



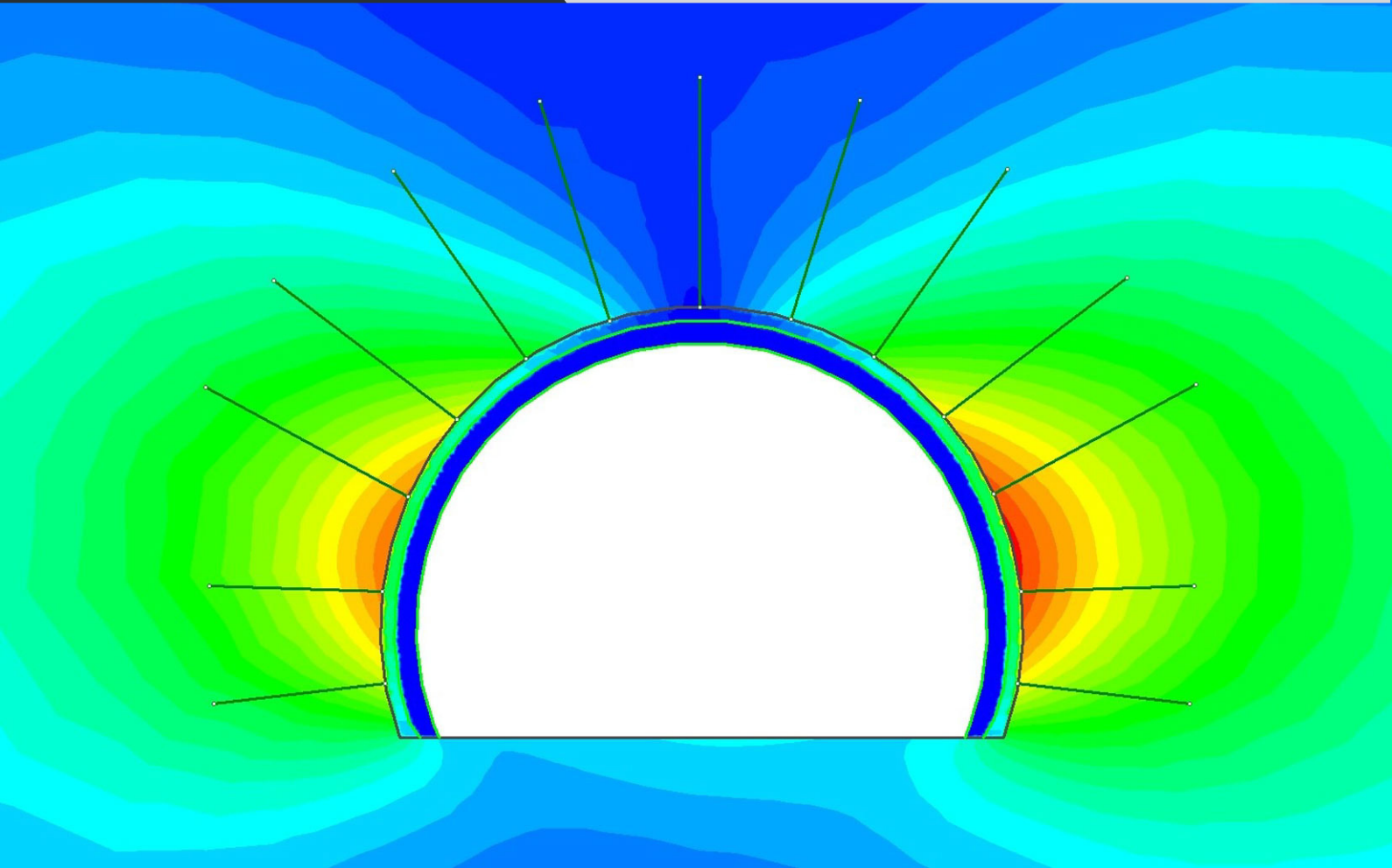
Statens vegvesen

Numerisk modellering av støp bak stuff på E16 Wøyen - Bjørnum

RAPPORT

Teknologiavdelingen

Nr. 2495



Geo- og tunnelseksjonen
Dato: 2007-10-11



Statens vegvesen

TEKNOLOGIRAPPORT nr. 2495

Tittel

Numerisk modellering av støp bak stuff på E16 Wøyen - Bjørum

Vegdirektoratet
Teknologiavdelingen

Postadr.: Postboks 8142 Dep
0033 Oslo

Telefon: (+47 915) 02030

www.vegvesen.no

Utarbeidet av

Are Håvard Høien

Dato:

2007-10-11

Saksbehandler

Are Håvard Høien

Prosjektnr:

Kontrollert av

Knut Borge Pedersen

Antall sider og vedlegg:

11

Sammendrag

Det er i denne rapporten sett på hvilke deformasjoner og spenninger en støp bak stuff på E16 Wøyen - Bjørum under Bjørumbekken vil bli utsatt for. Det er ved bruk av numerisk modellering i programmet Phase2 laget plot for deformasjoner og spenninger ved to ulike kvaliteter på berget. Beregningene viser at en slik støp vil ta opp minimalt med deformasjoner og spenninger. Det bør måles deformasjoner i den nåværende sikringskonstruksjonen for å verifisere at deformasjonene i berget har avtatt slik som forutsatt i beregningene.

Summary

This report looks at which deformations and stresses a concrete cast behind the working face at E16 Wøyen - Bjørum under Bjørumbekken will be exposed to. By using numerical modelling in the computer program Phase2, plots of deformations and stresses with two different rock qualities have been made. The calculations show that the concrete cast will be exposed for minimal deformation and stress. The deformations in the existing support construction should be measured to verify that the rock deformations have decreased as provided in the calculation.

Emneord:

bergmekanikk, ingeniørgeologi, numerisk modellering, betongutstøpning, betongstøp, utstøpning, tunnel

INNHOLDSFORTEGNELSE

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INNLEDNING | 2 |
| 2 | INNGANGSPARAMETERE | 2 |
| 2.1 | SPENNINGER..... | 2 |
| 2.2 | BERGKVALITET | 3 |
| 2.3 | SIKRING..... | 3 |
| 3 | MODELL | 3 |
| 3.1 | DEFORMASJONER I BERG | 3 |
| 3.2 | OPPBYGGING AV MODELL | 3 |
| 4 | BEREGNINGER | 4 |
| 4.1 | Q = 8 | 5 |
| 4.2 | Q = 4 | 7 |
| 5 | ANBEFALINGER/SLUTTKOMMENTAR | 9 |
| | REFERANSER | 10 |
| | VEDLEGG 1 – INNGANGSVERDIER | 11 |

1 Innledning

Det er i denne analysen sett på hvilke belastninger og deformasjoner en betongutstøpning bak stuff under Bjørumbekken i Berghofftunnelen ved E16 Wøyen – Bjørum vil bli utsatt for. Tunnelen har to løp i T9,5 profil med utvidelse for tung sikring. Beregningene er utført i programmet Phase2 fra RocScience. Dette er et verktøy for å anslå spenninger, deformasjon, sikring og andre bergmekaniske forhold.

Det er i området en bergoverdekning med en sandstein/kalkmergel i overkant av 5 meter for begge løp. Det er i analysen tatt utgangspunkt i profil 6838. I tunnelen er det kartlagt en Q-verdi på 8 under driving. På toppen ligger en pakke med silt og grus med tykkelse 9-11 meter. Verdier for overdekning av berg og løsmasse er en sammenstilling av kjerne- og fjellkontrollboringer utført av NGI og sonderboringer under driving utført av Veidekke (entreprenør).

På grunn av korte salver, kontursprengning, middels godt berg og omfattende sikring er profilet/buen tilnærmet ideell. Beregningen er generell for begge løp og kan anses som en saksstudie for andre tunneler med lignende forhold.

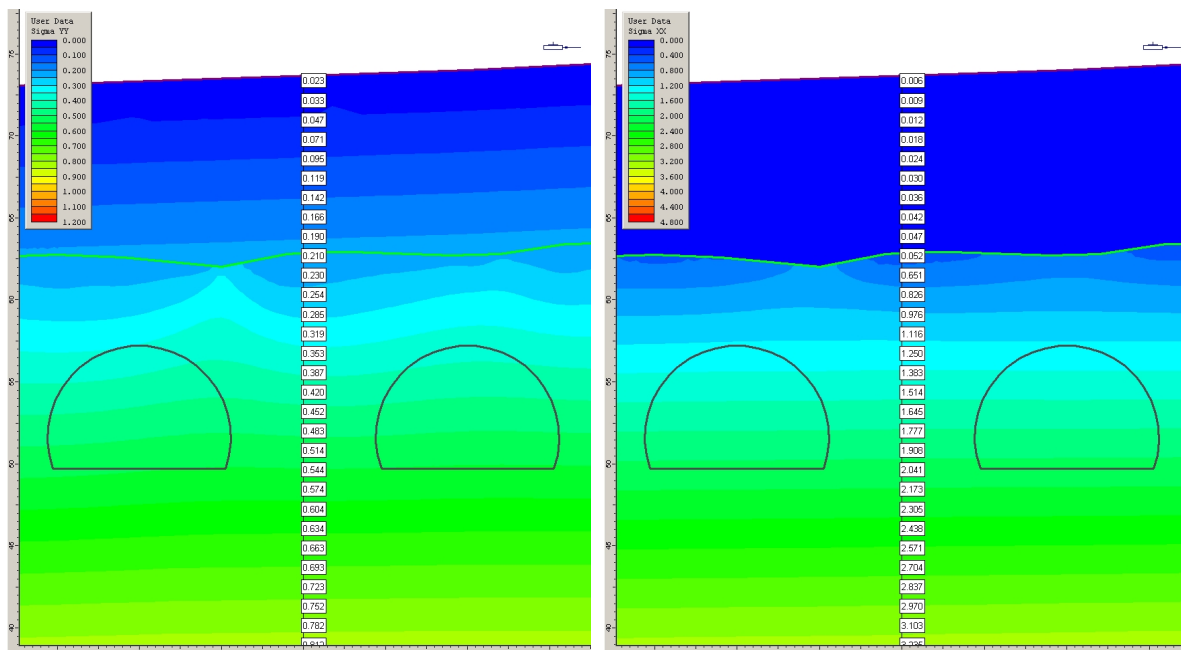
2 Inngangsparametere

Bakgrunn om valg av inngangsparametere finnes i en parameterstudie av samme område (ikke vedlagt). Inngangsparametere for berg og betong i denne modelleringen kan sees i vedlegg 1.

2.1 Spenninger

For vertikal og horisontalspenninger i denne modellen er det valgt $\sigma_v = 0,45$ MPa og $\sigma_h = 1,6$ i et fast spenningsfelt (endrer seg ikke med dybden).

Bakgrunnen for dette valget er vist i figur 2.1 og viser σ_h og σ_v som funksjon av dybde. Valget av inngangsspenninger (for σ_h) er erfaringsdata fra Gjøvikhallen.



Figur 2.1: Vertikal (t.v.) og horisontalspenninger (t.h.) som funksjon av dybde. Det er valgt en verdi midt mellom tunnelene for å få en gjennomsnittsverdi til bruk i analysen. Verdier i MPa. Grønn linje er skille mellom løsmasser og berg. Lilla linje er overflaten.

2.2 Bergkvalitet

Berget i dette området av tunnelen er kartlagt til å være $Q = 8$. Det er i denne beregningen gjort modellering med to forskjellige Q -verdier for å ta høyde for lokale variasjoner. Det er valgt $Q = 8$ som klassifiseres som middels godt berg og $Q = 4$ som ligger på grensen mellom middels godt berg og dårlig berg.

2.3 Sikring

Sikringen av tunnelen er gjort med 6 meter lange $\text{Ø}32$ mm spilingbolter hver 2,5 meter. Disse er hengt opp med fjellbånd og korte opphengsbolter. Det er i tillegg sikret med 4×3 meter CT-bolt i veggene og 9×4 m CT-bolt i vederlag og heng hver 1,25 meter. I tillegg er det et lag med fiberarmert sprøytebetong på mellom 24 og 40 cm. I modellen er det brukt 24 cm. Spilingbolter er vanskelig å modellere og er ikke tatt med i beregningene.

Tykkelsen på betongutstøpning i modellen er 40 cm.

For å billedgjøre spenningene og deformasjon i sprøytebetong og eventuell utstøpning er disse modellert som elementer.

3 Modell

3.1 Deformasjoner i berg

Ved driving av tunnel skjer en del av deformaşjonene med en gang bergrommet er sprengt ut og en del i tiden etter. Ved numeriske modelleringer er det vanlig å regne med at 50 % av deformaşjonen skjer med en gang og resten av deformaşjonen skjer over tid (primær og sekundær deformaşjon).

3.2 Oppbygging av modell

Modellen er delt opp i 3 steg (se figur 3.1):

Steg 1

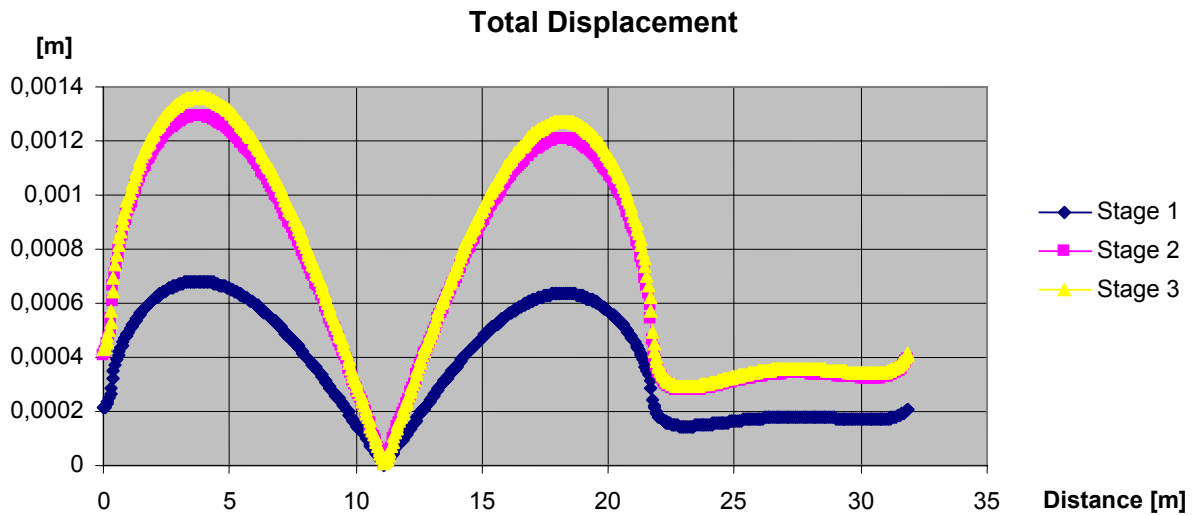
Tunnelen blir drevet ut og 50% av deformaşjonene blir utløst.

Steg 2

Tunnelen blir sikret og 45% av deformaşjonen blir utløst.

Steg 3

Det blir satt inn en betongstøp og de resterende 5% av deformaşjonene blir utløst.



Figur 3.1: Total deformasjon langs profilet i de forskjellige steg, uten sikring og Q-verdi lik 8. 0 meter er i nederst i venstre hjørne og det går med klokka.

4 Beregninger

Det er gjort to gjennomføringer av beregningene med Q-verdi lik 8 (*figur 4.1 - 4.4*) og Q-verdi lik 4 (*figur 4.5 - 4.8*). Dette er for å ta hensyn til lokale variasjoner i bergarten.

Plotene som blir presentert er deformasjoner i de forskjellige stegene og største hovedspenning etter at siste sikring (betongutstøpning) er satt inn.

4.1 Beregning ved $Q = 8$

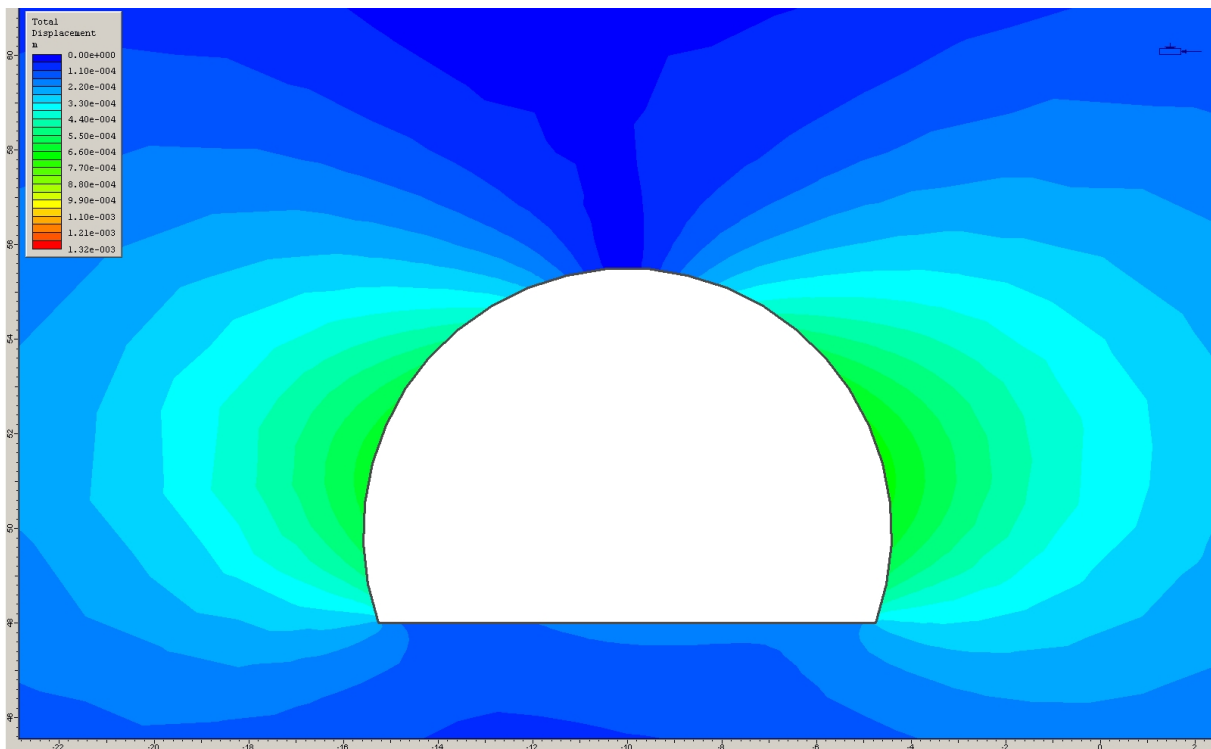


Fig 4.1: $Q = 8$ - Deformasjoner – Steg 1

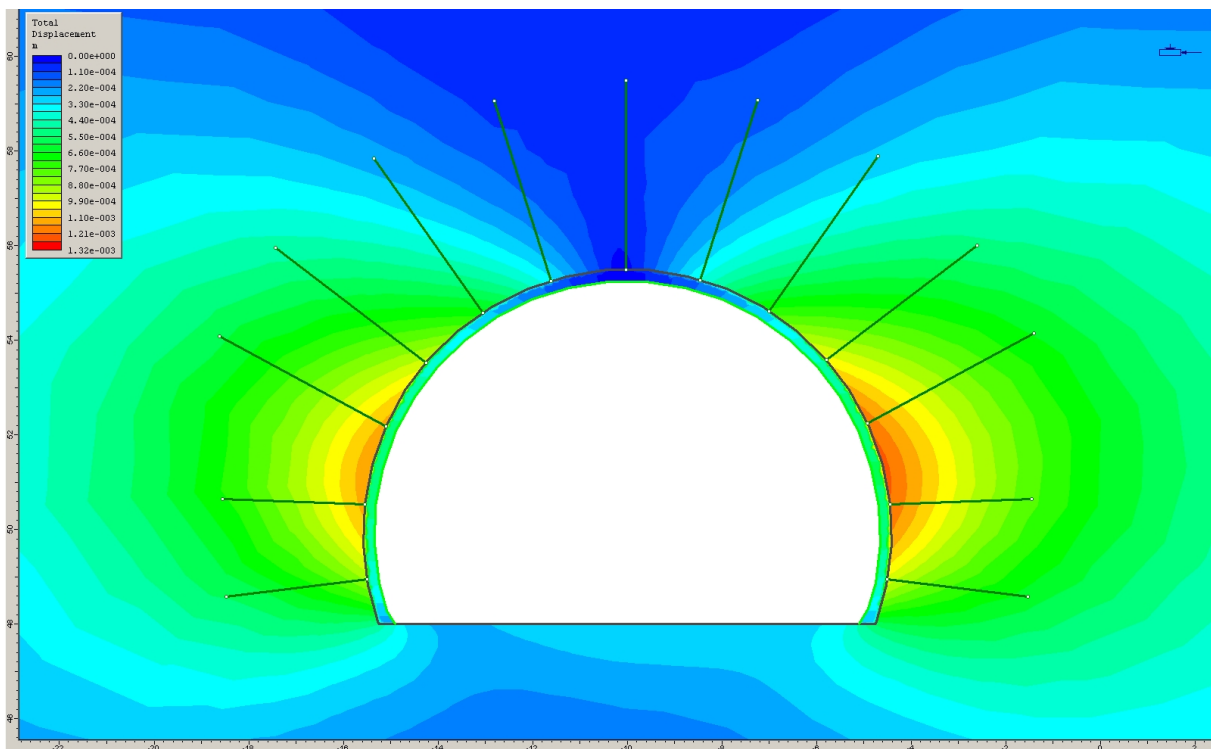


Fig 4.2: $Q = 8$ - Deformasjoner – Steg 2

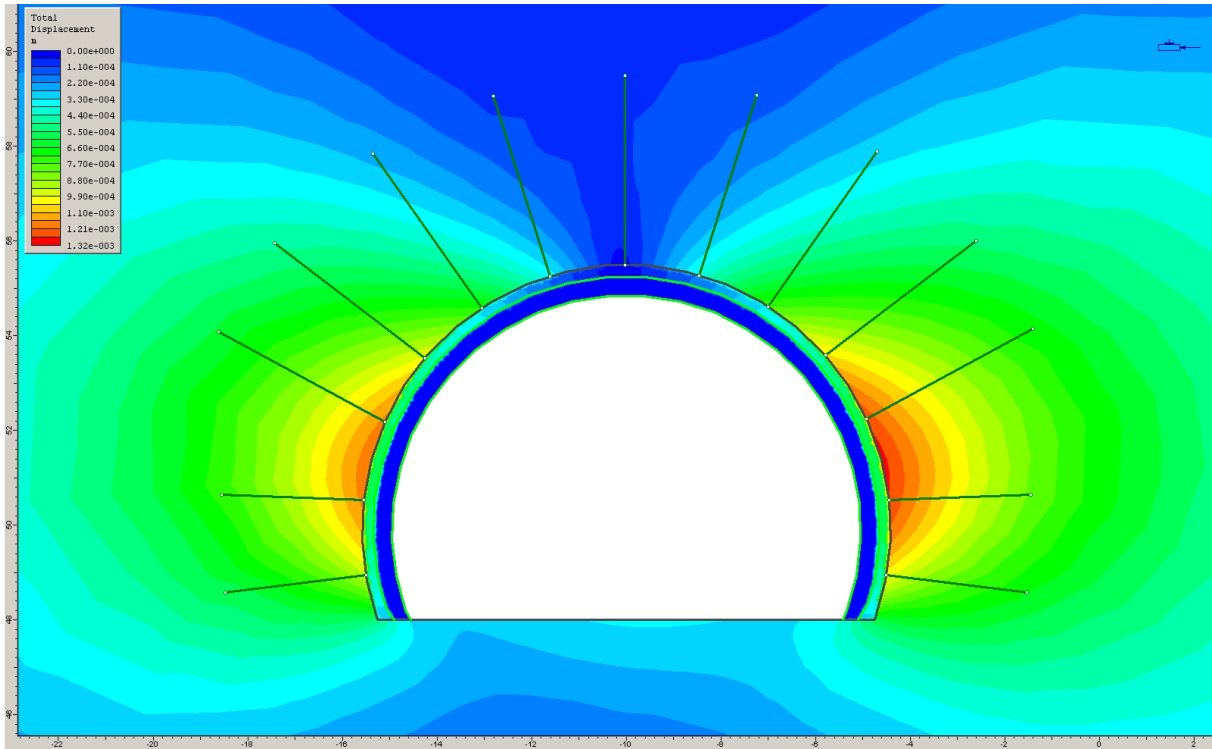


Fig 4.3: Q = 8 - Deformasjoner – Steg 3

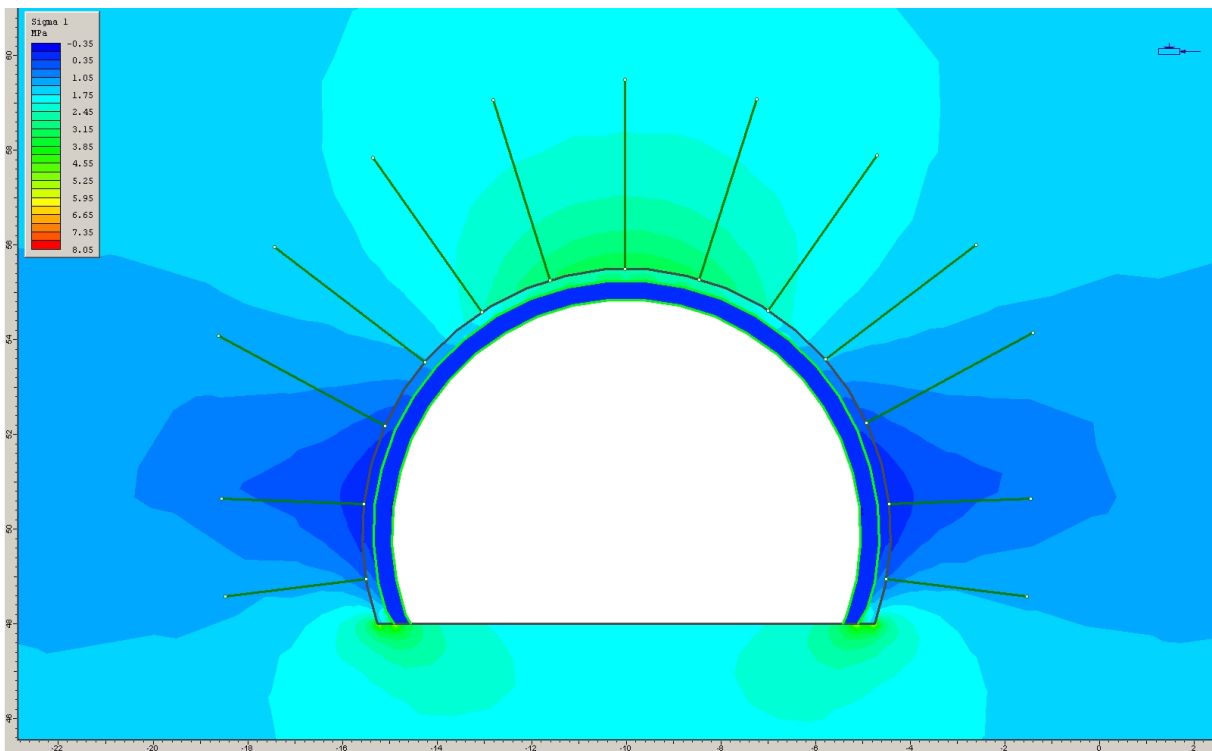


Fig 4.4: Q = 8 - Største hovedspenning – Steg 3

4.2 Beregning ved $Q = 4$

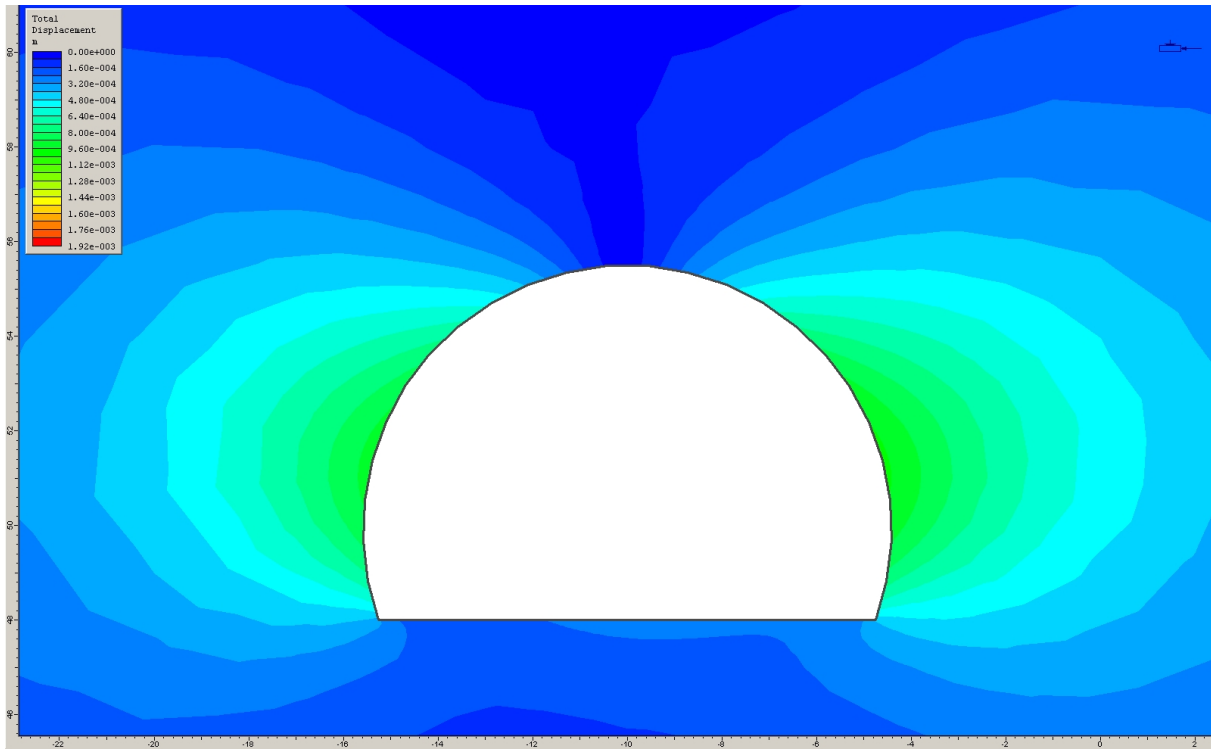


Fig 4.5: $Q = 4$ - Deformasjoner – Steg 1

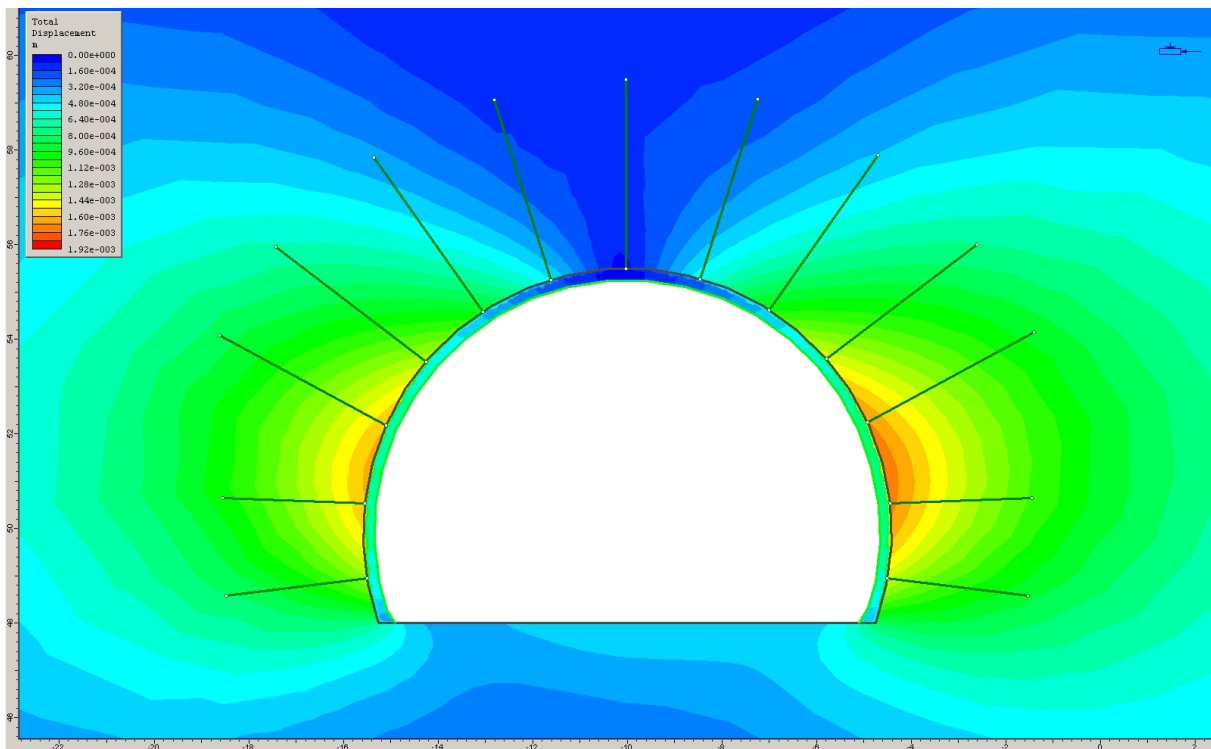


Fig 4.6: $Q = 4$ - Deformasjoner – Steg 2

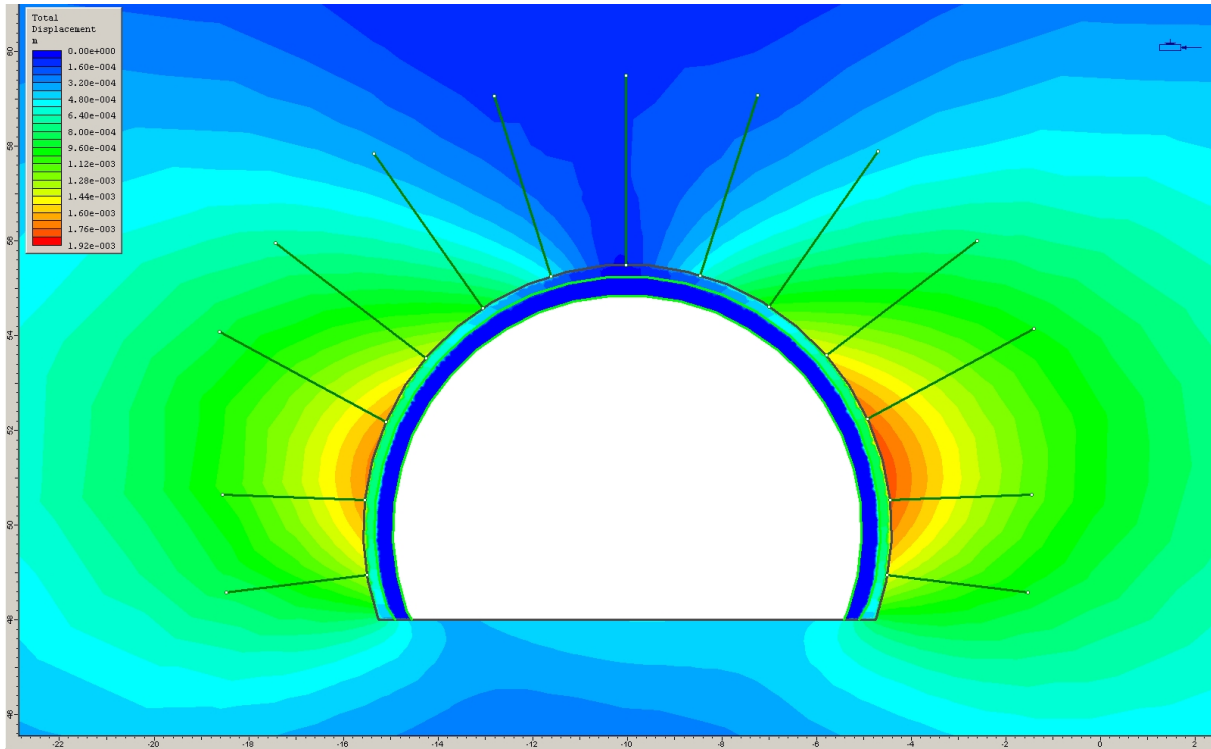


Fig 4.7: Q = 4 - Deformasjoner – Steg 3

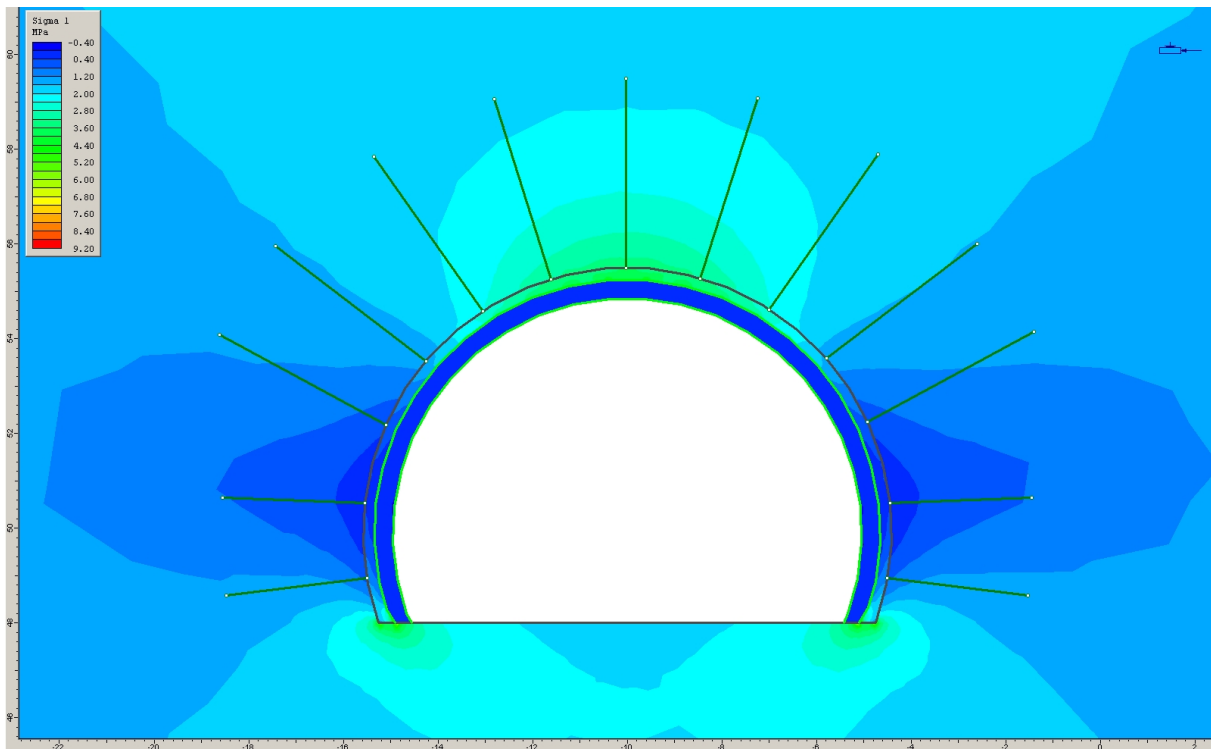


Fig 4.8: Q = 4 - Største hovedspenning – Steg 3

5 **Anbefalinger/sluttkommentar**

I dette tilfellet kan man ut fra plottene se at betongkonstruksjonen ikke tar opp verken deformasjoner eller spenninger i særlig grad i forhold til resten av sikringen. I følge modelleringen vil det si at den står mer eller mindre som en ubelastet egen konstruksjon innenfor den allerede satte sikringen og dermed ikke støtter opp berget som er den bærende konstruksjonen.

Det er ikke funnet svellende materialer i området og man kan derfor regne med at berget vil følge en vanlig deformasjonskurve slik som det er antatt i denne beregningen. For å verifisere beregningene bør man derfor utføre deformasjonsmålinger i form av konvergenzmålinger for å undersøke om deformasjonen i tunnelen har avtatt slik som det er antatt. Hvis dette er tilfellet vil ikke betongstøpen ha noen funksjon som sikring av berget.

Det bør også undersøkes om det allerede er sprekker i sprøytebetongen. Det er spesielt viktig å undersøke i vederlagene der bøyemomentet ved slike spenningsforhold snur. Det er generelt viktig at stiv sikring ikke blir satt på for tidlig, men at man lar berget deformeres noe før det settes på slik at sikringen ikke blir belastet unødvendig mye.

En uarmert betongutstøpning er ikke å anbefale. Betong uten armering har en svært dårlig strekk- og bøyefasthet. Det anbefales derfor å bruke armerte sprøytbetongbuer eller at utstøpningen blir utført med fiberarmert sprøytebetong hvis det skulle være nødvendig.

Referanser

Rapport 20041288-2 Ingeniørgeologi Wøyen - Bjørum, Norges Geotekniske Institutt

Rapport 20041288-4 Kjerneboringer, Norges Geotekniske Institutt

Rapport 20041288-8 Kjerneboringer II, Norges Geotekniske Institutt

TN-70 Berghofftunnelen. Boringer for fjelloverdekning ved Bjørumbekken, Norges Geotekniske Institutt

Sonderboringer Bjørumbekken, Veidekke entrepenør AS, Excel-ark

Vedlegg 1 – Inngangsverdier

Berg:

| | | |
|------------------|--------|------------|
| σ _c : | 90 MPa | (estimert) |
| E-modul: | 30 GPa | (estimert) |
| Poisson's tall: | 0,2 | (estimert) |

Bergmasse:

Sandstein Q=4

| | | |
|-----------------|---------|------------|
| GSI: | 59 | (Q=4) |
| Mi: | - | |
| D: | - | |
| E-modul: | 5,5 GPa | (estimert) |
| Poisson's tall: | 0,2 | (estimert) |
| mb: | 2,5 | (estimert) |
| s: | 0,005 | (estimert) |
| a: | 0,503 | (estimert) |

Sandstein Q=8

| | | |
|-----------------|---------|-------------------------|
| GSI: | 64 | (Q=8 fra kjerneborhull) |
| Mi: | 17 | (estimert) |
| D: | 0,5 | (estimert) |
| E-modul: | 7,9 GPa | (fra RocLab) |
| Poisson's tall: | 0,2 | (estimert) |
| mb: | 3,062 | (fra RocLab) |
| s: | 0,0082 | (fra RocLab) |
| a: | 0,502 | |

Bolter:

| | | |
|---------------|----------|-------------------|
| Avstand: | 1,25 m | |
| Lengde: | 3 og 4 m | 4 x 3 m og 9 x 4m |
| Strekfasthet: | 120 kN | |
| E-modul | 200 Gpa | |
| Forspenning: | 0 kN | |

Sprøytbetong:

| | |
|-----------------|--------|
| Tykkelse: | 12 cm |
| E-modul: | 25 GPa |
| Poisson's tall: | 0,2 |
| Trykkfasthet: | 30 MPa |

Betongstøp:

| | |
|-----------------|--------|
| Tykkelse: | 40 cm |
| E-modul: | 25 GPa |
| Poisson's tall: | 0,2 |
| Trykkfasthet: | 30 MPa |

Spenninger:

| | |
|--------------------------------|----------|
| Horizontalsp. - σ _h | 1,6 MPa |
| Vertikalsp. - σ _v | 0,45 MPa |



Statens vegvesen

Statens vegvesen Vegdirektoratet
Postboks 8142 Dep
N - 0033 Oslo

Tlf. (+47 915) 02030
E-post: publvd@vegvesen.no

ISSN 1504-5005