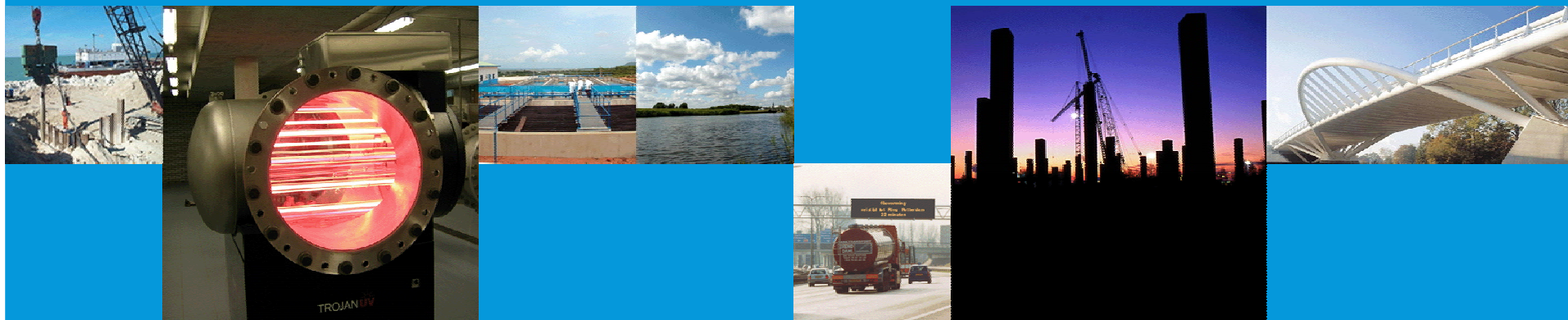


Bezwijkveiligheid boortunnels

Verslag EEM-berekeningen



R.P. Roggeveld

Inhoud

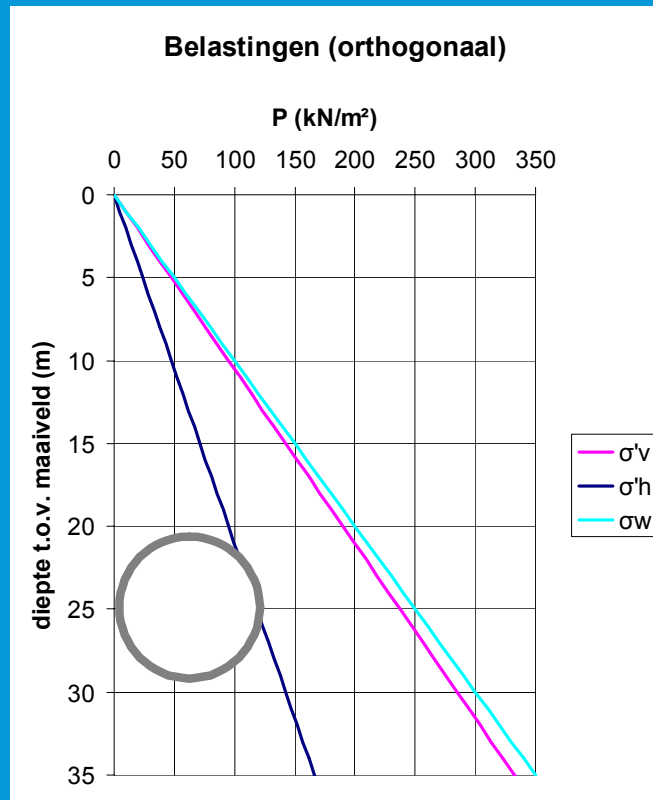
- Inkadering
- Krachtswerking boortunnel
- Veiligheidsbeschouwingen
- Modelopbouw en -uitbreiding
- Werkwijze bezwijkmechanisme
- Werkwijze volgens L500
- Resultaten bezwijkmechanisme
- Resultaten volgens L500
- Vergelijking resultaten
- Conclusies en aanbevelingen

Inkadering

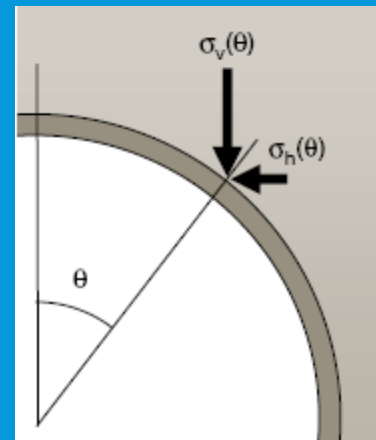
- COB (Centrum Ondergronds Bouwen)
 - L500 (ontwerprichtlijn, afgerond 2000)
 - **TC151 (bezwijkveiligheid, in afrondende fase)**
 - literatuuronderzoeken
 - laboratoriumproef
 - EEM-analyses

Krachtswerking boortunnel

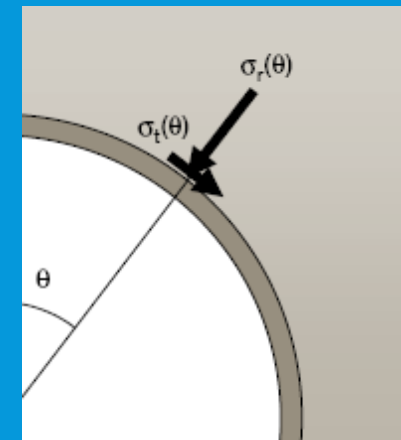
Methode Duddeck (2D)



- Belasting uit grond bepalen a.d.h.v. initiële grond- en waterspanningen => expliciet
- Stijfheid bedding bepalen a.d.h.v. grondeigenschappen => expliciet
- Duidelijk onderscheid tussen belasting- en sterkte-invloeden



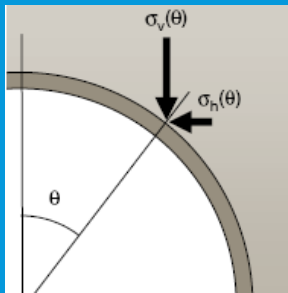
Verticale en horizontale korrelspanningen



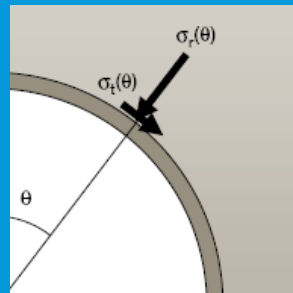
Ontbonden in radiale en tangentele belasting

Krachtswerking boortunnel

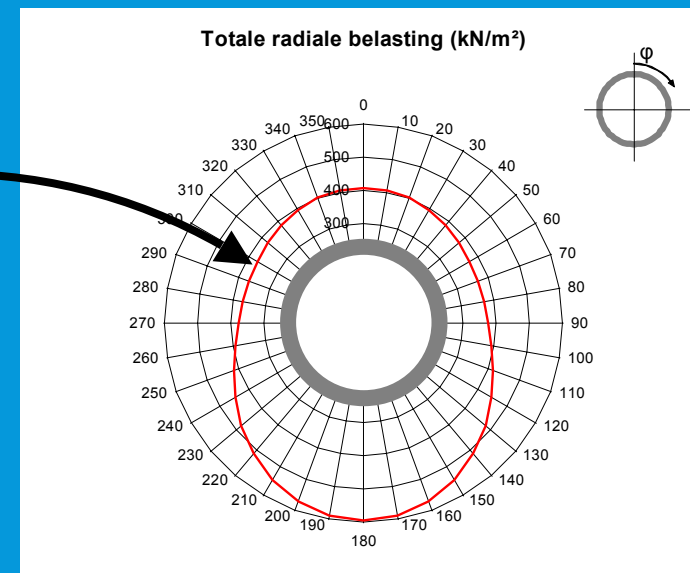
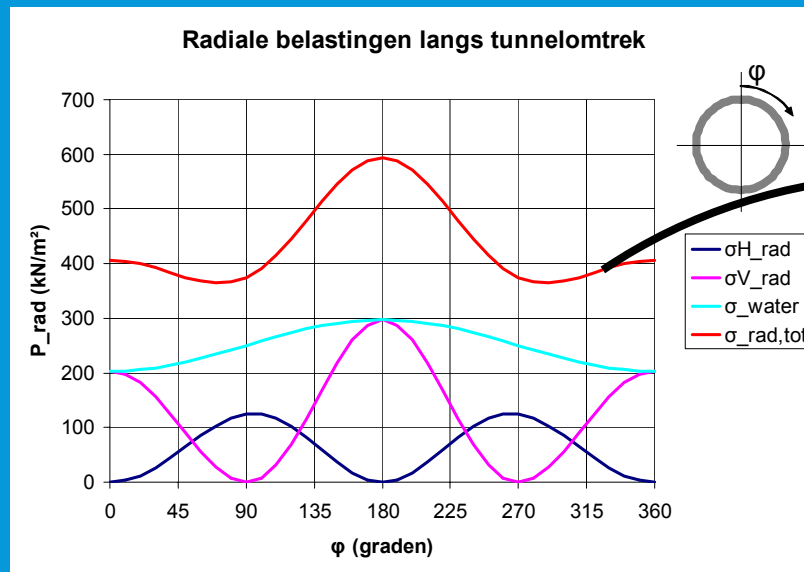
Methode Duddeck



Verticale en horizontale
korrelspanningen

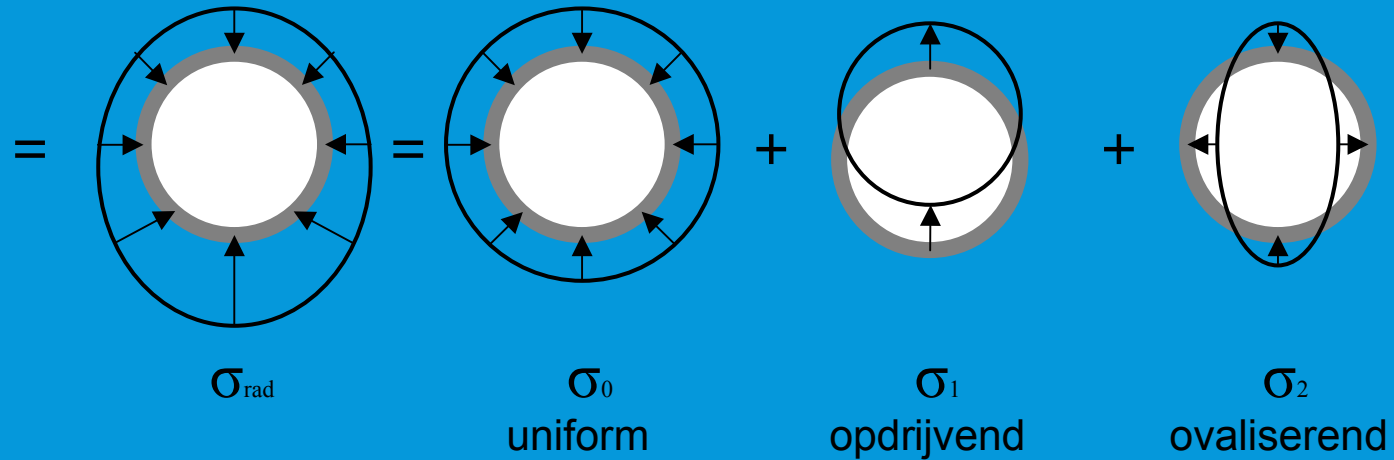
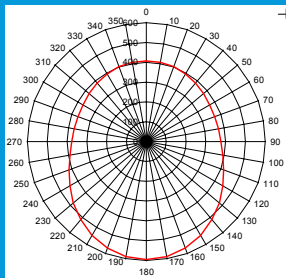


Ontbonden in radiale
en tangentele belasting

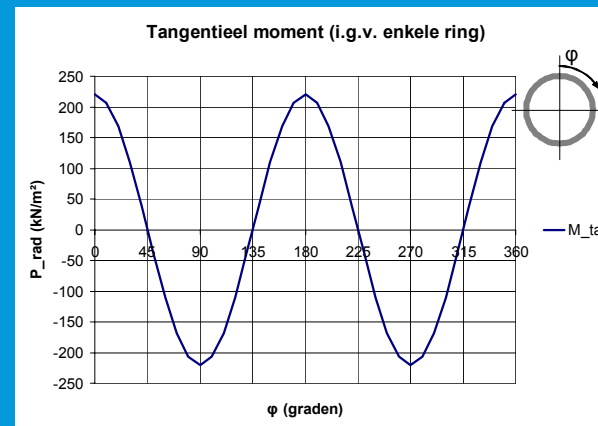


Krachtswerking boortunnel

Methode Duddeck

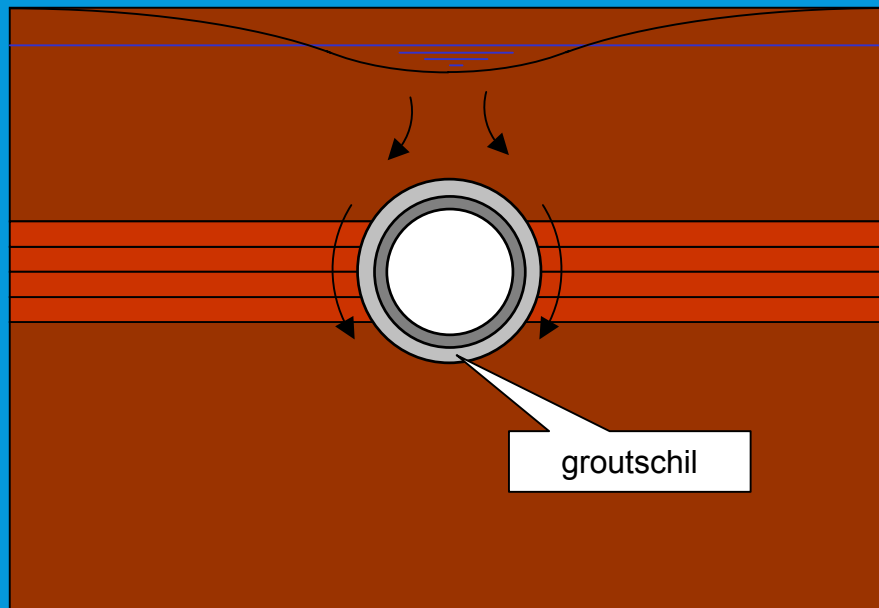


- Effectieve ovaliserende belasting afhankelijk van stijfheidsverhouding tussen tunnelling en grond
- Koppelkrachten veroorzaken grotere stijfheid lining $\Rightarrow$ trekt belasting aan + veroorzaakt zaagtandpatroon in momentenlijn



Krachtswerking boortunnel

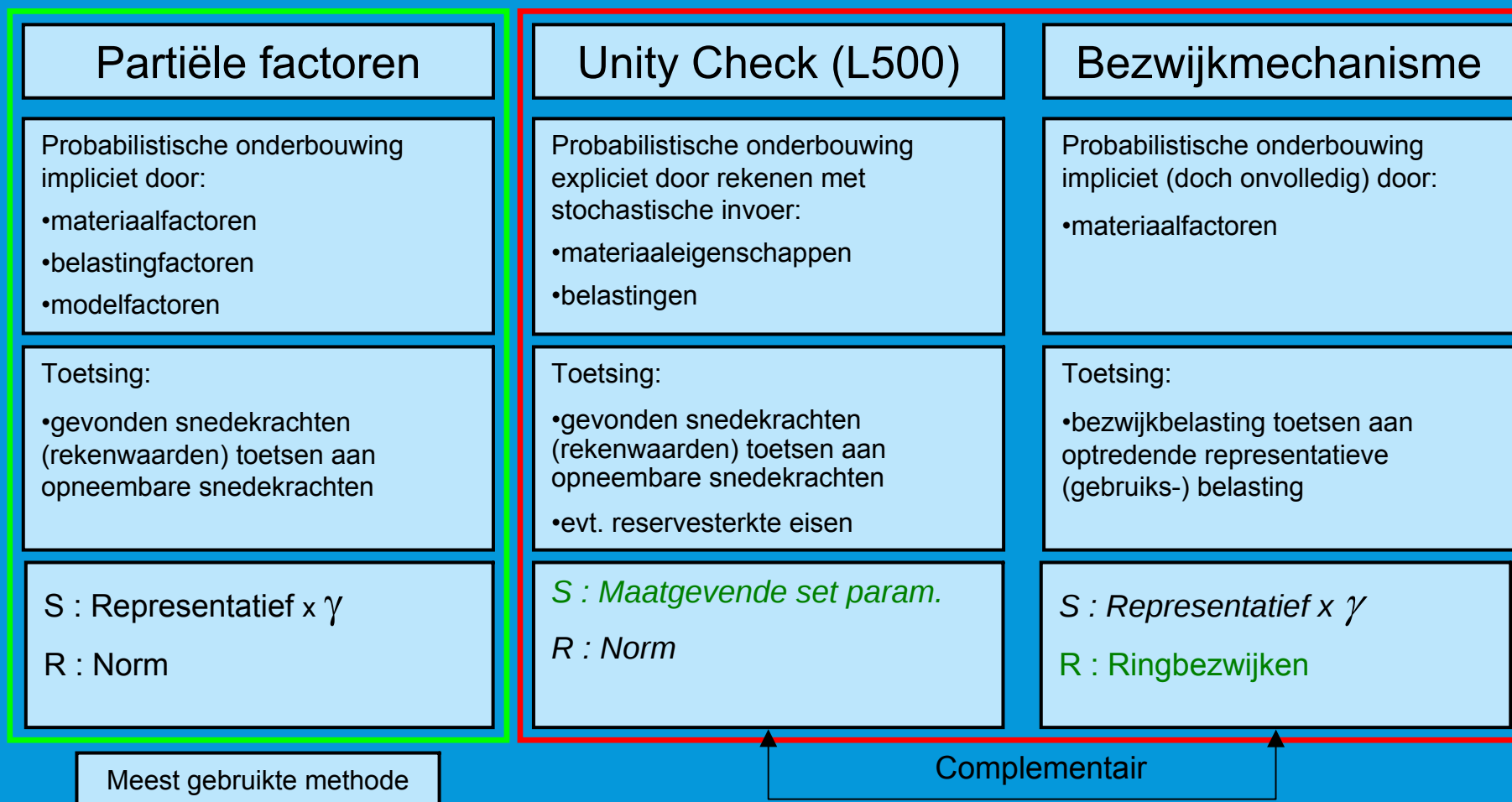
Continuümmodel (2D/3D/4D)



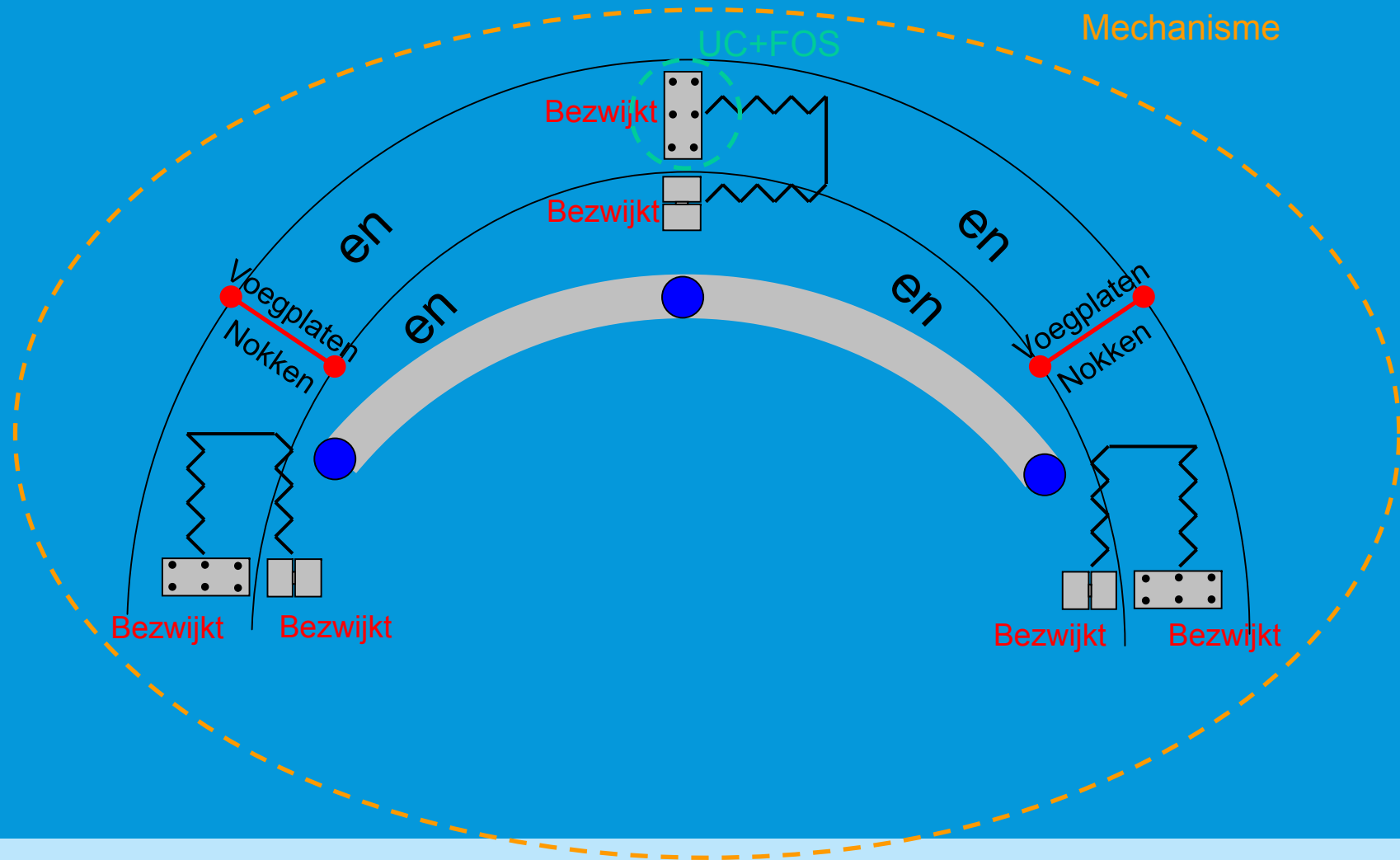
- Biedt mogelijkheid tot gebruik van complexe(re) materiaalmodellen
- 3D en 4D analyses mogelijk (bijv. omgevingsbeïnvloeding tijdens bouwphase of veranderingen in geotechnische omstandigheden)
- Omgevingsbeïnvloeding beter te voorspellen (zettingen, schade aan belendingen)
- Belasting niet expliciet te maken: belasting volgt uit interactie tussen ring en grond; belastingfactoren zinloos
- Sterkte- en belastinginvloeden niet altijd te scheiden
- daarom: L500

Veiligheidsbeschouwingen

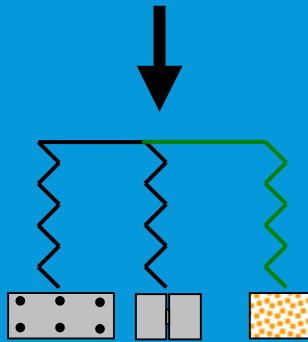
3 ontwerppraktijken:



ULS Boortunnel



ULS Boortunnel+Grond



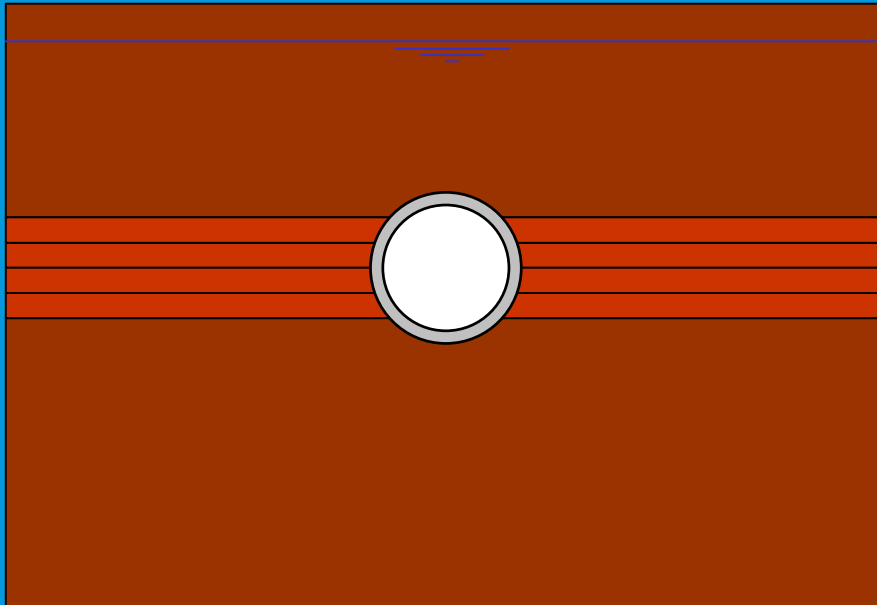
Grond kan
belasting niet
meer opnemen
door :

Bezwijken bedding

$\Delta \text{Grondbelasting}$
 $<$
 $\Delta \text{Grondondersteuning}$
(2^e Orde effecten)

Werkwijze L500

continuümmodel



- continuüm = betere benadering van de werkelijkheid
- belasting ontstaat door interactie tussen grond en constructie (de belasting dus niet expliciet te maken)
- belastingfactoren daarom niet mogelijk

Commissie L500:

- alternatieve methode voor tunnelontwerp m.b.v. continuümmodellen
- uitgangspunt: betrouwbaarheidseis (i.p.v. draagvermogen)

Veiligheidscoëfficiënt:

$$\gamma = M_u / M_d$$

Werkwijze L500

semi-probabilistische invoer

5% onder- en overschrijdingsgrens:
betrouwbaarheidsinterval $\beta = 1,64$

Bepaling rekenwaarden volgens:

$$X_{d,i} = \mu_i (1 \pm \beta V_i)$$

levert:

X	μ	V	verdeling	X_d^L	X_d^U
E'_b	$40,0 \cdot 10^3$	0,10	SN	$33,4 \cdot 10^3$	$46,6 \cdot 10^3$
σ_0	0,500	0,10	SN	0,418	0,582

5% onder- en overschrijdingsgrens:
betrouwbaarheidsinterval $\beta = 1,64$
voor $\ln(X)$

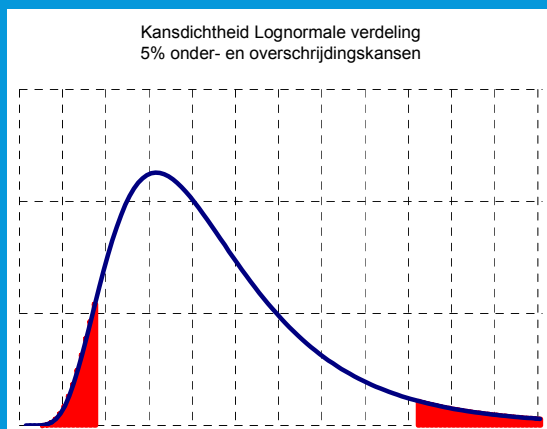
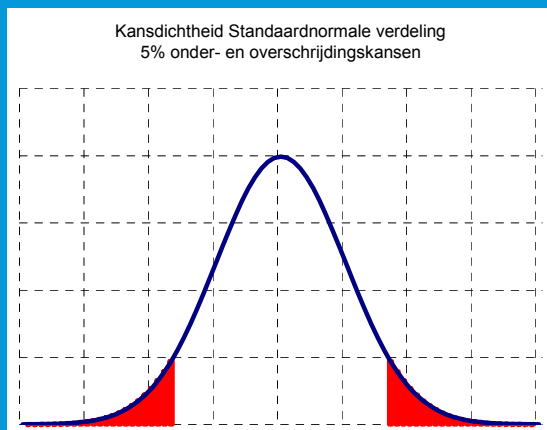
Bepaling rekenwaarden volgens:

$$X_{d,i} = \mu_i e^{(\pm \beta V_i)}$$

levert:

X	μ	V	verdeling	X_d^L	X_d^U
E_{oed}	38,0	0,25	LN	25,2	57,3

Maximaliseren van de belastingen

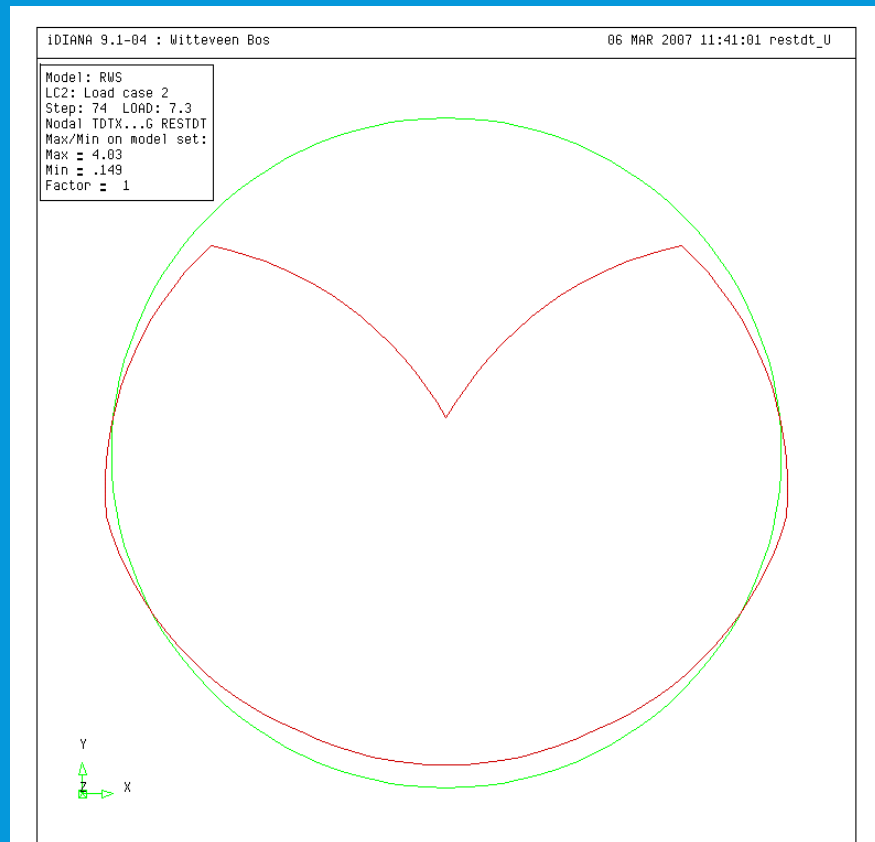


Stijfheid
Beton
Uniforme
Belasting

Stijfheid
Grond

Werkwijze bezwijkmechanisme

“snap through” (doorslagmechanisme)



- Geometrisch NL
- Fysisch NL
- Belastingen representatief
- Ovaliserende belasting (σ_2) vervolgens opvoeren tot bezwijken door instabiliteit optreedt

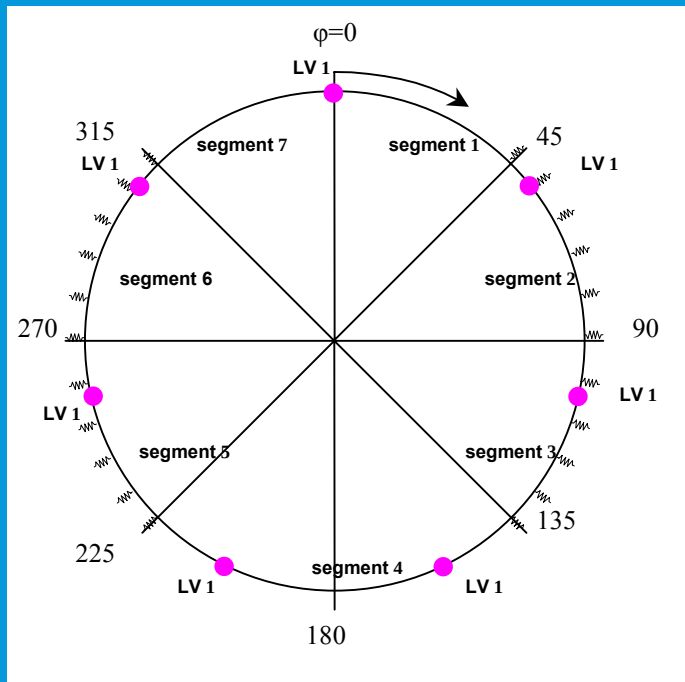
Veiligheidscoëfficiënt:

$$\gamma = \sigma_{2,u} / \sigma_{2,rep}$$

Minimaliseren van de sterkte
en/of stabiliteit

Modelopbouw en -uitbreiding

geometrie o.b.v. Botlekspoortunnel



Geometrie o.b.v. Botlekspoortunnel:

- $R = 4,50 \text{ m}$
- $h = 0,40 \text{ m}$
- $N_s = 7$
- $L_t = 0,170 \text{ m}$
- $b = 1,0 \text{ m}$
- Voegplaten/nokken (model $\rightarrow$ ongekoppeld)

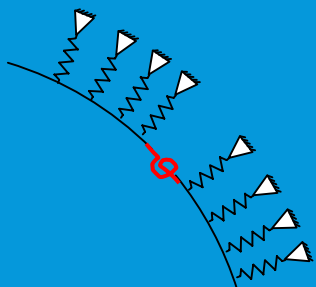
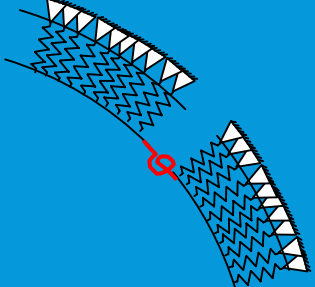
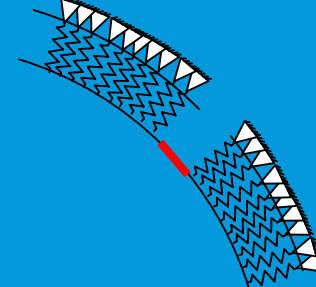
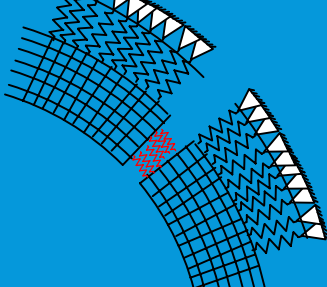
Belastingen (representatief):

- $\sigma_0 = 500 \text{ kPa}$ (uniform)
- $\sigma_2 = 50 \text{ kPa}$ (ovaliserend)

Modelopbouw en -uitbreiding

Stapsgewijze uitbreiding van balkenmodel naar plane stress model vanwege:

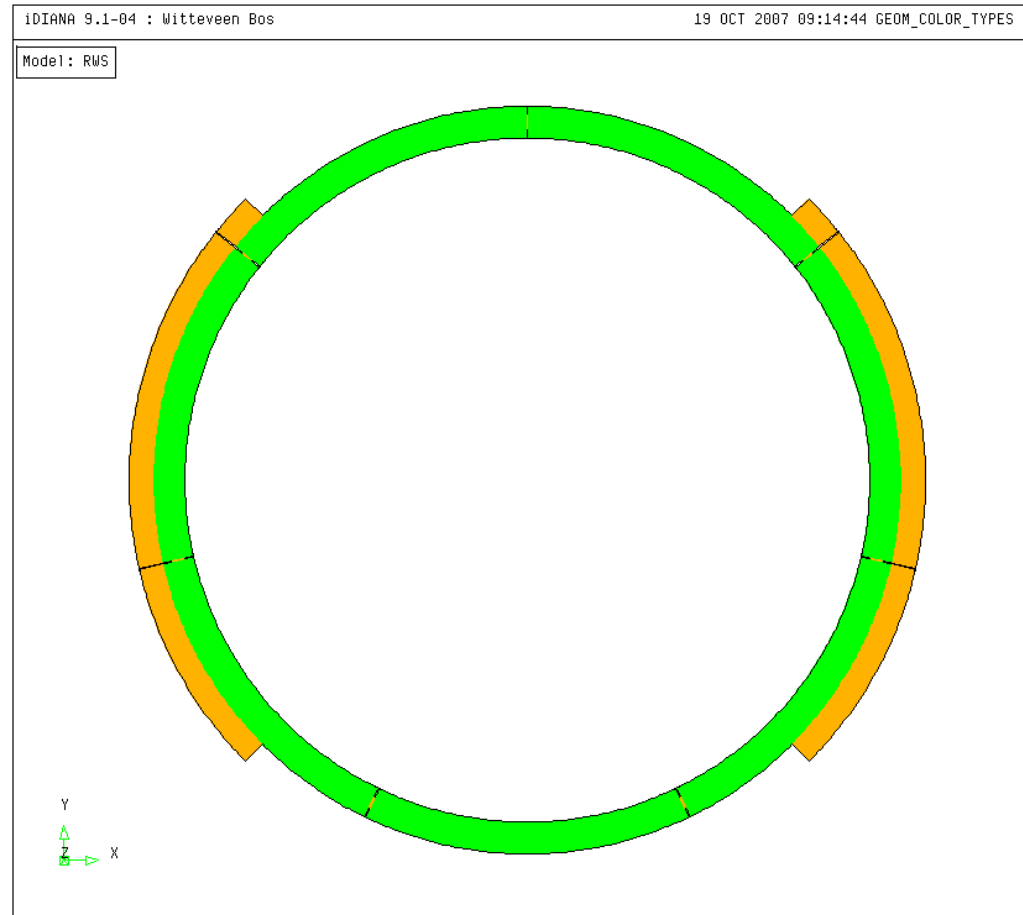
- aansluiting op eerdere onderzoeken
- vergelijking modellen
- zichtbaar maken afzonderlijke invloeden

Onderdelen	A	B	C	D
segmenten	staven	staven	staven	plane stress
langsvoegen	rotatieveren	rotatieveren	staven	interface
bedding	translatieveren	interface	interface	interface
tekening				

C en D hebben N-afhankelijke langsvoegstijfheid

Resultaten modeluitbreiding

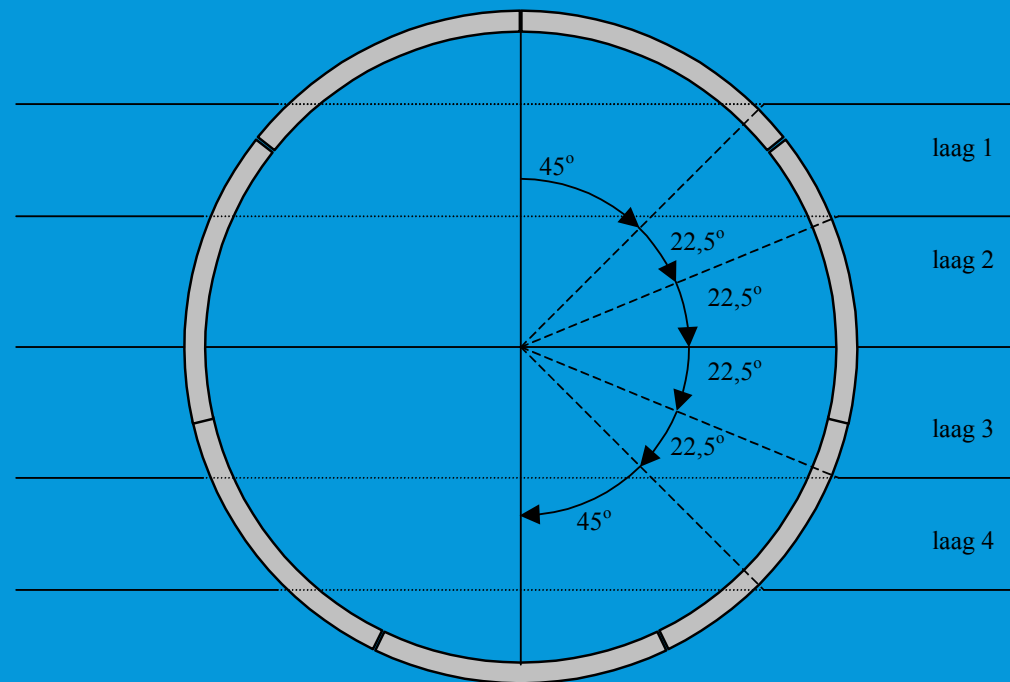
(uitsluitend gemiddelde waarden)



Resultaten bezwijkmechanismen

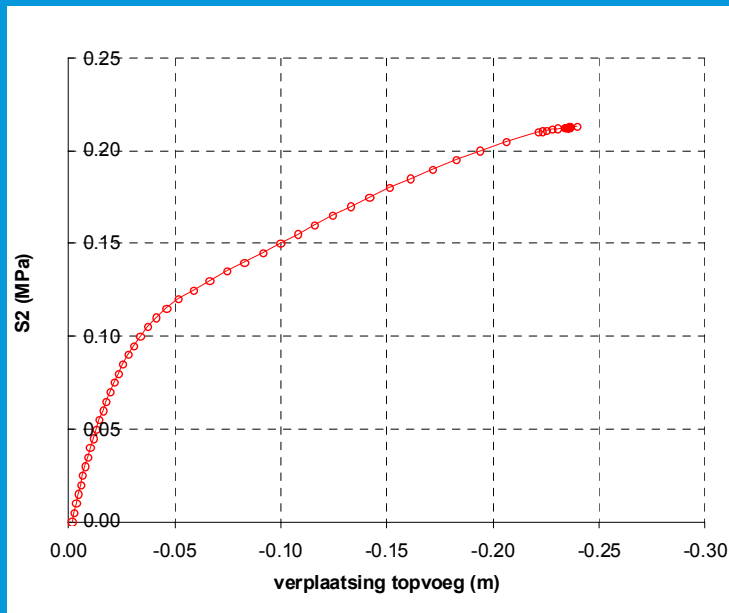
Grondgelaagtheid

t.b.v. variatie grondstijfheid



Resultaten

RUN 0 (BASIS-RUN)



Gemiddelde waarden parameters

→ $\sigma_0 = 500 \text{ kPa}$

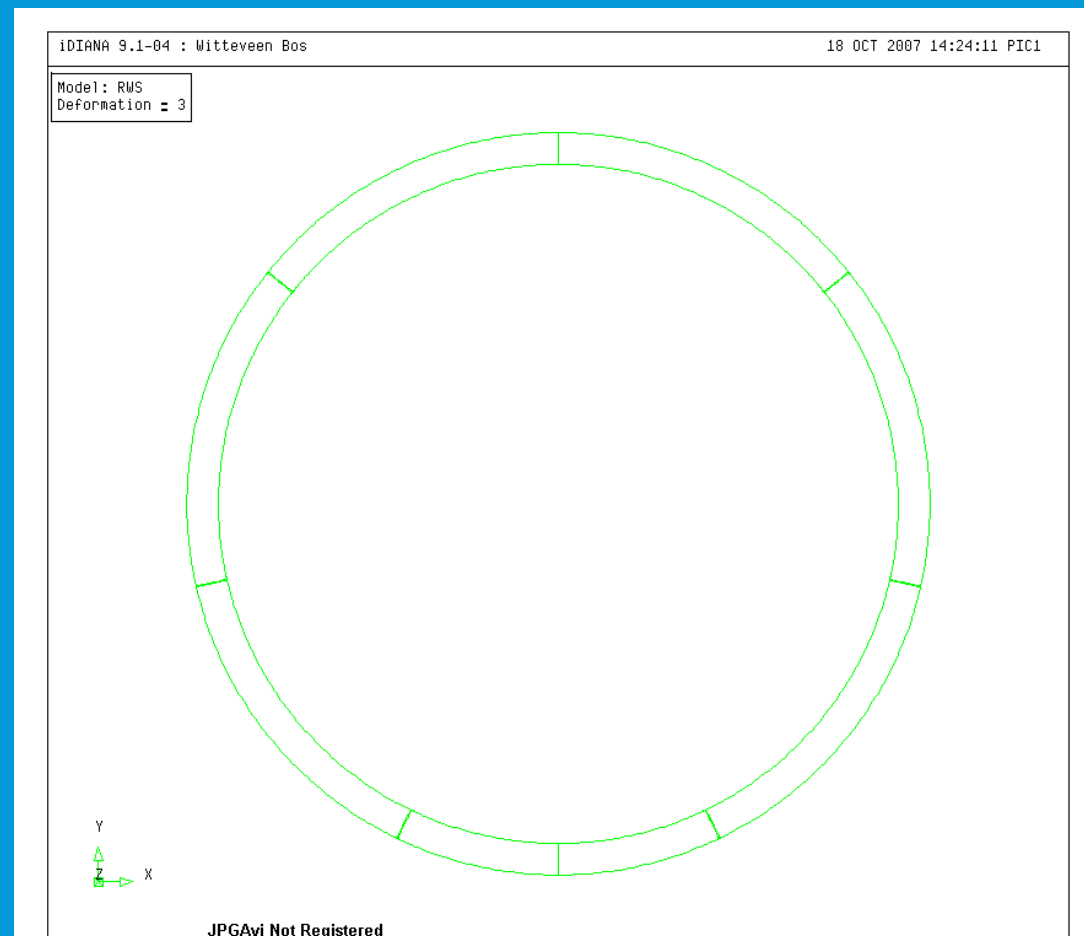
→ $E'_b = 40.000 \text{ N/m}^2$

→ $E_{\text{grond}} = 38 \text{ N/mm}^2$

	UC	SN
deelrun	$\gamma (M_u/M_d)$	$\gamma (\sigma_{2,u} / \sigma_{2,i})$
RUN 0	3,26	4,26

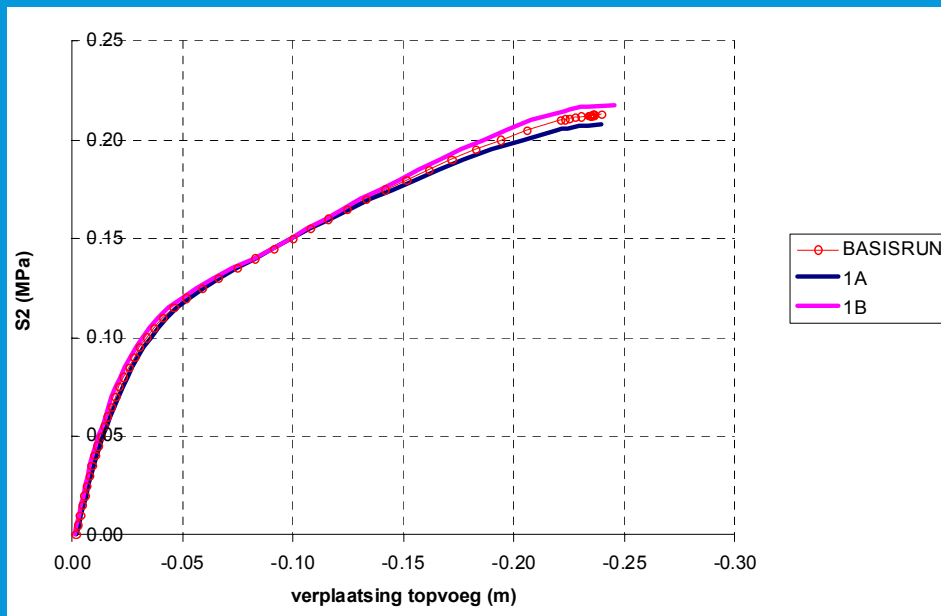
Resultaten

RUN 0 (bezwijkmechanisme)



Resultaten

RUN 1 (variatie betonstijfheid)



deelrun	E'_b (H/L)
1 A	L
1 B	H

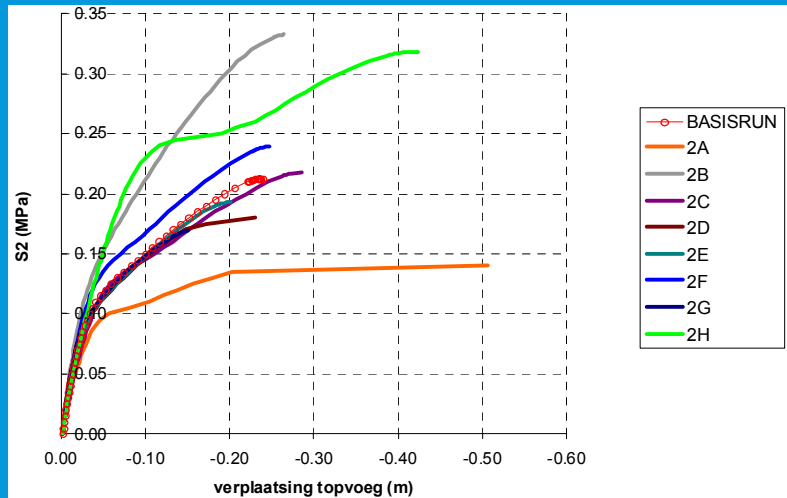
Resultaten:

deelrun	$\gamma (\sigma_{2,u} / \sigma_{2,l})$
RUN 0	4,26
1 A	4,16
1 B	4,35

- Invloed betonstijfheid blijkt zeer gering:
- starre-lichaamsrotatie van de segmenten dominant in totale vervorming

Resultaten

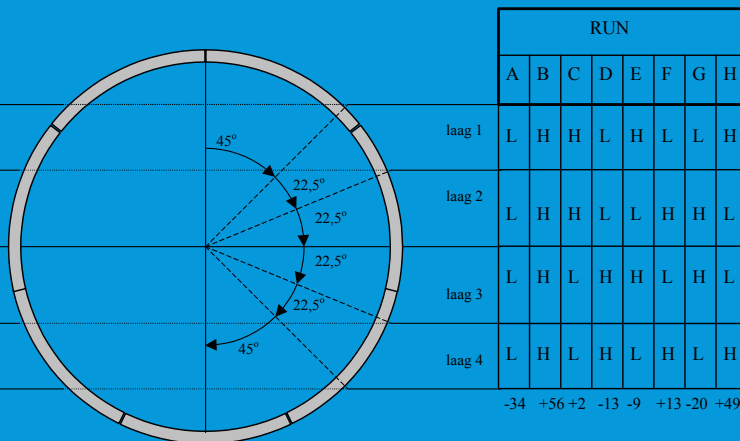
RUN 2 (variatie grondstijfheid)



Resultaten:

deelrun	$\gamma (\sigma_{2,u} / \sigma_{2,l})$
RUN 0	4,26
2 A	2,80
2 B	6,66
2 C	4,36
2 D	3,70
2 E	3,88
2 F	4,80
2 G	3,40
2 H	6,36

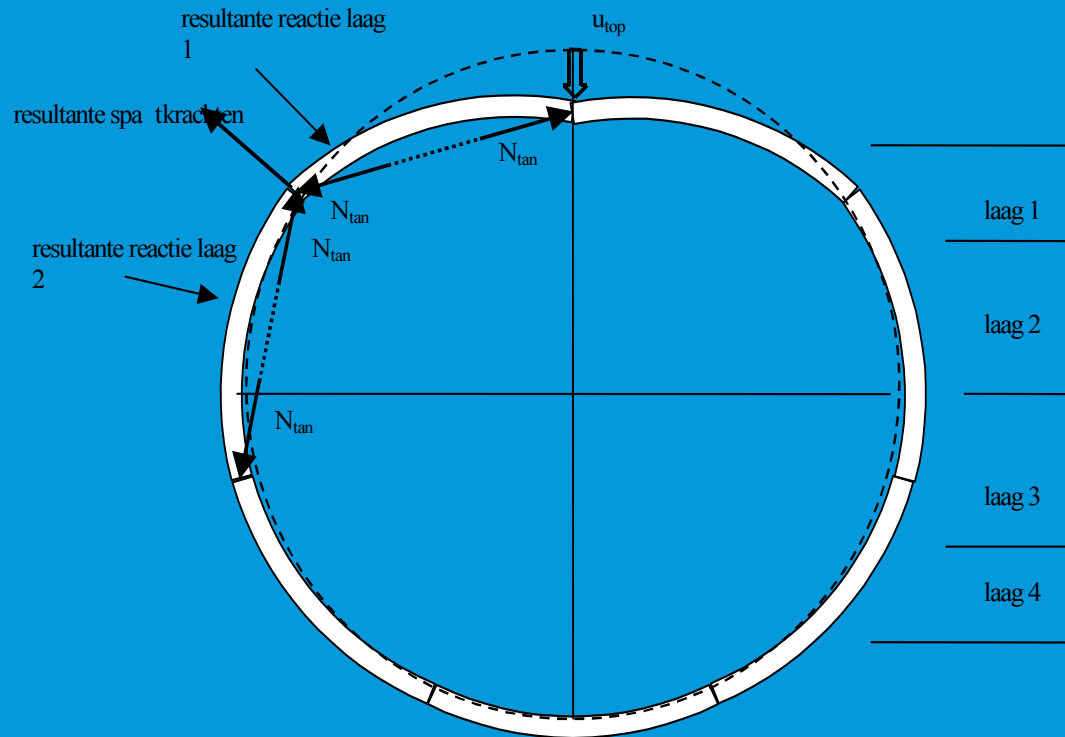
- laag 1 en 2 zijn sterk van invloed op de grootte van de bezwijklast
- laag 3 slap stelt spatmechanisme uit (volgende sheet)
- activering van ringwerking afhankelijk van stijfheidsverhoudingen grond-lining en grondgelaagdheid
- zeer grote invloed grondstijfheid op veiligheid (-34% tot +56%)



Resultaten

RUN 2 (variatie grondstijfheid)

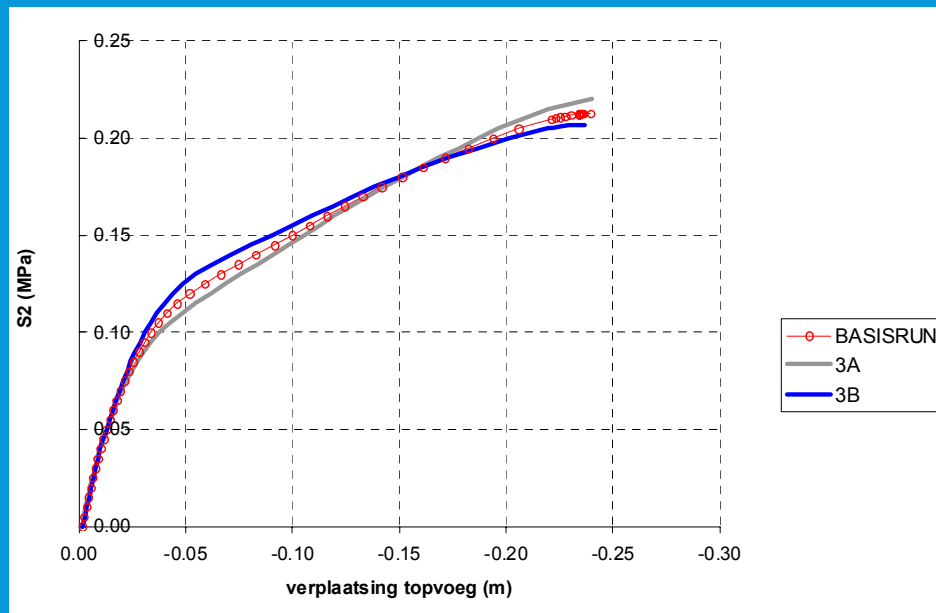
Resultaten:



- Grondlagen in bovenste helft zijn maatgevend voor de bezwijklast
- Slappe 3e laag heeft beperkte invloed wanneer gecombineerd met 1 stijve laag boven

Resultaten

RUN 3 (variatie uniforme belasting)



deelrun	S_0
3 A	L
3 B	H

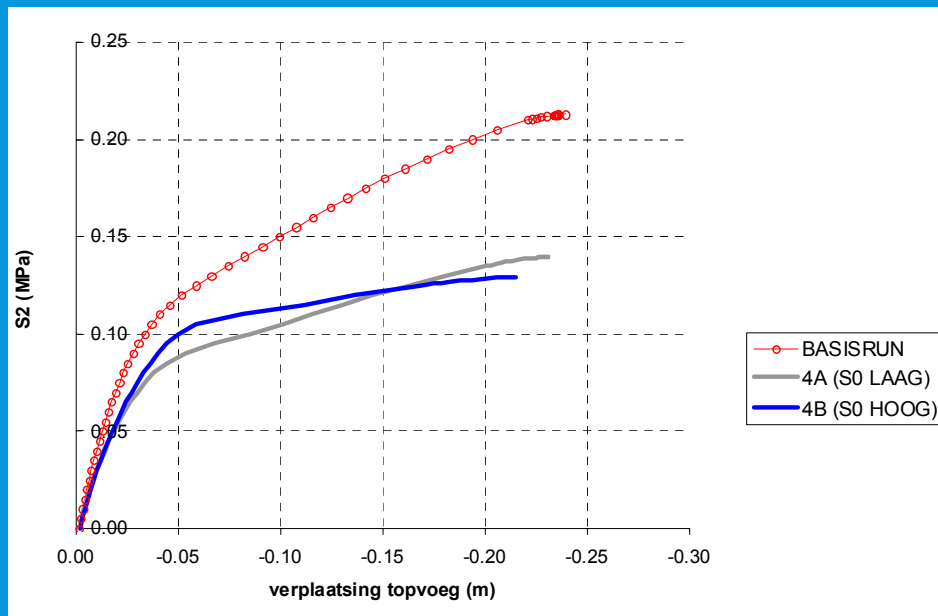
Resultaten:

deelrun	$\gamma (\sigma_{2,u} / \sigma_{2,l})$
RUN 0	4,26
3 A	4,40
3 B	4,14

- Uniforme belasting heeft in eerste instantie verstijvende werking (langere lineaire tak)
- Door geometrische niet-lineariteit ovaliseert de ring sterk: de uniforme belasting krijgt een aandrijvende werking

Resultaten

RUN 4 (maatgevende parameterset)



deelrun	E'_b	E_{oed}	S_0
4 A	L	L	L
4 B	L	L	H

Resultaten:

deelrun	$\gamma (\sigma_{2,u} / \sigma_{2,l})$
RUN 0	4,26
4 B	2,58

Laagste bezwijkbelasting uit gehele rekenexercitie:
parameterset blijkt maatgevend

Resultaten UC

RUN 1 t/m 4 (UC)

Parametervariatie:

deelrun	E'_b (H/L)
1 A	L
1 B	H

deelrun	LG1 (E_{oed})	LG2 (E_{oed})	LG3 (E_{oed})	LG4 (E_{oed})
2 A	L	L	L	L
2 B	H	H	H	H
2 C	H	H	L	L
2 D	L	L	H	H
2 E	H	L	H	L
2 F	L	H	L	H
2 G	L	H	H	L
2 H	H	L	L	H

deelrun	S_0
3 A	L
3 B	H

deelrun	E'_b	E_{oed}	S_0
4 A	H	L	L

Resultaten:

deelrun	γ (M_b/M_d)
RUN 0	3,26
1 A	3,73
1 B	3,21

deelrun	γ (M_b/M_d)
RUN 0	3,26
2 A	2,80
2 B	4,23
2 C	3,35
2 D	3,55
2 E	3,65
2 F	3,51
2 G	3,93
2 H	3,17

deelrun	M_b/M_d
RUN 0	3,26
3 A	3,14
3 B	3,64

deelrun	M_d/M_u
RUN 0	3,26
4 A	2,35

Conclusies:

- hogere E'_b geeft lagere veiligheid (meer ringactivering)
- aanzienlijke invloed E_{oed} op veiligheid (-14% tot +21%)
- hogere E_{oed} aan de flanken levert hogere veiligheid (minder ringactivering)
- hogere S_0 geeft hogere veiligheid door grotere momentcapaciteit
- combineren van maatgevende waarden levert laagste veiligheid op

Conclusies RingBezwijkMechanisme

- Door afwezigheid van koppelingen treden geen plastische momenten in gewapend betonnen doorsnede op.
- Hoge grondstijfheid en (in geringe mate) hoge betonstijfheid hebben een gunstige invloed op bezwijkbelasting. Hoge uniforme belasting daarentegen verlaagt de bezwijkbelasting.
- Bezwijkmechanisme wordt gedomineerd door bovenste ringhelft.
- Grote vervormingen veroorzaken grote toename van de normaalkracht in bovenste ringhelft, gevolgd door spatmechanisme.
- Maatgevende parametersets voor UC en ST zijn ongelijk: hogere betonstijfheid verlaagt UC-veiligheid, maar verhoogt ST-veiligheid.

Aanbevelingen

- Onderzoeken invloed ringvoegkoppelingen
(Geom. *Niet* Lineair)

