

7-11-133-11

Standaard asfaltconstructie voor bermen en havenplateaus op Waterkeringen

December 2011

M.F.C. van de Ven, C. Montauban

Standaard asfaltconstructie voor bermen en havenplateaus op Waterkeringen

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Zeeland Projectbureau zeeweringen Hoofdkantoor Middelburg Postbus 5014 4330 KA Middelburg
Contactpersoon	Ing. S.J.P. Vereeke
Rapport	TU Delft Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen Postbus 5048 2600 GA Delft
Uitgevoerd door	M.F.C. van de Ven C.C. Montauban
Datum	Juli 2011

Inhoudsopgave

1. Inleiding	1
2. Ontwerpeisen	1
2.1. Rekenparameters	1
2.2. Eisen	1
2.3. Mengselcodering	3
3. Standaard constructie	3
3.1. Introductie	
3.2. Input voor de berekeningen	
3.3. Invloed van de beddingsconstante	
4. Besteksbepalingen	5
4.1 Eisen	5
4.2 Vooronderzoek	6
4.3 Geschiktheidsonderzoek	6
4.4 Uitvoering	7
4.5 Kwaliteitszorg	8
5. Toelichting	8

Referenties

Bijlages

Bijlage 1. Structureel ontwerp van asfaltbermen en asfaltplateaus voor waterkeringen. MFC van de Ven, CC Montauban, Y Xiao, rapport 7-11-133-10, TU Delft, mei 2011.

1 INLEIDING

In opdracht van Projectbureau Zeeweringen is door de TUD een ontwerp opgesteld voor onderhoudsbermen en havenplateaus die deel uitmaken van waterkeringen. Dit ontwerp is gerapporteerd als bijlage 1 bij dit rapport, dat als hulpmiddel dient bij het ontwerp en opstellen van bestekken. Dit rapport bevat de volgende onderdelen:

- Ontwerpeisen aan de bermen en plateaus (asfalt-fundering-ondergrond)
- Standaard asfaltconstructie
- Aanvullende set besteksbepalingen voor asfalt-fundering-ondergrond
- Toelichting op de Ontwerpeisen en de besteksbepalingen

In dit rapport is relevante informatie verzameld in aanvulling op officiële documenten als de Standaard-RAW-Bepalingen-2010 en de Europese regelgeving (NEN-EN en CE-markering).

2 ONTWERPEISEN

2.1 Rekenparameters

In het rapport “Structureel ontwerp van Asfaltbermen en Asfaltplateaus” (bijlage 1) is gerekend met de volgende parameters:

- Laagdikte asfalt = 100 mm
- Laagdikte fosforslak = 400 mm
- $E_{\text{asfalt}} = 5.000, 10.000$ en 15.000 MPa
- $E_{\text{fosforslak}} = 1.000$ MPa
- $E_{\text{ondergrond}} = 50$ en 100 MPa

Dit levert een levensduur op van ten minste 600.000 aslastherhalingen van 10 ton, wat bij 15 aslasten van 10 ton per dag een levensduur van ten minste 100 jaar betekent.

Bij een “worst-case” benadering met een kleinere asfaltlaagdikte van 80 mm, een lagere asfaltstijfheid van 2.000 MPa en een lagere funderingsstijfheid van 400 MPa blijkt deze laatste funest: de levensduur loopt terug tot 13.000 á 14.000 lastherhalingen. De kleinere asfaltdikte en lagere asfaltstijfheid blijken wel acceptabel.

2.2 Eisen

Bovenstaande leidt tot het volgende pakket aan eisen:

De structurele sterkte is gewaarborgd als de lagen aan de volgende eisen voldoen:

- Laagdikte asfalt = gemiddeld ≥ 100 mm, minimaal ≥ 80 mm
- Laagdikte fosforslak = gemiddeld ≥ 400 mm, minimaal ≥ 360 mm
- $E_{\text{asfalt}} =$ gemiddeld ≥ 4.500 MPa, minimaal ≥ 2.000 MPa
- $E_{\text{fosforslak}} =$ gemiddeld ≥ 1.000 MPa, minimaal ≥ 800 MPa
- $E_{\text{ondergrond}} =$ gemiddeld ≥ 100 MPa, minimaal ≥ 50 MPa

Ten behoeve van de duurzaamheid worden de volgende eisen aan het asfalt gesteld:

- Holle ruimte = gemiddeld ≤ 4.0 %, met grenzen van ≥ 2.0 tot ≤ 6.0 %
- ITSR (watergevoeligheid) = ten minste 80 %
- Hergebruik wordt beperkt tot 30%

De weerstand tegen permanente deformatie van het asfalt moet voldoen aan de eis:

- f_c = ten hoogste 1.5 % (bij minder dan 100.000 aslasten over de levensduur)
- f_c = ten hoogste 0.6 % (bij meer dan 100.000 aslasten over de levensduur)

De asfaltmengsels die hiervoor in aanmerking komen zijn:

- Asphaltbetonmengsel voor deklagen: DL-B volgens tabel T 31.09 van de Standaard-2010 (= AC 8 surf, AC 11 surf of AC 16 surf volgens de CE-markering). Deze mengsels zijn bedoeld voor een verkeersaanbod van minder dan 100.000 aslasten gedurende de levensduur.
- Asphaltbetonmengsel voor deklagen: DL-C volgens tabel T 31.09 van de Standaard-2010 (= AC 8 surf, AC 11 surf of AC 16 surf volgens de CE-markering). Deze mengsels zijn bedoeld voor een verkeersaanbod van meer dan 100.000 aslasten gedurende de levensduur.

Tabel 1. Eigenschappen van geschikte mengsels volgens de gestelde eisen (mengsels uit RAW 2010 tabel T31.09).

Eigenschappen	Categorie indeling eigenschappen	
	DL-B	DL-C
V_{\min} ten minste	2,0	2,0
V_{\max} ten hoogste	6,0	6,0
ITSR tenminste	80	80
S_{\min} ten minste	4500	5500
S_{\max} ten hoogste	9000	11000
f_c ten hoogste	1,4	0,6
ε_6 ten minste	115	100
	Verkeersaanbod lager dan 100.000 gedurende de levensduur	Verkeersaanbod hoger dan 100.000 gedurende de levensduur

V_{\min} = minimum holle ruimte in het mengsel

V_{\max} = maximum holle ruimte in het mengsel

ITSR = retained indirecte treksterkte ratio

S_{\min} = minimum stijfheid mengsel in MPa

S_{\max} = maximum stijfheid mengsel in MPa

f_c = helling van de permanente vervorming in de triaxiaalproef

ε_6 = minimum vereiste rekniveau in de vermoeiingsproef na één miljoen lastherhalingen

Bij voorkeur moet in de asfaltmengsels bitumen 70/100 worden toegepast; indien de aannemer hiermee niet kan voldoen aan de in tabel 1 genoemde eisen mag bitumen 50/70 worden toegepast.

Op grond van duurzaamheidsoverwegingen mag het gehalte aan asfaltgranulaat ten hoogste 30 % bedragen. Hiervoor mag geen asfaltgranulaat van ZOAB worden gebruikt. De penetratie van het teruggewonnen bindmiddel moet voldoen aan de eis volgens de zogenaamde log Pen regel zoals omschreven in RAW 2005 [1].

NB. Mengsels voor tijdelijke deklagen en tussenlagen zijn niet opgenomen vanwege de hogere toegestane holle ruimte.

2.3 Mengselcodering

De in de bestaande bestekken nog genoemde mengselcoderingen als: “AC 16 surf D2” zijn niet meer geldig, omdat de codering D2 alleen voorkwam in de Standaard-RAW-Bepalingen Wijziging mei 2008. Als nieuwe codering kan een samentrekking van CE-markering en Standaard-2010 worden gehanteerd:

Bijvoorbeeld: “AC 16 surf DL-B”

In de NEN-EN-norm 13108-1 “Bitumineuze mengsels – Materiaalspecificaties – Deel 1: Asfaltbeton” worden de asfaltbetonmengsels als volgt gecodeerd:

AC	D	Surf/base/bin	binder
----	---	---------------	--------

Hierin is:

AC = Asphalt Concrete (asfaltbeton)

D = Upper sieve size (nominale bovenmaat van de korrelgroep)

Surf/base/bin = surface-, base- of bindercours (deklaag, onderlaag of tussenlaag)

Binder = designation of binder used (aanduiding voor het gebruikte bitumen)

Voorbeeld: AC 16 surf 70/100 = Asfaltbeton met maximale korrelgrootte van 16 mm voor deklagen met een penetratiebitumen 70/100.

3 STANDAARDCONSTRUCTIES

Op basis van de berekeningen in bijlage 1 wordt een laagdikte voor het asfaltpakket voorgesteld van 100 mm. Omdat het aanbrengen in twee lagen altijd beter is voor de uiteindelijke vlakheid van de weg, wordt voorgesteld om deze dikte in twee lagen te realiseren. Het AC16 surf mengsel is goed in laagdiktes tot 50 mm aan te brengen (vuistregel: verdichte laag niet dikker dan drie maal de maximum korrel), wordt voorgesteld om beide lagen met dit mengsel te realiseren. Met dit mengsel kunnen de permanente deformatie eisen gemakkelijker worden gerealiseerd dan met een AC 11 surf mengsel en doordat het bindmiddel gehalte lager zal zijn dan van een AC 11 surf, is het mengsel ook economisch verantwoord. Het te gebruiken mengsel voor beide lagen wordt dan:

- AC 16 Surf 70/100 (DL-B of DL-C)
(dit is: Asfaltbeton met maximale korrelgrootte van 16 mm voor deklagen met een penetratiebitumen 70/100)

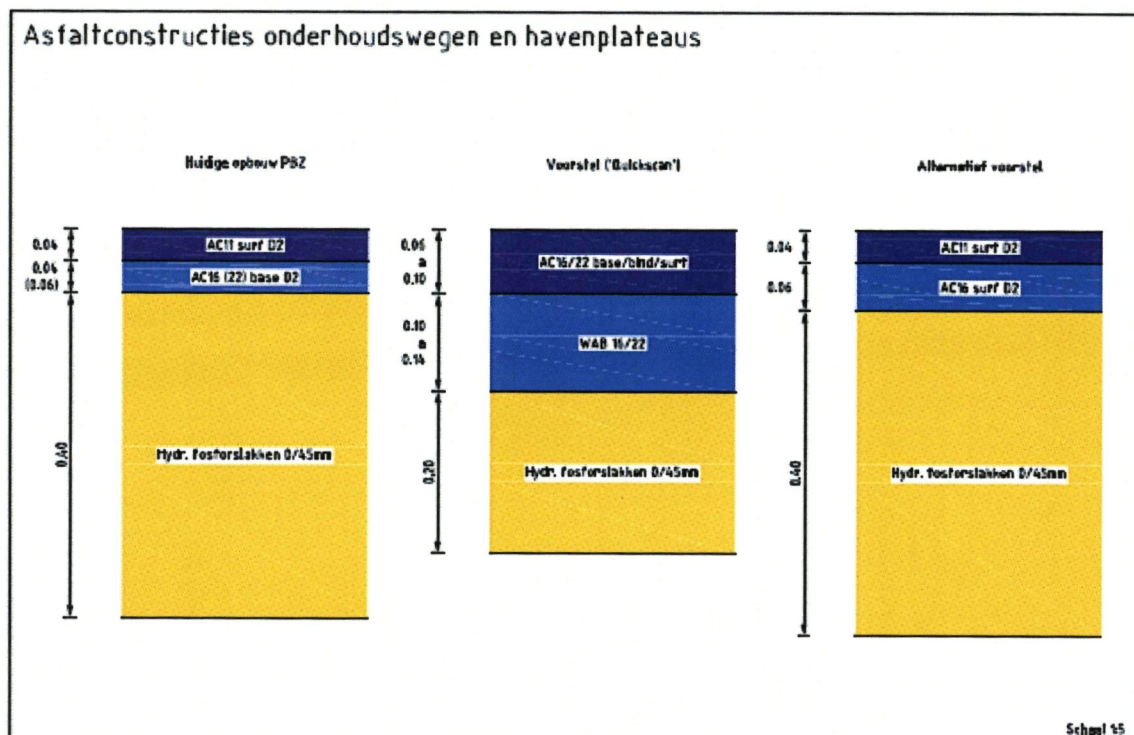
De keuze van de RAW-codering (DL-B of DL-C) hangt af van het verwachte verkeersaanbod:

- DL-B bij minder dan 100.000 aslasten
- DL-C bij meer dan 100.000 aslasten

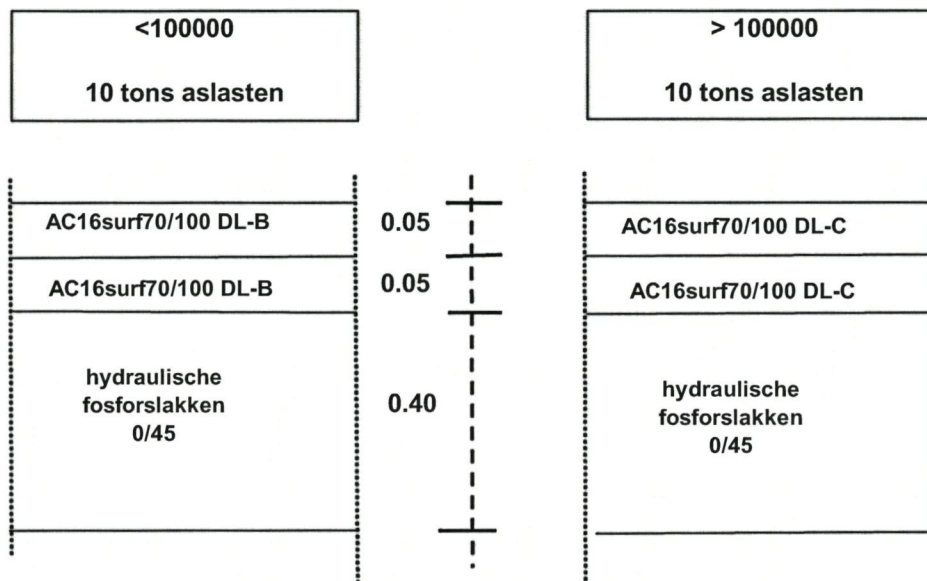
De **fundering** bestaat uit een laag van 400 mm Hydraulische Fosforslak (HFS) op een geotextiel;

De **ondergrond** bestaat uit een dicht zandbed van minimaal 1 meter.

In feite wordt met de constructie opbouw het alternatief voorstel van PBZ in 2010 zoals aangegeven rechts in figuur 1 ondersteund voor wat betreft de totale laagdikte van het asfaltpakket en de hydraulische fosforslakken. De invulling van de nieuwe mengselaanpassingen volgens de RAW 2010 [2] en de aangepaste laagdiktes van de twee asfaltlagen op basis van praktische overwegingen is weergegeven in figuur 2.



Figuur 1. Oorspronkelijk voorstel PBZ in 2010 (Bosters).



Figuur 2. Nieuwe standaardconstructies gebaseerd op de verkeersbelasting.

4 BESTEKSBEPALINGEN

(cursieve teksten zijn bedoeld als toelichting op de bepalingen)

In het kader geplaatste tekst geeft aan dat de besteksbepalingen nog verder dienen te worden uitgewerkt.

In dit hoofdstuk is een aanvullende set besteksbepalingen geformuleerd die is gebaseerd op het structureel ontwerp en de Europese regelgeving cq. de RAW-Standaard-2010 [2]. Met name is hierbij van belang hoe de eisen bij aanleg worden gerealiseerd en vastgesteld.

nagaan hoe onze aanvullingen passen in oude en nieuwe besteksbepalingen van PBZ; zie mails van Ruud Bosters 5-8-10 en van Kees Montauban 26-5-11 v.w.b. oud bestek, modelbestek, vraagspecificatie en technische bijsluiter

4.1 Eisen (Zie: RAW-Standaard-2010 [2])

Eisen - Ondergrond: (Hoofdstuk 22 Grondwerken)

De verdichting van het zandbed moet voldoen aan artikel 22.02.06 lid 05.

Het zand voor zandbed moet voldoen aan artikel 22.06.03.

De stijfheidsmodulus van het zandbed moet ten minste 50 MPa en gemiddeld ten minste 100 MPa bedragen.

Eisen - Geotextiel:

zie besteksbepalingen PBZ: nader overleg nodig

Eisen – Fundering: (Hoofdstuk 28 Funderingslagen)

De dikte van de funderingslaag moet ten minste 400 mm en gemiddeld ten minste 440 mm bedragen.

De verdichting van de fundering van hydraulische fosforslakken moet voldoen aan artikel 28.12.02.

De kwaliteit van de hydraulische fosforslakken moet voldoen aan BRL-9304 [3].

De stijfheidsmodulus van de funderingslaag moet ten minste 800 MPa en gemiddeld ten minste 1000 MPa bedragen.

Eisen – Asfalt: (Hoofdstuk 31 Wegverhardingen II)

De dikte van de totale asfaltlaag moet ten minste 80 mm en gemiddeld ten minste 100 mm bedragen.

Asfaltbeton moet voldoen aan de in Tabel T 31.09 genoemde eisen voor categorie DL-B, bij een verkeersbelasting van ten hoogste 100.000 aslasten.

Asfaltbeton moet voldoen aan de in Tabel T 31.09 genoemde eisen voor categorie DL-C, bij een verkeersbelasting van ten minste 100.000 aslasten.

Voor zowel de toplaag van 50 mm als de onderlaag van 50 mm kunnen theoretisch de mengsels AC 11 surf als AC 16 surf worden toegepast; gebruik van AC base voor de onderlaag is niet aan te bevelen: het mengsel is weliswaar goedkoper maar de voor waterkeringen benodigde duurzaamheid wordt geringer.

Uitvoeringstechnisch is het handig om voor één mengsel te kiezen (Eén opvangbak, beide lagen kunnen aanbrengen, één CE-markering). Op basis van verdichtingsoverwegingen (laagdikte verdicht maximaal drie maal maximale korrel) moet worden nagegaan of dit te realiseren is. Twee lagen AC 16 surf van 50 mm dikte voldoen aan deze eis. Aanbevolen wordt om voor beide lagen AC 16 surf te kiezen.

4.2 Vooronderzoek

De aannemer toont met de CE-markering aan dat de mengsels voldoen aan deze eisen. Het onderzoek om een CE-markering te verkrijgen bestaat in feite uit een uitgebreid vooronderzoek van asfalt. Hierbij worden van mengsels met bepaalde standardeigenschappen (zoals samenstelling) mechanische eigenschappen onderzocht, waarmee wordt vastgesteld of het asfalt v.w.b. vermoeiingssterkte, stijfheid en weerstand tegen permanente deformatie voldoet aan een bepaalde categorie. Hiermee liggen dus ook het bitumengehalte en de bitumensoort vast.

Van belang is dat bij de CE-markering ook de onderzoeksrapporten worden overhandigd, zodat de directie kennis kan nemen van de werkelijke eigenschappen.

4.3 Geschiktheidsonderzoek

Om te verzekeren dat de ontwerpeisen ook bij de aanleg van het werk worden gerealiseerd wordt een zogenaamd “geschiktheidsonderzoek” uitgevoerd. Dit is een onderzoek, waarbij de aannemer naar analogie van Kust- en Oeverwerken (zie RAW Standaard-2010: artikel 52.54.01 en proef 54) aantoont, dat met het voorgestelde

mengsel en de werkwijze van de aannemer het juiste resultaat (ontwerpeisen) wordt bereikt. Dit onderzoek wordt ook uitgevoerd op de ondergrond en de fundering, zodat wordt vastgesteld in hoeverre aan de ontwerpeisen wordt voldaan en of aanvullende maatregelen nodig zijn.

Met dit onderzoek wordt dus vastgesteld of de ontwerpeisen ook daadwerkelijk worden gerealiseerd. Dit onderzoek is bij Kust- en Oeverwerken opgenomen om te verzekeren dat waterkeringen bij de oplevering voldoende veilig zijn. Deze zekerheid is nodig om grote risico's van overstroming te voorkomen, omdat waterkeringen in tegenstelling tot wegen eigenlijk nooit de belasting ondergaan waarvoor ze zijn ontworpen, zodat eventuele gebreken niet snel zullen blijken.

Geschiktheidsonderzoek van ondergrond

De aannemer verdicht bij aanvang van het werk 10 m ondergrond (zandbed) en bepaalt op 5 aselect gekozen en ingemeten plaatsen de verdichtingsgraad (proef 3, RAW 2010). Na het aanbrengen van de funderingslaag wordt op de 5 vastgelegde plaatsen de stijfheid gemeten met een valgewichtdeflectiemeter volgens CROW-protocol [4]. Aan de hand van deze metingen wordt vastgesteld of aan de gestelde eisen is voldaan. Daarnaast kan uit de relatie tussen verdichtingsgraad en stijfheid worden afgeleid welke verdichtingsgraad voor het werk moet worden gehanteerd om de vereiste stijfheid te garanderen.

Geschiktheidsonderzoek van funderingslaag

De aannemer verdicht bij aanvang van het werk 10 m funderingslaag en bepaalt op de 5 eerder vastgelegde plaatsen de verdichtingsgraad (proef 3, RAW 2010). Na het aanbrengen van de funderingslaag wordt op de 5 vastgelegde plaatsen de stijfheid gemeten met een valgewichtdeflectiemeter volgens CROW-protocol. Aan de hand van deze metingen wordt vastgesteld of aan de gestelde eisen is voldaan. Daarnaast kan uit de relatie tussen verdichtingsgraad en stijfheid worden afgeleid welke verdichtingsgraad voor het werk moet worden gehanteerd om de vereiste stijfheid te garanderen.

Geschiktheidsonderzoek van asfaltlaag

De aannemer verdicht bij aanvang van het werk 10 m asfaltlagen en bepaalt op de 5 eerder vastgelegde plaatsen de stijfheid gemeten met een valgewichtdeflectiemeter volgens CROW-protocol. Vervolgens worden op de 5 plaatsen kernen geboord met een diameter van 102 mm. Van deze monsters worden de laagdikte, korrelverdeling, bitumengehalte, verdichtingsgraad, holle ruimte en eigenschappen van het teruggewonnen bitumen bepaald. Aan de hand van deze metingen wordt vastgesteld of aan de gestelde eisen is voldaan. Daarnaast kan uit de relatie tussen verdichtingsgraad en stijfheid worden afgeleid welke verdichtingsgraad voor het werk moet worden gehanteerd om de vereiste stijfheid te garanderen.

4.4 Uitvoering

Hechting lagen:

Het is aan te bevelen om een kleeflaag aan te brengen tussen funderings- en asfaltlagen om een juiste hechting te verzekeren.

Overgangsconstructie:

Om onderspoeling van de wegconstructie te voorkomen is het aan te bevelen om de overgangsconstructies uit te voeren als voegen, die worden gevuld met gietasfalt of fijne breuksteen gepenetreerd met asfaltmastiek. Hiermee wordt een duurzame, dichte en flexibele aansluiting verkregen van de wegconstructie aan het onder- en bovenbeloop.

Alternatieve funderingslagen

In de Standaard-2010 zijn eisen geformuleerd voor “verhardingslagen van steenmengsel” (paragraaf 28.1) en “gebonden funderingen” (paragraaf 28.2). Bij deze lagen moet worden nagegaan welke bruikbaar zijn voor toepassing in waterkeringen en welke eigenschappen hiervoor gelden.

Sterkte geotextiel

Bij gebruik van een geotextiel is sprake van een zekere reststerkte indien de bovengelegen lagen bij extreme omstandigheden bezwijken. In het VTV [5] wordt aan een geotextiel echter geen reststerkte toegekend, omdat deze niet is te kwantificeren. In de praktijk blijkt een reststerkte wel degelijk te bestaan: Op Tholen bleek in 1990 bij bezwijken van de laag open steenasfalt de ondergrond in tact te blijven door de aanwezigheid van een geotextiel.

4.5 Kwaliteitszorg

aangegeven dient te worden waar de kwaliteitszorg uit moet bestaan

5 TOELICHTING

Waar nodig is in de teksten van de ontwerpeisen en de besteksbepalingen een toelichting opgenomen, waarin wordt uiteengezet hoe deze tot stand zijn gekomen en hoe deze moeten worden toegepast. Hierbij is ook aandacht besteed aan kritische zaken m.b.t. de uitvoering en kwaliteitscontrole van het werk.

Hergebruik Open steenasfalt (in bermen)

Bij toenemende hoeveelheden open steenasfalt die vrij komen bij reconstructies is de vraag hoe dit kan worden hergebruikt. In de Technische bijsluiter PBZ van 1 januari 2011 zijn bepalingen opgenomen voor hoogwaardig hergebruik in nieuw open steenasfalt. Deze zullen zijn afgeleid van de beperkte ervaringen die hiermee zijn opgedaan bij de reconstructie van de Ellewoutsdijk. Bij gebruik van deze bepalingen zullen nadere voorschriften mogelijk nodig zijn om risico's te beperken.

Open steenasfalt kan mogelijk ook worden hergebruikt in funderingslagen van bermen en plateaus. Hiertoe moet worden nagegaan welke methoden bruikbaar zijn en welke bindmiddelen eventueel kunnen worden ingezet (emulsie, cement en schuimbitumen).

Normen en voorschriften

Tot slot lijkt het de moeite waard om in het kader van een gedegen kwaliteitszorg na te gaan welke normen en voorschriften relevant zijn, deze te bundelen en te voorzien van een toelichting. Deze bundeling die in de wegenbouw destijds door het NNI werd verzorgd bleek bij de uitvoering van werken in een grote behoefte te voorzien.

Referenties

[1]. RAW 2005, Standaard RAW bepalingen, CROW Ede.

[2]. RAW 2010, Standaard RAW bepalingen, CROW Ede.

[3]. BRL 9304 (18-04-2008). Nationale beoordelingsrichtlijn voor het KOMO productcertificaat en NL BSB productcertificaat voor fosforslak en fosforslakmengsels voor toepassingen in GWW-werken. Uitgave: INTRON Certificatie B.V.

[4]. CROW protocol Stijfheidsmetingen met valgewichtdefectiemeter . CROW Ede.

[5]. Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen (VTV-2006). Ministerie van Verkeer en Waterstaat, september 2007.

BIJLAGE 1.

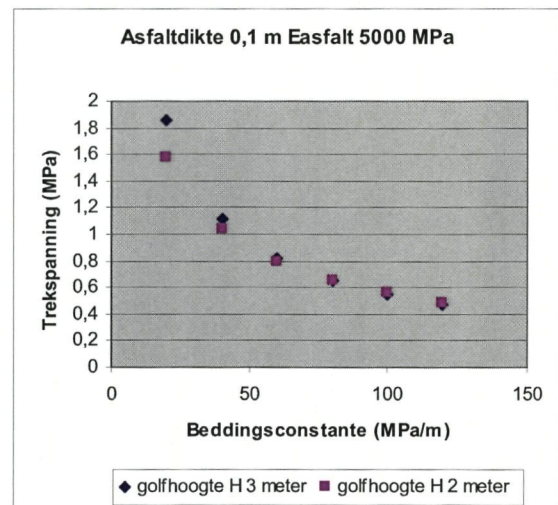
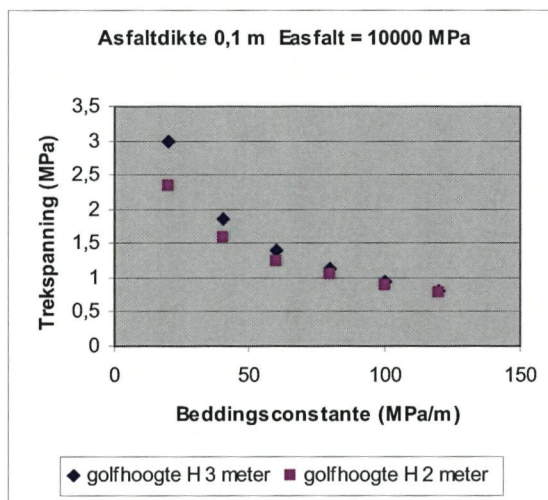
Structureel ontwerp van asfaltbermen en asfaltplateaus voor waterkeringen

7-11-133-10

Structureel ontwerp van asfaltbermen en asfaltplateaus voor waterkeringen

Mei 2011

M.F.C. van de Ven, C. Montauban en Y. Xiao



Structureel ontwerp van Asfaltbermen en Asfaltplateaus voor waterkeringen

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Zeeland Projectbureau zeeweringen Hoofdkantoor Middelburg Postbus 5014 4330 KA Middelburg
Contactpersoon	Ing. S.J.P. Vereeke
Rapport	TU Delft Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen Postbus 5048 2600 GA Delft
Uitgevoerd door	M.F.C. van de Ven C.C. Montauban Y Xiao
Datum	Mei 2011

Inhoudsopgave

1. Algemene introductie

2. Ontwerpen voor verkeersbelasting

2.1. Algemeen

2.2 Input voor de berekeningen

2.3. Resultaten berekeningen en analyse

2.4 permanente deformatie van het asfalt

2.5 Worst case scenario

3. Ontwerpen voor golfbelasting

3.1. Introductie

3.2. Input voor de berekeningen

3.3. Invloed van de beddingsconstante

4. Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

4.2 Aanbevelingen

Referenties

Bijlages

Bijlage 1. Resultaten Bisar berekeningen 2 constructies

Bijlage 2. Resultaten bisar constructies worst case scenario

1. ALGEMENE INTRODUCTIE

Asfalt wordt bij waterkeringen regelmatig toegepast als onderhoudsberm of als haven plateau. Het is daarbij niet duidelijk hoe deze constructie moet worden ontworpen en welke asfaltsoorten kunnen worden gebruikt. Hierbij speelt sinds 2010 ook de CE markering van asfaltmengsels een rol, die in dit rapport zal worden meegenomen. Op verzoek van ProjectBureau Zeeweringen (PBZ) is door TU Delft een studie uitgevoerd naar het ontwerp van onderhoudsbermen en havenplateaus die deel uitmaken van een waterkering. Deze constructies moeten niet alleen eventuele hydraulische belastingen kunnen doorstaan, maar ook een bepaalde verkeersbelasting. Voor dit onderzoek is een Plan van Aanpak opgesteld [1]. In de eerste fase is een quick scan uitgevoerd, waarna enkele constructies meer gedetailleerd zijn doorgerekend in overleg met de opdrachtgever.

Naar aanleiding van de quick scan [2] die is uitgevoerd voor PBZ, is besloten om twee specifieke constructies door te rekenen op verkeersbelasting en hydraulische belasting en de benodigde constructiediktes met elkaar te vergelijken teneinde tot een basis ontwerp te komen voor dit soort toepassingen.

De twee onderzochte constructies zijn:

- Een constructie van 200 mm asfalt en een fundering van 200 mm fosforslakmengsel op de bestaande ondergrond
- Een constructie van 100 mm asfalt en een fundering van 400 mm fosforslakmengseel op de bestaande ondergrond (gewenste constructie).

Eerst zal het ontwerp op verkeersbelasting worden besproken in hoofdstuk 2, waarna in hoofdstuk 3 het ontwerp op de hydraulische belasting zal worden doorgenomen.

In hoofdstuk 4 zijn de conclusies en aanbevelingen samengevat.

2. ONTWERPEN OP VERKEERSBELASTING

2.1. Algemeen

De resultaten van enkele lineair elastische berekeningen op de asfaltconstructies voor asfaltbermen en asfalt plateaus met fosforslakmengsel fundering worden hier besproken. De focus is gericht op het bepalen van de draagkracht van de gewenste constructie en een mogelijk alternatief onder verkeersbelasting.

In de berekeningen is de stijfheid van de asfaltlaag gevarieerd om de invloed van langzaam rijdend verkeer op de spanningen en rekken te onderzoeken. Daarnaast zijn de laagdiktes van het asfalt en de fosforslakmengsel fundering enigszins gevarieerd. Voor de draagkracht van de ondergrond is gekozen voor twee CBR waardes, namelijk CBR = 10% (goede draagkrachtige ondergrond, zand) en CBR = 5% (minder draagkrachtige ondergrond, kleiachtig).

Ook zal in dit hoofdstuk aandacht worden gegeven aan het voorkomen van permanente deformatie in het asfaltpakket en de gevolgen van een zogenaamd worst case scenario.

2.2. Input voor de berekeningen.

Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van een lineair elastisch rekenprogramma, in dit geval Bisar 3.0. [3]. Bisar 3.0 is beschikbaar op TU Delft.

De doorgerekende constructies met variatie van parameters zijn gegeven in tabel 1.

Tabel 1. Overzicht van de constructies en materiaal eigenschappen voor de diverse lagen (in alle gevallen is een poisson ratio van 0.35 gebruikt)

Laag type	Dikte (mm)	Stijfheid (MPa)	Opmerkingen
asfalt	100 (400), 200 (200)	5000, 10000, 15000	Asfaltlaagdikte gekoppeld aan funderingsdikte
Fosforslak Mengsel fundering	400 (100), 200 (200)	1000	Funderingdikte gekoppeld aan asfalddikte. Uitgegaan wordt van een fosforslakken mengsel kwaliteit
ondergrond		50, 100	

Een enkele wiel belasting van 50 kN met een bandenspanning van 800 kPa is gebruikt. De enkele wielbelasting is gekozen omdat die representatief is voor een standaard 10 tons asbelasting en omdat dit de berekeningen vereenvoudigt.

Voor alle berekeningen is aangenomen dat er volledige hechting is tussen de lagen (zowel asfalt-asfalt als asfalt-fosforslak). Geen hechting kan aanzienlijke gevolgen hebben voor de berekeningen, dus hier moet tijdens de uitvoering voldoende aandacht aan worden besteed. Dit kan worden gedaan met kleeflagen, zoals gebruikelijk in de wegebouw.

Zoals in tabel 1 kan worden gezien zijn als variabelen in rekening gebracht:

- Twee asfalt laagdiktes, gekoppeld aan twee funderingsdiktes (2)
- Drie asfaltstijfheden (3)
- Twee ondergrond stijfheden (2)

Dit betekent dat $2 \times 3 \times 2 =$ twaalf berekeningen dienen te worden uitgevoerd.

Voor iedere doorgerekende constructie is een aantal punten onder het centrum van de belasting gekozen om inzicht te krijgen in het verloop van de spanningen en de rekken voor de levensduurbepaling:

- Asfalt *1 mm onder het oppervlak
 *1 mm boven de onderkant van het asfalt pakket
- Fosforslak *1 mm onder de onderkant van het asfalt pakket
 mengsel *In het midden van de fosforslak fundering
 fundering *1mm boven de onderkant van de fosforslak fundering
- Ondergrond *1 mm onder de onderkant van de fosforslak fundering (1 mm in de ondergrond)

2.3. Resultaten berekeningen en analyse

De resultaten van de berekeningen op de constructies van paragraaf 2.2 zijn hierna weergegeven. De resultaten zijn weergegeven in de vorm van samenvattende grafieken waarop het verloop van spanningen en rekken in de diverse constructies op de punten weergegeven in paragraaf 2.2 onder het centrum van de belasting kan worden gevolgd. De berekeningen zijn samengevat per constructie en weergegeven in bijlage 1. De volgorde van de grafieken in bijlage 1 is:

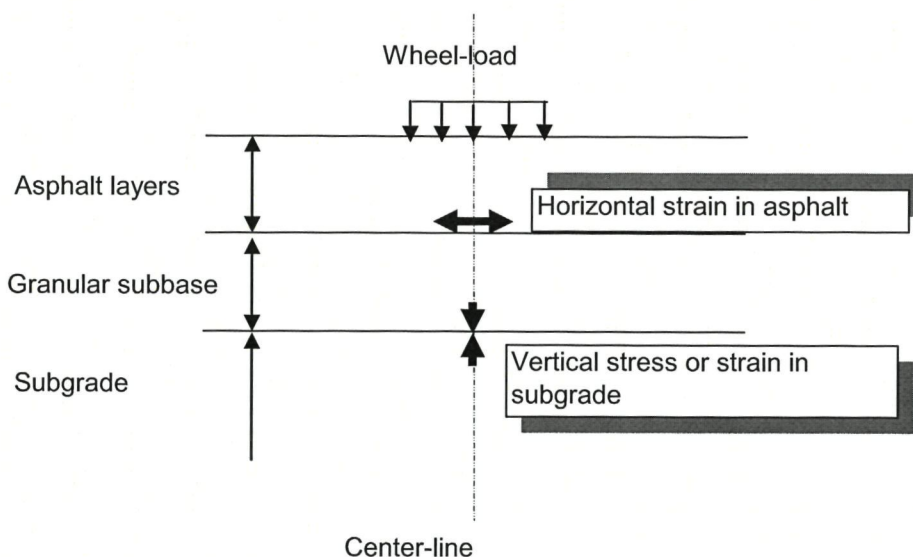
- 100 mm asfalt en 400 mm fosforslaktmengsel: spanningen
- 100 mm asfalt en 400 mm fosforslaktmengsel: rekken/stuiken

- 200 mm asfalt en 200 mm fosforslaktmengsel: spanningen
- 200 mm asfalt en 200 mm fosforslaktmengsel: rekken/stuiken

Voor het ontwerp van de verhardingsdikte is in Nederland voor dit type constructie de focus gericht op het bepalen van de levensduur (aantal 10 tons = 100kN standaard aslast herhalingen in de tijd) voor twee kritieke punten in de constructie zoals weergegeven in figuur 1:

- De maximale horizontale rek in de asfaltlagen, meestal onderin het asfaltpakket (voorkomen van vermoeiingsscheuren)
- De maximale verticale stuik of spanning bovenin de ondergrond (voorkomen van de ontwikkeling van permanente deformatie in de ondergrond)

Normaal worden berekeningen voor snelwegen uitgevoerd met Specificaties Ontwerp Asphaltverhardingen 2009 [4]. In deze berekeningen moet echter rekening gehouden met exacte verkeergegevens, healing, versporing, dubbele wiellast en dergelijke en dat is niet nodig in dit geval. Hier is gekozen voor een eenvoudiger benadering, met gebruikmaking van dezelfde criteria, zoals is weergegeven in figuur 1.



Figuur 1. Twee criteria voor het berekenen van de levensduur van een flexibele constructie bestaande uit drie lagen.

In de berekeningen zijn de waarden voor de twee criteria bepaald. Om dit te kunnen doen moet wel gebruik worden gemaakt van asfalt eigenschappen en grondeigenschappen. De stijfheden moeten worden vastgesteld. In tabel 1 zijn de waarden van de stijfheid die in de berekening zijn gebruikt aangegeven. Deze waarden kunnen voor asfalt eenvoudig worden gerelateerd aan de waarden voor de CE markering van asfaltmengsels zoals aangegeven in de RAW 2010 [5].

Voor het asfalt mengsel is het nodig om over een vermoeiingslijn te beschikken voor het criterium van de horizontale rek onder in de asfaltlagen. Hiervoor kan in principe gebruik worden gemaakt van de vermoeiingslijn van de CE markering, die is weergegeven volgens de formule:

$$N_f = a * \epsilon^{-n}$$

Hierin is:

- N_f = aantal lastherhalingen bij het opgelegde rekniveau tot de halvering van de stijfheid.
- ϵ = de rek in de asfaltlaag tengevolge van de 10 tons (100kN) standaard aslast.
- a en n zijn regressie constanten.

Voor de ondergrond is een relatie nodig om de berekende verticale elastische vervorming te vergelijken met een formule. De meest gebruikte relatie hiervoor is die van de AASHTO road test [11]:

$$\epsilon_0 = 2.8 * 10^{-2} * N^{-0.25}$$

Hierin is:

- ϵ_0 = verticale stuik boven in de ondergrond (m/m)
- N = aantal lastherhalingen van de verticale stuik boven in de ondergrond voordat grote vervormingen gaan optreden.

De resulterende rek in het asfalt en stuik in de ondergrond op de kritieke plekken volgens de Bisar berekeningen van bijlage 1 zijn samengevat in tabel 2 en 3 voor de beide onderzochte constructies

Tabel 2. Samenvatting rek criteria voor de constructie met 100 mm asfalt en 400 mm fosforslak (zie bijlage 1).

Laagdikte asfalt/fosforslak (mm)	100/400					
	50			100		
E ondergrond (MPa)	1000					
E fosforslak	1000					
E asfalt	5000	10000	15000	5000	10000	15000
Rek onderin asfalt ($\mu\epsilon$)	113	95	82	115	95	81
Verticale stuik ondergrond ($\mu\epsilon$)	-278	-251	-240	-227	-205	-192

Tabel 3. Samenvatting rek criteria voor de constructie met 200 mm asfalt en 200 mm fosforslak (zie bijlage 1).

Laagdikte asfalt/fosforslak (mm)	200/200					
Eondergrond (MPa)	50			100		
E fosforslak	1000					
Easfalt	5000	10000	15000	5000	10000	15000
Rek onderin asfalt ($\mu\epsilon$)	95	70	55	89	65	51
Verticale stuik ondergrond ($\mu\epsilon$)	-320	-242	-200	-257	-195	-161

Voor het berekenen van de levensduur van de asfalt laag is het noodzakelijk om waarden aan te nemen voor het vermoeiingsgedrag van het asfaltmengsel. Omdat vanwege duurzaamheidsoverwegingen aanbevolen wordt om twee dichte asfaltbeton lagen met hoger bindmiddel gehalte toe te passen is in eerste instantie gekeken naar dicht asfaltbeton mengsels die als deklaag worden toegepast volgens de nieuwe RAW 2010 [5] zoals gedefinieerd volgens de CE markering. Voor de berekeningen is hierbij gebruik gemaakt van DL-1B uit tabel T31-09 van RAW 2010 [5].

De eigenschappen van deklagen en van andere mogelijke te gebruiken lagen als tweede asfaltlaag (totale laagdikte is 100 mm) zijn weergegeven in tabel 4.

Tabel 4. Eigenschappen van geschikte mengsels volgens RAW 2010 [5].

Eigenschappen	Deklaag				Tussen-/tijdelijke deklaag		
	Categorie indeling eigenschappen				Categorie indeling		
	DL-IB	DL-A	DL-B	DL-C	TDL-IB	TDL-B	TDL-C
V_{\min} ten minste	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
V_{\max} ten hoogste	6,0	4,0	6,0	6,0	7,0	7,0	7,0
ITSR tenminste	80	80	80	80	80	80	80
S_{\min} ten minste	5500	3600	4500	5500	5500	5500	5500
S_{\max} ten hoogste	11000	7000	9000	11000	14000	14000	14000
f_c ten hoogste	0,2	4,0	1,4	0,6	0,2	0,4	0,4
ϵ_6 ten minste	100	130	115	100	90	90	90

V_{\min} = minimum holle ruimte in het mengsel

V_{\max} = maximum holle ruimte in het mengsel

ITSR = retained indirecte treksterkte ratio

S_{\min} = minimum stijfheid mengsel in MPa

S_{\max} = maximum stijfheid mengsel in MPa

f_c = helling van de permanente vervorming in de triaxiaalproef

ϵ_6 = minimum vereiste rekniveau in de vermoeiingsproef na één miljoen lastherhalingen

Voor steenmestiek asfalt zijn de eisen totaal verschillend en nog volledig gebaseerd op empirische parameters, zoals weergegeven in artikel 31.26.03 van [5]. Verwezen wordt naar Tabel T 31.10 voor de graderingseisen aan de korrelverdeling van steenmestiekasfalt.

De eigenschappen van SMA-NL 5, SMA-NL 8A, SMA-NL 9B, SMA-NL 11A en SMA-nl 11B moeten voldoen aan de in tabel T 31.11 genoemde eisen uit [5], die hierna zijn weergegeven in tabel 5.

Tabel 5. Eigenschappen van geschikte mengsels volgens RAW 2010 [5].

Eigenschap	SMA-NL 5	SMA-NL 8A	SMA-NL 8B	SMA-NL 11A	SMA-NL 11B
Bitumengehalte	$B_{\min 7,4}$	$B_{\min 6,8}$	$B_{\min 6,8}$	$B_{\min 6,6}$	$B_{\min 6,6}$
Minimum vullingsgraad	$VFB_{\min NR}$	$VFB_{\min NR}$	$VFB_{\min NR}$	$VFB_{\min NR}$	$VFB_{\min NR}$
Maximum vullingsgraad	$VFB_{\max NR}$	$VFB_{\max NR}$	$VFB_{\max NR}$	$VFB_{\max NR}$	$VFB_{\max NR}$
Afdruipen	D_{NR}	D_{NR}	D_{NR}	D_{NR}	D_{NR}
watervoeligheid	$ITSR_{80}$	$ITSR_{80}$	$ITSR_{80}$	$ITSR_{80}$	$ITSR_{80}$

NR Not required (geen veriste voor opgegeven)

$B_{\min 7,4}$ Minimum bitumen gehalte 7,4 %

$VFB_{\min NR}$ Minimum vullingsgraad-not required

$VFB_{\max NR}$ Maximum vullingsgraad – not required

D_{NR} Afdruipen – not required

De berekeningen zijn vervolgens uitgevoerd onder de aanname dat de vermoeiingslijn in alle gevallen dezelfde vorm zal aanhouden. Voor indicatieve berekeningen is dit acceptabel, in concrete gevallen kan altijd de werkelijk bepaalde vermoeiingslijn volgens de CE markering worden gebruikt. Uit tabel 4 blijkt dat de beschouwde mengsels allemaal een minimaal rekniveau voor vermoeiing dienen te hebben boven 90 $\mu\epsilon$ (microstrain).

Op basis van deze informatie zijn de aannames voor de gebruikte vermoeiingslijn als volgt:

- Hellingsfactor $n = 4$
- Bij een rek van 100 $\mu\epsilon$ (microstrain) kunnen een miljoen lastherhalingen worden opgenomen alvorens scheurvorming gaat ontstaan.

Invullen van deze waarden in de vermoeiingsformule

$$N_f = a * \epsilon^{-n}$$

geeft de waarde van a resulterend in $a = 10^{14}$.

Met deze waarden voor $a (=10^{14})$ en $n (=4)$ ingevuld in de vermoeiingslijn zijn de berekeningen van de levensduur van de asfaltlaag uitgevoerd. De berekende rekwaardes in de tabellen 2 en 3 zijn gebruikt om met de gegeven formules het aantal lastherhalingen tot “bezwijken” te berekenen voor de asfaltlaag. Hierbij is dus gebruik gemaakt van de minimale rekwaarde voor vermoeiing van deklaagmengsels DL- IB en DL-IC in tabel 4. De berekende stuik waardes zijn gebruikt om met de gegeven formule het aantal lastherhalingen tot “bezwijken” te berekenen voor de ondergrond. Het toelaatbare aantal

standaard 10 tons aslasten gedurende de levensduur van een verharding is weergegeven in de tabellen 6 en 7.

Uit de resultaten van tabel 6 en tabel 7 blijkt dat:

- voor het asfalt rek criterium in alle gevallen het aantal toelaatbare standaard 10 tons aslasten gedurende de levensduur hoger is dan 600000 lastherhalingen
- Voor het ondergrond struikcriterium geldt, dat in alle gevallen het aantal lastherhalingen groter is dan 100 miljoen.

Tabel 6. Samenvatting van de berekende levensduur in aantal lastherhalingen van de standaard 10 tons aslast voor de constructie met 100 mm asfalt en 400 mm fosforslak.

Laagdikte asfalt/fosforslak (mm)	100/400					
Eondergrond (MPa)	50			100		
E fosforslak	1000					
Easfalt	5000	10000	15000	5000	10000	15000
$N_{rek\ asfalt} (x10^6)$	0,6	1,2	2,2	0,6	1,2	2,3
$N_{stuik\ ondergrond} (x10^6)$	102	155	185	231	348	452

Tabel 7. Samenvatting van de berekende levensduur in aantal herhalingen van de standaard 10 tons aslast voor de constructie met 200 mm asfalt en 200 mm fosforslak.

Laagdikte asfalt/fosforslak (mm)	200/200					
Eondergrond (MPa)	50			100		
E fosforslak	1000					
Easfalt	5000	10000	15000	5000	10000	15000
$N_{rek\ asfalt} (x10^6)$	1,2	4,2	10,9	1,6	5,6	14,8
$N_{stuik\ ondergrond} (x10^6)$	586	179	384	141	425	915

Op basis van deze berekeningen kan worden geconcludeerd dat het aantal lastherhalingen dat toelaatbaar is voor deze constructies waarschijnlijk ruimschoots voldoet. Ook is er voldoende ruimte op basis van de verandering in stijfheid van het asfalt om het aantal benodigde lastherhalingen aan te passen aan eventuele eisen. Een en ander kan eenvoudig met een voorbeeld worden toegelicht.

Voorbeeld:

- Stel dat op een bepaalde plek van de constructie iedere dag 5 vrachtwagens rijden met een zodanige asbelasting dat ieder vrachtwagen meetelt voor 3 equivalente 10 tons aslasten. Dit betekent $3*5 = 15$ standaard aslasten per dag, of (iedere dag meegerekend!!!): $365*15 = 5475$ standaard 10 tons aslasten per jaar.

Dit betekent in 10 jaar: 54750 standaard 10 tons aslasten

Dit betekent in 100 jaar: 547500 standaard 10 tons aslasten.

Vergelijking met de resultaten van tabel 5 en 6 laat zien dat alle constructies gemakkelijk een levensduur van 100 jaar kunnen halen op basis van deze verkeersbelasting.

N.B. geen gebruik is gemaakt van de mogelijkheid om verspreid rijden van het verkeer en healing van het asfaltmengsel in een shiftfactor te verwerken [4]. Deze extra veiligheid kan worden gerelateerd aan de extreem lange gewenste levensduur. Van de andere kant moet worden gemeld dat de berekeningen zijn uitgevoerd voor een gemiddelde vermoeiingslijn.

2.4 Permanente deformatie van het asfalt pakket

De permanente deformatie die in de asfaltlagen kan ontstaan door belasting bij hogere temperaturen kan worden geminimaliseerd door het kiezen van de geschikte mengsels. Indien bekend is dat voor een bepaalde berm of havenplateau langzaam rijdend en stilstaand verkeer kan worden verwacht, kan dit worden ondervangen door de keuze van de juiste mengsels.

Hierbij wordt in de CE markering vooral gebruik gemaakt van de resultaten van de cyclische drukproef (tri-axiaalproef), waarmee de weerstand tegen permanente deformatie bij hogere temperaturen wordt bepaald. Voor deklaag mengsels is deze temperatuur 50°C. De helling van de curve f_c wordt hierbij gebruikt als maatgevende parameter. De parameter wordt gegeven als een maximale waarde, die afhankelijk is van het type mengsel dat wordt toegepast. Zoals in tabel 4 wordt aangegeven, varieert deze waarde tussen 0,2 (laagste) en 4,0 (hoogste) voor de gegeven mengsels [5].

Afhankelijk van de verwachte belasting en of deze langzaam rijdt of zelfs stilstaat kan een mengsel worden gekozen met de meest geschikte f_c waarde.

De waarde van 0,2 is de laagste die geeist wordt in [5]. De koppeling van deze parameter aan de vrachtauto intensiteit en het toepassingsgebied, is weergegeven in Tabel T 31.19 van [5]. Het wordt aanbevolen om een soortgelijke indeling als Tabel T 31.19 te maken voor de asfaltbermen en havenplateaus met een redelijke eis. Hierbij zou een koppeling kunnen worden gemaakt met de verwachte verkeersbelasting op de bermen en havenplateaus.

2.5 Worst case scenario

Op verzoek van de opdrachtgever PBZ is ook nagegaan wat de gevolgen kunnen zijn van een slechte uitvoering en dergelijke, met andere woorden een worst case scenario.

Aangezien de constructie met 100 mm asfalt en 400 mm fosforslak ruimschoots voldoet en deze constructie de voorkeur heeft van de opdrachtgever, is het worst case scenario op deze constructie toegepast.

In dit geval is gekozen voor een combinatie van een te geringe asfalt laagdikte (in ieder geval op een aantal plaatsen), een relatief geringe stijfheid van het asfalt (mede door zeer langzaam rijdend verkeer) en een eventueel gereduceerde stijfheid van de fosforslakken fundering van 1000 naar 400 MPa. De resultaten van deze berekeningen zijn op dezelfde manier samengevat als in paragraaf 2.3 en weergegeven in bijlage 2.

In tabel 8 zijn de maatgevende rekniveaus in het asfaltpakket en stuikwaardes in de ondergrond samengevat.

Tabel 8. Samenvatting rek criteria voor het worst case scenario

Laagdikte asfalt/fosforslak (mm)	80/400			
Eondergrond (MPa)	50	100	50	100
E fosforslak	1000		400	
Easfalt	2000			
Rek onderin asfalt ($\mu\epsilon$)	96	105	288	296
Verticale stuik boven in ondergrond	403	318	657	489

Omdat het onwaarschijnlijk is dat bij een lage stijfheid van het asfalt het rekniveau voor vermoeiing ongunstiger zal zijn is besloten om dezelfde vermoeiingseigenschappen aan te houden als voor de berekeningen uitgevoerd in paragraaf 2.3. Het resultaat van de levensduur berekeningen in de vorm van aantal lastherhalingen is gegeven in tabel 9.

Tabel 9. Samenvatting van de berekende levensduren voor het worst case scenario.

Laagdikte asfalt/fosforslak (mm)	80/400			
Eondergrond (MPa)	50	100	50	100
E fosforslak	1000		400	
Easfalt	2000			
$N_{rek\ asfalt} (x10^6)$	1,2	8,2	0,014	0,013
$N_{stuik\ ondergrond} (x10^6)$	23.3	60.1	3.3	10.7

In het geval van het worst case scenario blijkt dat er geen gevaar bestaat voor het overbelasten van de ondergrond, maar het gevaar voor het overbelasten van de asfaltconstructie is sterk toegenomen.

In het geval van het worst case scenario kan het voorbeeld gegeven in paragraaf 2.3 weer opnieuw worden gebruikt als indicatie.

Voorbeeld paragraaf 2.3:

- Stel dat op een bepaalde plek van de constructie iedere dag 5 vrachtwagens rijden met een zodanige asbelasting dat ieder vrachtwagen meetelt voor 3 equivalente 10 tons aslasten. Dit betekent $3*5 = 15$ standaard aslasten per dag, of (iedere dag meegerekend!!!): $365*15 = 5475$ standaard 10 tons aslasten per jaar.

Dit zou betekenen dat voor de verkeersbelasting slechts een levensduur van minder dan 3 jaar kan worden gegarandeerd alvorens eventuele scheurvorming zou gaan optreden in de asfaltlagen in het geval de stijfheid van zowel het asfalt als de fosforslak minimaal zijn. Uit de berekeningen kan dus worden geconcludeerd dat de worst case geen grote invloed heeft op het gedrag van de ondergrond, maar een enorme negatieve invloed kan hebben op de levensduur van de asfaltlagen indien de stijfheid van de fosforslakken fundering te laag is. Dit betekent dat het uitermate belangrijk is om zeker te stellen dat de kwaliteit van de fosforslakken fundering (o.a. qua stijfheid) voldoende is.

3. Ontwerpen op Golfbelasting.

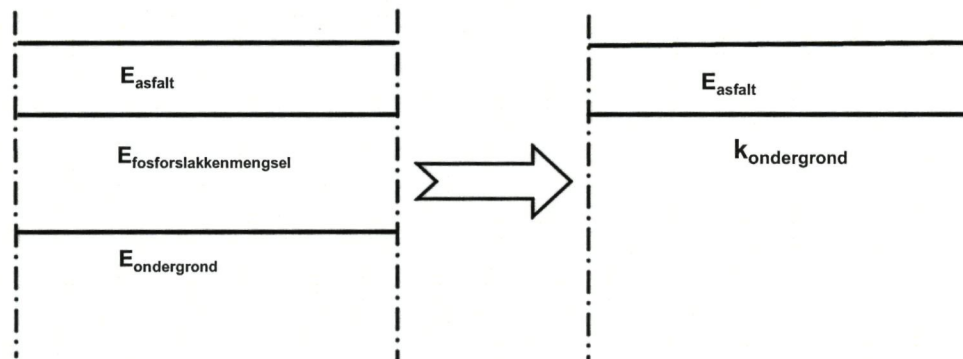
3.1 Algemeen

De vraag is of de alternatieve constructie van PBZ de volgende hydraulische belasting kan weerstaan:

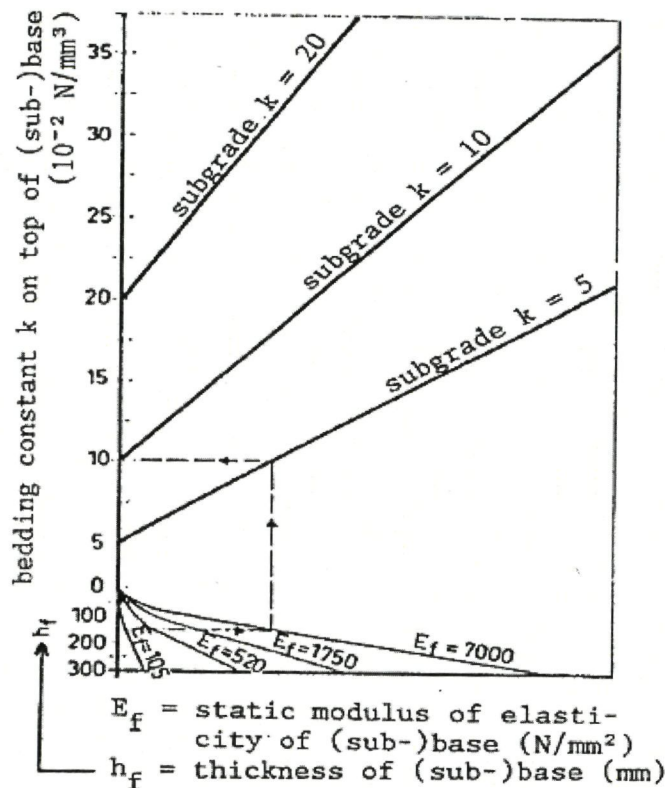
- $H_s = 1, 2$ en 3 m
- $WS = 0.0, 0.5$ en 1.0 onder ontwerppeil
- Duur belasting = 2.5 en 5.0 uur.
- Helling van $1:6$ voor de berekeningen (veilige aanname).

Voor de berekeningen moet een prognose van de sterkte en stijfheid van de asfaltlagen in vergelijking met waterbouwasfaltbeton worden gemaakt. Een belangrijk aspect is, dat voor berekeningen met Golfklap ook de input van de draagkracht van de ondergrond nodig is in de vorm van een beddingsconstante. Zoals in figuur 4 is aangegeven wordt in de schematisatie voor de golfklapberekeningen geen rekening gehouden met een meerlagensysteem onder het asfaltpakket. In het computerprogramma kan slechts een waarde voor de beddingsconstante worden ingevoerd en deze geldt voor een oneindige laag direct onder het asfaltpakket.

Omdat hier sprake is van een gebonden funderingstype (fosforslakkenmengsel) op de ondergrond, is het noodzakelijk om het drielagen systeem om te zetten naar een asfaltlaag met een beddingsconstante. Dit aspect zal hier nader worden toegelicht.



In de literatuur [6,7] kunnen diverse methodes worden gevonden voor het bepalen van de waarde van een beddingsconstante aan de bovenkant van een funderingslaag. Een bekende methode is gegeven in [7] en deze is in dit rapport gebruikt. Ook kan worden verwezen naar een studie van NPC in het jaar 2000 over dit onderwerp en gerapporteerd aan de dienst Weg- en Waterbouw destijds [6].



Figuur 2. Nomogram voor het bepalen van de beddingsconstante aan de bovenkant van een fundering als input voor Golfklap berekeningen [7].

De bovenstaande figuur 2 is de grafische presentatie van de formule, die is overgenomen uit [7]. De formule is in een spreadsheet gezet en hiermee zijn de berekeningen van de beddingsconstante uitgevoerd. Toepassing van de formule op de gebruikte constructies levert de berekende k-waardes voor de fosforslak laagdikte van 400 mm onder het asfalt pakket op, zoals weergegeven in tabel 10. De waardes van 0,030 (klei) en 0,064 (zand) die voor de ondergrond zijn gegeven in tabel 10 zijn in berekeningen voor de ontwerpgrafieken gebruikt.

Tabel 10. Beddingsconstante direct onder asfalt voor Golfklap berekening van de constructies en conversie van van (N/mm^3) naar (MPa/m)

		Klei		Zand	
Ondergrond	Beddingsconstante (N/mm^3)	0,030	0,030	0,064	0,064
Fosforslak	Laagdikte (mm)	400	400	400	400
fosforslak	Stijfheid (N/mm^2)	400	1000	400	1000
Golfklap k	Beddingsconstante (N/mm^3)	0,085	0,085	0,143	0,143
	Beddingsconstante (MPa/m)	85	85	143	143

Conversie Beddingsconstante van (N/mm³) naar (MPa/m) door met een factor 1000 te vermenigvuldigen.

Voorbeeld: 0,030 (N/mm³) = 30 (MPa/m)

$$k = 2.7145 \cdot 10^{-4} (C_1 + C_2 \cdot e^{C_3} + C_4 \cdot e^{C_5})$$

with: $C_1 = 30 + 3360 \cdot k_0$

$$C_2 = 0.3778 (h_f - 43.2)$$

$$C_3 = 0.5654 \ln(k_0) + 0.4139 \ln(E_f)$$

$$C_4 = -283$$

$$C_5 = 0.5654 \ln(k_0)$$

k_0 = modulus of subgrade/substructure reaction at top of underlying layer (N/mm³)

h_f = thickness of layer under consideration (mm)

E_f = dynamic modulus of elasticity of layer under consideration (N/mm²)

k = modulus of substructure reaction at top of layer under consideration (N/mm³)

Daarnaast wordt opgemerkt dat in het recent verschenen State of the Art rapport [8] van de Klankbordgroep asfalt (KGA) een nieuwe ontwerpgrafiek is verschenen. Deze zal worden behandeld in paragraaf 3.2 in plaats van het uitvoeren van berekeningen met Golfklap.

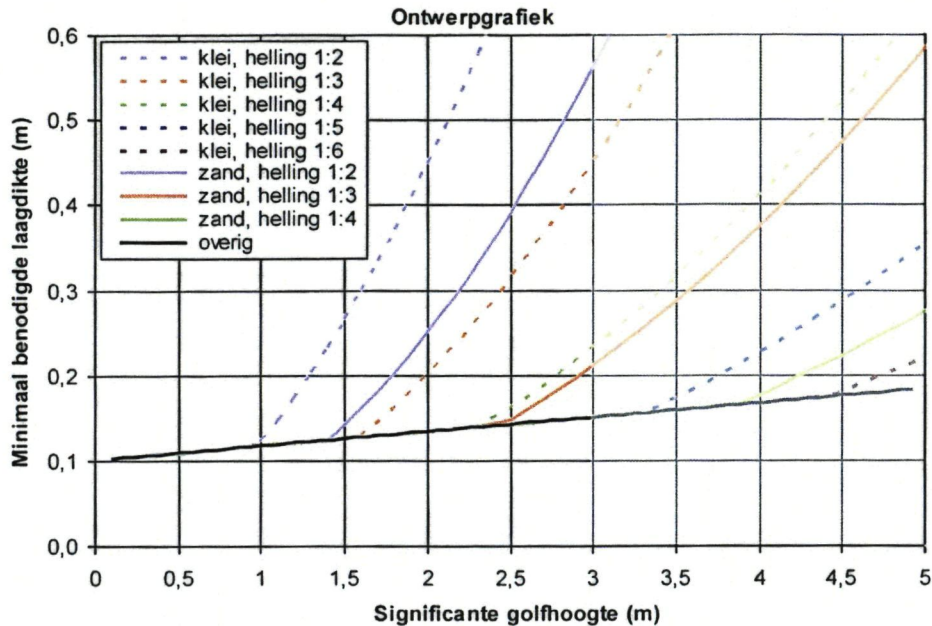
3.2 Input voor berekeningen

In het State of the art rapport [8] zijn nieuwe ontwerpgrafieken opgenomen. De ontwerpgrafiek voor waterbouwasfaltbeton is gegeven in figuur 3. Deze grafieken zijn om diverse redenen opgesteld. Golfklap is een aantal keren aangepast en verbeterd. Ook is het model waarmee de sterkte van het asfalt wordt gekarakteriseerd verbeterd. De breuksterkte van het materiaal bepaalt nu mede de vermoeiingsrelatie. Op basis van uit de toetsingen beschikbare data is een ontwerpwaarde voor de breuksterkte vastgesteld van 2,4 MPa. Hierbij is aangenomen dat de holle ruimte van het aan te brengen mengsel beneden 6% ligt. De vermoeiingsparameters alfa (α) en beta (β) karakteriseren samen met de breuksterkte het vermoeiingsgedrag van de asfaltbekleding. Voor de ontwerpgrafieken zijn veilige waarden vastgesteld van $\alpha = 0.5$ en $\beta = 5.4$.

Voor de stijfheid van de asfaltlaag tijdens het ontwerp is op basis van laboratorium onderzoek een relatie tussen de breuksterkte en de stijfheid bepaald. Hiermee is de stijfheid bepaald die hoort bij de ontwerpwaarde voor de breuksterkte. De stijfheid die is gebruikt in de ontwerpberoeeningen is vastgesteld op 4260 MPa. Voor meer informatie over deze nieuwe ontwerpgrafiek voor waterbouwasfaltbeton wordt verwezen naar [8]. Een van de problemen voor een vergelijking van de ontwerpgrafiek in [8] met de hier onderzochte constructie voor bermen en asfaltplateaus is, dat de beddingsconstantes die in de ontwerpgrafiek zijn gebruikt voor zand ($k = 64$ MPa/m) en klei ($k = 30$ MPa/m) niet representatief zijn voor een fosforslak fundering van 400 mm op zand of klei.

FIGUUR 2-4

GRAFIEK VOOR HET ONTWERPEN VAN EEN BEKLEDING VAN WATERBOUWASFALTBETON OP GOLFKLAPPEN



Figuur 3. Ontwerpgrafiek op golfklappen voor waterbouwasfaltbeton [8].

De ontwerpgrafieken zijn goedgekeurd door ENW werkgroep-Techniek en zoals reeds eerder gemeld opgenomen in [8]. Een toelichting door Robert 't Hart [9] op deze grafieken geeft informatie over de materiaal parameters en formules die zijn gebruikt voor zowel ontwerp als toetsingsprocedures. Standaard invoer voor de ontwerp- en toetsgrafieken is gegeven in tabel 11.

Tabel 11. Rekenformules voor ontwerp en toetsing [9]

Ontwerp		Toetsing	
$h = 1,28 \cdot 10^{10} \frac{H_s^2 \tan^2(\alpha) E}{f^2 \sigma^2 c}$ met als minimum: $h = 0,1(1 + H_s / 6)$			
zand: $f =$	$0,01 + 0,73n - 0,225n^2 + 0,025n^3$	zand: $f =$	$0,47 + 0,08n$
$c =$	64 MPa/m	$c =$	64 MPa/m
klei: $f =$	$0,87 - 0,0445n + 0,015n^2$	klei: $f =$	$0,879 - 0,139n + 0,025n^2$
$c =$	30 MPa/m	$c =$	30 Mpa/m
$E =$	5200 MPa	$E =$	4260 MPa
$\sigma =$	3,6 MPa	$\sigma =$	2,4 Mpa

Voor de afleiding van de formule in de tabel zijn de volgende parameters gebruikt:

c	beddingsconstante	MPa
E	stijfheidmodulus asfalt	MPa
f	vermoeiingsfactor	-
h	(benodigde) asfaltlaagdikte	m
H_s	significante golfhoogte	m

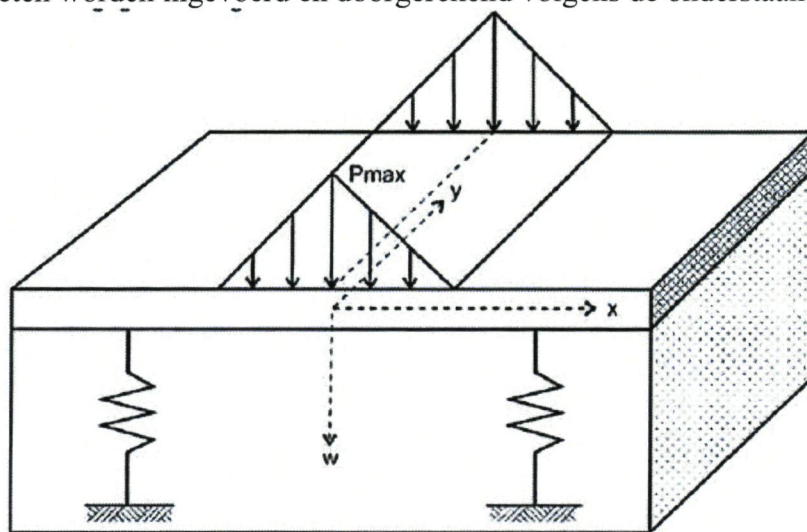
n	cotan van taludhelling (1V : nH)	-
q	stootfactor van golfklap	-
z	maat voor breedte van golfklapbelasting	m
α	taludhelling	rad
β	reciproque van karakteristieke lengte	1/m
ν	dwarscontractie coëfficiënt asfalt	MPa
σ	breuktrekspanning asfalt	MPa

Op basis van de afleiding zoals gegeven in [9] en de ontwerpgrafiek van figuur 3 kan worden afgelezen dat bij een $H_s = 3\text{ m}$ en een talud helling 1:6 een laagdikte van het asfalt pakket van minimaal 150 mm nodig zou zijn, zowel op een klei als een zand ondergrond. In ons geval is de beddingsconstante echter aanzienlijk hoger en het zal blijken dat de invloed hiervan groot is. Ook hoeft vanwege het dikke pakket fosforslakkenmengsel niet te worden ontworpen op opdrijven van de constructie.

3.3 Invloed van de Beddingsconstante op de berekening van de trekspanning

Op basis van de nieuwe ontwerpgrafieken zou voor de onderzochte constructie een asfalt laagdikte van 150 mm nodig zijn bij een golfbelasting van 3 m. In de ontwerpgrafieken is echter geen rekening gehouden met de speciale constructie, die niet met deze ontwerpgrafiek kan worden benaderd.

Indien toch berekeningen worden gemaakt, dan zal een aangepaste beddingsconstante moeten worden ingevoerd en doorgerekend volgens de onderstaande schematisatie [10].



Figuur 4. Schematisatie Golfklap [10].

De optredende maximale trekspanning aan de onderzijde van het asfalt bedraagt midden onder de belasting ($x = 0$):

$$\sigma = \frac{P_{\max}}{4\beta^2 \beta z} \left[1 - e^{(-\beta z)} (\cos(\beta z) + \sin(\beta z)) \right] \frac{6}{h^2}$$

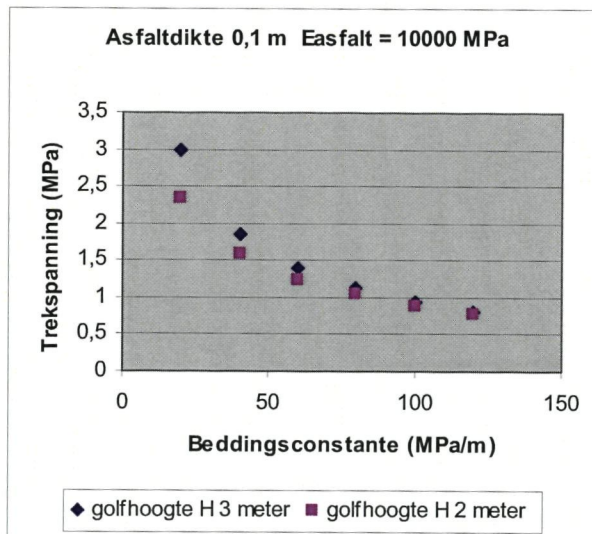
met

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{3c(1-\nu^2)}{Sh^3}}$$

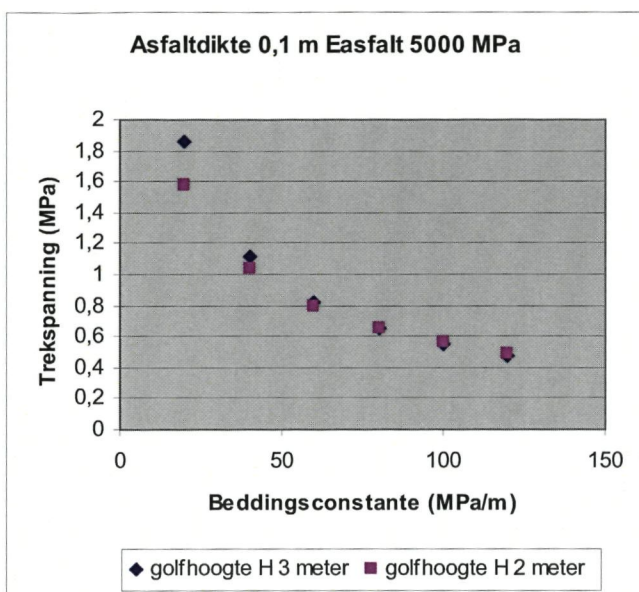
σ	Optredende trekspanning aan de onderzijde van de bekleding (MPa)
P_{\max}	Maximale drukstoot (MPa)
h	Laagdikte (m)
z	Halve breedte driehoeksbelasting ($=0,5H$)
c	Beddingsconstante van de ondergrond (MPa/m)
s	Stijfheidsmodulus van het asfalt (MPa)
ν	Constante van Poisson van het asfalt (-)

Zoals kan worden gezien in de twee formules is de beddingsconstante onderdeel van de formule voor β . De term β komt uitgebreid voor in de formule voor de berekening van de maximaal optredende trekspanning, zoals gegeven in de eerste formule.

Om de invloed van de beddingsconstante na te gaan is bovenstaande formule in een Excel spreadsheet geplaatst en zijn enkele berekeningen uitgevoerd. In de gegeven voorbeelden in figuur 5 en 6 zijn realistische waarden voor de golfhoogte H (2 en 3 meter), de stootfactor q (3,5) en de maximale drukstoot (0,07 MPa) aangehouden.



Figuur 5. Trekspanning onderin de asfaltlaag als functie van de beddingsconstante (asfaltdikte 0,1 m, Easfalt = 10000 MPa)



Figuur 6. Trekspanning onderin de asfaltaag als functie van de beddingsconstante (asfaltdikte 0,1 m, Easfalt = 5000 MPa)

Zoals berekend in paragraaf 3.2 en gegeven in tabel 9 zijn de beddingsconstantes voor de door ons onderzochte constructies 85 MPa/m, respectievelijk 143 MPa/m voor een fosforslak fundering met $E = 400$ MPa respectievelijk $E = 1000$ MPa. Vergelijking van de spanningen in de figuren 5 en 6 maakt onmiddellijk duidelijk dat de beddingsconstante een grote invloed heeft op de optredende trekspanning.

Om een redelijke vergelijking te maken tussens de constructie met 150 mm asfalt direct op de ondergrond en de constructie met 100 mm asfalt/400 mm fosforslak op de ondergrond, zijn voor deze beide constructies de trekspanningen doorgerekend met een golfhoogte H van 2 m en 3 m voor de twee ondergronden. Hiermee kan een goede indruk worden verkregen of de constructie met 100 mm asfalt/400 mm fosforslak gelijkwaardig is aan de constructie volgens de ontwerpgrafiek. De resultaten zijn gegeven in tabel 12.

Tabel 12. Trekspanning onderin het asfalt tengevolge van een golfhoogte van 2 en 3 m.

Constructie	150 mm asfalt op: ondergrond				100 mm asfalt op 400 mm fosforslak/ondergrond			
	klei		zand		klei		zand	
E asfalt (MPa)	5000	10000	5000	10000	5000	10000	5000	10000
Beddingsconstante (MPa/m)	30	30	64	64	85	85	143	143
Golfhoogte 2 m								
Trekspanning (MPa)	1,10	1,56	0,72	1,07	0,62	1,00	0,43	0,70
Golfhoogte 3 m								
Trekspanning (MPa)	1,44	2,22	0,86	1,38	0,63	1,07	0,42	0,72

Uit de berekeningen blijkt duidelijk dat de constructie van 100 mm asfalt met een fundering van 400 mm fosforslak veel lagere trekspanningen veroorzaakt in het asfalt dan de constructie met 150 mm asfalt direct op de ondergrond. De trekspanningen in het asfalt zijn in alle gevallen een factor 1,5 lager en meestal zelfs een factor 2 lager.

De constructie met 150 mm waterbouwasfaltbeton direct op zand of klei (zie figuur 3) kan worden gezien als de minimum vereiste laagdikte voor dijkbekledingen waarop golfhoogtes van 3 meter hoogte kunnen worden verwacht. De conclusie moet dan ook zijn dat de constructie van 100 mm asfalt en 400 mm fosforslak fundering zonder problemen de superstorm zal kunnen doorstaan, omdat de asfaltconstructie veel gunstiger wordt belast dan bij de constructie volgens de ontwerpgrafiek.

Dit is ook al bevestigd door berekeningen die eerder zijn uitgevoerd [6]. In dit onderzoek dat is uitgevoerd door NPC in 2000 blijkt dat voor een aantal belastingsgevallen, waarbij de hydraulische omstandigheden die langs de Westerschelde kunnen voorkomen in rekening zijn gebracht, de Minersom nooit hoger was dan 0,1 in het meest ongunstige geval voor een constructie met:

60 mm asfalt (GAB)
400 mm fosforslak

De resultaten van die berekeningen zijn samengevat in tabel 13. Voor deze berekeningen is een taludhelling 1:6 gebruikt en deze aanname is zoals bekend erg conservatief. De ligging van het voorland is op 1m –NAP gehouden. De gebruikte asfalt laagdikte is 60 mm. Het verloop van de stilwaterlijn is zo gekozen dat de berm gedurende circa 3,2 uur is belast door golfklappen

Tabel 13. Met golfklap bepaalde Miner sommen voor GAB van bermen langs de Westerschelde voor 60 mm asfalt, 400 mm fosforslak [6].

Significante golfhoogte (m)	Gemiddelde golfperiode (s)	Beddingsconstante (MPa/m)	
		60 (ondergrond klei)	170 (ondergrond zand)
Hs	Tg		
1	3,5	0,001	0,00023
2	4,9	0,01	0,0014
3	6,1	0,14	0,0027
4,1	7,1	0,10	0,0045

De conclusie is ook hier weer, dat de constructie met 100 mm asfalt zeker zal voldoen in een Golfklap analyse.

4. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

4.1 Conclusies

Verkeersbelasting

De voorgestelde constructie (100 mm asfalt, 400 mm fosforslak fundering) kan in alle doorgerekende gevallen (veel) meer dan 600000 10 tons standaardlasten weerstaan gedurende de levensduur. Hiermee kan eenvoudig een levensduur worden ingeschat op basis van verwachte verkeersbelasting.

Voorbeeld: een belasting van 15 standaardlasten van 10 ton/dag zal resulteren in een levensduur van minimaal 100 jaar voor alle doorgerekende gevallen.

Golfbelasting.

Uit de berekeningen blijkt dat de fosforslakkenmengsel fundering van 400 mm met $E = 1000$ MPa resulteert in een sterk toegenomen beddingsconstante voor de berekening op golfbelasting.

De ontwerpgrafieken geven een minimale asfaltdikte van 150 mm op een ondergrond van zand of klei. Vergelijking van de spanningsniveaus in deze constructie met de onderzochte bermconstructie toont aan dat de bermconstructie veel lagere trekspanningen oplevert onder golfbelasting. Ook berekeningen op een bermconstructie met $E = 500$ MPa voor de fosforslak fundering en een asfaltdikte van slechts 60 mm toont aan dat de Minersommen (vermoeiing) zelfs in de ongunstigste gevallen lager zijn dan 0,1 terwijl een Minersom van 1 wordt aangeduid als waarschuwingsgrens voor vermoeiing. De onderzochte constructie kan in alle gevallen de berekening op golfbelasting doorstaan (zelfs in het worst case scenario).

Worst case scenario Verkeersbelasting.

Het worst case scenario voor de verkeersbelasting, waarbij de asfaltdikte slechts 80 mm, de asfaltstijfheid slechts 2000 MPa en de stijfheid van de fosforslak fundering slechts 400 MPa is, zal een geringe levensduur met betrekking tot de verkeersbelasting voor de asfaltlaag geven. Dit zal na het bezwijken op verkeersbelasting ook gevolgen hebben voor de golfbelasting.

CE markering

De functionele eigenschappen voor asfalt mengsels volgens de CE markering kunnen eenvoudig worden gebruikt voor het ontwerp van berm en plateau op verkeersbelasting. De deklaag en tijdelijke deklaag mengsels bieden uitstekende mogelijkheden voor het ontwerp van de twee lagen asfalt op de fosforslakken mengsel fundering.

Ook op de permanente deformatie in de asfaltlaag kan eenvoudig worden ontworpen in gevallen waar dat nodig is door hogere eisen te stellen aan de f_c waarde (helling triaxiaalproef) van de mengsels volgens de CE markering in de RAW 2010.

4.2 Aanbevelingen

De voorgestelde constructie van 100 mm asfalt en 400 mm fosforslak fundering voldoet volgens de berekeningen in alle gevallen aan de golfbelasting. Nagegaan moet worden welke eigenschappen volgens de nieuwe methode moeten worden aangenomen voor het berekenen volgens Golfklap 1.3.

Voor het vaststellen van de asfaltmengsels kan eenvoudig gebruik worden gemaakt van de mengsel eigenschappen volgens de CE markering op basis van de ontwerp verkeersbelasting. In alle gevallen zal een controle moeten worden uitgevoerd op basis van de werkelijk gemeten functionele eigenschappen door de aannemer.

Het is uiterst belangrijk voor de bekleding dat de uitvoering goed wordt gecontroleerd. Met name de asfalt laagdikte mag niet te gering zijn, want deze bepaalt in sterke mate de hoeveelheid verkeersbelasting die kan worden toegelaten. Aanbevolen wordt om streng op de minimum asfalt laagdikte te controleren.

Ook moet de fosforslak fundering goed op draagkracht worden gecontroleerd. Hoewel een $E = 500$ MPa ook voldoende is, kan op eenvoudige wijze een veel beter resultaat worden bereikt door goed te verdichten. Het wordt daarom sterk aanbevolen om eisen aan de verdichting te stellen en draagkracht controles uit te voeren (enige tijd na aanleg).

De constructie ondergaat meestal slechts geringe verkeersbelasting maar het ontwerp voor golfbelasting vereist een lange levensduur van minimaal 50 jaar. Het is dus voor de duurzaamheid van essentieel belang dat de holle ruimte van de asfaltbeton mengsels na aanleg laag is (in ieder geval lager dan 6%). Gestreefd moet worden naar een holle ruimte van 4% na aanleg.

Voorgesteld wordt om een eenvoudige handleiding op te stellen voor het ontwerp van de bermen en asfaltplateaus met vaste laagdiktes (100 mm asfalt/400 mm fosforslak), waarbij op basis van de verkeersbelasting het toe te passen mengsel dient te worden aangepast op basis van de CE markering volgens RAW 2010. De aanpassing zal dan voornamelijk worden gericht op het voorkomen van permanente deformatie van de te kiezen asfaltmengsels.

In 2011 zal door CROW een nieuwe ontwerp methode worden uitgebracht, die de huidige methode [4] zal vervangen. Nagegaan dient te worden bij verschijnen van deze nieuwe ontwerp methode of dit gevolgen heeft voor de in dit rapport doorgerekende constructie.

REFERENTIES

- [1]. Plan van aanpak: Ontwerp asfaltbekleding op berm en havenplateaus. MFC van de Ven, CC Montauban, TU Delft, 27 september 2010.
- [2]. Quick scan: Ontwerp asfaltbekleding op berm en havenplateaus (inclusief bijlage over Ontwerpmethodes voor verhardingen met geringe belasting en langzaam rijdend of stilstaand verkeer)
. MFC van de Ven, CC Montauban, oktober 2010.
- [3]. Bisar 3.0. Shell
- [4]. Specificaties Ontwerp Asfaltverhardingen 2009. RWS-DVS
- [5]. RAW 2010 Standaard RAW Bepalingen 2010, CROW Ede.
- [6]. Wegen op Bermen van de dijken langs de Westerschelde. Toetsing op Veiligheid, rapport 008125, NPC, 2000
- [7]. Structural Design of Pavements. Part IV. Design of Concrete pavements, CT 4860, ir. L.J.M. Houben, TU Delft, Januari 2006
- [8]. State of the Art Asfaltdijkbekledingen, STOWA rapport W06, 2010
- [9]. Analytische beschrijving ontwerp- en toetsgrafieken asphalt (CONCEPT). Robert 't Hart, 4 februari 2011.
- [10]. Buro studie naar de draagkracht van de ondergrond, M.F.C. van de Ven, TU Delft, 1 december 2005.
- [11]. Geometrisch en constructief ontwerp van wegen en spoorwegen. Deel C: constructief ontwerp van wegen. Prof dr.ir. AAA Molenaar, ir. L.J.M. Houben, collegedictaat CT 3041, TU Delft, augustus 2003.

Bijlage 1

Resultaten Bissar berekeningen 2 constructies.

100 mm asfalt en 400 mm fosforslak: spanningen

100 mm asfalt en 400 mm fosforslak: rekken/stuiken

200 mm asfalt en 200 mm fosforslak: spanningen

200 mm asfalt en 200 mm fosforslak: rekken/stuiken

100 mm asfalt en 400 mm fosforslak: spänningen

thickness	100/400	5000	MPa	
surface				
base	100	100	MPa	
depth/mm	stress/Mpa			
xx	yy	zz		
1	-1.577	-0.7999		
99	0.6377	-0.4591		
101	-0.06318	-0.4539		
300	0.04052	-0.1212		
499	0.14	-0.02432		
501	-0.00166	-0.02419		

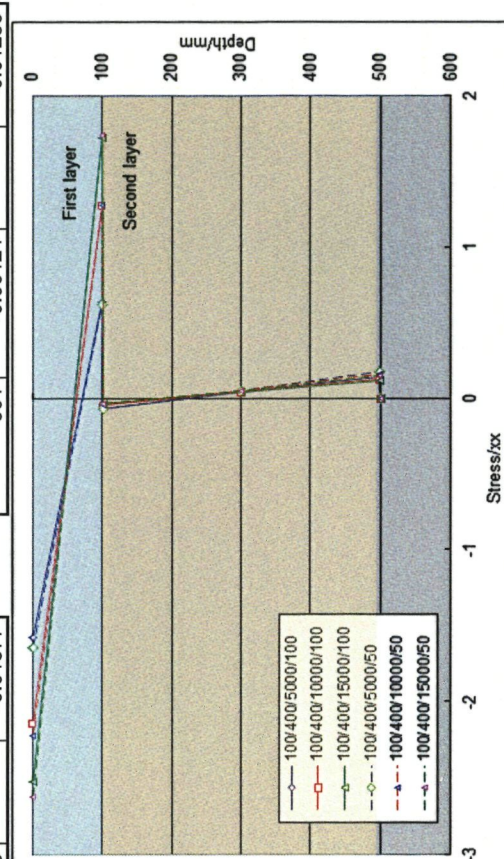
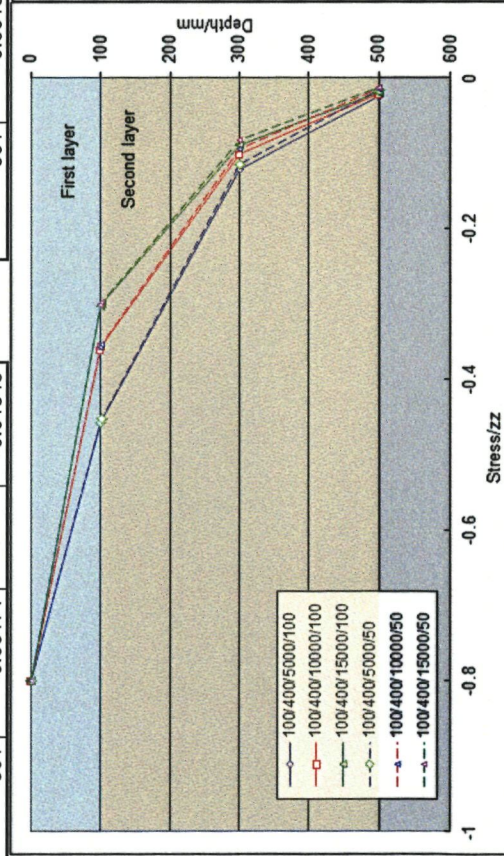
thickness	100/400	10000	MPa	
surface				
base	100	100	MPa	
depth/mm	stress/Mpa			
xx	yy	zz		
1	-2.138	-0.7999		
99	1.274	-0.3595		
101	-0.04117	-0.3555		
300	0.04069	-0.1005		
499	0.1273	-0.02178		
501	-0.00126	-0.02167		

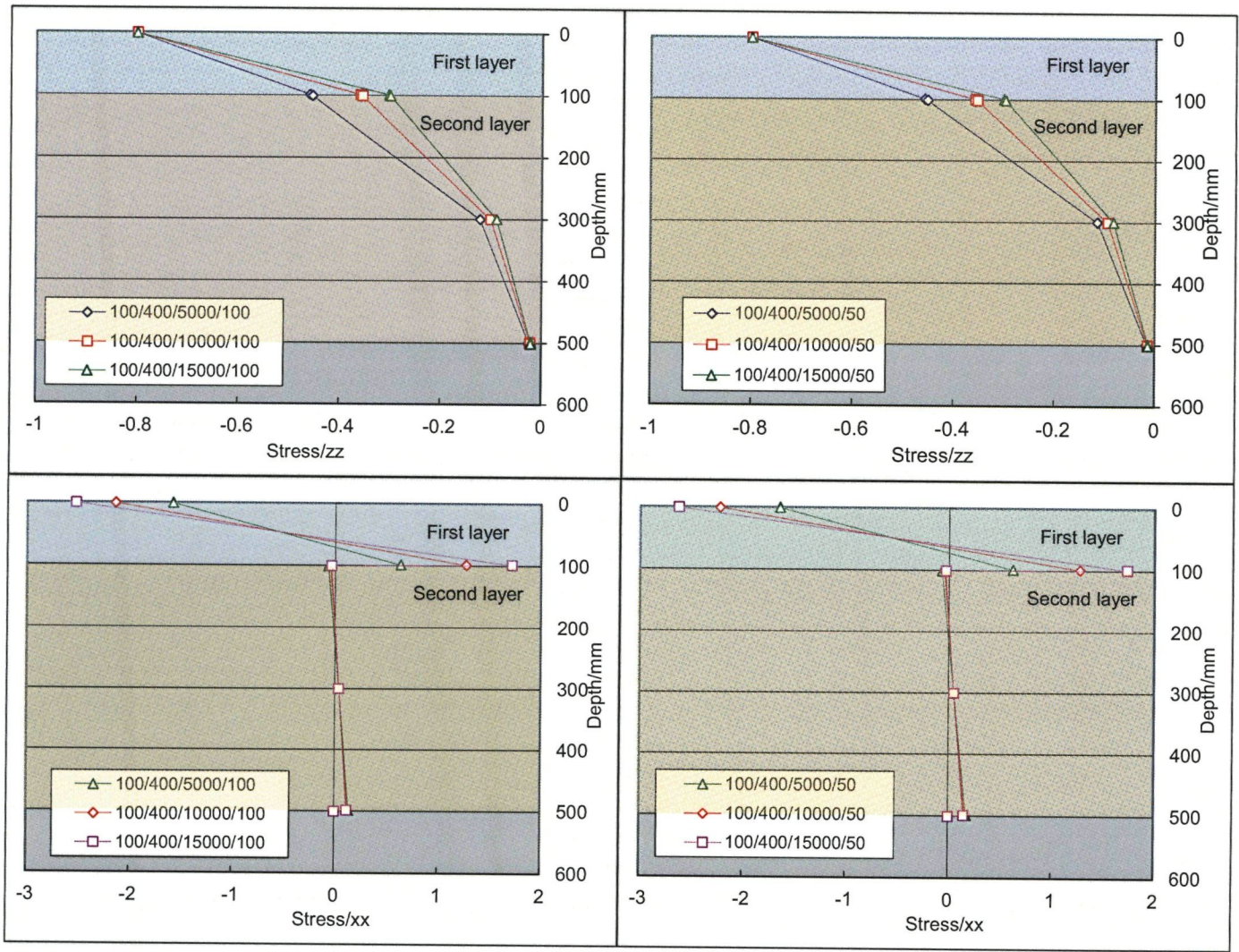
thickness	100/400	15000	MPa	
surface				
base	100	100	MPa	
depth/mm	stress/Mpa			
xx	yy	zz		
1	-2.524	-0.7999		
99	1.717	-0.3027		
101	-0.03288	-0.2994		
300	0.03948	-0.08827		
499	0.119	-0.02033		
501	-0.00116	-0.02023		

thickness	100/400	5000	MPa	
surface				
base	50	50	MPa	
depth/mm	stress/Mpa			
xx	yy	zz		
1	-1.641	-0.7999		
99	0.6235	-0.4572		
101	-0.06503	-0.4519		
300	0.05301	-0.1139		
499	0.1758	-0.0155		
501	-0.00171	-0.01543		

thickness	100/400	10000	MPa	
surface				
base	50	50	MPa	
depth/mm	stress/Mpa			
xx	yy	zz		
1	-2.221	-0.7999		
99	1.276	-0.3575		
101	-0.03984	-0.3533		
300	0.05362	-0.09359		
499	0.1599	-0.01383		
501	-0.00135	-0.01377		

thickness	100/400	15000	MPa	
surface				
base	50	50	MPa	
depth/mm	stress/Mpa			
xx	yy	zz		
1	-2.624	-0.7999		
99	1.735	-0.3005		
101	-0.03046	-0.2971		
300	0.05238	-0.08172		
499	0.1497	-0.01292		
501	-0.00124	-0.01286		





100 mm asfalt en 400 mm fosforlak: rekken/stuiken

thickness	100/400	MPa	
surface	5000	MPa	
base	100	MPa	
depth/mm	strain/micro		
	xx	yy	zz
1	-149		60.79
99	115		-181.1
101	117.8		-409.7
300	68.77		-149.6
499	99.49		-122.3
501	99.77		-227.8

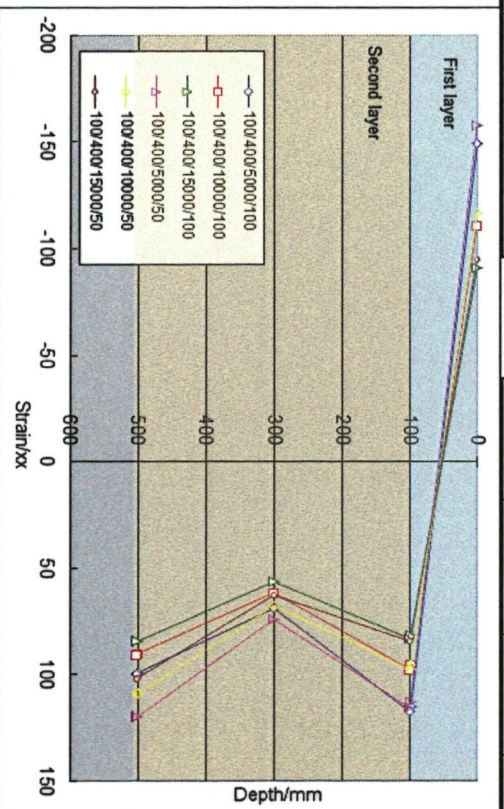
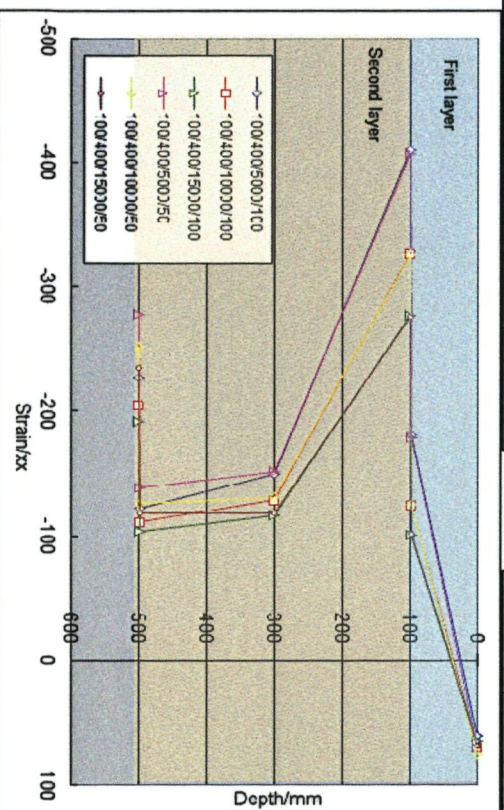
thickness	100/400	MPa	
surface	10000	MPa	
base	100	MPa	
depth/mm	strain/micro		
	xx	yy	zz
1	-110.9		69.64
99	95.39		-125.1
101	97.66		-326.7
300	61.62		-129
499	90.38		-110.9
501	90.58		-205.4

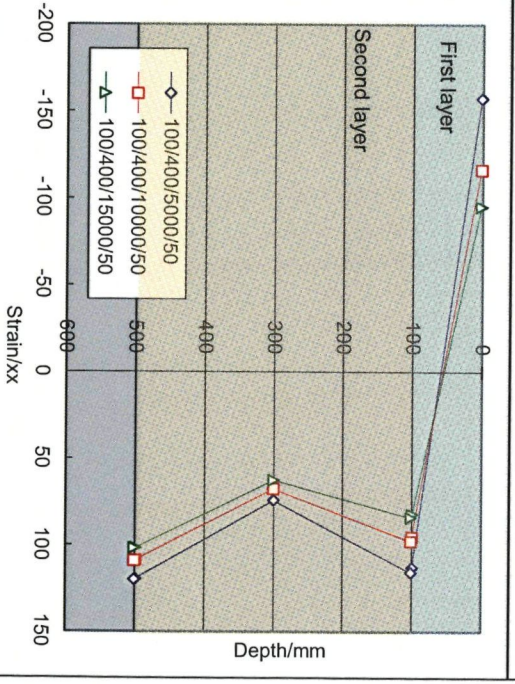
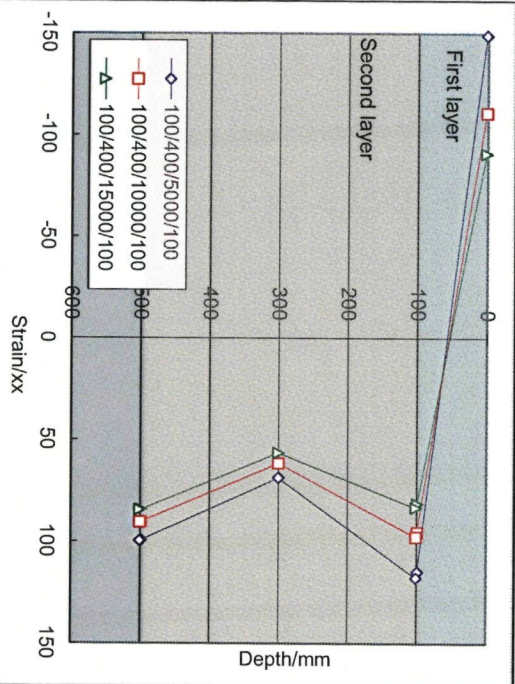
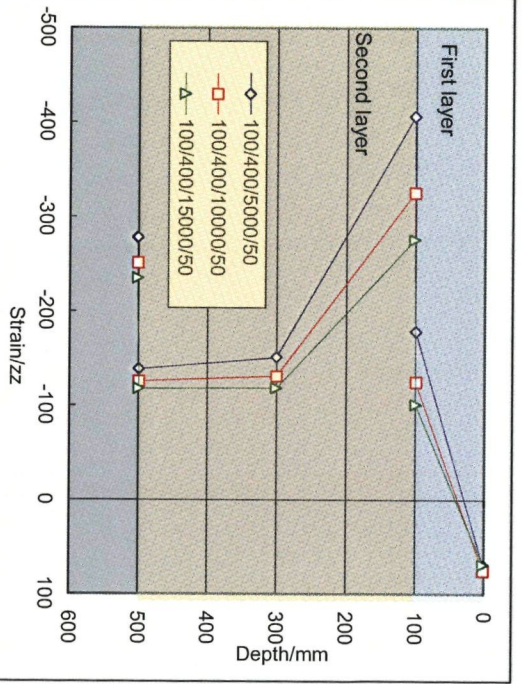
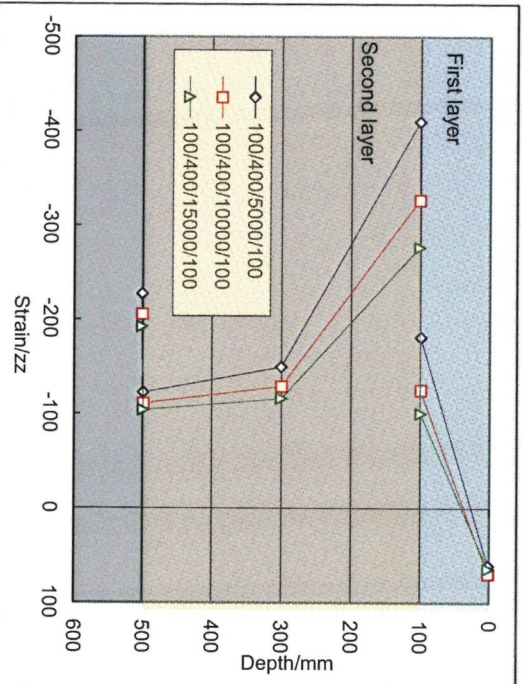
thickness	100/400	MPa	
surface	15000	MPa	
base	100	MPa	
depth/mm	strain/micro		
	xx	yy	zz
1	-90.71		64.46
99	81.47		-100.3
101	83.41		-276.4
300	56.56		-115.9
499	84.45		-103.6
501	84.67		-191.9

thickness	100/400	MPa	
surface	5000	MPa	
base	50	MPa	
depth/mm	strain/micro		
	xx	yy	zz
1	-157.4		69.77
99	113.1		-178.7
101	115.9		-406.4
300	74.32		-151
499	119.7		-138.6
501	120.1		-277.8

thickness	100/400	MPa	
surface	10000	MPa	
base	50	MPa	
depth/mm	strain/micro		
	xx	yy	zz
1	-116.4		75.51
99	95.43		-125
101	97.77		-325.5
300	67.61		-131.1
499	108.8		-125.8
501	109.1		-251.1

thickness	100/400	MPa	
surface	15000	MPa	
base	50	MPa	
depth/mm	strain/micro		
	xx	yy	zz
1	-95.03		69.11
99	82.19		-101
101	84.19		-275.8
300	62.65		-118.4
499	101.8		-117.7
501	102.1		-234.9





200 mm asfalt en 200 mm fosforslak: spanningen

thickness	200/200	5000	MPa
surface		100	MPa
base			
depth/mm	stress/Mpa	yy	zz
1	-1.232		-0.8
199	0.5955		-0.1652
201	0.05069		-0.1625
300	0.08577		-0.06659
399	0.1571		-0.02809
401	-0.00244		-0.02794

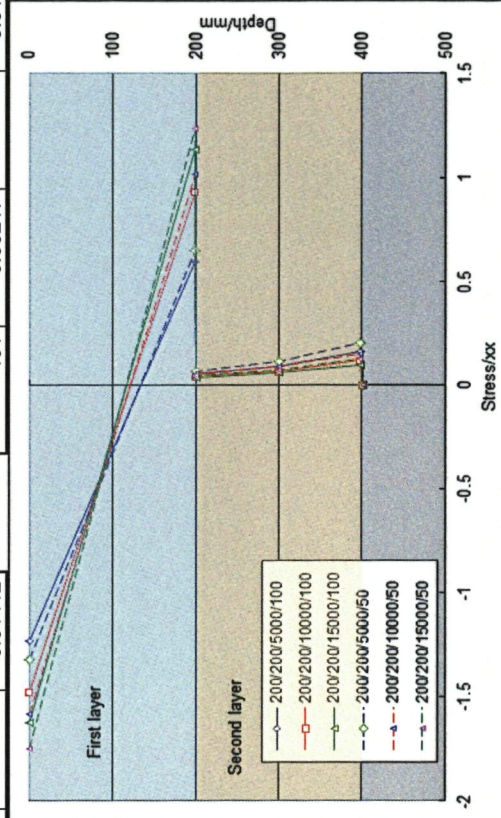
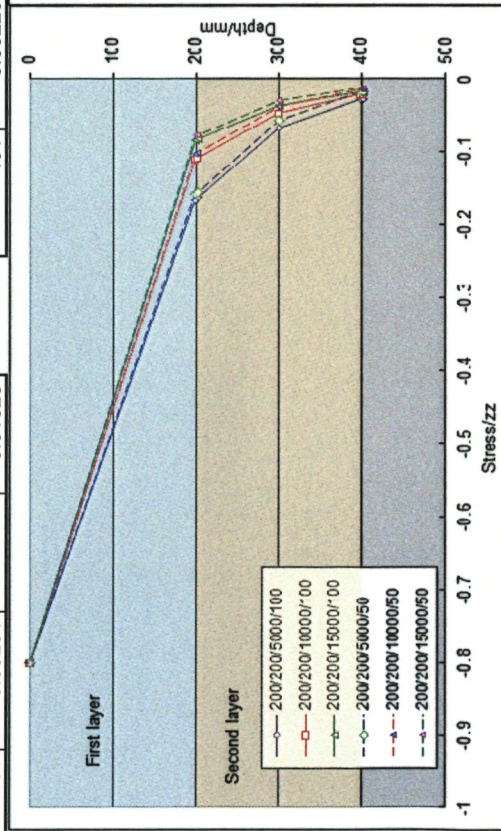
thickness	200/200	10000	MPa
surface		100	MPa
base			
depth/mm	stress/Mpa	yy	zz
1	-1.474		-0.8
199	0.9341		-0.1097
201	0.04223		-0.1079
300	0.06761		-0.04644
399	0.1176		-0.02168
401	-0.00233		-0.02157

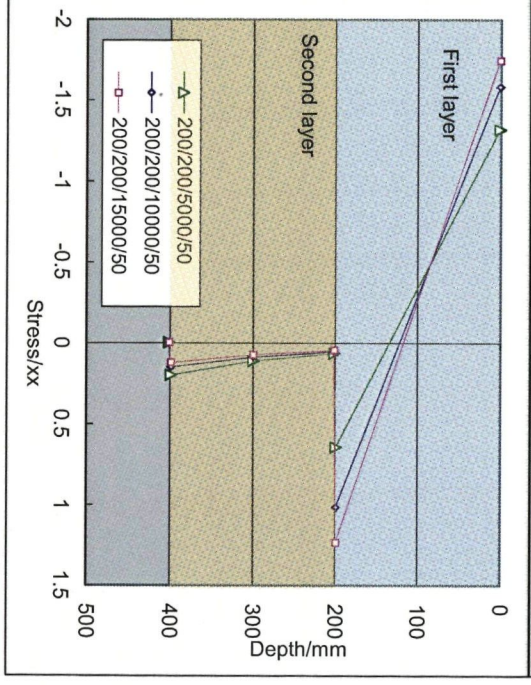
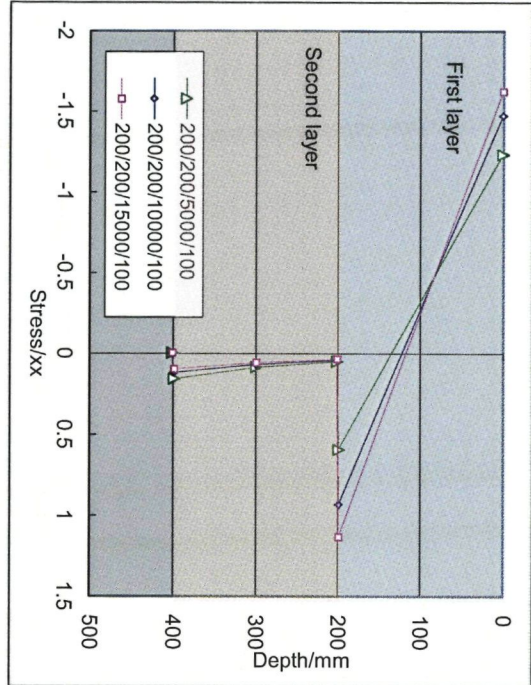
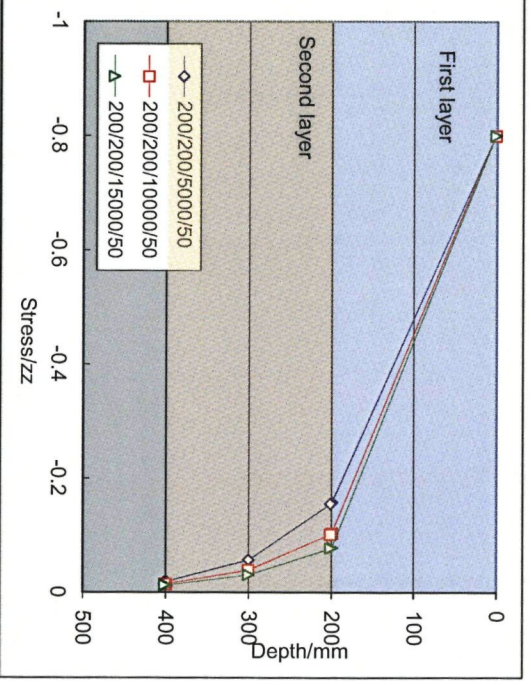
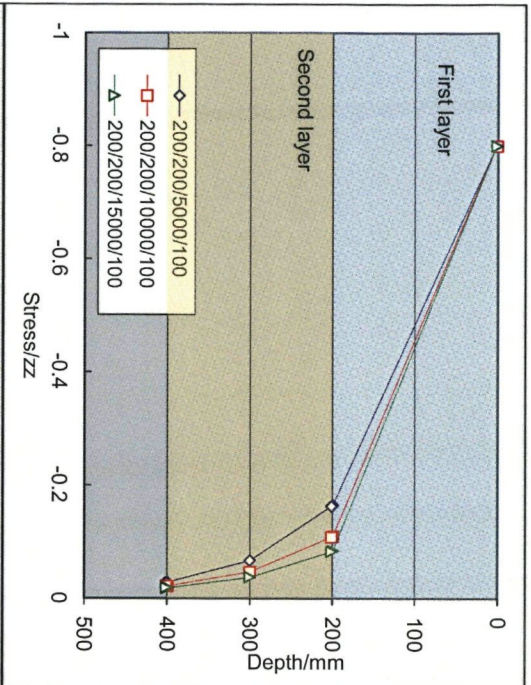
thickness	200/200	15000	MPa
surface		100	MPa
base			
depth/mm	stress/Mpa	yy	zz
1	-1.624		-0.8
199	1.135		-0.08387
201	0.0351		-0.08235
300	0.05628		-0.03682
399	0.09618		-0.01831
401	-0.00235		-0.01824

thickness	200/200	5000	MPa
surface		50	MPa
base			
depth/mm	stress/Mpa	yy	zz
1	-1.318		-0.8
199	0.6454		-0.1575
201	0.06424		-0.1547
300	0.111		-0.05639
399	0.1995		-0.01832
401	-0.00251		-0.01823

thickness	200/200	10000	MPa
surface		50	MPa
base			
depth/mm	stress/Mpa	yy	zz
1	-1.583		-0.8
199	1.016		-0.1031
201	0.05375		-0.1013
300	0.08742		-0.03845
399	0.1492		-0.01418
401	-0.00226		-0.01412

thickness	200/200	15000	MPa
surface		50	MPa
base			
depth/mm	stress/Mpa	yy	zz
1	-1.746		-0.8
199	1.236		-0.078
201	0.04492		-0.07663
300	0.07274		-0.03003
399	0.1218		-0.012
401	-0.00217		-0.01195





200 mm asfalt en 200 mm fosforlak: rekken/stuiken

thickness	200/200	MPa	
surface	5000	MPa	
base	100	MPa	
depth/mm	strain/micro	yy	zz
1	-104.1		12.45
199	88.98		-116.4
201	89.81		-198
300	79.06		-126.6
399	112		-138.1
401	112.3		-257.4

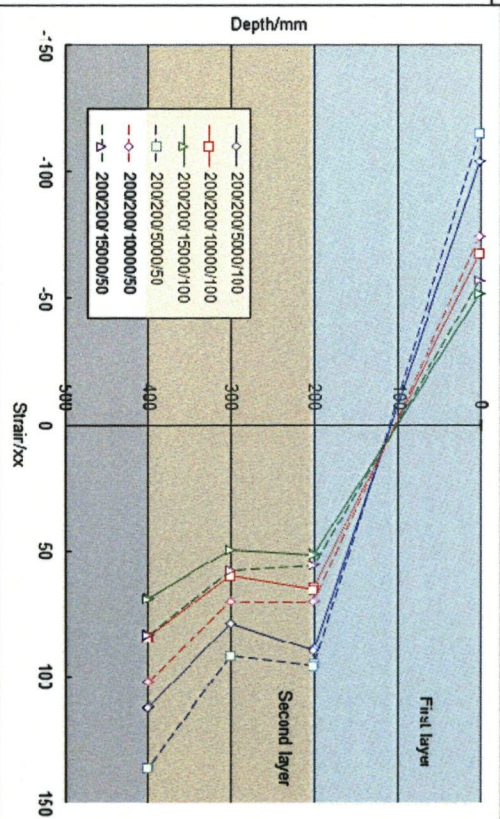
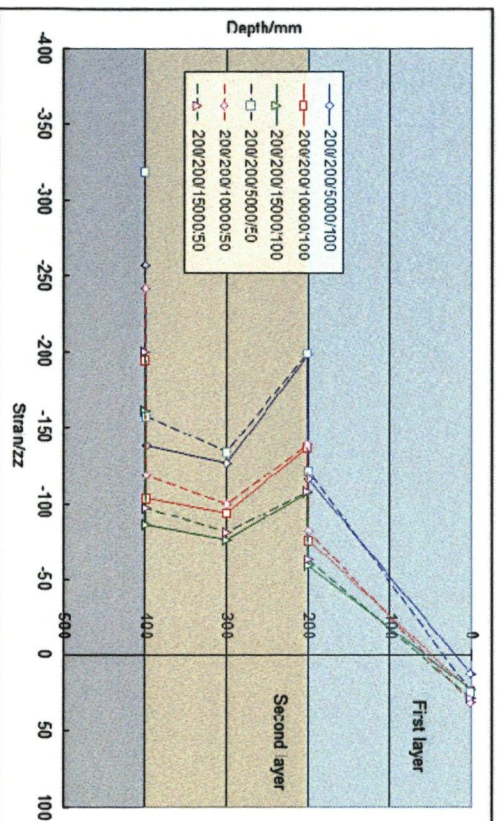
thickness	200/200	10000	MPa	
surface	10000	MPa		
base	100	MPa		
depth/mm	strain/micro	yy	zz	
1	-67.81		23.18	
199	64.56		-76.36	
201	65.23		-137.5	
300	60.2		-93.77	
399	84.05		-104	
401	84.28		-194.8	

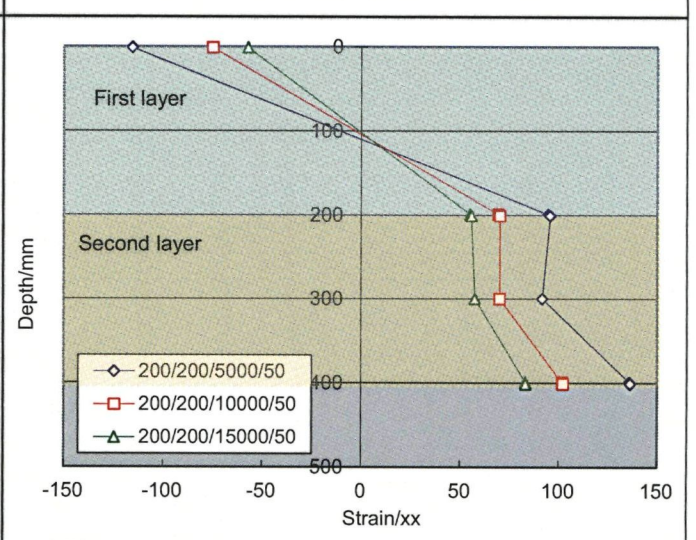
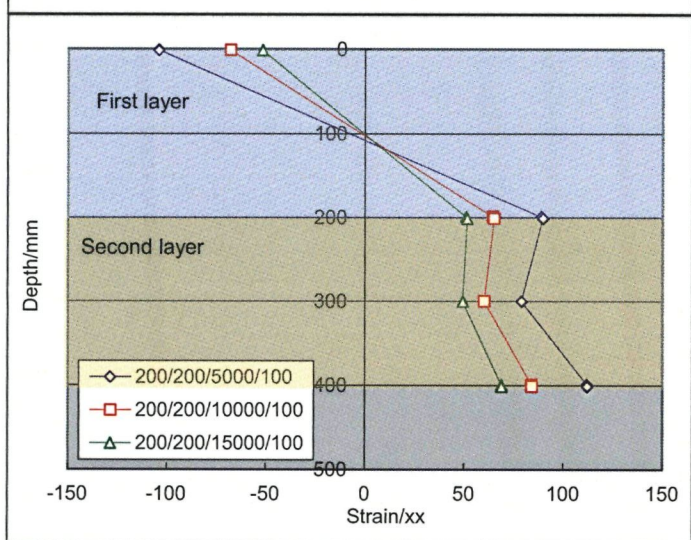
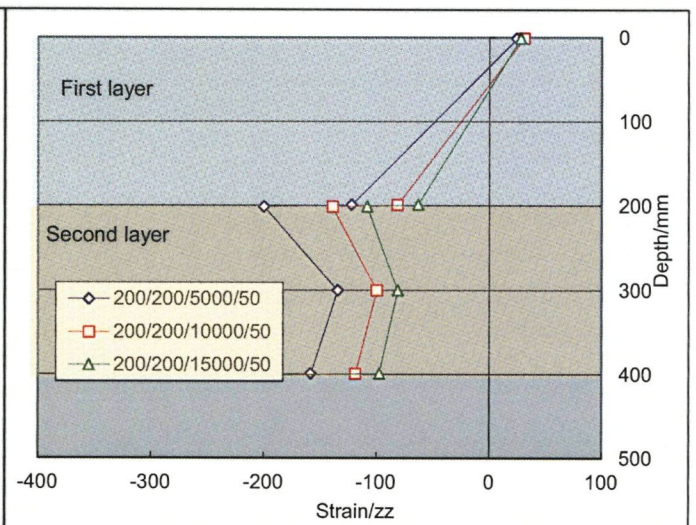
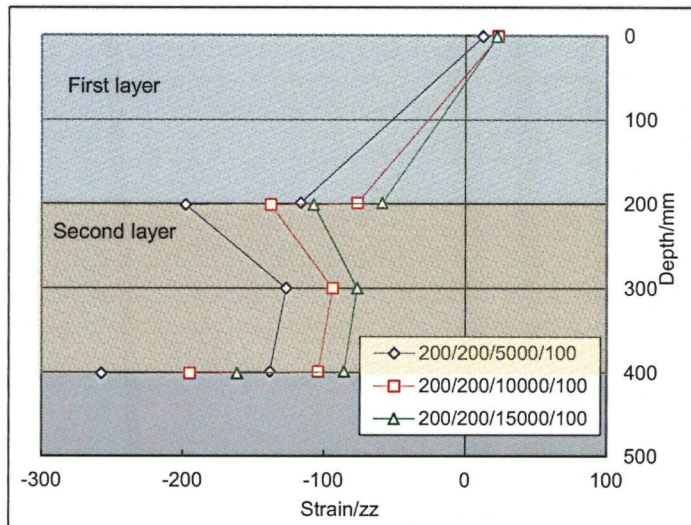
thickness	200/200	15000	MPa	
surface	15000	MPa		
base	100	MPa		
depth/mm	strain/micro	yy	zz	
1	-51.69		22.44	
199	51.15		-58.57	
201	51.7		-107.1	
300	49.47		-76.22	
399	68.93		-85.64	
401	69.11		-161.2	

thickness	200/200	5000	MPa	
surface	5000	MPa		
base	50	MPa		
depth/mm	strain/micro	yy	zz	
1	-115.4		24.55	
199	94.93		-121.9	
201	95.9		-199.7	
300	91.9		-134.1	
399	136.1		-158	
401	136.5		-319.5	

thickness	200/200	10000	MPa	
surface	10000	MPa		
base	50	MPa		
depth/mm	strain/micro	yy	zz	
1	-74.87		30.79	
199	69.63		-81.41	
201	70.4		-138.9	
300	70.28		-99.65	
399	101.9		-118.6	
401	102.3		-241.8	

thickness	200/200	15000	MPa	
surface	15000	MPa		
base	50	MPa		
depth/mm	strain/micro	yy	zz	
1	-56.99		28.14	
199	55.38		-62.88	
201	56.02		-108.1	
300	57.79		-80.95	
399	83.4		-97.29	
401	83.55		-199.9	





Bijlage 2

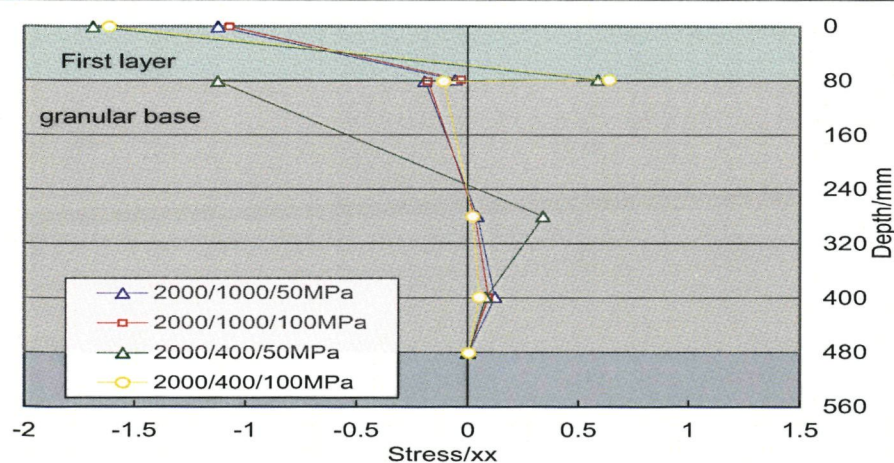
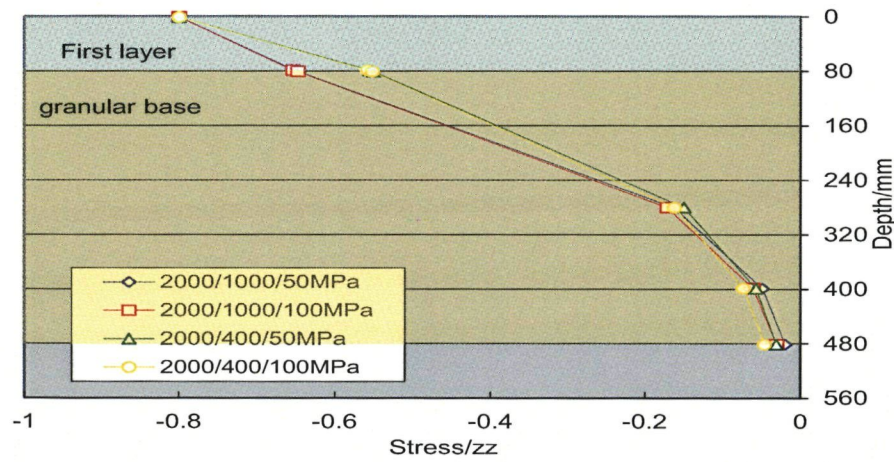
Resultaten Bissar berekeningenworst case scenario

thickness	80/400		
surface	2000	MPa	80 mm
granular base	1000	MPa	400 mm
subgrade	50	MPa	
depth/mm	Stress/Mpa		
	xx	yy	zz
1	-1.122		-0.8
79	-0.057		-0.6525
81	-0.1944		-0.6464
280	0.04213		-0.1625
399	0.1216		-0.04894
481	0.000341		-0.01988

thickness	80/400		
surface	2000	MPa	80 mm
granular base	1000	MPa	400 mm
subgrade	100	MPa	
depth/mm	Stress/Mpa		
	xx	yy	zz
1	-1.071		-0.8
79	-0.03		-0.6539
81	-0.1815		-0.6477
280	0.03125		-0.1709
399	0.09281		-0.06056
481	0.001521		-0.03075

thickness	80/400		
surface	2000	MPa	80 mm
granular base	400	MPa	400 mm
subgrade	50	MPa	
depth/mm	Stress/Mpa		
	xx	yy	zz
1	-1.685		-0.8
79	0.5884		-0.555
81	-1.124		-0.55
280	0.341		-0.1492
399	0.0809		-0.0569
481	0.0024		-0.0311

thickness	80/400		
surface	2000	MPa	80 mm
granular base	400	MPa	400 mm
subgrade	100	MPa	
depth/mm	Stress/Mpa		
	xx	yy	zz
1	-1.612		-0.8
79	0.64		-0.5578
81	-0.1093		-0.552
280	0.02134		-0.1614
399	0.05249		-0.07318
481	0.00398		-0.0461



thickness	80/400		
surface	2000	MPa	80 mm
granular base	1000	MPa	400 mm
subgrade	50	MPa	
depth/mm	Strain/micro		
	xx	yy	zz
1	-224.7		-7.28
79	95.58		-306.2
81	99.85		-510.3
280	84.25		-192
399	96.14		-134
481	143.6		-402.5

thickness	80/400		
surface	2000	MPa	80 mm
granular base	1000	MPa	400 mm
subgrade	100	MPa	
depth/mm	Strain/micro		
	xx	yy	zz
1	-208.2		-25.01
79	104.7		-316.4
81	108.8		-520.7
280	80.11		-192.7
399	81.52		-125.5
481	117.5		-318.1

thickness	80/400		
surface	2000	MPa	80 mm
granular base	400	MPa	400 mm
subgrade	50	MPa	
depth/mm	Strain/micro		
	xx	yy	zz
1	-407.6		189.7
79	288.4		-483.6
81	298.2		-1177
280	186		-432.6
399	181.3		-283.9
481	249.6		-656.8

thickness	80/400		
surface	2000	MPa	80 mm
granular base	400	MPa	400 mm
subgrade	100	MPa	
depth/mm	Strain/micro		
	xx	yy	zz
1	-383.8		-164.1
79	295.9		-492.4
81	305.4		-1189
280	175.9		-440.9
399	149.3		-274.8
481	187.2		-488.8

