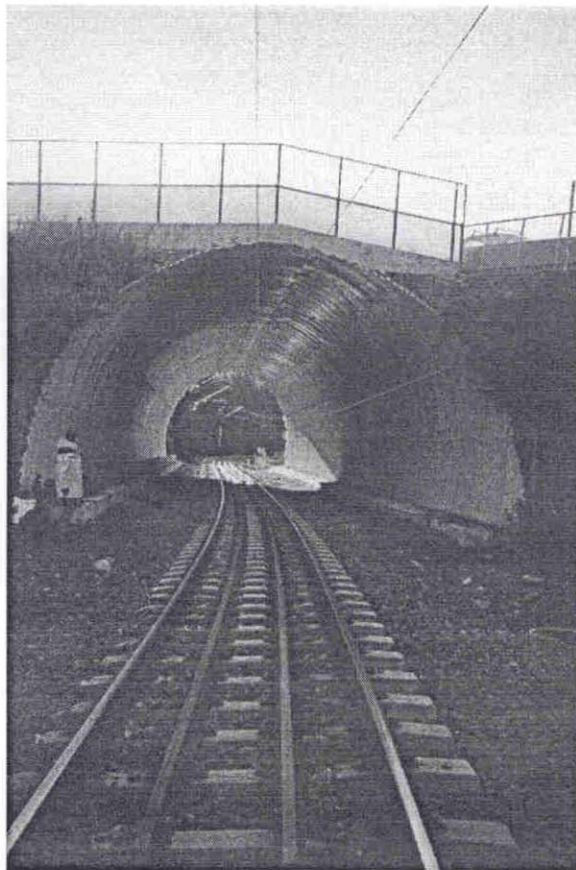


# Intern rapport

## Intern rapport nr. 2119

Furulund bru.

Fullskala belastningsforsøk  
på stålhvelv.



September 2000



Statens vegvesen  
Vegdirektoratet

Vegteknisk avdeling

# Intern rapport nr. 2119

## Furulund bru.

## Fullskala belastningsforsøk på stålhvelv.

### Sammendrag

Rv.257 krysser Dovrebanen ved Sjøa, sør for Otta. Jernbanen er lagt i kulvert av korrugerte stålplater i en lengde av ca. 50m under vegfyllingen. Arbeidet med montering av stålplater ble utført sommeren 1997 og veien ble åpnet for trafikk sommeren 1997.

For vegen som krysser over er det til dels svært liten overdekning. For å kompensere for dette ble det etablert en lastfordelende betongplate over toppen av hvelvet der overdekningen var under 1,2m.

Kulverten ble instrumentert med jordtrykksceller og strekkklapper for måling av spenninger i jord og hvelv. Instrumentene er fulgt opp i tiden etter at brua sto ferdig og gir et bilde av belastningssituasjonen med basis i opptredende jordtrykk fra egenvekt av jorda og betongplata.

For å verifisere dimensjoneringsforutsetningene for brua, samt for å gi et bedre dimensjoneringsgrunnlag for lignende konstruksjoner i framtida er det høsten 1999 utført et fullskala belastningsforsøk. Målet med forsøket var å evaluere beregningsmodellen som inkluderer effekt av trafikklaster i tillegg til last fra jord og betongplate.

Resultatene viser at betongplaten fungerer tilfredsstillende som lastfordelende element der hvor det ikke er rom for normal overfyllingshøyde.

Emneord: *Belastningsforsøk, korrugert stålplatehvelv, jordtrykk, deformasjoner.*

Kontor: *Geoteknisk kontor*

Saksbehandler: *Anne Braaten, Frode Oset, Hermann Bruun*

*/ ANB*

Dato: *September 2000*

Statens vegvesen, Vegdirektoratet

**Vegteknisk avdeling**

Postboks 8142 Dep, 0033 Oslo

Telefon: 22 07 39 00 Telefax: 22 07 34 44

# Innhold

<b>1. INNLEDNING</b>	<b>2</b>
<b>2. INSTRUMENTERING</b>	<b>3</b>
2.1 Måling av jordtrykk	3
2.2 Måling av spenninger i stål	6
2.3 Måling av deformasjoner	6
<b>3. UTFØRELSE AV BELASTNINGSFORSØKET</b>	<b>7</b>
3.1 Påført last	8
<b>4. RESULTATER</b>	<b>11</b>
<b>5. ELEMENTMETODEBEREGNINGER</b>	<b>12</b>
<b>6. DISKUSJON AV RESULTATER - KONKLUSJON.</b>	<b>13</b>
<b>7. REFERANSER</b>	<b>13</b>

**Vedlegg: Oppsummering av beregninger utført med programmet Plaxis**

# 1. Innledning

Rv.257 krysser Dovrebanen ved Sjoa, sør for Otta, med en skrå vinkel i forhold til jernbanen. Jernbanen er lagt i kulvert av korrugerte stålplater i en lengde av ca. 50m under vegfyllingen. Kulvertbredden er 9,5m og høyden er 7m. Arbeidet med montering av stålplater ble utført sommeren 1997 og veien ble åpnet for trafikk sommeren 1997. Lokalisering av brua er vist på figur 1, et bilde av brua er vist på figur 2.



Figur 1 Lokalisering av Furulund bru.



Figur 2. Furulund bru

Stålplatene har tykkelse 7 mm og korrugering 150 x 50 mm. Dimensjoneringen er utført av leverandøren, Via –con AS, og er i utgangspunktet basert på SCI-metoden (Soil-Culvert Interaction Method; Duncan og Drawsky, 1983). Hvelvet er fundamentert på stipefundamenter av betong.

For vegen som krysser over er det til dels svært liten overdekning. I håndbok 016; Geoteknikk i vegbygging (kapittel 12.3.2) er det sagt følgende angående overdekning:

“ - Brudd i jorda. Ved konsentrerte nyttelaster og liten overdekning kan det oppstå brudd i jorda i øvre del av røret, med påfølgende kollaps av rørveggen.

Det settes derfor krav til minimum overdekning. Minimum overdekning er vanligvis  $D/8$ .”

Ved Furulund ville overdekning i henhold til utarbeidete tegninger være så liten som 0,5m for deler av stålhvelvet. Kravet i henhold til håndbok 016 var:

$$\text{Overdekning} = \frac{D}{8} = \frac{9,5m}{8} \approx 1,2m$$

For å kompensere for dette ble det etablert en lastfordelende betongplate over toppen av hvelvet der overdekningen var under 1,2m. Betongplaten hadde en tykkelse på 260 mm og ble dimensjonert for å spenne fritt over en avstand på 5,0 meter over toppen av stålhvelvet.

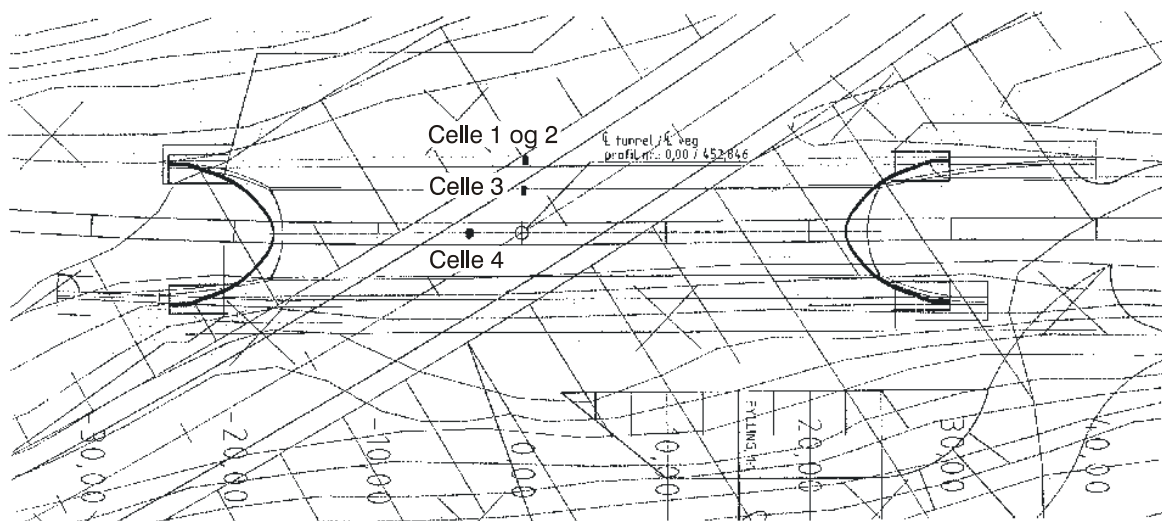
Kulverten ble instrumentert med jordtrykksceller og strekkklapper for målinger av spenninger i jord og hvelv. Instrumentene er fulgt opp i tiden etter at brua sto ferdig og gir et bilde av belastningssituasjonen med basis i opptredende jordtrykk fra egenvekt av jorda og betongplata.

For å verifisere dimensjoneringsforutsetningene for brua, samt for å gi et bedre dimensjoneringsgrunnlag for lignende konstruksjoner i framtida er det høsten 1999 utført et fullskala belastningsforsøk. Målet med forsøket var å evaluere beregningsmodellen som inkluderer effekt av trafikklaster i tillegg til last fra jord og betongplate. Denne rapporten beskriver forsøket, oppnådde resultater og konklusjoner.

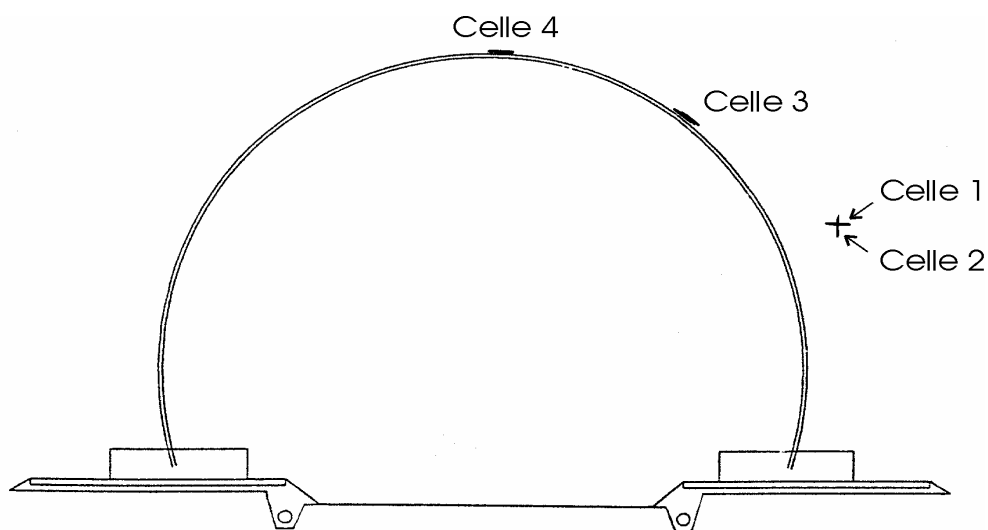
## 2. Instrumentering

### 2.1 Måling av jordtrykk

Som beskrevet i avsnittet over er brua instrumentert med jordtrykksceller for måling av jordtrykk på og ved konstruksjonene. Det er benyttet Gløtzlceller. Plassering av jordtrykkscellene er vist i plan på figur 3, og i profil på figur 4. Jordtrykkscellen ble avlest ca. 14 dager før belastningsforsøket skulle finne sted. Avleste verdier bekreftet at cellene fungerte.

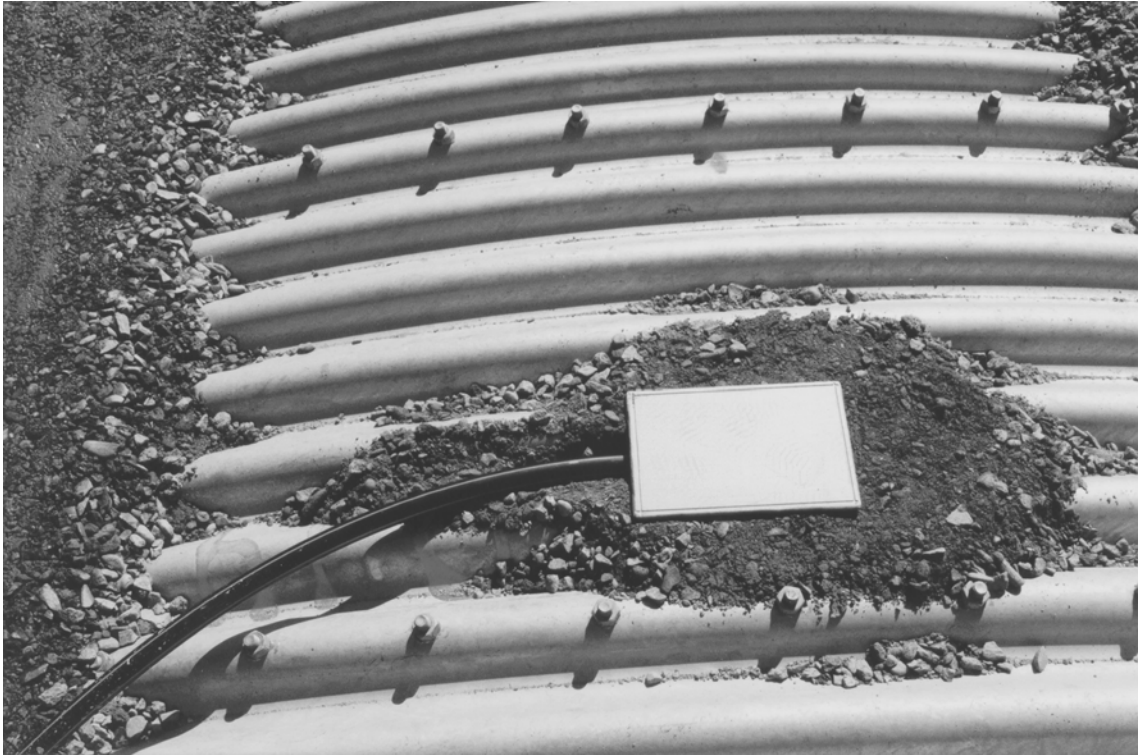


Figur 3 Plassering av jordtrykksceller, oversiktstegning (ikke i målestokk)



Figur 4 Plassering av jordtrykksceller i tverrprofilen.

Figur 5 og 6 viser henholdsvis jordtrykkselle 4 som er plassert på toppen av kulverten og jordtrykksellene 1 og 2 som er plassert i omfyllingsmassene på østsiden av kulverten.



*Figur 5 Jordtrykscelle 4 under montering*



*Figur 6 Jordtrykscellene log 2 under montering.*







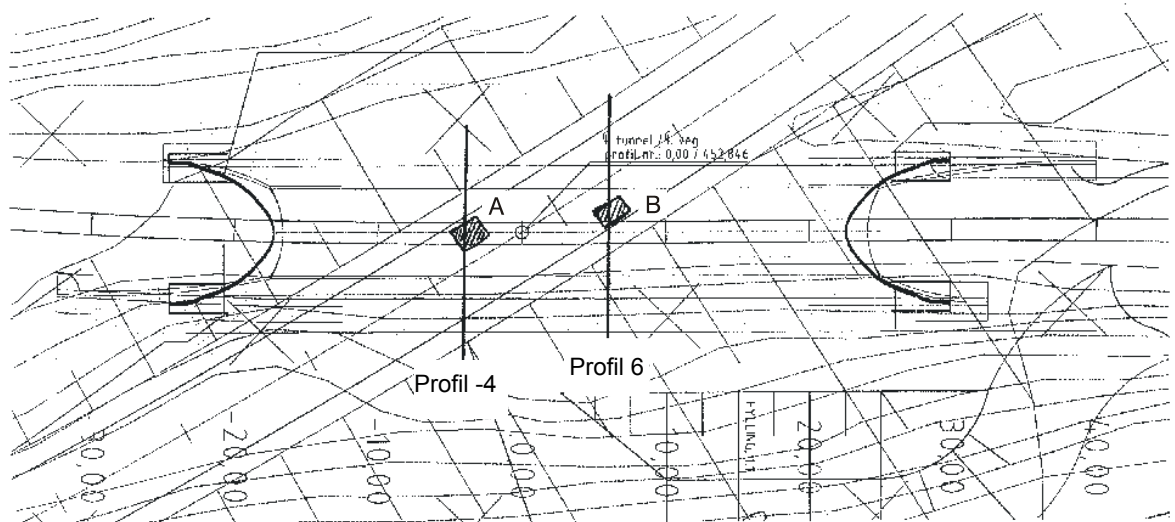


Figur 8 Målebånd for måling av deformasjoner

### 3. Utførelse av belastningsforsøket

Belastningsforsøket ble utført etter følgende opplegg.

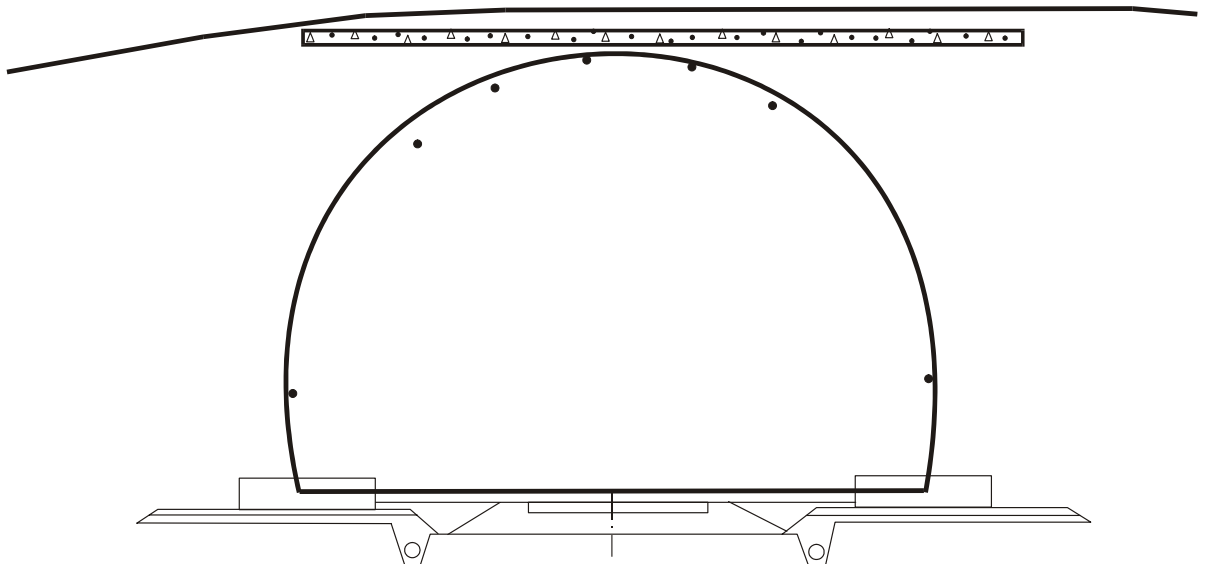
1. Utgangsmåling med registrering av jordtrykk og høyder innvendig i tunnelen ble utført.
2. Last påført i posisjon A, se figur 9. Figur 10 viser lastebilen plassert i posisjon A.
3. Jordtrykksceller og innvendige deformasjoner registrert. Avlesninger foretatt 3 ganger, med kontroll av utgangsmåling mellom hver gang, dvs. last påført og fjernet tre ganger.
4. Last påført i posisjon B, se figur 9.
5. Jordtrykksceller og innvendige deformasjoner registrert. Avlesninger foretatt 3 ganger, med kontroll av utgangsmåling mellom hver gang, dvs. last påført og fjernet tre ganger.
6. Høyder på vegen over kulverten nivellert i profil -4 og profil 6. Resultatet av disse nivelleringene er vist på figur 11 og 12.



Figur 9. Oversikt m/ angivelse av posisjon A og B samt profil -4 og 6.

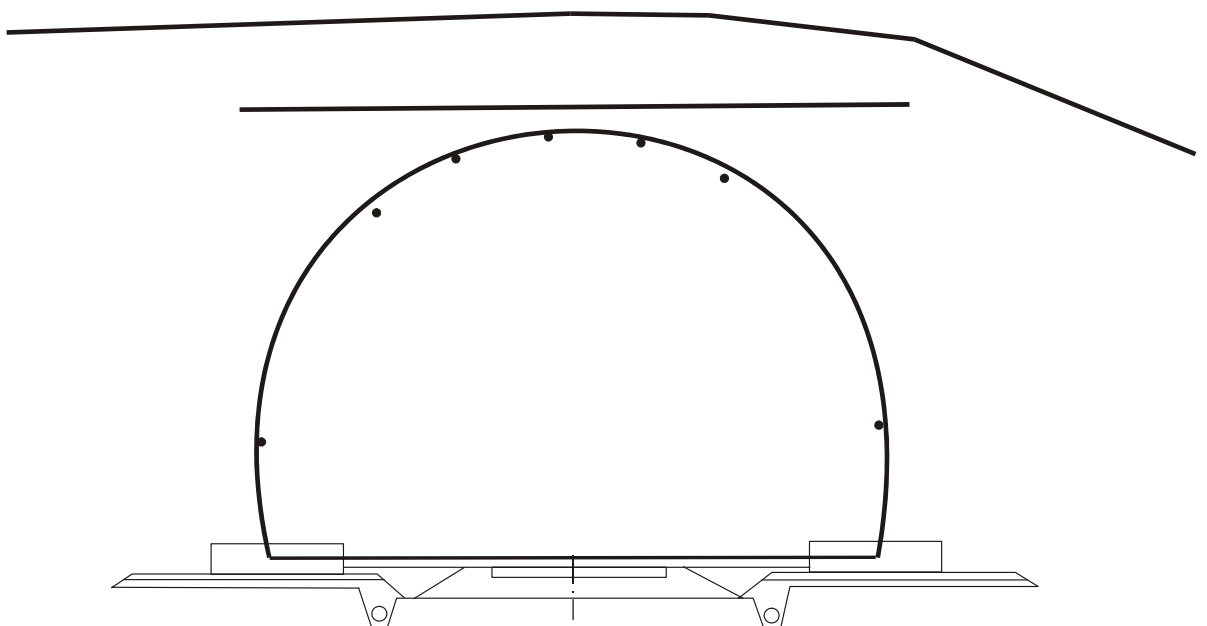


Figur 10. Lastebil plassert i posisjon A.



Figur 11 Profil -4

Figur 11 viser et tverrprofil ved kjeding -4. Punktene inni tunnelen angir utgangsmålingen som ble utført før forsøket for kontroll av tverrsnitt og høyder inni tunnelen. Nivellering av disse punktene og av terrenget (vegen) over tunnelen er utført med utgangspunkt i samme fastmerke og angir således den nøyaktige differansen mellom taket på innsiden av tunnelen og terrenget over. I profil -4 er overdekningen mellom 0,7 og 0,8m.



Figur 12 Profil 6

Figur 12 viser et tverrprofil ved kjeding +6. Punktene inni tunnelen angir utgangsmålingen som ble utført før forsøket for kontroll av tverrsnitt og høyder inni tunnelen. Differansen mellom taket på innsiden av tunnelen og terrenget over er i profil 6 mellom 1,7 og 1,8m.

### 3.1 Påført last

Påført belastning var planlagt ut i fra Håndbok 184; Lastforskrifter for bruer og ferjekaier i det offentlige vegnett.

“Trafikklast, lasttype V2.

Lasten består av en aksellast på 260 kN fordelt på to hjullaster à 130 kN med senteravstand 2,0m. Hjullastens anleggsflate er et rektangel med sidene 0,2m i kjøreretningen og 0,6m tvers på denne.”

Med utgangspunkt i lastforskriftene ble vegkontoret i Oppland forespurt om mulighetene for å skaffe et tungt kjøretøy, som lastebil, hjullaster eller lignende med aksellast i størrelsesorden 210 - 260 kN.

Lastebilen som ble benyttet under forsøket ble fylt opp med lass, inntil så mye som bilen var godkjent for. Avstand mellom akslene ble oppgitt til å være 1,4m. Bilen ble veid kvelden før forsøket (1. veiing). Ettersom aksellasten var mindre enn forventet ble bakerste hjulpar heist opp slik at man fikk økt aksellast på framre aksel i boggien. Lastebilen ble veid igjen etter at forsøket var avsluttet (2. veiing). Lastebilen som ble benyttet under forsøket er vist på figur 10 og på figur 13. Resultatet av veiingene er oppført i tabellen, figur 14. Tilsynelatende variasjoner i totalvekten skyldes trolig usikkerheter ved veiemetoden.



*Figur 13 Lastebilen som ble benyttet til belastningsforsøket*

<b>Vekt av lastebil (kg)</b>			
	<b>Totalvekt</b>	<b>Foraksel</b>	<b>Bakaksel</b>
<b>1. veiing</b>	24 560	7 800	16 760
<b>2. veiing u/ boggitrykk</b>	24 560	7820	16 740
<b>2. veiing m/ boggitrykk</b>	24 740	6 320	18 420

Figur 14 Veieresultater

Dette gir aksellast :  $Aksellast = \left( \frac{18420 \cdot 9,81}{1000} \right) kN = 181kN$

og tilsvarende linjelast over bilens bredde:  $Linjelast = \left( \frac{181}{2,4} \right) kN/m = 75kN/m$

## 4. Resultater

I dette avsnittet oppsummeres resultatet av målingene. Figur 14 viser avlesningene av jordtrykkscellene (i Bar).

<b>Avlesning av jordtrykksceller (bar)</b>				
<b>Celle 4</b>	<b>Celle 2</b>	<b>Celle 1</b>	<b>Celle 3</b>	<b>Merknader</b>
1,27	1,38	2,51	1,66	posisjon A - uten last
1,27	1,36	2,51	1,66	posisjon A - uten last
1,30	1,38	2,51	1,69	posisjon A - med last
1,27	1,37	2,51	1,66	posisjon A - uten last
1,30	1,37	2,52	1,69	posisjon A - med last
1,27	1,37	2,51	1,67	posisjon A - uten last
1,30	1,39	2,52	1,69	posisjon A - med last
1,27	1,37	2,51	1,66	posisjon A . uten last
1,28	1,37	2,52	1,66	posisjon B - med last
1,27	1,37	2,52	1,66	posisjon B - uten last
1,27	1,37	2,52	1,66	posisjon B - med last
1,27	1,37	2,52	1,66	posisjon B - uten last

Figur 14 Avlesning av jordtrykksceller (Bar).

Figur 15 viser jordtrykk i kPa. Tabellen viser middelverdien av målingene for de ulike lastsituasjonene.

<b>Jordtrykk i kPa (middelverdier) (avleste verdier - nullpunktsverdi)</b>				
<b>Celle 4</b>	<b>Celle 2</b>	<b>Celle 1</b>	<b>Celle 3</b>	<b>Merknader</b>
2,0	13,0	127,3	45,1	Uten belastning
5,0	14,0	127,7	48,0	Med belastning i posisjon A
2,5	13,0	128,0	42,0	Med belastning i posisjon B

Figur 15 Jordtrykk i kPa.

Figur 16 viser registrerte deformasjoner. Målebåndene er nummerert fra venstre og mot høyre i tverrprofilen.

<b>Registrerte deformasjoner i profil -6</b>					
<b>12mV</b>	<b>6mV</b>	<b>topp</b>	<b>6mH</b>	<b>12mH</b>	
0	0	0	0	0	Uten last
0	0	0	0,5mm	0	Med last
<b>Registrerte deformasjoner i profil 4</b>					
<b>12mV</b>	<b>6mV</b>	<b>topp</b>	<b>6mH</b>	<b>12mH</b>	
0	0	0	0	0	Uten last
0	0	0	0,5mm	0	Med last

Figur 16 Registrerte deformasjoner

## 5. Elementmetodeberegninger

Belastningsforsøket er også modellert ved hjelp av elementmetoden med programmet Plaxis. Tilbakefyllingen rundt stålhelvet og belastningsforsøket er modellert stegvis. Beregnet vertikaldeformasjon i toppen av kulverten ved belastningsforsøket er 3,5 mm.

Karakteristiske materialparametere og mer detaljerte beregningsresultater er gitt i vedlegg 1.

## 6. Diskusjon av resultater - konklusjon.

Måleresultatene viser svært små nedbøyninger i toppen av stålhvelvet; mindre enn 0,5 mm. Endringene i målte jordtrykk som følge av den påførte linjelasten var også små.

Måleresultatene viser noe mindre verdier enn foreløpige etterregninger med elementmetodeprogrammet Plaxis, noe som tyder på større jordstivhet og bedre lastfordeling enn man i utgangspunktet kunne vente ut fra anslåtte materialparametre.

Resultatene viser at lastfordelingen fra betongplaten fungerer etter hensikten, og at løsningen derfor bør kunne anvendes i framtida på steder hvor overdekningen er mindre enn kravet i våre retningslinjer på 1/8 av diameteren.

## 7. Referanser

Statens vegvesen (1990): Håndbok 016 Geoteknikk i vegbygging, kap. 12. Vegdirektoratet, Vegteknisk avdeling, Oslo.

Duncan, J. M. og Drawsky, R. H. (1983): Design Procedures for Flexible Metal Culvert Structures. Report No. UCB/GT/83-02, Department of Civil Engineering, University of California, Berkeley.



**Oppdrag: E224A Furulund bru. Fullskala belastningsforsøk på stålvelv.**

Beregninger med elementmetodeprogrammet PLAXIS for sammenligning med målte resultater.

**Utført av: HEB**

**Dato: 5.6.2000**

---

## Furulund bru

Det er utført elementmetodeberegninger for lastforsøket på Furulund bru. Beregningene er utført med programmet Plaxis (versjon 7.1).

Beregningene er utført med følgende antakelser som er forsøkt overført til beregningene:

Det er benyttet avansert jordmodell: hardening soil  
Grunnvannstand er antatt uten innvirkning på modellen og er utelatt.

Undergrunnen består av faste masser. Omfyllmassene er komprimert til 95% Standard Proctor.

Materialer	E-modul	Friksjon	Tyngdetetthet
	kN/m <sup>2</sup> /m	grader	kN/m <sup>3</sup>
Undergrunn	80000	37	20
Omfyllmasser	40000	40	19
Overbygning	5E5	45	23

Number	Identification	Type	EA	EI	w	v
			[kN/m]	[kNm <sup>2</sup> /m]	[kN/m/m]	[ - ]
1	Betongplate	Elastic	6500000	36616	1.3	0.2
2	Tunnelvegg	Elastic	1858000	599	0.406	0.15
3	Betong-fundament	Elastic	12700000	264730	0.0	0.35

Plaxis 7.11 Calculations - furulund-11.plx

File Edit View Calculate Help

Input Output Control Print Output

General Parameters Multipliers

Calculation type: Plastic  
Load adv. ultimate level

Phase: Number / ID: 11 Omfylling til topp  
Start from phase: 10 - Omfylling 6m til UK betongplate

Comments: Log file: Prescribed ultimate state fully reached

Parameters

Next Insert Delete...

Identification	Phase no.	Start from	Calculation	Loading input	First	Last	W/s
Initial phase	0	0	N/A	N/A	0	0	0
✓ Egenvekt påføres	4	0	Plastic	Total multipliers	1	2	0
✓ Omfylling 0-1 m	2	4	Plastic	Staged construction	3	7	0
✓ Omfylling 1-2 m	5	2	Plastic	Staged construction	8	15	0
✓ Omfylling 2-3 m	6	5	Plastic	Staged construction	16	22	0
✓ Omfylling 3-4 m	7	6	Plastic	Staged construction	23	35	0
✓ Omfylling 4-5 m	8	7	Plastic	Staged construction	36	49	0
✓ Omfylling 5-6 m	9	8	Plastic	Staged construction	50	68	0
✓ Omfylling 6m til UK betong...	10	9	Plastic	Staged construction	69	74	0
✓ Omfylling til topp	11	10	Plastic	Staged construction	75	80	0
✓ Lastforsøk	3	11	Plastic	Total multipliers	81	83	0

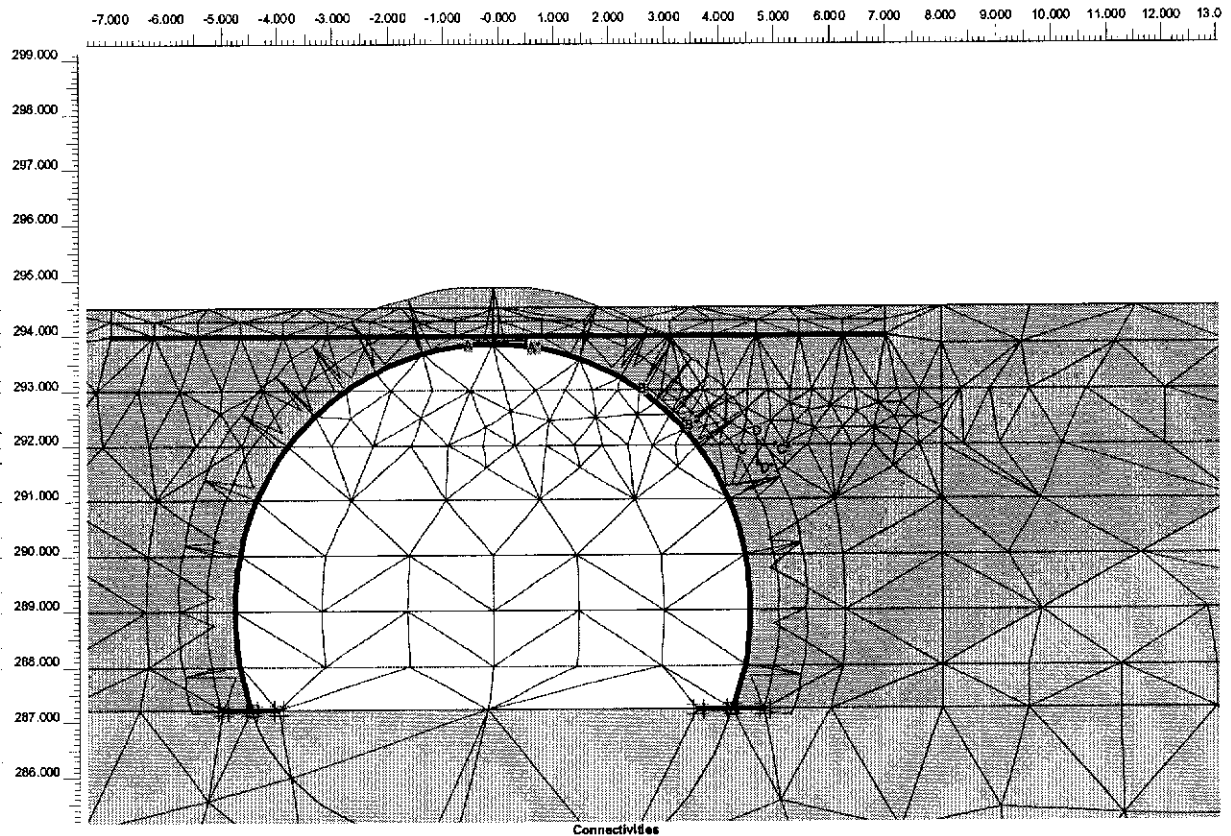
### Faseinndeling i PLAXIS.

Beregningene er utført i laststep for å ivareta virkningene ved omfylling rundt superspenn kulverter.

Betongfundamentene er fastholdt mot forskyvning og overgang mellom betongfundament og tunnel er momentstivt.

Tunnelen er modellert etter mottatte tegninger fra ViaCon v/Jan Vaslestad.

## Resultater



Her er vist valgte snitt A-A, snitt B-B, snitt C-C og snitt D-D.

Her gjelder

snitt A-A tilsvarer celle 4

snitt B-B tilsvarer celle 3

snitt C-C tilsvarer celle 1

snitt D-D tilsvarer celle 2

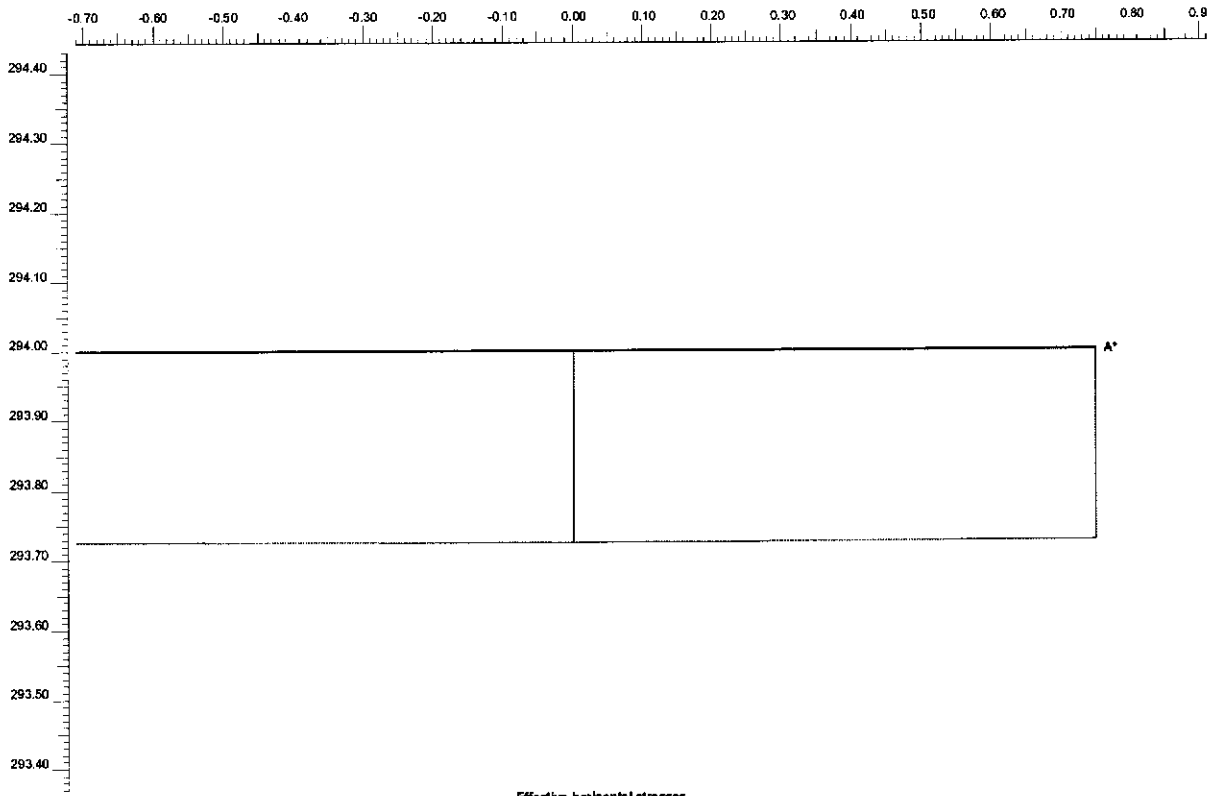
Beregnete spenninger i kPa:

Celle nr.	Hor	Vert	Normalsp	Skjær		
Snitt A-A før	3,6	11,6				
Snitt A-A etter	7,8	26,3				
Snitt B-B før	20,1	54,5	44,3	20,0		
Snitt B-B etter	27,1	64,8	56,4	17,6		
Snitt C-C før	20,5	53,5				
Snitt C-C etter	28,3	55,0				
Snitt D-D før	20,0	50,6				
Snitt D-D etter	37,4	64,7				

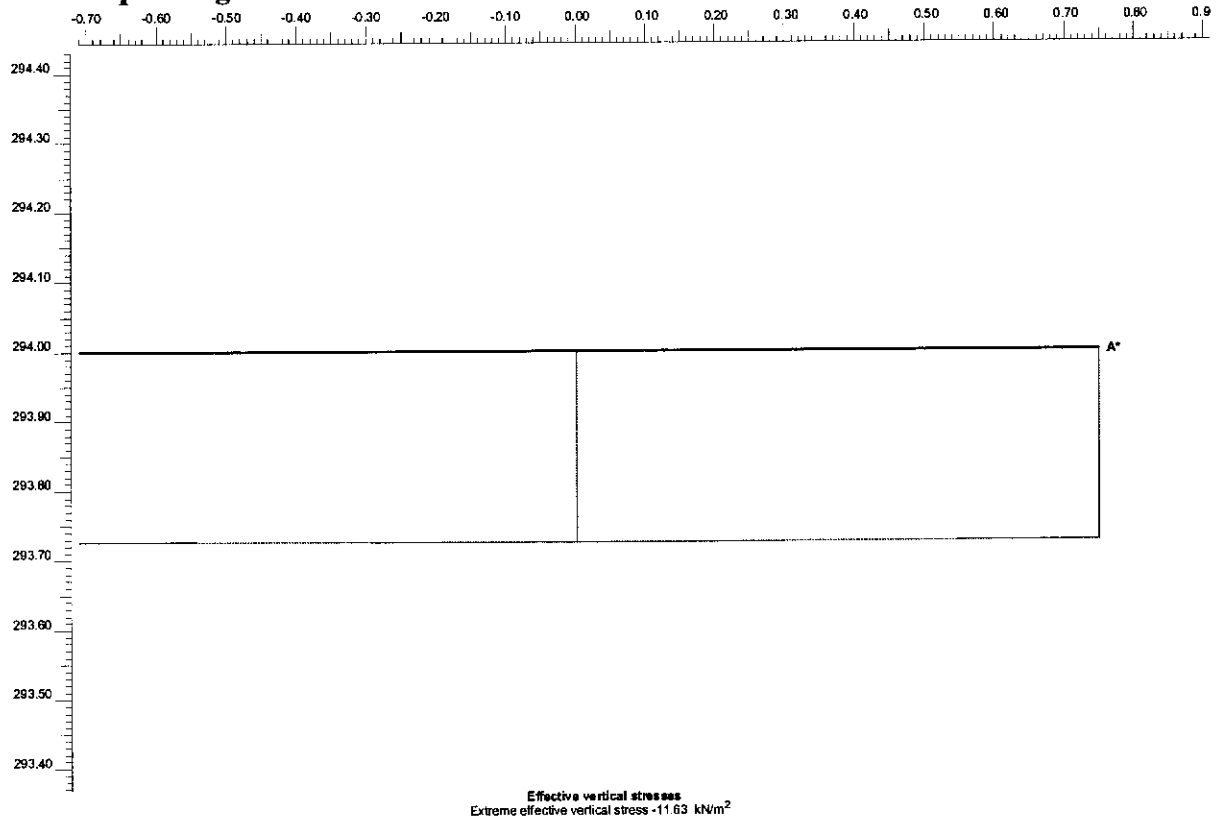
Beregnet forskyvning av topp kulvert er 3,5 mm.

**Før lastforsøk**

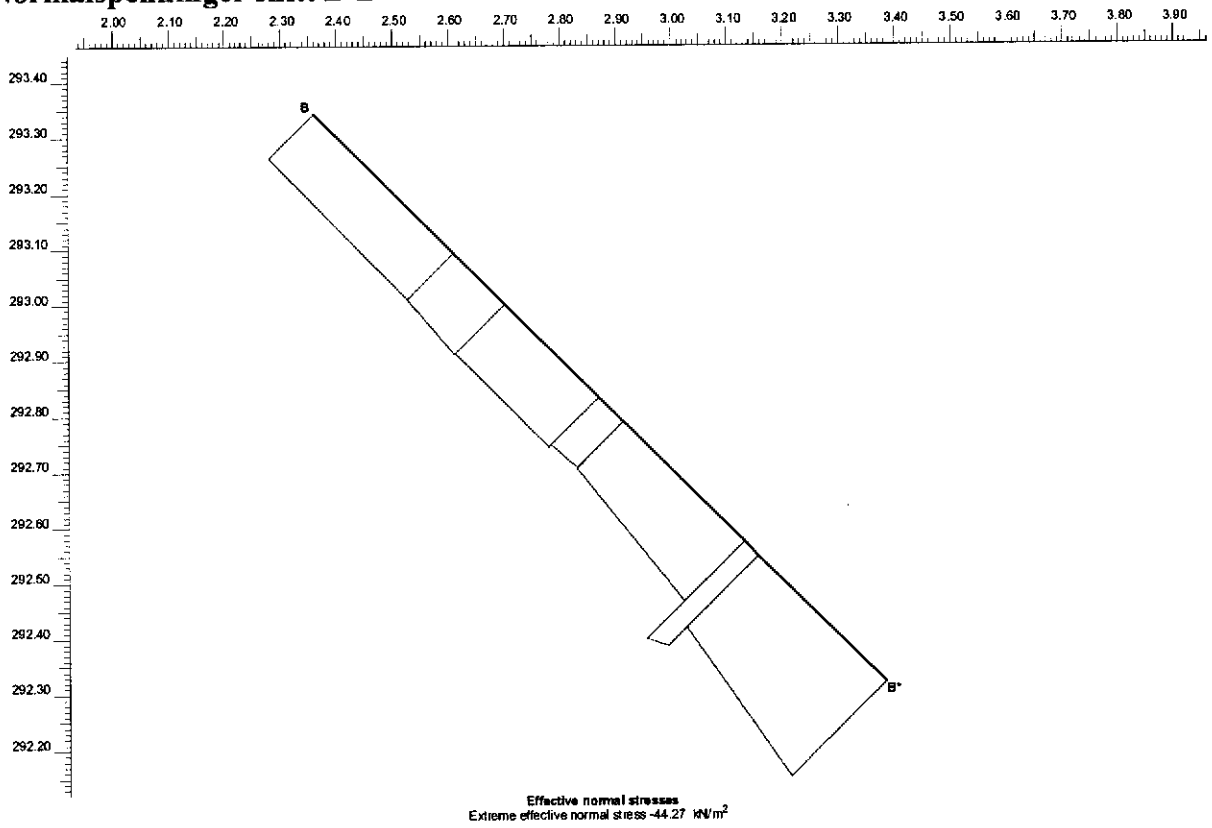
**Horizontal snitt A-A**



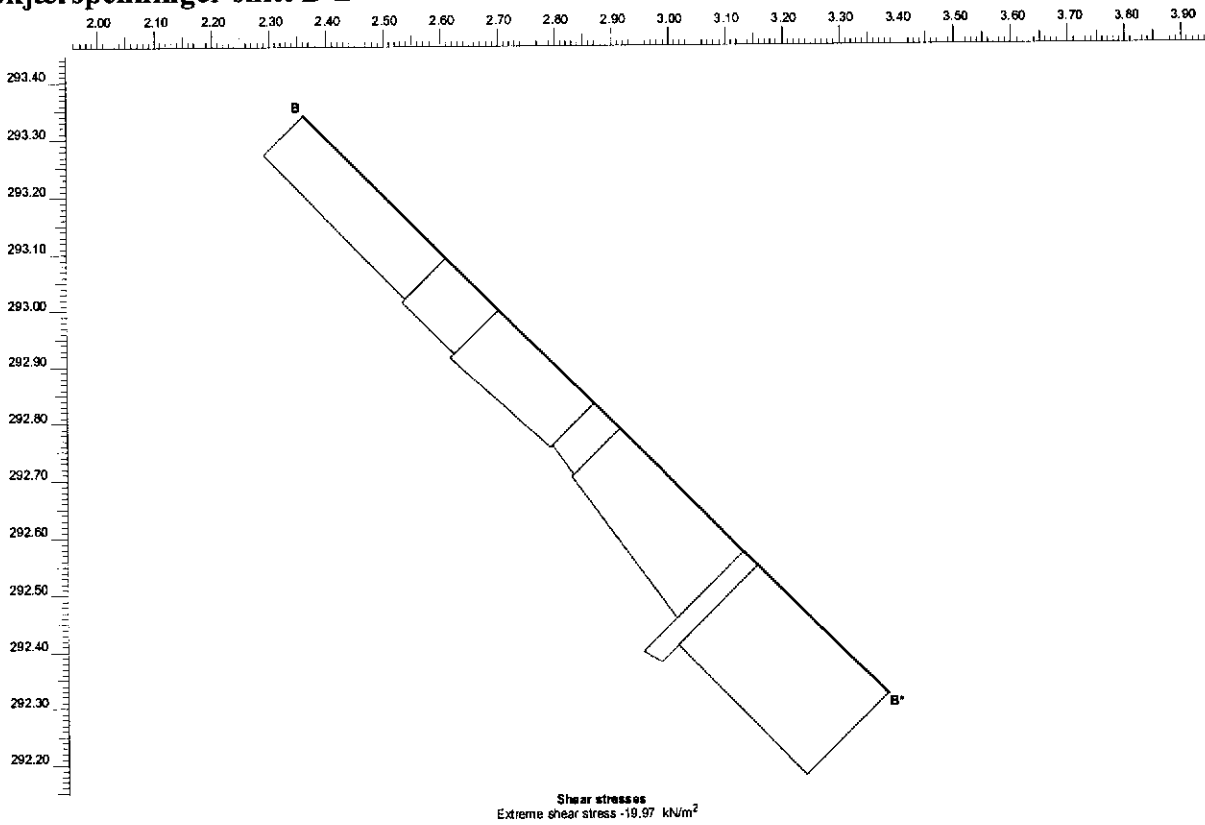
**Vertikalspenninger snitt A-A**



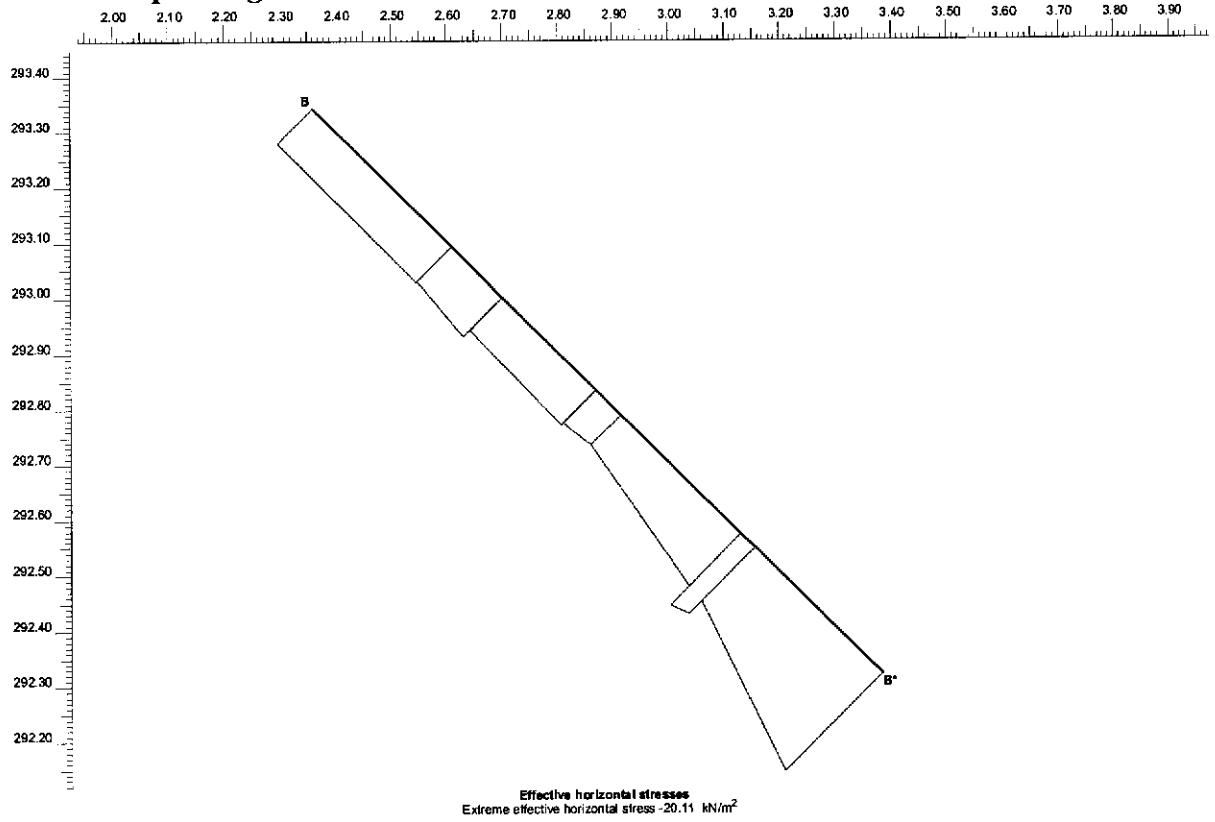
**Normalspenninger snitt B-B**



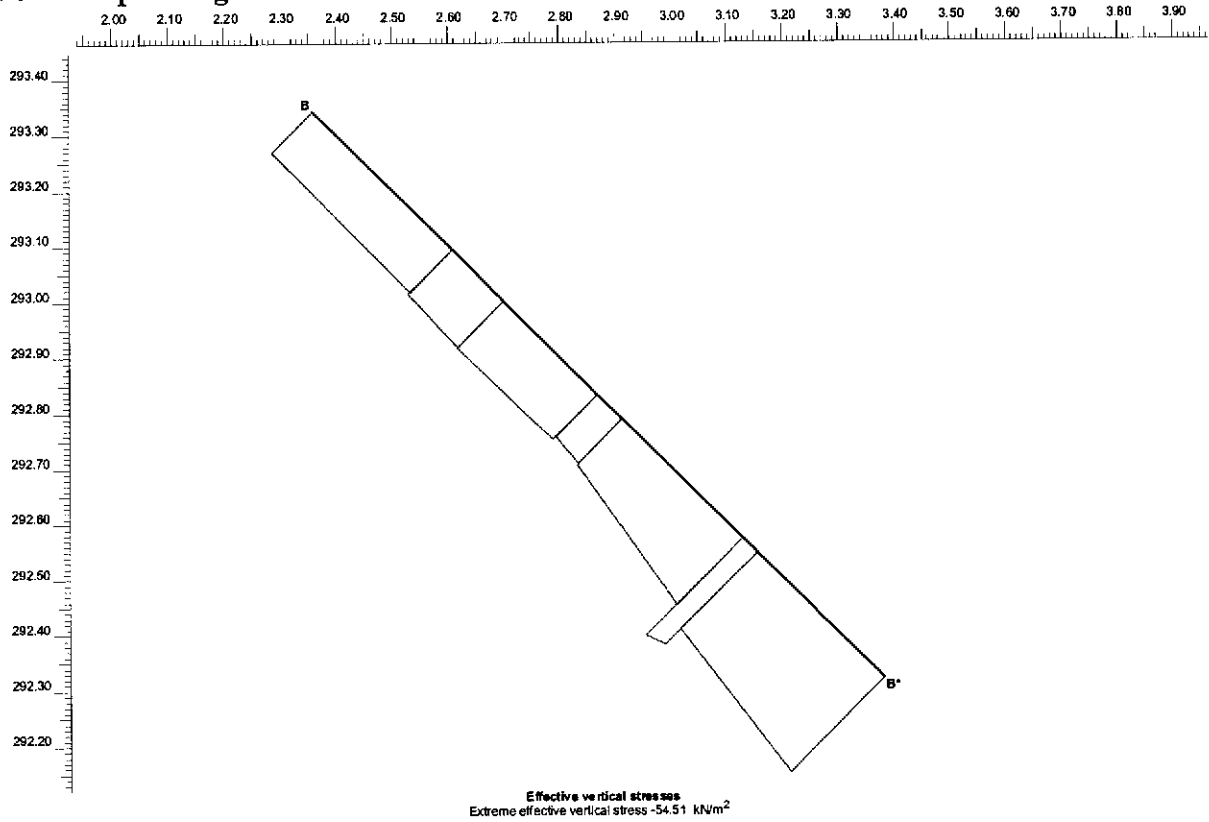
**Skjærspenninger snitt B-B**



**Horizontalspenninger snitt B-B**

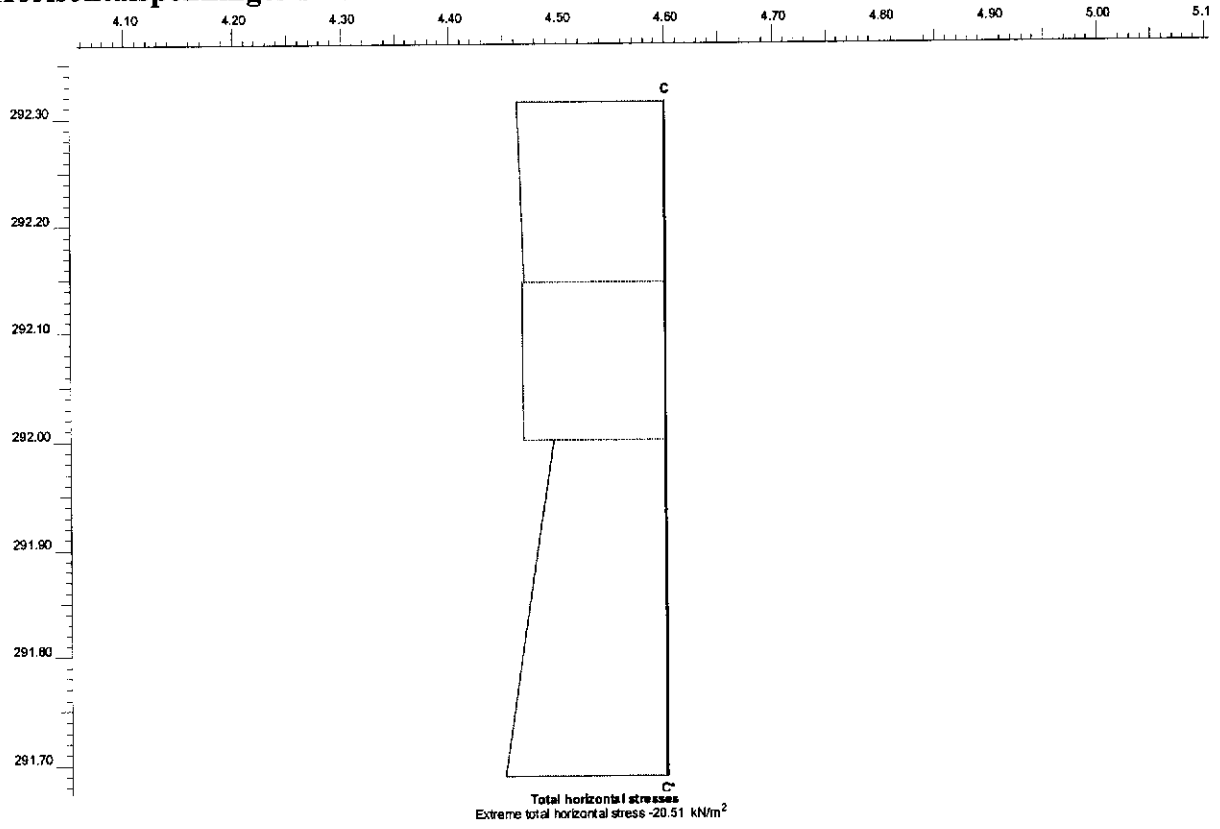


**Vertikalspenninger snitt B-B.**

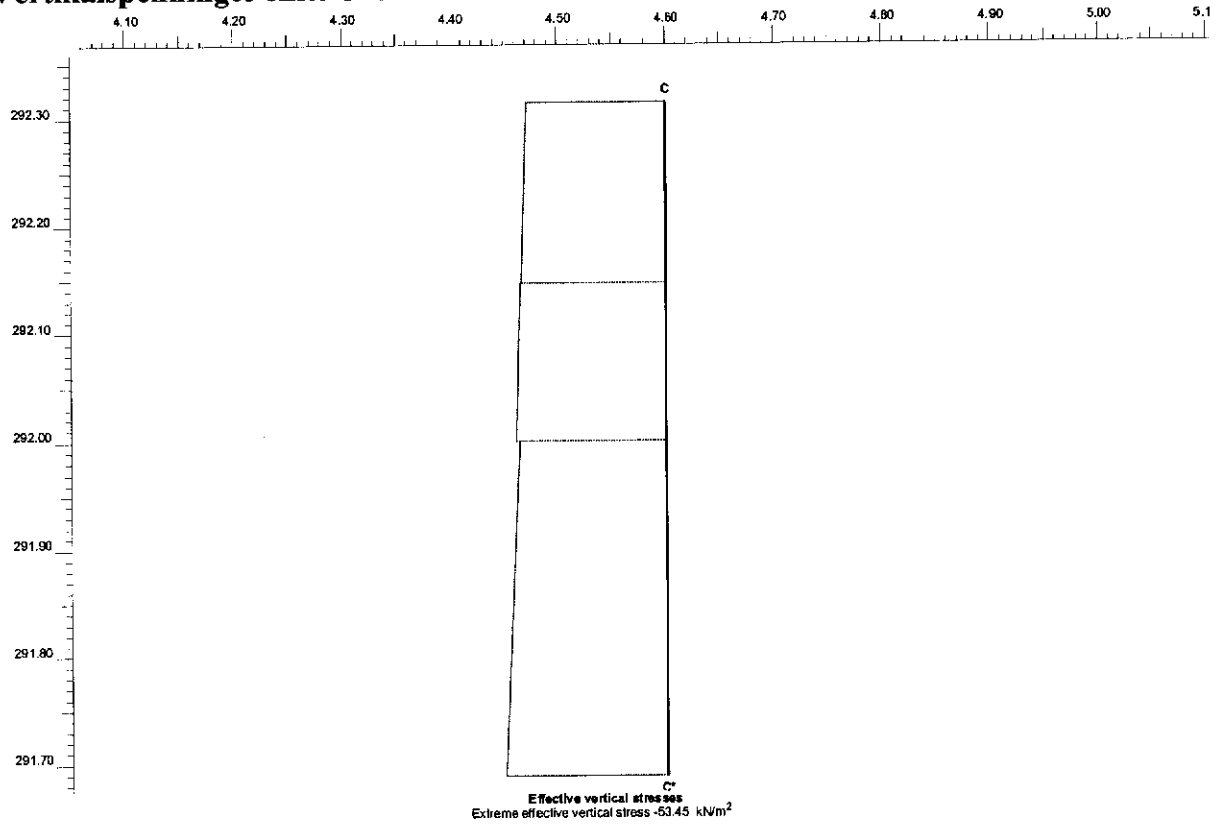




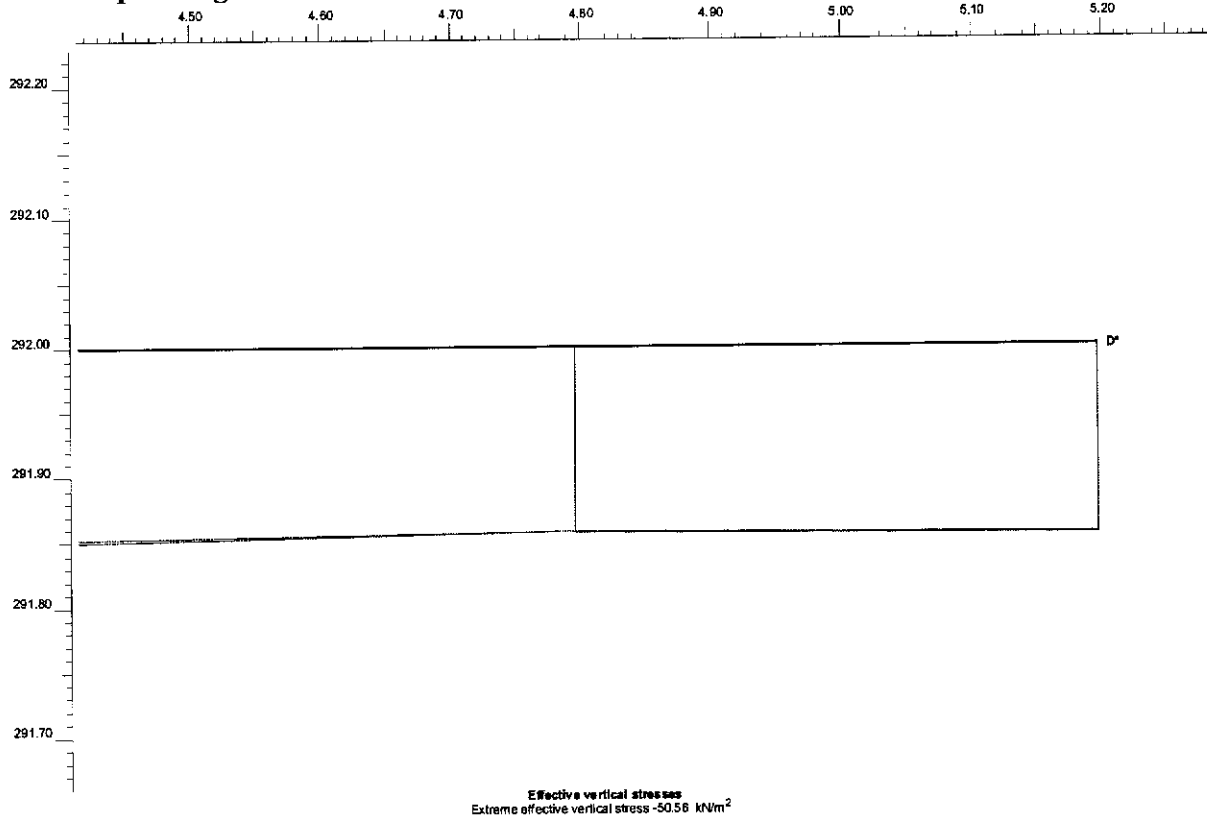
### Horizontalspenninger snitt C-C



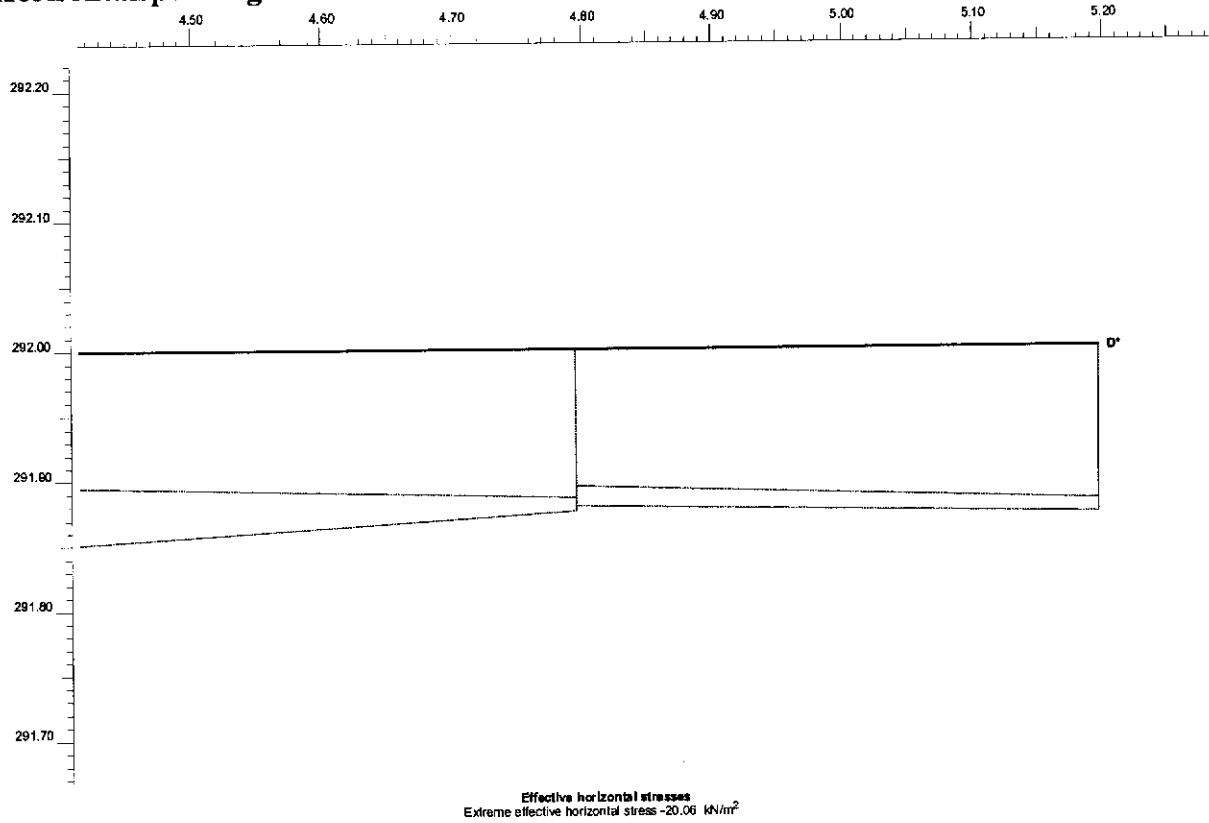
### Vertikalspenninger snitt C-C



### Vertikalspenninger snitt D-D

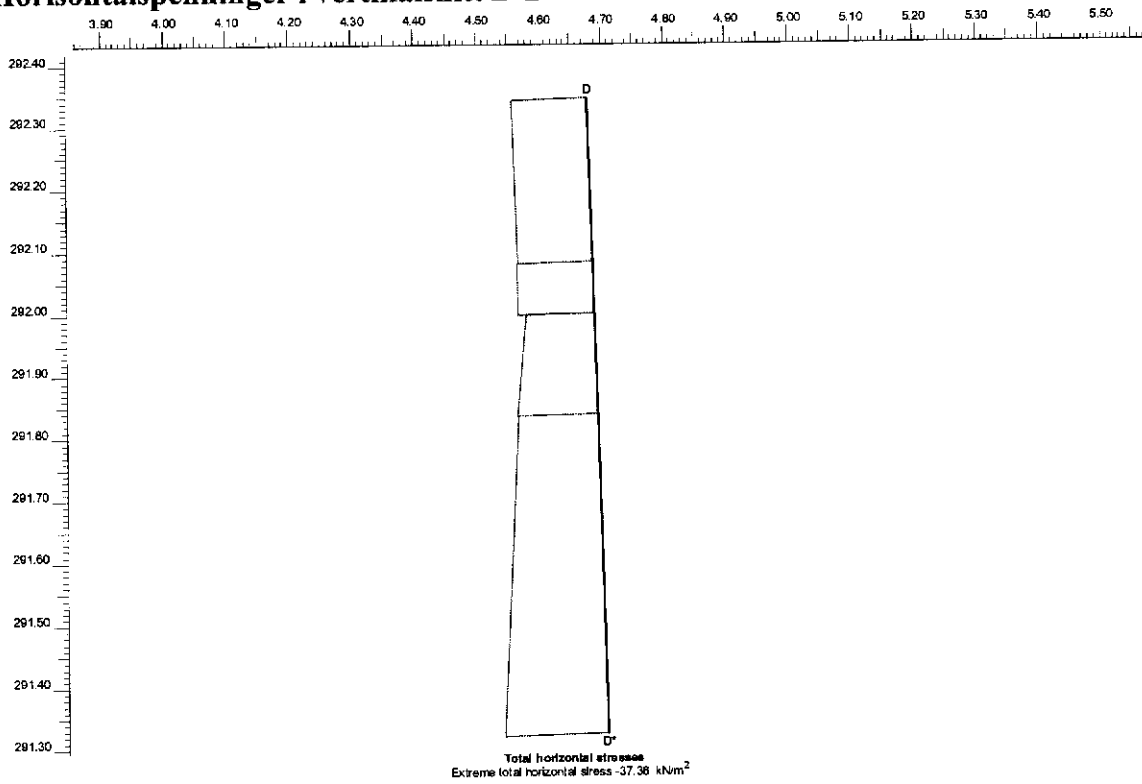


### Horisontalspenninger snitt D-D.

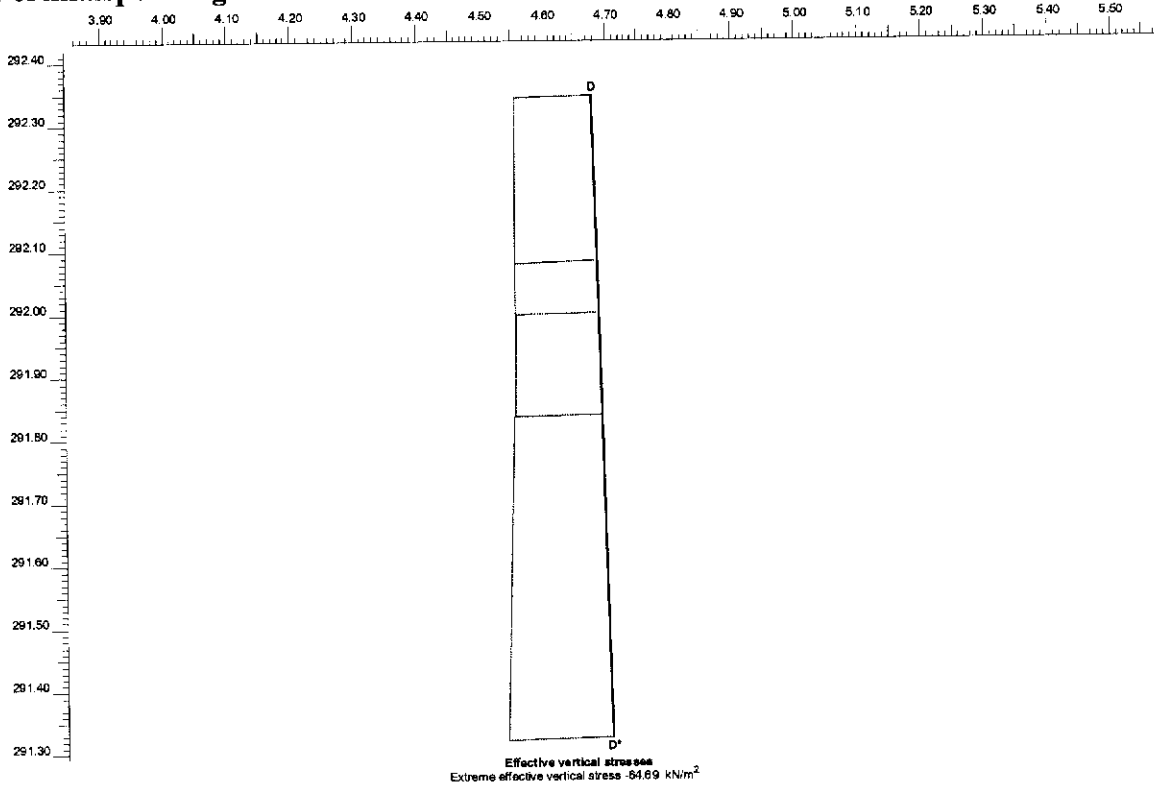


**Etter lastforsøk**

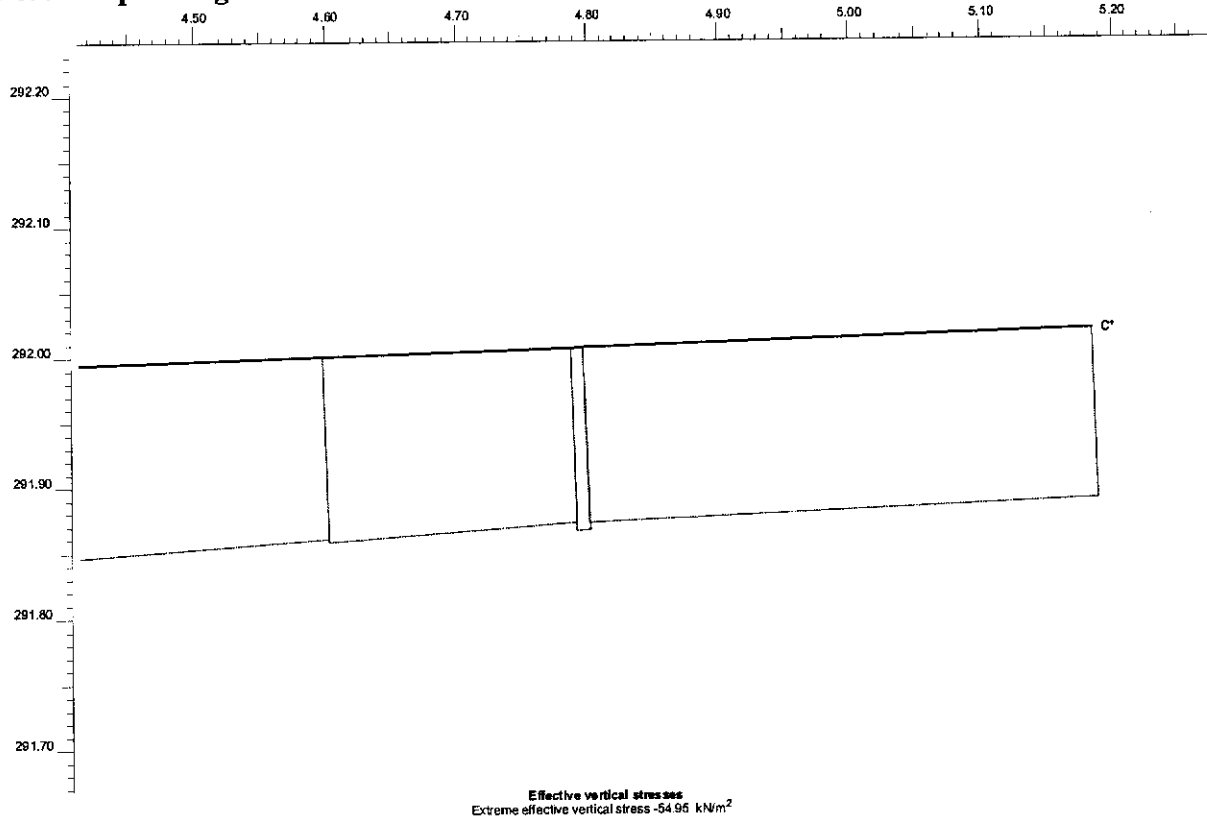
**Horisontalspenninger i vertikalsnitt D-D**



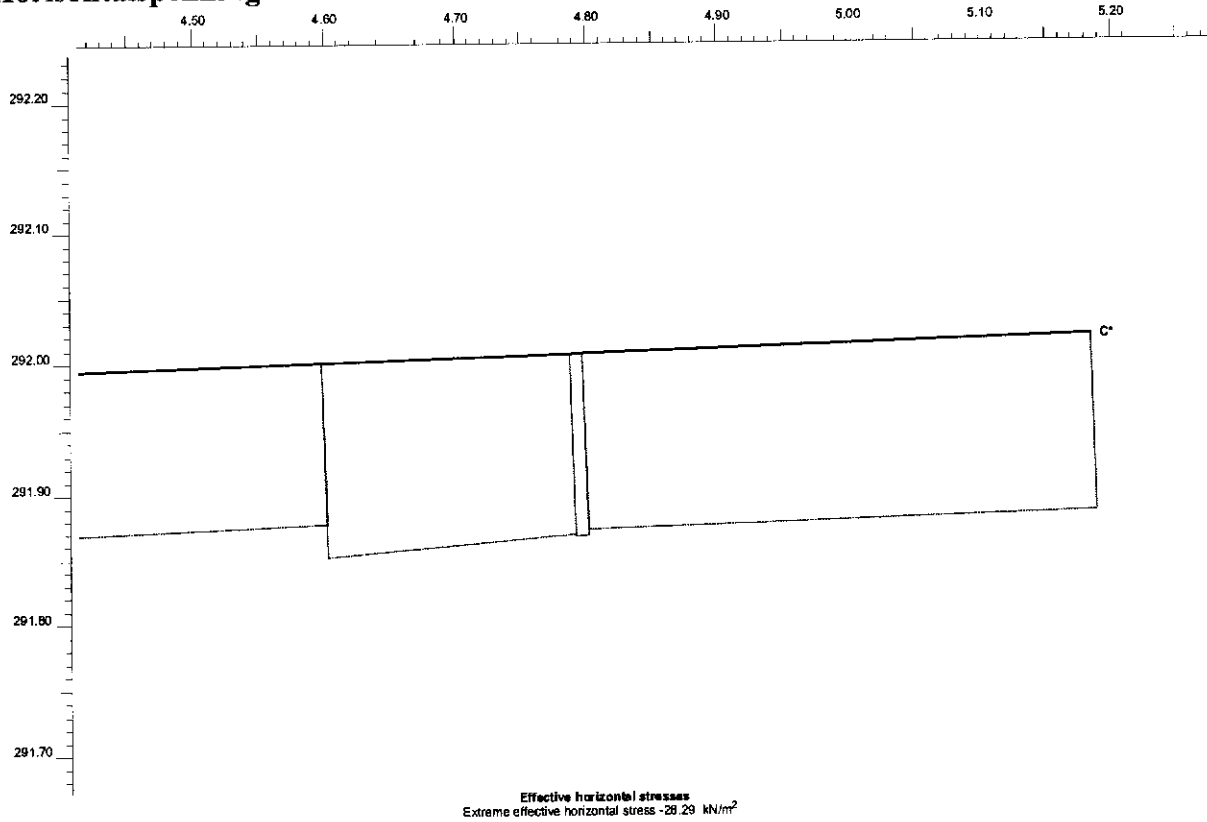
**Vertikalspenninger i vertikalsnitt D-D**



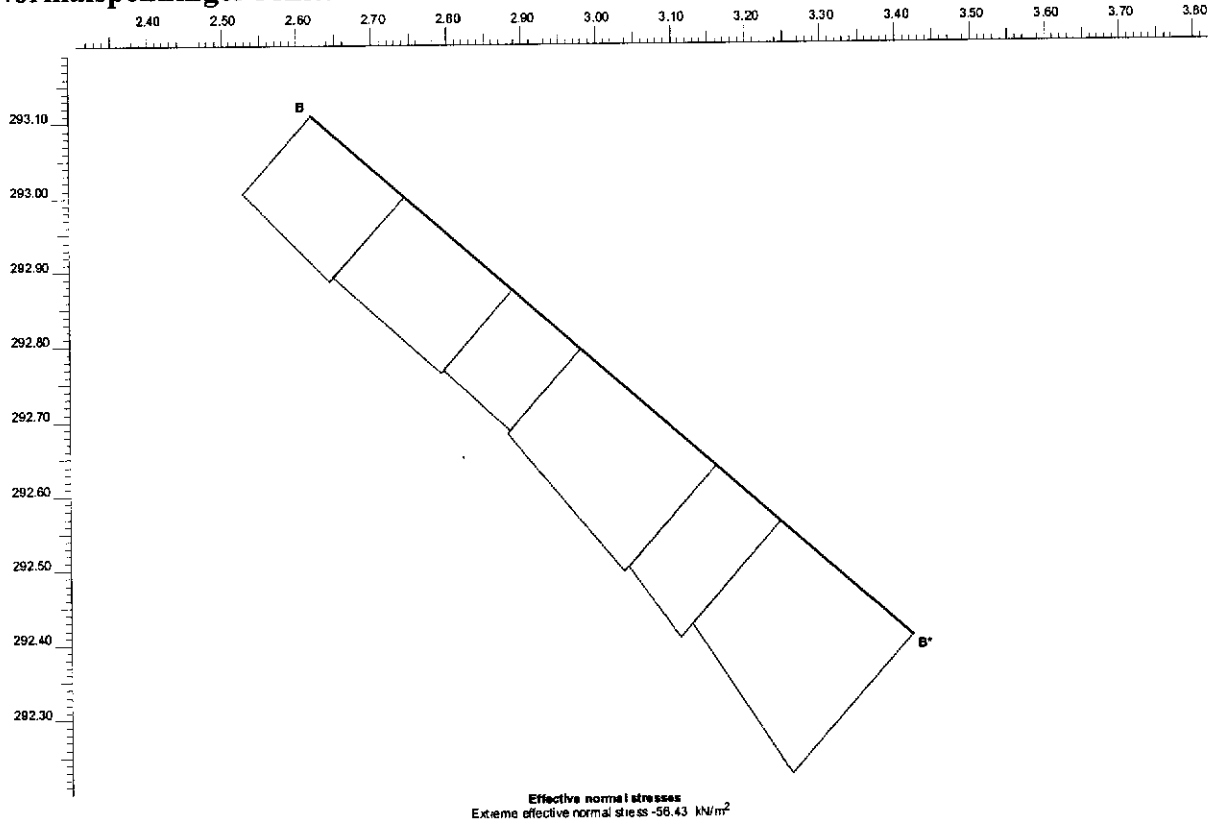
### Vertikalspenninger i snitt C-C



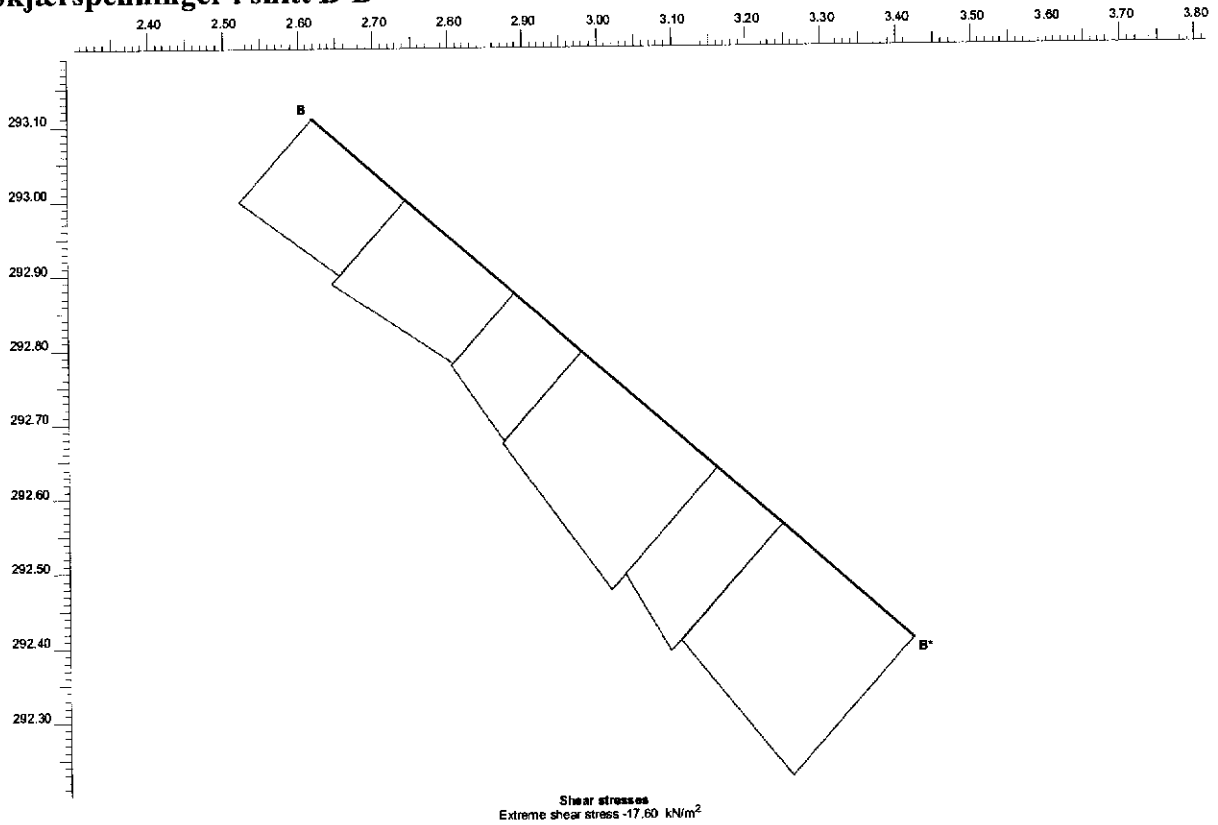
### Horizontalspenninger i snitt C-C



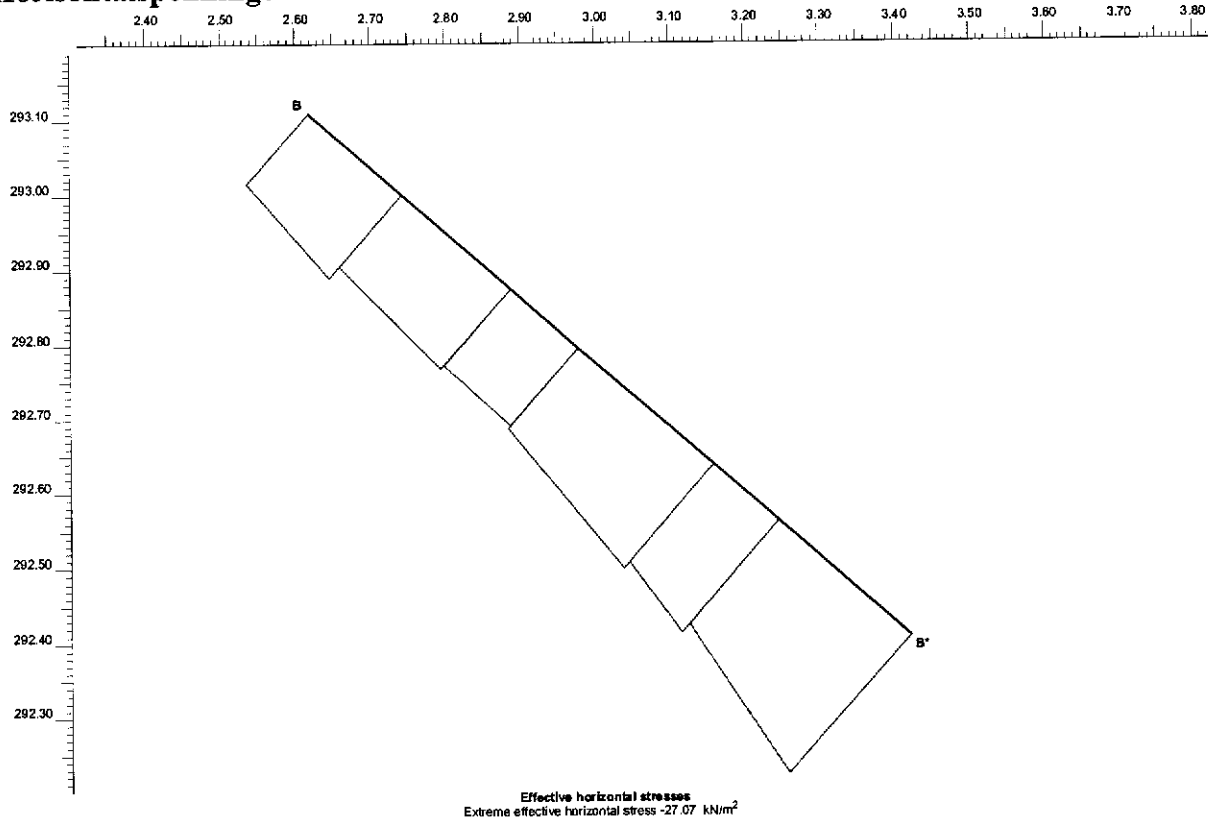
**Normalspenninger i snitt B-B**



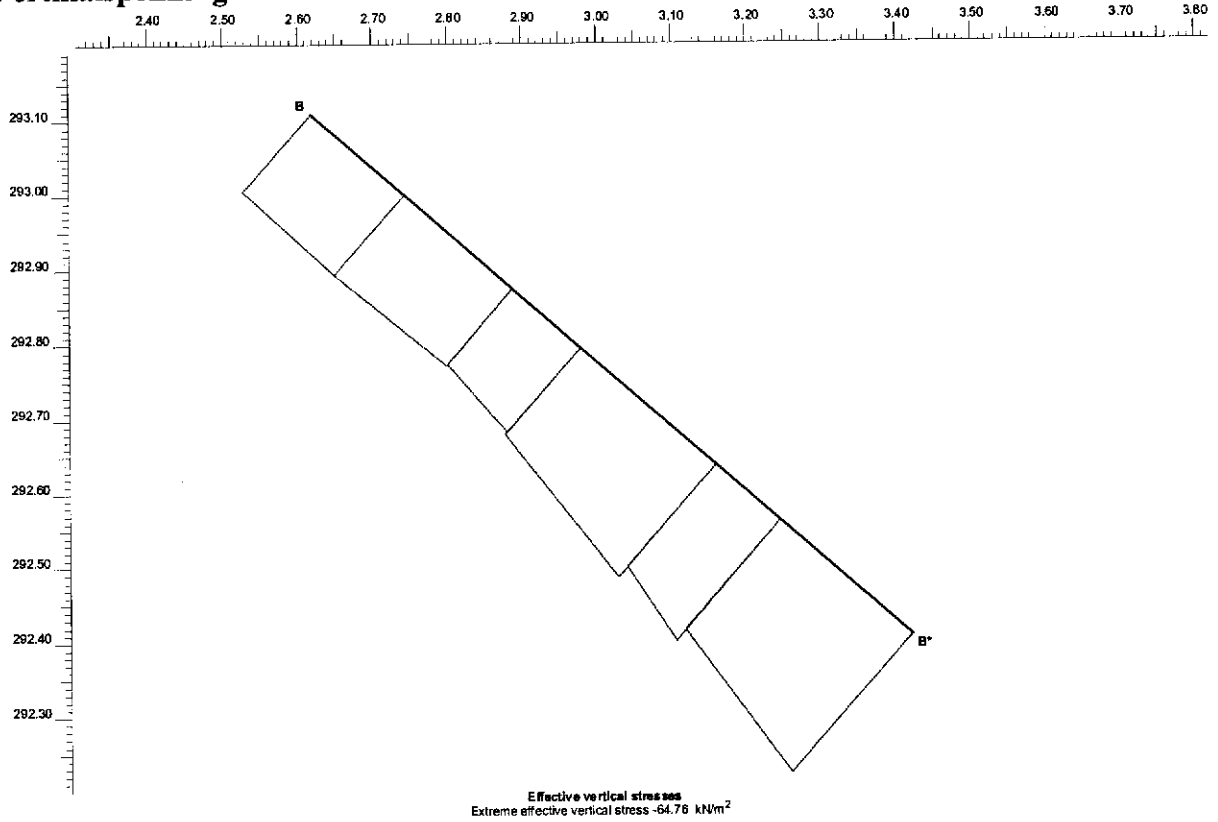
**Skjærspenninger i snitt B-B**



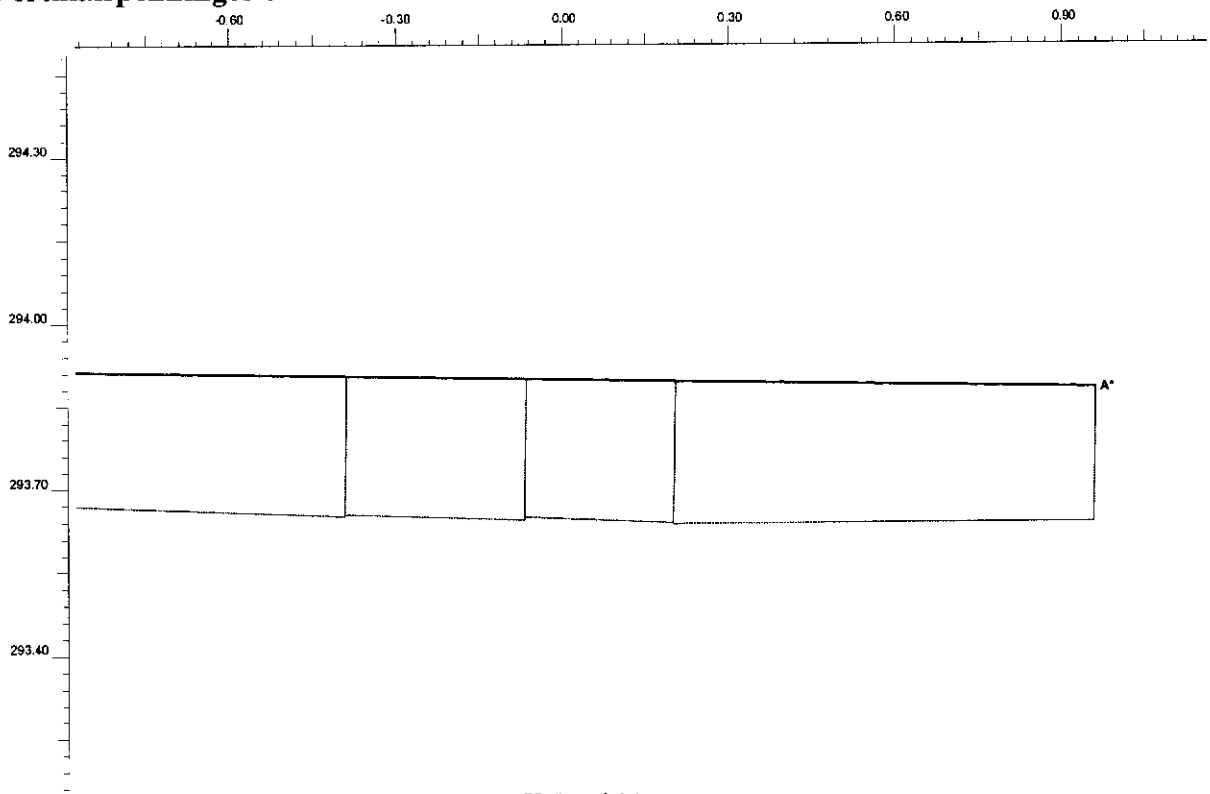
**Horisontalspenninger i snitt B-B**



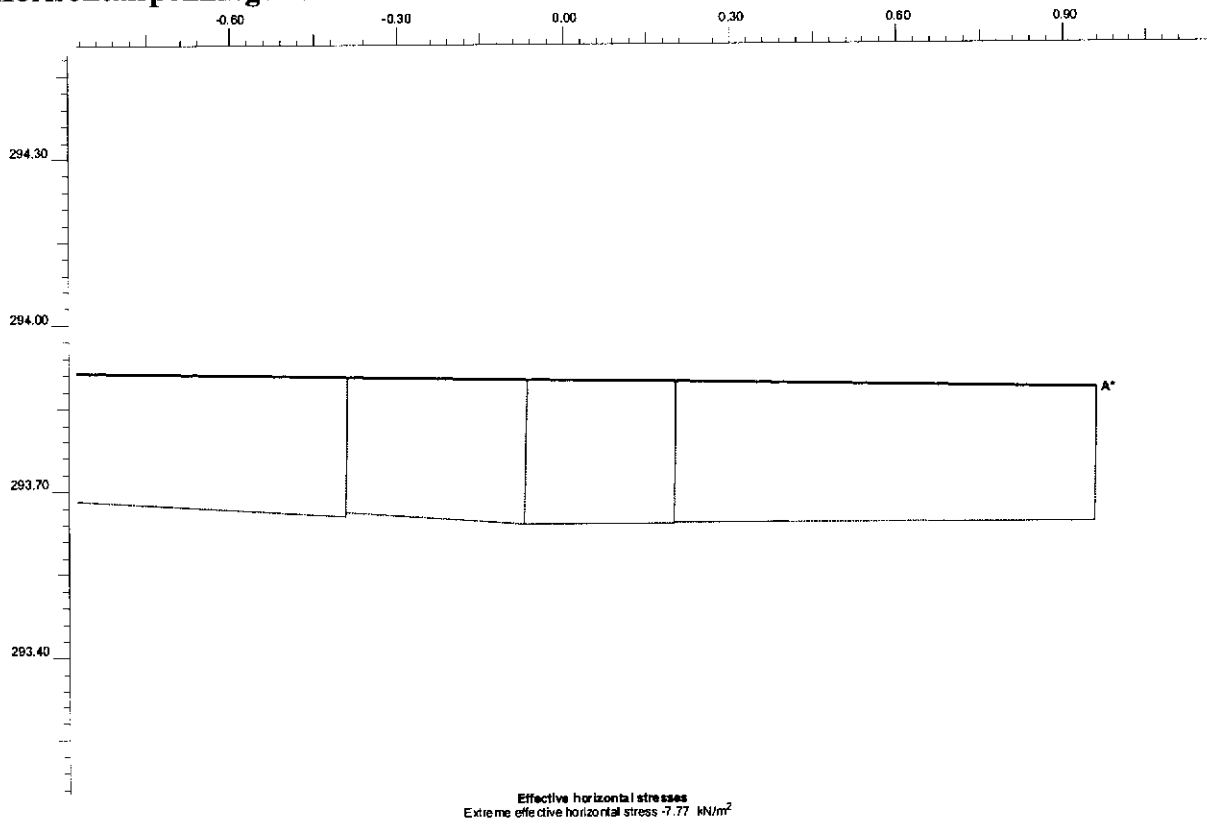
**Vertikalspenninger i snitt B-B**



### Vertikalspenninger snitt A-A



### Horizontalspenninger snitt A-A







**Geoteknisk kontor**  
**Kvalitetssikring av dokumenter:**

Skjemaet benyttes ved kvalitetssikring av oppdragsrapporter, internrapporter, brev, notater, fax og andre skriv og dokumenter som sendes fra kontoret, herunder beregninger og tegninger. Utfylt skjema følger saken og arkiveres i saksmappe.

Faggruppe:  Geoteknisk prosj.  Geotekniske unders.  Løsmasselab.

Saksbehandler: ...*A.B./H.C.R./F.R.*.....

Sak: .....*Belastningsforh. Fjordland bru*.....

Type dok.:  Oppdr.rapp.  Int.rapp.  Brev  Notat

Beregninger  Tegning  Fax  Annet

Geoteknisk prosjektklasse  Kl. 1  Kl. 2  Kl. 3

Beregninger:

Saksbehandler:  
Kontor/gruppeleder:  
Kontrollør:

Beregnet dato:	Kontrollert dato:	Signatur:

Tegninger:

Tegner:  
Saksbehandler:  
Kontor/gruppe-leder:  
Kontrollør:

Tegnet dato:	Kontrollert dato:	Signatur:

Dokument:

Saksbehandler:  
Kontor/gruppe-leder:  
Kontrollør:

Konsept dato:	Kontrollert dato:	Signatur:
<i>4/9-2000</i>	<i>5/9-2000</i>	<i>F.R.</i>
	<i>5/9-2000</i>	<i>J.B.</i>