

N O T A

UITSPOELEN VAN ZANDLAGEN

3 4 0 A Z A - N - 8 2 0 2 8

3 4 F U N D - N - 8 2 1 4 1

d d. 8 2 0 5 2 1

gew. d d. 8 2 0 6 1 7

deltadienst
hoofdafdeling waterbouwkundige werken
afdeling waterbouwkundige werken west

Aan: leden PGS

| | |
|---|--|
| uw kenmerk: | burgh-haamstede, 820706 |
| uw brief van: | ons kenmerk: 34FUND-B-82131 |
| onderwerp: Nota uitspoelen van zand- lagen | verzonden: bijlagen: 34OAZA-N-82028 |

Door de werkgroep AZA is de nota Aanzandingsverwachting opgesteld waarin de problematiek van de aanzanding tijdens de opbouw van het funderingsbed en het plaatsen van de pijlers is geanalyseerd. In de nota zijn de verwachtingswaarden gepresenteerd van de zandlaagdikten die ontstaan in de perioden tussen de betreffende (fijn-)opschoonprocessen en de leg- of plaatshandeling. De nota is door de toenmalige PGO goedgekeurd en desgevraagd ter beoordeling voorgelegd aan deskundigen van het WL.

Het oordeel van deze geraadpleegde deskundigen heeft niet geleid tot een wezenlijke verandering van de verwachtingswaarden als vermeld in de nota. Deze conclusie (met de bijbehorende overweging) is de PGO ter kennisneming toegezonden.

Aan de hand van de aldus vastgestelde verwachtingswaarden van de aanzanding heeft de werkgroep AZA aandacht besteed aan de zogenaamde "verdwynmodellen" van het zand.

Het gesedimenteerde zand zal namelijk niet alleen de stand van de pijlers beïnvloeden tijdens de bouwfases, maar ook de stand ervan in de fasen na de totstandkoming van de stormvloedkering. Dit verschijnsel is het gevolg van het weer uitspoelen - het verdwijnen - van ingesloten zand onder invloed van verhangen die optreden t.g.v. stroom- en golfbelasting.

Omdat het gedrag van de pijlers onder invloed van dit mechanisme ondermeer van belang is voor de tolerantiebeschouwingen, diende een nadere studie

postbus 5002
4328 ZV burgh-haamstede
havenplateau burghsluis
telefoon (01115) 50 00
telex 55456

verzoeken bij uw antwoord kenmerk en
datum dezes te vermelden en slechts
één zaak in een brief te behandelen.

plaats te vinden.

Deze studie is verricht door de werkgroep AZA. Het eindrapport van deze studie gaat ter beoordeling hierbij. Het rapport is voorgelegd aan vertegenwoordigers van de projectbureau's 3,4 en 5 en Dosbouw die zich met de inhoud ervan kunnen verenigen.

Voorgesteld wordt de nota vast te stellen en de aanbevelingen door de PGS te doen ondersteunen.

In aansluiting op de conclusies een aanbeveling in hoofdstuk 7 wijzen de projectbureau's 3 en 4 er nadrukkelijk op dat operationele metingen van zandtransporten thans nog niet zover zijn dat hieruit (prototype) randvoorwaarden voor de uitvoeringshandelingen zijn te destilleren. Voorgesteld wordt de zandtransportmetingen (suspensie en bodemtransporten) met de hoogst mogelijke prioriteit te doen uitvoeren en deze metingen (voor zover niet reeds voorzien) in te doen passen in het proevenprogramma van de natte bedrijven.

Voorzitter Projectbureau III



(ir. T.J. Boon)

INHOUD

1. Inleiding
2. Probleemstelling
3. Denkmodel
 - 3.1. De enkele pijler
 - 3.2. Twee pijlers naast elkaar
4. De initiële zandlagen
 - 4.1. Bepaling van $\Delta\phi_x$ -rel eind
 - 4.2. De bijbehorende zandlaagdikte
5. Verdwijnmodel
 - 5.1. Algemeen
 - 5.2. Zandlaagjes die van belang zijn
 - 5.3. Uitspoelmechanisme van laag A
 - 5.4. Variant I : uitspoelen door kanaaltjes
 - 5.5. Variant II: uitspoelen door slijtage van het doek
 - 5.6. Hoekverdraaiing $\Delta\phi_x$ -tijd van 1 pijler
 - 5.7. Hoekverdraaiing $\Delta\phi_x$ -rel.tijd van 2 pijlers
 - 5.8. Hoekverdraaiing $\Delta\phi_x$ -rel.tijd in algemene gevallen
6. Resulterende hoekverdraaiingen
 - 6.1. Bepaling $\Delta\phi_x$ -rel max
 - 6.2. Resultaat situatie 1 a.
 - 6.3. Overige situaties
 - 6.4. Konklusies
7. Samenvatting, konklusies en aanbevelingen

symbolenlijst

Overzicht appendices

- A. Verschil in schiefstand tussen twee pijlers t.g.v. zand
- B. Grondmechanisme deformaties
- C. Schattingen van de hoekverdraaiing bij variant IIa
- D. Schattingen van de hoekverdraaiing bij variant IIb
- E. Bepaling $\Delta\phi_x$ - rel max

1. Inleiding

In de nota Aanzandingsverwachting, 340AZA-N-81055 is door de werkgroep AZA de te verwachten hoeveelheid aanzanding afgeschat tussen de verschillende componenten van het funderingsbed.

Die nota beperkt zich tot de voorspelling van de zandlagen voor één enkele pijler en de vertaling van deze zandlagen naar een gemiddelde laagdikte en een scheefstand (ϕ_x, ϕ_y) van die pijler.

Op zich is echter de scheefstand van één specifieke pijler niet zo belangrijk.

Indien alle pijlers dezelfde scheefstand bezitten en gedurende de gehele levensduur blijven bezitten is die scheefstand veel minder ernstig dan wanneer twee naast elkaar gelegen pijlers totaal verschillende scheefstanden bezitten die bovendien door uitspoelen in de loop van de tijd op verschillende manieren veranderen.

De kans op klemlopen van schuiven etc. is dan niet ondenkbeeldig.

2. Probleemstelling

De nota Aanzandingsverwachting geeft de scheefstanden en laagdikten t.g.v. zandlagen voor een enkele pijler.

Voordat hieruit kansen kunnen worden afgeschat voor het klemlopen van schuiven etc. moeten de volgende vragen beantwoord worden:

- a) wat is de relatieve scheefstand t.g.v. zand van 2 naastgelegen pijlers ten opzichte van elkaar onmiddellijk na de bouw;
- b) hoe verandert deze relatieve scheefstand in de loop van de tijd t.g.v. uitspoelen van zand.

Vraag a is voor het uitspoelmodel minder belangrijk. De scheefstand onmiddellijk na de bouw kan worden ingemeten voordat de schuif wordt afgebouwd, zodat bij de konstruktie rekening kan worden gehouden met deze scheefstand.

Dit geldt echter niet voor vraag b.

Deformaties t.g.v. uitspoelen van zand kunnen tot gevolg hebben dat een schuif die aanvankelijk goed funktioneerde in de loop van de tijd problemen gaat geven.

Het accent van de nota ligt daarom op vraag b.

Op vraag a wordt slechts ingegaan voorzover het resultaat daarvan noodzakelijk is voor de beantwoording van vraag b.

Verder wordt de gehele nota toegespitst op de scheefstand in dwarsrichting (ϕ_x).

De overige vrijheidsgraden van de pijler behoudens die in z-richting worden niet beschouwd.

Een nadrukkelijke beperking is dat uitsluitend wordt gekeken naar zand.

Om de werkelijke scheefstand te bepalen moet het resultaat nog worden gekombineerd met andere invloeden, zoals plaatsingsscheefstanden en grondmechanisme deformaties.

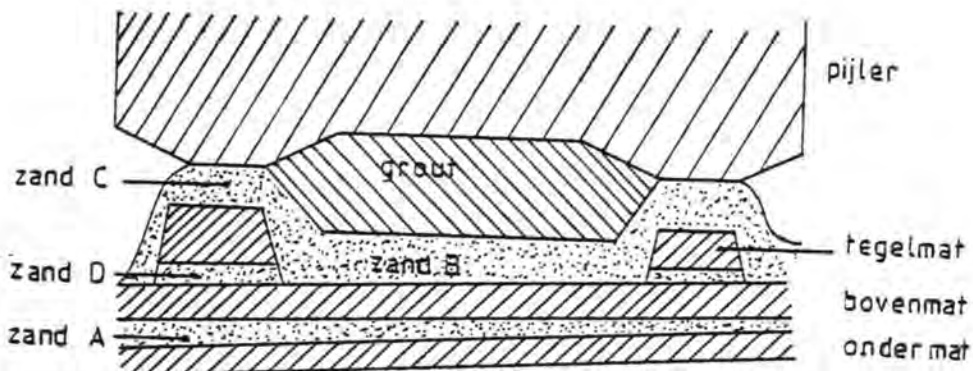
Uitgangspunt voor deze nota is het resultaat van de nota Aanzandingsverwachting 340AZA-N-81055 voor een enkele pijler.

Indien dat resultaat door toetsing in de proefperioden CARJAN en MacOS-Dos veranderingen ondergaat dient het resultaat van deze nota overeenkomstig die veranderingen te worden aangepast.

3. Denkmodel

3.1. De enkele pijler

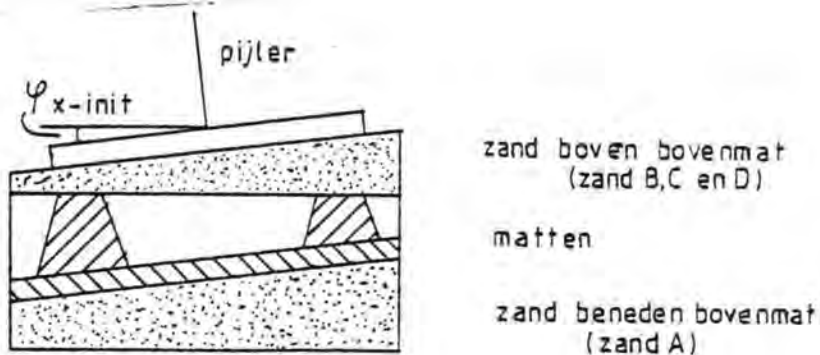
Tijdens de bouw van het funderingsbed kan tussen de matten onderling en tussen de matten en de pijler aanzanding optreden:



Er wordt vanuit gegaan dat alle fouten, zandlagen enz. beneden het niveau van de bovenmat worden geëlimineerd door de tegelmatten.

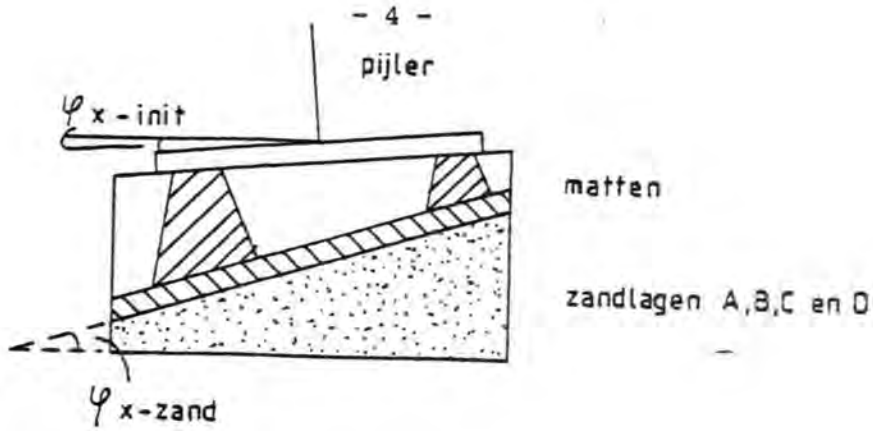
De initiële scheefstand van de pijler t.g.v. zand bestaat dus uit de zandlagen B, C en D.

Schematisch:

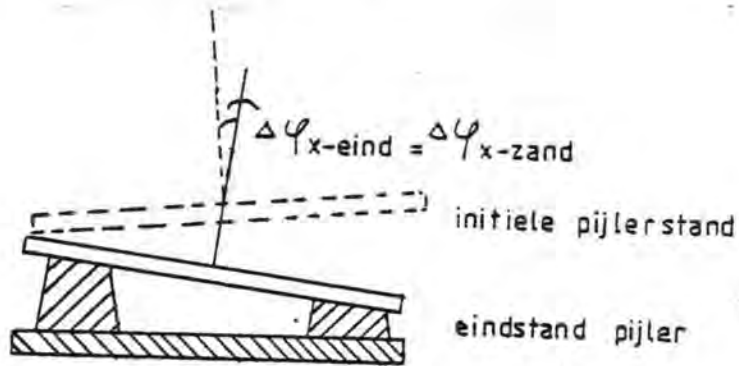


Indien alle zandlagen uitspoelen speelt het onderscheid tussen zand dat boven of onder de bovenmat zit geen rol.

Daarom moeten in dit geval alle zandlagen samen genomen worden:

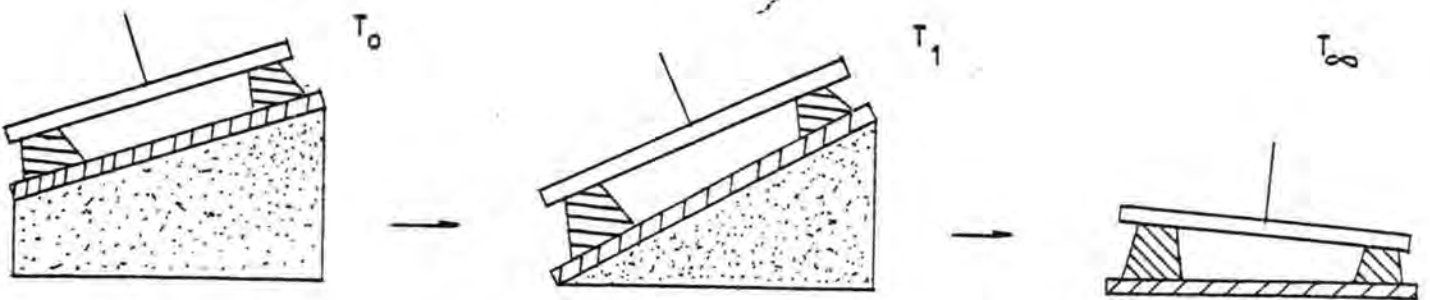


Indien al het zand uitspoelt ondergaat de pijler een hoekverdraaiing $\Delta\phi_x$ eind die gelijk is aan $\phi_{x\text{-zand}}$:

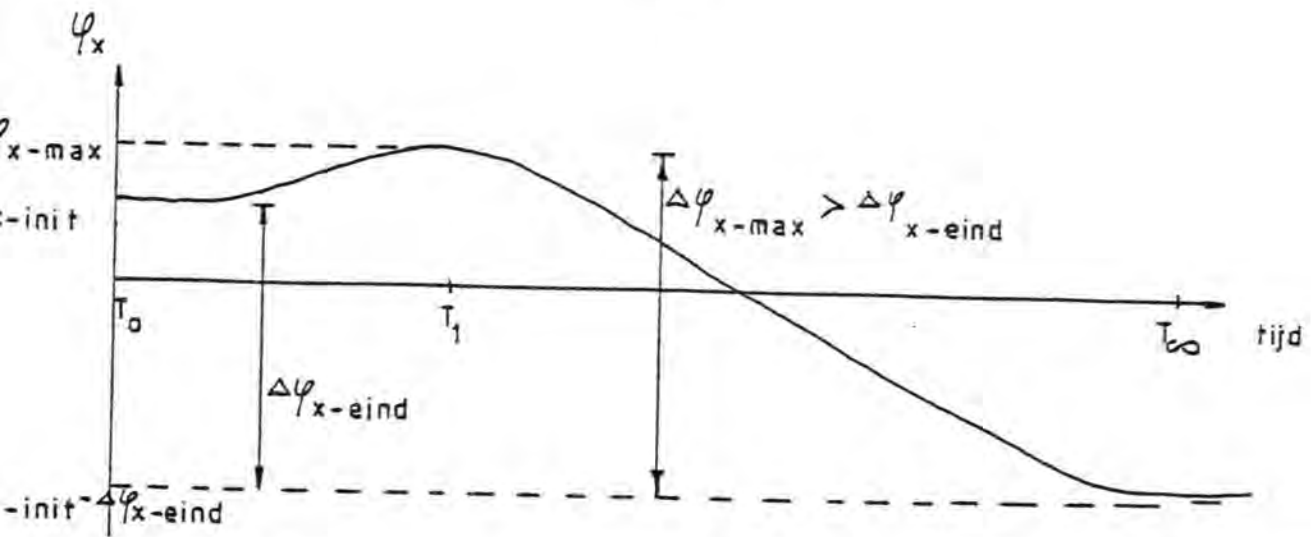


Uitspoelen van zandlagen kan op vele manieren plaatsvinden. Bij gedeeltelijk uitspoelen zal de hoekverdraaiing $\Delta\phi_x$ in het algemeen kleiner zijn dan in de eindsituatie waarin alles is uitgespoeld. In enkele extreme situaties is dit echter niet zo. De hoekverdraaiing "onderweg" is dan groter dan in de eindsituatie:

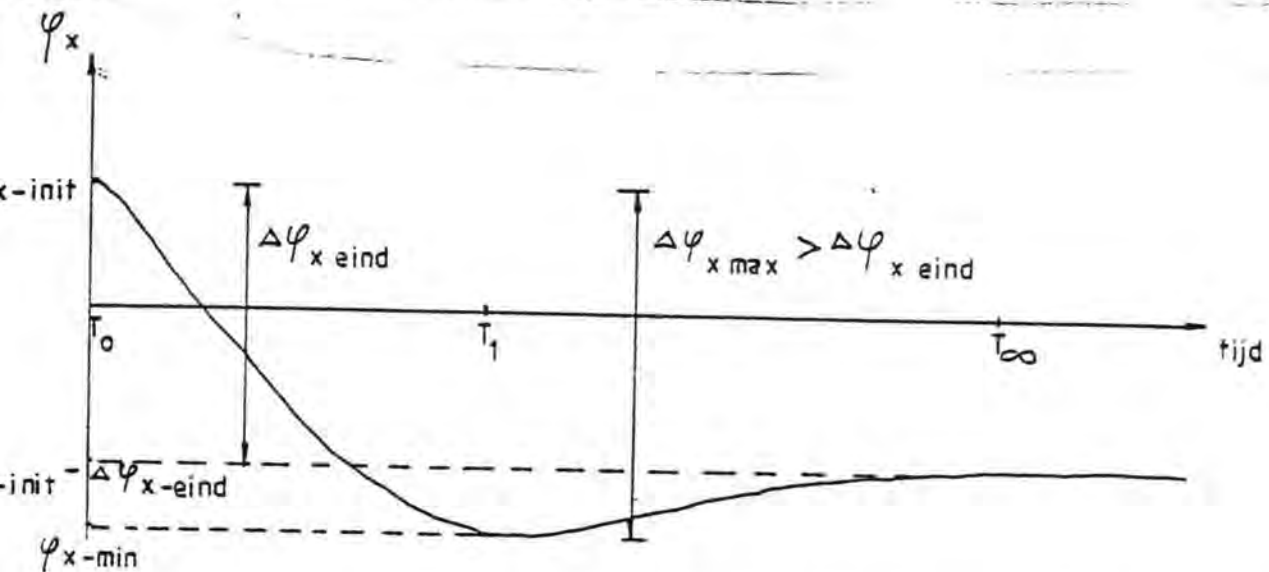
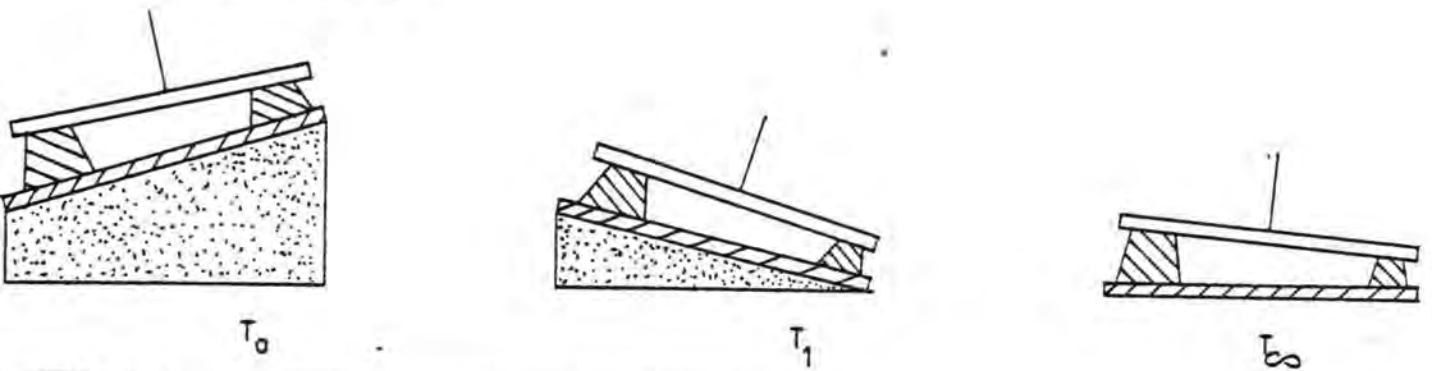
extreem 1



Het verloop van ϕ_x in de tijd heeft hierbij het volgende beeld:



extremum 2



Indien tevoren niet eenduidig kan worden vastgesteld op welke wijze en in welke mate uitspoelen optreedt moet rekening gehouden worden met een ϕ_x die in de loop van de levensduur van de kering varieert tussen $\phi_{x-\max}$ en $\phi_{x-\min}$. Het bereiken van $\phi_{x-\max}$ (met een zekere kans) sluit het bereiken van $\phi_{x-\min}$ uit en omgekeerd.

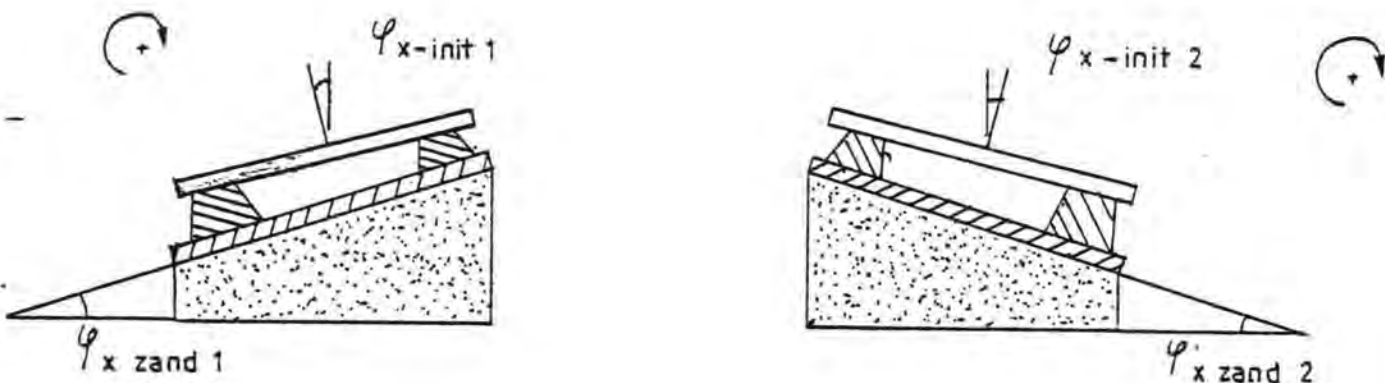
De grootst mogelijke hoekverdraaiing van de pijler bedraagt $\Delta\phi_{x-\max}$ (met een zekere kans van optreden).

3.2. Twee pijlers naast elkaar

De problematiek spitst zich toe op de verschillen in scheefstand tussen twee naast elkaar gelegen pijlers (index 1 en 2).

Elk van deze pijlers gedraagt zich apart als de bovengeschetste enkele pijler.

Aangezien beide pijlers naast elkaar staan is er wel enige korrelatie te verwachten in de aanzandingspatronen van beide pijlers, zodat de kans op grote relatieve initiële scheefstanden betrekkelijk klein zal zijn.



$$\phi_{x\text{-rel init}} = \phi_{x \text{ init } 1} - \phi_{x \text{ init } 2}$$

$$\phi_{x\text{-rel zand}} = \phi_{x \text{ zand } 1} - \phi_{x \text{ zand } 2}$$

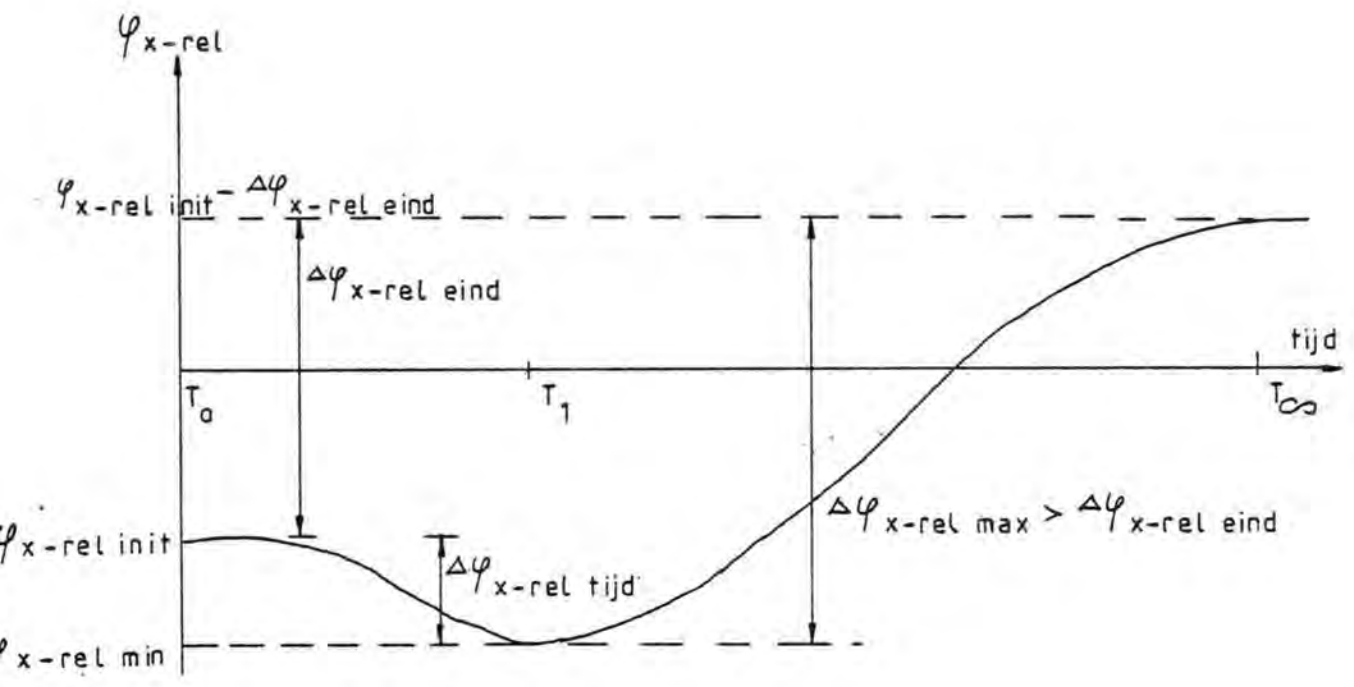
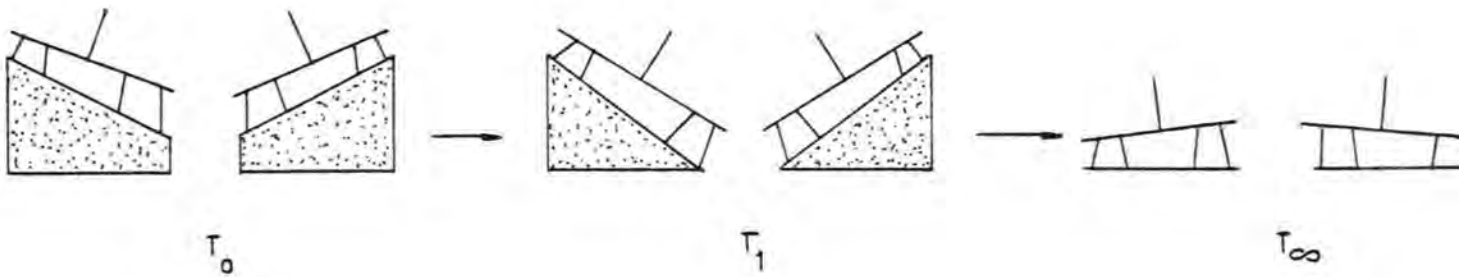
Indien al het zand uitspoelt geldt:

$$\Delta\phi_{x\text{-rel eind}} = \phi_{x\text{-rel zand}} = \phi_{x \text{ zand } 1} - \phi_{x \text{ zand } 2}$$

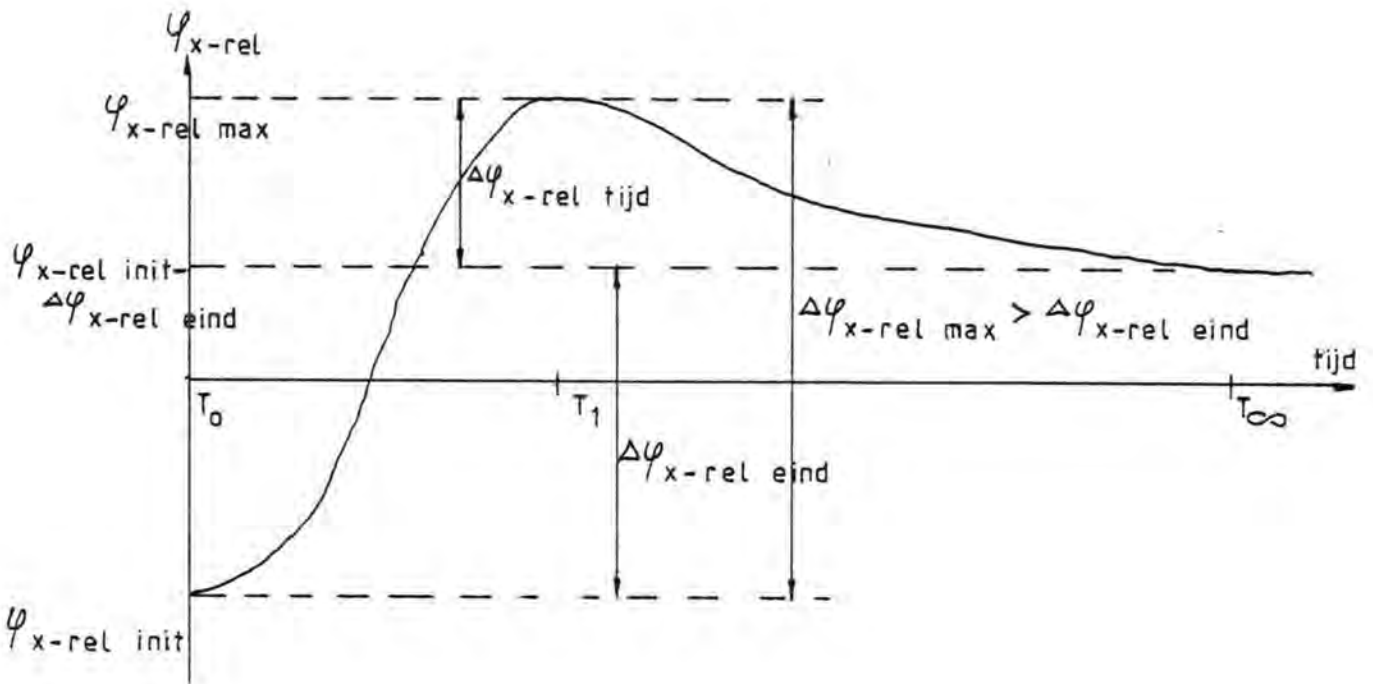
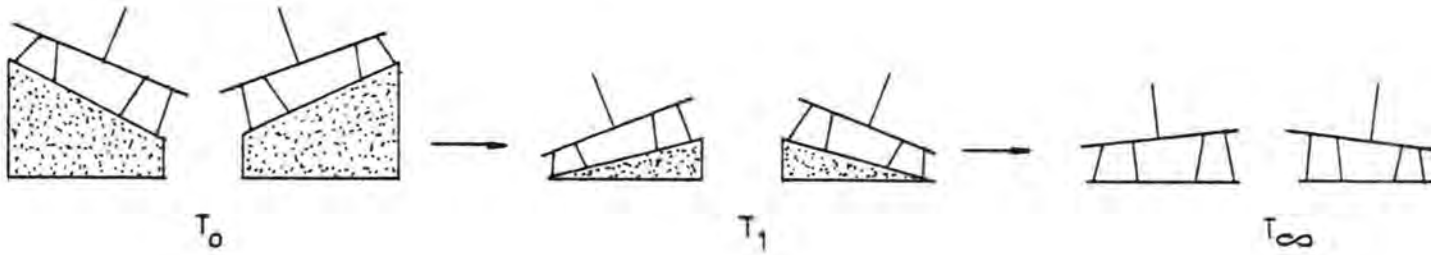
(analoog aan de enkele pijler)

Ook hier zijn extreme situaties aan te wijzen, waarbij de hoekverdraaiing "onderweg" groter is dan bovengenoemde $\Delta\phi_{x\text{-rel eind}}$

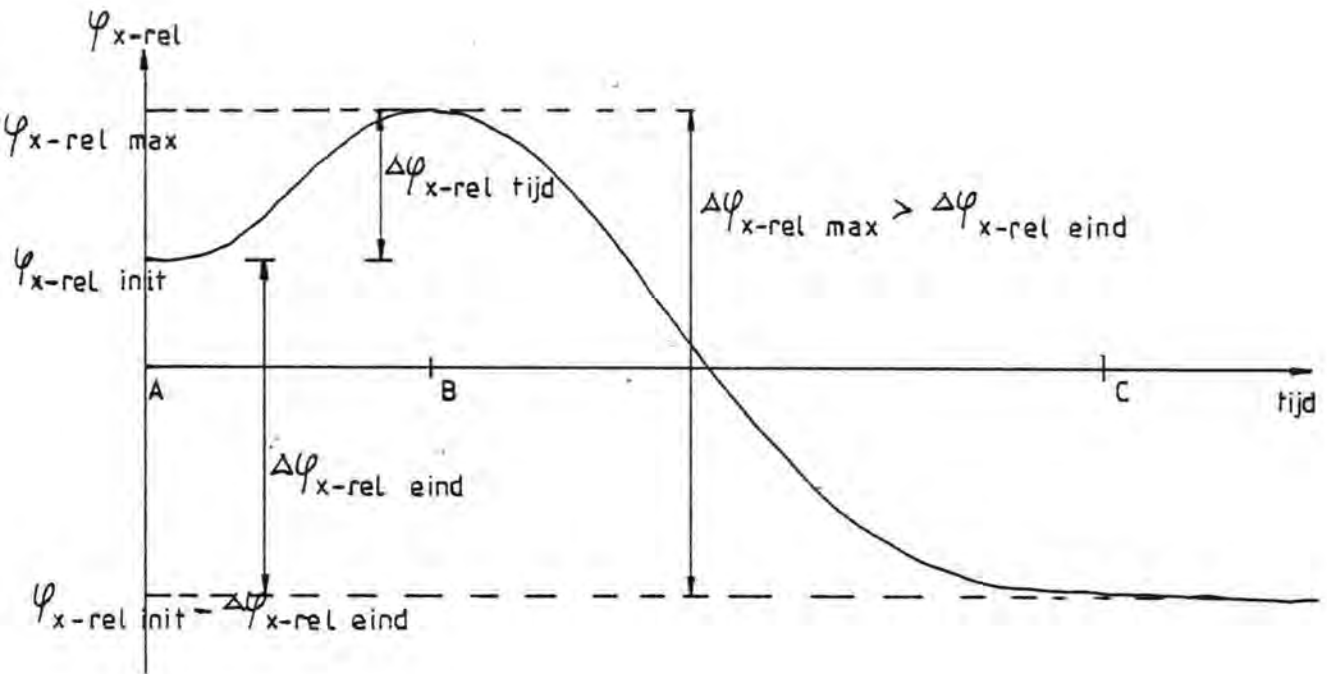
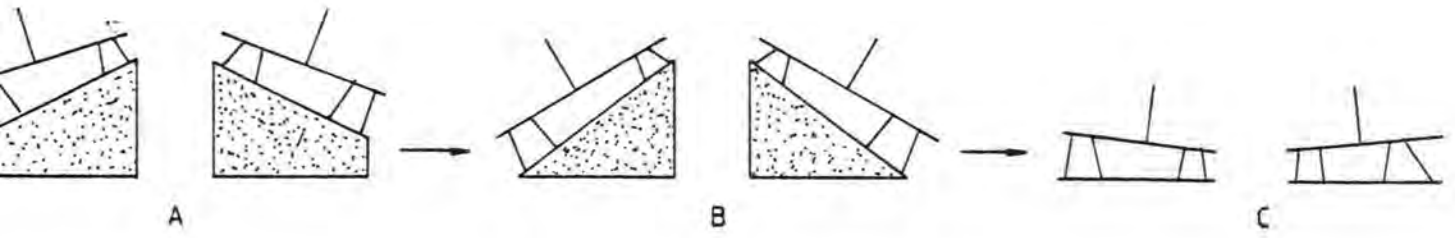
extreem 1a



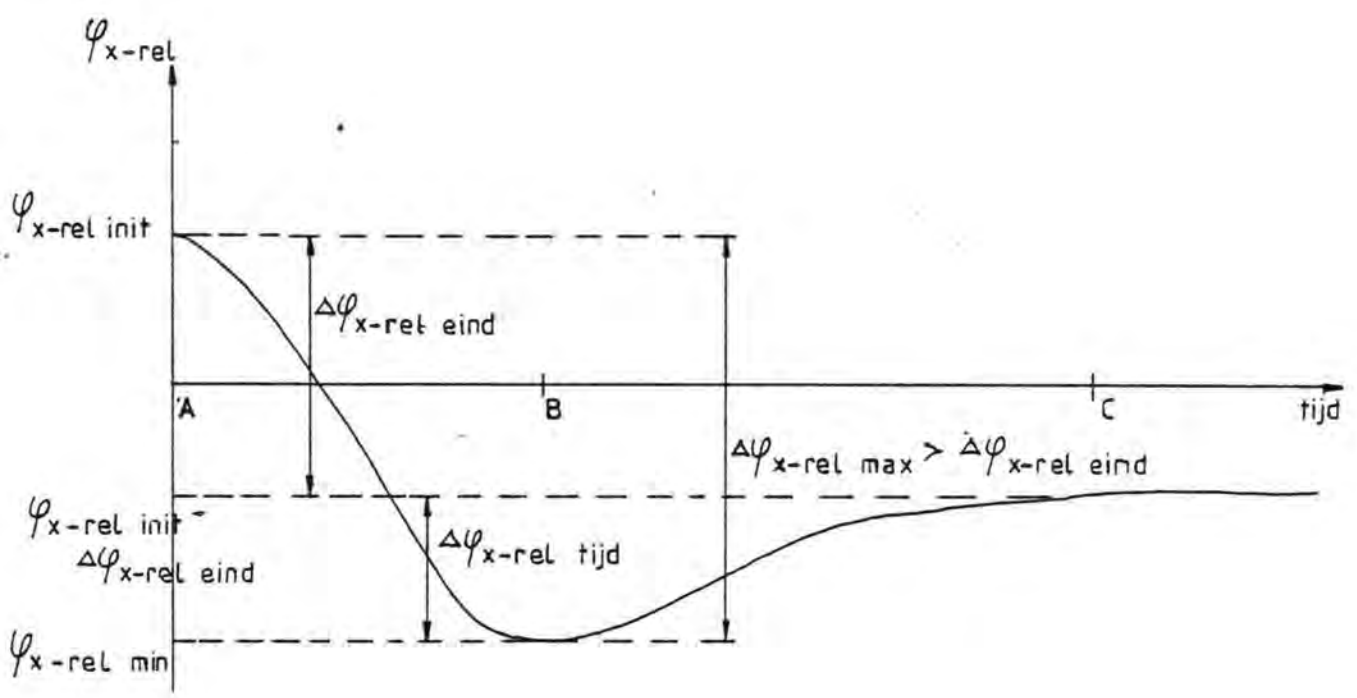
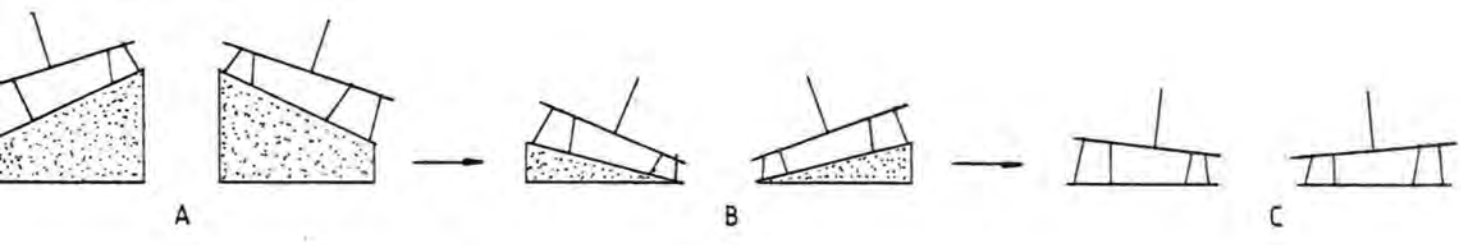
extreem 2a



extreem 1b



extreem 2b



Voor de bepaling van de kans op het ontstaan van (één van) bovengenoemde extreme situaties en de bijbehorende getalswaarden voor de hoekverdraaiing zijn de volgende stappen nodig:

a) bepaling van $\Delta\phi_{x\text{-rel}} \text{ eind}$

De uiteindelijke hoekverdraaiing in de eindsituatie ten opzichte van de initiële pijlerstand wordt bepaald door de aanwezige initiële zandlaag $\phi_{x\text{-rel}} \text{ zand}$ (uiteindelijk volledig uitspoelen). Eventuele zandinsluiting door het grout op de tegelmatten wordt derhalve verwaarloosd. De kansverdeling van $\Delta\phi_{x\text{-rel}} \text{ eind}$ is derhalve gelijk aan de kansverdeling van $\phi_{x\text{-rel}} \text{ zand}$.

Deze laatste wordt bepaald met als uitgangspunten de resultaten van de nota Aanzandingsverwachting en de aanwezige spreiding in de randvoorwaarden.

In eerste instantie wordt volstaan met het bepalen van de kansverdeling van $\phi_{x\text{-rel}} \text{ zand}$ (en dus van $\Delta\phi_{x\text{-rel}} \text{ eind}$) voor het meest ongunstige poortje.

Deze stap vindt plaats in par. 4.1.

b) Bepaling van de bij $\phi_{x\text{-rel}} \text{ zand}$ behorende (initiële) zandlaagdikte onder beide naast elkaar gelegen pijlers. Kennis van de zandlaagdikte is nodig als randvoorwaarde voor de bepaling van $\Delta\phi_{x\text{-rel}} \text{ tijd}$.

Deze stap vindt plaats in par. 4.2.

c) Bepaling van $\Delta\phi_{x\text{-rel}} \text{ tijd}$.

Deze grootheid wordt gedefinieerd als de hoekverdraaiing die gedurende de levensduur extra kan optreden ten opzichte van $\Delta\phi_{x\text{-rel}} \text{ eind}$.

Deze extra hoekverdraaiing is altijd tijdelijk indien aangenomen wordt dat uiteindelijk toch al het zand verdwijnt.

Voor de bepaling van $\Delta\phi_{x\text{-rel}} \text{ tijd}$ is inzicht in de wijze waarop zand - lenzen kunnen verdwijnen noodzakelijk.

Het opzetten van een verdwijningsmodel en daaraan gekoppeld de bepaling van de verdeling van $\Delta\phi_{x\text{-rel}} \text{ tijd}$ vindt plaats in hoofdstuk 5.

d) Bepaling van $\Delta\phi_{x\text{-rel}} \text{ max}$.

Deze grootheid wordt gedefinieerd als de maximale hoekverdraaiing die de pijler tijdens de levensduur ondergaat, d.w.z. de grootste top-dal waarde in bovenstaande figuren.

Bij de extremen 1a en 1b wordt de grootste top-dal waarde bepaald door

het verschil in scheefstand "onderweg" t.o.v. de eindsituatie.

Bij de extremen 2a en 2 b is het verschil in scheefstand "onderweg" t.o.v. de initiële scheefstand maatgevend.

$\Delta\phi_{x\text{-rel max}}$ kan berekend worden uit

$\Delta\phi_{x\text{-rel tijd}}$ en $\Delta\phi_{x\text{-rel eind}}$; Omdat zowel $\Delta\phi_{x\text{-rel tijd}}$ als $\Delta\phi_{x\text{-rel eind}}$

stochasten zijn is $\Delta\phi_{x\text{-rel max}}$ niet eenvoudigweg door rekenkundig optellen te bepalen, maar moet een gekombineerde kansverdeling worden opgesteld.

Dit vindt plaats in par.6.1.

e) Bepaling van de grootte en de kans van optreden (toegespitst op $\mu \pm 2\sigma$) van extreme hoekverdraaiingen.

Dit komt neer op het getalsmatig invullen van de hierboven gemaakte schetsjes en het interpreteren daarvan. Dit vindt plaats in par.6.2. - 6.4.

Het geheel wordt uitgevoerd voor de meest ongunstige combinaties van twee naast elkaar gelegen pijlers.

4. De initiële zandlagen

4.1. Bepaling van $\Delta\phi_{x\text{-rel eind}}$

De kans van $\Delta\phi_{x\text{-rel eind}}$ is gelijk aan de kansverdeling van $\phi_{x\text{-rel zand}}$. In appendix A is een berekening uitgevoerd ter bepaling van $\phi_{x\text{-rel zand}}$ voor de meest ongunstige combinatie van 2 pijlers.

Deze situatie blijkt zich voor te doen bij gemiddeld rechte aanstroming, zoals bijvoorbeeld in het noorden van de Schaar.

In de berekening zijn de variaties van 3 parameters bekeken:

- stroomsnelheid (faktor f_v)
- aanstroomhoek (faktor f_α)
- zandlaagdikte naast mat (faktor f_d)

Voor het relatieve produkt van deze invloedsfactoren, te weten

$$(f_{v1} \cdot f_{\alpha1} \cdot f_{d1} - f_{v2} \cdot f_{\alpha2} \cdot f_{d2})$$

is een kansverdeling bepaald.

Deze kansverdeling is gekombineerd met de aanzandingsverdeling B zoals die voor de enkele pijler is bepaald in de nota Aanzandingsverwachting.

$$\phi_{x\text{-rel zand}} = \frac{(f_{v1} \cdot f_{a1} \cdot f_{d1} - f_{v2} \cdot f_{a2} \cdot f_{d2}) \times B}{\dots}$$

De kansverdeling van $\phi_{x\text{-rel zand}}$ volgt dus uit statistische vermenigvuldiging van beide genoemde verdelingen.

Uiteindelijk wordt voor $\phi_{x\text{-rel zand}}$ gevonden (zie appendix A):

$$\mu = 0,7 \text{ mm/m}$$

$$\sigma = 0,8 \text{ mm/m}$$

overschr.

$$\text{kans } 2,3\% = 3,0 \text{ mm/m}$$

N.B.: de overschrijdingskans 2,3 % is ongelijk aan $\mu + 2\sigma$; er is dus geen normale verdeling.

Deze verdeling is tevens de verdeling van $\Delta\phi_{x\text{-rel eind}}$.

4.2. De bijbehorende zandlaagdikte

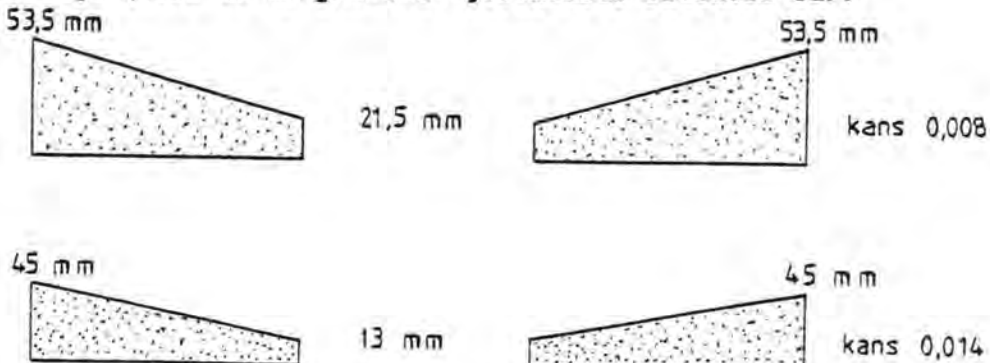
In appendix A is tevens de zandlaagdikte bepaald die behoort bij die $\phi_{x\text{-rel zand}}$ die een overschrijdingskans heeft van 2,3 % ($\phi_{x\text{-rel zand}} = 3 \text{ mm/m}$)

Hiertoe zijn een aantal mogelijke combinaties beschouwd van de invloedsfactoren

$$(f_{v1} \cdot f_{a1} \cdot f_{d1} - f_{v2} \cdot f_{a2} \cdot f_{d2})$$

en de zandlaag voor de enkele pijler B.

Hieruit volgt (voor de in par.3.2. geschetste situatie 1a):



Bij de overige extreme situaties (1b, 2a en 2b) (overschrijdingskans 0,014 + 0,008 = 0,022)

komen analoge zandlagen voor met dezelfde kans van optreden als in geval 1a.

5. Verdwijnmodel

5.1. Algemeen

Van de in par.3.2. geschetste extreme situaties (1a,1b,2a en 2b) wordt slechts 1 situatie doorgerekend(geval 1a).

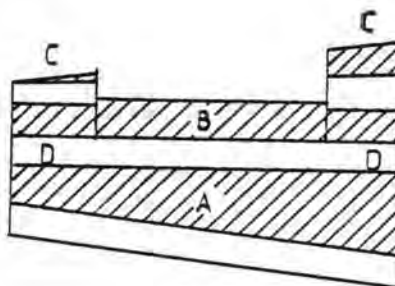
De overige situaties zijn afgezien van de richting van de hoekverdraaiingen gelijk aan dit ene geval en zullen achteraf in beschouwing worden genomen(hoofdstuk 6).

Gezien de complexe materie en de grote onzekerheden die aan het uitspoelen van zandlagen kleven is het nodig eerst een gedachtengang op te bouwen voor de wijze waarop uitspoelen van zand zou kunnen plaatsvinden en met welke waarschijnlijkheid.

Hiertoe worden verschillende mogelijkheden bekeken(variant I,IIa en IIb) die uiteindelijk samen een kansverdeling opleveren voor de extra hoekverdraaiing $\Delta\phi_{x\text{-rel tijd}}$ t.g.v. uitspoelen.

Kombinatie van de verdelingen van $\Delta\phi_{x\text{-rel tijd}}$ en $\Delta\phi_{x\text{ rel eind}}$ vindt plaats in het volgende hoofdstuk

5.2. Zandlaagjes die van belang zijn



Onderscheiden wordt in 4 zandlagen:

- A. Tussen ondermat en bovenmat
- B. Tussen bovenmat en grout
- C. Tussen tegelmat en pijler
- D. Tussen bovenmat en tegelmat.

Voor de uiteindelijk te verwachten hoekverdraaiing $\Delta\phi_{x\text{-rel eind}}$ is alleen de som van deze lagen van belang (par.4.1.).

Voor de bepaling van de extra hoekverdraaiing "onderweg" $\Delta\phi_{x\text{-rel tijd}}$ wordt alleen gerekend met de lagen A en B.

De lagen C en D worden verwaarloosd om de volgende redenen:

- bij scheve aanstroming is laag C geconcentreerd op 1 tegelmat.
Aan de andere zijde zal nauwelijks zand aanwezig zijn omdat die tegelmat in de wervelstraat ligt.
Voor de bepaling van de extra scheefstand is juist de laagdikte aan die zijde van belang.
- laag D is ongekorreleerd met de overige zandlagen omdat laag D veroorzaakt wordt door natuurlijke aanzanding en de overige zandlagen hoofdzakelijk door aanzanding achter obstakels. Bovendien is de dikte van laag D naar verwachting gering.
- Door de lagen C en D te verwaarlozen kan het verdwijnmodel relatief eenvoudig gehouden worden.

5.3. Uitspoelmechanisme van laag A

Maatgevend voor uitspoelen van zandlaagjes is stationair verhang bij gesloten schuiven. Als de pijlerlengte van 50 m als uitgangspunt wordt genomen met een verval van 6 m is het verhang $6/50 = 12\%$.

Lokaal rond de dorpelbalk zijn de verhangen hoger.

In de nota "onderloopsheid van matten" (deel I) worden proeven besproken met zand ingeklemd onder een mat waarvan de onderste laag zand is.

De proeven zijn gedaan voor stationaire verhangen. De resultaten van de proeven zijn:

- a. Bij een beschikbare spleet van meer dan 5 m lengte treedt uitspoelen op bij 4% verhang of meer
- b. Bij spleten van 0,5 - 5 m treedt uitspoelen op bij verhangen van 4 - 7 % (par.3.1.1. - 3.3.7.)
- c. Als er geen spleten van enige omvang aanwezig zijn maar wel micro-spleetjes treedt er bij 20% verhang nauwelijks transport op (bovenbelasting $> 50 \text{ kN/m}^2$, par.3.3.7.)

Voor het probleem van het verdwijnmodel gaat het om een laagje zand ingeklemd tussen matten met grind (niet zand zoals in bovenstaande proeven).

Met grind zijn alleen proeven gedaan met cyclische verhangen.

T.o.v. zand bleek daaruit een snelle erosie (nog niet verslagen WL-onderzoek M1701/M1754) die al optrad bij verhangen van 2 à 3%.

Op grond van bovenstaande wordt geconcludeerd dat A uitspoelt bij aanwezigheid van spleten van enige omvang en niet uitspoelt bij microspleten.

Naast stationaire verhangen zouden ook cyclische verhangen t.g.v. golf-doordringing een rol kunnen spelen.

In de eindfase treden verhangen van 2 à 3% aan de Noordzeezijde vele honderden uren op tijdens de levensduur van de constructie

(Nota "onderloopsheid van matten", deel I, blz.14).

Aan de Oosterscheldezijde is dit minder en mogelijk verwaarloosbaar.

Aan de Noordzeezijde zijn deze verhangen maatgevend als verhangen aan de bodem buiten hoogwater (bij hoogwater is het stationaire verhang maatgevend). Voorwaarde voor het maatgevend zijn van dit verhang voor uitspoelen is echter dat de drempel slechts in beperkte mate is ingezand zodat het verhang kan doordringen tot de bovenmat.

Het is niet waarschijnlijk dat beperkte inzanding optreedt.

In de bouwfase is er geen reflectie tegen de schuiven zodat er minder zware golven optreden zodat grote verhangen niet optreden.

Het is daarom niet waarschijnlijk dat cyclische verhangen door golfdoordringing een rol spelen.

Een ander vorm van cyclisch verhang wordt veroorzaakt doordat bij golfbelastingde pijler beweegt en grote waterspanningen veroorzaakt onder de voetplaat.

Deze waterspanningen veroorzaken cyclisch verhang.

Een studie daarnaar is gedaan door het LGM in "SPONS-RUN 6,7 en 9".

Daar worden vooral grote cyclische verhangen gevonden onder de randen van de voetplaat aan de Noordzeezijde en aan de Oosterscheldezijde.

Afhankelijk van de constructie van de filtermat worden cyclische verhangen van enkele procenten tot meer dan 100% gevonden (fig. 50 t/m fig. 52). De gekozen constructie komt het meest overeen met de constructie waarbij meer dan 100% gevonden wordt. Deze waarde is berekend met een golf met een kans van voorkomen van $2,5 \times 10^{-4}$ /jaar, zodat de werkelijke verhangen kleiner zijn dan 100%.

Bij cyclische verhangen vormen zich bij aanwezigheid van spleten kanaaltjes die na enkele meters zichzelf afsluiten als de mat kan bijzakken (nota "Onderloopsheid van matten", deel 2, blz. 41).

Op grond hiervan kan geconcludeerd worden dat deze cyclische verhangen geen doorgaande kanaaltjes vormen.

Voor het uitspoelen vormt stationair verhang de belangrijkste faktor en het uitspoelen treedt op bij de aanwezigheid van spleten van enige omvang. Bij microspleten treedt geen uitspoeling op.

Een belangrijke spleet wordt gevormd door de rand van de bovenmat waar het zandlaagje aansluit op grof grind. Dit grove grind zal waarschijnlijk inzanden, maar daarbij blijven vermoedelijk holtes bestaan die als spleet blijven fungeren.

De vraag is of dit macro-of microspletten zijn.

Als er sprake is van macrospletten treedt er uitspoelen op.

Dit gebeurt in kleine kanaaltjes.

Aan de rand van de mat kan het uitspoelen zover voortschrijden dat een groot aaneengesloten kanaal ontstaat.

Zodra de breedte van de geul meer is dan een meter zakt de bovenmat volledig bij (Nota "Onderloopsheid van matten", deel 2, bijlage I) en wordt de geul afgesloten. Het is niet duidelijk of hiermee het verdere uitspoelproces wordt stopgezet, maar in ieder geval kan het zand niet meer tussen de matten vandaan.

Op grond van het voorgaande zullen twee situaties worden onderzocht:

I De zandlaag A spoelt volledig uit door kanaaltjes

II Alleen de rand spoelt uit door kanaaltjes. Het zand dat blijft zitten kan verdwijnen doordat het doek slijt.

Daar verdwijnt het zand tussen het grind.

5.4. Variant I, Uitspoelen door kanaaltjes

De stroomlijnen onder de voetplaat lopen zoals in nevenstaande figuur. Een concentratie van stroomlijnen treedt op onder de dorpelbalk.



De meest logische manier van uitspoelen is

daarom een uitspoelen dat begint onder de dorpelbalk aan weerszijden en voortschrijdt naar het midden.

Dan zakt de pijler aan weerszijden gelijk en treedt er geen extra scheefstand op.

Een ongunstige situatie is dat de pijler aan een kant uitspoelt en aan de andere zijde niet.

Dit kan alleen optreden als

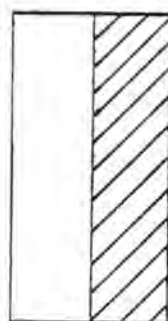
er aan de ene zijde ruim voldoende ruimte is voor zand

om te ontsnappen en aan de andere

zijde geen enkele ruimte. Dit is een zeer onwaarschijnlijke aanname.

Bovendien is het onwaarschijnlijk dat precies de ene helft uitspoelt en de andere helft niet.

Vanwege de onwaarschijnlijkheid en mogelijk zelfs onmogelijkheid van een helft uitspoelen wordt dit geval 3 σ genoemd.



Er zijn 4 redenen waardoor B niet zou kunnen uitspoelen:

- a) Als de druk op de grond plaatselijk wegvalt komt de grond iets omhoog (ordegrootte 10 mm, zie appendix B, par.3)
- b) Als de druk op de grond plaatselijk wegvalt neemt de druk elders toe. Daardoor zakt de pijler.
- c) De meeste aanzanding in laag A zou wel eens onder de billen kunnen voorkomen, als het eroderende zand rond de zuigkop direct neerslaat. Dan ontstaat er voor B weinig ruimte bij uitspoelen van A.
- d) Het doek kan door het grout vastkitten aan de pijler.

Op grond van het bovenstaande moeten twee varianten worden onderzocht:

- IIA. Zowel A als B spoelen random uit door slijtage aan het doek.
- IIB. A spoelt uit door random slijtage van het doek, waarna voor B de ruimte zo groot wordt dat laag B uitspoelt en de pijler alleen op de billen draagt.

In appendix C wordt voor variant IIA een $\sigma = 0,50$ à $0,75$ mm/m geschat en in appendix D wordt voor variant IIB een $\sigma = 0,50$ à $0,75$ mm/m geschat.

5.6. Hoekverdraaiing $\Delta\phi_{x-tijd}$ van één pijler

Bovenstaand werden de volgende getallen gevonden voor de spreiding van $\Delta\phi_{x-tijd}$

| | $\sigma\phi$ |
|-------------|-----------------|
| Variant I | 0,5 à 0,75 mm/m |
| Variant IIA | 0,5 à 0,75 mm/m |
| Variant IIB | 0,5 à 0,75 mm/m |

Op grond hiervan wordt gekozen voor $\sigma = 0,75$ mm/m.

5.7. Hoekverdraaiing $\Delta\phi$ x-rel tijd van twee pijlers

Het gaat niet om de hoekverdraaiing van één pijler maar om het verschil in hoekverdraaiing tussen twee pijlers $\Delta\phi$ x-rel tijd. De extra hoekverdraaiing van de ene pijler is ongecorrigeerd met de extra hoekverdraaiing van de andere pijler zodat de standaardafwijkingen ongecorrigeerd mogen worden opgeteld:

$$\sigma (\Delta\phi_{x\text{-rel tijd}}) = \sqrt{0,75^2 + 0,75^2} = 1.1 \text{ mm/m}$$

5.8. Hoekverdraaiing $\Delta\phi$ x-rel tijd in algemene gevallen

In het voorgaande is $\Delta\phi$ x-rel tijd berekend voor de extreme situatie zoals die is geschat in par.4.2.

Voor een algemeen geval kan globaal het volgende worden afgeleid:

- variant I

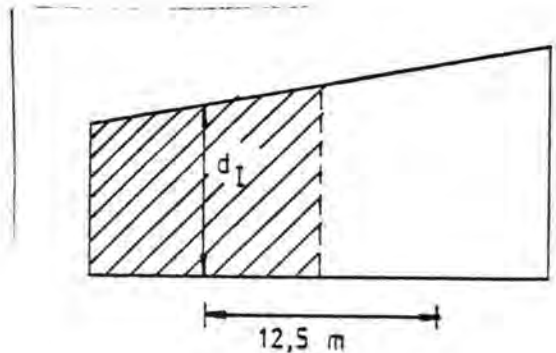
De bepalende dikte is

d_I (zie figuur)

Er geldt:

$$3\sigma = \frac{d_I}{12.5}$$

ofwel
$$\sigma = \frac{d_I}{37.5}$$



- variant IIa

De hoekverdraaiing $\Delta\phi$ x-rel tijd is niet afhankelijk van de laagdikte.

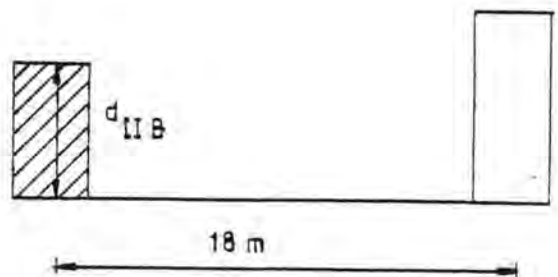
- variant IIb

De bepalende dikte is

d_{IIB} (zie figuur)

Er geldt:
$$2\sigma = \frac{d_{IIB}}{18}$$

ofwel
$$\sigma = \frac{d_{IIB}}{36}$$



De uitkomsten van variant I en IIB liggen dicht bij elkaar. Globaal kan daarom in een algemeen geval voor de spreiding van $\Delta\phi$ x-rel tijd worden aangehouden:

$$\sigma = \frac{d_I}{37.5}$$

- d_I = gem. laagdikte over die helft van het pijlervlak waar het minste zand ligt in mm.
- σ = spreiding in mm/m

6. Resulterende hoekverdraaiingen

6.1. Bepaling $\Delta\phi_{x\text{-rel max}}$

In hoofdstuk 4 is de hoekverdraaiing in de eindsituatie t.o.v. de initiële scheefstand ($\Delta\phi_{x\text{-rel eind}}$) bepaald voor de twee naast elkaar gelegen meest ongunstige pijlers.

Tevens is daar de bijbehorende zandlaagdikte bepaald.

In hoofdstuk 5 is de extra hoekverdraaiing $\Delta\phi_{x\text{-rel tijd}}$ bepaald, die veroorzaakt wordt door uitspoelen van zandlenzen.

De parameter $\Delta\phi_{x\text{-rel max}}$ die gedefinieerd was als de som van $\Delta\phi_{x\text{-rel eind}}$ en $\Delta\phi_{x\text{-rel tijd}}$ kan nu worden bepaald door statistische optelling van de parameter $\Delta\phi_{x\text{-rel eind}}$ en $\Delta\phi_{x\text{-rel tijd}}$.

Deze combinatie vindt plaats in appendix E.

Het uiteindelijke resultaat voor de ($\mu + 2\sigma$)-waarde (d.w.z. 2,3% overschrijdingskans) luidt:

$$\Delta\phi_{x\text{-rel max}} = 4 \text{ mm/m.}$$

Dit geldt voor de combinatie van de twee meest ongunstige pijlers (Roggenplaat-zuid).

6.2. Resultaat situatie 1a

De berekeningen zijn uitgevoerd voor extreem 1a uit par.3.2.

Hiervoor zijn de volgende getallen gevonden (2,3% overschrijdingskans) :

- $\Delta\phi_{x\text{-rel eind}}$: 3 mm/m
- $\Delta\phi_{x\text{-rel tijd}}$: 2,2 mm/m
- $\Delta\phi_{x\text{-rel max}}$: 4 mm/m

- Hierin is $\Delta\phi_{x\text{-rel eind}}$ de initiële scheefstand t.g.v. zand, ofwel de uiteindelijke hoekverdraaiing tussen het moment waarop alles is uitgespoeld en de initiële situatie.

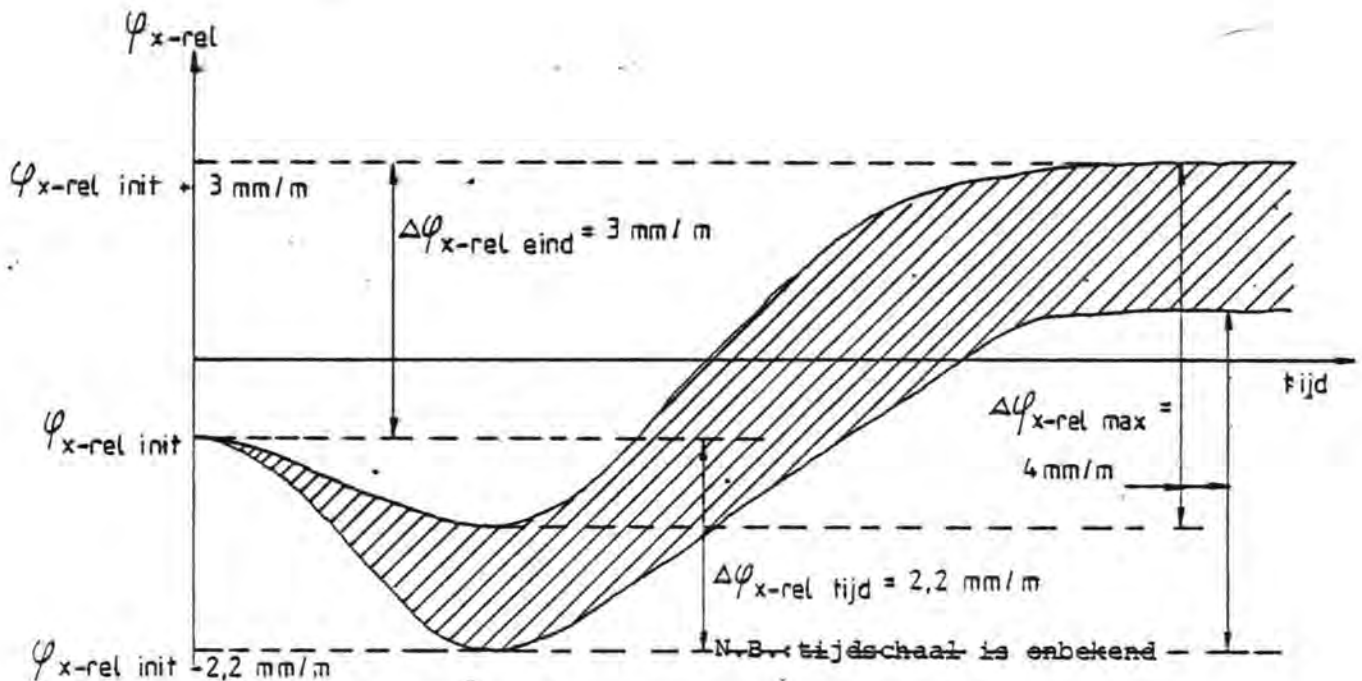
$\mu + 2\sigma$ van $\Delta\phi_{x\text{-rel tijd}}$ geeft de mogelijke hoekverdraaiing onderweg die tegengesteld is aan de uiteindelijke hoekverdraaiing en de eindsituatie.

$\mu + 2\sigma$ van $\Delta\phi_{x\text{-rel tijd}}$ bedraagt 2,2 mm/m ongeacht de eindstand van de pijler.

- De waarde van $\Delta\phi_{x\text{-rel max}}$ geeft het mogelijke verschil in scheefstand tussen de eindsituatie en de onderweg-situatie of de onderweg-situatie en de initiële situatie.

$\mu + 2\sigma$ van $\Delta\phi_{x\text{-rel max}}$ bedraagt 4 mm/m ongeacht de werkelijke optredende scheefstanden in de eindsituatie, onderweg en initieel.

In onderstaande figuur is het verloop van de scheefstand in beeld gebracht. Tussen de beide getekende lijnen is iedere lijn mogelijk met inachtneming van de voorwaarde dat het verschil $\Delta\phi_{x\text{-rel max}}$ altijd 4 mm/m moet bedragen.

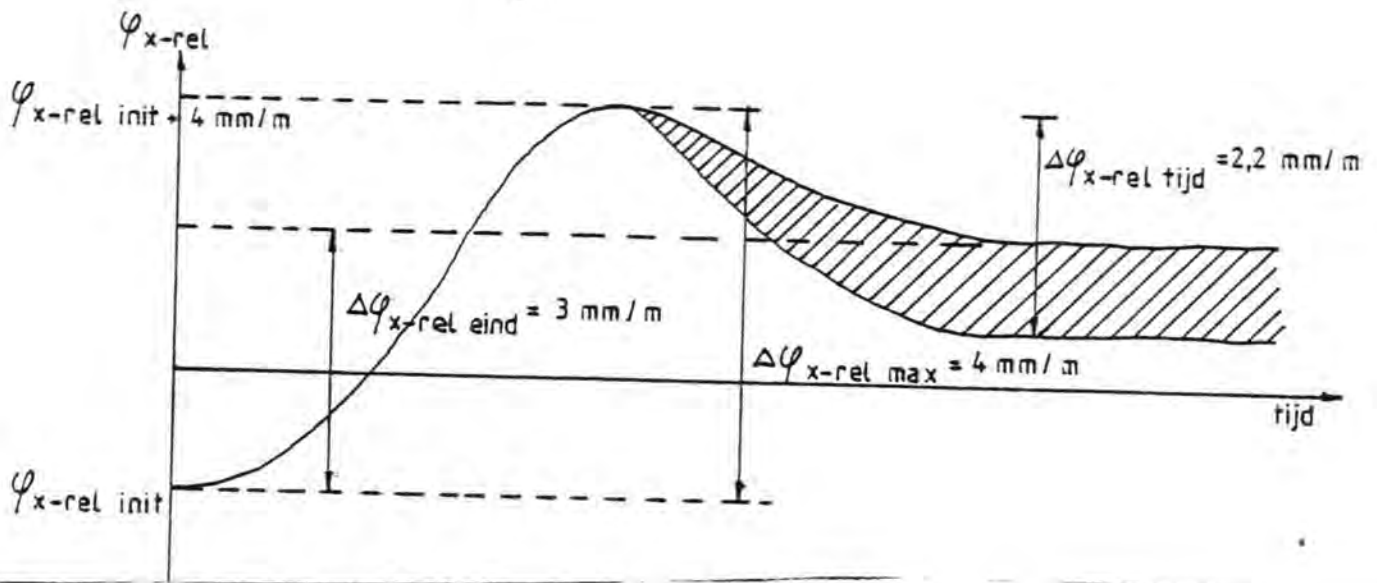


6.3. Overige situaties

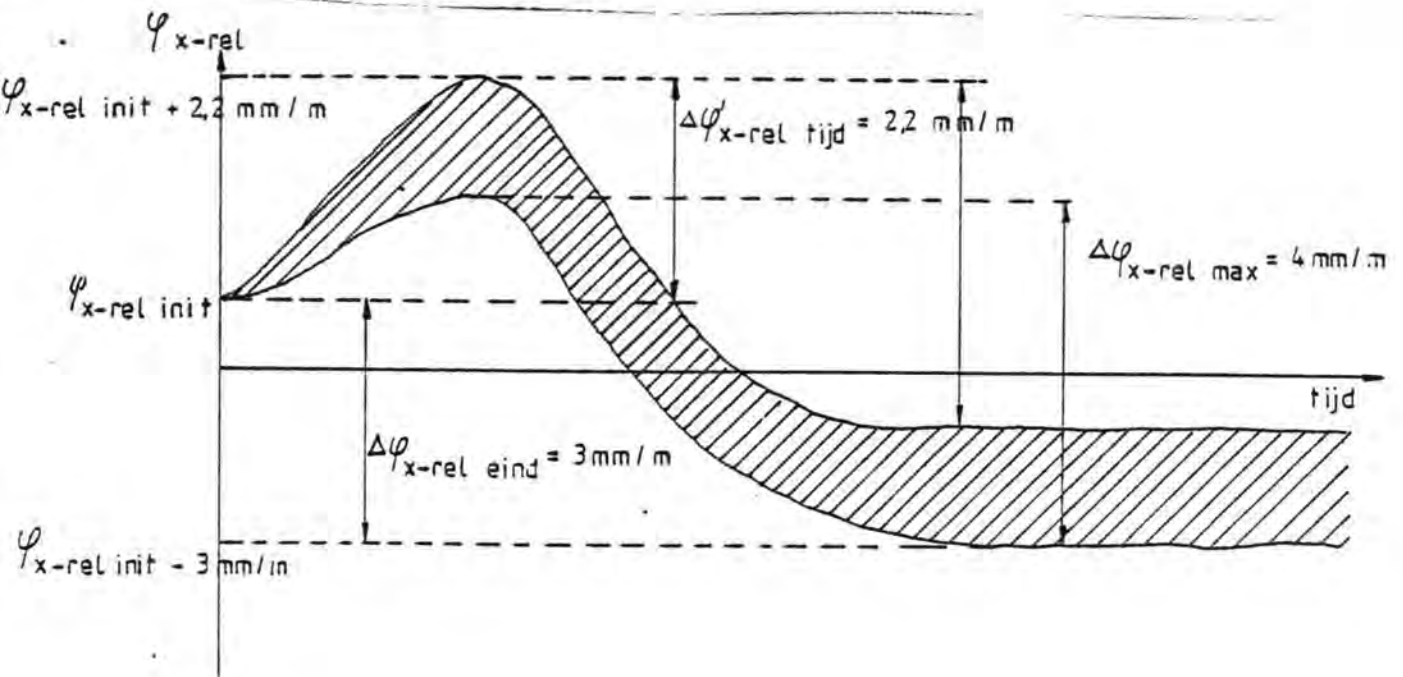
Voor de overige situaties uit par.3.2. (1b,2a en 2b) gelden dezelfde getallen voor $\Delta\phi_{x\text{-rel eind}}$, $\Delta\phi_{x\text{-rel tijd}}$ en $\Delta\phi_{x\text{-rel max}}$.

Op overeenkomstige wijze als bij situatie 1a kunnen de volgende figuren voor het verloop van de scheefstand worden geschetst:

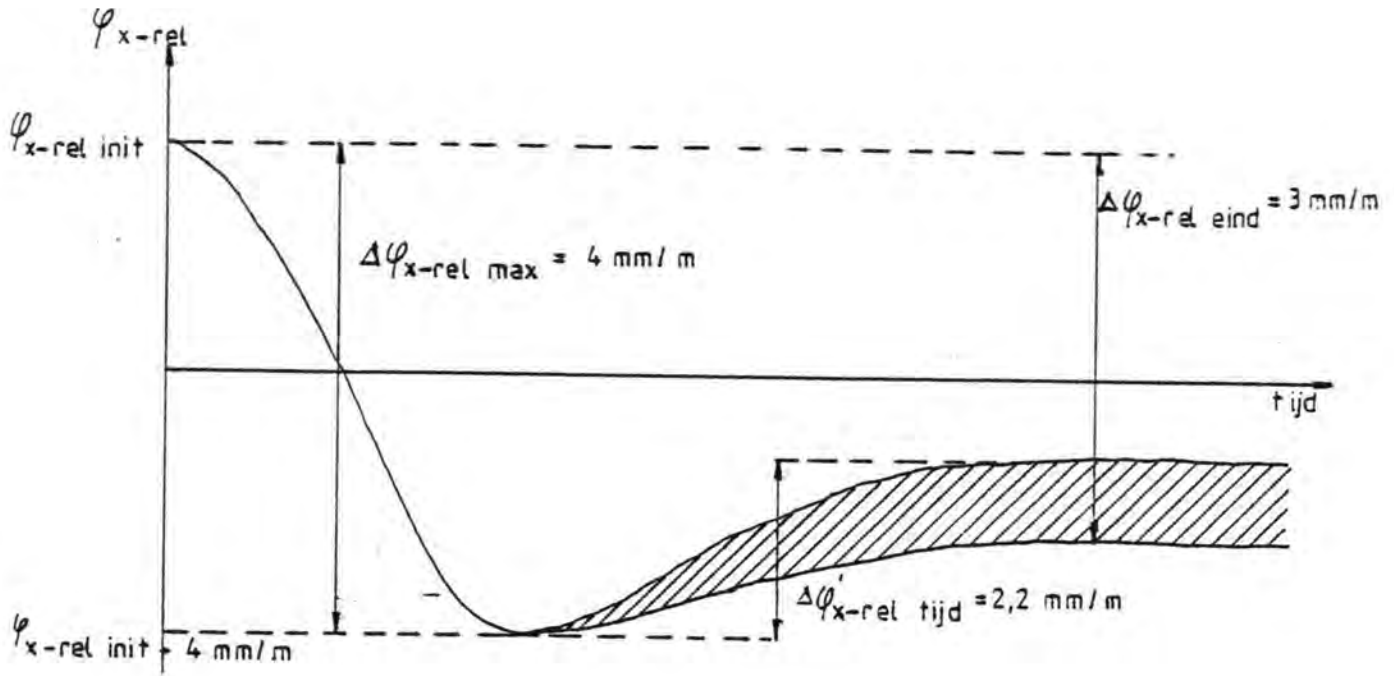
extreem 2a:



extreem 1b:



extreem 2b:



6.4. Konklusies

Uit deze extreme situaties (overschrijdingskans 2,3%) kunnen 2 konklusies getrokken worden:

- A. Indien bekend is welk teken $\phi_{x\text{-rel zand}}$ heeft (bv. door zanddiktemetingen tijdens uitvoering)

De extremen die mogelijk kunnen optreden zijn dan:

- 1a of 2a indien $\phi_{x\text{-rel zand}} < 0$.

De maximum range waarbinnen de scheefstand tijdens de levensduur kan liggen bedraagt dan ($\mu + 2\sigma$)

$$\phi_{x\text{-rel init}} - 2,2 \text{ mm/m} < \phi_{x\text{-rel}} < \phi_{x\text{-rel init}} + 4 \text{ mm/m}$$

- 1b of 2b indien $\phi_{x\text{-rel zand}} > 0$.

De maximum range ($\mu + 2\sigma$) bedraagt dan:

$$\phi_{x\text{-rel init}} - 4 \text{ mm/m} < \phi_{x\text{-rel}} < \phi_{x\text{-rel init}} + 2,2 \text{ mm/m}$$

- B. Indien niet bekend is welk teken $\phi_{x\text{-rel zand}}$ heeft:

In dit geval kunnen alle vier genoemde extremen optreden.

De maximum range waarbinnen de scheefstand tijdens de levensduur kan liggen bedraagt dan ($\mu + 2\sigma$):

$$\phi_{x\text{-rel init}} - 4 \text{ mm/m} < \phi_{x\text{-rel}} < \phi_{x\text{-rel init}} + 4 \text{ mm/m}$$

Deze bedragen gelden voor de meest ongunstige combinatie van twee naast elkaar liggende pijlers (Roggenplaat zuid).

7. Samenvatting, konklusies en aanbevelingen

Het uitspoelen van zandlagen die tussen de verschillende componenten van het funderingsbed zijn opgesloten kan aanleiding zijn tot het scheefzakken van pijlers.

Met name indien 2 naast elkaar gelegen pijlers een verschillende hoekverdraaiing ondergaan kunnen problemen ontstaan met schuifgeleidingen, etc.

In deze nota wordt een schatting gemaakt van de mogelijke hoekverdraaiingen ten gevolge van uitspoelen van zand.

Alle andere invloeden die een hoekverdraaiing tot gevolg hebben zijn buiten beschouwing gebleven.

De nota beperkt zich bovendien tot hoekverdraaiingen in het vlak van de schuiven (ϕ_x).

Uitgangspunt van de nota is de prognose die in de nota "Aanzandingsverwachting" (340AZA-N-81055) voor het ontstaan van zandlenzen onder een enkele pijler is gemaakt.

In de onderhavige nota wordt deze prognose voor een enkele pijler eerst omgezet in een prognose voor de gekombineerde kans van optreden van zandlagen onder 2 naast elkaar gelegen pijlers. Dit is gebeurd middels afschatting van de spreiding in de randvoorwaarden en de gevolgen daarvan voor de aanzandingsverdeling.

Voor de twee meest ongunstige pijlers is vervolgens nagegaan op welke wijze de aanwezige zandlagen zouden kunnen uitspoelen.

Hierbij is de aandacht vooral gericht op de wijze van uitspoelen die extreme hoekverdraaiingen tot gevolg hebben (95% - betrouwbaarheids interval).

Er zijn een tweetal basis gevallen voor het uitspoelen van zand onderscheiden:

- I. Uitspoelen door kanaaltjes.
- II. Uitspoelen door slijtage van doek.

Beide gevallen hebben tot gevolg dat in de eindsituatie alle ingesloten zandlenzen zullen verdwijnen.

In een tussensituatie, dus voordat alle zand is verdwenen bestaat echter de mogelijkheid dat grotere scheefstanden, c.q. grotere hoekverdraaiingen optreden dan in de eindsituatie.

Het uiteindelijke resultaat is tweeledig:

- A. Indien bekend is welke relatieve scheefstand de initiële zandlaag bezit wordt het 95% betrouwbaarheids interval gevormd door een range van - 2,2 mm/m tot 4 mm/m rond de initiële scheefstand van de pijler.
- B. Indien de relatieve scheefstand van de initiële zandlaag niet bekend is beslaat het 95%- betrouwbaarheids interval een range van - 4 mm/m tot + 4 mm/m rond de initiële scheefstand van de pijler.

De werkgroep stelt voor:

1. De nota goed te keuren en de resultaten als uitgangspunt te laten dienen bij de tolerantiebeschouwingen.
2. Te bezien of het uitspoelmechanisme voor de ϕ_y -vrijheidsgraad met name i.v.m. de torsie van de schuiven in gelijke mate moet worden onderzocht, dan wel dat met een grovere benadering kan worden volstaan.
3. De aandacht voor de uitspoelproblematiek in verband met de beperkte capaciteit te beperken, mede gezien de grote mate van onzekerheid in de gebruikte randvoorwaarden, waardoor verdere studie minder zinvol moet worden geacht.
4. In aansluiting op het gestelde onder 3 de aandacht en de prioriteit te richten op het verkrijgen van goede randvoorwaarden en op het adequate begeleiden van de operationele fase.
5. In de proefperioden te toetsen of de optredende kondities (stroom, zandaanbod, fysische verschijnselen) overeenkomen met de gebruikte waarden voor deze nota en de nota aanzandingsverwachting. Indien uit deze toetsing blijkt dat er verschillen optreden, de bestudering van de mechanismen voort te zetten.

↓
- welke defectie middelen
- welke contacten hiervoor gebruikt



In de vroege morgen was heer Bommel begonnen aan de voedselvoorziening. Zoals trouwe lezertjes zullen hebben begrepen, ver-richtte hij de eerste overheveling op de plek waar hij de vorige dag zijn piknik gehouden had, en het tweede voedselpakket stapelde hij een eindje verder op. 'Overal in die vreselijke woestijn moeten eren voor de stakker komen,' sprak hij, terwijl hij de verdwijnpunt-ter richtte.

Met deze woorden drukte hij op de middelste knop en de spijzen verdwenen plotseling, slechts enkele stofwolkjes achterlatend. Nu wilde het geval, dat professor Prilwytzkofsky op weg naar zijn laboratorium die plek passeerde. De geleerde had een scherpe blik voor buitengewone verschijnselen, en toen hij zo ineens een gehele maaltijd in het niets zag verdwijnen zette hij grote ogen op. 'Praw!' riep hij uit, terwijl hij zijn bril vaster op de neus drukte. Zodoende kreeg hij een betere kijk op de omgeving en nu werd hij het toestel gewaar, dat heer Ollie in de armen hield.

'Hier is ja iets eigendommelijks loos!' riep hij naderbij snellend. 'Wat is dat voor ener apparaatuur, mijnheer Bommel? Overtrek het mij, bid ik u. Ik mocht het gaarne van nabij betrachten.'

'Geen denken aan,' zei heer Ollie overeind springend. 'Ik bedoel, ik heb geen tijd omdat ik bezig ben met zegenrijk werk. Stoor me niet, bedoel ik.'

'Maar ik heb ener fenomeen waargenomen!' kreet de hoogleraar terwijl hij de armen begerig uitstrekte. 'Ik wens te weten waarom het zich handelt, daar ik ener wetenschappelijker omwalzing ver-moed.'

Heer Bommel richtte zich fier op en klemde het toestel tegen zich aan.

'De wetenschap interesseert mij niet,' sprak hij. 'Ik heb wel wat beters te doen. De Oude Schicht zit vol voedselpakketten, en die moeten worden overgeheveld omdat ik vol zit met de ontberingen die mij door het hoofd spelen, zodat mijn geweten geen rust kent. Laat mij met rust, bedoel ik.'

'Praw!' riep de hoogleraar bijna schreiend. 'Laat mij slechts der apparaatuur ener ogenblik vasthouden! Ener gans kleiner betrach-ting zal genoegzaam wezen; ik mocht zo gaarne weten waarom het zich handelt!'

'Nee,' zei heer Ollie, en hij wendde zich af. Maar nu bemoeide Tom Poes zich er mee.

'Het is een verdwijnpunter, professor,' zei hij. 'Zo noemt Kwetal hem, omdat je allerlei dingen door het verdwijnpunt kan hevelen als je op de middelste knop drukt. Het heeft iets met snijdende lijnen te maken, en daarom moet je voorzichtig zijn met de tweede knop. Als je daar op drukt kan je nún worden.'

De geleerde had zich met een ruk naar hem toegedraaid en volgde de uitleg met grote aandacht.

'Ach zo,' prevelde hij toen Tom Poes zweeg. 'Dit is natuurlijk blabberspraak, maar toch...'

Hij zweeg en legde de wijsvinger langs de neus om dieper te kunnen nadenken.

'Donderweder,' kon men hem horen mompelen. 'Dat moet der effect der parallel-liniaturen wezen, die zich in ener punt snijden wanneer ze genoegzaam verlengeren. Kort en goed; der verdwijn-puntfenomeen!'

Symbolenlijst

A. Symbolen m.b.t. ϕ_x

Alle symbolen hebben de dimensie (mm/m)

- ϕ_x : Scheefstand van pijler in het vlak van de schuiven.
- $\Delta\phi_x$: Hoekverdraaiing van pijler in het vlak van de schuiven.
- $\phi_{x \text{ eind}}$: Uiteindelijke scheefstand van de pijler als alle zand is uitgespoeld t.o.v. rechtstand.
- $\phi_{x \text{ init}}$: Initiële scheefstand van de pijler onmiddellijk na plaatsen t.g.v. zand met als referentie rechtstand.
- $\phi_{x \text{ zand}}$: Initiële scheefstand van een pijler onmiddellijk na plaatsen t.g.v. zand met als referentie die pijlerstand die aanwezig zou zijn als alle zand zou verdwijnen.
- $\Delta\phi_{x \text{ eind}}$: Hoekverdraaiing die het verschil is tussen de uiteindelijke te bereiken scheefstand als alle zandlagen verdwenen zijn en $\phi_{x \text{ init}}$.

$$\Delta\phi_{x \text{ eind}} = - \phi_{x \text{ zand}}$$
- $\Delta\phi_{x \text{ tijd}}$: Tijdelijk gedurende de levensduur optredende hoekverdraaiing ten opzichte van $\phi_{x \text{ init}}$. in het geval dat $\Delta\phi_{x \text{ tijd}}$ tegengesteld is aan $\Delta\phi_{x \text{ eind}}$ of ten opzichte van $\phi_{x \text{ eind}}$ in het geval $\Delta\phi_{x \text{ tijd}}$ hetzelfde teken heeft als $\Delta\phi_{x \text{ eind}}$.
- $\Delta\phi_{x \text{ max}}$: De hoekverdraaiing van een pijler in 1 bepaalde richting die uiteindelijk tijdens de gehele levensduur te verwachten is. $\Delta\phi_{x \text{ max}}$ is gedefinieerd ofwel t.o.v. $\phi_{x \text{ init}}$ ofwel t.o.v. $\phi_{x \text{ eind}}$ en wordt samengesteld uit $\Delta\phi_{x \text{ eind}}$ en $\Delta\phi_{x \text{ tijd}}$.

Relatieve scheefstanden en hoekverdraaiingen worden gedefinieerd als scheefstanden c.q. hoekverdraaiingen van 2 naast elkaar staande pijlers ten opzichte van elkaar.

De relatieve scheefstanden en hoekverdraaiingen worden aangeduid door het symbool $\phi_{x\text{-rel.}}$ (in plaats van het symbool ϕ_x dat hierboven voor de enkele pijler is gedefinieerd).

De symbolen die in deze nota voor de relatieve scheefstanden c.q. hoekverdraaiingen worden gebruikt zijn de volgende:

- $\phi_{x\text{-rel.}}$
- $\Delta\phi_{x\text{-rel.}}$
- $\phi_{x\text{-rel.eind}}$
- $\phi_{x\text{-rel.init.}}$
- $\phi_{x\text{-rel.zand}}$
- $\Delta\phi_{x\text{-rel.eind}}$
- $\Delta\phi_{x\text{-rel.tijd}}$
- $\Delta\phi_{x\text{-rel.max.}}$

Voor de definitie per symbool wordt verwezen naar de hierboven gegeven definitie voor de enkele pijler.

Hierbij dient tlekens voor "scheefstand" gelezen te worden "relatieve scheefstand".

Hetzelfde geldt voor "hoekverdraaiing".

Voor de kern-symbolen $\Delta\phi_{x\text{-rel.eind}}$, $\Delta\phi_{x\text{-rel.tijd}}$ en $\Delta\phi_{x\text{-rel.max.}}$ wordt voor een inzichtelijke presentatie verwezen naar de figuren in par. 6.2. en par. 6.3.

B. Overige symbolen

- index 1 : 1e pijler van 2 naast elkaar staande pijlers.
- index 2 : 2e pijler van 2 naast elkaar staande pijlers.
- B : Aanzandingsverdeling voor een enkele pijler (overeenkomstig nota "Aanzandingdverwachting").
- f_v : Invloedsfaktor stroomsnelheid.
- f_α : Invloedsfaktor aanstroomhoek.

| | | | |
|----------|---|---|---|
| f_d | : | Invloedsfaktor zandlaagdikte naast mat. | |
| v | : | Stroomsnelheid | (m/s) |
| α | : | Aanstroomhoek | (graden) |
| d | : | - Zandlaagdikte naast mat | (mm) |
| | | - Deformatie t.g.v. belasting | (mm) (alleen in appendix B) |
| k | : | Beddingkonstante | (N/m ³) (alleen in appendix B en D) |
| M | : | Moment om hart pijler in x-richting | (alleen in appendix C en D) |
| P | : | Totaal pijlergewicht | (N) |
| Z | : | Gem. zakking pijler | (mm) |
| μ | : | Verwachtingswaarde van een bep. parameter | |
| σ | : | - Spreiding van een bep. parameter. | |
| | | - Korrelspanning | (N/m ²) (alleen in appendix B) |

APPENDIX A

Verskil in scheefstand tussen twee pijlers t.g.v. zand.

A-1. Welke $\phi_{x\text{-rel. zand}}$ is maatgevend ?

Als maatgevende $\phi_{x\text{-rel. zand}}$ geldt de waarde die met 2,3% kans ($\mu + 2\sigma$) overschreden wordt. Dit kan op twee manieren worden geïnterpreteerd.

- A. De kans 2,3% geldt voor alle pijlers samen, zodat bij ongeveer 2 pijlers (2,3% van 66) de scheefstand wordt overschreden.
- B. De kans 2,3% geldt voor elke pijler afzonderlijk, zodat de 2,3% kans bij de meest ongunstige pijler maatgevend wordt.

Om aan te geven of A of B juist is wordt een extreem voorbeeld gegeven:

Voorbeeld : Van 65 pijlers is bekend $\phi_{x\text{-rel. zand}} = 0$ mm/m.
 Van 1 pijler is bekend $\phi_{x\text{-rel. zand}} = 100$ mm/m.

Antwoord A : Maatgevende $\phi_{x\text{-rel. zand}} = 0$ mm/m
 (wordt 2 x in sluitgat overschreden).

Antwoord B : Maatgevende $\phi_{x\text{-rel. zand}} = 100$ mm/m.
 (wordt bij meest ongunstige pijler met 2,3% kans overschreden).

Uiteraard moet op 100 mm/m gedimensioneerd worden, zodat B juist is.

Uitgegaan zal worden van de meest ongunstige pijler, waarbij de $\phi_{x\text{-rel. zand}}$ berekend wordt die met 2,3% kans wordt overschreden.

N.B. : $\phi_{x\text{-rel. zand}} = \phi_{x\text{-zand 1}} - \phi_{x\text{-zand 2}}$

A-2. De meest ongunstige pijlers

Uit de AZA-nota blz. 37 blijkt dat scheefstanden ongunstiger zijn bij manoeuvreerplateaus dan midden in het sluitgat.

Voor grote scheefstanden moet de beschikbare laagdikte groter zijn dan 5 cm (zie AZA-nota, bijlage 9).

Er moet dus sprake zijn van een aanzandingsgebied.

Verder is er een groot verschil in $\phi_{x\text{-zand}}$ t.g.v. de aanstroomhoek.

De grootste waarde $\phi_{x\text{-rel. zand}}$ treedt op als $\alpha_1 > 10^\circ$ en $\alpha_2 < -10^\circ$ (zie AZA-nota, bijlage 8).

De grootste kans op dit verschil treedt op als de gemiddelde aanstroomhoek 0° is.

Op grond van het voorgaande zijn de meest ongunstige pijlers de volgende

1. Met een manoeuvreerplateau 2, in een aanzandingsgebied 3, met rechte aanstroming.

Deze situatie komt voor bij damaanzet Roggenplaat-Zuid waar volgens het model rechte aanstroming is.

A-3. Formule voor initiële $\phi_{x\text{-rel. zand}}$

In de AZA-nota is uitgegaan van een basisgeval, waarbij een $\phi_{x\text{-zand}} = B$ hoort. De werkelijke $\phi_{x\text{-zand}}$ moet met factoren f_v , f_α en f_d vermenigvuldigd worden ten gevolge van een verandering in snelheid v , aanstroomhoek α en laagdikte d . Daaruit volgt (voor elk van de pijlers afzonderlijk)

$$\phi_{x\text{-zand}} = f_v f_\alpha f_d B$$

Voor $\phi_{x\text{-rel. zand}}$ geldt:

$$\phi_{x\text{-rel. zand}} = f_{1v} f_{1\alpha} f_{1d} B - f_{2v} f_{2\alpha} f_{2d} B$$

In deze formule verschillen de waarden van f_1 en f_2 omdat bij pijler 1 en pijler 2 de snelheden, aanstroomhoeken en laagdikten verschillen.

Aangenomen wordt dat voor beide pijlers de waarde van B gelijk is.

D.w.z. dat de spreiding van B zoals die in de AZA-nota is berekend hoofdzakelijk wordt veroorzaakt door "denkfouten" en in veel mindere mate door onvoorziene stochastische processen in de natuur.

Daarom geldt:

$$\phi_{x\text{-rel. zand}} = (f_{1v} f_{1\alpha} f_{1d} - f_{2v} f_{2\alpha} f_{2d}) B$$

A-4. Waarden van f_v , f_α en f_d

Omdat de meest ongunstige pijler in een aanzandingsgebied is kan altijd meer dan 5 cm zand verwacht worden. Daarom is (zie AZA-nota, bijlage 9)

$$f_d = 1$$

In de AZA-nota is uitgegaan van een gemiddeld springtij. Bij gemiddeld doodtij zijn de snelheden ongeveer 20% kleiner, waardoor $\phi_{x\text{-zand}}$ 30% afneemt volgens AZA-nota, bijlage 8 ($f_v = 0,7$). Bij gemiddeld getij is $f_v = 0,85$.

Het pijler plaatsen gebeurt met stappen van ongeveer een week. Daarom wordt als een pijler bij springtij geplaatst wordt de volgende bij doodtij geplaatst en omgekeerd. Als een pijler bij gemiddeld getij geplaatst wordt, wordt de volgende ook bij gemiddeld getij geplaatst. Dit geeft de volgende combinaties van f_v :

| f_{v1} | f_{v2} |
|----------|----------|
| 0,7 | 1 |
| 0,85 | 0,85 |
| 1 | 0,7 |

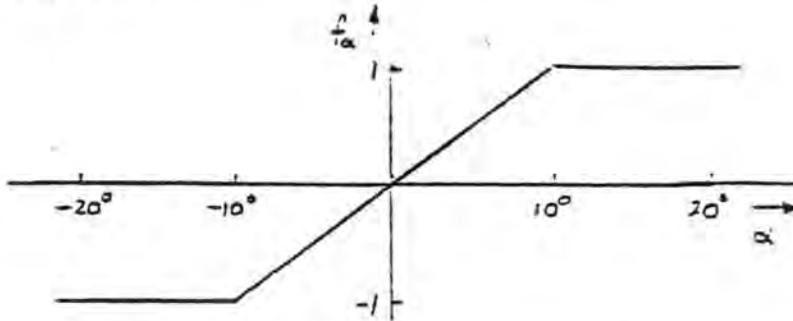
De grootste $\phi_{x\text{-rel. zand}}$ treedt op als $\phi_{x\text{-zand } 1} = \phi_{x\text{-zand } 2}$ en in dat geval geeft elk van bovenstaande combinaties hetzelfde resultaat voor $f_{v1} \cdot \phi_{x\text{-zand } 1} = f_{v2} \cdot \phi_{x\text{-zand } 2}$ (namelijk $1,7 \times \phi_{x\text{-zand } 1}$). Daarom wordt het verschil in snelheid verder niet gebruikt. Uitgegaan wordt van

$$f_v = 0,85$$

Om de variatie in aanstroomhoek te bepalen is gebruik gemaakt van 12 kenteringsverticalen op hm 12,525. Daaruit blijkt dat de standaardafwijking van de aanstroomhoek (aan het begin en het eind van de kentering) ongeveer 10° is. Met de normale verdeling geeft dat de volgende kansen voor aanstroomhoek (bij gemiddeld rechte aanstroming).

| | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| hoek | -20 | -15 | -10 | -5 | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 |
| kans | 0,04 | 0,07 | 0,12 | 0,17 | 0,20 | 0,17 | 0,12 | 0,07 | 0,04 |

Uit de AZA-nota, bijlage 8, volgt dat de waarde van f_{α} is zoals in onderstaande figuur:



Uit deze figuur en bovenstaande kansen kan de kans op de verschillende combinaties van $f_{1\alpha}$ en $f_{2\alpha}$ berekend worden:

| $f_{1\alpha}$ | $f_{2\alpha}$ | kans |
|---------------|---------------|------|
| 0 | 0 | 0,05 |
| 0 | 0,5 | 0,15 |
| 0 | 1 | 0,20 |
| 0,5 | -1 | 0,15 |
| 0,5 | -0,5 | 0,05 |
| 0,5 | 0,5 | 0,05 |
| 0,5 | 1 | 0,15 |
| 1 | -1 | 0,10 |
| 1 | 1 | 0,10 |

In deze tabel zijn de combinaties 0..0,5 en 0,5..0 en soortgelijke combinaties samengenomen.

Op grond van het voorgaande geldt:

| $f_{1v} f_{1\alpha} f_{1d} - f_{2v} f_{2\alpha} f_{2d}$ | kans |
|---|------|
| 0 | 0,20 |
| 0,42 | 0,30 |
| 0,85 | 0,25 |
| 1,27 | 0,15 |
| 1,7 | 0,10 |

De kansverdeling van $\phi_{x\text{-rel. zand}}$

Uit 4 volgde:

$$\phi_{x\text{-rel. zand}} = \text{factor} * B$$

$$(\text{factor} = f_{1v} f_{1\alpha} f_{1d} - f_{2v} f_{2\alpha} f_{2d})$$

Hierin is de kansverdeling van factor bekend (zie § 4 en van B zijn $\mu = 0,64 \text{ mm/m}$ en $\sigma = 1,06 \text{ mm/m}$ bepaald in de AZA-nota (blz. 37). Als voor B een normale verdeling aangenomen wordt ligt de verdeling van

$\phi_{x\text{-rel. zand}}$ vast:

| | | | | | | |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|-----|
| $\phi_{x\text{-rel. zand}}$ | 0 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 |
| overschrijdingskans | 100 | 37,1 | 20,6 | 12,2 | 7,1 | 4,2 |
| $\phi_{x\text{-rel. zand}}$ | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 4,5 | 5,0 | |
| overschrijdingskans | 2,23 | 1,25 | 0,43 | 0,34 | 0,16 | |

Hieruit volgt voor $\phi_{x\text{-rel. zand}}$

$\mu = 0,7 \text{ mm/m}$

$\sigma = 0,8 \text{ mm/m}$

$2,3\% = 3,0 \text{ mm/m}$ (geen $\mu + 2\sigma!$, geen normale verdeling !)

A-6. De laagdikte behorende bij $\phi_{x\text{-rel. zand}}$

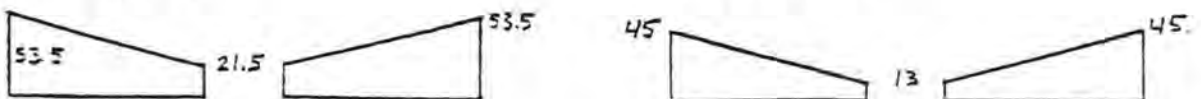
In de berekening van de kansverdeling van de laagdikte is de 2,3% overschrijdingskans als volgt bepaald:

| factor * B | factor | kans (f) | B | kans (B) | kans (A) |
|------------|--------|----------|----------------------|----------|--------------|
| 3 mm/m | 0,85 | 0,25 | $0,64 + 2,73 * 1,06$ | 0,003 | 0,000 |
| 3 mm/m | 1,27 | 0,15 | $0,64 + 1,62 * 1,06$ | 0,05 | 0,008 |
| 3 mm/m | 1,7 | 0,10 | $0,64 + 1,06 * 1,06$ | 0,14 | <u>0,014</u> |
| 3 mm/m | | | | | 0,022 |

Hierbij kunnen de laagdiktes voor $\mu + 1,62\sigma$ en $\mu + 1,06\sigma$ bepaald worden uit de AZA-nota blz. 37 ($f_v = 0,85$). Dat geeft de volgende figuren:

kans = 0,008

kans = 0,014



Alleen de laatste figuren hebben een 2,3% overschrijdingskans en zijn daarom maatgevend.

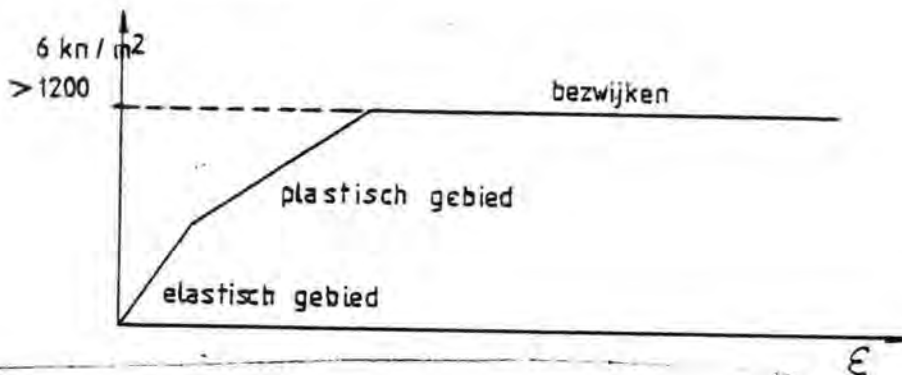
* kans = kans (f) * kans (B)

APPENDIX B

Grondmechanische deformaties.

B-1. Elastisch deformereren.

Voor een grondmechanisch lastzakkingsdiagram kan grofweg een diagram als het onderstaande aangenomen worden



Volgens 342FON-R-80016 (blz. 5) is $\text{bezwijk} = 1200 \text{ kN/m}^2$ van kleine platen ($\varnothing 0.60 \text{ m}$) en groter voor grotere oppervlakken.

De belasting is in de eindfase $250 \text{ MN}/(25 \times 50 \text{ m}) = 200 \text{ kN/m}^2$.

Daarom wordt voor berekeningen aangenomen dat de zakking elastisch is.

B-2. De beddingskonstante k

Als elastisch deformereren optreedt geldt

$$\sigma = kd \quad (d = \text{deformatie in mm})$$

In het onderstaande wordt uit verschillende rapporten geprobeerd k af te schatten.

Volgens 342FON-R-80016 (blz. 11 en 12) geldt:

oppervlakte $10 \times 10 \text{ m} \rightarrow k = 10^7 \text{ N/m}^3$

oppervlakte $10 \times 25 \text{ m} \rightarrow k = 6 \cdot 10^6 \text{ N/m}^3$

Volgens FOP-IV nota neemt de belasting bij het grouten en afbouwen (fase V blz. 64) toe met 150 MN. Daaruit volgt $\sigma = 150 \text{ MN} / (25 \text{ m} \times 50 \text{ m}) = 120 \text{ kN/m}^2$. De bijbehorende zakking is volgens bijlage 11 gelijk aan 9 - 12 mm. Hieruit volgt $k = 10^7 \text{ à } 1.3 \cdot 10^7 \text{ N/m}^3$.

Volgens FOP-IV blz. 76 neemt bij het afbouwen het moment toe met 100 MNm met een rotatie van 0.25 mm/m^1 .

Omgerekend geeft dit aan de rand van de pijler 20 kN/m^2 en een zakking van 3 mm/m^1 . Daaruit volgt $k = 0.7 \cdot 10^7 \text{ N/m}^3$.

Op grond van de 4 voornoemde k-waarden wordt aangenomen dat aangenomen dat voor grote oppervlakken geldt

$$k = 10^7 \text{ N/m}^3 \quad (10 \text{ kN/m}^2 \text{ belasting geeft } 1 \text{ mm deformatie}).$$

In bijlage 11 van de FOP-IV nota worden voor de zakkingen in fase V (zie boven) standaard afwijkingen van 30% gekozen. Op grond van de boven gekonstateerde onzekerheid over k wordt voorgesteld.

$$\sigma_k = 50\%$$

B-3. Zwellingen van de ondergrond

Als grond ontlast wordt veert deze bij grote oppervlakken elastisch terug met een beddingskonstante die gelijk is aan ongeveer $1.75 k_{\text{zakking}}$ (volgens FOP-IV). Dit geeft

$$k = 1.7 \cdot 10^7 \text{ N/m}^3$$

Bij een pijler belasting van $200 \text{ kN}/2$ (par. B-1.) geeft dit bij ontlasten een terugveren van 12 mm. Met deze 12 mm kunnen geulen die ontstaan worden dichtgedrukt (zie par. 5)

Voor kleine oppervlakken is de k vele malen groter zodat nauwelijks terugvering plaatsvindt.

APPENDIX C

Schattingen van de hoekverdraaiing bij variant IIA.

C-1. Model

In variant IIA verdwijnt het zand random door slijtage voor het doek.

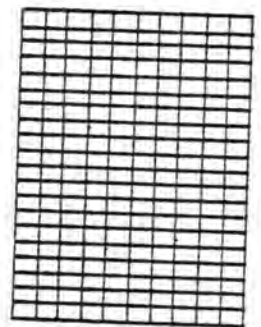
Dit wordt in model gebracht door het pijlervak te verdelen in

20 x 10 vakjes. Elk vakje is 2,5 m x 2,5 m.

De stroken in langsrichting zijn genummerd $i = 1$ tot 10.

Omdat alleen ϕ_x wordt beschouwd is niet van belang welke van de 20 vakjes in strook i uitspoelen, alleen hoeveel er uitspoelen in een bepaalde strook i .

Elke keer wordt random een vakje getrokken uit de 200 vakjes. De j -de trekking levert een vakje in rij i op ($i(j)$).



$i = 1\ 2\ 3\ 4\ 5\ 6\ 7\ 8\ 9\ 10$

C-2. Moment bij het model

Als er N vakjes uitgespoeld zijn is de gemiddelde kracht op de resterende vakjes

$$\frac{P}{200 - N}$$

Hierin is P het gewicht van de pijler ($P = 250\text{ MN}$)

Als benadering wordt aangenomen dat deze gemiddelde kracht per vakje de werkelijke kracht op dat vakje is.

Om het moment t.g.v. een uitgespoeld vakje te berekenen moet de kracht worden vermenigvuldigd met de arm. De arm t.o.v. het hart van het pijlervak is $(i - 5,5) \times 2,5\text{ m}$ (zie figuur, 2,5 m is de breedte van een vakje).

Om het totale moment te berekenen moet het moment van alle vakjes afzonderlijk worden opgesteld. Dat geeft:

$$M = \sum_{j=1}^N \frac{P}{200 - N} (i(j) - 5,5) \times 2,5$$

$$= \frac{P}{200 - N} \times 2,5 \times \sum_{j=1}^N (i(j) - 5,5)$$

In dit moment is het gedeelte van het Σ -teken een konstante bij een gegeven N . Het gedeelte achter het Σ -teken is stochastisch en heeft daarom een gemiddelde en standaardafwijking. Om de standaardafwijking van het moment te berekenen moet de σ van $\Sigma i(j) - 5,5$ bekend zijn.

C-3. De μ en σ van $\Sigma (i(j) - 5,5)$

Bij een trekking van een random vakjesis de kans op willekeurig welke rij i ($i = 1$ tot $i = 10$) even groot. Dit geldt voor lage waarden van N . Daarom is i een trekking uit een uniforme verdeling ($i = 1$ tot $i = 10$). De draabij komende verdeling voor $i - 5,5$ is ook uniform (van $-4,5$ tot $+4,5$).

De som $\sum_{j=1}^N i(j) - 5,5$ is de som van N trekkingen uit de uniforme verdeling (van $-4,5$ tot $+4,5$). Bij een groot aantal trekkingen uit dezelfde verdeling geldt

$$\begin{aligned} \mu_{\text{som}} &= N \mu \\ \sigma_{\text{som}} &= \sigma \sqrt{N} \end{aligned}$$

Voor de uniforme verdeling van $-4,5$ tot $+4,5$ geldt

$$\begin{aligned} \mu &= 0 \\ \sigma &= 2,9 \end{aligned}$$

Daarom geldt voor $\sum_{j=1}^N i(j) - 5,5$

$$\begin{aligned} \mu &= 0 \\ \sigma &= 2,9 \sqrt{N} \end{aligned}$$

Bij grote N is deze benadering een bovengrens omdat er dan minder kans is op grekkingen uit die helft van de pijler waar het grootst aantal trekkingen heeft plaatsgevonden.

Als gevolg van deze μ en σ vindt als μ en σ voor het moment gevonden

$$\begin{aligned} \mu_M &= 0 \\ \sigma_M &= \frac{P}{200 - N} \times 2.5 \times 2.9 \sqrt{N} \end{aligned}$$

C-4. Rotatie bij het model

Het gaat niet om het moment maar om de rotatie.

In appendix B is een beddingskonstante k uitgerekend. Als deze k wordt omgezet in een rotatie bij een gegeven moment dan wordt gevonden: Een moment $M = 1$ MNm geeft een rotatie $\phi = 1.6 \cdot 10^{-3}$ mm/m. Dit geldt als het gehele oppervlak onder de pijler draagt.

Op grond hiervan kan ϕ berekend worden voor verschillende waarden van N:

| N | $\mu(\phi)$ | $\sigma(\phi)$ (in mm/m) |
|-----|-------------|---------------------------|
| 10 | 0 | 0.04 |
| 50 | 0 | 0.11 |
| 100 | 0 | 0.25 |

Dit geldt als het gehele oppervlak onder de pijler draagt. Er zijn echter N vakjes uitgespoeld. Daardoor neemt de rotatie toe. Aangenomen wordt dat de vermenigvuldigingsfaktor gelijk is aan $\frac{200}{200-N}$.

Dat geeft voor $\sigma(\phi)$:

| N | $\frac{200}{200-N}$ | $\sigma(\phi)$ |
|-----|---------------------|----------------|
| 10 | 1.05 | 0.04 |
| 50 | 1.33 | 0.15 |
| 100 | 2.00 | 0.50 |

C-5. Resultaat van het model

Als resultaat wordt gevonden dat de orde grootte van de σ gelijk is aan een 0,5 mm/m. Dit is echter berekend met een gemiddelde waarde van de beddingskonstante k . Volgens appendix B, par. 2 wordt de σ_k geschat op 50%. Als 50% wordt opgeteld bij 0,5 mm/m wordt 0.75 mm/m gevonden. Dit is echter niet helemaal gerechtvaardigd omdat $\sigma(\phi)$ en σ_k ongekorreleerd zijn. Het werkelijke resultaat zal daarom tussen 0.50 en 0.75 mm/m liggen.

C-6. Afschatting van een bovengrens

Een bovengrens voor variant IIA vormt het geval waarbij aan de ene zijde alle vakjes zijn uitgespoeld en aan de andere kant geen enkel vakje (Variant I). Dit geval is al doorgerekend in par. 5.4. daarbij wordt gevonden $\phi_x - 1.7 \text{ \AA } 2.4 \text{ mm/m}$. Dit komt in het bovenstaande model uit op ongeveer 3σ , een waarde die in par. 5.4 reeds om andere redenen was geschat voor variant I.

APPENDIX D

Schattingen van de scheefstand bij variant IIB

D-1. Model 1

In variant IIB spoelt laag B tussen bovenmat en grout uit. Daardoor draagt de pijler alleen op de billen. Onder de billen spoelt het zand random uit door slijtage van het doek.

Om het verdwijnen onder de billen te schematiseren worden beide billen in 20 vakjes verdeeld met afmetingen van 2.5 x 6 m.

Elke keer wordt random een vakje gegrokken uit de 40 vakjes (2 x 20).

De beide billen zijn genummerd $i = 1$ en $i = +1$

Elke keer wordt random een vakje getrokken. De j -de trekking levert een vakje in rij i op ($i(j)$).



D-2. Moment bij model 1

Als N vakjes uitgespoeld zijn is de gemiddelde kracht op de resterende vakjes

$$\frac{P}{40-N} \quad (P = 250 \text{ MN})$$

Als benadering wordt aangenomen dat deze gemiddelde kracht de werkelijke kracht op een vakje is.

Om het moment t.o.v. een uitgespoeld vakje te berekenen moet vermenigvuldigd worden met de arm. Deze arm t.o.v. het hart van het pijlervak is 9 m x $i(j)$. Daardoor is het moment t.o.v. een uitgespoeld vakje

$$\frac{P}{40-N} \times 9 \times i(j)$$

Om het totale moment te berekenen moet het moment van alle vakjes afzonderlijk worden opgeteld:

$$M = \sum_{j=1}^N \frac{P}{40-N} \times 9 \times i(j)$$

$$= \frac{P}{40-N} \times 9 \times \sum_{j=1}^N i(j)$$

In dit moment is het gedeelte voor het Σ - teken konstant en na het Σ - teken stochastisch met μ en σ .

D-3. De μ en σ van $\Sigma i(j)$

Bij een trekking van een random vakje is de kans op $i = 1$ en $i = -1$ even groot bij lage waarden van N .

Daarom is i een trekking uit een tweepunts verdeling ($i = 1$ en $i = -1$). Voor deze tweepunts verdeling geldt

$$\mu = 0$$

$$\sigma = 1$$

Bij N trekkingen geldt voor de $\Sigma i(j)$

$$\mu_{\text{som}} = N \mu = 0$$

$$\sigma_{\text{som}} = \sigma \sqrt{N} = \sqrt{N}$$

Bij grote N is deze benadering een bovengrens omdat er dan minder kans is op trekkingen uit die helft van de pijler waar het grootste aantal trekkingen heeft plaatsgevonden.

D-4. Rotatie bij model 1

Bij een moment $M = 100 \text{ MNm}$ behoort een gemiddelde rotatie $\phi = 1.6 \cdot 10^{-3} \text{ mm/m}$. Dit geldt als het gehele pijleroppervlak draagt. In het model draagt echter het gehele middenvlak niet en de uitgespoelde vakjes ook niet. Daarom moet de

scheefstand vermenigvuldigd worden met een faktor waarvan aangenomen wordt dat deze gelijk is aan de verhouding tussen volledig dragen en in model dragend oppervalk.

Op grond hiervan kan een ϕ_x berekend worden voor verschillende waarden van N

| N | volledig dragend | | volledig dragend | $\sigma(\phi)$ |
|----|------------------|----------------|------------------|----------------|
| | $\mu(\phi)$ | $\sigma(\phi)$ | in model dragend | |
| 10 | 0 | 0.37 mm/m | 2.7 | 1.0 mm/m |
| 20 | 0 | 0.80 mm/m | 4.0 | 3.2 mm/m |

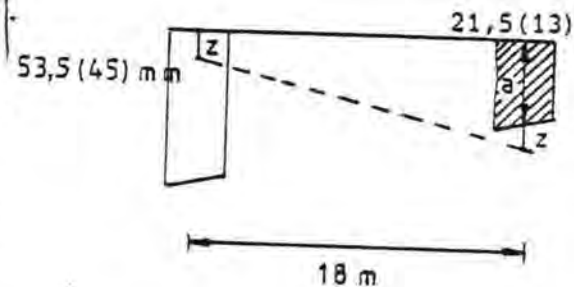
Met dit model wordt daarom een zeer hoge scheefstand gevonden van enkele mm/m.

D-5. Afschatting van de bovengrens

De bovengrens van de scheefstand is als alle vakjes aan een zijde uitspoelen en aan de andere zijde geen enkel vakje uitspoelt.

De uitspoelende laag heeft bij de figuren die als uitgangspunt zijn gekozen (zie par. 4.2.) een gemiddelde dikte d van 26 en 17,5 mm. Op beide zijden staat ongeveer een last die gelijk is aan $\frac{1}{2} P$ (halve pijlergewicht). Daardoor zal de zakking z aan beide zijden ongeveer gelijk zijn.

Uit de figuur is af te lezen dat dit een hoekverdraaiing ϕ_x geeft van $26/18 = 1.4$ mm/m en $17.5/18 = 1$ mm/m.



Deze bovengrens is veel lager dan de waarde die gevonden zijn in de vorige paragraaf. Daarom is de benadering van model 1 niet juist. De oorzaak hiervan is dat de pijler zover bijzakt dat de onderliggende laag weer mee gaat dragen.

Omdat de afschatting van de bovengrens uitgaat van extreme aannamen wordt dit

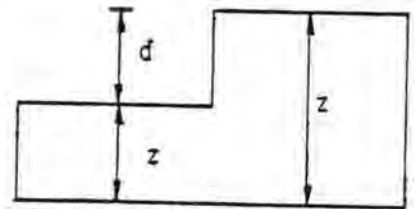
een 2σ waarde genoemd. Daardoor geldt: $\sigma = 0.5 \text{ à } 0.7 \text{ mm/m}$.

D-6. Model 2

Omdat bovenstaand gevonden is dat in model 1 de grond weer mee gaat dragen, wordt model 1 nogmaals doorgerekend maar nu met een dragende ondergrond in uitgespoelde vakjes. De kracht in die vakjes is kleiner dan in niet uitgespoelde vakjes de zakking minder is (zie figuur)

De spanning is gelijk aan

$$\sigma = k \times \text{zakking } z$$



Deze spanning is kleiner bij uitgespoelde vakjes en wel met een bedrag

$$\Delta \sigma = k \times d$$

Volgens appendix B is $k = 10^7 \text{ N/m}$. Dat betekent dat bij een spanning 10 kN/m^2 een zetting van 2 mm hoort.

D-7. Moment bij model 2

De afname van de kracht per vakje is op grond van het bovenstaande

$$d \text{ (in mm)} \times 10 \text{ kN/m}^2 \times 2.5 \text{ m} \times 6 \text{ m}$$

$$= d \times 150 \text{ kN}$$

Als een eerste benadering wordt voor d de gemiddelde laagdikte genomen van de figuren van par. 4.2., zodat $d = 29 \text{ à } 37.5 \text{ mm}$. Gekozen wordt voor de berekening 35 mm.

Daardoor is de kracht per vakje:

$$35 \times 150 \text{ kN} = 5 \text{ MN}$$

Om het moment te berekenen moet worden vermenigvuldigd met de arm van
 $9 \text{ m} \times i(j)$ (zie par. D-2.)
 $5 \times 9 \text{ m} \times i(j)$

De som van alle momenten van alle vakjes is dan

$$\begin{aligned} M &= \Sigma 5 \times 9 \times i(j) \\ &= 45 \times \Sigma_{j=1}^N i(j) \end{aligned}$$

In par. D-3. werd voor $i(j)$ gevonden

$$\begin{aligned} \mu &= 0 \\ \sigma &= \sqrt{N} \end{aligned}$$

Daardoor volgt voor het moment

$$\begin{aligned} \mu_M &= 0 \\ \sigma_M &= 45 \sqrt{N} \end{aligned}$$

D-8. Rotatie bij model 2

Met dezelfde berekening als in par. D-4. volgt

| N | $\mu(\phi)$ | $\sigma(\phi)$ in mm/m |
|----|-------------|------------------------|
| 10 | 0 | 0.2 |
| 20 | 0 | 0.3 |

D-9. Resulterende scheefstand

De scheefstand met model 2 is veel lager van de scheefstand berekend uit de bovengrens (par. D-5.). De aanname is echter dat de grond overal mee gaat dragen onder de uitgespoelde vakjes. Dat is in het begin zeker niet het geval. Daarom wordt aan de veilige kant gekozen voor de σ van par. D-5. ($\sigma = 0.5 \text{ à } 0.75 \text{ mm/m}$).

APPENDIX E

Bepaling $\Delta\phi$ x-rel. max.

E-1. Initiële zandlaag

In par. 4.1. zijn de overschrijdingsfrequenties van $\Delta\phi$ x-rel. eind bepaald.
 Als deze opgesplitst worden in een histogram volgt:

$\Delta\phi$ x-rel. eind kans van optreden

| | |
|--------------|-------|
| 0-1.0 mm/m | 62.9% |
| 0.5-1.0 mm/m | 16.6% |
| 1.0-1.5 mm/m | 8.4% |
| 1.5-2.0 mm/m | 5.1% |
| 2.0-2.5 mm/m | 2.9% |
| 2.5-3.0 mm/m | 2.0% |
| 3.0-3.5 mm/m | 0.98% |
| 3.5-4.0 mm/m | 0.62% |
| 4.0-4.5 mm/m | 0.29% |
| 4.5-5.0 mm/m | 0.18% |
| > 5.0 mm/m | 0.16% |

E-2. Verdwijmodel

Voor de spreiding van $\Delta\phi$ x-rel. tijd¹ is gevonden in par. 5.7.:

$$\sigma = 1.1 \text{ mm/m en } \mu = 0.$$

Uitgaande van een normale verdeling worden de volgende overschrijdingsfrequenties gevonden.

| $\Delta\phi$ x-rel. tijd | overschrijdingskans |
|-----------------------------|---------------------|
|-----------------------------|---------------------|

| | |
|----------|-----|
| 0 mm/m | 50% |
| 0.5 mm/m | 33% |
| 1.0 mm/m | 18% |
| 1.5 mm/m | 9% |
| 2.0 mm/m | 3% |
| 2.5 mm/m | 1% |

E-3. Combinatie

Kombinatie van de kans van optreden van $\Delta\phi_{x\text{-rel. eind}}$ (par. E-1.) en de overschrijdingskans van $\Delta\phi^1_{x\text{-rel.tijd}}$ (par. E-2.) levert de overschrijdingskans van $\Delta\phi_{x\text{-rel. max.}}$.

Hierbij geldt als ondergrens:

$$\Delta\phi_{x\text{-rel. max.}} = \Delta\phi_{x\text{-rel. eind}}$$

d.w.z. kans op volledig uitspoelen in de gebruikersperiode is 100%.

Om deze reden mogen negatieve waarden van $\Delta\phi_{x\text{-rel.tijd}}$ niet in beschouwing worden genomen, met andere woorden:

de overschrijdingskans $\Delta\phi_{x\text{-rel. tijd}} > 0$ mm/m wordt gelijkgesteld aan 100% in plaats van 50% zoals in par. E-2. is gegeven.

De uiteindelijke overschrijdingskans van $\Delta\phi_{x\text{-rel. max.}}$ is bepaald in de volgende tabel door vermenigvuldiging van de kans van optreden van $\Delta\phi_{x\text{-rel. eind}}$ met de overschrijdingskans van $\Delta\phi^1_{x\text{-rel. tijd}}$.

rijkswaterstaat

behoort bij: appendix E nr.
 bladnr.: 3

| $\Delta\phi$ x-rel. tijd | 0 | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|
| $\Delta\phi$ x-rel. eind | | | | | | |
| 0 -0.5 | 62.9 | 20.8 | 11.3 | 5.7 | 1.9 | 0.6 |
| 0.5-1.0 | 16.6 | 5.4 | 3.0 | 1.5 | 0.5 | 0.2 |
| 1.0-1.5 | 8.4 | 2.8 | 1.5 | 0.8 | 0.3 | 0.08 |
| 1.5-2.0 | 5.1 | 1.7 | 0.9 | 0.5 | 0.2 | 0.05 |
| 2.0-2.5 | 2.9 | 1.0 | 0.5 | 0.3 | 0.1 | 0.03 |
| 2.5-3.0 | 2.0 | 0.7 | 0.4 | 0.2 | 0.06 | 0.02 |
| 3.0-3.5 | 0.98 | 0.32 | 0.18 | 0.09 | 0.03 | 0.01 |
| 3.5-4.0 | 0.62 | 0.20 | 0.11 | 0.06 | 0.02 | 0.01 |
| 4.0-4.5 | 0.29 | 0.10 | 0.05 | 0.03 | 0.01 | 0.00 |
| 4.5-5.0 | 0.18 | 0.06 | 0.03 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| > 5.0 | 0.16 | 0.05 | 0.03 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |

Door de getallen op te tellen die binnen de lijnen vallen in bovenstaande figuur worden de volgende overschrijdingskansen gevonden:

| $\Delta\phi$ x-rel. max. | overschrijdingskans van 2.3% |
|-----------------------------|------------------------------|
| 3.0-3.5 | 4.43 |
| 3.5-4.0 | 2.55 |
| 4.0-4.5 | 1.36 |

Hieruit volgt dat een overschrijdingskans van 2.3% ($\mu + 2\sigma$) op bijna 4 mm/m ligt.

Derhalve wordt voor de ($\mu + 2\sigma$)-waarde aangehouden:

$$\Delta\phi_{x\text{-rel. max}} = 4 \text{ mm/m.}$$

