere uren wordt gebruikt om lijnvormige elementen aan te brengen. De aanleg gebeurde zonder zijdelingse opsluiting om de reële werfomstandigheden te simuleren waarbij de randen moeilijk te verdichten zijn. Er werd een vaste onderfundering met een draagkracht van 35 MPa gebruikt.



Figuur 3 – Uitvoeringsstappen van de fundering in schraal beton op de site van Fernelmont. © OCW



Figuur 4 – Schematische voorstelling van het proefvak bedoeld om bijkomende operationele parameters te evalueren. © OCW

Boorkern- en proefprogramma

In totaal werden 160 boorkernen genomen door zeven verschillende geaccrediteerde laboratoria, met behulp van verschillende boormachines. Om de spreiding van de resultaten door de druksterkteproeven te beperken, werden alle drukproeven uitgevoerd door één enkele operator van OCW. Voor elke boring werden de GPS-coördinaten van de staalnamepunten geregistreerd. Deze gegevens maakten het mogelijk een gedetailleerde kartering van het proefvak op te stellen en de ruimtelijke variabiliteit van de gemeten eigenschappen te analyseren, in het bijzonder de druksterkte en de dichtheid.

Resultaten

Spreiding van de resultaten

Globale spreiding

Tabel 3 vat de statistische gegevens samen van de 160 boringen van het proefvak.

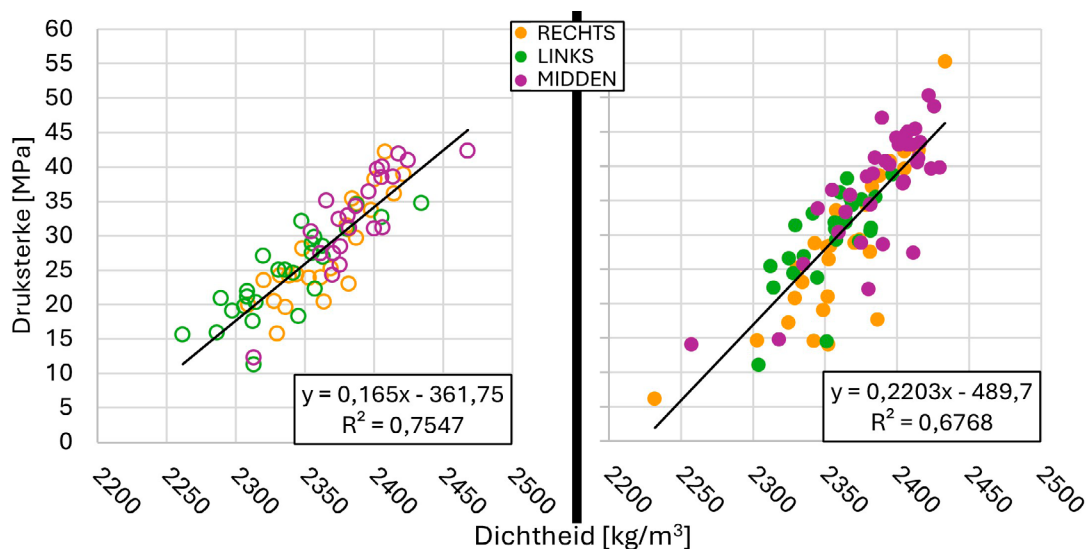
	Statistische parameters Druksterkte				
	Gemiddelde [MPa]	Standaardafwijking [MPa]	VC [%]	Minimumwaarde [MPa]	Maximumwaarde [MPa]
28 dagen	28,0	7,6	27,0	11,2	42,3
90 dagen	32,1	9,7	30,2	6,1	55,2

Tabel 3 – Statistische samenvatting van de drukresultaten bekomen op de boorkernen genomen in het tweede proefvak

VC = Variatiecoëfficiënt

Deze tabel toont in de eerste plaats een sterke spreiding van de op de boorkernen gemeten druksterktes, zowel na 28 als na 90 dagen, waarbij deze variabiliteit na 90 dagen echter meer uitgesproken is.

Na 28 dagen bedraagt de standaardafwijking van de druksterktewaarden 7,6 MPa, met een variatiecoëfficiënt VC van 27% over het volledige proefvak. De sterktes vertonen een spreidingsbreedte van 31,1 MPa tussen de uiterste waarden. Na 90 dagen is de spreiding groter, met een standaardafwijking die 9,7 MPa bereikt (VC = 30,2%) en sterktes met een spreidingsbreedte van 49,1 MPa tussen de uiterste waarden.



Figuur 5 – Verband tussen de volumieke massa en de druksterkte van de boorkernen na 28 dagen (links) en na 90 dagen (rechts).

Figuur 5 illustreert deze toename van de variabiliteit, waarbij het verband tussen de dichtheid en de druksterkte duidelijker is na 28 dagen dan na 90 dagen, zoals waargenomen in Tabel 3.

De resultaten wijzen op een toename van de spreiding in de tijd. Deze vaststelling is belangrijk om in overweging te nemen, aangezien de conformiteitscontrole van het typebestek Qualiroutes (F.4.5.3.1) steunt op een vaste drempel toegepast na 90 dagen (Service Public de Wallonie (SPW), Infrastructures, 2021b).

Invloed van de aanbrengingstermijn

Naast de toename van de spreiding met de ouderdom van het beton die wordt vastgesteld, tonen de resultaten ook aan dat, bij een identieke controleleeftijd, de variatiecoëfficiënt (VC) sterk varieert naargelang de aanbrengingstermijn.

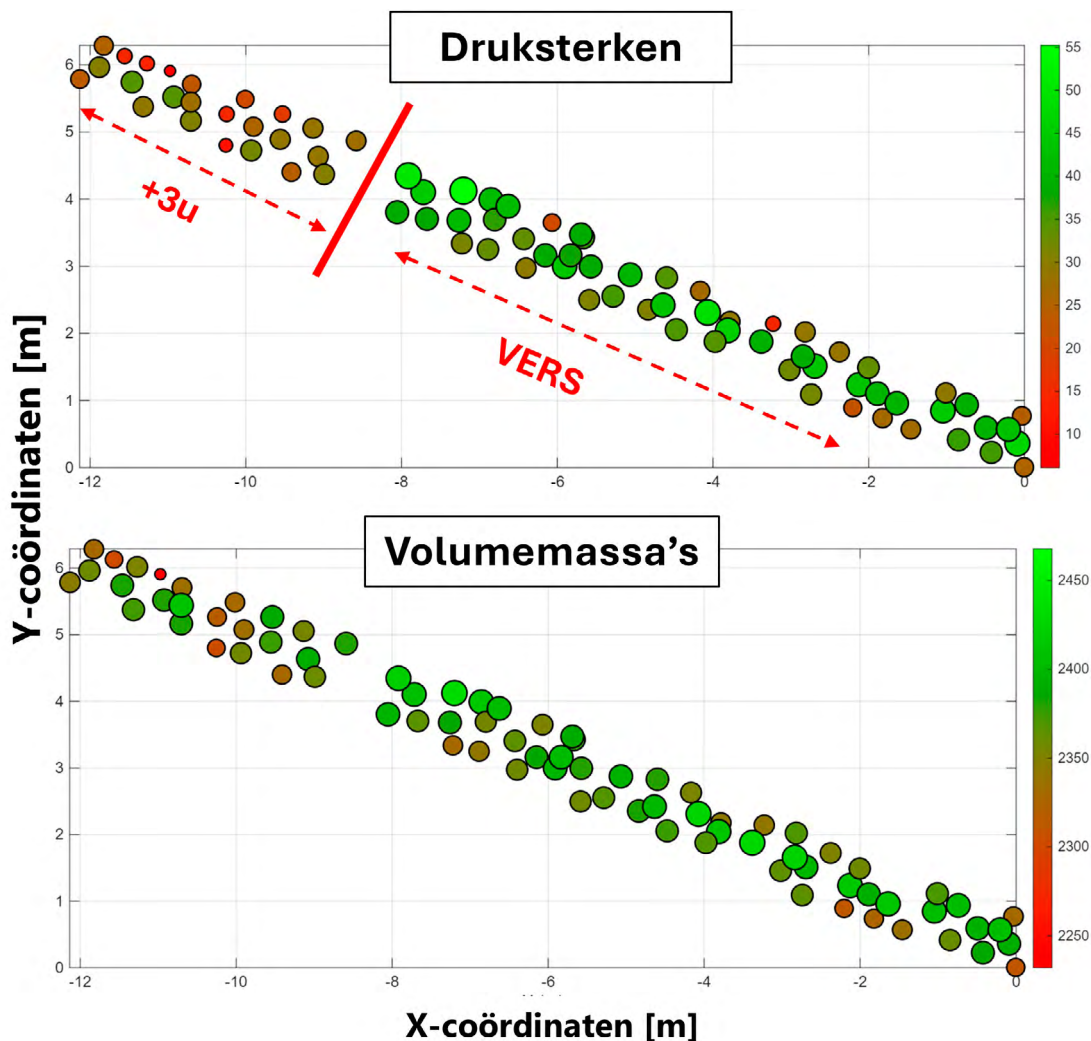
Sectie	Gemiddeld [MPa]	Standaardafwijking [MPa]	VC [%]	Minimumwaarde [MPa]	Maximumwaarde [MPa]
"VERS"	36,3	7,7	21,3	14,5	55,2
" +3u"	24,1	7,5	31,3	6,1	34,5

Tabel 4 - Statistische samenvatting van de druksterktes na 90 dagen naargelang de aanbrengingstermijn.

Na 90 dagen toont Tabel 4 dat de spreiding met 10% toeneemt (van 21,3% naar 31,3%) bij een met drie uur vertraagde aanbrengingstermijn. De gemiddelde sterkte daalt drastisch met 12,2 MPa (van 36,3 MPa naar 24,1 MPa), wat de significante impact van de aanbrengingstermijn voor schraal beton aantoont.

Deze verwerkbaarheidstijd is kritisch, want hij komt overeen met een fase waarin de eerste hydratatiereacties van het cement reeds aan de gang zijn. Tijdens deze periode vormen zich de eerste hydratatieproducten, die de eerste bindingen in het beton creëren. Wanneer de verdichting laattijdig plaatsvindt, worden deze prille bindingen verbroken onder de mechanische inwerking van de verdichting. Aangezien deze breuk onomkeerbaar is, worden de vernietigde bindingen niet volledig hersteld, zelfs als de hydratatie nadien verdergaat. Bovendien maakt het verlies van verwerkbaarheid het materiaal moeilijker te verdichten. De combinatie van deze twee fenomenen kan de daling van de gemeten dichtheden verklaren, evenals de significante afname van de druksterktes vastgesteld op de secties die na drie uur werden aangebracht.

Figuur 6, die de sterktes en dichtheden na 90 dagen karteert, laat dit effect duidelijk zien: de laattijdig verdichte zones blijken er beduidend minder performant.



Figuur 6 – GPS-kartering van de resultaten bekomen op de boorkernen genomen in het tweede proefvak. © OCW

Invloed van de zijdelingse opsluiting en het randeffect

Naast dit effect gekoppeld aan de aanbrengingstermijn, laat de GPS-kartering ons toe een tweede tendens te onderscheiden. De dichtheids- en druksterktewaarden liggen doorgaans hoger in het midden van het proefvak dan aan de randen ervan. Tabel 5 vat de statistische gegevens samen van de na 90 dagen genomen boorkernen, met een onderscheid tussen de centrale zone en de zijdelingse zones.

Sectie		Gemiddeld [MPa]	Standaardafwijking [MPa]	VC [%]	Min [MPa]	Max [MPa]
"VERS"	Centraal	41,7	4,2	10,1	33,3	50,3
	Zijdelings	32,1	7,9	24,6	14,5	55,2
"+3u"	Centraal	28,1	6,2	22,1	14,8	34,5
	Zijdelings	22,2	7,5	33,9	6,1	31,8

Tabel 5 – Statistische samenvatting van de druksterktes na 90 dagen naargelang de aanbrengingstermijn en de omstandigheden van zijdelingse opsluiting

Zelfs voor het gedeelte dat vers werd aangebracht, vertoont het proefvak in schraal beton een sterke spreiding. Door het op te splitsen, wordt de oorsprong van deze variabiliteit duidelijker: in het midden bereikt de gemiddelde sterkte 41,7 MPa met een relatief beperkte spreiding van 4,2 MPa, terwijl aan de zijkanten de sterkte met 9,6 MPa daalt tot 32,1 MPa en de standaardafwijking oploopt tot 7,9 MPa, oftewel bijna het dubbele.

Dit wijst op een opsluitingseffect tijdens de verdichting. In het midden van het proefvak geniet het materiaal van een zijdelingse steun verzekerd door het beton aan weerszijden van de verdichte zone, wat de verdichting ervan bevordert. Aan de zijdelingse uiteinden daarentegen beperkt het ontbreken van aangrenzend materiaal dit opsluitingseffect. Een deel van de verdichtingsenergie gaat dan verloren door de zijdelingse verplaatsing van het materiaal, wat de doeltreffendheid van de verdichting vermindert en leidt tot lagere dichtheden en mechanische sterktes.

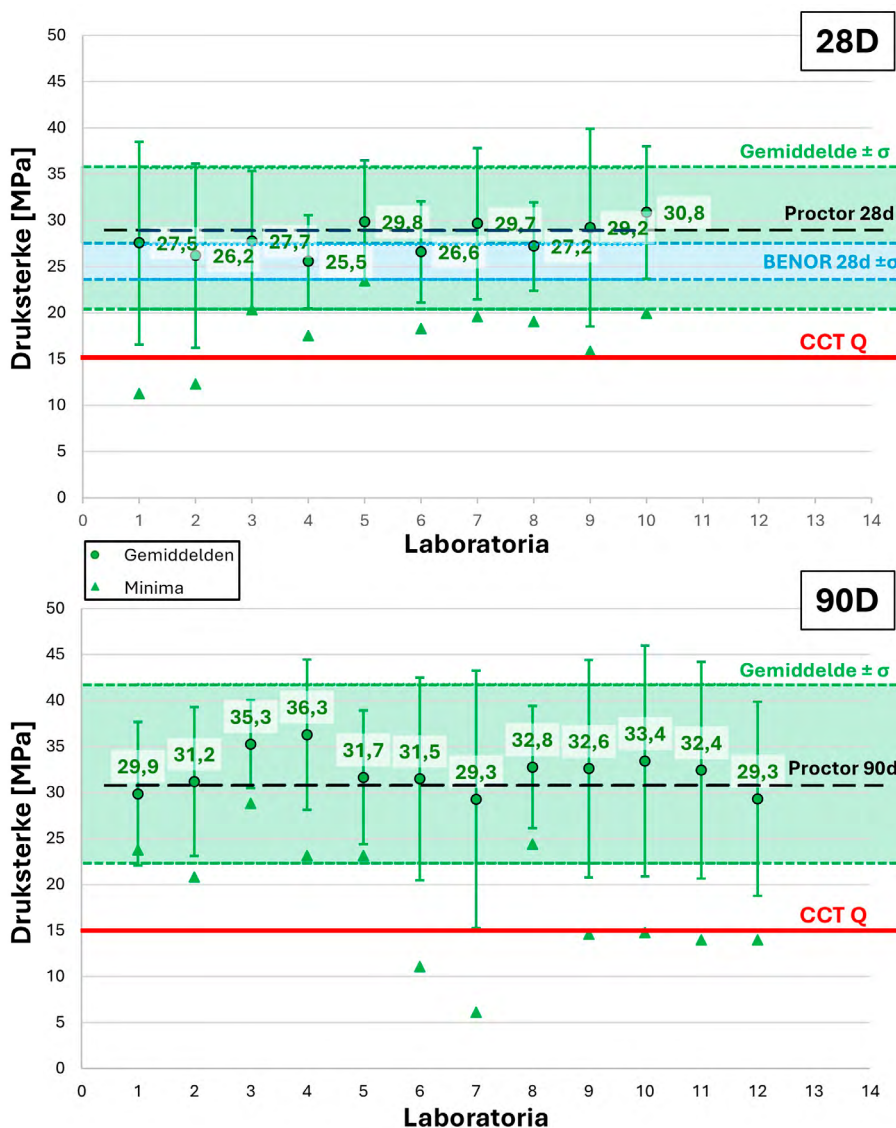
De invloed van de boorwerkzaamheden

OCW deed een beroep op 7 laboratoria geaccrediteerd volgens ISO 17025-BELAC (Internationale Organisatie voor Standaardisatie [ISO], 2017), naast zijn eigen teams, om de 160 boringen van deze studie uit te voeren. De betrokkenen gebruikten 3 verschillende types boormachines: gemonteerd op voertuigen, draagbare toestellen en op aanhangwagens met stabilisatoren.

Hoewel de gemiddelden per laboratorium onderling globaal coherent zijn, werd voor elke deelnemer een sterke interne spreiding vastgesteld, zoals blijkt uit Figuur 7. Elk laboratorium registreerde een aanzienlijke standaardafwijking op zijn eigen staalnames, zelfs wanneer de boringen op zeer korte afstand van elkaar werden uitgevoerd (minder dan één meter).

Alle gemiddelden bevinden zich binnen het interval van de resultaten bekomen op de Proctor-proefstukken en blijven verenigbaar met de verwachte prestaties voor beton geleverd onder BENOR-certificering. Van de tien laboratoria hebben er zes een gemiddelde binnen het interval $\pm 1\sigma$ (standaardafwijking) van het BENOR-gemiddelde, terwijl de vier andere iets verder afwijken maar binnen $\pm 2\sigma$ blijven.

Deze vaststellingen tonen aan dat de waargenomen spreiding niet het gevolg is van een systematische afwijking gekoppeld aan de laboratoria, maar voornamelijk verband houdt met de intrinsieke variabiliteit van schraal beton.



Figuur 7 – Vergelijking van de druksterktes gemeten op de boorkernen genomen door de verschillende laboratoria (1 tot 12) na 28 en 90 dagen. © OCW

Gevolgen van de spreiding voor de beoordeling van de conformiteit met het typebestek Qualiroutes (F.4.5.3.1)

Onderstaande tabel toont, voor elke uitvoeringszone, het aantal en het percentage boorkernen waarvan de sterkte lager is dan de door het bestek Qualiroutes vastgelegde drempel (< 15 MPa) of meer dan het dubbele van die waarde bedraagt (> 30 MPa).

Sectie		N _{TOT}	N _{< 15 MPa}	% _{< 15 MPa}	N _{> 30 MPa}	% _{> 30 MPa}
"VERS"	Zijdelings opgesloten	24	0	0,0 %	24	100,0 %
	Niet zijdelings opgesloten	36	2	5,6 %	22	61,1 %
"+3u"	Zijdelings opgesloten	8	1	12,5 %	3	37,5 %
	Niet zijdelings opgesloten	17	4	23,5 %	3	17,6 %
Totaal		85	7	8,2 %	52	61,2 %

Tabel 6 – Verdeling van de druksterkteresultaten na 90 dagen van de boorkernen, naargelang de uitvoeringsomstandigheden

Zoals deze tabel toont, vertoont over het volledige proefvak 8,2% van de na 90 dagen geteste boorkernen een sterkte onder de door het typebestek Qualiroutes voorgeschreven drempel van 15 MPa, terwijl 61,2% het dubbele van die waarde overschrijdt.

De centrale zone, vers aangebracht en zijdelings opgesloten, bevat geen enkele boorkern onder de drempel van 15 MPa, terwijl 100% van de resultaten boven 30 MPa liggen. Een dergelijke configuratie komt echter zelden voor op de werf. Funderingen bestemd voor lijnvormige elementen zijn doorgaans smaller dan de in deze studie gehanteerde breedte van 1 m en genieten dus minder van dit opsluitingseffect dat de verdichting bevordert. Wanneer de analyse betrekking heeft op niet-opgesloten zones die vers werden aangebracht, ligt 5,6% van de boorkernen onder de individuele grens van 15 MPa.

De aanbrengingstermijn, gecombineerd met het ontbreken van zijdelingse opsluiting, leidt tot een aandeel boorkernen onder 15 MPa dat kan oplopen tot 23,5% in de niet-opgesloten zones die drie uur na vervaardiging werden verdicht. Ondanks deze ongunstige omstandigheden overschrijdt niettemin 17% van deze boorkernen toch 30 MPa.

Deze resultaten tonen aan dat, ondanks een gemiddelde sterkte die ruim boven de eis van het typebestek Qualiroutes ligt en een groot aantal boorkernen dat het dubbele van dit criterium overschrijdt, plaatselijk toch individuele waarden onder de drempel van 15 MPa worden vastgesteld. Dit houdt verband met de sterke, intrinsieke spreiding gekoppeld aan de aard van van het materiaal en de aanleg van funderingen in schraal beton.

Reproduceerbaarheid van de resultaten

De statistische analyse uitgevoerd volgens ISO 5725-1 (NBN, 2023) toont een lage precisie van de boorkerncontrole aan. Na 90 dagen bedraagt de berekende relatieve waarde voor de reproduceerbaarheidsgrens ongeveer 84,9%, oftewel bijna acht keer de referentiewaarde van 11% die wordt vermeld voor de druksterkteproef op betonproefstukken in de NBN EN 12390-3 (NBN, 2019). Met andere woorden, twee boorkernresultaten bekomen op eenzelfde fundering kunnen tot ongeveer 84,9% van de gemiddelde sterkte van elkaar verschillen. De NBN EN 12390-3 (NBN, 2019) legt de 11% vast als grens voor rijke betonsoorten vervaardigd in het laboratorium, terwijl deze studie een duidelijk grotere spreiding aantoonde voor een schraal beton met laag cementgehalte en consistentie S1, waarvoor het bekomen van een perfect uniforme verdichting moeilijker is.

Met dit verschil moet rekening worden gehouden bij de interpretatie van individuele boorkernresultaten, in het bijzonder wanneer deze worden gebruikt om de conformiteit te beoordelen van een constructie met gemiddelde prestaties die ruim boven de gespecificeerde individuele eisen liggen.

Conclusies en vooruitzichten

Evaluatie van de invloed van de draagkracht van de ondergrond

De bekomen resultaten toonden in de eerste plaats aan dat de draagkracht van de ondergrond geen doorslaggevende invloed uitoefent onder de omstandigheden van het eerste proefvak. Er dient echter te worden opgemerkt dat dit proefvak in een sleuf werd aangelegd, wat het schraal beton aan weerszijden een zijdelingse opsluiting gaf die de verdichtingsomstandigheden kon verbeteren, wat niet altijd representatief is voor de werfomstandigheden.

Spreiding van de experimentele resultaten

Het tweede proefvak toonde een sterke variabiliteit aan van de op boorkernen gemeten druksterktes, ondanks beheerste experimentele omstandigheden. De resultaten suggereren dat deze variabiliteit voornamelijk verband houdt met de intrinsieke heterogeniteit van schraal beton, alsook met de uitvoeringsomstandigheden. Van de bestudeerde parameters blijken twee factoren bijzonder bepalend: de tijdspanne tussen vervaardiging en verdichting, en het randeffect gekoppeld aan het ontbreken van zijdelingse opsluiting. Voor dit type materiaal is het essentieel om de tijdspanne tussen vervaardiging en verdichting zoveel mogelijk te beperken, en onmiddellijk een bescherming tegen uitdroging toe te passen om de mechanische prestaties van het schraal beton te vrijwaren.

Lokale niet-conformiteiten met het criterium van het typebestek Qualiroutes (F.4.5.3.1)

Ondanks een gemiddelde sterkte die ruim boven de door het typebestek Qualiroutes opgelegde 15 MPa ligt, vertonen bepaalde boorkernen punctueel waarden onder deze drempel, ook in de vers aangebrachte zones, zonder zijdelingse opsluiting en onder gecontroleerde experimentele omstandigheden. Onder deze omstandigheden blijkt het statistisch mogelijk dat een fundering met een gemiddelde sterkte die ruim boven de voorgeschreven eis ligt, toch niet voldoet aan het criterium van het typebestek Qualiroutes, wegens enkele zwakke individuele resultaten.

De resultaten lijken erop te wijzen dat een lokaal gebrek moet worden onderscheiden van een niet-conformiteit van de constructie als geheel. In deze context moet de interpretatie van een individuele sterkte met de nodige voorzichtigheid gebeuren. Een benadering die de intrinsieke variabiliteit van het materiaal beter integreert, zou zo beter aangepast zijn aan de conformiteitscontrole van funderingen in schraal beton.

Referenties

- Bureau voor Normalisatie (NBN) (2013). *Hydraulisch gebonden mengsels: Specificaties. Deel 1: Met cement gebonden mengsels van korrelvormige materialen* (NBN EN 14227-1).
- Bureau voor Normalisatie (NBN) (2019). *Beproeving van verhard beton. Deel 3: Druksterkte van proefstukken* (NBN EN 12390-3).
- Bureau voor Normalisatie (NBN) (2023). *Nauwkeurigheid (juistheid en precisie) van meetmethoden en resultaten. Deel 1: Algemene principes en definities* (NBN ISO 5725-1).
- Bureau voor Normalisatie (NBN) (2026a). *Beton: Specificatie, eigenschappen, vervaardiging en conformiteit: Nationale aanvulling bij NBN EN 206:2013+A2:2021* (NBN B 15-001). Bureau voor Normalisatie (NBN) (2026b). *Beton: Specificatie, prestatie, productie en conformiteit. Deel 1: Prestatie, eisen, fabrieksproductiecontrole en beoordelingscriteria voor individuele waarden* (NBN EN 206-1).
- Federatie van de Belgische Cementnijverheid (FEBELCEM). (2004). *Cementgebonden funderingen voor wegen: Eigenschappen en toepassingen* (Dossier Cement No. 33).
- International Organization for Standardization (ISO) (2017). *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories* (ISO/IEC 17025).
- Service Public de Wallonie (SPW), Infrastructures. (2021a). *Cahier des charges type qualiroutes. Chapitre C: Matériaux et produits de construction.* (Geconsolideerde versie 2021 [en de daaropvolgende aanpassingen]). <https://infrastructures.wallonie.be/files/PDF/POUVOIR%20LOCAL/1-ROUTES/1-2-Qualite-et-construction/1-2-1-Qualiroutes/CCT-2021/Chapitre%20C.pdf>
- Service Public de Wallonie (SPW), Infrastructures. (2021b). *Cahier des charges type qualiroutes. Chapitre F: Sous-fondations et fondations.* (Geconsolideerde versie 2021 [en de daaropvolgende aanpassingen]). <https://infrastructures.wallonie.be/files/PDF/POUVOIR%20LOCAL/1-ROUTES/1-2-Qualite-et-construction/1-2-1-Qualiroutes/CCT-2021/Chapitre%20F.pdf>
- Vlaamse Overheid, Agentschap Wegen en Verkeer. (2025). *Standaardbestek 250 voor de wegenbouw. Hoofdstuk 15: Onderfunderingen en funderingen. (Versie 5.0)* https://assets.vlaanderen.be/image/upload/v1751965509/repositories-prd/SB250-Hoofdstuk15-versie5.0_kudnrh.pdf

Contactpersonen



Mehdi Bista

m.bista@brrc.be
+32 2 766 03 45



Alain Leuridan

a.leuridan@brrc.be
+32 10 23 65 36