KOAC•NPC
Esscheweg 105
5262 TV Vught

Tel. 088 562 26 72
Fax 088 562 25 11
info@koac-npc.com
www.koac-npc.com

e150390903-2

Advies herstel natuursteenbestrating Stationsplein Weert

Projectnummer	:	e150390903
Offertenummer en datum	:	o160027-2/advv/nvb 21 januari 2016
Titel rapport	:	Advies herstel natuursteenbestrating Stationsplein Weert
Status rapport	:	Definitief
Naam opdrachtgever	:	Gemeente Weert
Adres	:	Postbus 950
Plaats	:	6000 AZ WEERT
Naam contactpersoon	:	dhr. P. Trines
Datum opdracht	:	26-1-2016
Kenmerk opdracht	:	16000246 OG
Contactpersoon KOAC•NPC	:	ir. N. van den Berg
Auteur(s) rapport	:	ir. M.P. Davidse
		ir. N. van den Berg

Rapportage		**Autorisatie**	
Naam:	ir. M.P. Davidse	Naam:	ir. W.F. Stas
Functie:	Adviseur	Functie:	Teamleider Consultancy
Handtekening:		Handtekening:	
Datum:	7 april 2016	Datum:	7 april 2016

Zonder schriftelijke toestemming van KOAC•NPC mag het rapport niet anders dan in zijn geheel worden gereproduceerd.

Inhoudsopgave

0 Inleiding 5
0.1 Inleiding en doel 5
0.2 Werkzaamheden 5
0.3 Opbouw rapport 5

1 Model 6
1.1 Inleiding 6
1.2 Opstellen model 6
1.3 Dimensies 7
1.4 Materiaaleigenschappen 8
1.5 Belastingen 8
1.6 Randvoorwaarden 9
1.7 Contacteigenschappen 9

2 Resultaten 10
2.1 Inleiding 10
2.2 Rijbaan remmen 10
2.3 Rijbaan draaien 12
2.4 K&R strook remmen 14
2.5 K&R strook draaien 16
2.6 Niet optimaal model, remmen 16
2.7 Conclusies 18

3 Advies herstel bestrating (Plan van Aanpak) 21
3.1 Inleiding 21
3.2 Werkplan 21

4 Referenties 23

Voorwoord

Dit rapport betreft versie 2 en vervangt de vorige versie van 17 maart 2016. Versie 2 is opgesteld naar aanleiding van een overleg op 31 maart 2016 tussen de Gemeente Weert (P. Trines en S. Eurlings) en KOAC•NPC (N. van den Berg). In dit overleg is vastgesteld, dat de voorlopige conclusie uit het eerdere rapport over de schadebeoordeling (e150390901) van KOAC•NPC, dat het Ecostone® latjessysteem in principe zou moeten kunnen functioneren met gezaagde elementen niet kan worden gehandhaafd. Dit vanwege de uitkomst van de berekeningen die in dit rapport (e150390903) zijn vermeld. Hiervoor wordt verwezen naar de conclusies van dit rapport.

De slotconclusies in paragraaf 3.7.5 zijn daarom aangevuld en het plan van aanpak in hoofdstuk 4 voor herplaatsing van het latjessysteem is daarom in deze versie 2 vervangen door een plan van aanpak voor een constructie met een starre straatlaag en starre voegen.

1 Inleiding

1.1 Inleiding en doel

De natuursteenbestrating van het Stationsplein in Weert vertoont schade. KOAC•NPC heeft van de gemeente Weert opdracht gekregen om een hersteladvies op te stellen. In deze rapportage is dit hersteladvies beschreven.

1.2 Werkzaamheden

Om te komen tot een advies zijn diverse berekeningen uitgevoerd om vast te stellen of het legsysteem, dat is toegepast onder de aanwezige verkeersbelasting, kan voldoen. Meer informatie over dit legsysteem is beschreven in hoofdstuk 2.

Het systeem is doorgerekend voor de bestrating gelegen in de rijbaan en de Kiss & Ride (K&R) strook. Daarnaast zijn twee belastingsituaties doorgerekend, namelijk remmende vrachtwagens en draaiende vrachtwagens.

Voor het uitvoeren van de berekeningen zijn 3D-modellen opgesteld om de verschillende situaties door te rekenen. Er zijn modellen opgesteld voor een optimaal uitgevoerd legsysteem enerzijds en een suboptimaal uitgevoerde situatie anderzijds. Uit onderzoek dat door KOAC•NPC is uitgevoerd, is gebleken, dat de situatie in eerste aanleg namelijk niet optimaal kon zijn als gevolg van de toepassing van diepe sponningen in combinatie met smalle latjes, waardoor de latjes niet strak in de sponningen konden passen.

1.3 Opbouw rapport

In het volgende hoofdstuk is beschreven welke modellen zijn opgesteld en is weergegeven welke dimensies zijn gebruikt, welke belastingen, randvoorwaarden e.d. zijn toegepast in de berekeningen. De resultaten van de berekeningen zijn in hoofdstuk 3 weergegeven. In hoofdstuk 4 is het hersteladvies voor het stationsplein beschreven.

2 Model

2.1 Inleiding

Zoals in het vorige hoofdstuk aangegeven zijn er verschillende 3D-modellen opgesteld om daarmee berekeningen te kunnen uitvoeren. De uitgevoerde berekeningen zijn zogenaamde eindige elementen berekeningen. Met eindige elementen berekeningen wordt een 3D-model opgedeeld in elementen. Deze elementen hebben elk bepaalde materiaaleigenschappen en zijn opgesloten door andere elementen of door randvoorwaarden (krachten of verplaatsingen). In dit hoofdstuk is beschreven hoe deze modellen er uitzien en welke belastingen en randvoorwaarden zijn toegepast.

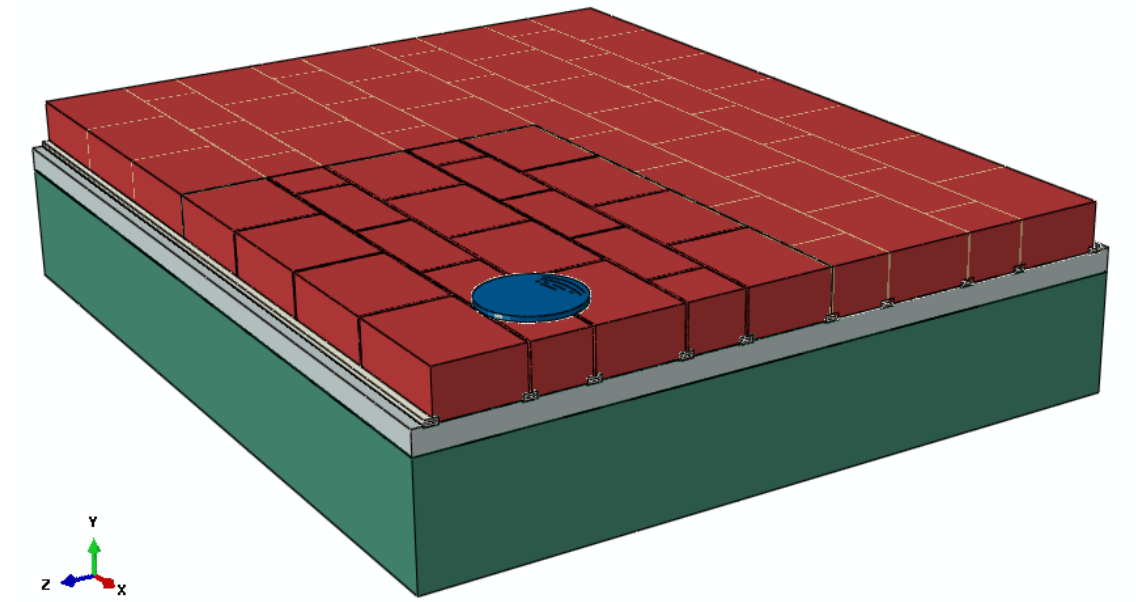
2.2 Opstellen model

Het legsysteem, dat is toegepast op het Stationsplein in Weert is het zogenaamde Ecostone® systeem [1].

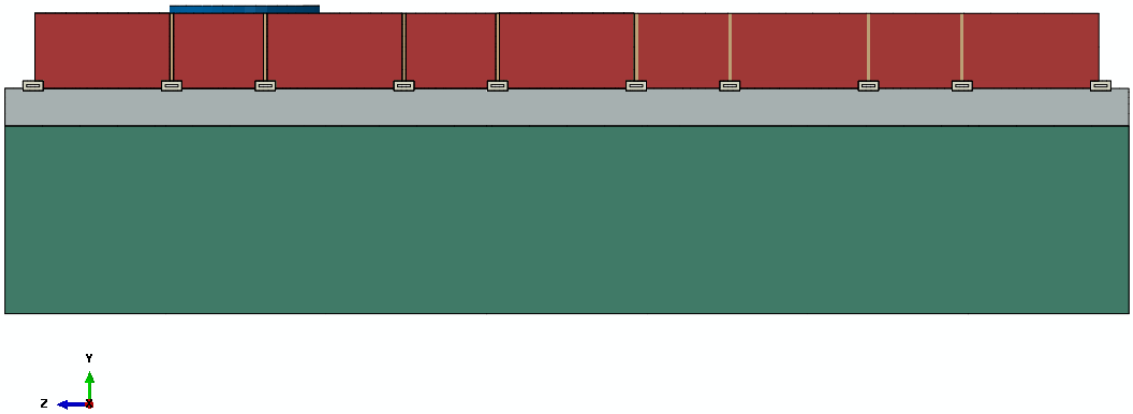
Dit legsysteem bestaat uit een natuursteen met ingezaagde sponningen waarmee de keien op en tussen latjes worden gelegd. Een bijbehorende onderbouw en plaatsingsmethode wordt als geheel het legsysteem genoemd.

Volgens het principe van Ecostone® zijn de 3D-modellen opgesteld. De 3D-modellen die zijn opgesteld zijn ongeveer 1,5×1,5 m. Deze afmetingen zijn gekozen vanwege de rekencapaciteit die beschikbaar is.

Het model bestaat uit natuurstenen, de latjes tussen de stenen, de voegen tussen de stenen, de straatlaag en de fundering. In Figuur 1 en Figuur 2 is het model van de rijbaan weergegeven.



Figuur 1 Overzicht model rijbaan



Figuur 2 Zijaanzicht model rijbaan

2.3 Dimensies

De volgende modellen zijn opgesteld:

- Model rijbaan, tegels/keien 180×250 mm en 120×250 mm, elementen liggen in halfsteensverband in lagen dwars op de rijrichting.
- Model K&R strook, tegels/keien 180×250; en 365×365 mm, de kleine elementen liggen met de lengte in rijrichting.
- Optimaal model: latjes liggen strak tussen de lagen elementen.
- Niet-optimaal model, horizontale bewegingsruimte tussen latjes en tegels (latjes 1 mm te smal).

De globale afmetingen van de modellen zijn 1500×1500 mm. De voegen hebben een breedte van 5 mm en de latjes de afmeting van 27×13 mm met een wanddikte van 5 mm.

2.4 Materiaaleigenschappen

De materiaaleigenschappen die zijn gebruikt, zijn weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1 Materiaaleigenschappen

Materiaal	Dichtheid (kg/m^3)	Elasticiteits modulus (MPa)	Poisson getal (-)	Maximaal toelaatbare spanning (MPa)
Natuursteen	2.800	80.000	0,2	10
Voegmateriaal	1.800	400	0,35	-0,5*
Kunststof latjes	1.550	3.000	0,35	6
Straatlaag	1.700	100	0,3	n.v.t.
Fundering	1.800	400	0,25	n.v.t.

*voor het voegmateriaal is een maximale drukspanning van toepassing

Voor de straatlaag is een Mohr-Coulomb model gebruikt om eventuele plastische vervormingen te kunnen berekenen. Het Mohr-Coulomb model berekend of afschuiving in de straatlaag op kan treden doordat de latjes verplaatsen.

2.5 Belastingen

Als belasting is het eigengewicht van de materialen meegenomen. Een vrachtwagenbelasting is gesimuleerd door een drukvlak te gebruiken. Dit drukvlak staat voor de belasting door dubbellucht vrachtwagenbanden. Er is gerekend met een aslast van 120 kN (dubbellucht). De configuratie van de vrachtwagenlast is beschreven in [2] (zie Tabel 2).

Tabel 2 Bandtypen en contactvlakdata [2]

	Enkellucht (EL)	Dubbellucht (DL)	Breedband (BB)	Super breedband (SB)
nominale aslast (kN)	70	120	100	115
nominale bandbelasting (kN)	35	30	50	57,5
loopvlakbreedte (mm)	200	200	300	400
nom. contactspanning (MPa)	0,75	0,8	0,85	0,95
hart-op-hartafstand (mm)	n.v.t.	315	n.v.t.	n.v.t.

De belasting in deze rapportage wordt meestentijds als vrachtwagenlast beschreven. Er is echter ook veel busverkeer op het stationsplein.

Dit drukvlak met een diameter van 200 mm en een contactspanning van 0,8 MPa zorgt voor een verticale last op de bestrating. Vervolgens zijn twee situaties doorgerekend:

1. Remmende vrachtwagen
2. Roterende vrachtwagenwiel (wringen in stilstand)

Met het doorrekenen van deze situaties is berekend welke schaden verwacht kunnen worden in de bestrating. Gezocht is naar maximaal optredende trek- en drukspanningen, verplaatsingen en plastische vervormingen. Vervolgens is getoetst of er te hoge spanningen, verplaatsingen op plastische vervormingen optreden.

2.6 Randvoorwaarden

Randvoorwaarden in het model beschrijven de krachtoverdracht naar en de verplaatsingsmogelijkheden ten opzichte van de omgeving van het model. Zo is de ondergrond onder de fundering gemodelleerd met een beddingsconstante met een k-waarde van 0,4 N/mm^3. Voor de situatie waar de vrachtwagen remt is er een symmetrievlak tussen de banden van het dubbellucht bandenstel. In het symmetrievlak treden in 1 richting geen verplaatsingen op omdat aan beide zijden dezelfde krachten optreden. Voor de overige zijden geldt, dat de afmetingen van het model zodanig zijn dat er verwaarloosbare krachten en verplaatsingen optreden op de randen van het model. (Achteraf is vastgesteld, dat dit voor het model K&R-strook geen correcte veronderstelling was zodat hier rekening mee gehouden is in de interpretatie van de resultaten).

2.7 Contacteigenschappen

De verschillende onderdelen in het model hebben een contactvlak met elkaar. Zo heeft het drukvlak van de vrachtwagenband aan de onderzijde contact met de bestrating. De stenen worden opgesloten door de voegen en aan de onderzijde door de straatlaag. Voor alle contactvlakken, met uitzondering van het drukvlak van de vrachtwagenband met de bestrating, is een wrijvingscoëfficiënt van 0,3 gebruikt. Het drukvlak van de band heeft een hogere wrijvingscoëfficiënt van 0,8 gekregen omdat deze uit het zachte materiaal rubber bestaat.

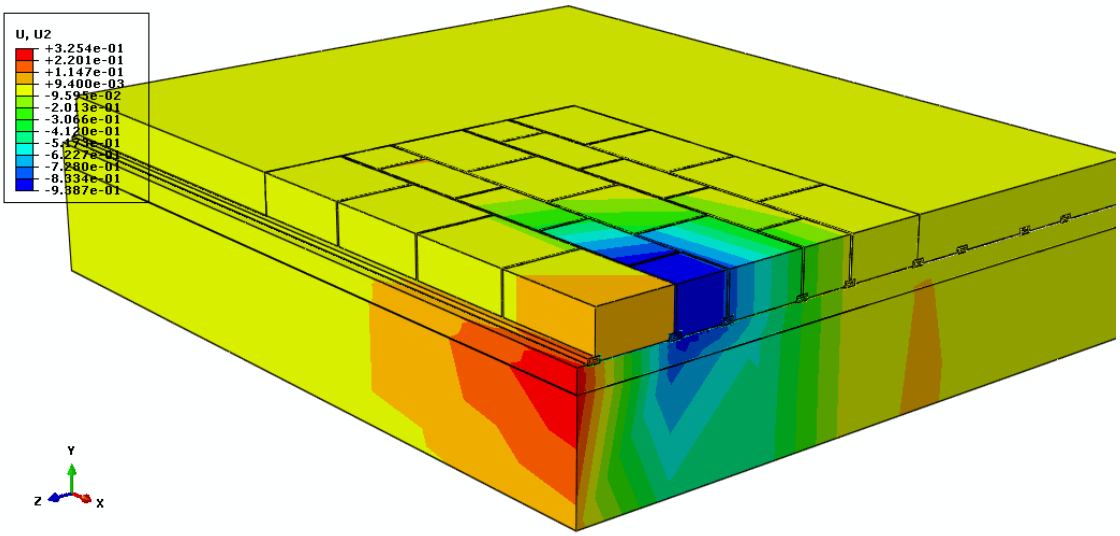
3 Resultaten

3.1 Inleiding

De resultaten bestaan uit een globale beschrijving van de mechanismen die optreden. Daarnaast is in detail getoetst of de maximaal toelaatbare spanningen in de materialen overschreden worden. De resultaten zijn geïllustreerd met figuren ter verduidelijking.

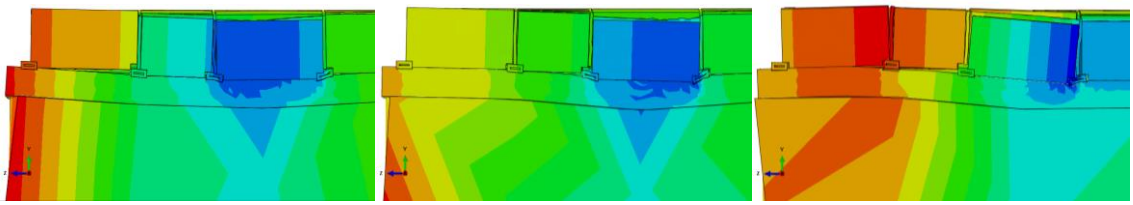
3.2 Rijbaan remmen

De vrachtwagenbelasting is geplaatst op een tegel welke een verticale verplaatsing ondergaat ten gevolge van eigengewicht. Vervolgens is de belasting verplaatst om het effect van blokkerend remmen te onderzoeken. In Figuur 3 zijn de verplaatsingen bij de start zichtbaar.



Figuur 3 Verticale verplaatsing in het model bij de start van de berekening

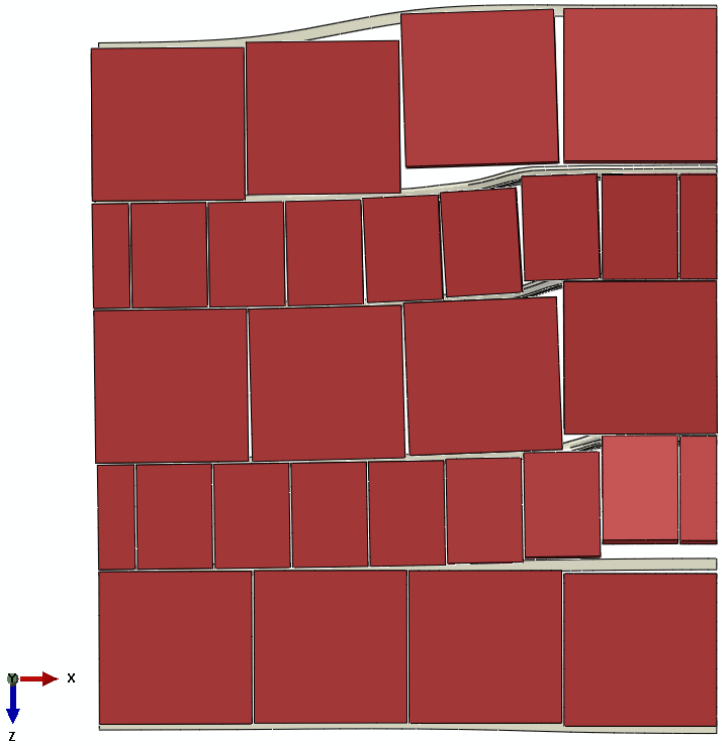
De verplaatsing van de vrachtwagenlast leidt tot verschuiving en rotatie van de stenen. Hierbij is nagegaan wat het effect van de latjes hierbij is. In Figuur 4 is dit zichtbaar gemaakt voor verschillende tijdsmomenten.



Figuur 4 Rotatie stenen door remmende vrachtwagen (schaalfactor 1:25)

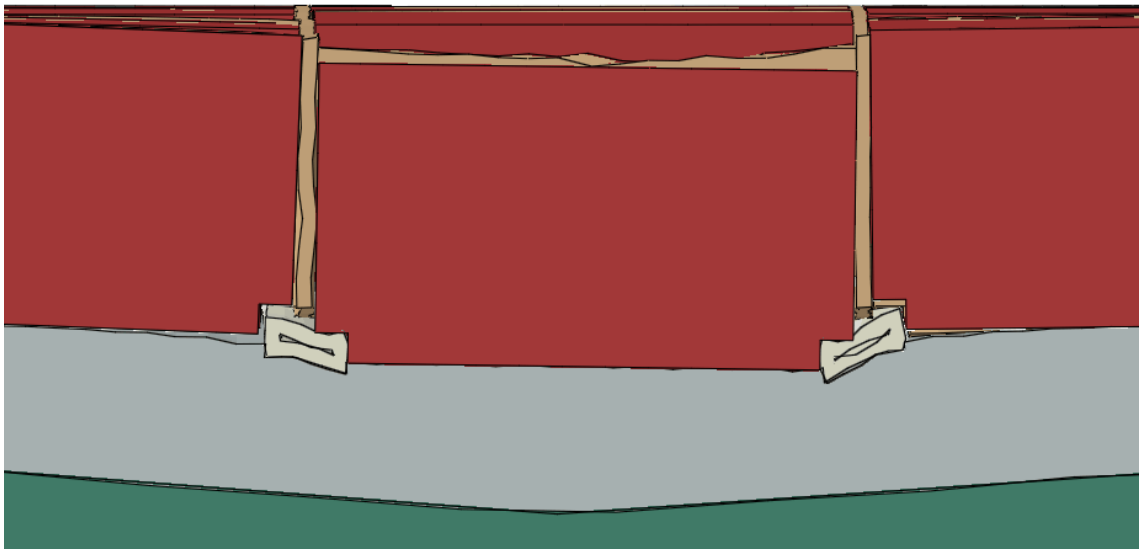
De resultaten tonen aan dat de kunststof latjes tussen de stenen twee functies hebben. Er wordt een horizontale kracht overgedragen naar de volgende rij stenen. Daarnaast wordt een verticale kracht overgedragen naar de ondergrond. Beide mechanismen zorgen voor een belasting op de latjes waardoor deze vervormen. De horizontale vervorming die optreedt is

zichtbaar in Figuur 5. Hierbij is een hoge schaalfactor gebruikt om het mechanisme te verduidelijken.



Figuur 5 Bovenaanzicht horizontale vervorming (schaalfactor 1:50)

In Figuur 6 is de verticale vervorming van de latjes zichtbaar. De schaalfactor is vergroot om het effect zichtbaar te maken. Een toetsing of maximaal toelaatbare spanningen worden overschreden is uitgevoerd in Tabel 3.



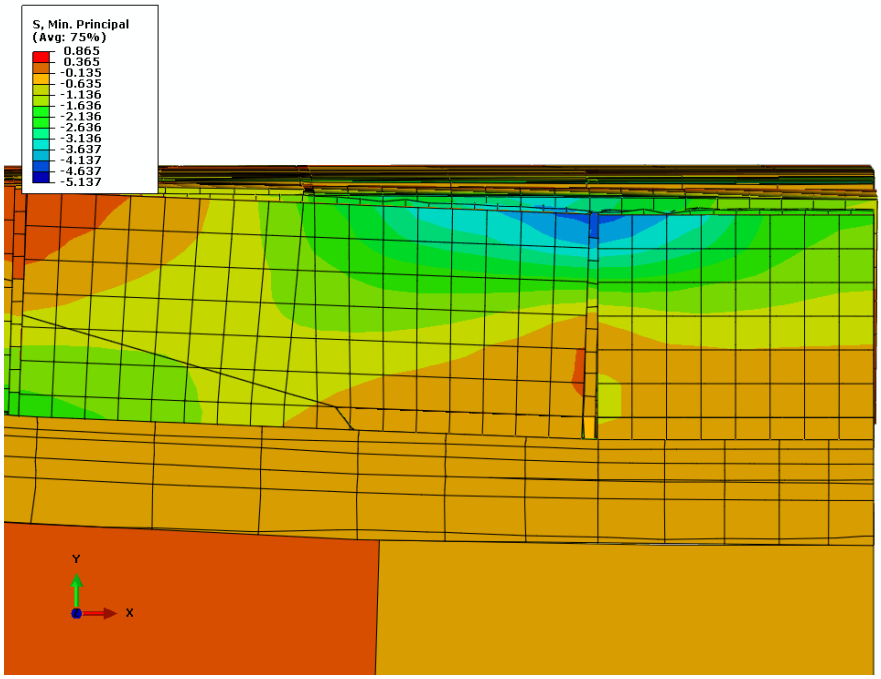
Figuur 6 Zijaanzicht latjes (schaalfactor 1:25)

Tabel 3 Berekende spanningen rijbaan remmen

Materiaal	Maximale trekspanning (MPa)	Maximale drukspanning (MPa)
Natuursteen	2,5	6,0
Voegmateriaal	0,7	***5,0****
Kunststof	2,7	5,2

*de maximale drukspanning wordt overschreden

De drukspanning in de voegen zijn hoger dan het voegmateriaal kan weerstaan. De hoogste spanningen concentreren zich in de bovenste mm van de voegen, doordat als gevolg van doorbuiging van de onderliggende lagen, de belaste elementen aan de bovenzijde naar elkaar toe draaien. In Figuur 7 is dit mechanisme zichtbaar.

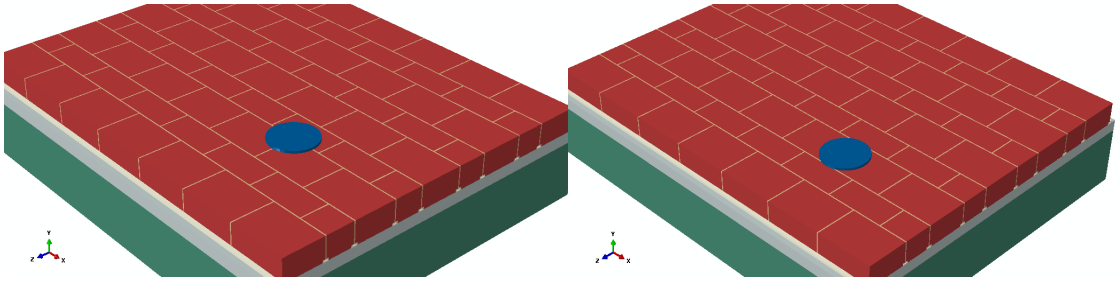


Figuur 7 Druk in de bovenste mm van de voegen

Alleen de bovenste millimeters van de voegen zullen dus verkruimelen. Er zal daardoor verlies van voegmiddel door verkeer en reiniging kunnen optreden.

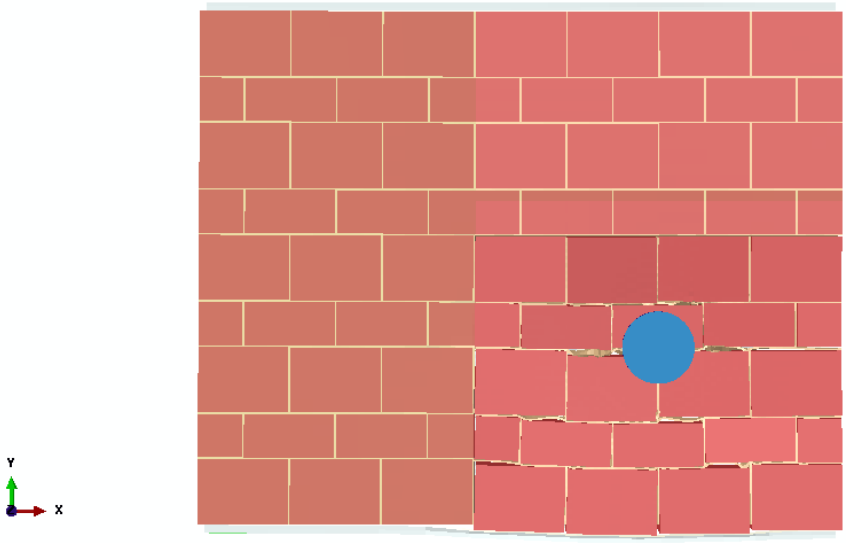
3.3 Rijbaan draaien

Vervolgens is de berekening uitgevoerd van de rijbaan waarbij de vrachtwagenwielen wringend in stilstand zijn aangenomen. Voor deze berekening is ook de toets uitgevoerd of maximaal toelaatbare spanningen worden overschreden. In het algemeen kan gesteld worden dat er lagere spanningen optreden in deze belastingsituatie t.o.v. een remmend vrachtwagenwiel. Er zijn twee belastinglocaties doorgerekend. Een situatie waarbij het vrachtwagenwiel op een hoekpunt van drie tegels staat en een situatie waarbij het vrachtwagenwiel op twee tegels staat. In Figuur 8 zijn deze locaties zichtbaar.



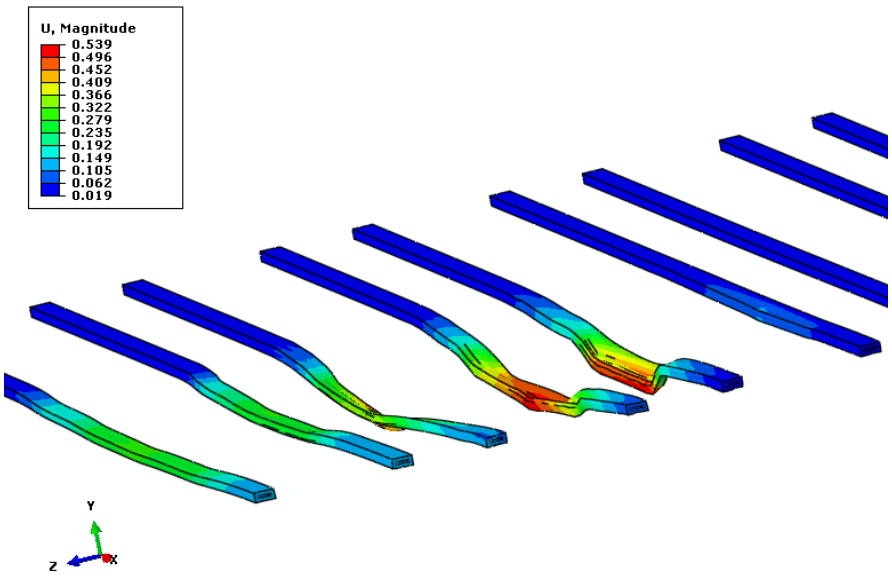
Figuur 8 De twee posities die zijn doorgerekend op de rijbaan

Vanwege de rotatie van het vrachtwagenwiel roteren ook de tegels, hetgeen spanningen in de voegen, latjes en omliggende tegels veroorzaakt. De opgelegde rotatie is tegen de klok in. In Figuur 9 is het effect van de rotatie zichtbaar.



Figuur 9 Verplaatsing vanwege rotatie van het vrachtwagenwiel (schaalfactor 1:100)

Ten gevolge van de rotatie worden verschillende elementen verplaatst. Door de voegen en de latjes worden de verplaatsingen doorgegeven over een groot oppervlak. De latjes verplaatsen voornamelijk in verticale richting als gevolg van het gewicht van de vrachtwagen. Doordat de latjes moeten ‘knikken’ ontstaan trek- en drukspanningen in de latjes. De verplaatsingen die de latjes ondergaan zijn zichtbaar in Figuur 10. Opgemerkt moet worden, dat de verplaatsingen door onvoldoende opsluiting (randvoorwaarden) aan de onderzijde van de figuur aan de grote kant zijn. Het illustreert wel mechanisme.



Figuur 10 Beeld van de verplaatsingen in de latjes (mm) (schaalfactor 1:100)

De hoogste spanningen treden op in de voegen. De bovenzijde van de voeg komt onder druk te staan (ong. 5 MPa). De overige spanningen zijn weergegeven in Tabel 4. Hierbij zijn de maximale spanningen uit beide berekeningen weergegeven.

Tabel 4 Maximale spanningen in de rijbaan bij roterend vrachtwagenwiel

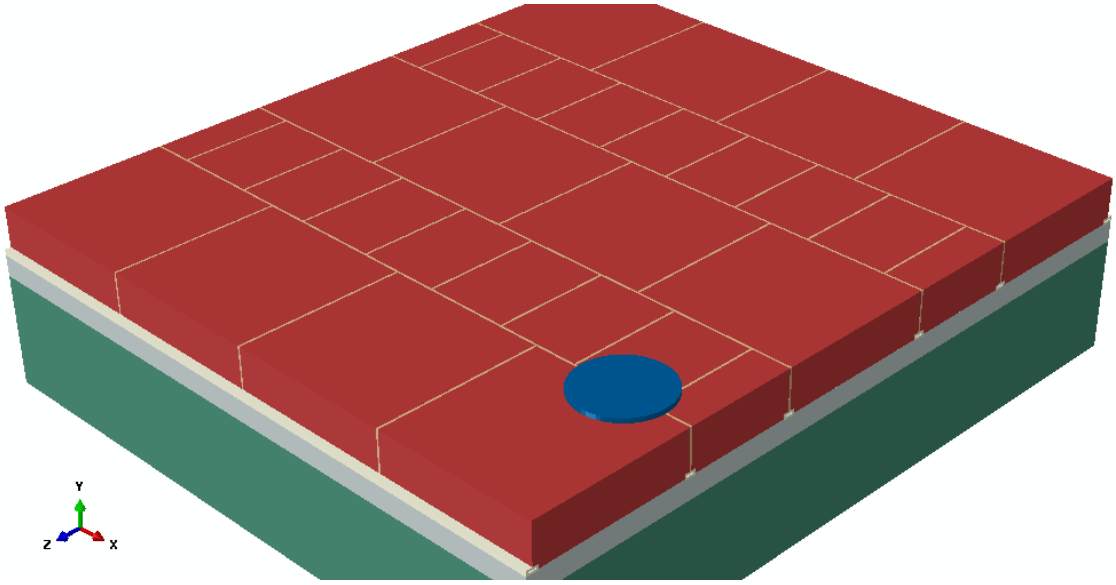
Materiaal	Maximale trekspanning (MPa)	Maximale drukspanning (MPa)
Natuursteen	1,5	4,0
Voegmateriaal	0,5	***5,2****
Kunststof	2,1	1,9

*de maximale drukspanning wordt overschreden

Ook hier treden de hoge drukspanningen op in de bovenste mm van de voegen wat tot bezwijken leidt. De bovenste mm van de voegen kunnen daardoor verdwijnen door reiniging of verkeer.

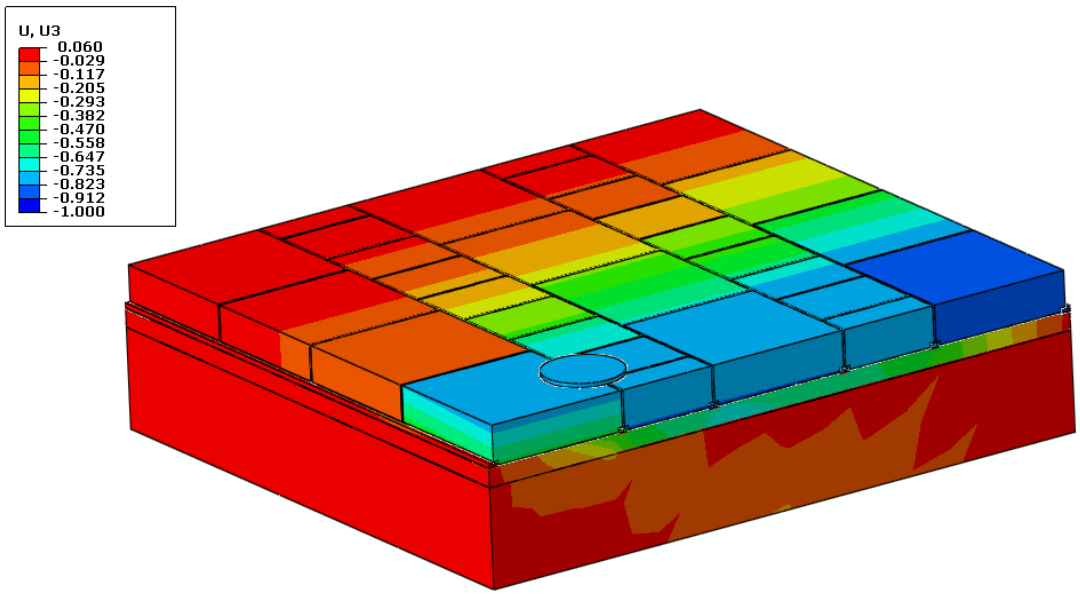
3.4 K&R strook remmen

De Kiss en Ride (K&R) strook bestaat deels uit grotere elementen dan in de rijbaan. De kleinere elementen liggen in rijrichting en liggen dus met de korte zijde op de latjes in tegenstelling tot de elementen in de rijbaan. Vanwege deze grotere elementen en de elementen in rijrichting, zijn er minder latjes per meter aanwezig. Het doorgerekende model is weergegeven in Figuur 11.



Figuur 11 Overzicht model K&R strook

Opvallend aan de resultaten van deze berekening is dat de verplaatsingen die in horizontale richting optreden groot zijn. Hierdoor ontstaan hoge spanningen in de kunststof latjes. In Figuur 12 is te zien dat de tegels ongeveer 1 mm horizontaal verplaatsen.



Figuur 12 Horizontale verplaatsing (mm) K&R strook

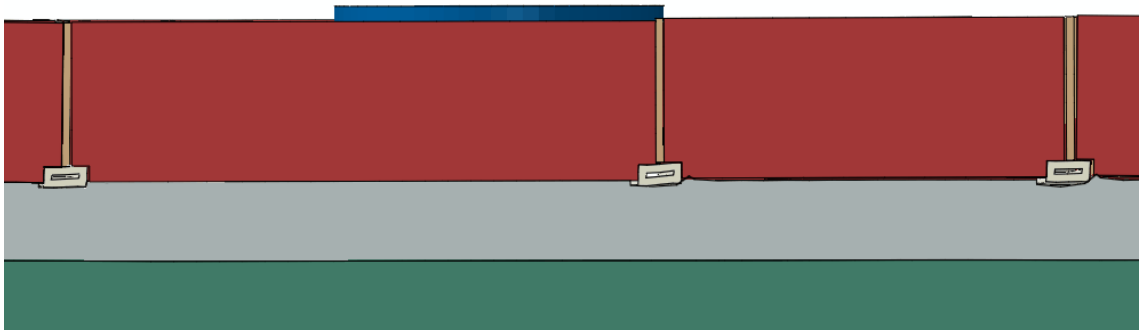
De latjes ondergaan dezelfde verplaatsing als de tegels met als gevolg dat hoge spanningen in de latjes ontstaan.

Tabel 5 Maximale spanningen in de K&R strook bij remmend vrachtwagenwiel

Materiaal	Maximale trekspanning (MPa)	Maximale drukspanning (MPa)
Natuursteen	1,7	4,1
Voegmateriaal	1,0	***2,4****
Kunststof	2,1	2,7

*de maximale drukspanning wordt overschreden

Vanwege de grote verplaatsing van de latjes vindt afschuiving plaats in de straatlaag volgens het Mohr-Coloumb model. In Figuur 13 is zichtbaar dat de straatlaag opgedreven wordt voor de latjes.



Figuur 13 Permanente vervorming in de straatlaag

3.5 K&R strook draaien

Bij een roterend vrachtwagenwiel zijn ook in dit model de spanningen lager dan bij een remmend vrachtwagenwiel. In Tabel 6 zijn de maximale spanningen weergegeven.

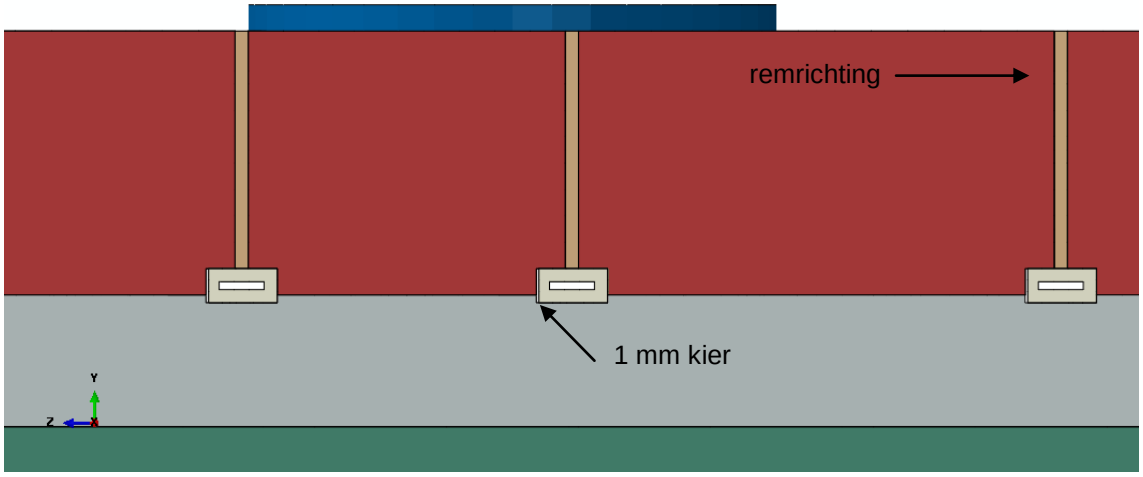
Tabel 6 Maximale spanningen in de K&R strook bij roterend vrachtwagenwiel

Materiaal	Maximale trekspanning (MPa)	Maximale drukspanning (MPa)
Natuursteen	2,3	3,2
Voegmateriaal	1,1	***2,9****
Kunststof	3,3	2,8

*de maximale drukspanning is overschreden

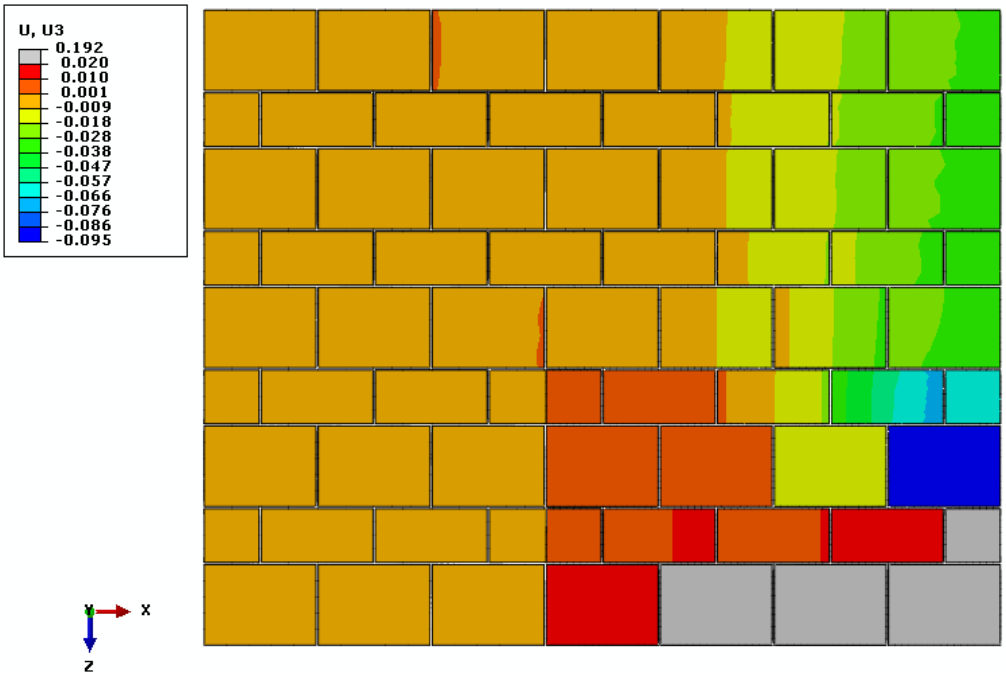
3.6 Niet optimaal model, remmen

In het niet-optimale model zijn de kunststof latjes 1 mm verkleint in de breedte. Deze situatie ontstaat wanneer de sponningen die ingezaagd zijn in de keien, te diep zijn. In Figuur 14 is een zijaanzicht weergegeven. Met dit model is getoetst of er permanente verplaatsing van de tegels optreedt. Daarnaast kunnen de spanningen in de voegen hoger worden vanwege het ontbreken van de ondersteuning aan de onderzijde van de tegel.



Figuur 14 Zijaanzicht niet-optimale model

Uit de berekening blijkt dat er geen permanente verplaatsing optreedt. De voegen zorgen voor een krachtoverdracht en “duwen” de tegels weer terug wanneer het vrachtwagenwiel voorbij is. In Figuur 15 is zichtbaar dat de tegels een kleine verplaatsing ondergaan in de remrichting.



Figuur 15 Horizontale verplaatsingen in rem-richting

De maximale spanningen die optreden in deze berekening zijn weergegeven in Tabel 7.

Tabel 7 Maximale spanningen in het niet optimale model bij remmend vrachtwagenwiel

Materiaal	Maximale trekspanning (MPa)	Maximale drukspanning (MPa)
Natuursteen	3,9	7,0
Voegmateriaal	0,9	***5,1****
Kunststof	1,8	1,7

*de maximale drukspanning is overschreden

Wat opvalt, in vergelijking met de eerste berekening (zie Tabel 3), is dat de spanningen in de voeg iets hoger zijn en de spanningen in de kunststof latten lager. Dit komt doordat er geen optimale aansluiting is tussen de elementen en de latjes. Geconcludeerd kan worden dat wanneer de latjes geen goede aansluiting hebben met de elementen de functie van de latjes teniet wordt gedaan op het gebied van krachtoverdracht.

Omdat rotatie steeds lagere spanningen oplevert dan remmen, is er geen berekening van de wringende belasting op een niet-optimale situatie uitgevoerd.

3.7 Conclusies

3.7.1 Beperkingen van de modellen

Wegens noodzakelijke beperking van de rekentijd (doorrekenen van één situatie duurt al snel 24 tot 48 uur) zijn de doorgerekende modellen beperkt van omvang. De afmetingen van ca 1,5 bij 1,5 m zou tot voldoende lage spanningen en kleine vervormingen op de randen van het model moeten leiden. Uit vooral de berekeningen aan het K&R-model blijkt, dat deze veronderstelling niet geheel juist is. De wrijving tussen elementen en straatlaag en de weerstand van het geringe aantal latjes in de straatlaag is in dit geval zodanig laag, dat hier aanzienlijk grotere vervormingen worden berekend dan in de rijbaan. In het K&R-model zijn bovendien alle elementen los gemodelleerd, terwijl in de rijbaan de belaste zone los is maar de omgeving, links en naar voren als één samenhangend deel (wel bestaande uit verschillende materialen) is gemodelleerd. Vooral door dit laatste zijn de berekende vervormingen in de rijbaan kleiner. In feite moet de conclusie zijn, dat de randvoorwaarden (de rekentechnische opsluiting) in het K&R-model te zwak zijn geweest.

Ook het model met wringing in stilstand laat zien dat de opsluiting in alle modellen onvoldoende is. De rand van het model in z-richting vertoont dan namelijk relatief grote verplaatsingen, opnieuw vanwege het ontbreken van de omringende bestrating, dan wel onjuiste randvoorwaarden.

Desondanks zijn de resultaten bruikbaar voor een beoordeling van het legsysteem en de invloed van suboptimale uitvoering.

3.7.2 Werking van de latjes

Uit de berekeningen blijkt, dat de latjes erg slap zijn. De vervormingen in de bestrating volgen exact hetzelfde patroon als wat je zonder latjes zou verwachten.

De vervorming spreidt zich naar voren toe steeds per laag een “half” element naar links en rechts. De latjes zorgen er dus niet voor, dat de krachten sneller over een grotere breedte worden verdeeld.

De latjes liggen in de straatlaag en de vervormingen leiden tot stuik in de toplaag. De straatlaag wordt bij iedere belastingcyclus steeds een beetje verder vervormd. Elementen kunnen daardoor minder optimaal ondersteund worden, waardoor de latjes zwaarder belast worden. De latjes hebben bij grotere vervormingen zelfs de neiging om verder naar voren toe tegen de “ruggetjes” in de vervormde straatlaag omhoog te kruipen. De latjes roteren daardoor om hun lengteas. Vermoedelijk vormt dit mechanisme de oorzaak van de waargenomen vervormingen in de latjes, waarbij de rand van de elementen de latjes in het midden hard indrukt. Daarbij moet men zich ook realiseren dat door de buiging van de latjes er piekspanningen optreden waar de hoeken van de elementen in de latjes drukken.

3.7.3 Voegmiddel

Uit alle berekeningen volgt, dat de drukspanningen in de voegen tot maximaal 5,2 MPa kan oplopen. Daarbij is er uitgegaan van een situatie waarin de voeg al is gebonden (stijfheid 400 MPa). Voor een licht gebonden voegmiddel als Geomix® is deze spanning te veel. Dit zal leiden tot bezwijken van deze voegen. Voor een ongebonden situatie (stijfheid 100 MPa) zullen de spanningen lager uitvallen maar worden de vervormingen wat groter.
Overigens concentreren de hoogste spanningen zich steeds in de bovenste mm van de voegen, doordat als gevolg van doorbuiging van de onderliggende lagen, de belaste elementen aan de bovenzijde naar elkaar toe draaien. Alleen de bovenste millimeters van de voegen zullen dus verkruimelen. Er zal daardoor verlies van voegmiddel door verkeer en reiniging kunnen optreden.
Wanneer de ondergrond slapper is (huidige situatie met vochtgevoelige straatlaag) zal de grotere bewegingsvrijheid ertoe kunnen leiden, dat bij herhaalde belastingen geen binding zal kunnen ontstaan of ontstane binding of eigenlijk beginnende binding steeds zal worden verbroken. Plekken waarin de voegen over meer dan 10—15% van de hoogte leeg raken, leidt in het algemeen tot het bezwijken van de bestrating en een zich geleidelijk uitbreidend schadebeeld. Op een aantal plaatsen is dit fenomeen ook in de praktijk (slappe en te fijne straatlaag) waargenomen.

3.7.4 Straatlaag

De straatlaag is gemodelleerd als een stabiele steenslag. Toch blijkt deze onder de belasting permanente vervormingen te ontwikkelen. Zoals hiervoor al aangegeven leidt deze “rug”-vorming tot ongelijkmatige ondersteuning van de elementen en extra belasting op de latjes met mogelijk ook schade aan de latjes zelf. In de huidige situatie is de straatlaag niet geschikt door het zeer hoge aandeel zeer fijne deeltjes (10-14% ≤ 63 μm), waardoor dit effect waarschijnlijk nog sterker is en daardoor tot schade heeft geleid.

3.7.5 Slotconclusie

De doorgerekende modellen laten zien, dat er ondanks het gebruik van het latjessysteem en een zeer stabiele straatlaag toch steeds hoge spanningen in de voegen optreden bij remmende en wringende belastingen door bussen en vrachtauto’s. Deze hoge spanningen kunnen door het voegmiddel Geomix niet worden opgenomen en kunnen leiden tot verlies van de bovenste

10-20 mm van het voegmiddel. Onvoldoende passing van de latjes zal kunnen leiden tot een verschuiving van de bestrating, wat aanleiding kan geven tot smallere voegen waar deze worden dicht geduwd en juist openende voegen aan het begin van de remweg, door cumulatie van permanente vervormingen.

In ons vorige rapport (e150390901) werd er, op basis van de schadebeoordeling, nog van uitgegaan dat het latjessysteem met rondom gezaagde elementen, zoals in Weert toegepast, in principe zou moeten kunnen functioneren. Uit de berekeningen met het eindig elementen programma komt echter naar voren, dat de latjes weinig of geen bijdrage leveren aan de weerstand tegen vervorming. Het is naar ons oordeel daarom ook niet zinvol om nieuwe vol-kunststof latjes met een grotere breedte toe te passen, zoals in de eerdere rapportage (e150390901) is voorgesteld. Deze zouden de voegwijdte wel beter in stand kunnen houden maar, omdat er toch al afstandhouders (T-stukjes) worden gebruikt voor de stootvoegen, is er nauwelijks noodzaak tot het toepassen van de latjes. Veel belangrijker dan de latjes zijn een geschikte stabiele straatlaag, een goede waterhuishouding en stabiele voegen.
De beperkte hoogte van de elementen en de hoge verkeersbelastingen maken, dat KOAC•NPC geen garantie kan geven op goed functioneren van de bestrating in een flexibele ongebonden constructie. Een keuze voor een gebonden straatlaag van splitbeton 4/8 mm en cementgebonden voegen, lijkt nog altijd de beste voor deze situatie met vrachtwagens en een groot aantal bussen die over dit plein rijden.

4 Advies herstel bestrating (Plan van Aanpak)

4.1 Inleiding

Aangezien de conclusie luidt, dat het Ecostone legsysteem onvoldoende stabiliteit biedt, is, na overleg met de gemeente Weert een gewijzigd plan van aanpak opgesteld, waarin niet het latjessysteem maar de alternatieve constructie met een starre straatlaag en gebonden voegen is opgenomen.

4.2 Werkplan

4.2.1 Verwijderen bestaande bestrating

- Opnemen en tijdelijk opslaan van de bestaande natuursteenbestrating per type element;
- Verwijderen en afvoeren van de latjes;
- Verwijderen en afvoeren van de straatlaag;
- Opnemen en opslaan van de overrijdbare banden en goot tussen K&R-strook en rijbaan;
- De fundering onder de banden verwijderen tot op een zodanige diepte, dat de nieuw aan te brengen fundering onder de banden tenminste 15 cm dik zal zijn;

4.2.2 Voorbereiding nieuw straatwerk

- Nieuwe fundering voor de banden aanbrengen en verdichten. Veel aandacht besteden aan de aansluiting met te handhaven funderingslagen onder K&R-strook en rijbaan!;
- De onbeschadigde banden en goten vrijmaken van mortelresten (banden waarvan alleen de koppen zijn beschadigd mogen ingekort worden) en opnieuw aanbrengen (stellen in mortel) met 3-4 mm voegwijdte (afstandhouders aanbrengen). Om inspoelen van de straatlaag in deze voegen tegen te gaan de voegen afzetten met dunne kunststof schotjes en de bovenzijde afdichten met kit;
- Controleren van het profiel van de funderingen van rijbaan en K&R-strook en eventueel herprofilering met menggranulaat 0/16 mm;
- Aanbrengen van drainagegaten (diameter 200 mm) in de fundering (één gat per ca 5 m lengte op korte afstand van de band en goot (zowel in de rijbaan als in de K&R-strook). Gaten boren met kernboor of avegaar met mantelbuis, om verstoring van de verdichtte fundering te voorkomen (mantelbuis voorzichtig draaiend trekken);
- Wand van de drainagegaten bekleden met een filterdoek om uitspoeling van fijne delen uit die wand tegen te gaan (de te verwachten hoeveelheden water zijn gering bij gebonden voegen);
- Vullen van de drainagegaten met splitbeton 4/8 mm;
- De natuursteenelementen moeten gereinigd worden, om de sliblaag (fijne deeltjes uit de huidige straatlaag en het voegmiddel) zo goed mogelijk te verwijderen. Dit slib zal anders de hechting aan de straatlaag en de cementgebonden voegen ernstig kunnen hinderen!;

4.2.3 *Aanbrengen straatwerk*

- Aanbrengen van splitbeton 4/8 mm (voor specificatie zie RAW 2015) (maximale dikte straatlaag 70 mm) onder gewenst profiel;
- Alle natuursteenelementen kort voor plaatsing aan de onderzijde aanbranden door het aanbrengen van een papje van cement en water (50/50 % m/m) of een speciaal aanbrandmiddel (bijvoorbeeld Poltec);
- Hamervast aanbrengen van natuursteenelementen volgens gewenst patroon in straatlaag van vers aangemaakte splitbeton 4/8 mm. Splitbeton niet meer verwerken als binding is begonnen. Splitbeton tijdens en na verwerking beschermen tegen ongunstige weersinvloeden (uitdroging, neerslag of vorst). Splitbeton niet verwerken bij temperaturen beneden 5 ^{o}C;
- Om de 6 tot 8 m moet een flexibele voeg gerealiseerd worden. Het splitbeton op deze plaatsen onderbreken door schuimband in het nog verse splitbetonen tegen de laatst aangebrachte laag natuursteen elementen te plaatsen. Deze voegen afdichten met kit. In verband met de rijbaanbreedte van ca 8 m, ook een elastische voeg aanbrengen langs beiden zijden (bij opsluitbanden en goten);
- Passtukken mogen geen zijden hebben, die kleiner zijn dan de helft van de lengte. Hiertoe worden bij voorkeur ook elementen met anderhalve lengte ingekocht en op maat gezaagd;
- Inwassen van de voegen met cementgebonden voegmortel (Samco 88 of Geocon). Verwerking volgens voorschrift van de leverancier;

4.2.4 *Nazorg en kwaliteit*

- De verharding van cement vergt tijd. Afhankelijk van de verhardingstemperatuur en het gekozen type cement zal het tussen 2 en 4 weken duren, voordat alle verkeer weer over de bestrating mag passeren. (Voorschriften van leverancier volgen). Het heeft vanuit constructief oogpunt in het algemeen de voorkeur een tragere cement en een langere afsluiting voor verkeer te hanteren, omdat hiermee de kans op schade wordt verkleind;
- Kitvoegen zullen in het algemeen na 7 tot 10 jaar moeten worden vervangen. Indien kitvoegen losraken dienen deze zo spoedig mogelijk te worden hersteld, om binnen dringen van vocht en vuil in de bewegingsvoegen te voorkomen;
- Starre constructies kennen een nadeel, ze zijn niet vergevingsgezind. Onvolkomenheden in de uitvoering, beperkte hechting en overbelasting kunnen leiden tot scheuren, die in het algemeen het voegenpatroon zullen volgen. Het is daardoor nooit uit te sluiten dat er incidenteel een (haar)scheur in dit soort bestratingen optreedt. Herstel van starre constructies is kostbaar, doordat het sloopwerk veel energie vergt en de natuursteenelementen door aanhangende mortel vaak niet herbruikbaar zijn;
- Geadviseerd wordt, om aan het begin en einde van de natuursteenvakken in de rijbaan een overrijdbare band aan te brengen. Daarmee worden de eerste lagen van de starre constructie beter opgesloten en is de kans op afbrokkelen van deze eerste lagen kleiner.

5 Referenties

[1] http://ecostone.be/home/

[2] Achtergrondrapport ontwerpinstrumentarium asfaltverhardingen (OIA), CROW-rapport D11-05, CROW, januari 2012