



INVULLING VEILIGHEIDSFORMAT

Joost Bredeveld
(Deltares)

Pilot-cursus
Langsconstructies
27 oktober 2016



Invulling veiligheidsformat

➤ Bronnen van onzekerheden

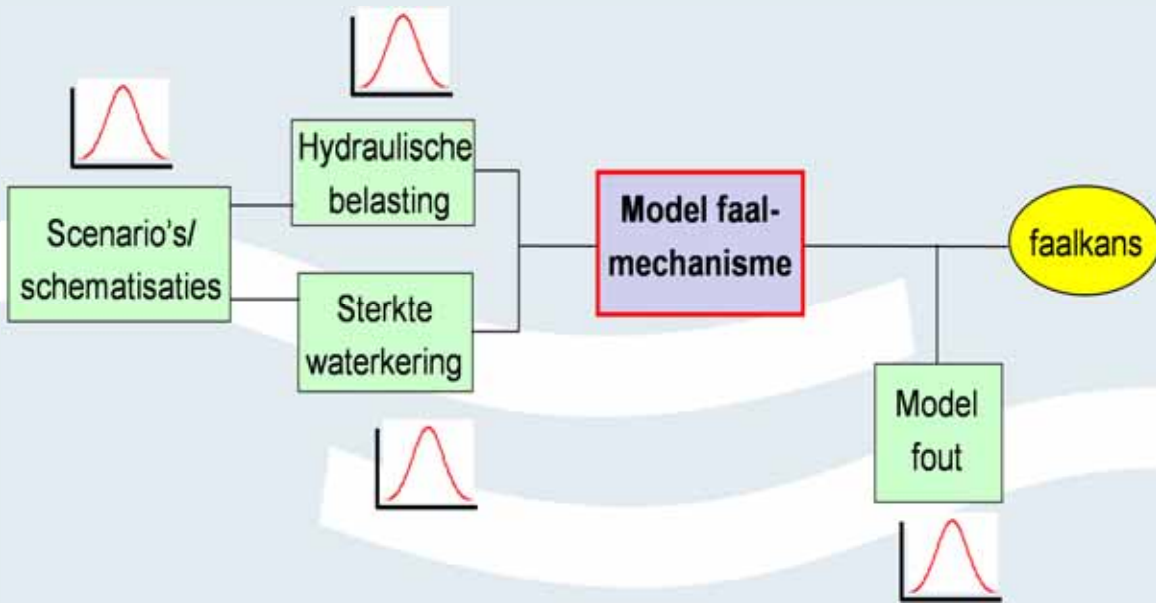
- *fysieke belastingen*
- *fysieke sterkten*
- *numerieke modellering*

➤ Veiligheidsformat (macrostabiliteit)

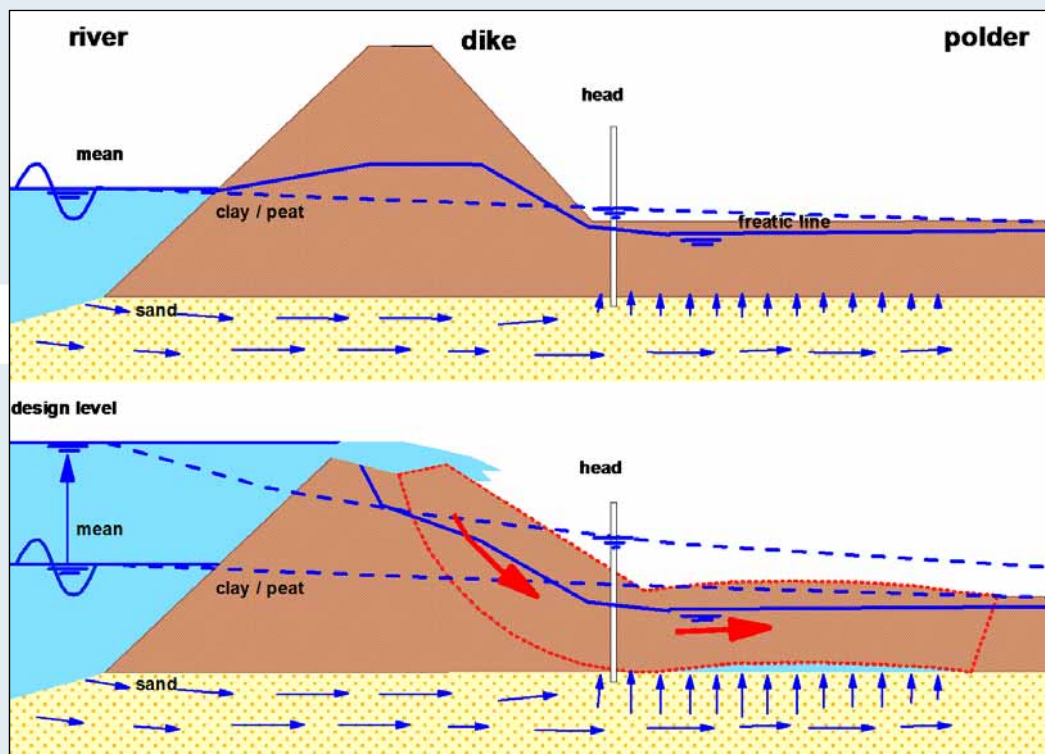
➤ Invulling partiele veiligheidsfactoren

➤ Vertaling naar sterkte- en vervormingseisen

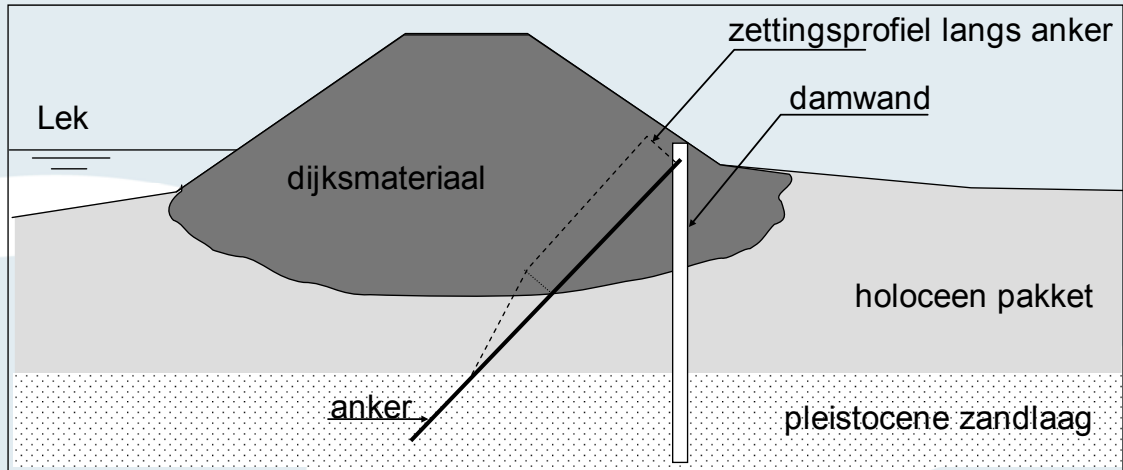
Onzekerheden (bronnen)



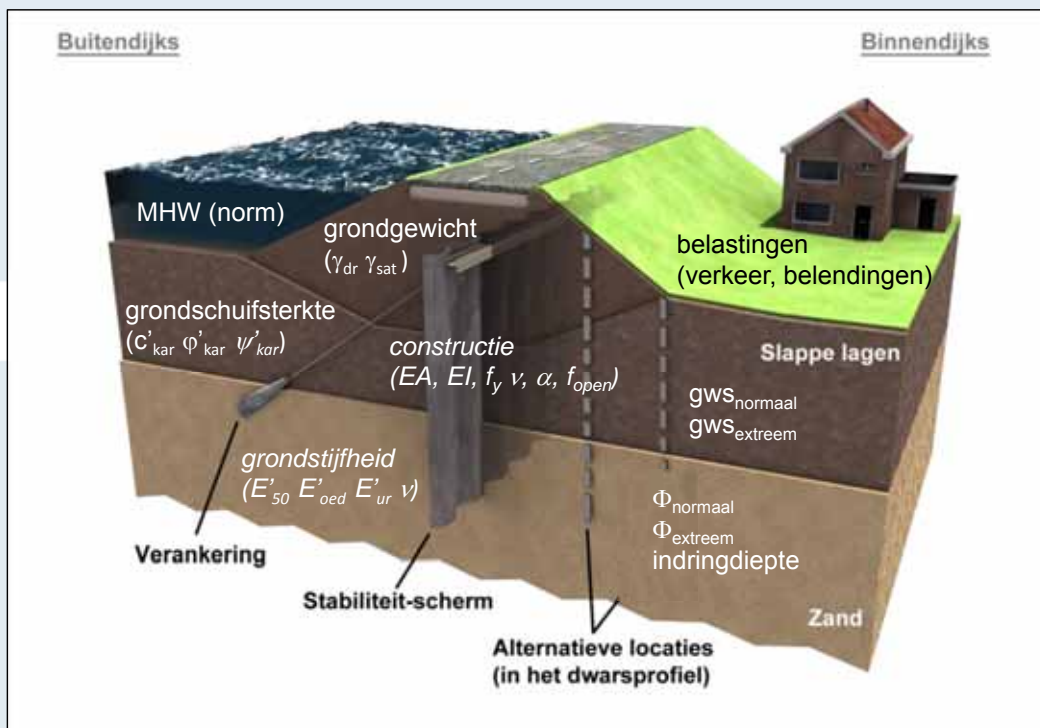
Onzekerheden (belastingen water)



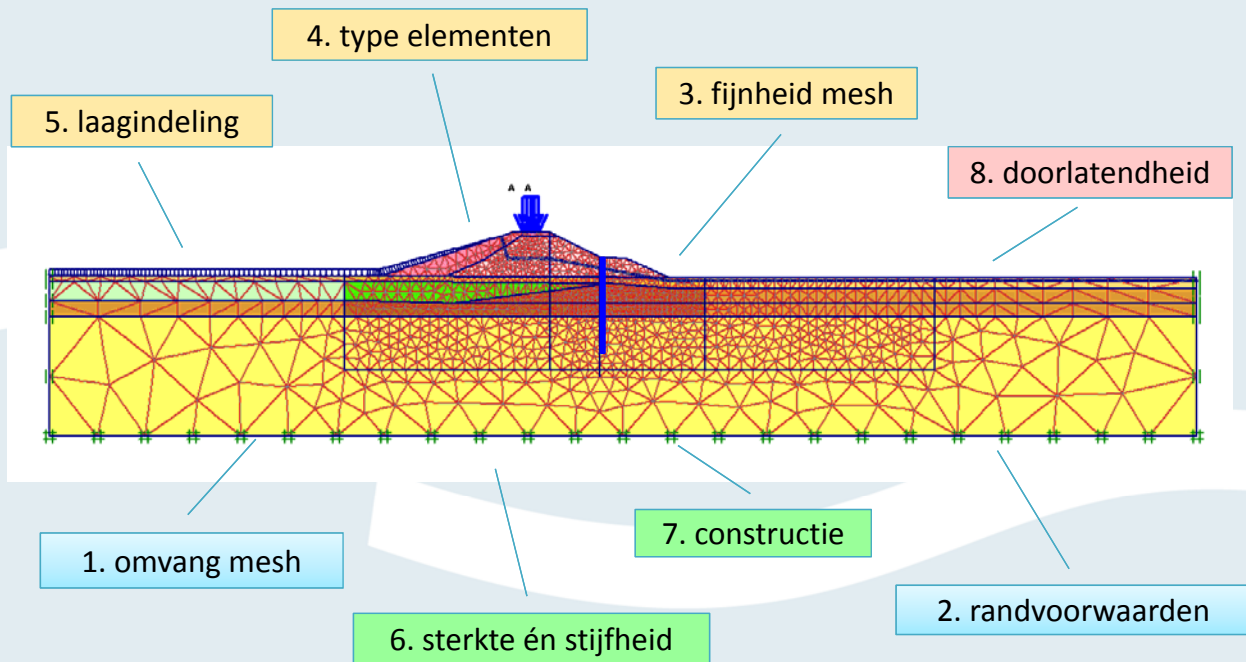
Onzekerheden (belastingen grond)



Onzekerheden (sterkten)



Onzekerheden (modellering)



Veiligheidsformat

- ⇒ Het format van set partiële veiligheidsfactoren is in beginsel vrij, zolang daarmee minimaal de vereiste betrouwbaarheid wordt gerealiseerd.
- ⇒ In de praktijk wordt doorgaans gekozen voor een set vaste partiële veiligheidsfactoren en één variabele partiële veiligheidsfactor die gerelateerd is aan de vereiste betrouwbaarheidsindex.
- ⇒ Belangrijk is dat vereiste veiligheid door de hele set (waarbij het altijd gaat om de gehele combinatie) van verschillende veiligheidsfactoren) wordt gerealiseerd!

Veiligheidsformat macrostabiliteit

- ⇒ combinatie van vaste materiaalfactoren (γ_m) en variabele schadefactor (γ_n) → materiaalsterkte
- ⇒ vaste modelfactor (γ_d) → rekenmodelonzekerheid
- ⇒ vaste schematiseringsfactor (γ_d) → onzekerheid in schematisering ondergrondopbouw en opbouw van waterspanningen in ondergrond
- ⇒ vaste opschaalfactor (γ_s) en additionele factoren op belastingeffecten (γ_{add}) → onzekerheid in numerieke rekenproces

Onzekerheid materiaalsterkte (γ_m)

Grondsoort en parameter		materiaalfactor (γ_m)
volumieke massa nat/droog	(ρ)	1,0
klei	(TP-CU-5%)	
	cohesie (c)	1,25
	inwendige wrijving ($\tan \varphi$)	1,20
veen	(TP-CU-5%)	
	cohesie (c)	1,50
	inwendige wrijving ($\tan \varphi$)	1,25
zand	(TP-CD)	
	cohesie (c)	n.v.t.
	inwendige wrijving ($\tan \varphi$)	1,20

$$\gamma_n = 1,0 + 0,13 \cdot (\beta_{nodig} - 4,0)$$

Onzekerheid materiaalsterkte ($\gamma_{n;g}$, $\gamma_{n;c}$)

$$\gamma_n = 1,0 + 0,13 \cdot (\beta_{\text{nodig}} - 4,0)$$

betrouwbaarheidsindex β_{nodig} (1/jaar) \leq	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25
schadefactor γ_n (-)	1,00	1,03	1,07	1,10	1,13	1,16

[Ref: Addendum bij het technisch rapport waterkerende grondconstructies (2007)]

Rekenmodelonzekerheden ($\gamma_{d;g}$, $\gamma_{d;c}$)

oprijven	Rekenmodel (bij beschouwen globale veiligheid tegen geotechnisch bezwijken)	onzekerheden rekenmodel	3D-effect	totale rekenmodel-factor
		$\gamma_{d;g1}$	$\gamma_{d;g2}$	$\gamma_{d;g}$
Nee	Bishop (effectieve spanningsanalyse)	1,10	0,90	1,00
	LiftVan (effectieve spanningsanalyse)	1,05	0,90	0,95
	EEM-Mohr Coulomb ²⁾ (effectieve spanningsanalyse)	1,10 (bij 'fine-tuning' 1,05)	0,90	1,00 (bij 'fine-tuning' 0,95)
Ja	Bishop (effectieve spanningsanalyse) ¹⁾	1,10	1,00	1,10
	LiftVan (effectieve spanningsanalyse)	1,05	1,00	1,05
	EEM- Mohr Coulomb ²⁾ (effectieve spanningsanalyse)	1,05 (bij 'fine-tuning' 1,00)	1,00	1,05 (bij 'fine-tuning' 1,00)

Fine-tuning

- Veel vrijheidsgraden en numerieke instellingen die invloed hebben op resultaat, wat rekenmodel-onzekerheid vergroot.
- De modelfactor met fine tuning mag worden gehanteerd indien:
 - richtlijnen zijn gevolgd bij opzetten EEM-model;
 - resultaten stabiliteitsanalyse groene dijk volgens EEM en glijvlakanalyse overeenkomen ($\leq 10\%$);
 - middels kwalitatieve redenering onderbouwd kan worden dat een betere analyse is uitgevoerd.

Onzekerheid schematisering ($\gamma_{b;g}$, $\gamma_{b;c}$)

nr	scenario/ onzekerheid	geschatte kans van optreden 2)	verschil met stabiliteitsfactor		verschil met de belasting in constructieve elementen 1)	
			ingeschat verschil 4)	mee te nemen in aangepaste schematisatie 3)	ingeschat verschil 4)	mee te nemen in aangepaste schematisatie 3)
		[%]	[%]	[ja/nee]	[%]	[ja/nee]
a						
b						
c						
d						
e						
f						
g						

- 1) momenten en ankerkrachten
- 2) zie tabel A.2
- 3) zie stap 4
- 4) Een negatief verschil betekent dat de stabiliteitsfactor of het moment/ankerkracht lager

categorie: verschil in stabiliteitsfactor dan wel moment en ankerkracht	gesommeerde kans van voorkomen	schematiseringsfactor
-0.4 tot -0.3	$\leq 30\%$	1.37
	$\leq 10\%$	1.33
	$\leq 5\%$	1.31
	$\leq 3\%$	1.3
	$\leq 0,3\%$	1.27
-0.3 tot -0.2	$\leq 30\%$	1.27
	$\leq 10\%$	1.23
	$\leq 3\%$	1.2
	$\leq 0,3\%$	1.17
	-0.2 tot -0.1	$\leq 30\%$
$\leq 10\%$		1.14
$\leq 3\%$		1.11
$\leq 1\%$		1.1
$\leq 0,3\%$		1.09
-0.1 tot 0	$\leq 50\%$	1.08
	$\leq 30\%$	1.07
	$\leq 3\%$	1.02
	$\leq 0,3\%$	1.01

verbale expressie	kans op optreden in %
onwaarschijnlijk	$< 10\%$
zeer onwaarschijnlijk	$< 1\%$
vrijwel uitgesloten	$< 0.1\%$

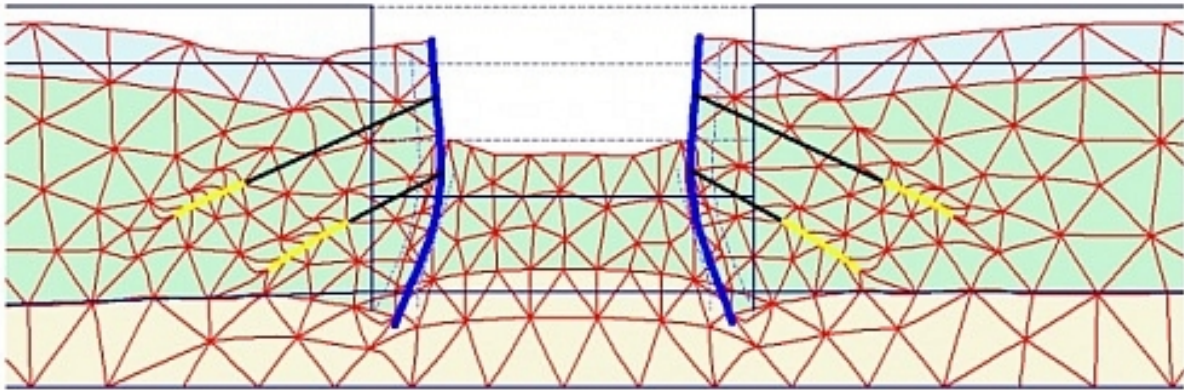
Basisschematisering

- ⇒ Doorgaans één basisschematisering, die moet worden aangepast indien:
 - ⇒ de schematiseringsfactor:
 - ⇒ >1,10 voor veiligheid tegen geotechnisch bezwijken
 - ⇒ >1,07 voor veiligheid tegen constructief bezwijken
 - ⇒ het verschil in stabiliteitsfactor of constructieve sterkte groter is dan 0,4 (40%);
 - ⇒ de gesommeerde kans op voorkomen van scenario's met een gelijk verschil t.o.v. basisschematisering >30% is, of >50% in de categorie tussen -0,1 en 0.

Onzekerheid EEM-rekenproces (γ_s)

- ⇒ Om te voorkomen dat vóór en tijdens de sterkte-reductie fase numerieke onbalans ontstaat, kan de vereiste stabiliteitsnorm worden opgeschaald
- ⇒ Vanwege evenredigheid tussen stabiliteitsfactor en grondsterkte worden schuifsterkteparameters ook opgeschaald, zodat beschouwde veiligheidsniveau niet significant wordt beïnvloed;
- ⇒ Twee mogelijkheden voor bepalen opschaalfactor:
 - ⇒ *pragmatische waarde opschaalfactor van 1,5 voor EEM*
 - ⇒ *procedure voor een zo laag mogelijke opschaalfactor, bv $\gamma_s \leq R_{kar,i} / R_{d;ass,i}$ (voorkeur!)*

Onzekerheid belastingeffecten (γ_{add})



- Onzekerheden in 'rekening' (alleen verlagen van grondsterkte) om veiligheid tegen geotechnische instabiliteit in te kunnen schatten!

Sterkte-eis geotechnisch bezwijken

In lijn met de aanpak bij grond dijken volgens [TRWG-Ad 2007] moet in een gedraineerde sterkte-reductie fase binnen de EEM-analyse worden aangetoond dat voor de stabiliteitsfactor bij doorgaand bezwijken (in PLAXIS: $\Sigma MSF_{\text{doorgaand bezwijken}}$) geldt:

$$\Sigma MSF_{\text{doorgaand bezwijken}} \geq \Sigma MSF_g = \gamma_{EEM,g} \text{ met } \gamma_{EEM,g} = \gamma_{n,g} \cdot \gamma_{b,g} \cdot \gamma_{d,g} \cdot \gamma_s$$

waarin:

- $\gamma_{EEM,g}$ minimaal vereiste stabiliteitsfactor bij doorgaand geotechnisch bezwijken
- $\gamma_{n,g}$ schadefactor bij geotechnisch bezwijken
- $\gamma_{b,g}$ schematiseringfactor bij geotechnisch bezwijken
- $\gamma_{d,g}$ modelfactor bij geotechnisch bezwijken
- γ_s opschaaftactor

Sterkte-eis constructief bezwijken

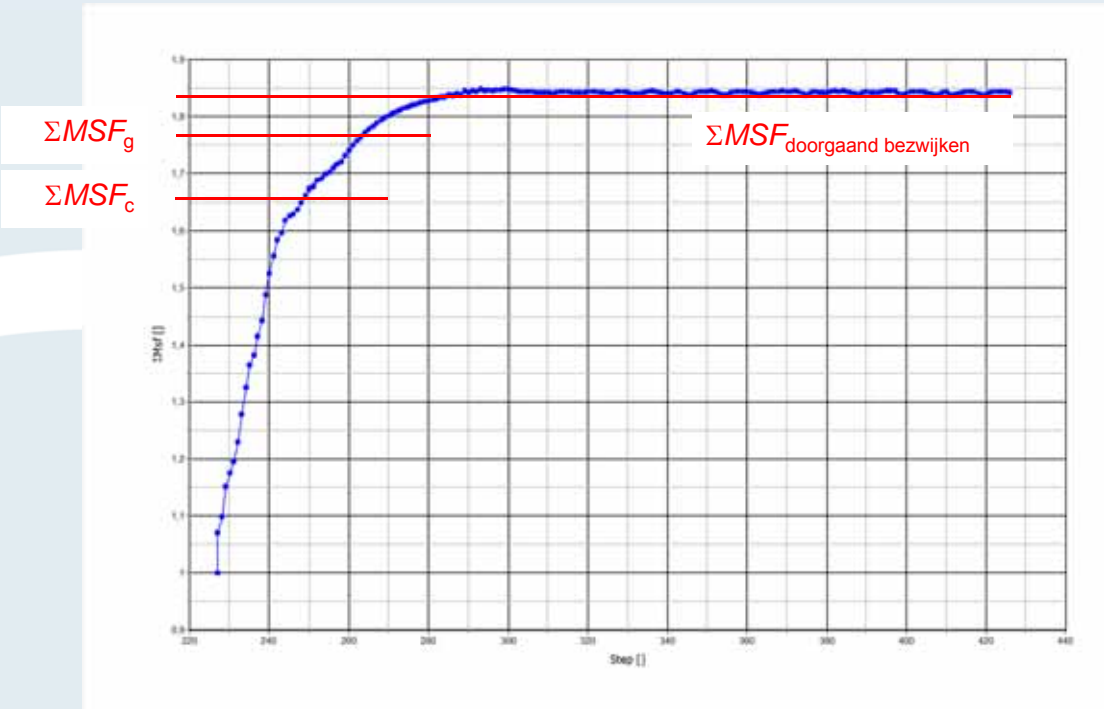
De maatgevende krachtsverdeling volgt uit die rekenstap in gedraineerde sterkte-reductie fase met opgeschaalde rekenwaarden van de schuifsterkte naar het geotechnisch bezwijken van de grond met langconstructie, waarbij er juist voldoende stabiliteit aanwezig is om aan de stabiliteitseis bij constructief bezwijken te voldoen. Dus op het moment dat de stabiliteitsfactor ΣMSF_c gelijk is aan:

$$\Sigma MSF_c = \gamma_{EEM;c} \quad \text{met} \quad \gamma_{EEM;c} = \gamma_{n;c} \cdot \gamma_{b;c} \cdot \gamma_{d;c} \cdot \gamma_s$$

waarin:

- $\gamma_{EEM;c}$ minimaal vereiste stabiliteitsfactor bij constructief bezwijken
- $\gamma_{n;c}$ schadefactor bij constructief bezwijken
- $\gamma_{b;c}$ schematiseringfactor bij constructief bezwijken
- $\gamma_{d;c}$ modelfactor bij constructief bezwijken
- γ_s opschaalfactor

Sterkte-eis



Vervormingseisen

- Bij het toetsen van de sterkte (UGT) van een gronddijk versterkt met een onverankerd stalen damwandscherm mag maximaal (een arbitraire waarde van) 2% vervorming optreden, met een maximum van 0,5 m...

Gelet op de waterkerende functie van de versterkte gronddijk zal het niet acceptabel zijn dat de kruin te veel zakt. En als enige kruindaling al zou worden toegelaten, dan dient deze zakking te worden meegenomen in de hoogtetoets.

Vragen over veiligheidsformat



Meer informatie

- ⊕ Algemeen: www.opleidingen.stowa.nl
- ⊕ Cursusmateriaal: Presentaties, video's en oefenbestanden staan op ww.wbigebruikers.deltares.nl (zie onder 'opleidingen WBI')

Presentaties ook beschikbaar via www.opleidingen.stowa.nl

Video's ook beschikbaar via http://www.stowavideo.nl/pdf/INNW/modulen_overzicht_videos.pdf
- ⊕ Vragen over cursussen: opleidingen@stowa.nl
- ⊕ Vragen over WBI-software en Generale repetitie: helpdeskGR@deltares.nl