

## Robuustheid van RONA<sup>®</sup>ton XL

Rapportage NEN-7024-1 proeven



# Robuustheid van RONA<sup>®</sup>ton XL

## Rapportage NEN7024 proeven

### Samenvatting

De in dit rapport beschreven onderzoeken betreffen het aantonen van de robuustheid van een nieuwe door Altena Infra-materialen ontwikkelde zetsteen van het type RONA<sup>®</sup>ton XL. Om de robuustheid van RONA<sup>®</sup>ton XL te bepalen, zijn onderzoeken volgens NEN-7024-1 uitgevoerd. De zetstenen waren in een schaal van 1:1,67 geometrische geschaald bij dit onderzoek.

De zetstenen zijn beproefd op

- belasting volgens de NEN-proef D3 (Bijlage D):
- vorst-/dooibestandheid volgens de NEN-proef E (Bijlage E).

Het doel van het onderzoek is vaststellen of de zetstenen de belasting van een onderhoudsvoertuig kunnen weerstaan en of de stenen bestand zijn tegen bevrozing van zeewater dat zich tussen of in de steen bevindt. RONA<sup>®</sup>ton XL kan volgens de NEN-proeven bestempeld worden als robuust en vorst-/dooibestendig.

Omdat de vormgeving dusdanig is dat met de NEN-proeven niet alle onderdelen van de zetsteen getest konden worden, is in overleg met Rijkswaterstaat besloten om de bruggen tussen de ontwateringsopeningen in de zetstenen aanvullend te beproeven met een overrijdttest en breuklasttest. Ook deze twee testen heeft RONA<sup>®</sup>ton XL doorstaan en daarom is de conclusie getrokken dat ook de bruggen in RONA<sup>®</sup>ton XL robuust zijn.

### Auteur

A. Bruins Slot

### Voor akkoord



### Datum

CONCEPT: 16 juli 2022, zonder breuklasttest, vorst-/dooitest, samenvatting en conclusie.  
DEFINITIEF: 29 augustus 2022.

## Inhoud

1. Inleiding.....	pag 4
2. Schaling.....	pag 5
3. De drukproef.....	pag 6
4. De wiellastproef.....	Pag 11
5. Vergelijking met grasbetontegels.....	Pag 16
6. De vorst-dooiproef.....	pag 16
7. Conclusie.....	pag 17
Bijlage 1	Memo Deltares “Schaalregels voor sterkteproef met RONA®ton XL”
Bijlage 2	Foto’s proef D3
Bijlage 3	2 rapporten breuklastproef van Labo De Vlieger – Van Vooren in opdracht van Bleijko
Bijlage 4	Rapport “Vorstdooizoutbestandheid” van Cugla in opdracht van Bleijko/Haringman

## 1. Inleiding

RONA<sup>®</sup>ton XL is een innovatieve steenzetting die ontwikkeld is door Altana Infra-materialen. Het ontwerp is gebaseerd op de reeds bestaande RONA<sup>®</sup>ton en de hypothese dat steenzettingen met grote zetstenen stabiel zijn dan glooiingen met kleine zetstenen.



Figuren 1, 2 en 3: RONA<sup>®</sup>ton XL, 4 individuele stenen, een set, en de zetstenen in een talud.

Om de robuustheid van deze zetsteen te bepalen zijn in de NEN-7024-1 proeven opgenomen voor belasting en vorst-/dooibestendigheid. Bij de totstandkoming van de NEN-7024-1 was er uitgegaan van zetstenen die een kubusachtige vorm zouden hebben en was nooit bedacht dat plaatvormige zetstenen zouden worden bedacht. Met name onder een hoek van 60 graden met een voetje van 5 x 5 cm drukken op een op een oppervlak bleek onuitvoerbaar en de in de NEN voorgeschreven rupskraan met een gewicht van 150.000N die met een snelheid van 10km/uur kan rijden waren niet echt voorradig. In overleg met Rijkswaterstaat is toen bepaald dat de drukproef met een haakvormige drukplaat zou gaan gebeuren op door Rijkswaterstaat aangegeven

punten op de stenen, en dat de sterkte van de “bruggen” in de stenen bepaald zou worden door met een voertuig over zetstenen, gestraat in een zandbed te rijden.

Omdat bij het ontstaan van de NEN-7024 niet was voorzien dat er ook grotere plaatvormige stenen zouden kunnen worden ontwikkeld, en de voorgeschreven proeven feitelijk niet zien op dergelijke zetsteenvormen, is nagedacht hoe een grote plaatvormige zetsteen nog meer op robuustheid getest zou kunnen worden. Daarom is aanvullend op de voorgeschreven NEN-proeven op RONA<sup>®</sup>ton XL een breuklastproef uitgevoerd zoals deze normaal volgens een vastgestelde BRL op grasbetontegels wordt uitgevoerd.

Dit rapport beschrijft de resultaten van alle proeven.

## **2. Schaling**

Bij het ontwikkelen van een nieuwe zetsteen ontstaat altijd de vraag: gaan we een kostbare productiemal laten voordat alle testen doorlopen zijn, of is de overtuiging zo groot dat de testen gedaan worden op stenen uit de productiemal. Als antwoord op die vraag is een vraag gesteld aan Rijkswaterstaat: “Mogen de robuustheidsproeven worden uitgevoerd op geschaalde zetstenen, schaal 1:1,67, dezelfde als de geschaalde zetstenen die gebruikt zijn voor de golfproeven?”

Rijkswaterstaat heeft dit vervolgens overlegd met Deltares en die heeft voor de schaling een advies gegeven (bijlage 1). De conclusie van Deltares was helder: het beproeven van geschaalde stenen met de in de NEN voorgeschreven krachten *“levert een veilig resultaat”*.

### 3. De drukproef

De in de NEN omschreven drukproef is een alternatief voor een hellingproef. Bij een hellingproef liggen de zuilen ingeklemd, hebben ze steun van de burens en wordt de drukkracht afgedragen naar een harde steenfundering (filterlaag). Bij de drukproef moet de zetsteen dus ergens op liggen en moet deze ingeklemd zijn. Vervolgens moet er op de steen gedrukt worden zodat vreemde exotische uitsteeksels getest kunnen worden op robuustheid. Maar aan RONA<sup>®</sup>ton XL zitten geen vreemde exotische uitsteeksels, dus hoeven alleen de randen getest te worden, waarbij drukken richting de kern van de steen alleen maar de druksterkte van het beton oplevert en niet of de vorm robuust is.

Echter bij drukken onder een door de NEN voorgeschreven hoek, dus op een scheef oppervlak, treedt een afschuivend effect op waardoor de zuil weg wil "schieten" of de drukcilinder cq de voet gaat vervormen en verbuigen. De sterke horizontale krachtscomponent kan nergens worden opgevangen. Om het afglijden en de horizontale verplaatsing te voorkomen is de drukplaat voorzien van een haakje. Een haakje dat zich tijdens het drukken in de sleuven vastzet.

De proef is gedaan onder een hoek van 60 graden, want RONA<sup>®</sup>ton XL drukken onder een hoek van 30 graden of 0 graden zal alleen maar hogere waarden opleveren, omdat dan alleen maar meer richting de kern gedrukt wordt. Feitelijk werkt de haak aan het voetstuk negatief voor het resultaat, omdat het een trek beweging veroorzaakt aan de zuil die in het echt nooit voor komt.

Vanwege de lomtheid van zowel de proefstukhouder, het drukelement als de proefstukken zijn de proeven uitgevoerd op een grote gewone drukbank met alleen een drukmeter en geen geavanceerde registratieapparatuur. De registratie is gedaan door elke proef te filmen.



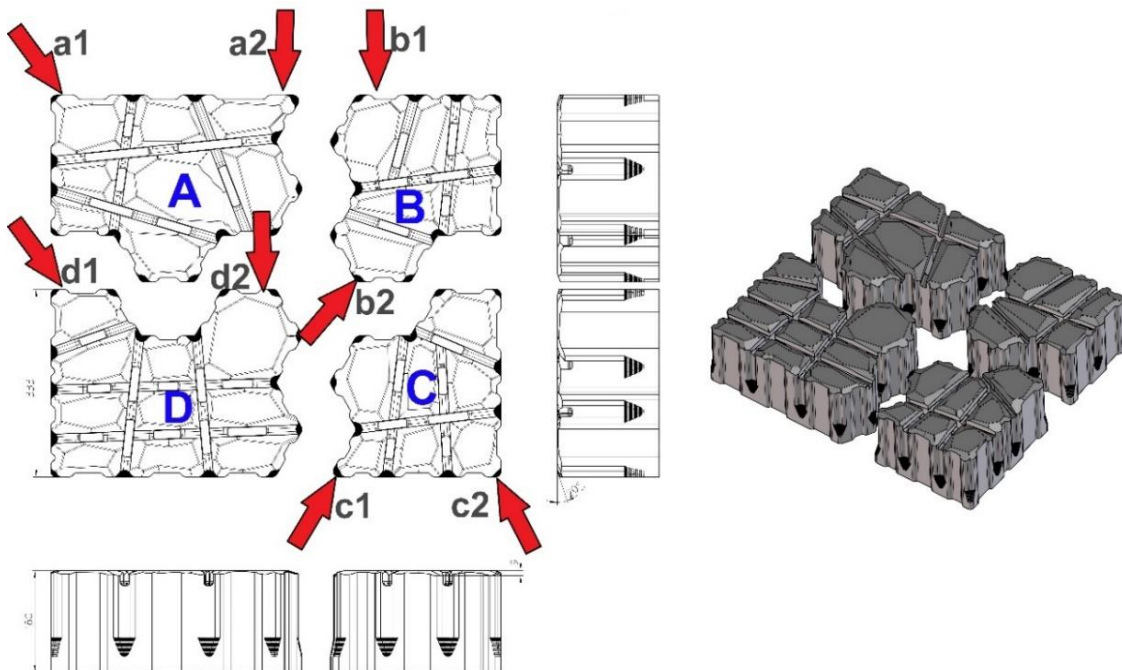
Figuren 4, 5 en 6: Drukbank voor RONA<sup>®</sup>ton XL.

De drukbank gaf geen kracht aan maar alleen de druk in Bar. De diameter van de drukstang was 40mm, hetgeen betekent dat bij het oppervlak van de zuigerstang,  $A=\pi \times R^2$ , 1 Bar druk overeenkwam met 125,6N. Voor de zekerheid hebben we de drukbank gekalibreerd. Uit de kalbratiemetingen bleek dat er een kleine afwijking in de drukmeter zat. Bij meting één werd 7,55kN gemeten en gaf de drukmeter 62 Bar aan, bij meting twee werd 12,47kN gemeten en gaf de drukmeter 103Bar aan. Hieruit kan geconcludeerd worden dat 1 Bar overeenkomt met 121,8N respectievelijk 121,1N. Voor de omrekening van de proefresultaten is de laagste waarde aangehouden.



Figuren 7, 8 en 9: Kalibratieapparaat en 2 kalibratiemetingen.

In overleg met Rijkswaterstaat was bepaald dat elke steen van het RONA<sup>®</sup>ton XL pakket, 4 stuks, op 2 plekken zou worden gemeten. Een en ander is aangegeven in een tekening. Volgens de NEN zouden bij een dergelijke proef 5 proefstukken gemeten moeten worden van elke afzonderlijke steen.



Figuur 10: Drukpunten RONA<sup>®</sup>ton XL.

Op 8 juli 2022 zijn de drukproeven uitgevoerd en hierbij werden de volgende resultaten gemeten:

Proefstuk	Drukpunt	Gemeten druk	Omrekenfactor	Bezwijklast	Opmerking	Schermafbeelding
A1	a1	170Bar	121,1N/Bar	20.587N	Niet bezwaken, drukpunt niet verder getest	A1a1
A1	a2	170Bar	121,1N/Bar	20.587N	Niet bezwaken, drukpunt niet verder getest	A1a2
B1	b1	170Bar	121,1N/Bar	20.587N	Niet bezwaken, drukpunt niet verder getest	B1b1
B1	b2	170Bar	121,1N/Bar	20.587N	Niet bezwaken, drukpunt niet verder getest	B1b2
C1	c1	82Bar	121,1N/Bar	9.930N	Drukpunt bezwaken na verhoging van de druk. Exacte bezwijkdruk onbekend	C1c1
C2	c1	63Bar	121,1N/Bar	7.629N	Drukpunt bezwaken na verhoging van de druk. Exacte bezwijkdruk onbekend	C2c1
C3	c1	60Bar	121,1N/Bar	7.266N	Drukpunt bezwaken na verhoging van de druk. Exacte bezwijkdruk onbekend	C3c1
C4	c1	63Bar	121,1N/Bar	7.629N	Drukpunt bezwaken na verhoging van de druk. Exacte bezwijkdruk onbekend	C4c1
C5	c1	49Bar	121,1N/Bar	5.934N	Drukpunt bezwaken na verhoging van de druk. Exacte bezwijkdruk onbekend	C5c1
C1	c2	144Bar	121,1N/Bar	17.438N	Drukpunt bezwaken na verhoging van de druk. Exacte bezwijkdruk onbekend	C1c2
C2	c2	145Bar	121,1N/Bar	17.560N	Drukpunt bezwaken na verhoging van de druk. Exacte bezwijkdruk onbekend	C2c2
C3	c2	114Bar	121,1N/Bar	13.805N	Drukpunt bezwaken na verhoging van de druk. Exacte bezwijkdruk onbekend	C3c2
C4	c2	170Bar	121,1N/Bar	20.587N	Drukpunt niet bezwaken	C4c2
C5	c2	123Bar	121,1N/Bar	14.859N	Drukpunt bezwaken na verhoging van de druk. Exacte bezwijkdruk onbekend	C5c2
D1	d1	114Bar	121,1N/Bar	13.805N	Drukpunt bezwaken na verhoging van de druk. Exacte bezwijkdruk onbekend	D1d1
D2	d1	125Bar			Bij 125Bar kwam proefstuk los van de oplegging door een losse bout, waarschijnlijk toen bijna bezwaken want bij vervolg de 60Bar niet gehaald	
D3	d1	80Bar	121,1N/Bar	9.688N	Drukpunt bezwaken na verhoging van de druk. Exacte bezwijkdruk onbekend	D3d1
D4	d1	82Bar	121,1N/Bar	9.930	Drukpunt bezwaken na verhoging van de druk. Exacte bezwijkdruk onbekend	D4d1
D5	d1	102Bar	121,1N/Bar	12.352N	Drukpunt bezwaken na verhoging van de druk. Exacte bezwijkdruk onbekend	D5d1
D6	d1	122Bar	121,1N/Bar	14.774N	Drukpunt bezwaken na verhoging van de druk. Exacte bezwijkdruk onbekend	D6d1
D1	d2	169Bar	121,1N/Bar	20.466N	Niet bezwaken, drukpunt niet verder getest	D1d2

Tabel 1: Resultaten drukproeven

Van de drukproeven zijn films gemaakt en van de hoogste gemeten waarde is een schermafbeelding gemaakt. Deze zijn in dit rapport opgenomen in bijlage 2.



Naar aanleiding van de drukproeven kunnen we het volgende constateren:

- Tijdens het meten bleek dat de drukmeter licht na-ijlde. Dus hebben we besloten in kleine stapjes de druk op te voeren. Zo verkregen we getrapte resultaten. Het betekende ook dat het resultaat dat de meter aangaf altijd lager was dan de daadwerkelijke druk bij bezwijken. Het kan een zekerheid genoemd worden, secuur is het niet;
- Na één meetronde van 8 meetpunten bleek dat alleen de plekken C1, C2, en D1 een bezwijkmoment lieten zien. De stenen A, B en de plek D2 bezweken niet, want de drukpers kon niet meer drukken dan 170 Bar, wat overeenkomt met 20.587N. De steen was op die plek dus sterker – hoeveel is door het niet bezwijken onbekend – dan 3 keer de in de NEN gevraagde waarde van 7.500N. Het verder onderzoeken van die drukplekken werd gezien als overbodig c.q. onnodig;



Foto 11 en 12: Breukvlak D5d1 door brug

Uit de vorm van de breukvlakken kan geconstateerd worden dat feitelijk met deze proef de treksterkte van het beton bepaald werd. Alleen bij D5d1 brak de steen (bijna geheel) door de bruggen en kan gesteld worden dan de bezwijkkracht – door het najliden van de drukmeter – boven de 12.352N ligt, want andere bruggen gaven geen breuk te zien. Bij de overige drukpunten was het breukvlak in alle gevallen schuin naar beneden.

- De laagste waarde is te vinden bij C5c1. Omdat er feitelijk met de haak aan de steen getrokken wordt is dat gezien het kleine oppervlak van de geschaalde steen niet zo verwonderlijk. Mede doordat de drukmeter na-ijlde lijkt de te lage waarde op zich geen probleem, want iets grotere betonoppervlakken scoren gelijk hoger. Op de dijk wordt later een niet geschaalde steen toegepast, met 1,67 maal zo grote betonoppervlakken, dus zal de bezwijkdruksterkte ook groter zijn.
- De overige resultaten zitten ruim boven of nagenoeg gelijk aan de vereiste 7.500N zoals gesteld in de NEN.

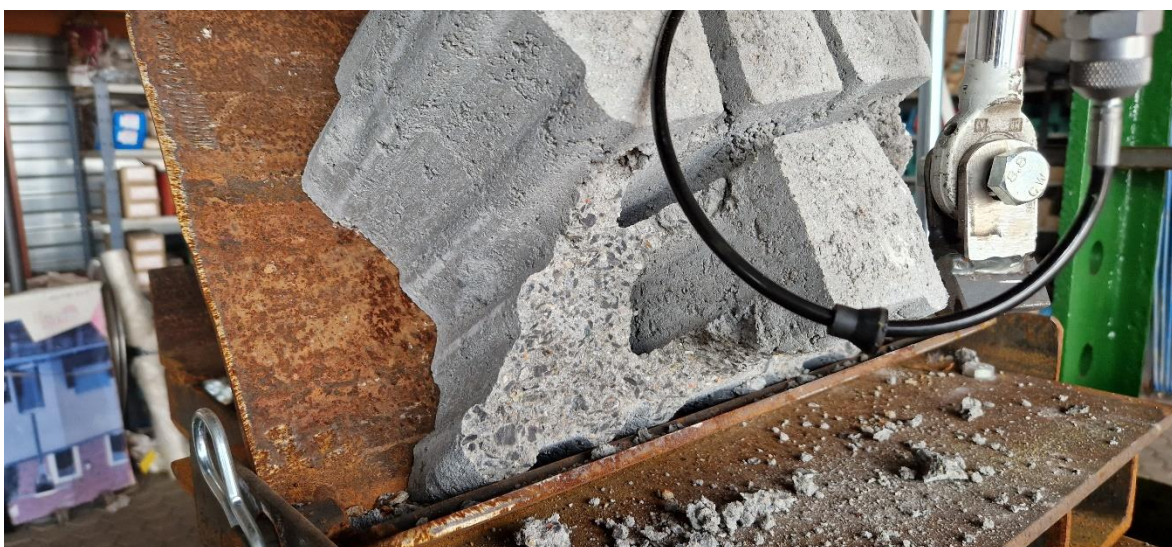


Foto 13, 14 en 15: Foto's drukproeven

#### 4. De wiellastproef

Voor het uitvoeren van de wiellastproef zijn op 24 juni 2022 totaal 9 sets RONA®ton XL vlak aangebracht op een laag vulzand van 5cm. Deze laag vulzand is aangebracht op een oude puinfundering. Het vulzand zorgde voor een verende oplegging van de stenen waardoor de wiellast echt opgenomen moest worden door de steen. De stenen zijn vervolgens licht ingeveegd met zand zodat ze niet zijdelings zouden beschadigen door een puntbelasting. Normaal wordt dit opgevangen door inwasmateriaal. Na het aanvullen van de ruimte rondom de 9 sets is die aanvulling mechanisch verdicht zodat de stenen, gelijk als op een dijk, goed opgesloten zitten.



*Figuur 16, 17 en 18: het vlak maken van het zandbed, het aanbrengen en het verdichten rondom (niet op de stenen).*

De NEN schrijft voor dat de stenen belast moeten worden met een voertuig met een wiellast van 7500N (750kg). Met een dergelijk voertuig, een Landcruiser met een wiellast van 760kg (7.600N), is het proefvak op 28 juni 2022 belast. Met name de grootste stenen zijn belast want die zijn het meest breukgevoelig. Na visuele inspectie bleek dat er geen schade zichtbaar was: de zetstenen waren nog heel.



*Figuur 19 en 20: Voertuig met 1 wiel op weegbrug en uitlezing gewicht.*



*Figuur 21 en 22: Wiellast 760kg op proefvak*

Nu de NEN-belasting gehaald was, wilden we graag weten of de zetsteen een zwaardere belasting aankon hebben we een mobiele kraan gewogen en op de verharding gezet. Het zwaarste wielgewicht van de mobiele kraan zat aan de achterkant en bedroeg 5.060kg (50.600N). Na overrijden door de mobiele kraan was er geen enkele schade aan de blokken zichtbaar en waren de 'bruggen' nog intact.



*Figuur 23 en 24: Mobiele kraan met 1 askant op weegbrug en uitlezing gewicht*



*Figuur 25 en 26: Mobiele kraan bij proefvak en achterwiel op zetsteen.*

Omdat het wieloppervlak van een mobiele kraan redelijk groot is, en bestaat uit dubbele banden, hebben we nog een proef uitgevoerd met een heftruck. Een heftruck heeft massief rubberen wielen en wordt over het algemeen gezien als zeer belastend voor verhardingen. De druk komt namelijk op een heel beperkt oppervlak. Het wielgewicht van de heftruck bedroeg 4.300kg (43.000N). En ook deze belasting veroorzaakte geen schade.



*Figuur 27 en 28: Heftruck met 1 askant op weegbrug en uitlezing gewicht*



*Figuur 29 en 30: Heftruck bij proefvak en voorwiel op zetsteen.*

Om zeker te zijn dat onze visuele inspectie van de 'bruggen' juist was hebben we na de rijproeven de grootste steen uit de verharding getild. Deze handeling bevestigde onze ogen: er was geen schade!



*Foto 31 en 32: Grootste steen na de proeven uit de verharding.*

## 5. Vergelijking met grasbetontegels

De vormgeving van RONA<sup>®</sup>ton XL heeft best wel iets een gelijk met grasbetontegels. De mechanische sterkte van grasbetontegels bestaat uit de weerstand tegen een bovenbelasting. De breuklast die grasbetontegels zouden moeten kunnen weerstaan dient te voldoen aan minimale eisen en wordt bepaald door middel van een buigproef met één enkele proeflast volgens NEN-EN 12390-5 op een hele tegel. Dit is opgenomen in BRL K11001 "Grasbetontegels". Vanwege auteursbescherming kan de gehele tekst uit die BRL hier niet ingevoegd worden. Een toelichting moet dus volstaan.

In de BRL is opgenomen dat het proefstuk gedurende 24 uur voorafgaand aan de proef onder water wordt bewaard bij een temperatuur van  $20 \pm 5$  graden. De steen wordt in een drukpers op 2 rollen gelegd, die symmetrisch lopen met het midden van de tegel, haaks op de lange zijde van de tegel, en een tussenafstand hebben van  $2/3$  maal de lengte van de tegel. De kracht van boven wordt over de gele as van de tegel aangebracht. De breuklast wordt uitgedrukt per eenheid van breedte van de tegel en wordt bepaald door de breuklast (N) te delen door de breedte van de tegel (mm).

Bij een verkeersbelasting (licht, normaal en zwaar verkeer) hoort vervolgens een eigen minimum en karakteristieke breuklast. Tegels voor zwaar verkeer hebben een karakteristieke breuklast van 62,5N/mm en een minimum breuklast van 60N/mm.

Een rekenvoorbeeld: een grasbetontegel van 400mm breed is geschikt voor zwaar verkeer als de breuklast groter of gelijk is aan  $400 \times 62,5N$ , dus 25.000N.

Deze proef hebben we (in dit geval Bleijko, een zuster van Haringman) ook laten uitvoeren op de grootste steen en de op een na grootste steen van de 4 RONA<sup>®</sup>ton XL stenen, met beide een buitenafmeting van 44 x 33 cm. Ervaringen opgedaan bij grasbetontegels heeft ons geleerd dat de grootste stenen namelijk de zwakste stenen zijn. We hebben daarbij de assen niet conform de BRL op  $2/3$  van de lengte uit elkaar gezet, maar we hebben de overspanning groter gemaakt zodat de openingen evenwijdig aan de belasting goed beproefd zouden worden. De onderste assen op zijn op 3cm van het eind van de steen gezet en hierdoor was de overspanning 380mm. Uit deze proef, die we eenmalig gedaan hebben, kwam een breuklast voor de grootste steen van 48.340N, ofwel een breuklast van 146,5N/mm, en voor de steen met de inham op 35.850N, ofwel een breuklast van 152,6N/mm. De rapporten zijn als bijlage 3 bijgevoegd.

De breuklast van RONA<sup>®</sup>ton XL volgens grasbetontegelmethode ligt dus op meer dan tweemaal de sterkte dan minimaal vereist voor het belasten van grasbetontegels met zwaar verkeer. De uitgevoerde proef zou dus een goed aanvulling kunnen zijn op de voorgeschreven NEN-proeven.

## 6. De vorst-/dooiproef

Volgens de NEN 7024-1 moet voor een nieuwe zetsteen ook aangetoond worden dat de steen bestand is tegen bevriezing van water in de openingen. Hoewel RONA<sup>®</sup>ton XL geen holten heeft waarin bevriezend water zou kunnen worden ingesloten, hebben we deze proef toch laten uitvoeren. In opdracht van Haringman is dit conform Bijlage E van de NEN uitgevoerd door Cugla in Breda. Deze hebben een dermate grote vriesruimte dat de vereiste beproeving van een gehele set zetstenen in één keer kon worden uitgevoerd.

De conclusie na de vorst-/dooiproeven is dat er geen zichtbare beschadiging aan de beproefde set is opgetreden. RONA<sup>®</sup>ton XL is dus vorst-/dooibestendig. De rapportage en foto's van de proeven zijn bij dit rapport gevoegd als Bijlage 4.



## 7. Conclusie

Zoals voorgeschreven door de NEN 7024-1 hebben we RONA<sup>®</sup>ton XL onderworpen aan een testen om de robuustheid en de vorst-/doorbestendigheid van de zetsteen aan te tonen. Hiertoe is de proef D3 van Bijlage D van de NEN uitgevoerd, als alternatief op proef D2, en is de proef E uit Bijlage E van de NEN uitgevoerd. Het realiseren van proef D3 was nog even lastig omdat de proef nog nooit was uitgevoerd op grote plaatvormige zetstenen en daar eigenlijk ook, bij het tot stand komen van de NEN, niet zo voor bedoeld was. RONA<sup>®</sup>ton XL heeft beide proeven met goed gevolg doorstaan.

Voor het testen van de bruggen in de steen, het beton tussen de ontwateringsopeningen, is geen test opgenomen in de NEN-7024-1. Gezien de ervaring met een andere zetsteen bestond bij Rijkswaterstaat wel de behoefte om de robuustheid daarvan te testen. Hiertoe zijn twee proeven bedacht: erover heen rijden met een zwaar voertuig met een grotere puntlast dan de in de NEN-proeven voorgeschreven kleine rupskraan, en een breuklastproef zo die wordt uitgevoerd op grasbetontegels volgens de vigerende BRL K11001 "Grasbetontegels". Ook deze proeven zijn op RONA<sup>®</sup>ton XL met goed gevolg uitgevoerd, waardoor ook de bruggen in de zetsteen als robuust kunnen worden bestempeld.

RONA<sup>®</sup>ton XL is dus zowel robuust als vorst-/doorbestendig.

## **Bijlage 1.**

## Memo

**Aan**

Rijkswaterstaat (WVL)

**Datum**

22 februari 2022

**Contactpersoon**

Mark Klein Breteler

**Ons kenmerk**

11206622-000-HYE-0008

**Doorkiesnummer**

+31(0)88 335 8244

**E-mail**

Mark.KleinBreteler @deltares.nl

**Aantal pagina's**

1 van 3

**Onderwerp**

Sterkteproef met RONA<sup>®</sup>ton XL op schaal

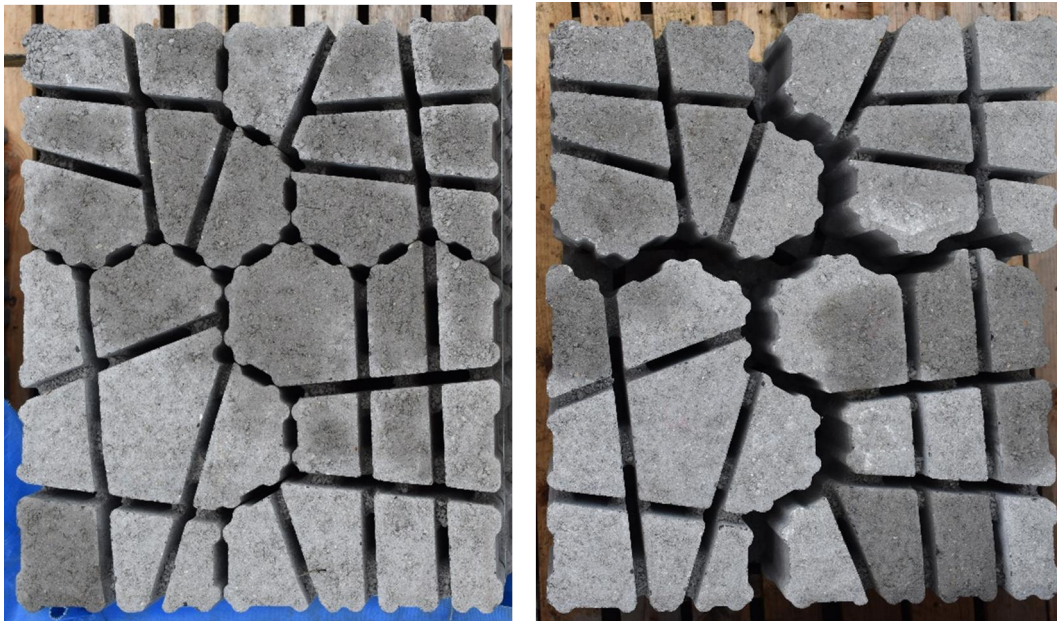
## Schaalregels voor sterkteproef met RONA<sup>®</sup>ton XL

### 1 Inleiding

Voor steenzettingen op primaire waterkeringen eist de NEN-7024 onder andere dat de sterkte van de zetstenen voldoende is. Dit mag op verschillende manieren aangetoond worden. Eén van de methodes is het uitvoeren van een belastingtest.

Daarvoor moet een steil talud worden gebouwd met zetstenen op een normale ondergrond (zand/klei en filterlaag) en vervolgens moet er met een voertuig met een aslast van 15 ton en een 15 ton rupskraan met vlakke rupsen overheen gereden worden. Er moet met 10 km/h in twee richtingen overheen gereden worden en er moet met blokkerende remmen geremd worden. Als hierbij geen zetstenen breken, is de sterkte voldoende.

In deze memo is uiteengezet hoe deze proef eventueel op schaal uitgevoerd zou kunnen worden.



Figuur 1.1 RONA<sup>®</sup>ton XL (links een set en rechts de 4 afzonderlijke zetstenen)

## 2 Schaalregels

De schaalregels voor een belastingproef kunnen worden afgeleid uit een sterkteberekening van bijvoorbeeld een tweezijdig opgelegde ligger met puntlast. Opgemerkt wordt dat ook met een ander belastinggeval, zoals een ingeklemde ligger of gelijkmatig verdeelde belasting van de ligger, hetzelfde resultaat wordt verkregen.

Voor de afleiding van de schaalregels wordt gebruikgemaakt van de volgende basisformules uit de sterkteleer:

- maximaal buigend moment in tweezijdig opgelegde ligger met puntlast in het midden:  
$$M_{\max} = \frac{1}{4}FL \quad (1.1)$$

- trekspanning en drukspanning in de ligger bij het optredende maximaal buigend moment:  
$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} \quad (1.2)$$

Met:

$M_{\max}$  = maximaal buigend moment in de ligger (Nm)

F = puntlast op de ligger (N)

L = overspanning van de ligger (m)

$\sigma$  = trekspanning of drukspanning in de ligger bij het optredende buigend moment (N/m<sup>2</sup>)

W = weerstand van de ligger (bij rechthoekige doorsnede geldt:  $W = bh^2/6$ ) (m<sup>3</sup>)

b = breedte van de ligger (m)

h = hoogte van de ligger (m)

Deze formules kunnen samengevoegd worden en toegepast worden voor zowel de situatie in het prototype als in het schaalmodel:

- Prototype: 
$$\sigma_p = \frac{6F_p L_p}{4b_p h_p^2} \quad (1.3)$$

- Model: 
$$\sigma_m = \frac{6F_m L_m}{4b_m h_m^2} \quad (1.4)$$

Door deze twee formules op elkaar te delen, verkrijgen we de schaalregels voor deze proef:

$$\frac{\sigma_m}{\sigma_p} = \frac{\frac{F_m \cdot L_m}{F_p \cdot L_p}}{\left(\frac{b_m \cdot h_m}{b_p \cdot h_p}\right)^2} = n_\sigma = \frac{n_F \cdot n_L}{n_b \cdot n_h^2} \quad (1.5)$$

Met:

$n_\sigma$  = schaalfactor voor de spanning in het beton (-)

$n_F$  = schaalfactor voor de kracht (-)

$n_L = n_b = n_h$  = lengteschaal (-)

De formule kan als volgt vereenvoudigd worden:

$$n_\sigma = \frac{n_F}{n_L^2} \quad (1.6)$$

Het remmen van het voertuig, en de daarmee gepaard gaande versnellingen die leiden tot krachten op de zetstenen, moet op ware grootte, omdat ook de zwaartekracht op ware grootte is:  $n_a = 1$ .

In een correct schaalmodel is  $n_F = n_L^3$ , waardoor de schaal voor de spanning gelijk is aan de lengteschaal:  $n_\sigma = n_L$ . Dat betekent het volgende voor een correct schaalmodel met lengteschaal van 1,67:

- alle lengtematen (lengte, breedte, hoogte): verkleinen met factor 1,67
- belasting (kracht): verkleinen met factor  $1,67^3 = 4,66$
- spanning in het materiaal en dus ook de sterkte (toelaatbare buigspanning): verkleinen met factor 1,67.
- Rijsnelheid en remsnelheid: op ware grootte.




### 3 Schaalproef met RONA<sup>®</sup>ton XL

Het plan is om de schaalproef voor het controleren van de sterkte van RONA<sup>®</sup>ton XL niet precies conform de schaalregels uit het vorige hoofdstuk uit te voeren. De afmetingen van de zetstenen zijn weliswaar netjes verkleind volgens de lengteschaal  $n_L = 1,67$ , maar de sterkte van het beton is op prototypeschaal:  $n_\sigma = 1$ . Met formule (1.6) kan berekend worden wat dit betekent voor de schaal van de kracht om toch op een betrouwbaar resultaat uit te komen:

$$n_F = n_\sigma \cdot n_L^2 = 1 \cdot 1,67^2 = 2,79 \quad (1.7)$$

Ondanks dat de sterkte dus niet op schaal is weergegeven, kan er dus nog steeds een betrouwbaar resultaat verkregen worden als de kracht (belasting door het voertuig) een factor 2,79 wordt verkleind.

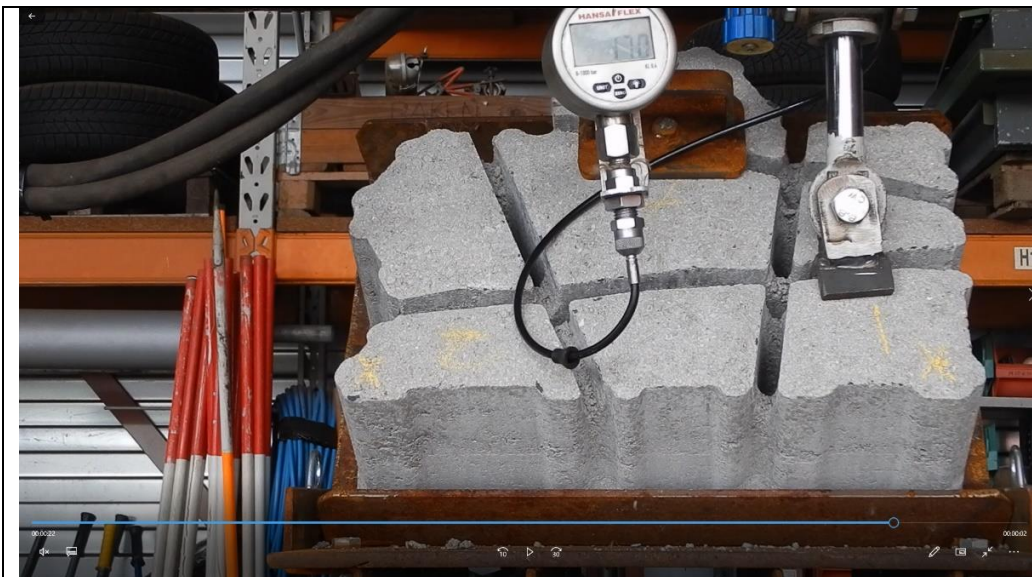
Er wordt daarentegen een proef uitgevoerd met een voertuig en rupskraan op prototypeschaal (15 ton aslast en 15 ton rupskraan), dus  $n_F = 1$ . De kracht is dus aanzienlijk groter en dus zullen de betonspanningen ook groter worden. Anderzijds worden de krachten mogelijk iets kleiner omdat de wielen/rupsen van de voertuigen relatief groot zijn. Ingeschat wordt dat dit effect op deze schaal kleiner is dan het effect van de 2,79 maal grotere belasting. Zo'n proef levert derhalve een veilig resultaat.

AUTEUR	REVIEW	GOEDKEURING
M. Klein Breteler 	G.C. Mourik 	P. van Steeg 

## **Bijlage 2.**

**Bijlage 2.**

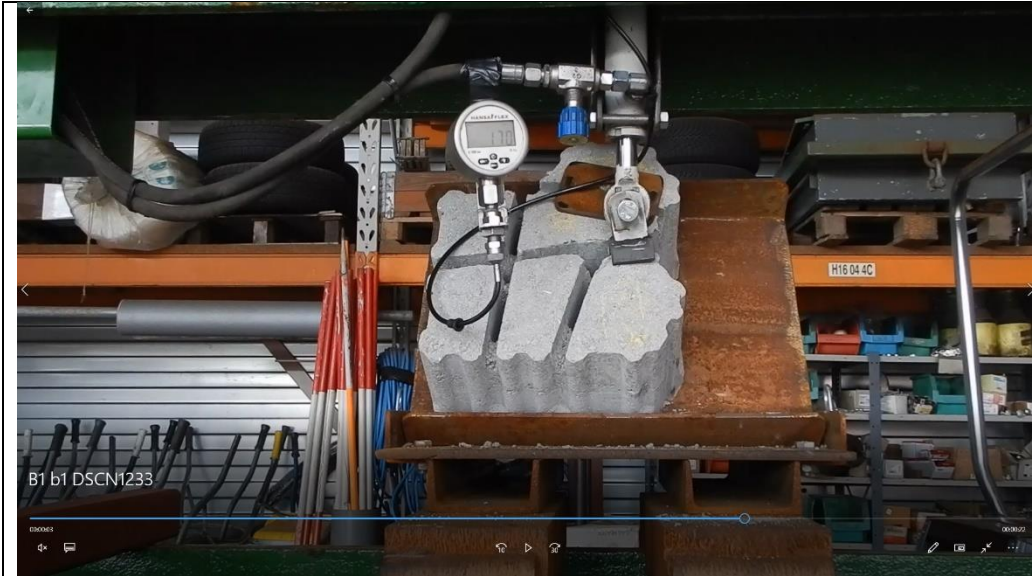
Schermafbeeldingen films drukproeven 8 juli 2022.



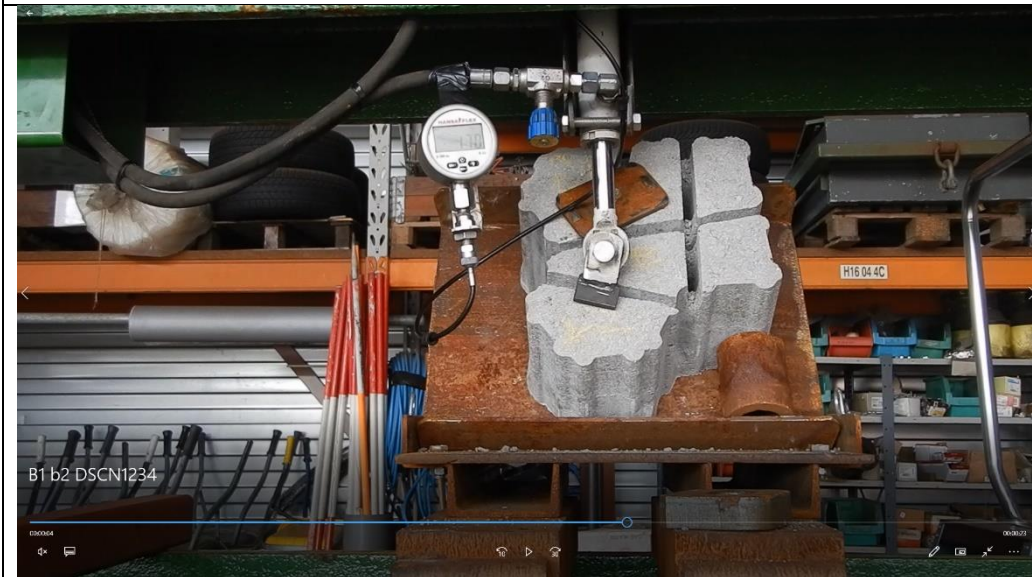
A1a1



A1a2



B1b1

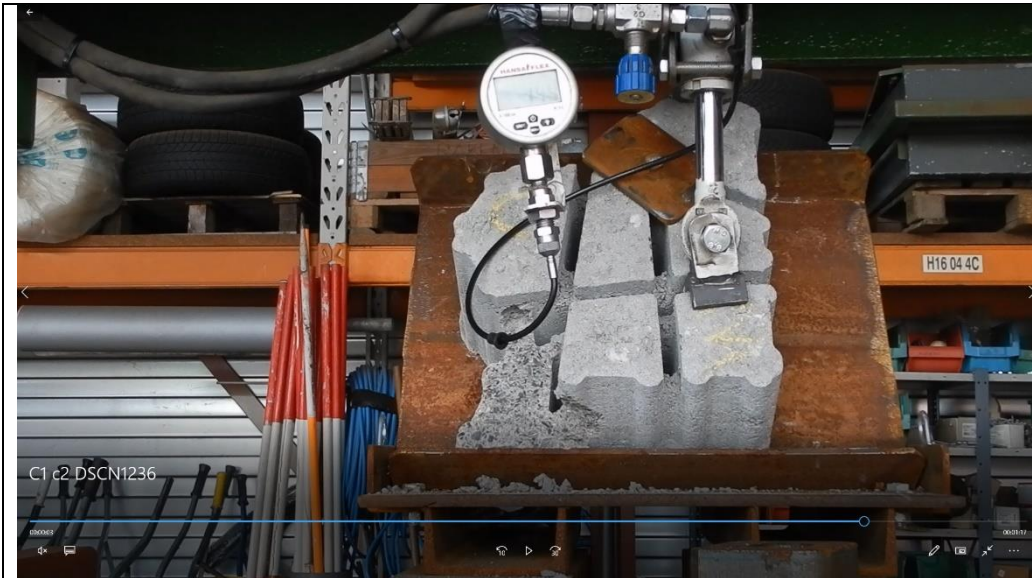


B1b2

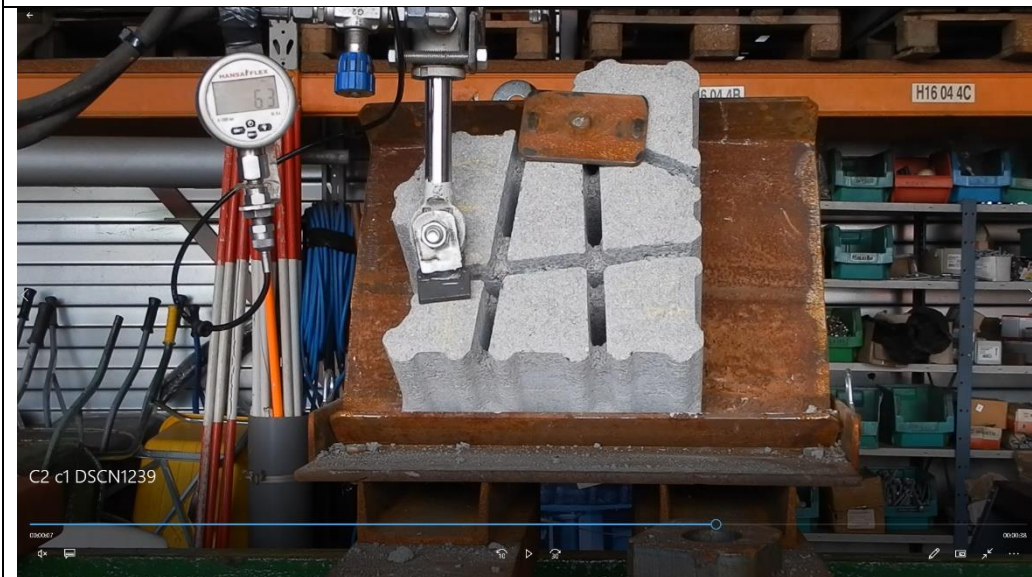


C1c1

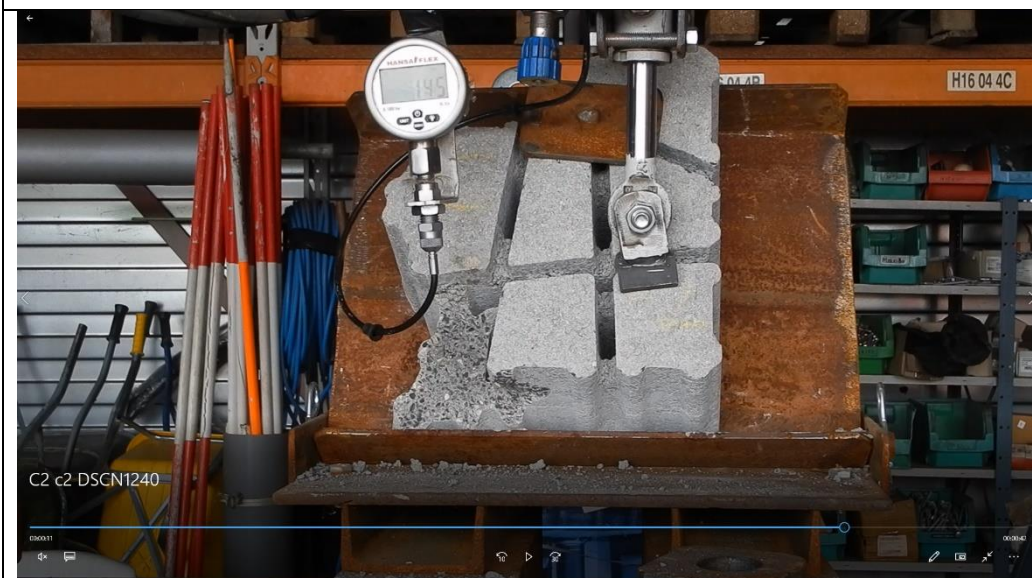




C1c2



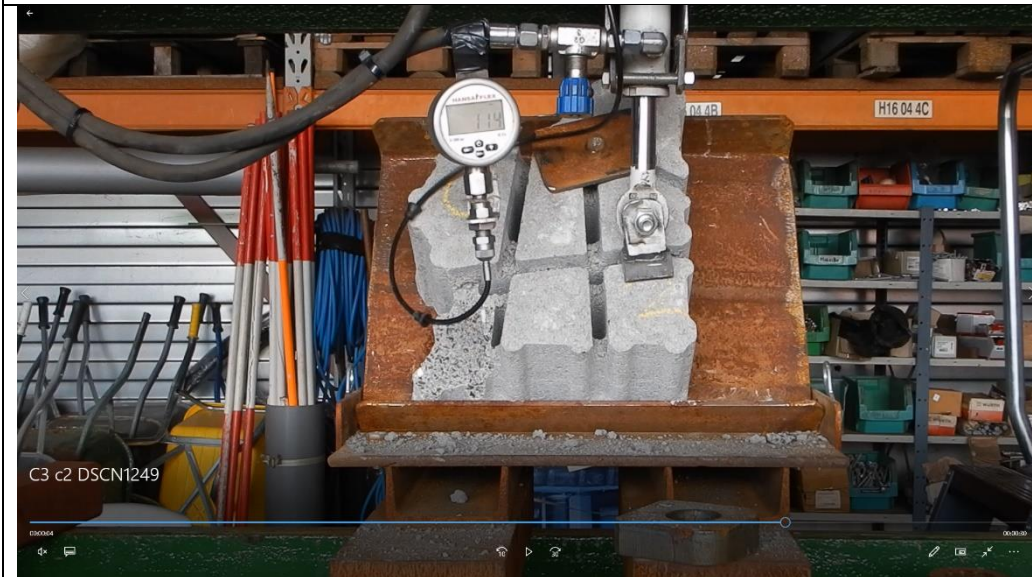
C2c1



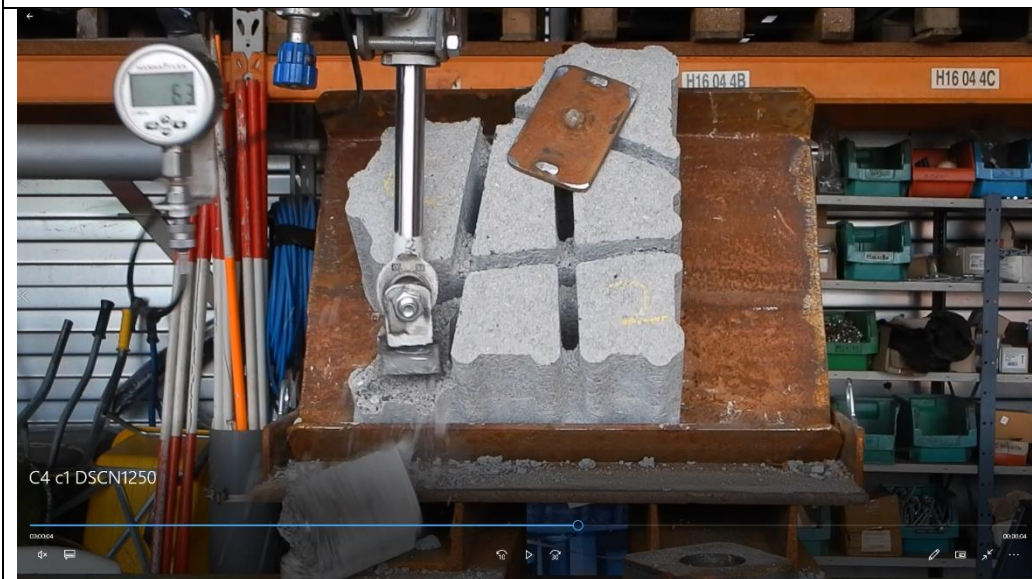
C2c2



C3c1



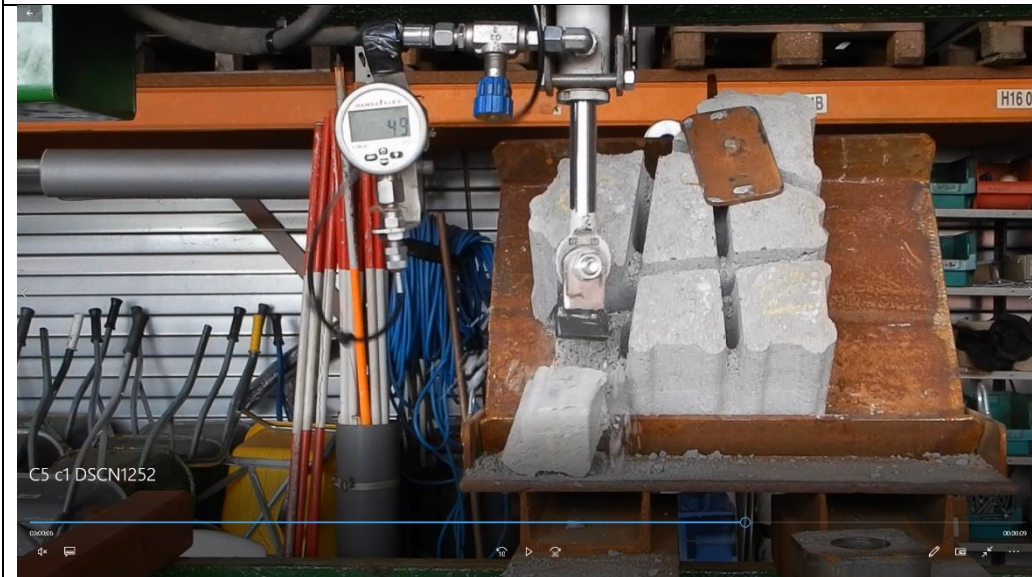
C3c2



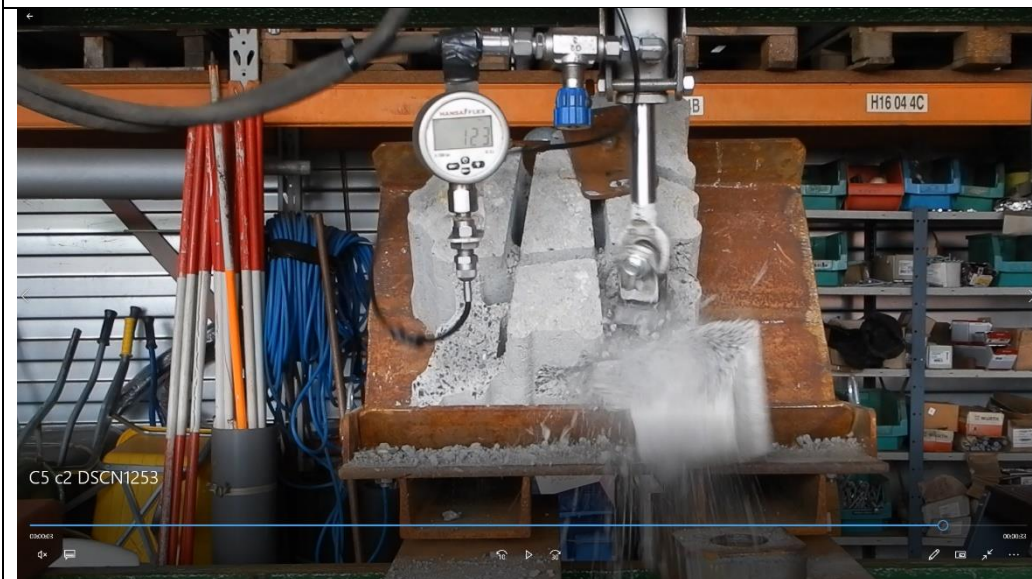
C4c1



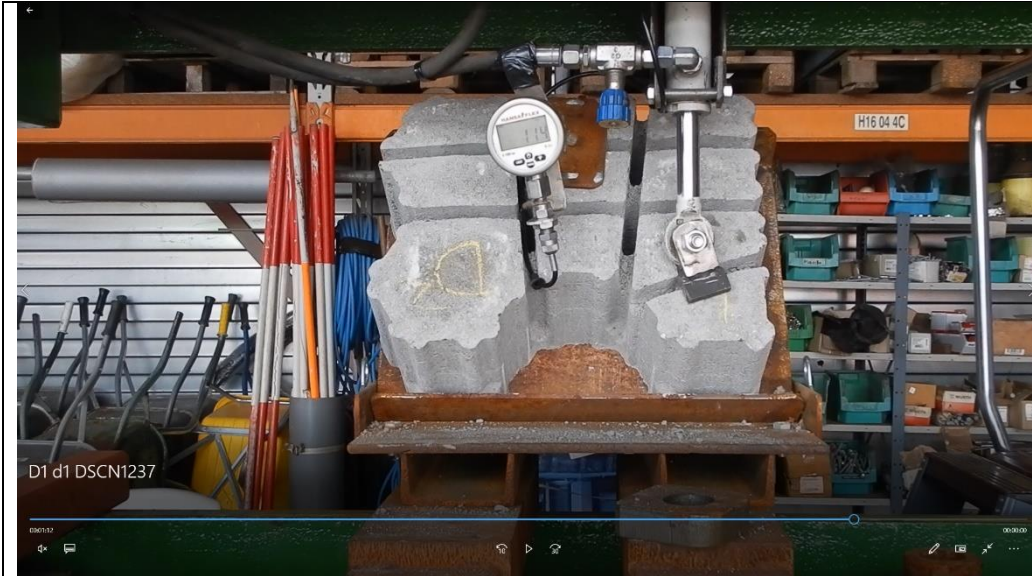
C4c2



C5c1



C5c2



D1d1



D1d2



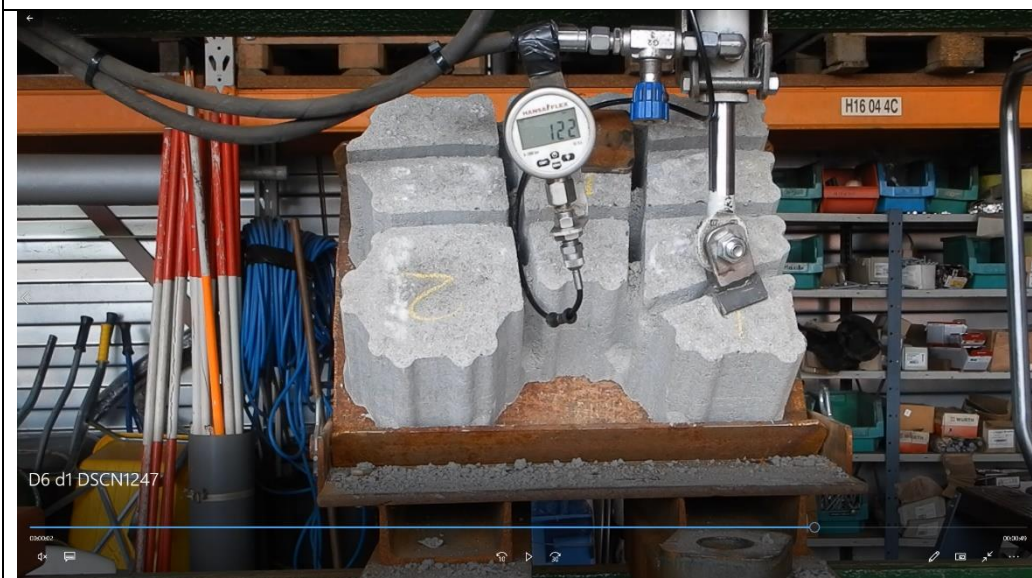
D3d1



D4d1



D5d1



D6d1

## **Bijlage 3.**

contactpersoon : ir. Géraldine Welvaert  
telefoon : 051/58 09 51  
email : geraldine.welvaert@groupvanvooren.com  
plaats : Brugge  
datum : 15 juli 2022  
uw kenmerk : interne proef  
ons kenmerk : ORDVV2204580/hgo  
email : [t.deceuninck@bleijko.com](mailto:t.deceuninck@bleijko.com)

Bleijko Roeselare NV Beurtkaai 4 8800 Roeselare
---

**Onderwerp : Beproeverslag proeven op betonstraatstenen**

Opdrachtgever : Bleijko Roeselare NV

Datum van afhaling door onze diensten : 14/07/22

Datum proefaanvraag : 13/07/22

Kenmerk monsters : geen

Productie datum monsters : niet gekend

Uitgevoerde proef :

- bepaling van de belasting bij 2 opleggingen volgens PTV 126 bijlage B (\*)
- (\*) deze proef is Belac-geaccrediteerd



ir. Géraldine Welvaert  
Technisch verantwoordelijke



Kristof Van Vooren  
Vaste vertegenwoordiger LRJ Van Vooren NV  
Gedelegeerd bestuurder



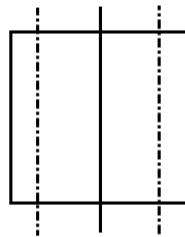
<b>BEPALING VAN DE BELASTING BIJ 2 OPLEGGINGEN</b>
--

Vooraf worden de stenen  $24 \pm 3$  uur onder water gedompeld bij een temperatuur van  $20 \pm 5$  °C.

- aantal : 1
- afmetingen : ca 440 x 330 x 180 mm (geen afgelijnde vorm)
- dwarsafmeting : 330 mm
- datum vervaardiging : onbekend
- datum belastingsproef : 15/07/22
- overspanning : 380 mm ( opgegeven door de klant)
- belastingsnelheid : 0,587 kN/s ( opgegeven door de klant)
  
- uitvoerder : Eddy

proefstuk nummer	breuklast [kN]	belasting bij 2 opleggingen [N/mm]
1	48,34	146,5

- hoofd- en dwarsrichting a.d.h.v. een schets :





contactpersoon : ir. Géraldine Welvaert  
telefoon : 051/58 09 51  
email : geraldine.welvaert@groupvanvooren.com  
plaats : Brugge  
datum : 25 augustus 2022  
uw kenmerk : interne proef  
ons kenmerk : ORDVV2204984/gwe  
email : [t.deceuninck@bleijko.com](mailto:t.deceuninck@bleijko.com)

Bleijko Roeselare nv Beurtkaai 4 8800 Roeselare
---

**Onderwerp : Beproeivingsverslag proeven op een betonsteen**



Opdrachtgever : Bleijko Roeselare nv  
Beurtkaai 4  
8800 Roeselare

Datum van afgifte in het labo : 23/08/22 door Bernard Beyne

Datum proefaanvraag : 22/08/22

Kenmerk monster : geen

Productie datum monster : onbekend

Uitgevoerde proef : bepaling van de belasting bij 2 opleggingen volgens PTV 126 bijlage B (\*)  
(\* ) deze proef is Belac-geaccrediteerd



ir. Géraldine Welvaert  
Technisch verantwoordelijke



Kristof Van Vooren  
Vaste vertegenwoordiger LRJ Van Vooren NV  
Gedelegeerd bestuurder

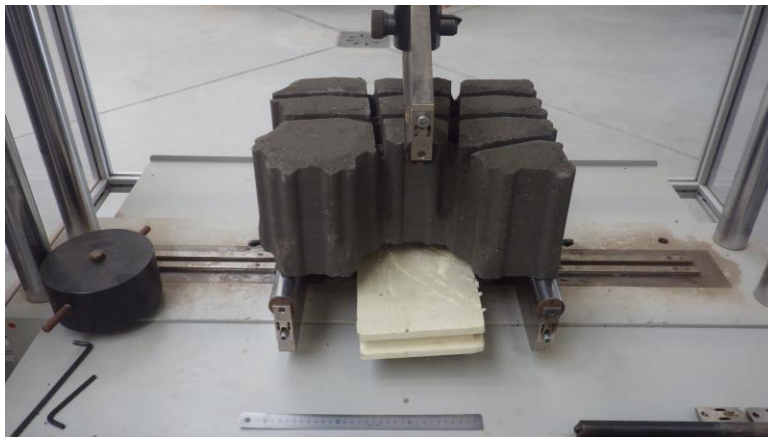
### BEPALING VAN DE BELASTING BIJ 2 OPLEGGINGEN

Vooraf wordt de steen  $24 \pm 3$  uur onder water gedompeld bij een temperatuur van  $20 \pm 5$  °C.

- aantal : 1
- afmetingen : ca 440 x 330 x 180 mm (geen afgelijnde vorm, met een uitsparing in het midden – zie onderstaande foto)
- dwarsafmeting : 235 in het midden (330 mm aan de zijanten)
- datum vervaardiging : onbekend
- datum belastingsproef : 25/08/22
- overspanning : 380 mm (opgegeven door de klant)
- belastingsnelheid : 0,587 kN/s (opgegeven door de klant)
- uitvoerder : Eddy Samyn

proefstuk nummer	breuklast [kN]	belasting bij 2 opleggingen [N/mm]
1	35,85	152,6

- proefopstelling:



## **Bijlage 4.**



# **Bleijko – Haringman**

## **Vorstdooizoutbestandheid**

29-07-2022

## Inhoud

Inleiding.....	3
Vorstdooizoutbestandheid.....	3
Ontvangen proefstuk.....	3
Foto's.....	3
Proefstukken inzetten.....	3
1 <sup>ste</sup> keer bevroren.....	4
1 <sup>ste</sup> keer ontdooid.....	4
2 <sup>de</sup> keer bevroren.....	5
2 <sup>de</sup> keer ontdooid.....	5
3 <sup>de</sup> keer bevroren.....	6
3 <sup>de</sup> keer ontdooid.....	6
Einde test.....	7
Eind oordeel.....	8

## Inleiding

### Vorstdooizoutbestandheid

De proeven zijn uitgevoerd volgens de volgende doorgegeven beschrijving:

De stenen set ( 0,58 x 0,70 m) moet in een stalen bak worden geplaatst met een helling tussen 1:5 en 1:3.

De bak wordt gevuld met zout water met 3% NaCl ( zeewater) zodat de helft van de stenen onder water zit.

In een ruimte plaatsen van -20°C tot al het water bevroren is en minimum 24 uur.

Langzaam ontdooien in een ruimte tussen 10 en 20 °C.

Deze test 3 x uitvoeren met dezelfde stenen en telkens bekijken of er schade is opgetreden.

### Ontvangen proefstuk

Deelsteen bestaande uit 4 stukken

58 x 70 x 18 cm

Er zijn foto's gemaakt van elk gedeelte van de test

## Foto's

### Proefstukken inzetten



Droog



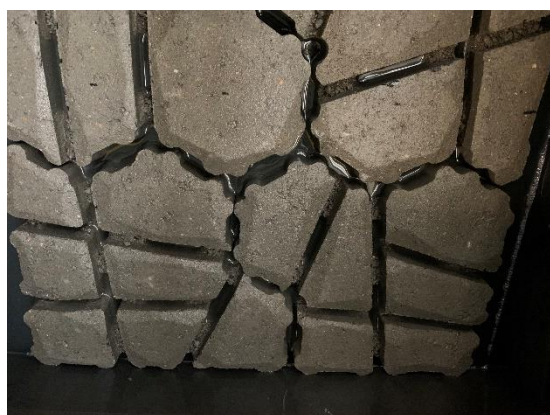
Half onder water ↓



**1<sup>ste</sup> keer bevroren**



**1<sup>ste</sup> keer ontdooid**



**2<sup>de</sup> keer bevroren**



**2<sup>de</sup> keer ontdooid**

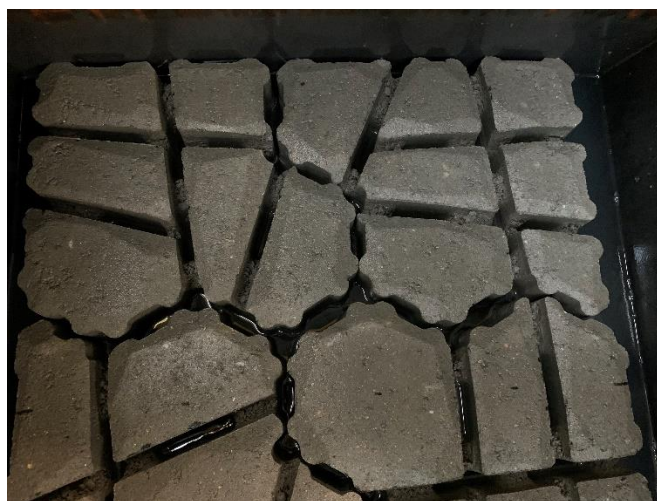
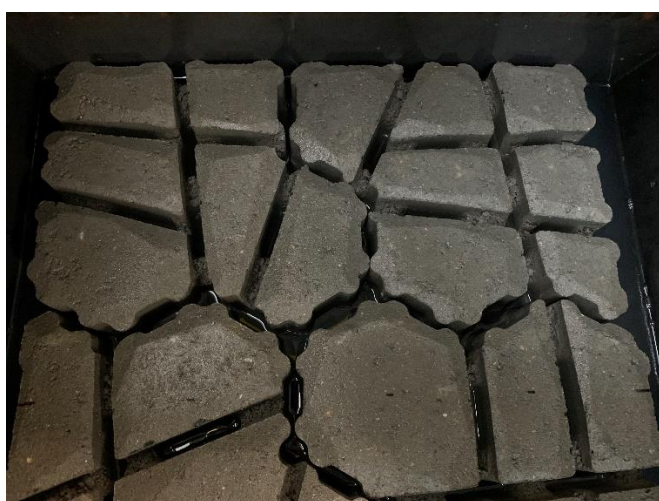




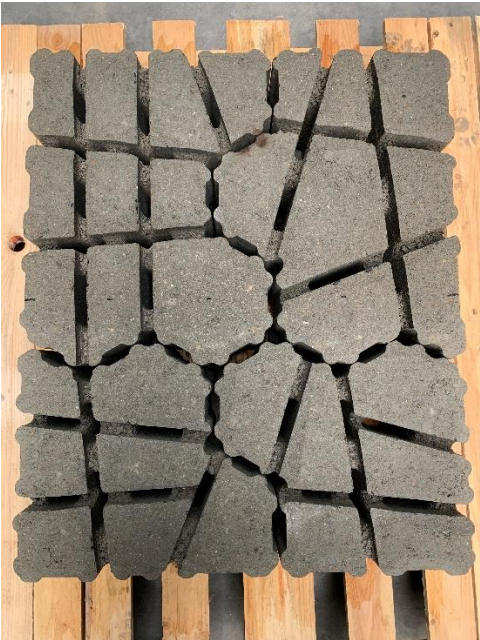
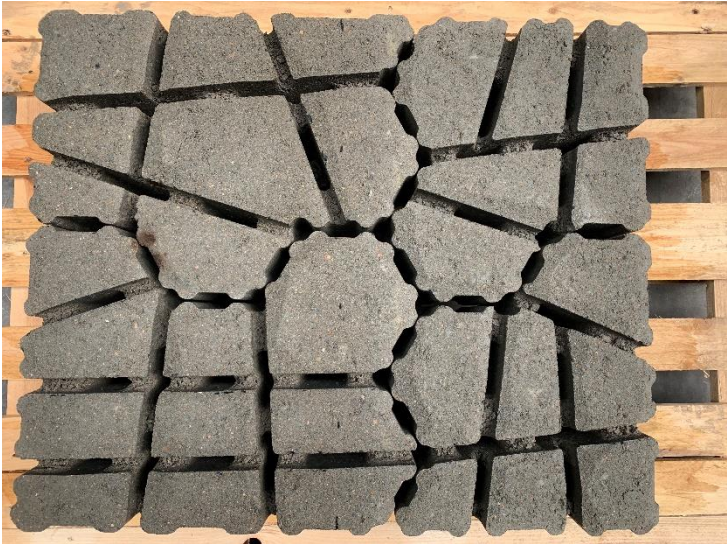
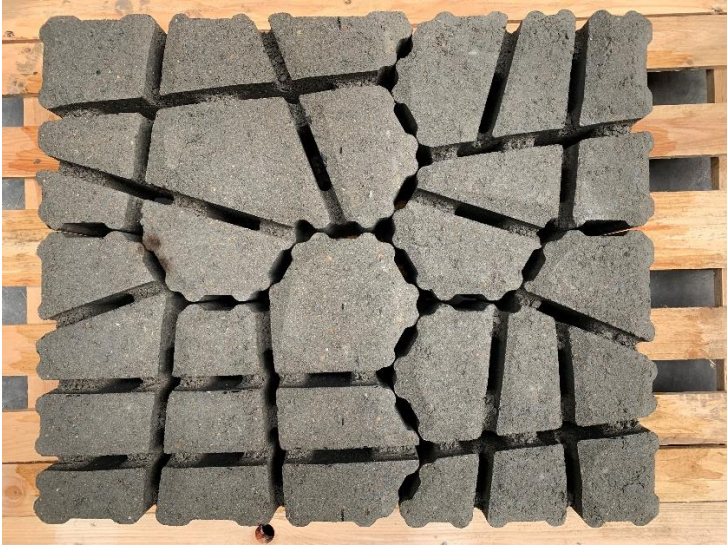
**3<sup>de</sup> keer bevroren**



**3<sup>de</sup> keer ontdooid**



**Einde test**

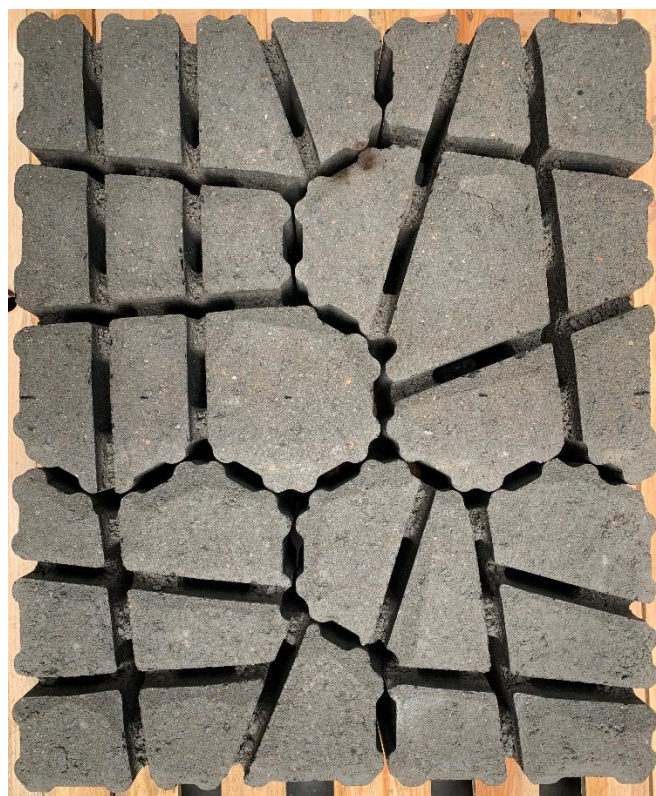


## Eind oordeel

Er is na elke vorst- en dooicycli visueel beoordeeld of er schade is opgetreden. Volgens ons is er geen schade opgetreden, maar de blokken zullen terug worden gestuurd zodat dit ook door de producent beoordeeld kan worden.



Voor de test



Na de test