

› MAASTUNNEL

Analyses voor de beoordeling van de constructieve veiligheid | Henco Burggraaf

TNO innovation
for life

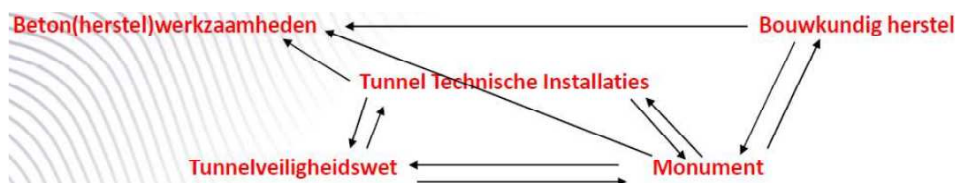
TNO innovation
for life

INHOUD

- › Maastunnel
- › Renovatie
- › Beoordeling constructieve veiligheid ondervloer
- › Vragen

4 | Maastunnel

RENOVATIE

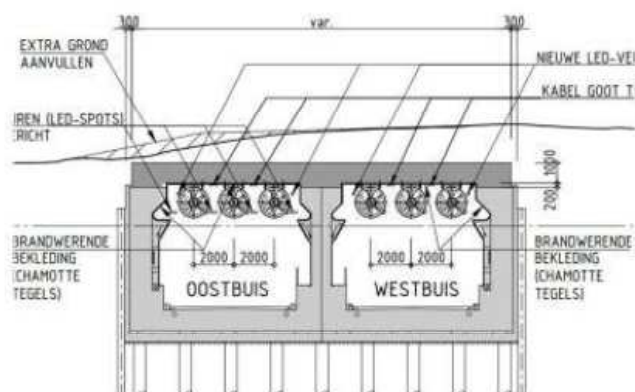


Gemeente Rotterdam
Stadsontwikkeling

5 | Maastunnel

RENOVATIE

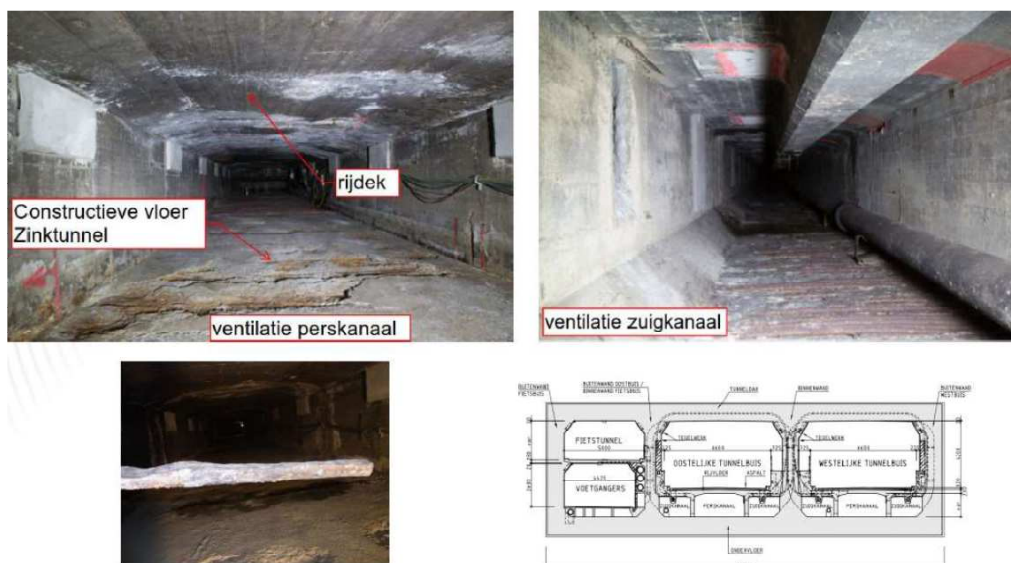
- › Belangrijkste werkzaamheden
 - › Nieuw bluswaterreservoir
 - › Verhoogde tunneldaken nabij tunnelmonden
 - › Nieuwe rijvloer riviertunnel
 - › Herstel ondervloer van de riviertunnel



Gemeente Rotterdam
Stadsontwikkeling

6 | Maastunnel

HERSTEL ONDERVLOER - AANLEIDING

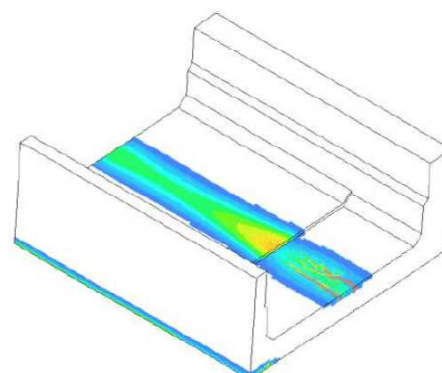
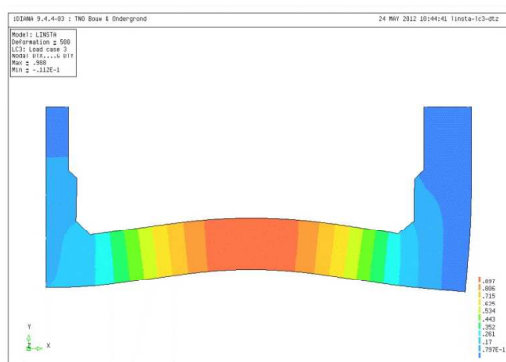
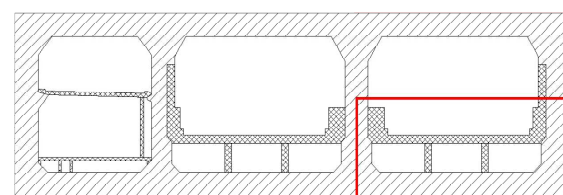


7 | Maastunnel

Gemeente Rotterdam
Stadsontwikkeling

CONSTRUCTIEVE VEILIGHEID ONDERVLOER

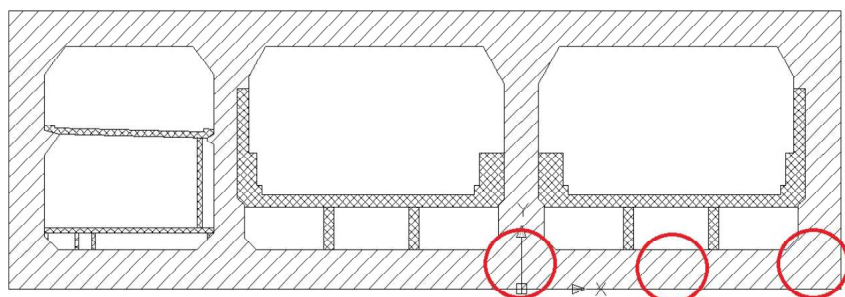
- › DIANA-berekeningen Maastunnel
 - › Beoordeling constructieve veiligheid huidige situatie: 2D-model
 - › Beoordeling scheurvorming bouwphase: 3D-model



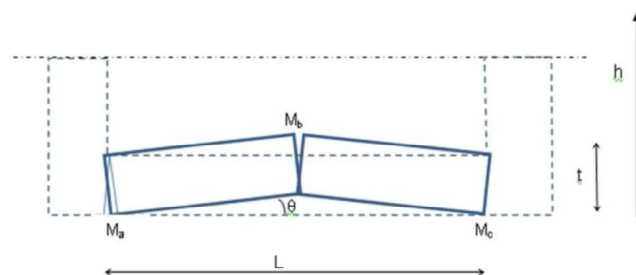
8 | Maastunnel

CONSTRUCTIEVE VEILIGHEID ONDERVLOER

- › Doel niet-lineaire berekeningen constructieve veiligheid huidige situatie
 - › Onderbouwing eerder uitgevoerde analytische beoordeling en het daarbij gehanteerde bezwijkmechanisme
 - › Beoordeling scheurwijdte en daarmee samenhangende duurzaamheid

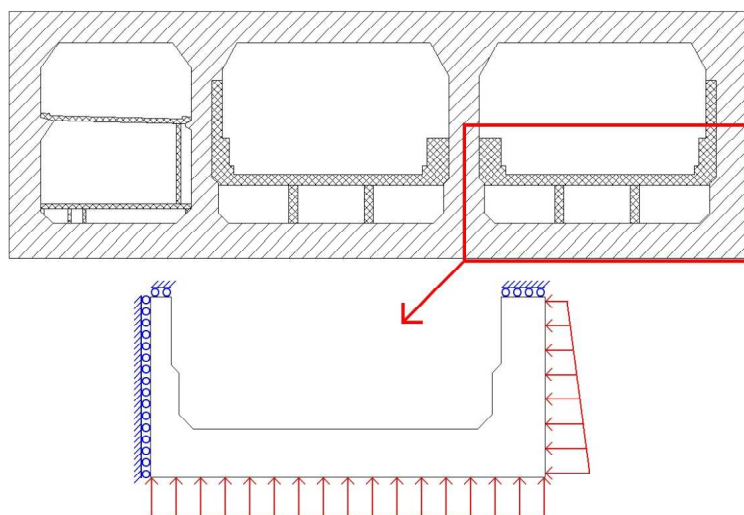


9 | Maastunnel



CONSTRUCTIEVE VEILIGHEID ONDERVLOER

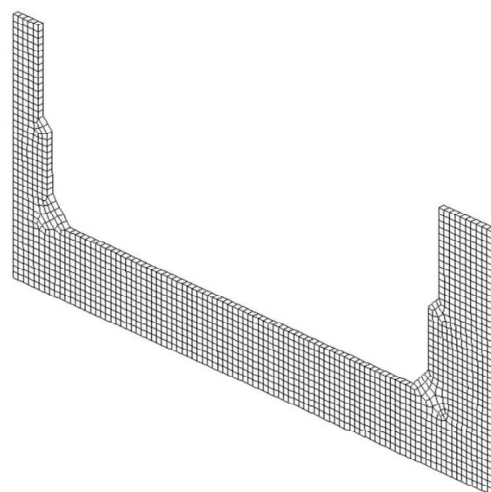
- › Geometrie, randvoorwaarden en belasting



10 | Maastunnel

CONSTRUCTIEVE VEILIGHEID ONDER VLOER

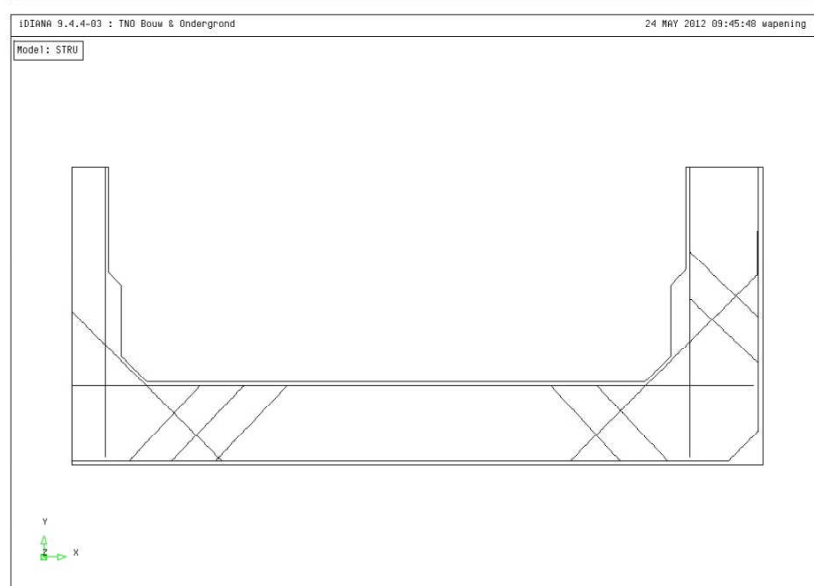
- › Elementennet
 - › Kwadratische volume-elementen
 - › 100 x 100 mm
 - › Randvoorwaarden voor plane strain



11 | Maastunnel

CONSTRUCTIEVE VEILIGHEID ONDERVLOER

- › Wapening
 - › Discreet met staafelementen
 - › Interface tussen beton en staal



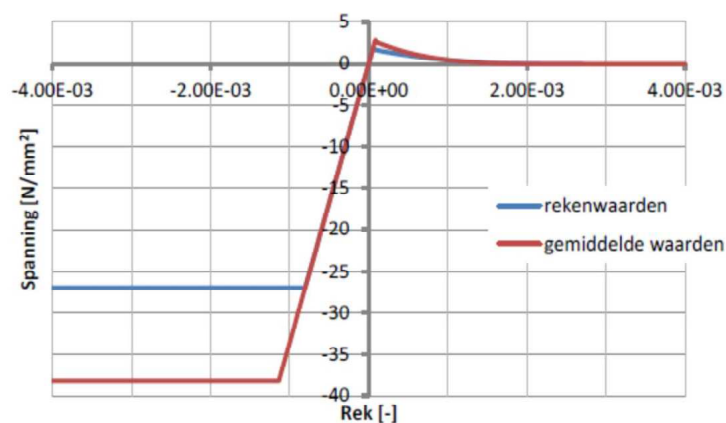
12 | Maastunnel

CONSTRUCTIEVE VEILIGHEID ONDERVLOER

- › Materiaaleigenschappen beton (B45)
 - › $E = 33500 \text{ MPa}$, $\nu = 0,15$
 - › Uitgesmeerd scheurenconcept (*total strain rotating crack*)
 - › Exponentiele softening onder trek ($f_b = 1,80 \text{ MPa}$, $G_f = 116 \text{ N/m}$)
 - › Ideaal plastisch onder druk met toetsing toelaatbare stuik ($f'_b = 27 \text{ MPa}$)
 - › Reductie druksterkte bij scheurvorming ten gevolge van laterale trekspanning
 - › Reductie dwarscontractiecoëfficiënt bij scheurvorming
- › Materiaaleigenschappen staal (Q30)
 - › $E = 200000 \text{ Mpa}$, $\nu = 0,30$
 - › Von Mises vloeicriterium ($f_{sd} = 240/1,15 = 209 \text{ MPa}$)

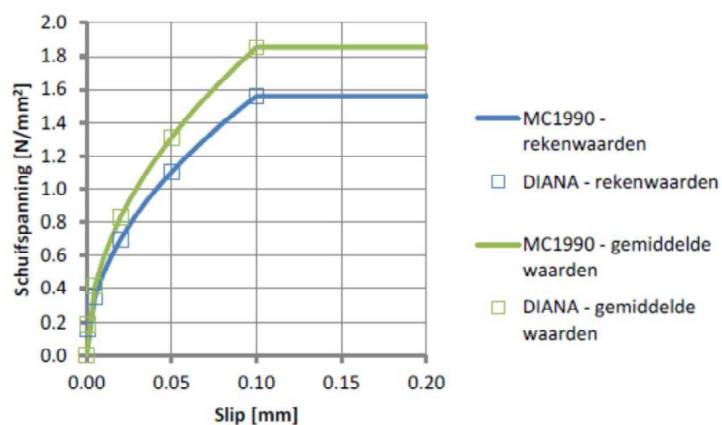
CONSTRUCTIEVE VEILIGHEID ONDERVLOER

- › Materiaaleigenschappen beton



CONSTRUCTIEVE VEILIGHEID ONDERVLOER

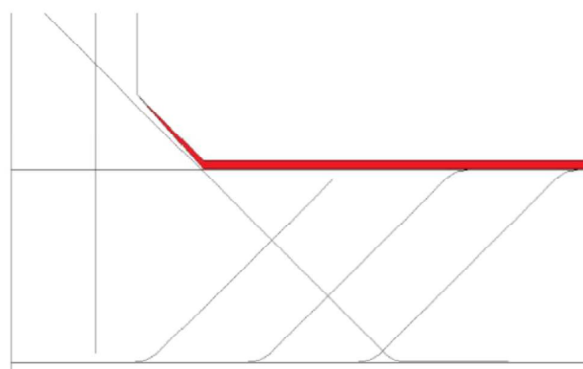
› Bond-slip eigenschappen (MC1990)



15 | Maastunnel

CONSTRUCTIEVE VEILIGHEID ONDERVLOER

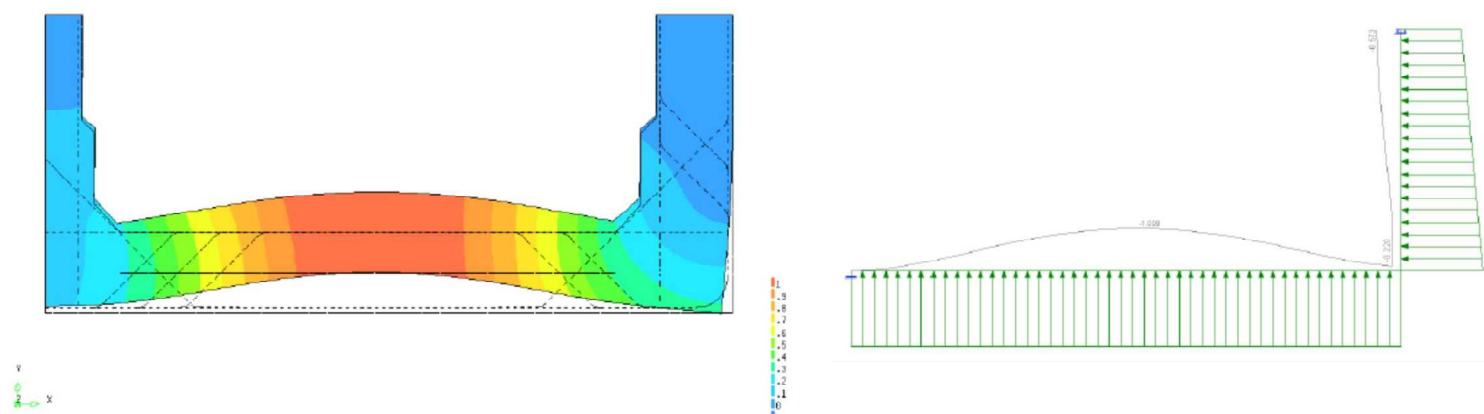
› Modelling beschadigd beton



16 | Maastunnel

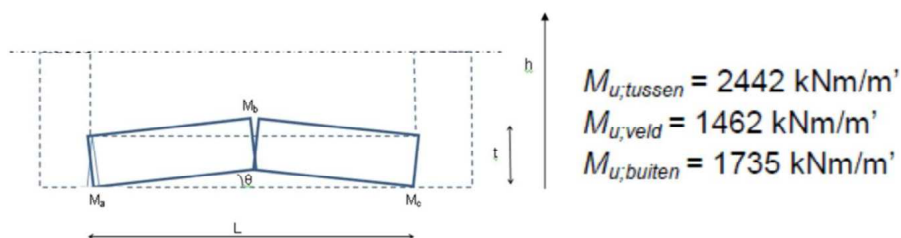
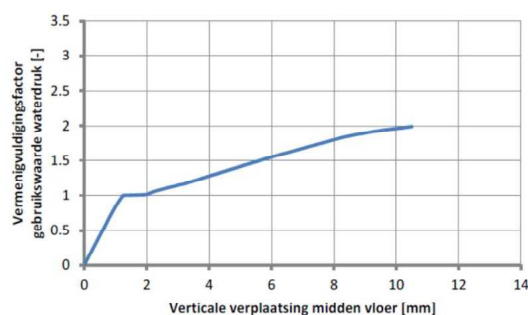
CONSTRUCTIEVE VEILIGHEID ONDERVLOER

› Modelvalidatie lineaire berekening



CONSTRUCTIEVE VEILIGHEID ONDERVLOER

› Modelvalidatie niet lineaire berekening (onthechting, 60% resterend staaloppervlak)



- › Opneembare momentensom: $1462 + (2442 + 1735)/2 = 3551 \text{ kNm/m'}$
- › Netto verticale druk gebruikstoestand: 283 kN/m/m'
- › Theoretische overspanning: $7,15 \text{ m}$ (h.o.h. vouten)
- › Optredende momentensom: $(1/8) * 283 * 7,15^2 = 1808 \text{ kNm/m'}$
- › U.c.: $1808/3551 = 0,51$

CONSTRUCTIEVE VEILIGHEID ONDERVLOER

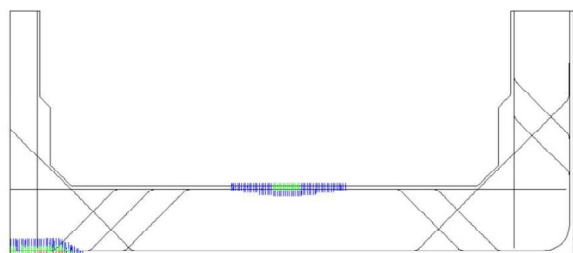
› Berekeningen

Nummer	Hechting [aanhechting/ onthechting]	Resterend staaloppervlak [%]	Sterkte [reken/ gemiddeld]
1	Aanhechting	100%	Reken
2	Onthechting	100%	Reken
3	Onthechting	60%	Reken
4	Onthechting	30%	Reken
5	Onthechting	0%	Reken
6	Onthechting	60%	Gemiddeld

CONSTRUCTIEVE VEILIGHEID ONDERVLOER

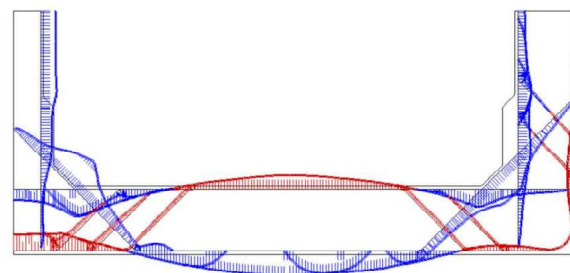
› Aanhechting, 100% staaloppervlak, rekenwaarden sterkte (gebruikstoestand)

Model: NONLIN
LC1: Load case 1
Step: 6 Limit: 1
Group: EL, EK1, EK2
Max/Min on model set:
Max = .670E+4
Min = -.332E+24



-451E-4
-225E-4

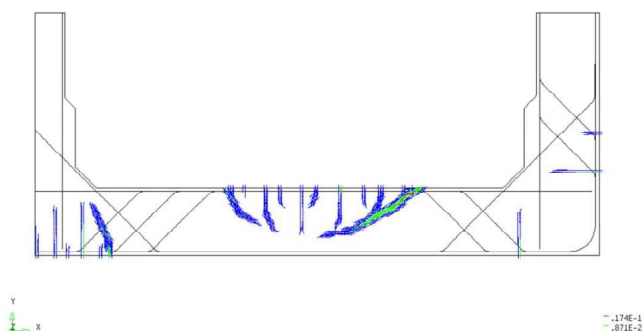
Model: NONLIN
LC1: Load case 1
Step: 6 Limit: 1
Element: RE, SXX, L, SXX
Max/Min on model set:
Max = 17.4
Min = -33.2
Factor = 16.7



CONSTRUCTIEVE VEILIGHEID ONDERVLOER

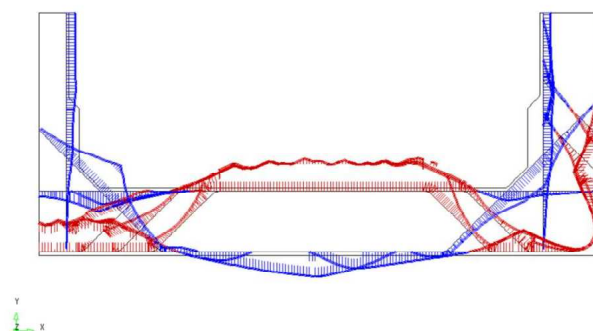
› Aanhechting, 100% staaloppervlak, rekenwaarden sterkte (bezwijken)

MODEL: NONLIN
LC2: Load case 2
Step: 309 Load: 3.03
Gauss EL EK1 EK1
Max/Min on model set:
Max = .261E+1
Min = -.618E+22



21 | Maastunnel

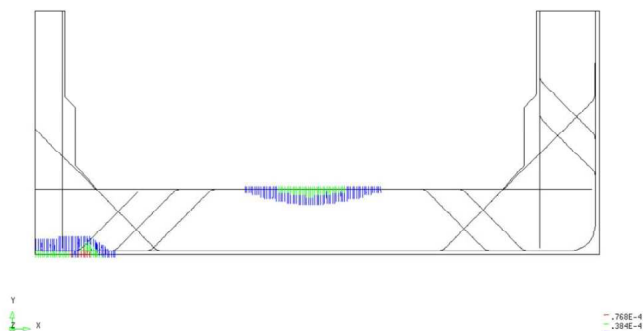
MODEL: NONLIN
LC2: Load case 2
Step: 309 Load: 3.03
Element RE.SXX.L SXX
Max/Min on model set:
Max = 211 Min = -218
Factor = 2.63



CONSTRUCTIEVE VEILIGHEID ONDERVLOER

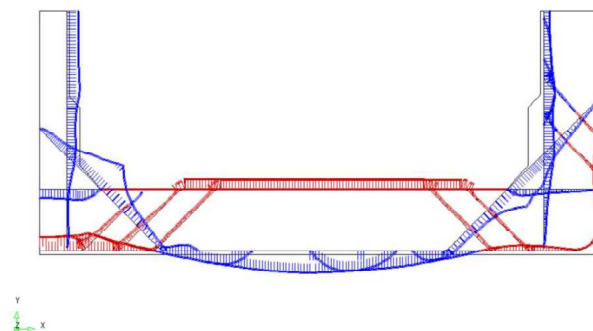
› Onthechting, 30% staaloppervlak, rekenwaarden sterkte (gebruikstoestand)

MODEL: NONLIN
LC1: Load case 1
Step: 6 Load: 1
Gauss EL EK1 EK1
Max/Min on model set:
Max = .115E+3
Min = -.254E+33



22 | Maastunnel

MODEL: NONLIN
LC1: Load case 1
Step: 6 Load: 1
Element RE.SXX.L SXX
Max/Min on model set:
Max = 21.5 Min = -41
Factor = 13.5

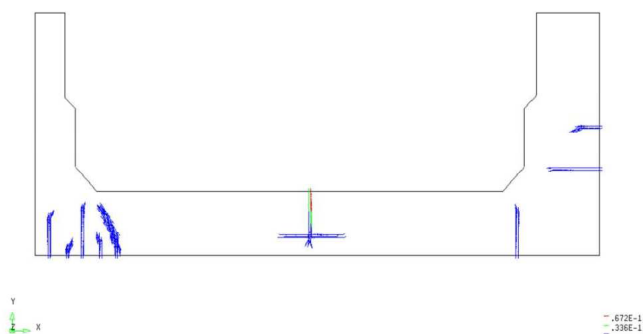


CONSTRUCTIEVE VEILIGHEID ONDERVLOER

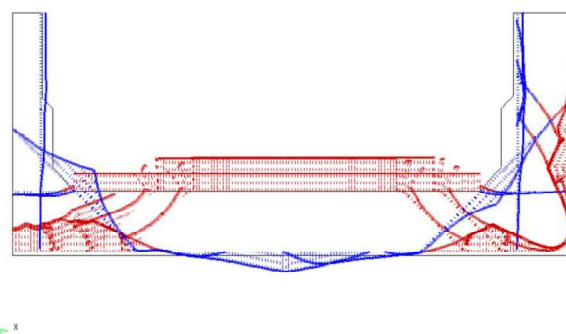
› Onthechting, 30% staaloppervlak, rekenwaarden sterkte (bezwijken)

Model: NONLIN
LC2: Load case 2
Step: 171 Load: 1.05
Gauss EL EK1 EK2
Max/Min on model set:
Max = 109
Min = -174E-23

Model: NONLIN
LC2: Load case 2
Step: 171 Load: 1.05
Element RE SX1-L SX2
Max/Min on model set:
Max = 211 Min = -109
Factor = 2.63

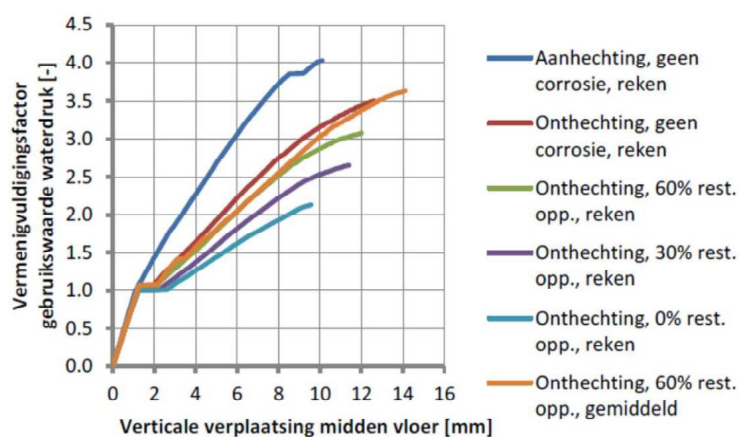


23 | Maastunnel



CONSTRUCTIEVE VEILIGHEID ONDERVLOER

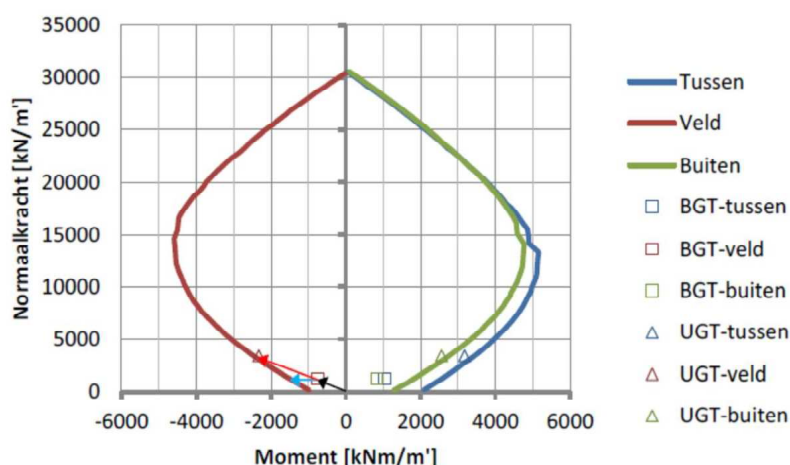
› Resultaat niet-lineaire berekeningen



24 | Maastunnel

CONSTRUCTIEVE VEILIGHEID ONDERVLOER

- › Gunstig effect normaalkracht in ondervloer (voorbeeld onthechting, 60% staaloppervlak)



25 | Maastunnel

CONSTRUCTIEVE VEILIGHEID ONDERVLOER

- › Conclusies
 - › De aangenomen bezwijkvorm in het analytische model komt goed overeen met de berekende bezwijkbelasting en bezwijkvorm in DIANA.
 - › De berekende reserve is voldoende voor de permanente situatie (geverifieerd met probabilistische berekeningen). De met de waterdruk meegroeiende normaalkracht in de tunnelvloer speelt hierbij een belangrijke gunstige rol.
 - › Bij volledige onthechting van de bovenwapening concentreert scheurvorming bovenin de tunnelvloer zich in een beperkt aantal grotere scheuren, die al na een kleine belastingverhoging vanuit de gebruikstoestand ontstaan.

26 | Maastunnel



» **BEDANKT VOOR UW AANDACHT:**

Voor meer inspiratie:
TIME.TNO.NL

TNO innovation
for life