



# NTNU

Kunnskap for en bedre verden

# Bacheloroppgave

**IB303312 Bacheloroppgave (2019 VÅR)**

**Betongkulvert E136**

10021, 10017

Totalt antall sider inkludert forside: 249

Innlevert Ålesund, 20.05.2019

TITTEL:

**Betongkulvert E136**

KANDIDATNUMMER(E):

**10021**  
**10017**

DATO:	EMNEKODE:	EMNE:	DOKUMENT TILGANG:
20.05.19	IB303312	Bacheloroppgave	
STUDIUM:		ANT SIDER/VEDLEGG:	BIBL. NR:
Byggingeniør		56/12	

VEILEDER(E) :

Babak Moussavian

Kristian Normann

SAMMENDRAG:

Denne rapporten omhandler et dimensjoneringsgrunnlag for en betongkulvert på veistrekningen E136 gjennom Veblungsnes, i Rauma kommune. Oppgaven er gitt som en bacheloroppgave og løst i samarbeid med Staten vegvesen.

*Denne oppgaven er en eksamensbesvarelse utført av studenter ved NTNU i Ålesund.*

## Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring

Du/dere fyller ut erklæringen ved å klikke i ruten til høyre for den enkelte del 1-6:		
1.	Jeg/vi erklærer herved at min/vår besvarelse er mitt/vårt eget arbeid, og at jeg/vi ikke har brukt andre kilder eller har mottatt annen hjelp enn det som er nevnt i besvarelsen.	<input checked="" type="checkbox"/>
2.	Jeg/vi erklærer videre at denne besvarelsen: <ul style="list-style-type: none"><li>• ikke har vært brukt til annen eksamen ved annen avdeling/universitet/høgskole innenlands eller utenlands.</li><li>• ikke refererer til andres arbeid uten at det er oppgitt.</li><li>• ikke refererer til eget tidligere arbeid uten at det er oppgitt.</li><li>• har alle referansene oppgitt i litteraturlisten.</li><li>• ikke er en kopi, duplikat eller avskrift av andres arbeid eller besvarelse.</li></ul>	<input checked="" type="checkbox"/>
3.	Jeg/vi er kjent med at brudd på ovennevnte er å <u>betrakte som fusk</u> og kan medføre annullering av eksamen og utestengelse fra universiteter og høgskoler i Norge, jf. <a href="#">Universitets- og høgskoleloven</a> §§4-7 og 4-8 og <a href="#">Forskrift om eksamen</a> §§14 og 15.	<input checked="" type="checkbox"/>
4.	Jeg/vi er kjent med at alle innleverte oppgaver kan bli plagiatkontrollert i Ephorus, se <a href="#">Retningslinjer for elektronisk innlevering og publisering av studiepoenggivende studentoppgaver</a>	<input checked="" type="checkbox"/>
5.	Jeg/vi er kjent med at høgskolen vil behandle alle saker hvor det forligger mistanke om fusk etter <a href="#">høgskolens studieforskrift §31</a>	<input checked="" type="checkbox"/>
6.	Jeg/vi har satt oss inn i regler og retningslinjer i bruk av <a href="#">kilder og referanser på biblioteket sine nettsider</a>	<input checked="" type="checkbox"/>

## Publiseringsavtale

Studiepoeng: 20

Veileder: Kristian Normann

### Fullmakt til elektronisk publisering av oppgaven

Forfatter(ne) har opphavsrett til oppgaven. Det betyr blant annet enerett til å gjøre verket tilgjengelig for allmennheten ([Åndsverkloven §2](#)). Alle oppgaver som fyller kriteriene vil bli registrert og publisert i Brage HiM med forfatter(ne)s godkjenning. Oppgaver som er unntatt offentlighet eller båndlagt vil ikke bli publisert.

Jeg/vi gir herved NTNU i Ålesund en vederlagsfri rett til å gjøre oppgaven tilgjengelig for elektronisk publisering:

ja  nei

Er oppgaven båndlagt (konfidensiell)?

ja  nei

(Båndleggingsavtale må fylles ut)

- Hvis ja:

Kan oppgaven publiseres når båndleggingsperioden er over?

ja  nei

Er oppgaven unntatt offentlighet?

ja  nei

(inneholder taushetsbelagt informasjon. [Jfr. Offl. §13/Fvl. §13](#))

Dato: 20.05.2019

## **FORORD**

Denne bacheloroppgaven er en avsluttende oppgave skrevet av to studenter innenfor fagområdet byggteknikk med fordypning i konstruksjon, ved NTNU i Ålesund, vårsemester 2019.

Vi ønsker å takke Statens vegvesen avdeling Molde, ved veileder Babak Moussavian, for godt samarbeid og konstruktive innspill i forbindelse med vår bacheloroppgave. Vi vil også rette en takk til Kristian Normann fra NTNU for profesjonelt samarbeid denne tiden. Det har vært en spennende, utfordrende og ikke minst lærerik periode.

Det er gjennomført beregninger i denne rapporten med den forutsetning, at man må inneha forståelse og kunnskaper for betongdimensjonering, for å få best utnyttelse av denne rapporten.

## SAMMENDRAG

Denne rapporten omhandler et dimensjoneringsgrunnlag for en betongkulvert på veistrekningen E136 gjennom Veblungsnes, i Rauma kommune. Oppgaven er gitt som en bacheloroppgave og løst i samarbeid med Staten vegvesen.

Vegstrekninger har i dag en flaskehals med dårlig kurvatur og er en relativ smal veg. Dette har ført til trafikkulykker og deler av bebyggelsen er plaget av for høyt støynivå, veien er ikke innenfor kravene som stilles. Veien skal derfor senkes ned i en betongkulvert. Ved utforming av denne betongkulverten er det utfordringer i forhold til høy grunnvannstand, ulike grunnforhold og overliggende trafikk på deler av kulverten.

Vi tar utgangspunkt i tegninger med dimensjoner mottatt fra Statens vegvesen for å kunne besvare problemstillingen. Kulverten skal dimensjoneres med utgangspunkt i Norsk standard med nasjonale tillegg og Statens vegvesen sine håndbøker og retningslinjer. Hjelpemidler vi har benyttet oss av for å løse oppgaven er beregningsprogrammene Fem Design og Eurocode Express. Håndberegninger basert på metoder hentet fra "Betongkonstruksjoner" av Sørensen, samt Revit som vi har benyttet for å lage detaljtegninger.

I resultatene er vi kommet frem til moment-, skjær-, og aksialdiagrammer, mengde armering og gjennomført kontroll for ulike deformasjoner. Dette har gitt oss en bedre forståelse for sammenhengen mellom de ulike fagområdene konstruksjon, geoteknikk og veg. Rapporten er et beregningsgrunnlag for videre arbeid ved kulverten.

## Innholdsfortegnelse

<b>FORORD</b> .....	<b>5</b>
<b>SAMMENDRAG</b> .....	<b>6</b>
<b>FIGURLISTE</b> .....	<b>9</b>
<b>TABELLISTE</b> .....	<b>9</b>
<b>1 TERMINOLOGI</b> .....	<b>10</b>
1.1 FORKORTELSER.....	10
1.2 NOTASJONER .....	10
1.3 BEGREPER.....	12
<b>2 INNLEDNING</b> .....	<b>13</b>
2.1 BAKGRUNN .....	13
2.2 PROBLEMSTILLING.....	15
2.3 KONSTRUKSJONSUNDERLAG .....	15
2.4 AVGRENSNINGER .....	17
<b>3 TEORETISK GRUNNLAG</b> .....	<b>19</b>
3.1 LITTERATUR I RAPPORTEN .....	19
3.2 BETONGKULVERT .....	19
3.3 PROGRAMMER.....	19
3.3.1 <i>Fjærer</i> .....	20
3.4 ARMERT BETONG .....	21
3.4.1 <i>Skjærarming</i> .....	21
3.5 OVERDEKNING.....	21
3.6 LAST OG LASTVIRKNING .....	21
3.6.1 <i>Permanente laster på konstruksjonen</i> .....	21
3.6.2 <i>Variable laster på konstruksjonen</i> .....	22
3.6.3 <i>Grensetilstander</i> .....	24
3.7 MOMENT-, SKJÆR- OG AKSIAL-DIAGRAMMER.....	24
3.8 OPPDRIFT .....	24
3.9 DEFORMASJONER .....	25
<b>4 METODE</b> .....	<b>26</b>
4.1 PROGRAMMER.....	26
4.1.1 <i>FEM Design</i> .....	26
4.1.2 <i>Eurocode Express</i> .....	26
4.1.3 <i>Fjærer</i> .....	27
4.1.4 <i>Revit</i> .....	27
4.2 HÅNDBEREGNINGER .....	27

4.2.1	<i>Lastberegninger</i> .....	28
4.2.2	<i>Overdekning</i> .....	31
4.2.3	<i>Armering</i> .....	32
4.2.4	<i>Deformasjoner</i> .....	34
4.2.5	<i>Oppdrift</i> .....	36
<b>5</b>	<b>RESULTAT OG DISKUSJON</b> .....	<b>37</b>
5.1	LASTBEREGNINGER.....	37
5.1.1	<i>Fordeling av laster</i> .....	37
5.1.2	<i>Lastberegninger</i> .....	39
5.2	DIAGRAMMER.....	40
5.2.1	<i>Momentdiagram</i> .....	41
5.2.2	<i>Skjærkraftdiagram</i> .....	42
5.2.3	<i>Aksialkraftdiagram</i> .....	43
5.3	OVERDEKNING .....	44
5.4	VALG AV ARMERING .....	45
5.4.1	<i>Skjærarmering</i> .....	46
5.5	DEFORMASJONER .....	47
5.5.1	<i>Riss</i> .....	47
5.5.2	<i>Forskyvninger</i> .....	47
5.5.3	<i>Svinn</i> .....	49
5.6	OPPDRIFT .....	50
5.7	TETTING AV KONSTRUKSJONEN .....	51
<b>6</b>	<b>KONKLUSJON</b> .....	<b>52</b>
<b>7</b>	<b>VEDLEGG</b> .....	<b>54</b>
<b>8</b>	<b>KILDER</b> .....	<b>55</b>



## FIGURLISTE

Figur 2.1: Oversiktskart E136	13
Figur 2.2 Utsnitt E136	14
Figur 2.3: Tverrsnitt av kulvert. Skjærmbilde fra Revit	16
Figur 2.4 Illustrasjon av krysning av veg uten terreng	17
Figur 2.5 Illustrasjon av krysning ovenfra	17
Figur 3.1 Fjærer	20
Figur 3.2 Utvidet lastområde. Hentet fra EN 1991-2:2003, s. 40	23
Figur 4.1: Rammesystem fra EE	27
Figur 4.2 Vertikale laster for lastmodell 1	28
Figur 4.3 Horisontale laster for lastmodell 1	29
Figur 4.4 Lastområde for trafikk	29
Figur 4.5 Akselsystem for lastmodell 1	30
Figur 4.6 Akselsystem for lastmodell 2	31
Figur 5.1 Utvidet lastområde LM1 tunelltersnitt	37
Figur 5.2 Utvidet lastområde LM1 inn i planet	37
Figur 5.3 Utvidet lastområde LM2 tunelltersnitt	38
Figur 5.4 Utvidet lastområde LM2 inn i planet	38
Figur 5.5: Momentdiagram. Skjærmbilde fra FD. Resultat fremvises i kNm/m	41
Figur 5.6: Momentdiagram, 849,1 kNm/m. Skjærmbilde fra EE	42
Figur 5.7: Skjærkraftdiagram. Skjærmbilde fra FD	42
Figur 5.8: Aksialkraft. Skjærmbilde fra FD.	43
Figur 5.9: Forskyvninger $K_s = 10\,000\text{ kN/m}^2/\text{m}$ . Skjærmbilde FD	48
Figur 5.10: Forskyvninger $K_s = 4000\text{ kN/m}^2/\text{m}$ . Skjærmbilde FD	48
Figur 5.11: Forskyvninger. Skjærmbilde fra EE	49

## TABELLISTE

Tabell 5-1: Lastberegninger, laget i Excel	39
Tabell 5-2: Armeringstabell, laget i Excel.	45

# 1 TERMINOLOGI

## 1.1 Forkortelser

E136	- Europaveg 136
E-modul	- Elastisitetsmodul
LM	- Lastmodell
ÅDT	- Årsdøgntrafikk
FD	- FEM Design
H1	- Hovedveg 1
EE	- Eurocode Express
U.K	- Underkant
O.K	- Overkant
H.A	- Hoved armering
F.A	- Fordelings armering
$K_s$	- Jordstivhetstall [ $\text{kN/m}^2/\text{m}$ ]

## 1.2 Notasjoner

Oppdrift:

$V$	- Volum for den fortrenkte væsken	$[\text{m}^3]$
$\rho$	- Tyngdetetthet til væsken	$[\text{kg/m}^3]$
$g$	- gravitasjon, 9,81	$[\text{m/s}^2]$
$\rho_b$	- Tyngdetetthet betong	$[\text{kg/m}^3]$
$\rho_j$	- Tyngdetetthet jord	$[\text{kg/m}^3]$
$G_b$	- Tyngden av betong	$[\text{kg}]$
$G_j$	- Tyngden av jord	$[\text{kg}]$

Rissvidde:

$c_{nom}$	- Nominell overdekning	$[\text{mm}]$
$c_{min}$	- Minimum overdekning	$[\text{mm}]$
$\Delta c_{dev}$	-Tillat avvik fra $c_{nom}$	$[\text{mm}]$

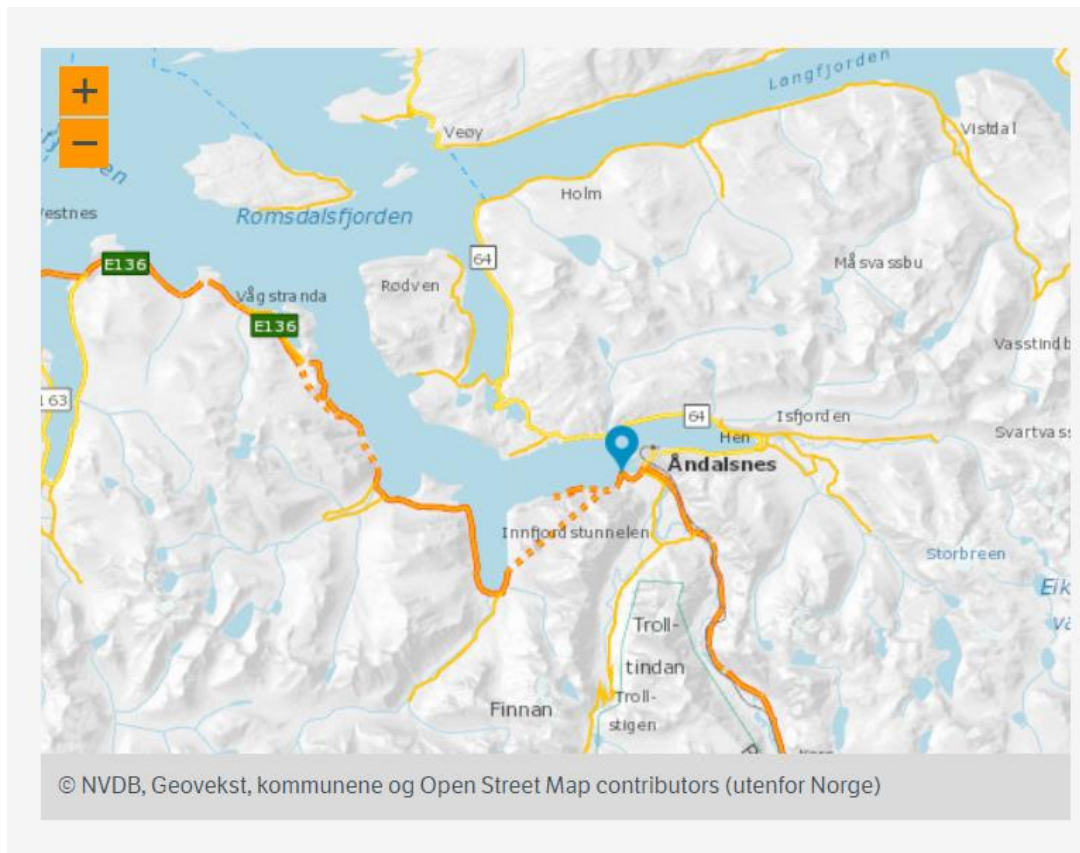
$w_{max}$	- Tillatt rissvidde	[mm]
$w$	- Rissvidde	[mm]
$s_r$	- Rissavstand	[mm]
$\varepsilon_{cm}$	- Midlere tøyning i betong	
$\varepsilon_{sm}$	- Midlere tøyning i armering	
$\sigma_s$	- armeringsspenning i opprisset tilsand	[MPa]
$f_{ct,eff}$	- effektiv midlere strekkfasthet	[MPa]
$\rho_{p,eff}$	- Forholdet mellom armeringsareal og effektiv betongareal.	
$\eta$	- $E_s/E_c$ , middel	
$E_s$	- Stålets Elastisitetsmodul	[MPa]
$E_{c,middel}$	- Middel Elastisitetsmodul etter lengre tid	[MPa]
 Armering:		
$M_{Rd}$	- Betongtrykksonens momentkapasitet	[kNm]
$A_s$	- Dimensjonerende armering	[mm <sup>2</sup> ]
$A_{s,min}$	- Minimum armering	[mm <sup>2</sup> ]
$b$	- Bredde inn i planet	[mm]
$d$	- Tverrsnittets effektive høyde	[mm]
$f_{ctm}$	- Betongens midlere strekkfasthet	[MPa]
$f_{yk}$	- Karakteristisk fasthet for armeringsstål	[MPa]
 Skjærarmering:		
$V_{Rd}$	- Skjærkapasitet	[kN]
$V_{Ed}$	- Dimensjonerende skjærkraft	[kN]
$A_{s,w}$	- Nødvendigskjærarmering	[mm]
$S$	- Senteravstand mellom skjærarmering	[mm]
$f_{ywd}$	- Dimensjonerende fasthet for skjærarmeringsstålet	[MPa]
$E_{cm}$	- Elastisitetsmodul for betong	[MPa]
$u$	- omkretsen av den delen som utsatt for uttørking.	[mm]

### **1.3 Begreper**

Kulvert	Nedsenket tunell for gjennomføring av transport.
Monolittisk forbindelse:	Monolittisk forbindelse innebærer at f.eks. vegg og overbygning er støpt i ett. Det fører til tilnærmet fast innspenning og at momenter overføres fra overbygningen og ned i vegg.
Duktilitet:	«Materialets evne til å deformeres uten at det oppstår brudd.» (Lohne, 2018)
Hviletrykkstilstand:	Hviletrykket er horisontaltrykket in situ eller mot en vertikal konstruksjon der det ikke er horisontalforskyvning. Jordtrykk vil øke fra overflaten og ned.
Klorider:	Klorider er en forbindelse med grunnstoffet klor. En av de vanligste årsakene til at betong blir skadet er at armeringsjernet korroderer. Dette skjer når klorider trenger inn til armeringsjernet.
Vouter:	Forsterkninger av overgang mellom vegg og topplate.
Riss:	Oppsrekking i betongen
Elastisitetsmodul(E-modul):	«Forholdstallet mellom en strekk- eller trykkspenning og en relativ elastisk deformasjon som spenningen forårsaker.» (Ormestad, 2014)
Herding av betong:	Tørking av betongen
Svinn:	Betongen trekker den seg sammen
Setninger:	“Setninger er hvordan jorden endrer form og volum når den blir belastet.” (Emdal, 2013)

## 2 INNLEDNING

### 2.1 Bakgrunn

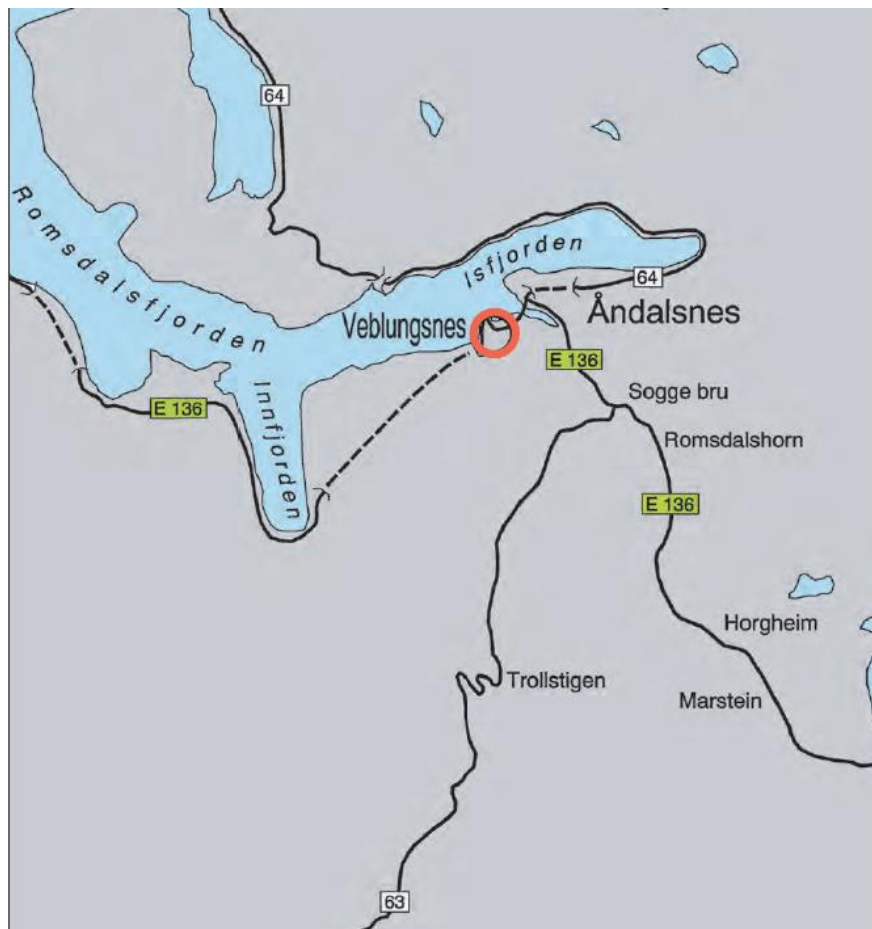


Figur 2.1: Oversiktskart E136. Kilde: Vegvesen

Europaveg 136 går i Møre og Romsdal fra Oppland grense, til Ålesund se Figur 2.1.

Det er utarbeidet en kommunedelplan som strekker seg fra Sogge bro til Veblungsnes vest, se Figur 2.2. Europavegen forbi Veblungsnes er en av de viktigste veiforbindelsene mellom Østlandet og store deler av Møre og Romsdalen. Vegstrekninger E136 gjennom Veblungsnes er i dag en flaskehals med dårlig kurvatur og relativt smal veg. Det har ført til trafikkulykker og deler av bebyggelsen er plaget av for høyt støynivå, og er derfor ikke innenfor kravene som stilles. Målet for planen er å komme frem til en løsning som holder seg innenfor kravet i standarder om geometrisk utføring og sikkerhet for stamveger. Det skal også tas nødvendig hensyn til miljø, som er et av hovedmålene for Statens vegvesen. Utbygging av en betongkulvert er en billigere løsning enn å utføre andre tiltak for å nå målene innenfor kravene, eksempel ved å sette opp støydempende gjerder. Det er nå lagt

frem en plan om å senke vegen forbi kirken i en 110m lang betongkulvert. Som vi i denne oppgaven skal dimensjonere.



Figur 2.2 Utsnitt E136. Kilde: Vegvesen

## **2.2 Problemstilling**

Vegstrekninger E136 gjennom Veblungsnes har i dag en flaskehals med dårlig kurvatur og er en relativ smal veg. Det skal her tilrettelegges for en ny vei i form av en betongkulvert. Ved utforming av denne betongkulverten er det utfordringer i forhold til høy grunnvannstand, ulike grunnforhold og overliggende trafikk.

Den grunnleggende problemstillingen for oppgaven omfatter å gi et beregningsgrunnlag for en 110m lang betongkulvert på denne vegstrekningen. Vi tar utgangspunkt i tegninger med dimensjoner vi har mottatt fra Statens vegvesen for å kunne besvare problemstillingen.

Vi har utarbeidet følgende delmål:

- Lastberegning: Trafikkklaster lastmodell 1 og 2, og permanente laster inkl. jordtrykk
- Nødvendig armering for bunnplate, vegger og kulverttak
- Utarbeide moment-, skjær- og aksial-diagrammer
- Akseptable deformasjoner
- Konstruksjonens setninger ved ulike jordstivheter
- Tetting av konstruksjon
- Kontroll av oppdrift, på kulvert og trauvegg, pga. grunnvannstand
- Utarbeide detaljtegninger av armering i tverrsnittet

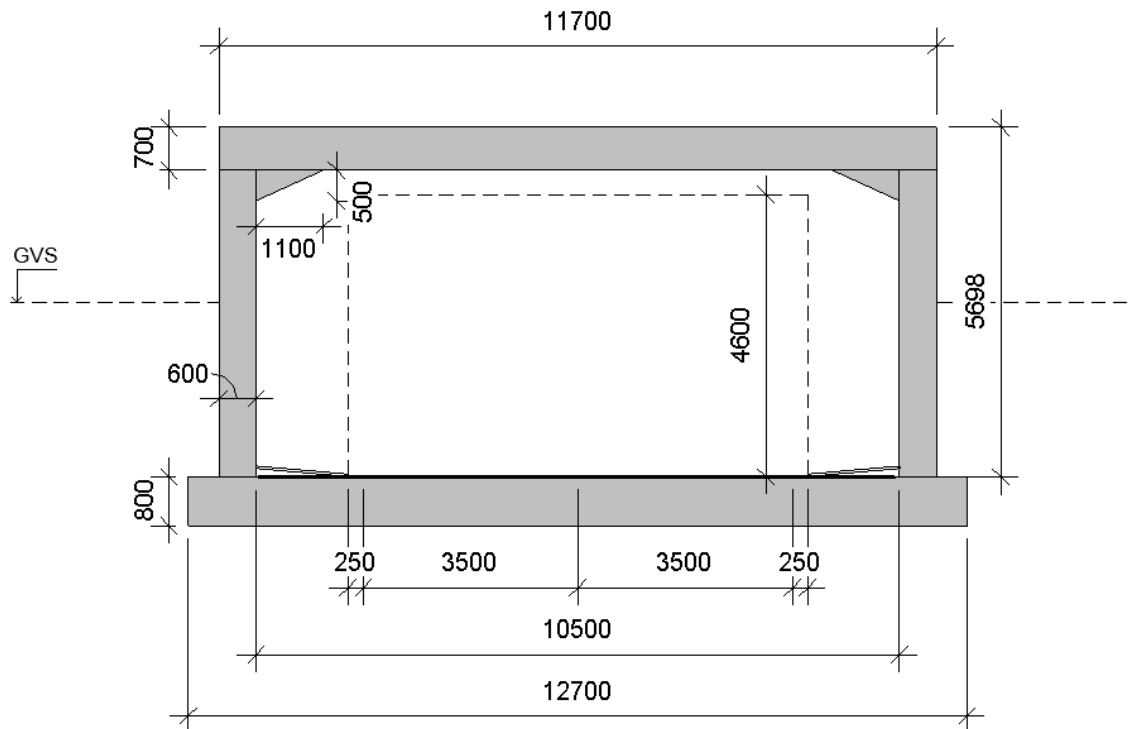
Kulverten skal dimensjoneres med utgangspunkt i Norsk standard med nasjonale tillegg og Statens vegvesen sine håndbøker og retningslinjer.

## **2.3 Konstruksjonsunderlag**

Vegen som skal gå gjennom betongkulverten er planlagt i standardklasse H1 (S), basert på ny vegnormal 2018. H1 Nasjonal hovedveger og øvrige hovedveger, ÅDT lik 3200 kjøretøy og fartsgrense lik 80 km/t. Dette i henhold til underlag fra arbeidstegning gitt av veileder fra Statens vegvesen, se vedlegg 10. I mars 2019 ble Håndbok N100 oppdatert og det er gjort endringer i forhold til standardklasse H1. Endringene er ikke tatt med i denne oppgaven i og med at endringene ble gjort langt ut i prosjektperioden.

En av hovedutfordringene ved denne konstruksjonen er den høye grunnvannstanden i området. Det er ikke mulig å senke grunnvannsstanden fordi dette kan føre til setninger for

bebyggelsen i området. Det blir derfor viktig å tette konstruksjonen tilstrekkelig. Det vil være lettere å få konstruksjonen tett hvis arbeidet utføres i tørrhet, dette oppnås f.eks. ved å sette opp spuntvegger for å holde grunnvannet vekke i byggeperioden.



Figur 2.3: Tverrsnitt av kulvert. Skjærmbilde fra Revit

Betongkulverten blir dimensjonert med en innvendig fri høyde på 4,9m. Kravet til den frie høyden er 4,6m. Vi bruker en høyde på 4,9 m fordi minimum høyde for teknisk utrustning skal være 4,8 m over kjørebanelen, «Vegtunneler med lengde over 100 meter skal belyses i henhold til kravene gitt i 9.3.2.» (Norge, 2016). Betongkulverten er 110m lang og vi må derfor ta hensyn til en innhengt last som representerer belysning og andre tekniske installasjoner i beregningene.

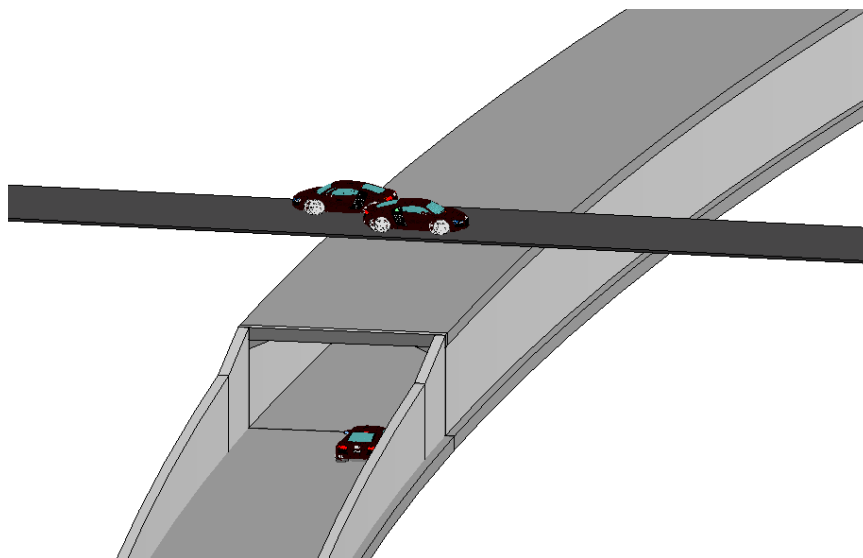
I følge N100 skal hovedveger (H1) med ÅDT ha en bredde på 7,5 m. Betongkulverten blir bygget med en bredde på 10,5m på innsiden, dette skyldes innlagt sikkerhet. Vegskuldrene plasseres 0,25m fra kjørebanelen og skal ha et fall mot kjørebanelen på minimum 5%. Kjørebanelen inne i kulverten skal ha et fall på 8%.



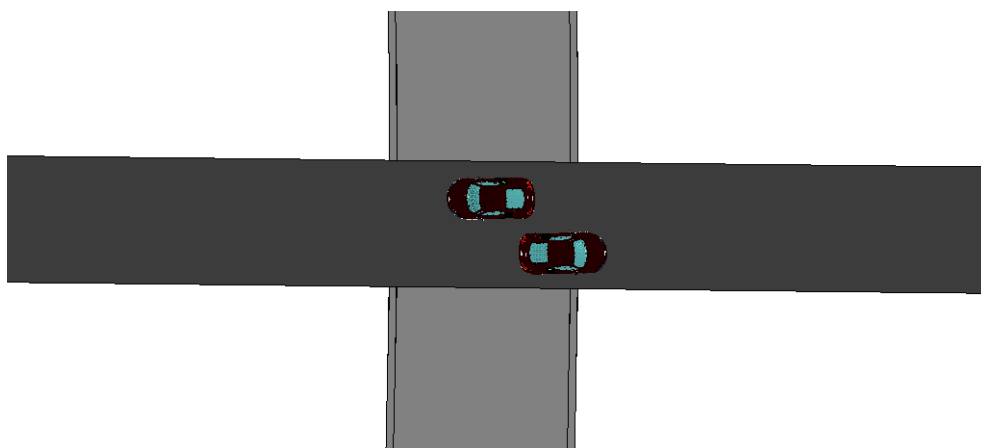
## 2.4 Avgrensninger

Oppgaven krever noen forutsetninger og begrensninger for å tilpasse prosjektets omfang. Vi har derfor gjort noen tilpasninger av oppgaven.

Som nevnt skal veien E136 senkes ned i en betongkulvert under bakken. En av utfordringene ved kulverten vil være en overliggende lokalvei, som krysser deler av betongkulverten diagonalt. Den nye vegstrekningen på E136 har egentlig en horisontalradius  $R_H = 640\text{m}$ , som vist i vedlegg 10. Vi har valgt og forenklet beregningene av kulverten ved å ha en 90 graders krysning mellom kulverten og lokalvegen som går over, som vist på Figur 2.4 og Figur 2.5. Derfor tar vi ikke hensyn til helningen som egentlig er inne i kulverten ved dimensjonering.



Figur 2.4 Illustrasjon av krysning av veg uten terreng



Figur 2.5 Illustrasjon av krysning ovenfra uten terreng

Halve konstruksjonen ligger under grunnvannstanden.

Kulvertens trauegg vil ikke betraktes i dette beregningsgrunnlaget annet enn ved beregning av oppdrift. Dette skyldes tidspress for ferdigstilling av oppgaven.

## **3 TEORETISK GRUNNLAG**

### ***3.1 Litteratur i rapporten***

Kulverten skal dimensjoneres med utgangspunkt i Norsk standard med nasjonale tillegg og Statens vegvesen sine håndbøker og retningslinjer. Vi har spesielt benyttet oss av N400 Bruprosjektering. Beregninger er gjennomført ved hjelp av metoder hentet fra «*Betongkonstruksjoner*» (Sørensen, 2013). Vi vil også benytte annen faglitteratur som vi anser relevant for å løse problemstillingen.

### ***3.2 Betongkulvert***

Betongkulverten er en anleggskonstruksjon, og det stilles spesifikke krav til konstruksjonen som vi forholder oss til for å løse problemstillingen. En betongkulvert har en monolittisk forbindelse mellom bunnplate og vegger, samt kulverttak og vegger. Konstruksjonen er en samvirkekonstruksjon med omliggende jordmasser, og er omringet av jord på alle sider. Overfylling er på 1m bestående av asfaltlaget til den overliggende vegen og jordfylling. Kulverten er en stiv og stabil konstruksjon. Dette skyldes at betong i seg selv er et stivt materiale. I tillegg vil den monolittiske forbindelsen av armert betong, konstruksjonens fasong og den omliggende jordmassen bidra til å styrke stabiliteten.

Betong er en av våre viktigste byggematerialer sammen med stål og tre. Betong har gode egenskaper til å ta opp store krefter og er enkel å forme. Når betongen er satt sammen og brukt på riktig måte har den god brannmotstand og god bestandighet mot nedbrytning fra miljø. Noe som er viktig i dette tilfelle i forhold til kulvertens plassering.

### ***3.3 Programmer***

For å løse problemstillingen på best mulig måte vil vi benytte oss av flere dataprogrammer. Dette gjør at vi får mulighet til å sammenligne og styrke resultatene. Programmer som benyttes er:

Eurocode Express, heretter kalt EE, er et program som vil gi analyse av rammeprofilet til betongkulverten i 2D. Det gir oss momentforskyvninger, skjærkrefter og aksialkrefter, samt forskyvninger.

Fem Design, heretter kalt FD, er et beregningsprogram basert på 3D modellering.

Programmet løser alt fra enkle til kompliserte konstruksjoner, og har stor nøyaktighet i sine analyser. FD baserer seg på elementmetoden, som blant annet beregner kreftene som treffer elementene og beregner armerings mengde.

Revit er et modellerings program som blant annet gir 3D-modeller og detaljtegninger, som vi trenger for å kunne besvare problemstillingen.

### 3.3.1 Fjærer

For at vi skal kunne gjennomføre beregninger i programmene EE og FD må vi legge inn “fjærer” som representerer jorden i form av staver. Uten “fjærene” vil konstruksjonen få momenter som gir strekk i underkant av bunnplaten, som ikke er mulig i virkeligheten. Jorden under konstruksjonen vil hindrer nedbøyning av bunnplaten.

Prinsippet bak fjærer er Hooks lov hvor:

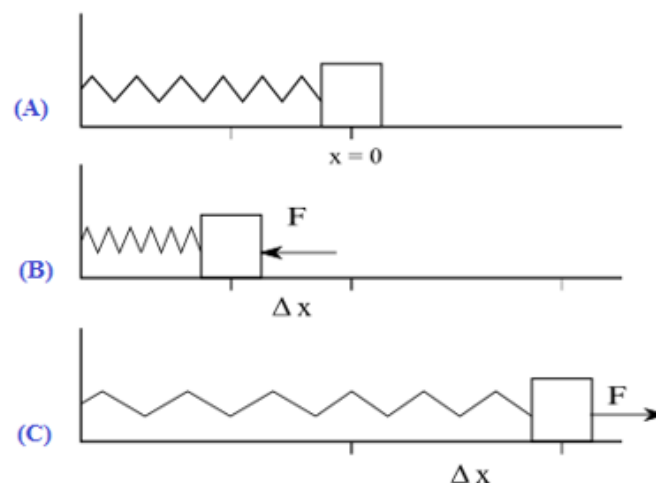
$$F = k \times x$$

$k$ = fjærkonstanten

$x$ = strekning ut fra hviletilstand

Formel er hentet fra (Storelvmo, 2005).

Når «fjæren» trykkes sammen øker kreftene fordi at mostanden i fjæren blir større, se Figur 3.1.



Figur 3.1 Fjærer. (“Hooke’s Law, Examples with solutions,” n.d.)

FD har egen funksjon som legger inn konstruksjonsfjærene, mens i EE må disse fremstilles selv i form av staver.

### ***3.4 Armert betong***

Kulverten er bygget opp av armert betong, som i dagens samfunn er en av de viktigste byggematerialene som brukes i konstruksjoner. Betongen i seg selv har god kapasitet til å ta opp store trykkrefter, god bestandighet og formbarhet, men lav kapasitet til å ta opp strekk. Dette kompenseres ved å legge inn armeringsstål, som har gode evner til å ta opp strekktøyninger. Sammen har disse materialene et nesten perfekt samvirke. Armeringsstålets oppgave er å begrense rissvidder og gi en duktil oppførsel til konstruksjonen, mens betongen gir korrosjon- og brannbeskyttelse til armeringsstålet, i tillegg til at det tar opp store trykkpåkjenninger.

Det vil være økonomiske fordeler ved bruk av armert betong. Armeringsstål er et dyrt materiale. Kostnadene her kan kompenseres ved at i områder hvor det er trykkpåkjenninger eller lite påkjenninger generelt vil betongen "erstatte" armeringsstålet.

#### **3.4.1 Skjærarmering**

Skjærarmering er armering som tar opp skjærkreftene i en konstruksjon. Det er behov for skjærarmering hvis den dimensjonerende skjærkraften er større enn skjærkapasiteten i det beregnede området.

### ***3.5 Overdekning***

Overdekning er avstanden fra betongoverflaten og inn til armeringen. Fungerer som en beskyttelse for armeringen mot korrosjon og påkjenning fra miljøet.

### ***3.6 Last og lastvirkning***

«En last defineres som enhver form for påvirkning som medfører spenninger eller tøyninger i konstruksjonen, f.eks. kraft eller påført deformasjon.» (Norge Vegdirektoratet, Statens vegvesen, & Norge Vegdirektoratet, 2009)

Under forklarer vi laster som kan påvirke konstruksjonen og deres lastvirkning.

#### **3.6.1 Permanente laster på konstruksjonen**

Permanente laster består av egenlast, som er konstruksjonens egen tyngde, samt andre konstruksjonselementer som er permanente. Egenlast vil i de fleste tilfeller ha en fast plassering, størrelse og retning. Permanente laster som påvirker betongkulverten er følgende:

### 3.6.1.1 Egenlast

Egenlast er tyngden av selve konstruksjonen. I dette tilfellet er det tyngden av kulverttak, vegger og bunnplate. Tyngdetetthet for armert betong er  $25 \text{ kN/m}^3$ .

### 3.6.1.2 Jordtrykk

Konstruksjonen utsettes for trykk fra jorden. Tyngdetettheten av jord hentes ut fra jordprøver fra gjeldende område og er i dette tilfelle  $18 \text{ kN/m}^3$ . Ved beregning av det horisontale krefter fra jorden må man korrigere jordtrykket med en jordtrykkskoeffisient. Dette fordi jorden vil fordele seg utover på en måte som gjør at ikke alt trykket fra jorden treffer konstruksjonen horisontalt.

### 3.6.1.3 Innhengt last

Det stilles krav til belysning som er teknisk utrustning i tunneller over 100m i henhold til Håndbok N500 Vegtunneller. Denne lasten kaller vi innhengt last, som kommer fra belysning og ander tekniske installasjoner i taket på betongkulverten.

### 3.6.1.4 Vanntrykk

Krefter som oppstår på konstruksjonen grunnet trykk fra grunnvannet.

## 3.6.2 Variable laster på konstruksjonen

En variabel last er en last som varierer med tiden. Variable laster har nødvendigvis ikke en fast plassering, størrelse eller retning. Ved lastberegning plasseres denne lasten slik at man får det mest ugunstige tilfellet, som medfører størst lastvirkning på konstruksjonen. Variable laster som påvirker betongkulverten er følgende:

### 3.6.2.1 Lastmodell 1 og lastmodell 2

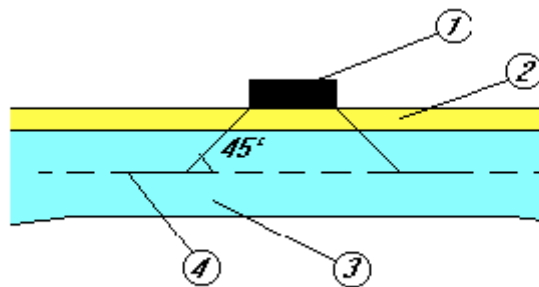
Lastmodellene beskriver hvilken lastvirkning trafikken vil ha på vegen. Lastmodellene er hentet fra *Eurocode 1: Laster på konstruksjonen Del 2: Trafikklast på bruer*. Vi skal i denne oppgaven se på to lastmodeller:

*Lastmodell 1 (LM1)* består av en konsentrert last og en jevnt fordelt last, som representerer lasten fra trafikken. Den konsentrerte lasten består av et dobbelt akselsystem.

*Lastmodell 2 (LM2)* består kun av en konsentrert last som representerer last fra én aksel.

«Aksellast som er den konsentrerte lasten, er den samlede tyngde som overføres til veggen fra alle hjul på en aksel.» (*Håndbok R412- Bruklassifisering, 2003*)

Aksellasten vil fordele seg 45 grader gjennom asfaltlaget, som i Figur 3.2. Gjennom jorden vil den fordele seg med 30 grader.



Figur 3.2 Utvidet lastområdet. Hentet fra EN 1991-2:2003, s. 40

### 3.6.2.2 Snølast

Snølast er en variabel last. Det er en last som varierer i forhold til hvor man befinner seg i landet, kyststrøk eller innland, høyde over havet osv. Nasjonalt tillegg til *NS-EN 1991-1-1-3*, viser 50-årslast på mark for alle kommuner i landet.

### 3.6.2.3 Bremselast

Bremselaster er horisontale laster som kommer fra kjøretøyets bremsing og akselerasjon.

### 3.6.2.4 Temperaturlast

En konstruksjon kan få store indre krefter dersom den utsettes for temperaturendringer og deformasjonene forhindres. Det kan oppstå tvangsforskyvninger som kan føre til økning av indre momenter.

### 3.6.2.5 Vindlast

Vindlast er en variabel last, som på denne konstruksjonen ikke vil ha noe påvirkning fordi konstruksjonen er nedsenket i bakken. Det vil muligens oppstå laster i form av trykk og sug på grunn av vind inne i tunnelen, men dette er noe vi ser bort ifra i denne oppgaven.

### **3.6.3 Grensetilstander**

Grensetilstander er med å avgjøre lastfaktorers størrelse. Konstruksjonen kontrolleres for:

#### **3.6.3.1 Bruddgrensetilstand**

Konstruksjonen dimensjoneres for bruddgrensetilstand. Ved beregning i bruddgrensetilstand legger man inn store lastfaktorer for å dimensjonere for uventede lastpåvirkninger som kan oppstå. I denne delen av analyseringen gjennomfører vi lastberegninger, lastvirkningsanalyse og utførere styrkeberegninger.

#### **3.6.3.2 Bruksgrensetilstand**

Ved kontroll av konstruksjonens funksjonsdyktighet regner man i bruksgrensetilstand. Her utføres beregninger av forskyvninger og rissvidde. Lastfaktor settes lik 1,0 med mindre annet er oppgitt.

#### **3.6.3.3 Ulykkesgrensetilstand**

Dette er kontroll av konstruksjonen ved en eventuell ulykkesituasjon. Det kan være for eksempel under brann, jordskjelv, kollisjon eller eksplosjon. Det er vanskelig å forutse hvilke omfang og konsekvenser en eventuell ulykke kan ha for konstruksjonen.

### **3.7 Moment-, skjær- og aksial-diagrammer**

I oppgaven skal det utarbeides moment-, skjær- og aksial-diagrammer. Dette er for å bestemme den dimensjonerende lastvirkningen på konstruksjonen, altså den ugunstigste eller maksimale lastvirkningen. Man må her ta hensyn til lastenes plassering og om de virker lastende eller avlastende. Utarbeiding av moment-, skjær- og aksial-diagrammer vil gi et bilde over hvordan konstruksjonen oppfører seg ved ulike lasttilfeller. Resultatene for diagrammene vil brukes til videre beregninger i oppgaven.

### **3.8 Oppdrift**

“Etter Arkimedes’s lov er oppdriften rettet vertikalt oppover og lik tyngden av gass- eller væskemengde som fortreges.” (Pedersen, 2017). Konstruksjoner som er nedsenket i en form for væske eller gass er utsatt for oppdrift. Dette oppstår når tyngden av den fortregte væsken/gassen er større enn vekten av motvirkende krefter.



### ***3.9 Deformasjoner***

Det oppstår lettere store skader på grunn av bevegelse i lengre konstruksjoner. Skader som kan oppstå ved bevegelser er oppsprekking av konstruksjonen, også kalt riss, fordi betong ikke kan bevege seg uhindret. Hindret bevegelse kan føre til brudd. Bevegelser i konstruksjonen kan oppstå på grunn av:

- Temperaturendringer. Dette kan være forlengelse eller forkortelse av konstruksjonen, som vil føre til store indre krefter dersom deformasjonene er forhindret. Eks. hvis en betongflate blir varmet opp av solen og temperaturen øker, vil dette medføre store indre krefter fordi betongen da vil utvide seg.
- Svinn når betongen trekker seg sammen pga. tørking. Svelling er motsatt, altså når betongen utvider seg.
- Setninger i grunn.
- Deformasjoner på grunn av belastning. Eksempelvis nedbøying av plater og bjelker.
- Frost, eksempelvis hvordan telehiv vil påvirke konstruksjonen.

## 4 METODE

### 4.1 Programmer

I denne oppgaven kommer vi til å benytte oss av beregningsprogrammene FD og EE.

#### 4.1.1 FEM Design

FD bruker vi i denne oppgaven for å fremstille moment-, skjærkraft-, og aksialkraftdiagrammer, deformasjoner og beregning av armering.

Rammens er satt sammen av fire plater med dimensjoner hentet fra Statens vegvesen sine arbeidstegninger. Dybden på kulverten er satt til tre meter inn i planet da dette er lastområdet vi utfører beregninger på. Under bunnplaten la vi inn verdier for de vertikale fjærene.

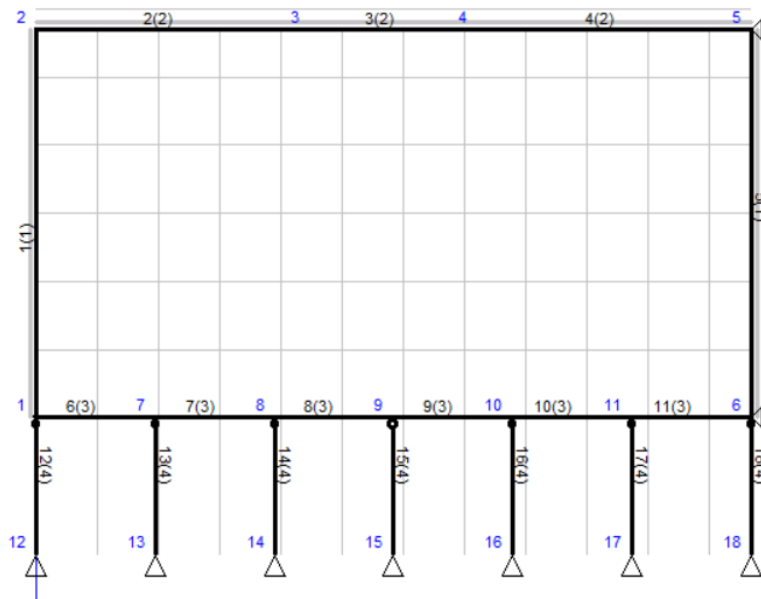
De forhåndsberregnede lastene plasseres på konstruksjonen i sine representative lastområder. Deretter defineres hva som er permanent og variabel last, samt tilhørende lastfaktorer i brudd- og bruksgrensetilstand. Programmet kan nå kjøre en beregningsanalyse og man får ut verdier for moment-, skjærkraft- og aksialkraftdiagrammer, samt deformasjoner.

Ved armeringsberegninger legger man inn grunnparametere for valg av armering.

Programmet har en auto funksjon ved beregning av armering som tar utgangspunkt i grunnparameterne, samt momenter, aksialkrefter og skjærkrefter fra den mest ugunstige lastkombinasjonen.

#### 4.1.2 Eurocode Express

Ved beregninger i EE produseres et rammeverk med like forutsetninger som i FD. I motsetning til FD har ikke EE en funksjon for innsetting av fjærkonstanter. Her settes det manuelt inn staver under konstruksjonen som skal representere "fjærene". Ved plassering av laster i EE er det behov for å dele opp "platene" i elementer. I topplaten gjøres dette for å plassere aksellasten i gjeldende lastområde. Bunnplaten deles opp i flere elementer for å legge inn fjærstavene. For å kunne benytte rammeverket i videre beregning er det behov for likevekt i rammeverket. Knutepunkt 5 og 6 er derfor lagt inn fritt opplagt.



Figur 4.1: Rammesystem fra EE

Ved bruk av EE er det behov for å gjøre diverse forberegninger. Programmet er ikke avansert nok til å regne med flere enn to lastfaktorer. Det blir derfor behov for å korrigere de ulike lastene på forhånd. Vi vil bare gjøre beregninger for én lastkombinasjon, da resultatene bare skal benyttes for å sammenligne med FD. Lastfaktorene vi bruker i programmet er  $\gamma_G = 1,2$  og  $\gamma_Q = 1,5$ .

### 4.1.3 Fjærer

I grunnforholdene sammenlignes forskjellen mellom myk og stivere jord. Fjærstivhetene benyttet i beregningene er  $K_s = 10\,000 \text{ kN/m}^2/\text{m}$  og  $K_s = 4000 \text{ kN/m}^2/\text{m}$ . Videre antas det hviletrykkstilstand for jordtrykkberegningene.

### 4.1.4 Revit

Revit brukes først og fremst for framstilling av detaljtegninger, men også visualisering av betongkulverten i 3D. Detaljtegninger viser blant annet detaljer om armering, delitasjonsfuger og støpeskjøter.

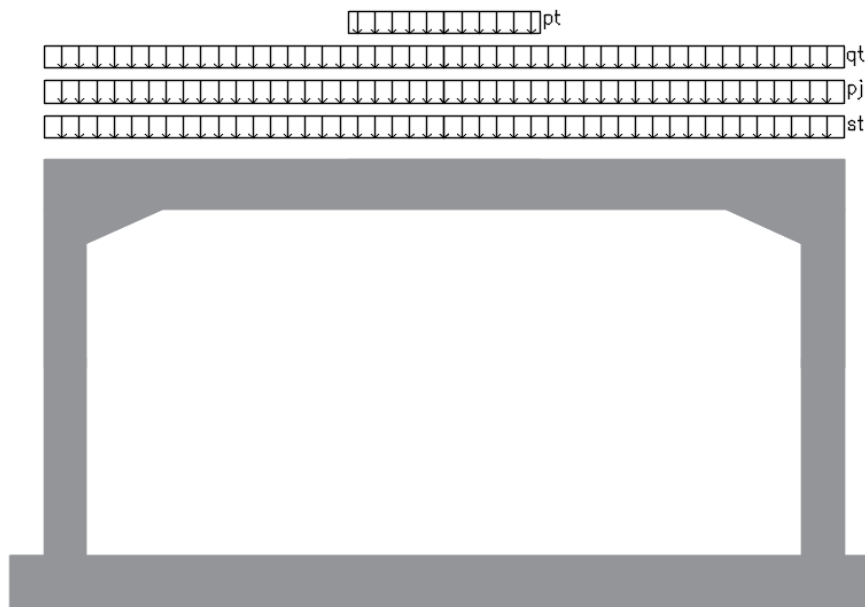
## 4.2 Håndberegninger

Vi benytter oss av håndberegninger, dette gjør vi for å få en kontroll av noen resultater i beregningsprogrammene. Beregningsprogrammene er også avhengig av at vi regner ut laster og lastkombinasjoner på forhånd.

### 4.2.1 Lastberegninger

Ved beregning av laster regner vi de om til felles benevning, kN/m. Alle laster er beregnet i henhold til *Eurocode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner*. Fra tabell NA.A2.4(B) og NA. A1.2(B) beregner vi laster ut ifra likning 6.10a og 6.10b. Lastfaktorene er hentet ut fra tilhørende Nasjonale tillegg.

Figur 4.2 viser et eksempel på hvordan de vertikale lastene kan virke på konstruksjonen. Hvor  $pt$  er aksellast,  $qt$  er jevnt fordelt last fra trafikk,  $pj$  er jordtrykk og  $st$  er snølast.



Figur 4.2 Vertikale laster for lastmodell 1

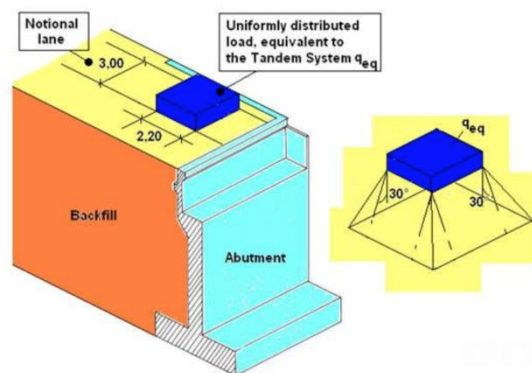
Figur 4.3 viser et eksempel på hvordan de horisontale lastene kan virke på konstruksjonen. Hvor  $pv$  er vanntrykk,  $pj$  er jordtrykk og  $pjt$  er horisontalt trykk fra den jevnt fordelte trafikklaster.



Figur 4.3 Horisontale laster for lastmodell 1

Snølast og trafikklaster opptrer ikke samtidig på en veg. Det vil ikke være mulig med full trafikk på en snødekket veg, og vegen vil brøytes før tilfellet oppstår. Snølasten ekskluderes ved beregninger i FD og EE da denne gir minst lastvirkning.

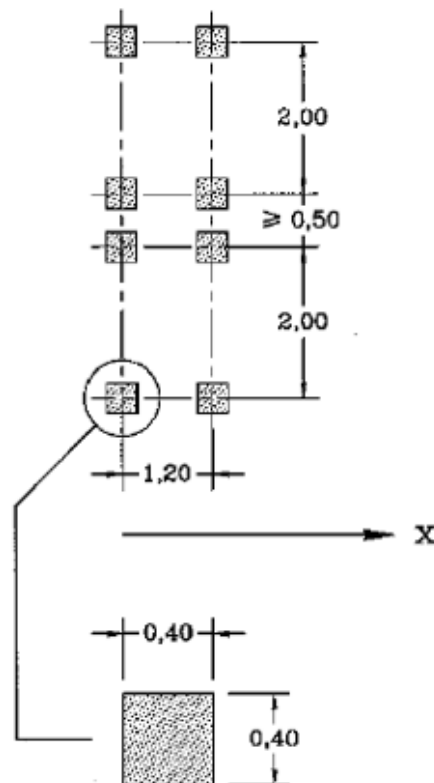
Lastvirkning fra trafikken beregnes ut fra LM 1 og LM 2, for så å bruke det mest ugunstige tilfellet ved videre dimensjonering. Aksellastens lastområde utvider seg gjennom asfalten med 45 grader, og jorden 30 grader. I beregningene har vi brukt 30 grader gjennom begge lagene, som vist i Figur 4.4. Dette gir det utvidede lastområdet fra aksellasten på kulverttaket.



Figur 4.4 Lastområde for trafikk. Figur gitt fra Statens vegvesen, vedlegg 10

### 4.2.1.1 Lastmodell 1

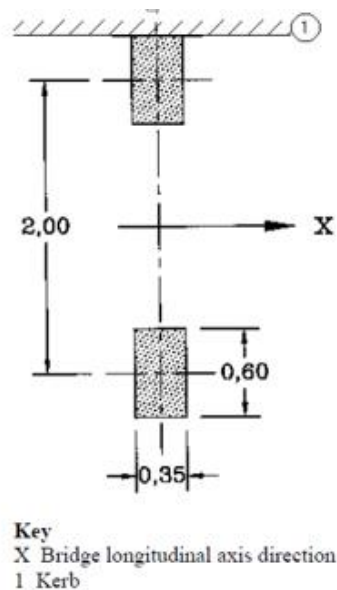
LM1 består av to variable laster, aksellast og en jevnt fordelt last. Aksellasten er et dobbelt akselsystem der hver aksel har vekten  $\alpha_Q Q_k$ , hvor  $\alpha_Q$  er justeringsfaktor. Den jevnt fordelte lasten har følgende vekt per kvadratmeter;  $q\alpha_q$ , hvor  $\alpha_q$  er justeringsfaktor. Verdiene for lastene hentes ut fra *EN 1991-2:2003, tabell 4.2*. Justeringsfaktorene hentes fra det tilhørende nasjonale tillegget, kapittel *NA.4.3.2*. Her har vi brukt  $Q_{1k} = 300$  kN for hele akselen, altså 150 kN per hjul, (hentet fra *Tabell 4.2* i (Standard Norge, 2010)). Punktlasten fordeles på en flate som er  $0,4\text{m} \times 0,4\text{m}$  som vist i Figur 4.5. I tillegg til aksellasten regnes det i dette tilfelle med en jevnt fordelt trafikklast  $q_t = 9\text{kN/m}^2$ , hentet fra *tabell 4.2* i *EN 1991-2:2003*.



Figur 4.5 Akselsystem for lastmodell 1

### 4.2.1.2 Lastmodell 2

LM 2 består av én aksellast med tyngden lik  $\beta_Q Q_{ak}$ . Verdiene for lasten hentes ut fra *EN 1991-2:2003*, under kapittel 4.3.3 *Load Model 2*. Justeringsfaktorene hentes fra det tilhørende nasjonale tillegget, kapittel *NA.4.3.3*.  $Q_{ak} = 400$  kN som treffer en flate på  $0,6\text{m} \times 0,35\text{m}$ , som vist på Figur 4.6. Denne lasten kan plasseres vilkårlig på kjørebanelen, vi dimensjonerer derfor etter den mest ugunstige plasseringen. I dette tilfelle legges det ikke til noen jevnt fordelt trafikklast.



Figur 4.6 Akselsystem for lastmodell 2

### 4.2.2 Overdekning

Ved innleggelse av armering må man velge en nominell overdekning. Overdekning hindrer korrosjon av armering fra ytre miljø.

Formel for Nominell overdekning:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

Tabell 4.1 i *NS-EN 1992-1-1:2004+A1:2014+NA:2018* er brukt til å bestemme eksponeringsklasse. Eksponeringsklassen brukes til å finne minimum overdekningen i tabell 4.4N i samme standard.

$\Delta c_{dev}$  er tillat avvik fra  $c_{nom}$ . Dvs. at  $c_{nom} \mp \Delta c_{dev}$  vil aldri gå under minimums overdekning,  $c_{min}$

### 4.2.3 Armering

Det stilles en rekke krav til armering av anleggskonstruksjoner. I henhold til Håndbok N400 stilles det krav til at “Alle tverrsnittdeler skal være dobbeltarmert i begge retninger.” Det skal altså være armering overkant (O.K) og underkant (U.K). Armering skal ikke ha diameter mindre enn 12mm. Det stilles også krav til senteravstanden mellom armeringsjernene i fundamentet. “Senteravstand i begge retninger skal være  $\leq 200$  mm i underkant og overkant fundament og  $\leq 300$  mm i alle sideflater.” (Norge, 2015). For søyler og vegger er krav for senteravstand  $\leq 200$ mm.

Metoden, beskrevet under, for utregning av armering fra moment og skjærkraft er hentet fra boken “*Betongkonstruksjoner*” (Sørensen, 2013).

1. Finner trykksonens momentkapasitet for å finne ut om det er behov for armering i trykksonen.

$$M_{Rd} = k \times f_{cd} \times b \times d^2$$

2. Beregner nødvendig armering

$$A_{s,n} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \times z},$$

der

$$z = \left(1 - c \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right) \times d$$

Nødvendig armeringsmengde benyttes for valg av armering.

3. Beregner senteravstanden mellom armeringen

$$s = \frac{b}{n}$$

der

b – tverrsnittsbredde



$n$  – antall armerings stenger i tverrsnitt.

#### 4. Kontroll av tillat mengde armering

Minimum armeringsmengde:

$$A_s \geq A_{s,min} = 0,26 \times b \times d \times \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \geq 0,0013 \times b \times d$$

Maksimum armeringsmengde:

$$A_s \leq A_{s,max} = 0,04 \times A_c$$

#### 5. Beregner fordelingsarmering:

Fordelingsarmering beregner vi som 20% av hovedarmeringen.

### 4.2.3.1 Skjærarmering

Hvis konstruksjonens skjærkapasitet er større enn dimensjonerende skjærkrefter,  $V_{Rd} > V_{Ed}$ , er det ikke behov for skjærarmering. Er den dimensjonerende skjærkraften større enn skjærkapasiteten må skjærarmering beregnes. Den dimensjonerende skjærkraften hentes ut fra skjærkraftdiagrammet, hvor plasseringen av aksellasten gir størst skjærkraft i beregnet område.

Ved beregning av skjærarmering finner man først forholdet mellom nødvendig armering og senteravstand mellom armering. Deretter prøver man seg fram med ulik armering og senteravstand for å finne armering som holder seg innenfor kravet.

$$\frac{A_{s,w}}{S} = \frac{V_{Ed}}{f_{ywd} \times z \times \cot\theta}$$

der

$$z = 0,9 \times d$$

#### 4.2.4 Deformasjoner

Som nevnt tidligere oppstår det lettere store skader på grunn av bevegelse i lengre konstruksjoner. Gjennomfører derfor kontroll for:

##### 4.2.4.1 Riss

Før beregning av riss beregner man den tillatte rissvidden. Dette utføres i henhold til hvilke eksponeringsklasse betongen har og hvilken overdekning det gir. Beregningen gjøres i samsvar med *NS-EN 1992-1-1:2004, tabell NA.7.1N*.

Formel for tillatt rissvidde er:

$$w_{max} = 0.3 * k_c \leq 1.3$$

hvor

$$k_c = \frac{c_{nom}}{c_{min,dur}}$$

Rissvidden beregnes ut ifra formler hentet fra *NS-EN 1992-1-1:2004, kapittel 7.3.4 Beregning av rissvidde*.

Formel for rissvidde:

$$w = s_r \times (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

der

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_1 \times \frac{f_{ct,eff}}{p_{p,eff}} \times (1 + \eta p_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \times \frac{\sigma_s}{E_s}$$

Riss beregninger finnes i vedlegg 7.

#### 4.2.4.1.1 *Ec-middel*

Ved beregning av rissvidde har vi behov for en midlere E-modul. Modulen er en middelvei av E-modulen for permanente laster påført etter 7 dager, og E-modulen for den permanente delen av den variable lasten, påført etter 90 dager.

Formel for midlere E-modul:

$$E_{c,middel} = \frac{M_1 + M_2}{\frac{M_1}{E_{c1}} + \frac{M_2}{E_{c2}}}$$

der

$$E_{ci} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(\infty, t_0)}$$

Likning er hentet fra *NS-EN 1992-1-1:2004* kapittel 7.4.3(5). Verdi for  $E_{cm}$  hentes fra *tabell 3.1* i *NS-EN 1992-1-1:2004*.

#### 4.2.4.2 **Forskyvninger**

Forskyvninger regner vi i bruksgrensetilstand og kommer her til å sammenligne resultatet fra FD og EE.

Ved fremstilling av forskyvninger i EE er det behov for å gjøre forhåndsregninger. Verdien for treghetsmomentet  $I$  skal være en middelvei mellom opprisset og uopprisset tverrsnitt. Middelveidien brukes videre for å endre på tykkelsen i de forskjellige elementene i konstruksjonen.

Det stilles krav til maksimal nedbøyning. Kravet er  $L/350$ , hvor  $L$  = lengden av det betraktede spenn.

### 4.2.5 Oppdrift

Oppdrift oppstår når tyngden av fortrengt grunnvann er større enn konstruksjonens tyngde. Oppdriftsberegninger utfører vi både på kulverten og trauveggene.

Formel for tyngden av oppdrift er:

$$O = V \times \rho \times g$$

Formel er hentet fra (Storelvmo, 2005).

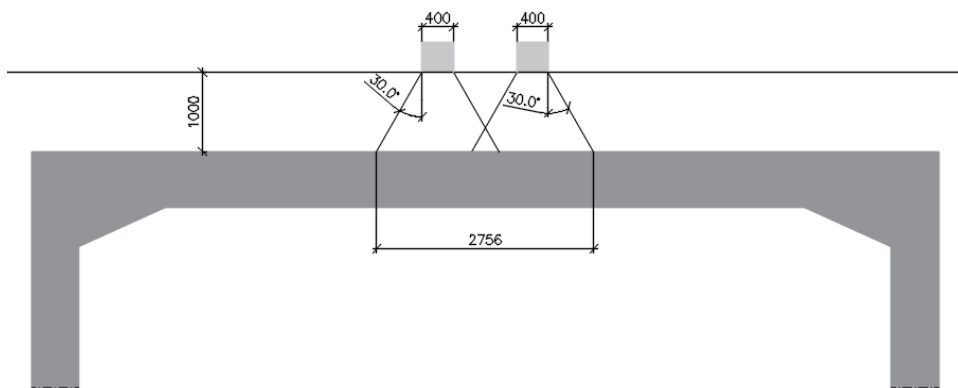
## 5 RESULTAT OG DISKUSJON

### 5.1 Lastberegninger

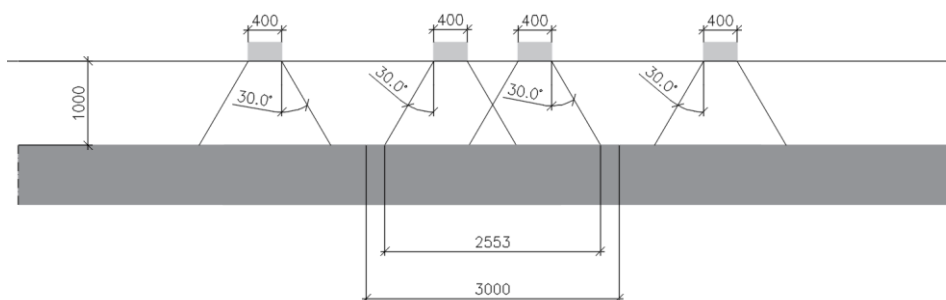
#### 5.1.1 Fordeling av laster

Gjennom den 1m tykke overfyllingen bestående av asfaltlag og jordoverfylling vil kraften fra aksellasten fordele seg utover. Fordelingen i asfalten er på 45 grader og i jorden er den på 30 grader. Vi velger å bare bruke 30 graders fordeling, da asfaltlaget er så tynt at det utgjør en svært liten forskjell.

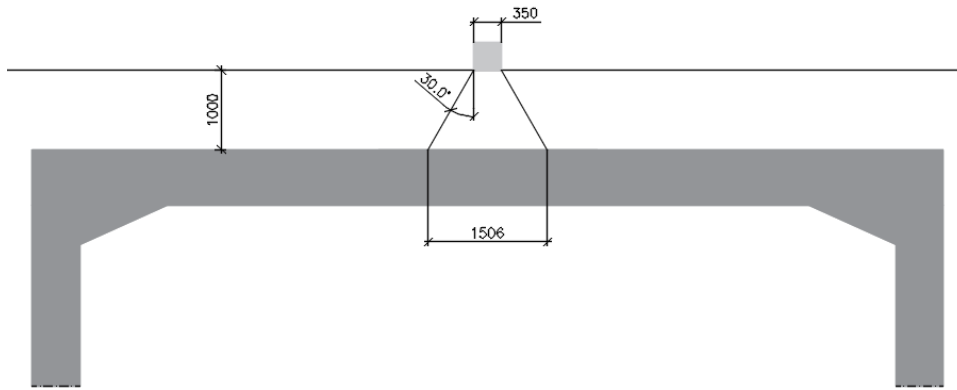
På figurene under fremstilles resultatene for de utvidede lastområdene på kulverttaket.



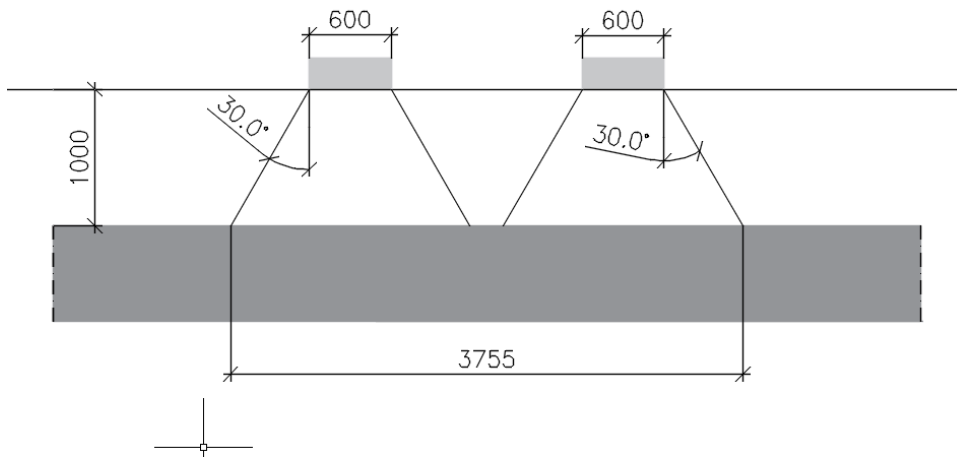
Figur 5.1 Utvidet lastområde LMI tunellversnitt



Figur 5.2 Utvidet lastområdet LMI inn i planet



Figur 5.3 Utvidet lastområde LM2 tunellversnitt



Figur 5.4 Utvidet lastområde LM2 inn i planet

Ved beregning i FD vil de jevnt fordelte lastene ha et lastområde som treffer hele lengden på kulverttaket og 3m inn i planet, da dette er det mest kritiske område på kulverten. Aksellasten lastområde defineres ut ifra de utvidede lastområdene for LM1 og LM2. Ved LM1 vil aksellasten ha en lengde på 2,75m, samt en dybde på 2,55m inn i planet. Aksellasten i LM2 vil ha en lengde på 1,50m. Dybden settes som 3m inn i planet som de jevnt fordelte lastene.

### 5.1.2 Lastberegninger

I tabell 5.1 under er alle enkeltlaste vist. For utførlige lastberegninger vises det til vedlegg 1.

Laster	Lastfaktorer		Resultat (kN/m)	
	Ligning 6.10a	Ligning 6.10b	Ligning 6.10a	Ligning 6.10b
Vertikale krefter				
Snølast	0,945	0,945	14,18	14,18
Jordtrykk	1,35	1,2015	72,9	64,88
Trafikk LM 1	0,945	0,945	15,31	15,31
Aksellast LM 1	0,945	1,35	205,88	294,11
Aksellast LM2	0,945	1,35	249,48	356,4
Innhengt last	1,35	1,2015	4,05	3,6
Horisontale krefter				
Trafikk LM1	0,945	0,945	9,45	9,45
Jordtrykk	1,1	1,1	155,88	155,88
Vann	1	1	17,1	17,1

Tabell 5-1: Lastberegninger, laget i Excel

Likning 6.10a og 6.10b som er benyttet i tabellen er hentet fra tabellene NA.A2.4(B) og NA.A1.2(B) i det Nasjonale tillegg NA til Eurocode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner.

Tabellen over viser lastene som påvirker konstruksjonen. Temperaturlasten kan vi i dette tilfelle se bort ifra grunnet stor overfylling. Vi konkluderer med at dette er en last som ikke vil påvirke betongkulverten, men anbefaler å legge inn litt kraftigere armering i nedre del av kulverten. Bremselast og akselerasjonslast fra trafikken ser vi bort i fra da denne lasten vil bli tatt opp i jordfyllingen under kjørebanelen. Snølast vil ikke kunne opptre samtidig som laster fra trafikken. Vi ser at den er betydelig mindre enn trafikklastene og vil derfor ikke påvirke konstruksjonen.

Ved beregninger i FD vil lastene omregnes til kN/m<sup>2</sup>, da dette programmet baserer seg på 3D dimensjonering.

## 5.2 *Diagrammer*

Fremstilling av diagrammer hentes fra resultatene i FD. Her beregnet vi moment-, skjær- og aksialkraftdiagrammer som vist i rapportene under vedlegg 2. I de ulike rapportene for beregning i FD er det brukt forskjellige lastmodeller og lastkombinasjoner. Da finner man det lasttilfellet som har det mest ugunstige resultatet, og som brukes i videre beregninger.

Resultatene som sammenlignes var først og fremst hvilken plassering av aksellasten som gir størst moment. Bruker lastene fra LM1 og sammenligner momentdiagrammene for aksellasten plassert midt på kulverttaket og på en av sidene. Resultatet her viste at en aksellast plassert midt på kulverttaket ga størst moment.

Plassering av aksellasten er nå bestemt, neste steg blir å finne hvilken lastmodell som gir størst moment. Ved sammenligne LM1 og LM2, med aksellasten plassert midt på kulverttaket, kom vi frem til at LM1 gir størst moment.

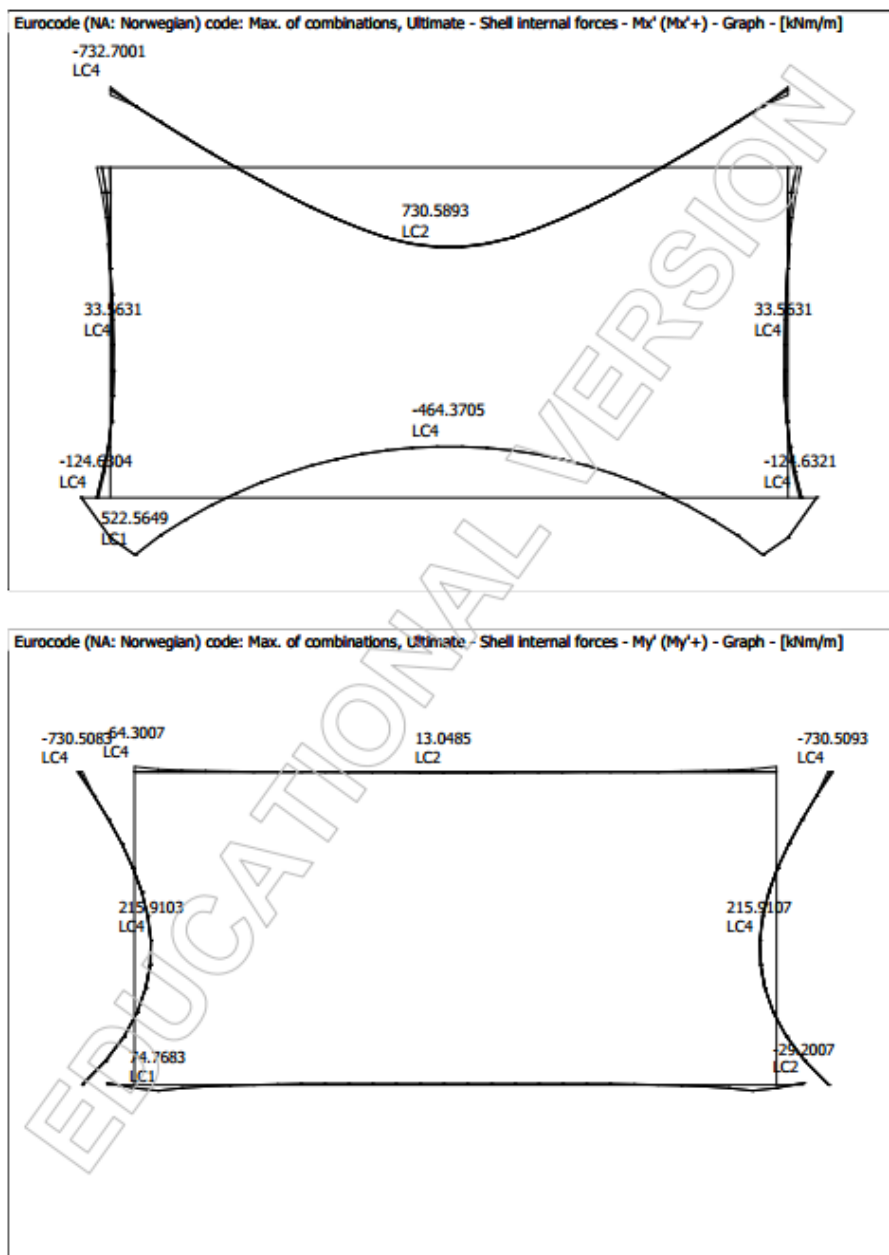
Noe man må ta hensyn til i beregningsprogrammene er at vouten oppe i hjørnene ikke er lagt inn og vil derfor ikke betraktes i beregningene. Dette skyldes manglende kunnskap i programmet FD.

I figurene under fremstilles resultatene for LM1 med aksellast plassert midt på kulverttaket.



### 5.2.1 Momentdiagram

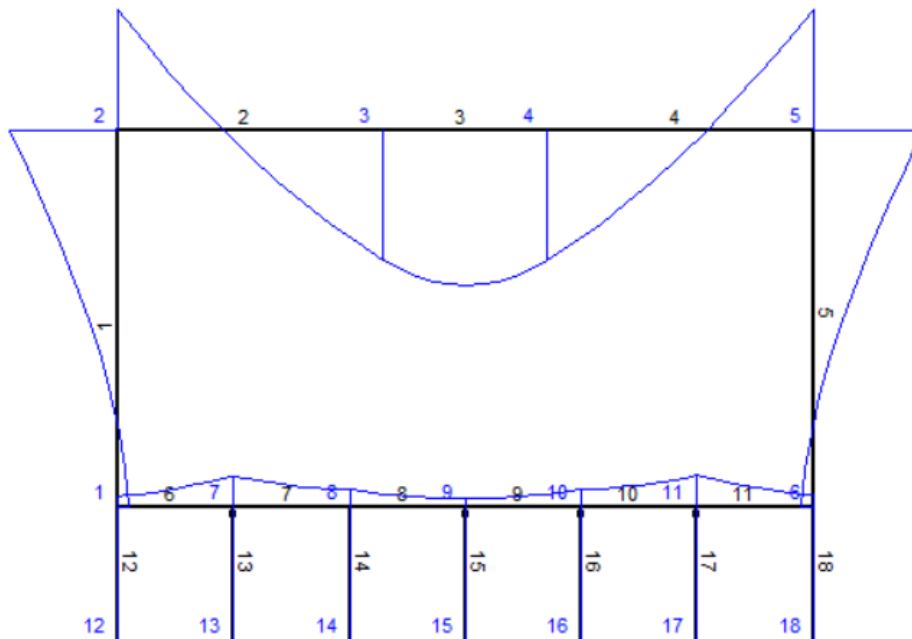
Figuren under fremstiller resultatet av momentdiagram beregnet i FD.



Figur 5.5: Momentdiagram. Skjermbilde fra FD. Resultat fremvises i kNm/m

Det oppstår en liten forskjell på momentet i hjørnene på momentdiagrammenene i FD. Differansen mellom momentdiagrammene er på ca 3 promille som utgir en svært liten forskjell og vi godtar derfor resultatet. Forskjellen kan oppstå på grunn av unøyaktigheter i framstillingen.

Figuren under fremstiller resultat av momentdiagram beregnet i EE.

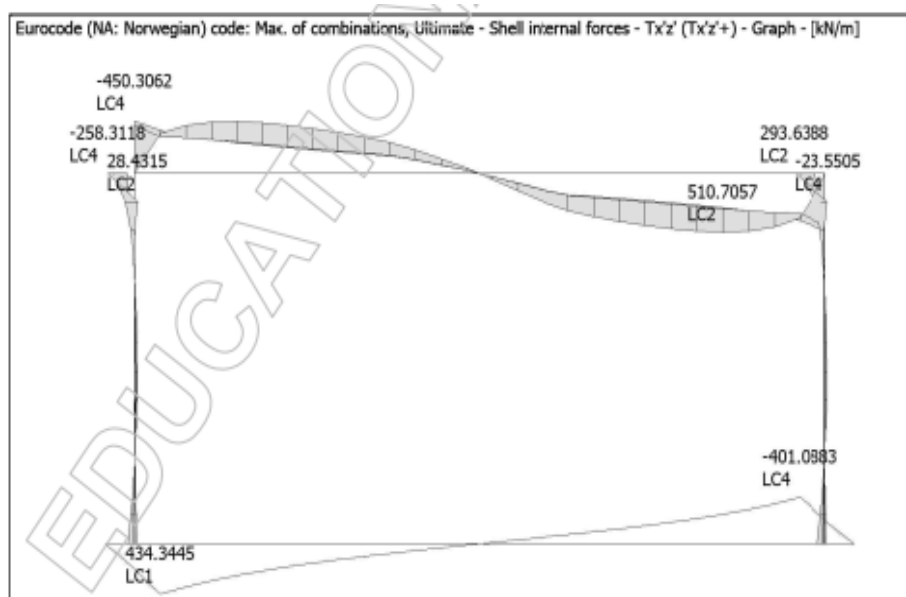


Figur 5.6: Momentdiagram. Skjerm bilde fra EE. Resultat fremvises i kNm

Resultatet i EE blir oppgitt i kNm for kulverten 3 meter inn i planet. Ved sammenlikning med FD må resultatet divideres på 3.

### 5.2.2 Skjærkraftdiagram

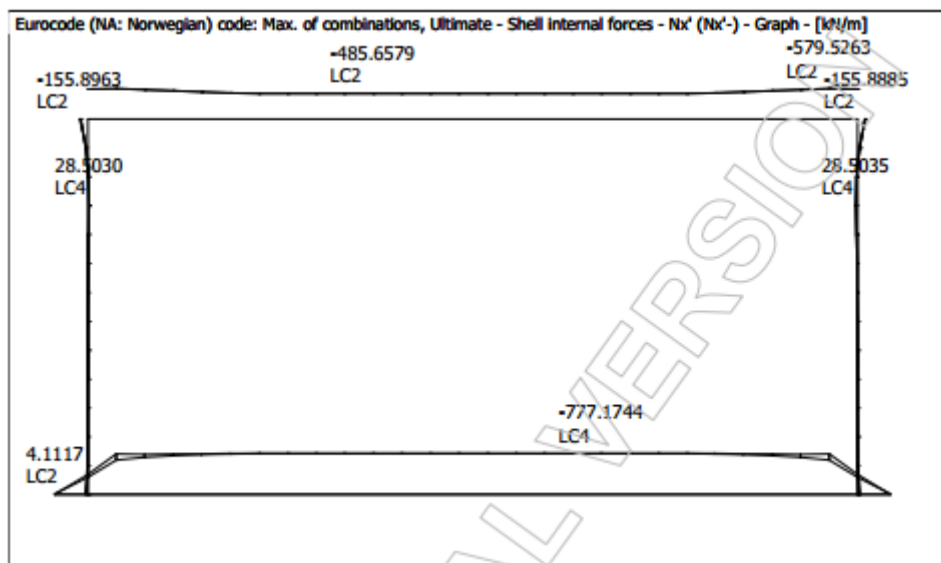
Figuren under fremstiller skjærkraftdiagram beregnet i FD.



Figur 5.7: Skjærkraftdiagram. Skjerm bilde fra FD

### 5.2.3 Aksialkraftdiagram

Figuren under fremstiller aksialkraftdiagram beregnet i FD.



Figur 5.8: Aksialkraft. Skjerm bilde fra FD.

#### Sammenligning av resultat i FD og EE.

Momentet midt på kulverttak i FD er 730,59 kNm/m, mens i EE er det 849,11 kNm/m. Resultatene viser en differanse mellom de to programmene. Det er flere årsaker for at denne differansen oppstår. FD er et mer komplekst program enn EE. Beregninger med flere typer lastfaktorer og fjærer er noe EE mestrer dårlig. I tillegg skal aksellasten beregnes med en dybde på 2,55m inn i planet og ikke 3m som de jevnt fordelte lastene beregnes med, se Figur 5.2. I EE vil aksellasten beregnes med samme dybde som de jevnt fordelte lastene, som resulterer i at momentet vil øke. I videre beregning bruker vi momenter fra FD.

Ut fra momentdiagrammene ser man at resultatet i EE gir et mer ujevnt moment i bunnplatene. Dette kommer fra momentet som oppstår mellom stavene under bunnplaten. Om flere og tettere staver var brukt ville resultatet gitt et mer realistisk momentdiagram. EE gir oss en god indikasjon på hvordan det skal se ut, som vi kan sammenligne med FD.

Fra tidligere erfaringer og sammenligning av de to programmene ser vi at momentdiagrammets "form" er korrekt i forhold til rammestrukturen. Dette gir oss en bekreftelse på at resultatene i FD er innenfor forventinger.

### **5.3 Overdekning**

Ved valg av overdekning har vi kommet frem til forskjellig overdekningen på innsiden og utsiden av betongkulverten som gitt i vedlegg 4. På innsiden av kulverten er det et tøft miljø med påvirkning fra både fukt og klorider. Det saltinnholdige miljøet inni kulverten kan komme fra salting av veier og sprut fra biler. Derfor er det behov for betraktelig mer overdekning. Vi velger en overdekning lik 60mm på innsiden av tunnelen.

Asfalten på kjørebanelen inne i kulverten vil i teorien fungere som en del av overdekningen. Vi velger å se vekk i fra dette i beregninger vi utfører. Denne beslutningen tar vi på grunnlag av at asfalten vil kunne sprekke opp etter en viss levetid, som kan føre til vanngjennomtrengning. Ved å ha stor overdekning i utgangspunktet, vil ikke ødeleggelse av asfaltlaget ha konsekvenser for betongen. I tillegg må man ta hensyn til at ikke alle asfaltdekker er helt tette.

Utsiden av betongkulverten vil ha et mindre tøft miljø, fordi den ikke vil påvirkes av klorider i like stor grad som på innsiden. En stor miljøbelastning vil blant annet komme fra grunnvannet. Vi får her en overdekning lik 35mm. På U.K av bunnplaten øker vi overdekningen til 60mm. Dette er fordi fundamenteringen vil være i form av såle på løs masser av sprengstein. Sprengstein vil ofte skape ujevnheter, øker derfor overdekningen for å unngå problemer dette kan medføre.

## 5.4 Valg av armering

I vedlegg 5 vises hele fremgangsmåten for beregning av armering. Under vises resultatene framstilt i en tabell. Armeringen er beregnet ut ifra momenter hentet fra FD, hvor resultater fra det mest kritiske snittet er benyttet.

Konstruksjonselement	Armering	As (mm <sup>2</sup> )
O.K Topplate	H.A = 14φ16s70	As = 2814,88
	F.A = 5φ12s200	As = 565,49
U.K Topplate	H.A = 14φ16s70	As = 2814,88
	F.A = 5φ12s200	As = 565,49
O.K Bunnplate	H.A = 8φ16s125	As = 1608,50
	F.A = 3φ12s125	As = 339,29
U.K Bunnplate	H.A = 9φ16s110	As = 1809,56
	F.A = 5φ12s250	As = 565,49
Innside vegg	H.A = 6φ16s160	As = 1206,37
	F.A = 3φ12s330	As = 339,29
Utside vegg	H.A = 16φ16s60	As = 3216,99
	F.A = 6φ12s170	As = 678,58

Tabell 5-2: Armeringstabell, laget i Excel.

Armeringen beregnet i FD får noen differanser i forhold til håndberegningene. Differansene oppstår fordi FD beregner armering ut ifra de grunnparameterne vi fører inn, men vil gjøre justering i forhold til om det er behov for mindre eller mer armering i enkelte områder. Til videre beregning benytter vi beregningene for hånd, da vi har en bedre kontroll over fremgangsmåten her.

Velger å legge lik armering over hele den 110 m lange betongkulverten. Konstruksjonen vil da bli noe overdimensjonert, men kan spare unødige kostnader ved fremtidige endringer av området. Eksempelvis omlegging av vei, ny avkjørsel, ny bebyggelse eller lignende.

I henhold til N400 er det gitt et krav til senteravstand ikke skal overskride 200mm. Dette avviker fra noe av det vi har beregnet, da vi baserer våre håndberegninger på metode gitt i "Betongkonstruksjoner".

Grunnet symmetri i armeringens beregninger er det ikke behov for beregning av svinn kan oppstå etter lengre periode.

Ved støpeskjøtene har vi lagt inn armering,  $6\phi 20$ , se vedlegg 8. Armeringen blir lagt inn på grunnlag av at bunnplaten og veggene/tak skal støpes i to omganger. Dette fører til forskjellig herdeperiode for konstruksjonsdelene. Det kan da oppstå store strekkrefter i nedre del av veggen ved sammenstøping.

I tillegg til ekstra armering ved støpeskjøtene, anbefales det å legge inn ekstrengdearmering i nedre del av kulverten. Dette er for å ta opp eventuelle tvangskrefter, temperatur og svinn som kan oppstå etter lengre tid. Velger her å legge inn ekstra armering på  $\phi 20$ , se vedlegg 8.

#### 5.4.1 Skjærarmering

I vedlegg 6 vises fremgangsmåten for kontroll og beregning av skjærarmering. Resultatet for beregningene vises her.

Skjærkapasitet bunnplate gir resultat:

$$V_{Rd} = 469,63kN > V_{Ed} = 448,9kN \quad \text{OK, ikke behov for skjærarmering!}$$

Skjærkapasitet nedre deler av vegg gir resultat:

$$V_{Rd} = 427,61kN > V_{Ed} = 149,7kN \quad \text{OK, ikke behov for skjærarmering!}$$

Skjærkapasitet øvre del av vegg gir resultat:

$$V_{Rd} = 317,23kN > V_{Ed} = 293,63kN \quad \text{OK, ikke behov for skjærarmering!}$$

Skjærkapasitet topplate gir resultatet:

$$V_{Rd} = 458,77kN < V_{Ed} = 547,65kN \quad \text{Behov for skjærarmering!}$$

Skjærarmering for topplate blir:

$$A_{s,w} = 4\phi 12 = 452,39mm^2$$

Resultatene viser at topplaten har behov for skjærarmering. En mulighet for å unngå skjærarmering er å øke tykkelsen på voutene. Voutene fungerer som en forsterkelse mellom

topplate og vegger og kan ikke økes tilstrekkelig uten at det interferer med dimensjonerende trafikkområde. Det vil derfor være behov for skjærarmering. En annen løsning kan være å øke tykkelsen på topplaten, men på grunn av tidspress er dette noe vi ikke fikk gjort beregninger på. Armeringen og skjærarmering er vist i detaljtegning i vedlegg 9.

## 5.5 Deformasjoner

Det kan oppstå store skader på grunn av bevegelser i lange konstruksjoner. Betongkulverten er en forholdsvis lang konstruksjon, deler den derfor opp i seksjoner på 25m. Dette gir konstruksjonen mer frihet for bevegelse som vil være med på å hindre ødeleggelse av betongen. Mellom seksjonene benytter vi dilatasjonsfuger som vist i vedlegg 9. Fugene skal tåle differansen i setninger/bevegelser og samtidig være tette.

Små rissvidder fører til at mindre vann trenger inn i betongen. Dette oppnås ved å legge tette armering med mindre diameter fremfor tykk armering med større avstand mellom. Ved å bruke armeringsjern med diameter  $\varnothing 16$  og  $\varnothing 12$ , kan vi legge tettere armeringen enn det vi kan hvis vi for eksempel hadde valgt  $\varnothing 20$ .

Det legges ikke inn noe ekstra sikring med tanke på deformasjoner fra frost. Dette fordi vi antar at konstruksjonselementene er tykke nok, og ligger i et område som ikke er mye preget av frost.

### 5.5.1 Riss

I vedlegg 7. finner du hele framgangsmåten og utregningen for rissberegning. Resultater er gitt under:

**Resultat rissberegning innvendig:**

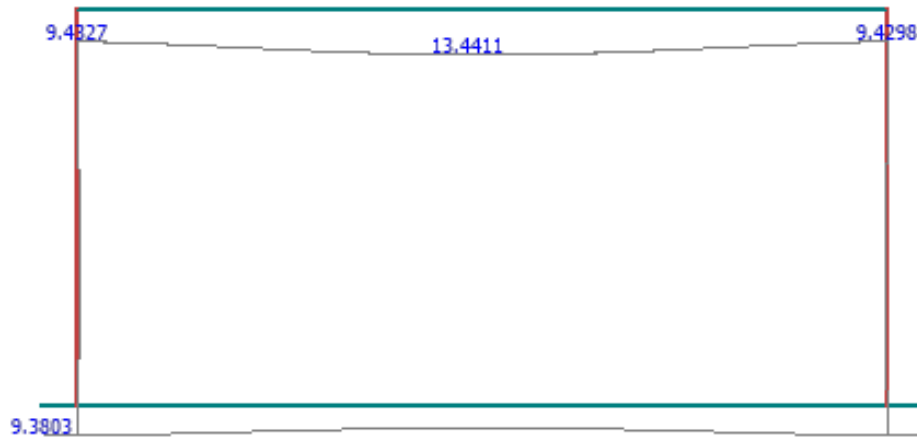
$$1,84 \times 10^{-5} mm \leq 0,36 mm \quad \text{OK!}$$

**Resultat rissberegning utvendig:**

$$1,22 \times 10^{-4} mm \leq 0,36 mm \quad \text{OK!}$$

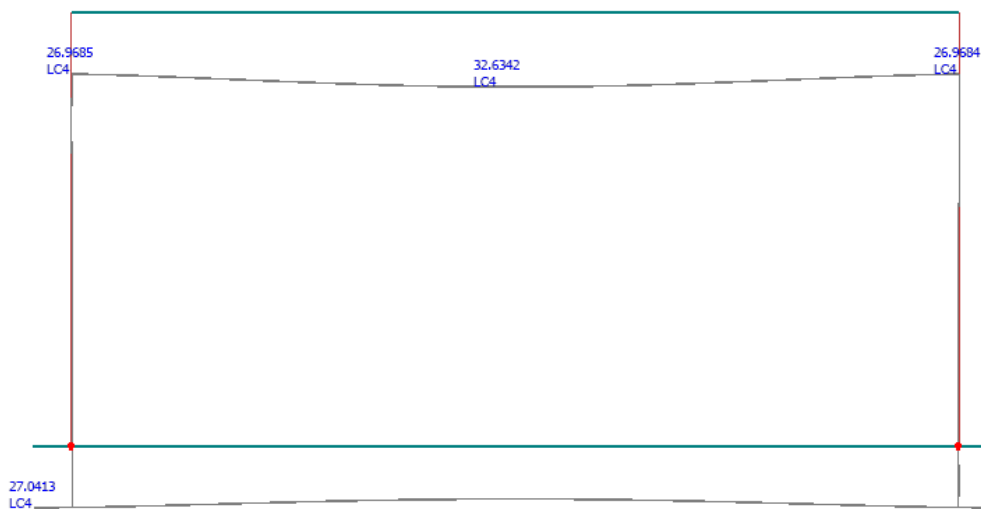
### 5.5.2 Forskyvninger

Figur 5.9 viser setninger på ca 10 mm når  $K_s = 10\,000 \text{ kN/m}^2/\text{m}$ .



Figur 5.9: Forskyvninger  $K_s = 10\,000\text{ kN/m}^2/\text{m}$ . Skjerm bilde FD

Figur 5.10 viser setninger på ca 30 mm når  $K_s = 4000\text{ kN/m}^2/\text{m}$ .



Figur 5.10: Forskyvninger  $K_s = 4000\text{ kN/m}^2/\text{m}$ . Skjerm bilde FD

I FD har vi sett på betongkulvertens deformasjoner ved ulike jordstivheter,  $10\,000\text{ kN/m}^2/\text{m}$  og  $4000\text{ kN/m}^2/\text{m}$ . Fra resultatene her kan man se at kulvertens setninger nesten tredobles når vi minker jordstivheten fra  $10\,000\text{ kN/m}^2/\text{m}$  til  $4000\text{ kN/m}^2/\text{m}$ . Grunnen til dette er at en stivere jordtype vil sette seg mindre enn en mykere jordtype. Begge forskyvningene er relativt små og vil ikke medføre betydelige skader på konstruksjonen og holder seg innenfor anbefalinger på 5cm.

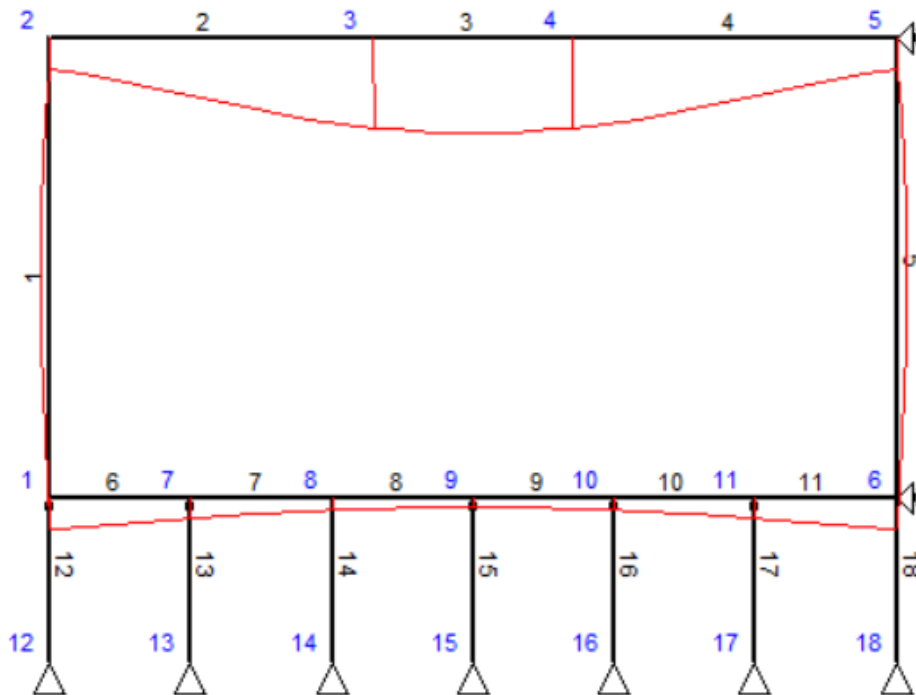


Nedbøyningen i topplater ligger på omtrent 4mm. Krav for nedbøyning er:

$$\frac{L}{350} = \frac{11\,700}{350} = 33,4\text{mm} > 4\text{mm} \quad \text{OK!}$$

Ser at nedbøyning i topplaten holder seg innfor kravet.

Figur 5.11 viser en forventning av forskyvningene fremstilt i EE



Figur 5.11: Forskyvninger. Skjerm bilde fra EE

### 5.5.2.1 Sammenligning av FD og EE

Ved sammenligning av forskyvninger i FD og EE ser vi på hvordan rammen vil bevege seg. Sammenligningen viser at forskyvningene oppstår slik vi hadde forventet. Bunnplaten vil få mest setninger i endene og minst på midten, mens topplaten vil få mest nedbøyning på midten og minst i endene.

### 5.5.3 Svinn

Som nevnt i kapittel 3.9 kan det oppstå svinn ved støping av konstruksjonselementene. Dette løses ved å legge inn ekstra armering, ved støpeskjøtene, for å ta opp strekkrefter fra svinn. Ellers vil ikke konstruksjonen få problemer med svinn, grunnet symmetri i armeringen.

## 5.6 Oppdrift

Fremgangsmåten for beregning av oppdrift ligger i vedlegg 8. Resultatene fra beregningene ligger under her.

**Kontroll av kulverten når grunnvann treffer hele veggen, h=5698mm.**

$$G_b + G_j - O = 576,2 + 331,16 - 740,85 = 166,51kN \quad \underline{\text{Ikke Oppdrift!}}$$

**Kontroll av trauveggen med h= 2849mm og grunnvann treffer halvveis opp på veggen.**

$$G_b + G_j - O = 321,25 + 51,3 - 258,78 = 113,77kN \quad \underline{\text{Ikke oppdrift!}}$$

**Kontroll av trauveggen med h=5698mm og grunnvann treffer halvveis opp på veggen.**

$$G_b + G_j - O = 392,45 + 102,56 - 419,48 = 75,53kN \quad \underline{\text{Ikke oppdrift!}}$$

**Kontroll av trauveggen med h=5698mm og grunnvann treffer hele veggen.**

$$G_b + G_j - O = 392,45 + 102,56 - 740,85 = -245,84kN \quad \underline{\text{Oppdrift!}}$$

Oppdrift på kulverten vil ikke være noe problem, grunnet den overliggende jordfyllingen.

Ved oppdriftskontroll av trauveggen vil det ikke være et problem når grunnvannet treffer halve konstruksjonen. Hvis grunnvannstand øker og treffer hele trauveggen med h=5698mm vil konstruksjonen få problemer med oppdrift. Dette kan løses ved å øke bredden og/eller tykkelsen på bunnplaten.

### ***5.7 Tetting av konstruksjonen***

Som nevnt tidligere er en av utfordringene med denne konstruksjonen den høye grunnvannstand, som ikke kan senkes grunnet setninger det kan påføre området rundt. Den observerte grunnvannstanden rekker til midt på konstruksjonens vegg. Vi velger å dimensjonere konstruksjonen slik at grunnvannet treffer hele veggen. Dette er blant annet fordi framtidsprognosen for klimaet viser mer nedbør, som kan medføre til økt grunnvannstand. Et krav Statens vegvesen stiller til sine konstruksjoner er at de dimensjoneres for en periode på 100 år. Ved å dimensjonere med høyere grunnvannstand er konstruksjonen mer rustet for fremtiden. Konstruksjonen vil også være motstandsdyktig for en eventuell flom i området. Dette medfører at vi må tette konstruksjonen tilstrekkelig.

I vedlegg 9 er det laget detaljtegninger av støpeskjøtene i overgangen mellom vegger og bunnplate. Støpeskjøtene vil være kritiske punkt i konstruksjonen, med tanke på vanngjennomtrengning. Vi bruker derfor dilabånd, en type plastbånd som vil være med å tette konstruksjonen, som er vist i detaljtegning. En bedre løsning på plassering av støpeskjøtene kan være å "løfte" de opp på veggen. På denne måten forhindrer man å plassere støpeskjøten i området hvor oppsamlingen av vann vil oppstå inni kulverten. Det blir da vanskeligere for vannet å trenge inn i konstruksjonene fordi det må «over» en kant.

Grunnet den store påkjenningen fra miljøet preget av mye klorider velger vi å impregnere betongdekke og veggene helt opp til taket inne i kulverten. Hvis vi ikke bruker impregnering vil saltet tære på betongen og etter hvert helt inn til armeringen, som kan få store konsekvenser for konstruksjonen.

Tidligere har vi nevnt at vi velger å legge armeringsjernene tett, med mindre diameter og bruke god overdekning for å tette konstruksjonen tilstrekkelig. Dette fører til reduksjon av rissvidder, og det blir vanskeligere for vann å trekke inn i konstruksjonen.

For at vann ikke skal samle seg på topplaten velger vi å ha en helning på 1:100 fra midten av konstruksjonen på begge sider, se vedlegg 9.

## 6 KONKLUSJON

Ved beregning av konstruksjonen vil det være vertikale og horisontale laster som påvirker konstruksjonen. De vertikale lastene vil være konstruksjonens egenvekt, jordtrykk, innhengt last samt lastene fra lastmodell 1 eller lastmodell 2. De horisontale lastene som påvirker konstruksjonen vil være, jordtrykk, vanntrykk samt horisontale laster fra trafikken i lastmodell 1. Laster som vi har konkludert med at vi kan ekskludere fra beregningene er, temperaturlast, bremselast og snølast. Dette er begrunnet i diskusjonsdel.

Vi har i denne oppgaven benyttet oss av beregningsprogrammene FD og EE, og sammenlignet resultatene. Vi skaper med dette større troverdighet rundt resultatene. Videre i beregningene som er gjennomført har vi benyttet oss av resultater fra FD. Vi mener resultatene her er mer korrekte enn i EE, først og fremst fordi FD gjennomfører analyse i 3D og har egen funksjon for fjærer. Som vi er avhengig av for å få et korrekt resultat. FD gir oss et bedre virkelighetsbilde av hvordan konstruksjonen vil oppføre seg.

Konstruksjonens setninger ble beregnet for to ulike jordstivheter. Veileder i Statens vegvesen anbefalte at konstruksjonens setninger ikke burde overskride 5cm. Beregningene gjort i FD viser at begge jordstivhetene holder seg innenfor kravet, setningene er derfor godkjent. Ut fra beregninger vil ikke konstruksjonen ha problemer med nedbøyning.

Armeringsberegninger er gjennomført i både FD og for hånd. Resultatene blir noe det samme, men vi velger å bruke resultatene fra håndberegning i videre dimensjonering. Vi har mer erfaring med håndberegninger enn FD, og får derfor en bedre kontroll over hva som er gjort. Resultater fra armeringsberegninger bruker vi videre for kontroll av riss og skjærkapasitet. Kontroll av riss er innenfor akseptable krav. Når det kommer til kontroll av skjærkapasitet viser resultatet at det behov for skjærarmering i endene av topplaten, og vi beregnet derfor mengde skjærarmering for gjeldende punkt. Armeringsstål er dyrere enn betong, et mer lønnsomt alternativ kan være å ha tykkere kulverttak så det ikke er behov for skjærarmering.

Vi har ikke gjennomført beregninger for svinn, men har gjort vurderinger og anbefaler å legge inn ekstra armering i støpeskjøtene. Fordi det kan oppstå problemer med svinn i herdeperioden. Grunnet symmetri i armeringen vil ikke svinn være noe problem ellers.

Oppdrift vil ikke være et problem for selve kulverten, men traueggen vil få problemer ved en eventuell flom. Dette kan løses ved å øke tykkelse eller bredden på betongen.

Resultatene vi har fått i dette prosjektet gir noen overdimensjonerings for kulverten til dagens bruk. Med dette unngår man unødige kostnader ved eventuelle endringer i fremtiden, da vi ikke kan forutse utviklingen av området.

Gruppen fornøyd med resultatet. Det har vært en lærerik prosess, og vi har fått en bedre forståelse for sammenhengen mellom de ulike fagområdene konstruksjon, geoteknikk, og veg, og deres sammenheng. Vi kan konkludere med at dette er et beregningsgrunnlag for videre arbeid. Beregninger må kontrolleres og etterprøves, det kan også være andre løsninger som vil fungere bedre på enkelte områder.

## 7 VEDLEGG

1. Lastberegninger
2. FEM-Design
3. Eurocode Express
4. Armering
5. Skjærarmoring
6. Riss/  $E_{c,mid}$
7. Oppdrift
8. Detaljtegninger laget i Revit
9. Mail
10. Forprosjektrapport
11. Framdriftsrapport og logg

## 8 KILDER

Brørs, K. (2019). Armering - NDLA. Retrieved May 9, 2019, from ndla.no website:

<https://ndla.no/nb/subjects/subject:11/topic:1:183108/topic:1:158640/resource:1:141146>

E136 Veblungsnes. (n.d.). Retrieved February 15, 2019, from Statens vegvesen website:

<https://www.vegvesen.no/Europaveg/e136veblungsnes>

Emdal, A. (2013). *Introduksjon til geoteknikk*. Trondheim: NTNU, Geoteknikk Tapir akademisk forlag, Kompendieforlaget.

*Håndbok R412- Bruklassifisering*. (n.d.). Retrieved from

[https://www.vegvesen.no/\\_attachment/61486/binary/964011](https://www.vegvesen.no/_attachment/61486/binary/964011)

Hooke's Law, Examples with solutions. (n.d.). Retrieved March 1, 2019, from

[http://problemsphysics.com/forces/hookes\\_law.html](http://problemsphysics.com/forces/hookes_law.html)

Klimaendringer. (n.d.). Retrieved March 21, 2019, from <https://www.fn.no/Tema/Klima-og-miljoe/Klimaendringer>

Lohne, O. (2018). duktilitet – Store norske leksikon. Retrieved May 15, 2019, from

[https://snl.no/duktilitet?fbclid=IwAR2rvROMY\\_0r8hzTZdEEcQ3RlgCI2PHQYOaTN-o-v78vfo7\\_nuYBlFwm429A](https://snl.no/duktilitet?fbclid=IwAR2rvROMY_0r8hzTZdEEcQ3RlgCI2PHQYOaTN-o-v78vfo7_nuYBlFwm429A)

Maage, M. (2015). *Betong: regelverk, teknologi og utførelse*. Oslo: Byggenæringens forl.

monolittisk. (2014). In *Store norske leksikon*. Retrieved from <http://snl.no/monolittisk>

Norge, V. (2015). *Håndbok N400 - Bruprosjektering*. 178.

Norge, V. (2016). *Håndbok N500 Vegtunneler*. 88.

Norge Vegdirektoratet, Statens vegvesen, & Norge Vegdirektoratet. (2009). *Bruprosjektering: [håndbok 185]*. Retrieved from <http://hdl.handle.net/11250/196365>

Ormestad, H. (2014). elastisitetsmodul. In *Store norske leksikon*. Retrieved from

<http://snl.no/elastisitetsmodul>

- Pedersen, B. (2017). oppdrift – fysikk. In *Store norske leksikon*. Retrieved from [http://snl.no/oppdrift\\_-\\_fysikk](http://snl.no/oppdrift_-_fysikk)
- Per Kr. Larsen. (2004). *Konstruksjonsteknikk: laster og bæresystemer*. Trondheim: Tapir akademisk forl.
- Produkter - FEM-Design - Norconsult Informasjonssystemer. (n.d.). Retrieved February 28, 2019, from <https://www.nois.no/produkter/bim/fem-design/>
- Standard Norge. (2008a). *Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner = Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings : Del 1-1 : Allmenne regler og regler for bygninger*. Lysaker: Standard Norge.
- Standard Norge. (2008b). *Eurokode: grunnlag for prosjektering av konstruksjoner = Eurocode : basis of structural design*. Lysaker: Standard Norge.
- Standard Norge. (2010). *Eurokode 1: laster på konstruksjoner = Eurocode 1: actions on structures : part 2 : traffic loads on bridges : Del 2 : trafikklast på bruer*. Oslo: Standard Norge.
- Statens vegvesen, & Norge Vegdirektoratet. (2005). *Vegbygging*. Retrieved from <http://hdl.handle.net/11250/189824>
- Statens vegvesen, & Norge Vegdirektoratet. (2010). *Geoteknikk i vegbygging: håndbok 016* (6. utg.). Retrieved from <http://hdl.handle.net/11250/189818>
- Statens vegvesen, & Norge Vegdirektoratet. (2013). *Veg- og gateutforming: håndbok 017*. Retrieved from <http://www.vegvesen.no/s/pdf/hb/017/>
- Storelvmo, E. (2005). *Fysikk forkurs: for ingeniørhøgskole og maritim høgskole* ([Rev. utg.]). Oslo: Gyldendal undervisning.
- Svein I. Sørensen. (2013). *Betongkonstruksjoner: beregning og dimensjonering etter Eurocode 2* (2. utg.). Trondheim: Akademika.
- Wiig, N. J. (1972). *Bygningsprosjektering* (2. rev.utg.). Theim.: Tapir forlag.



# Vedlegg 1

Lastberegning

## LASTBEREGNING

### Beregning av horisontale laster:

#### Jordtrykk:

Formel  $p_j = \rho \times \mu \times h \times b \times \gamma_j$

$$p_j = \text{Jordtrykk} \quad h = 7,498m \quad \mu = 0,35$$

$$\rho = 18kN/m^3 \quad \gamma_j = 1,1 \quad b = 3m$$

$$p_j = \frac{18kN}{m^3} \times 0,35 \times 7,498m \times 3m \times 1,1 = 155,88kN/m$$

#### Horisontal trafikklast

Formel:  $q_{jt} = \mu \times q_t \times b$

$$q_t = \frac{9kN}{m^2} \quad \mu = 0,35 \quad b = 3m$$

$$q_{jt} = 0,35 \times 9kN/m^2 \times 3m = 9,45kN/m$$

#### Vanntrykk

Formel:  $p_v = \rho_v \times \mu_v \times h_w \times b \times \gamma_v$

$$p_v = 1kn/m^3 \quad \mu_v = 1,0$$

$$h_v = 5,698m \quad \gamma_v = 1,0$$

$$b = 3m$$

$$p_v = 1 \times 1 \times 5,698 \times 3 = 17,1kN/m$$

## Beregninger av vertikale laster:

### Aksellast last modell 1:

Lastområdet på overliggende kjørebane: 0,4m x 0,4m

$$x \cos(30) = 1m \rightarrow x = \frac{1}{\cos(30)} = 1,155m$$

$$y = 1,155m \times \sin(30) = 0,577$$

### Lastområdet på tversnittssiden:

$$L = 2 \times 0,4m + 0,8m + 2 \times 0,557m = 2,754m$$

### Lastområdet inn i planet:

$$B = 2 \times 0,4m + 0,6m + 2 \times 0,577m = 2,554m$$

### Aksellast ( $p_t$ ):

Formel: 
$$p_t = \frac{Q_{iK} \times 2}{L},$$

$$Q_{iK} = 300kN \text{ (Hentet fra EN1991-2:2003, side 37)} \quad L = 2,754 \text{ m}$$

$$p_t = \frac{300kN \times 2}{2,754m} = 217,86 \text{ kN/m}$$

### Jevnt fordelt last fra trafikk ( $q_t$ )

Formel: 
$$q_t = q_{1k} \times \sigma_{q1} \times b$$

$$q_{1k} = 9kN/m^2 \text{ (Hentet fra EN 1991-2:2003, side 37)}$$

$$\sigma_{q1} = 0,6 \text{ (Hentet fra NS-EN 1991-2:2003/NA:2010 side 3)}$$

$$b = 3m$$

$$q_t = 9 \frac{kN}{m^2} \times 0,6 \times 3m = 16,2 \frac{kN}{m}$$

### Jordtrykk ( $p_j$ )

$$\text{Formel: } p_j = \rho_j \times h \times b$$

$$\rho_j = 18 \frac{kN}{m^3} \qquad h = 1m \qquad b = 3m$$

$$p_j = 18 \frac{kN}{m^3} \times 1m \times 3m = 54 \frac{kN}{m}$$

### Snølast ( $s_t$ ):

$$s_t = s \times b$$

$$s = 4,5 \text{ kN/m}^2 \text{ (Hentet fra tabell om snølast i NS)}$$

$$b = 3m$$

$$s_t = 4,5 \frac{kN}{m^2} \times 3m = 13,5 \frac{kN}{m}$$

### Egenvekt topplate betong ( $p_b$ ):

$$p_b = \rho_b \times t \times b$$

$$\rho_b = 25 \text{ kN/m}^3 \qquad t = 0,7m \qquad b = 3m$$

$$p_b = 25 \frac{kN}{m^3} \times 0,7m \times 3m = 52,5 \text{ kN/m}$$

### Beregninger med lastfaktorer:

Når vi videre skal beregne lastene i bruddgrensetilstand må lastene beregnes med en lastfaktor. Dette gir en ekstra sikkerhet i tilfelle ugunstige last situasjoner oppstår.

Vi beregner etter likning 6.10a og 6.10b hentet fra: *Nasjonale tillegg NA – Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner, side 116.*

**Aksellast:**

Likning 6.10a

$$\gamma_{pt} \times \psi \times p_t = 1,35 \times 0,7 \times 217,86 \frac{kN}{m} = 205,88 \frac{kN}{m}$$

Likning 6.10b

$$\gamma_{pt} \times p_t = 1,35 \times 217,86 \frac{kN}{m} = 294,11 \frac{kN}{m}$$

**Jevnt fordelt last fra trafikk:**

Likning 6.10a

$$\gamma_{qt} \times \psi \times q_t = 1,35 \times 0,7 \times 16,2 \frac{kN}{m} = 15,31 \frac{kN}{m}$$

Likning 6.10b

$$\gamma_{qt} \times \psi \times q_t = 1,35 \times 0,7 \times 16,2 \frac{kN}{m} = 15,31 \frac{kN}{m}$$

**Jordtrykk:**

Likning 6.10a

$$\gamma_{j,sup} \times p_j = 1,35 \times 54 \frac{kN}{m} = 72,9 \frac{kN}{m}$$

Likning 6.10b

$$\gamma_{j,sup} \times \xi \times p_j = 1,35 \times 0,89 \times 54 \frac{kN}{m} = 64,88 \frac{kN}{m}$$

**Snølast:**

Likning 6.10a

$$\gamma_s \times \psi \times s_t = 1,5 \times 0,7 \times 13,5 \frac{kN}{m} = 14,18 \frac{kN}{m}$$

Likning 6.10b

$$\gamma_s \times \psi \times s_t = 1,5 \times 0,7 \times 13,5 \frac{kN}{m} = 14,18 \frac{kN}{m}$$

**Egenvekt topplate betong:**

Likning 6.10a

$$\gamma_{pb,sup} \times p_b = 1,35 \times 52,5 \frac{kN}{m} = 70,88 \frac{kN}{m}$$

Likning 6.10b

$$\gamma_{pb,sup} \times \xi \times p_b = 1,35 \times 0,89 \times 52,5 \frac{kN}{m} = 63,08 \frac{kN}{m}$$

# Vedlegg 2

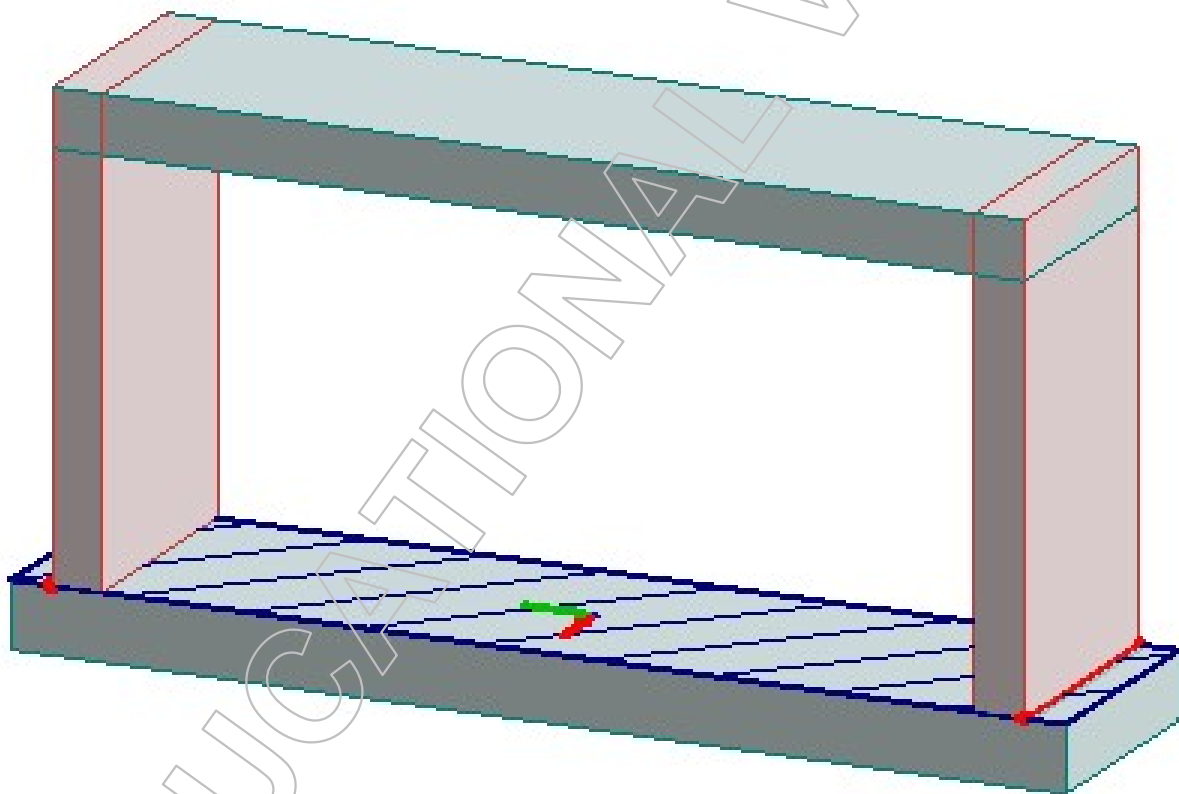
Beregningsrapport fra Fem Design







## Beregningsrapport



Project:

**Betong Kulvert**

Customer:

**Statens Vegvesen**

Description:

**Jordstivhetstall: 10 000 MPa**

**FEM-Design © StruSoft**

Designed: Sofie Andersen, Thea V Skavhellen

Date: 29.04.2019

Page: 1 / 18

1 Innledning.....	3
2 Visualisering.....	4
2.1 3D-Modell.....	4
2.2 2D-Modell.....	4
3 Laster.....	6
3.1 Lastdata.....	6
3.2 Egenlast Betong.....	7
3.3 Aksellast.....	7
3.4 Trafikklast.....	8
3.4.1 Trafikklast Vertikal.....	8
3.4.2 Trafikklast Horisontal.....	8
3.5 Innhengt Last.....	9
3.6 Jordlast.....	9
3.6.1 Jordlast Vertikal.....	9
3.6.2 Jordlast Horisontal.....	10
3.7 Vanntrykk.....	10
4 Opplagerkrefter.....	11
4.1 Bruddgrensetilstand.....	11
4.2 Bruksgrensetilstand.....	12
5 Lastkombinasjoner.....	13
6 Deformasjoner.....	15
7 Diagrammer.....	16
7.1 Aksialkraftsdiagram.....	16
7.2 Skjærkraftsdiagram.....	16
7.3 Momentdiagram.....	17
8 Armering.....	18
8.1 Armeringstype.....	18
8.2 Overdekning og tykkelse.....	18
8.3 Utnyttelse.....	18

## 1 Innledning

Rapporten er et beregningsgrunnlag for beregninger gjort i programmet FEM-Design. Programmet er brukt for å fremstille visualiseringer av de ulike lastene som er påført, beregne moment-, skjær og aksiallastdiagram, samt beregning av armering. Resultater som er fremstilt i rapporten er grunnlag for håndberegninger vi har utført.

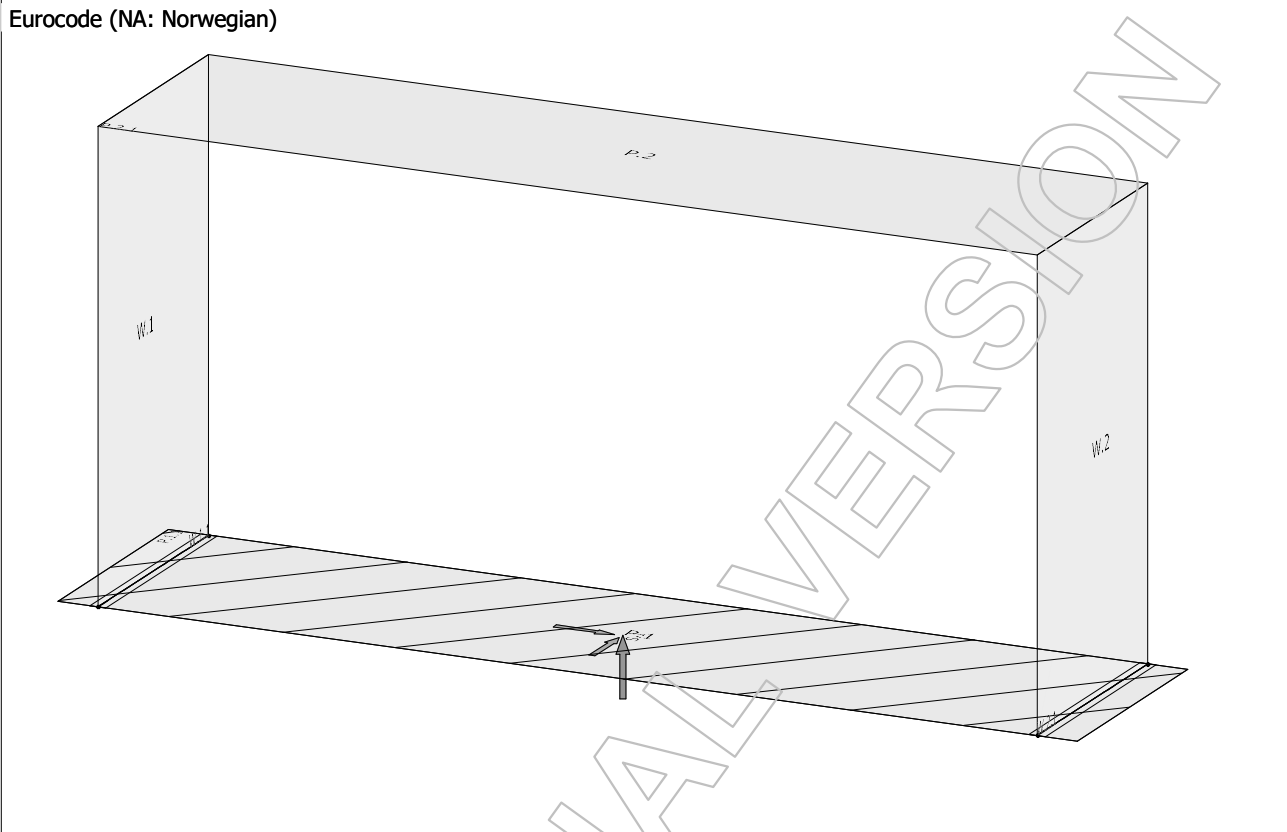
I dette tilfellet baserer lastkombinasjonene seg på Lastmodell 1, hvor aksellasten er plassert på midten av kulvertaket.

Fjærstivheten vi har brukt er  $10\,000\text{ kN/m}^2/\text{m}$

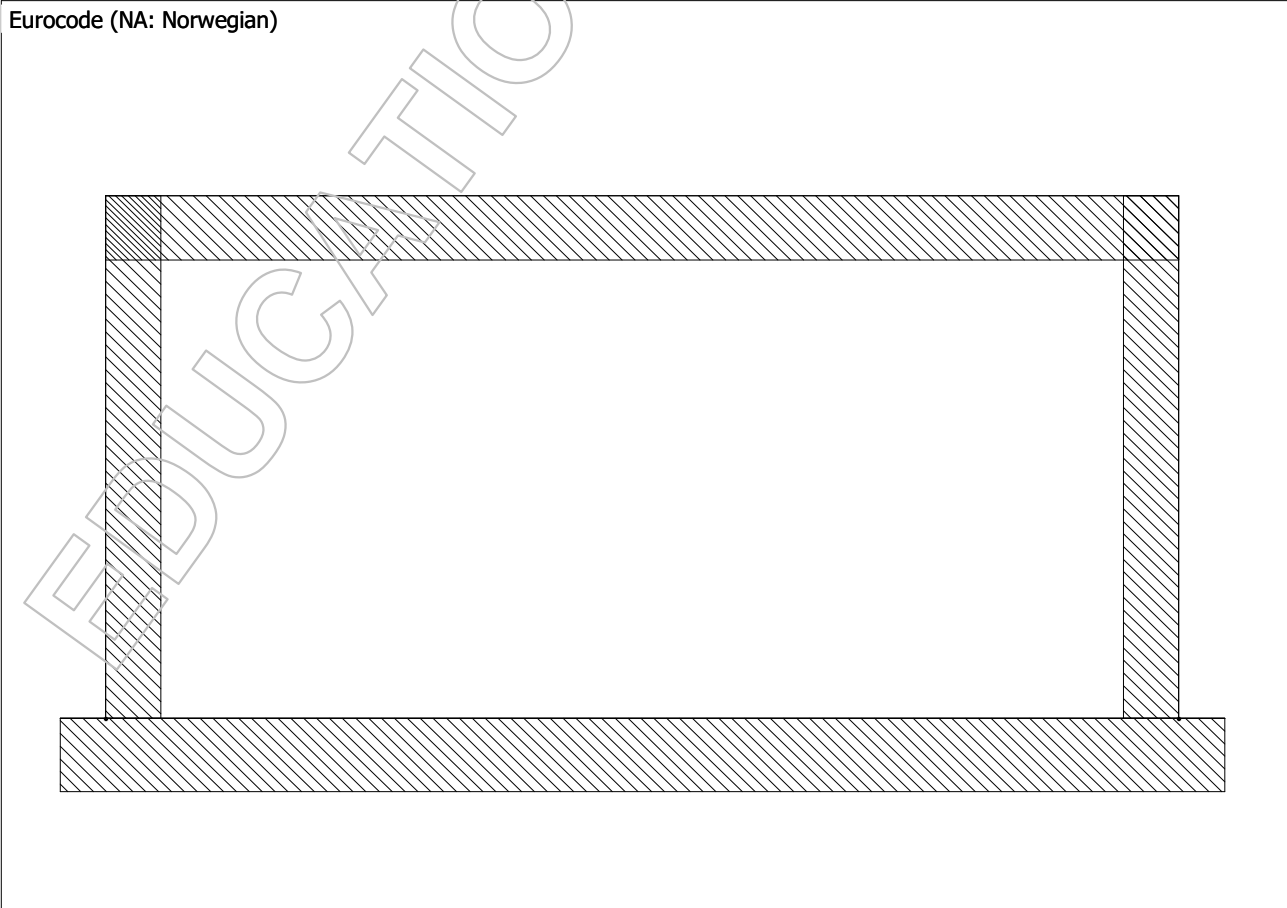
EDUCATIONAL VERSION

# 2 Visualisering

## 2.1 3D-Modell



## 2.2 2D-Modell



## Concrete materials

No.	Name	Fck	Fck,cube	Fctm	Fctk	Ecm
[-]	[-]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
1	C45/55	45.000	55.000	3.800	2.700	36000.000

Yield strain	Ultimate strain	Gamma c	Gamma c, Acc	Gamma cE	Gamma s	Gamma s, Acc	Alfa cc
[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
0.00175	0.00350	1.50	1.20	1.20	1.15	1.00	0.85

Alfa ct	Density	Therm. coeff.	Poisson's ratio	Creep coefficient, SLS
[-]	[t/m <sup>3</sup> ]	[1/°C]	[-]	[-]
0.85	2.548	0.000010	0.200	0.000

Creep coefficient, ULS	Shrinkage	Dyna r.	Stab r.
[-]	[-]	[-]	[-]
0.000	0.000	1.000	1.000

### 3 Laster

#### 3.1 Lastdata

##### Load cases

No.	Name	Type	Duration class
1	Egenvekt betong	+Struc. dead load	Permanent
2	Aksellast	Ordinary	Permanent
3	Trafikklast Vertikal	Ordinary	Permanent
4	Jordtrykk Vertikal	Ordinary	Permanent
5	Jordtrykk Horisontal	Ordinary	Permanent
6	Vanntrykk	Ordinary	Permanent
7	Trafikklast Horisontal	Ordinary	Permanent
8	Innhengt	Ordinary	Permanent

##### Line loads

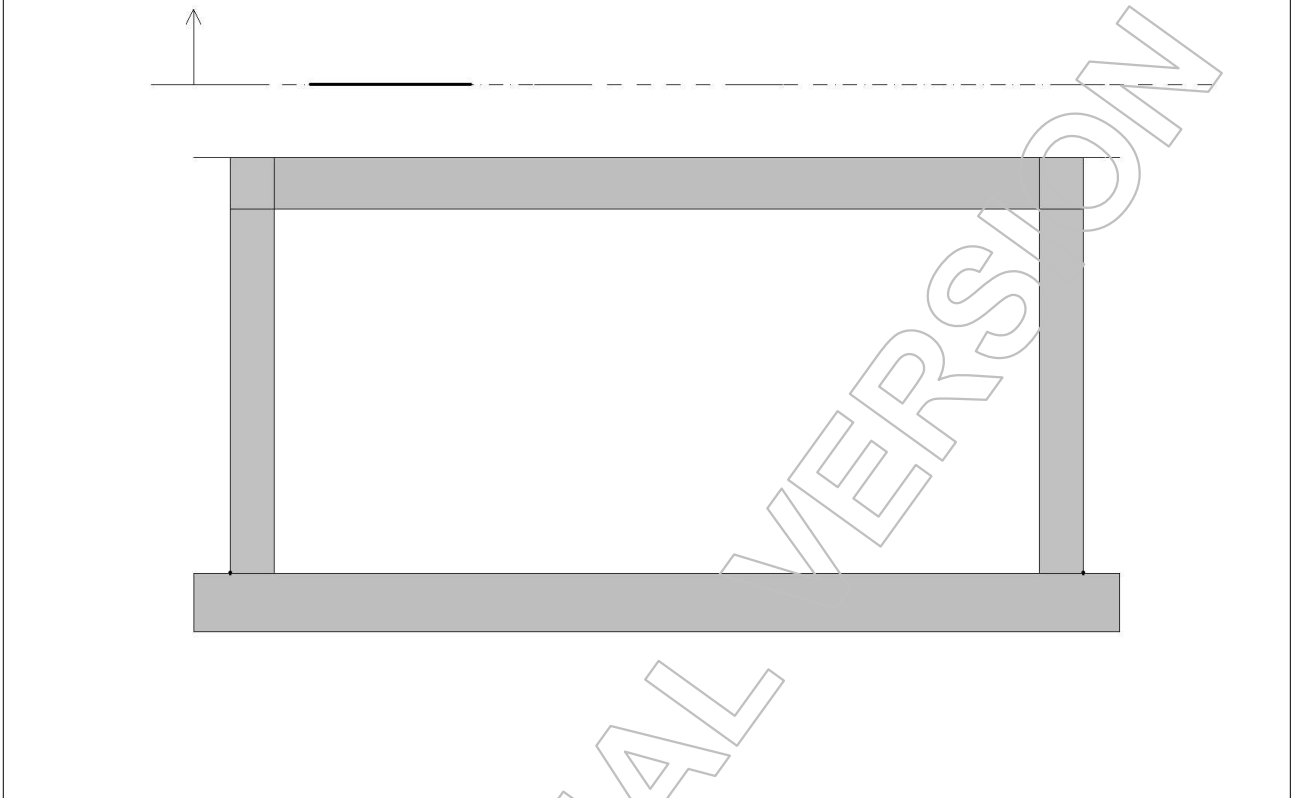
No.	q1	q2	m1	m2	Load case	Comment	Intensity	Direction
[-]	[kN/m]	[kN/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[-]	[-]	[-]	[-]
1	3.000	3.000	0.000	0.000	Innhengt		Action	Constant

##### Surface loads (Ordinary)

No.	q1	q2	q3	Load case	Comment	Intensity
[-]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[-]	[-]	[-]
1	85.300	85.300	85.300	Aksellast		Action
2	5.400	5.400	5.400	Trafikklast		Action
3	18.000	18.000	18.000	Jordtrykk		Action
4	3.150	3.150	3.150	Trafikklast		Action
5	3.150	3.150	3.150	Trafikklast		Action

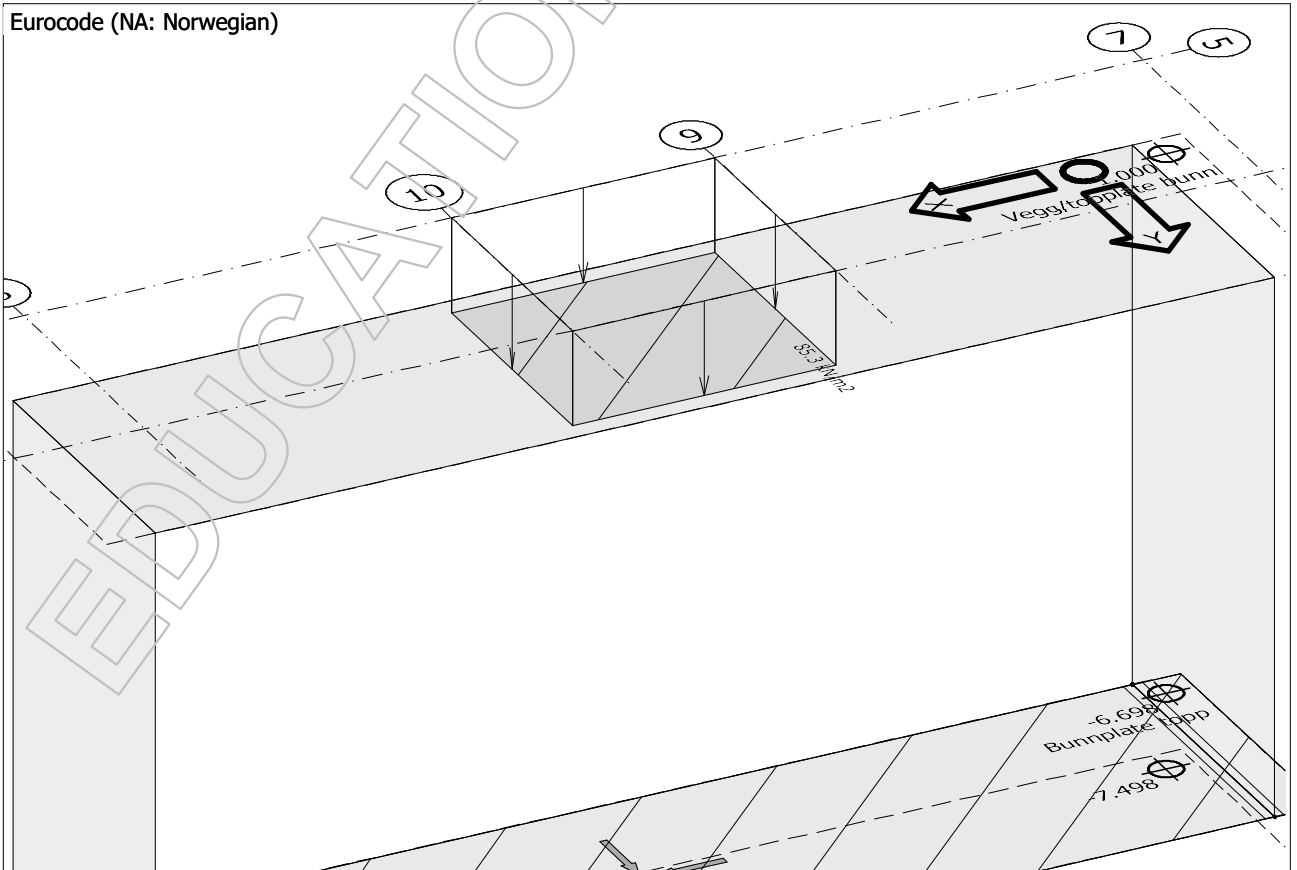
### 3.2 Egenlast Betong

Eurocode (NA: Norwegian)



### 3.3 Aksellast

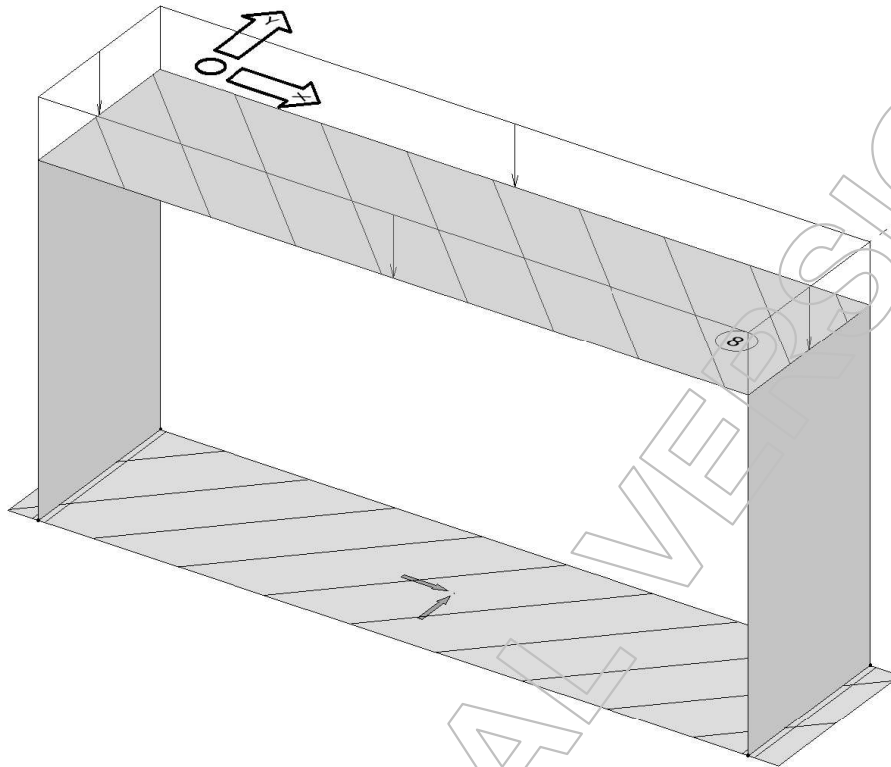
Eurocode (NA: Norwegian)



### 3.4 Trafikklast

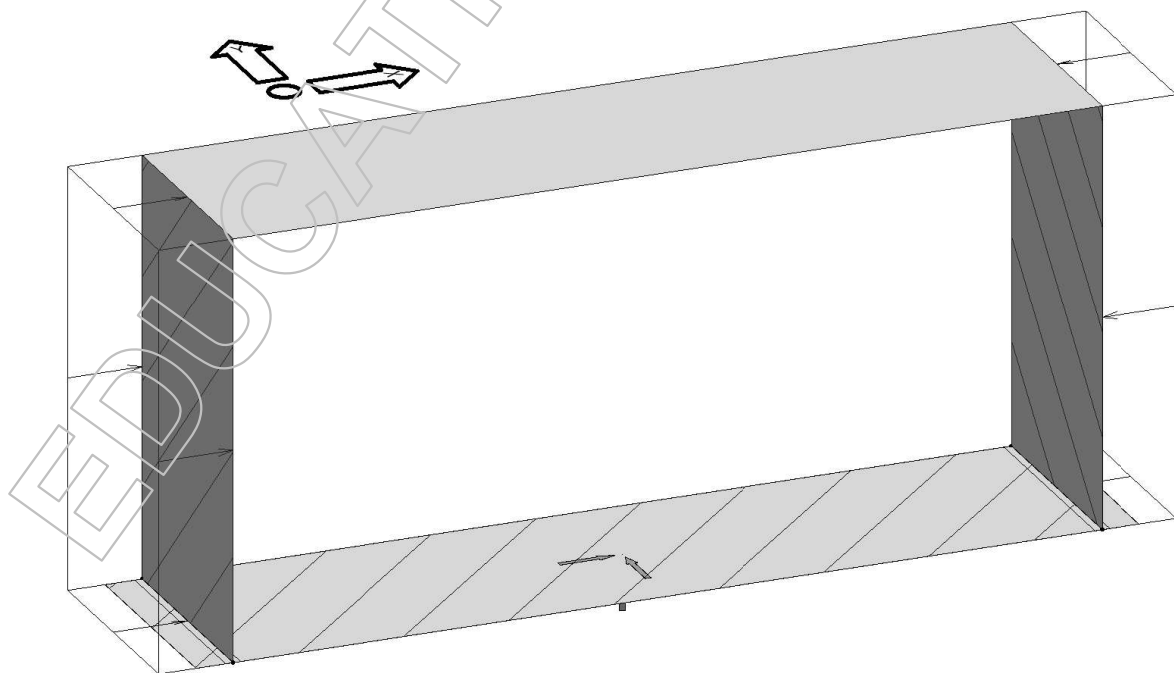
#### 3.4.1 Trafikklast Vertikal

Eurocode (NA: Norwegian)



#### 3.4.2 Trafikklast Horisontal

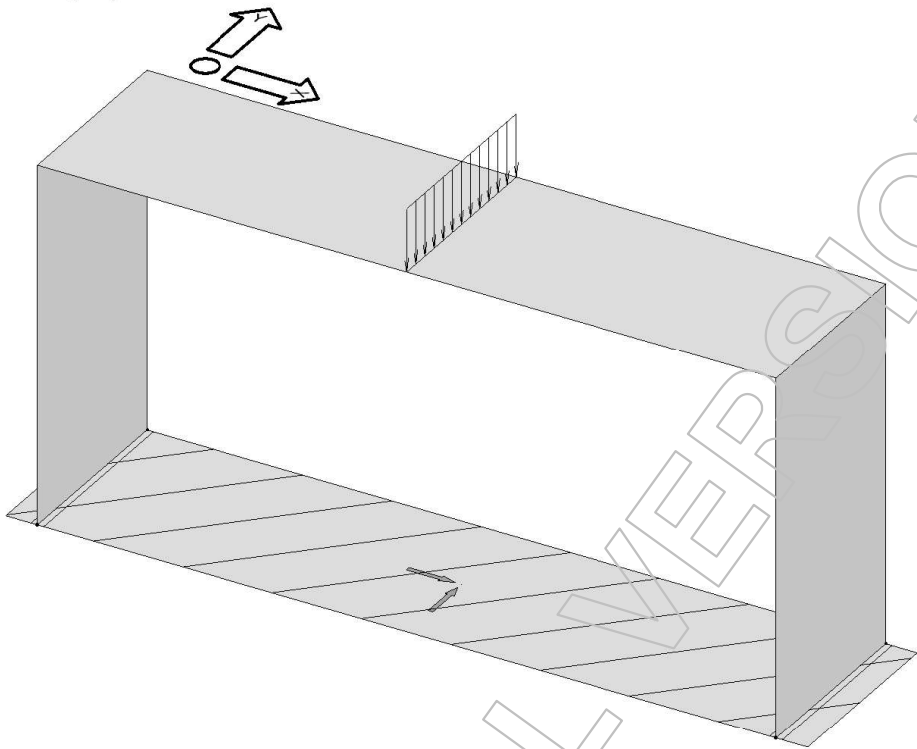
Eurocode (NA: Norwegian)





3.5 Innhengt Last

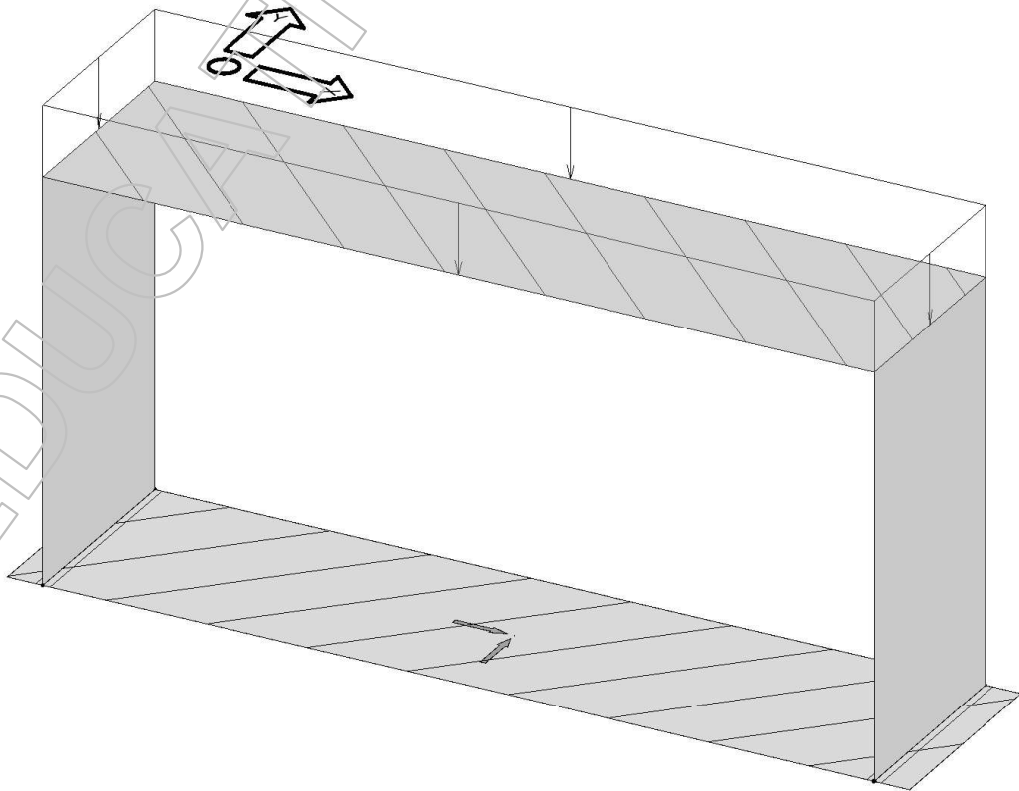
Eurocode (NA: Norwegian)



3.6 Jordlast

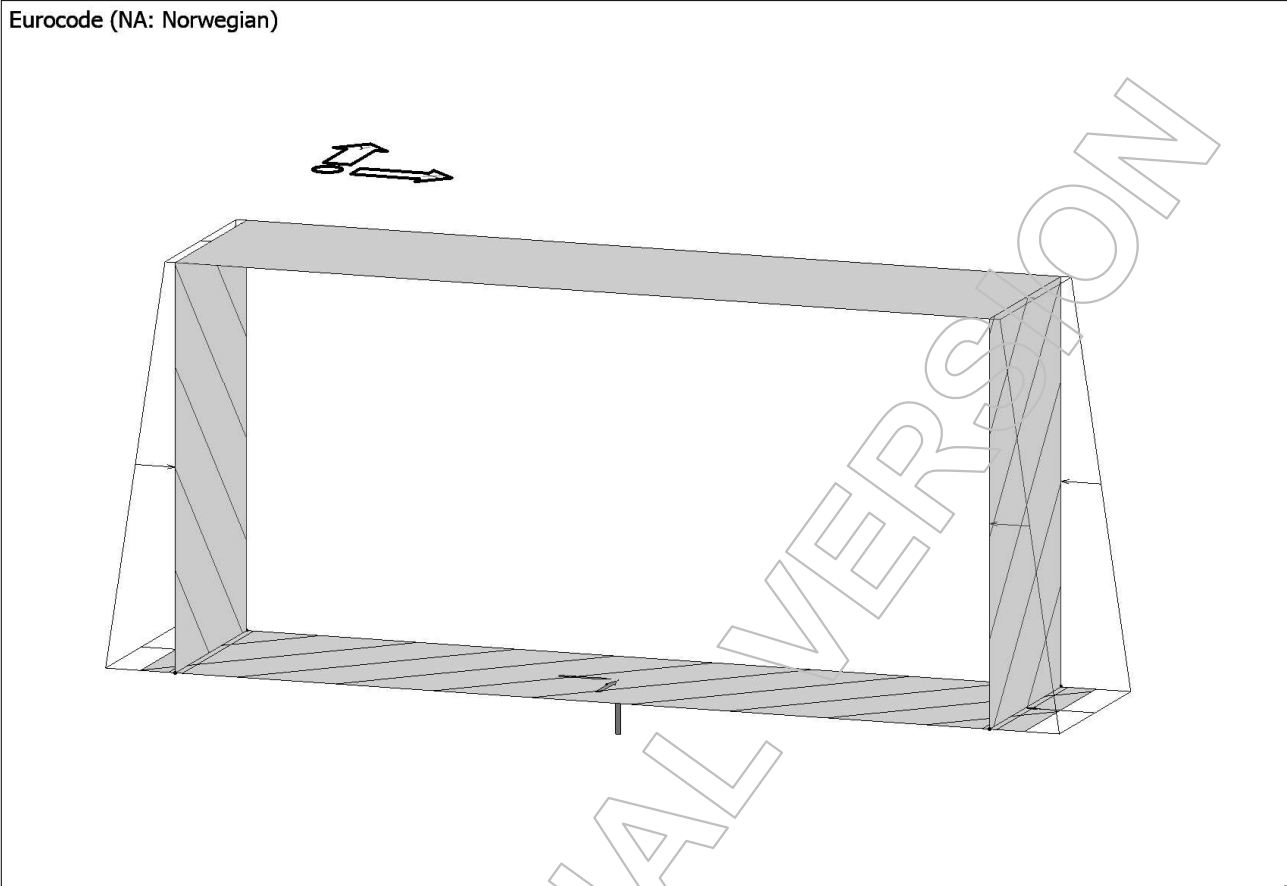
3.6.1 Jordlast Vertikal

Eurocode (NA: Norwegian)



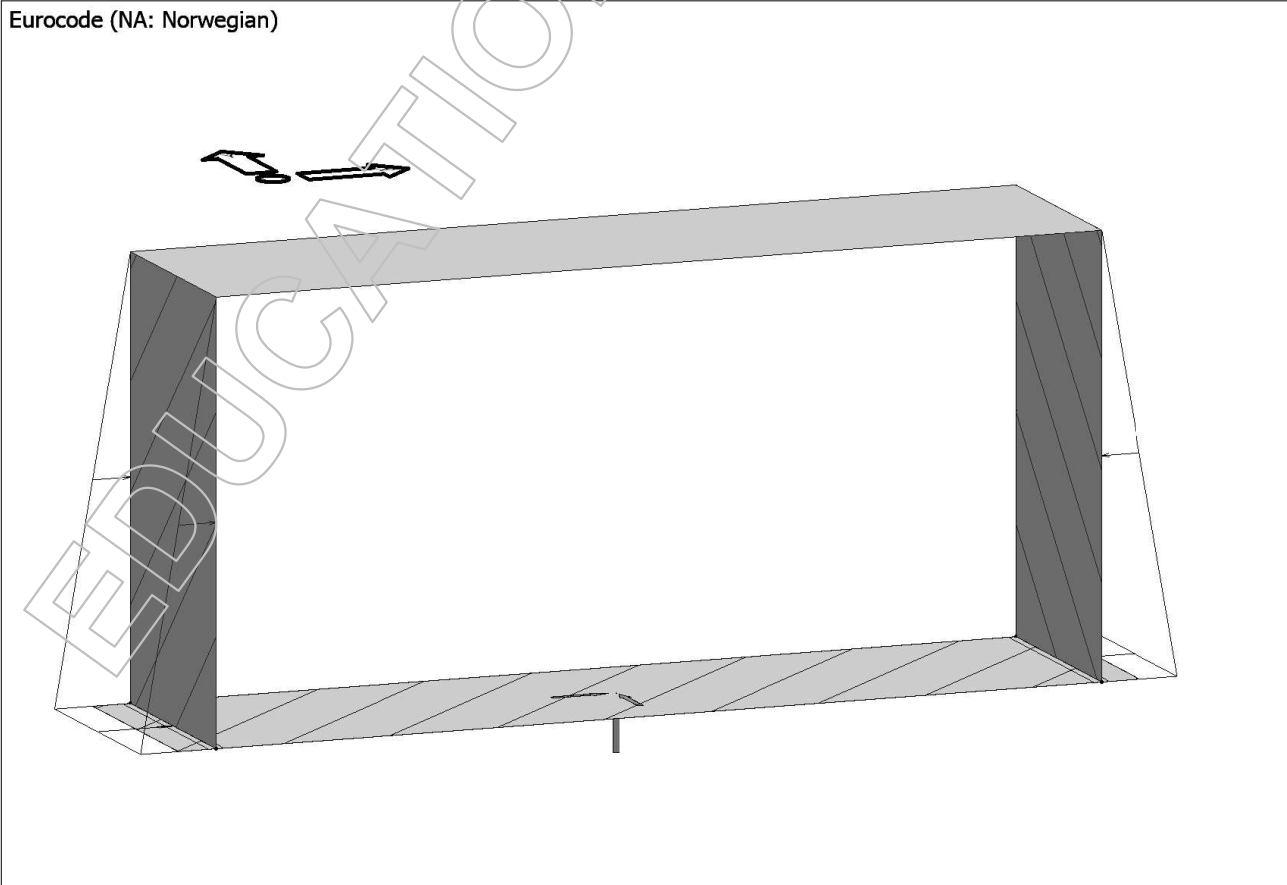
3.6.2 Jordlast Horisontal

Eurocode (NA: Norwegian)



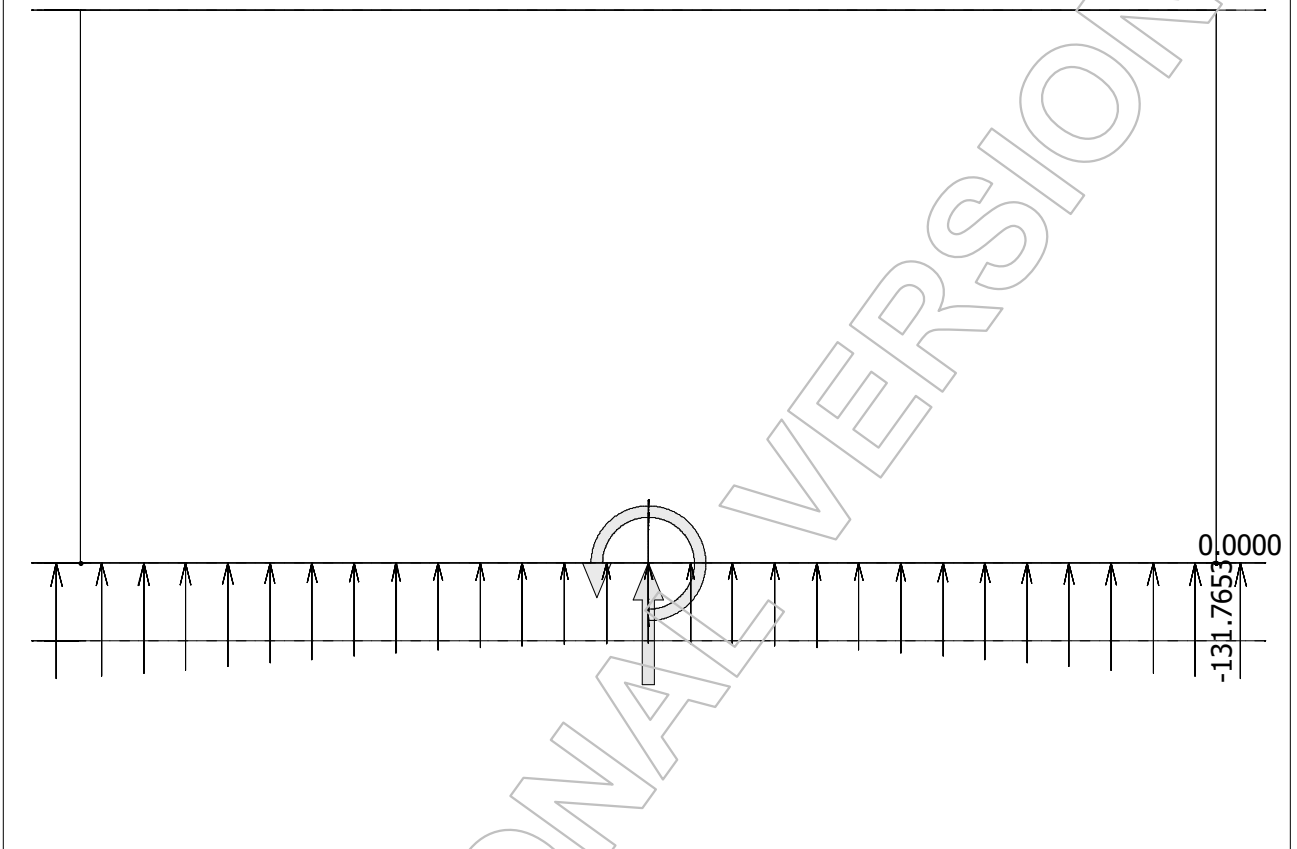
3.7 Vanntrykk

Eurocode (NA: Norwegian)



## 4 Opplagerkrefter

Eurocode (NA: Norwegian) code: 1st order theory - Load combinations - Lastkombinasjon 1 - Reactions -  
[kN, kNm, kN/m, kNm/m, kN/m<sup>2</sup>]



### 4.1 Bruddgrensetilstand

Surface support, Resultants, Load comb.: Lastkombinasjon 1

ID	Fx'	Fy'	Fz'	Mx'	My'	Mz'
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
S.1	0.000	0.000	-4161.519	0.261	0.237	0.000

Surface support, Resultants, Load comb.: Lastkombinasjon 2

ID	Fx'	Fy'	Fz'	Mx'	My'	Mz'
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
S.1	0.000	0.000	-4028.812	0.373	0.184	0.000

Surface support, Resultants, Load comb.: Lastkombinasjon 3

ID	Fx'	Fy'	Fz'	Mx'	My'	Mz'
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
S.1	0.000	0.000	-3862.591	0.261	0.216	0.000

Surface support, Resultants, Load comb.: Lastkombinasjon 4

ID	Fx'	Fy'	Fz'	Mx'	My'	Mz'
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
S.1	0.000	0.000	-3785.823	0.261	0.207	0.000

#### 4.2 Bruksgrensetilstand

Surface support, Resultants, Load comb.: Lastkombinasjon 5

ID	Fx'	Fy'	Fz'	Mx'	My'	Mz'
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
S.1	0.000	0.000	-3262.599	0.276	0.158	0.000

Surface support, Resultants, Load comb.: Lastkombinasjon 6

ID	Fx'	Fy'	Fz'	Mx'	My'	Mz'
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
S.1	0.000	0.000	-3139.472	0.193	0.182	0.000

Surface support, Resultants, Load comb.: Lastkombinasjon 7

ID	Fx'	Fy'	Fz'	Mx'	My'	Mz'
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
S.1	0.000	0.000	-3082.607	0.193	0.175	0.000

## 5 Lastkombinasjoner

Load combinations

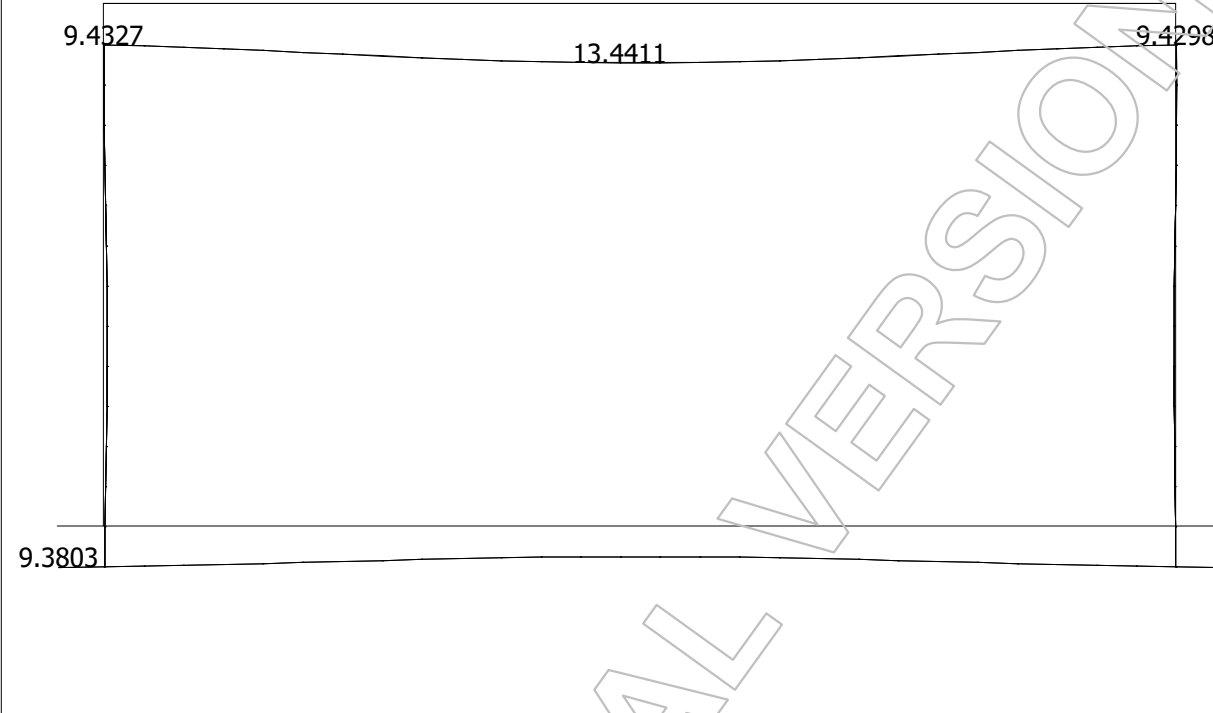
No.	Name	Type	Factor	Load cases			
1	Lastkombinasjo...	Ultimate	1.350	Egenvekt betong (+Struc. dead load)			
			1.350	Jordtrykk Vertikal			
			1.100	Jordtrykk Horisontal			
			1.000	Vanntrykk			
			1.350	Innhengt			
			0.945	Aksellast			
			0.945	Trafikklast Vertikal			
			0.945	Trafikklast Horisontal			
			2	Lastkombinasjo...	Ultimate	1.202	Egenvekt betong (+Struc. dead load)
						1.202	Jordtrykk Vertikal
1.100	Jordtrykk Horisontal						
1.000	Vanntrykk						
1.202	Innhengt						
1.350	Aksellast						
0.945	Trafikklast Vertikal						
0.945	Trafikklast Horisontal						
3	Lastkombinasjo...	Ultimate				1.202	Egenvekt betong (+Struc. dead load)
						1.202	Jordtrykk Vertikal
			1.100	Jordtrykk Horisontal			
			1.000	Vanntrykk			
			1.202	Innhengt			
			0.945	Aksellast			
			1.350	Trafikklast Vertikal			
			0.945	Trafikklast Horisontal			
			4	Lastkombinasjo...	Ultimate	1.202	Egenvekt betong (+Struc. dead load)
						1.202	Jordtrykk Vertikal
1.100	Jordtrykk Horisontal						
1.000	Vanntrykk						
1.202	Innhengt						
0.945	Aksellast						
0.945	Trafikklast Vertikal						
1.350	Trafikklast Horisontal						
5	Lastkombinasjo...	Characteristic				1.000	Egenvekt betong (+Struc. dead load)
						1.000	Jordtrykk Vertikal
			1.000	Jordtrykk Horisontal			
			1.000	Vanntrykk			
			1.000	Innhengt			
			1.000	Aksellast			
			0.700	Trafikklast Vertikal			
			0.700	Trafikklast Horisontal			
			6	Lastkombinasjo...	Characteristic	1.000	Egenvekt betong (+Struc. dead load)
						1.000	Jordtrykk Vertikal
1.000	Jordtrykk Horisontal						
1.000	Vanntrykk						
1.000	Innhengt						
0.700	Aksellast						
1.000	Trafikklast Vertikal						
0.700	Trafikklast Horisontal						
7	Lastkombinasjo...	Characteristic				1.000	Egenvekt betong (+Struc. dead load)
						1.000	Jordtrykk Vertikal

No.	Name	Type	Factor	Load cases
			1.000	Jordtrykk Horisontal
			1.000	Vanntrykk
			1.000	Innhengt
			0.700	Aksellast
			0.700	Trafikklast Vertikal
			1.000	Trafikklast Horisontal

EDUCATIONAL VERSION

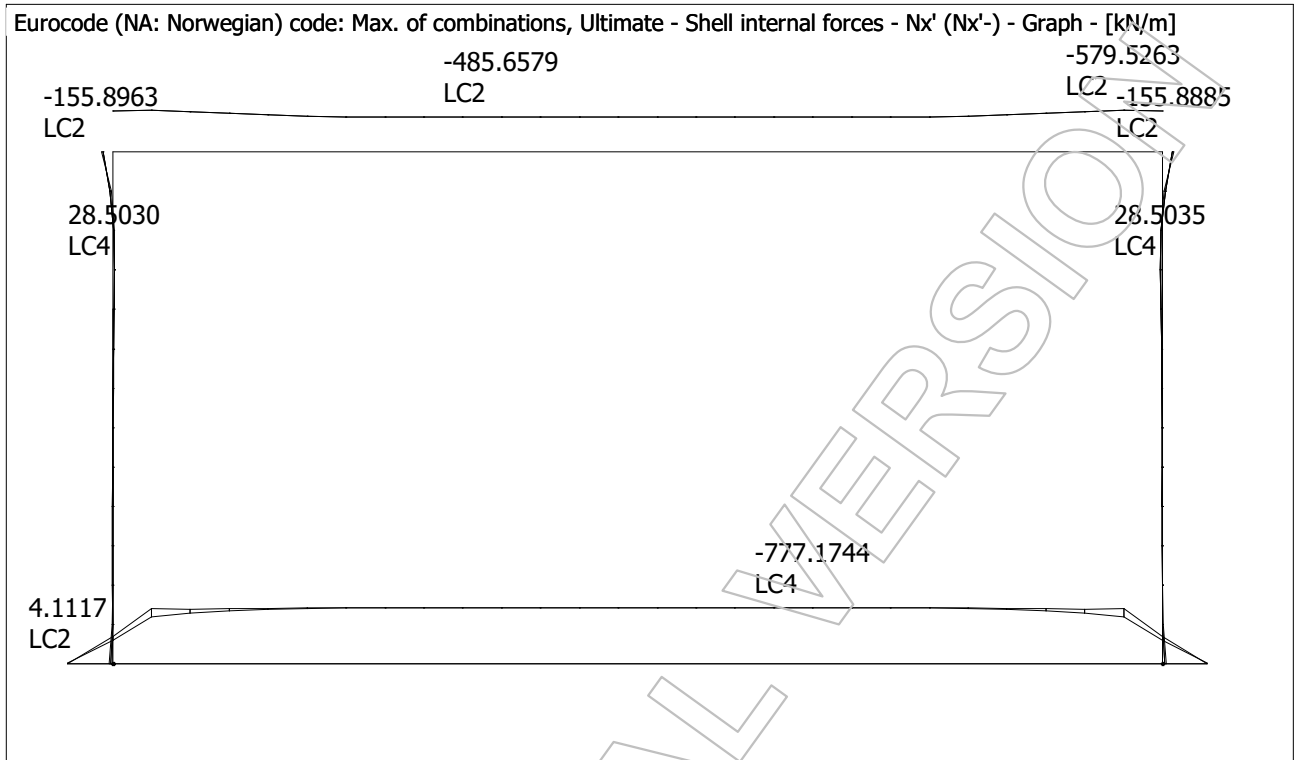
6 Deformasjoner

Eurocode (NA: Norwegian) code: Max. of combinations, Characteristic - Translational displacements - All components+ - Graph - [mm]

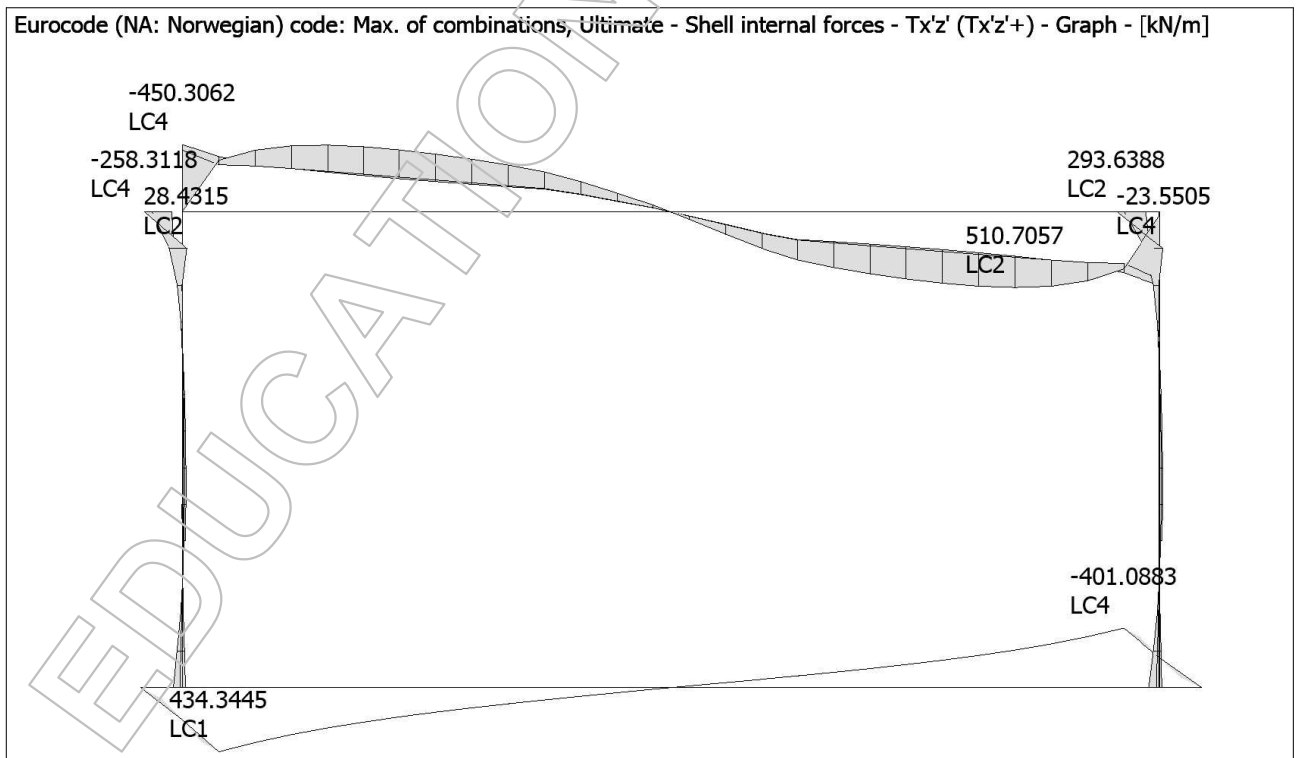


# 7 Diagrammer

## 7.1 Aksialkraftsdiagram

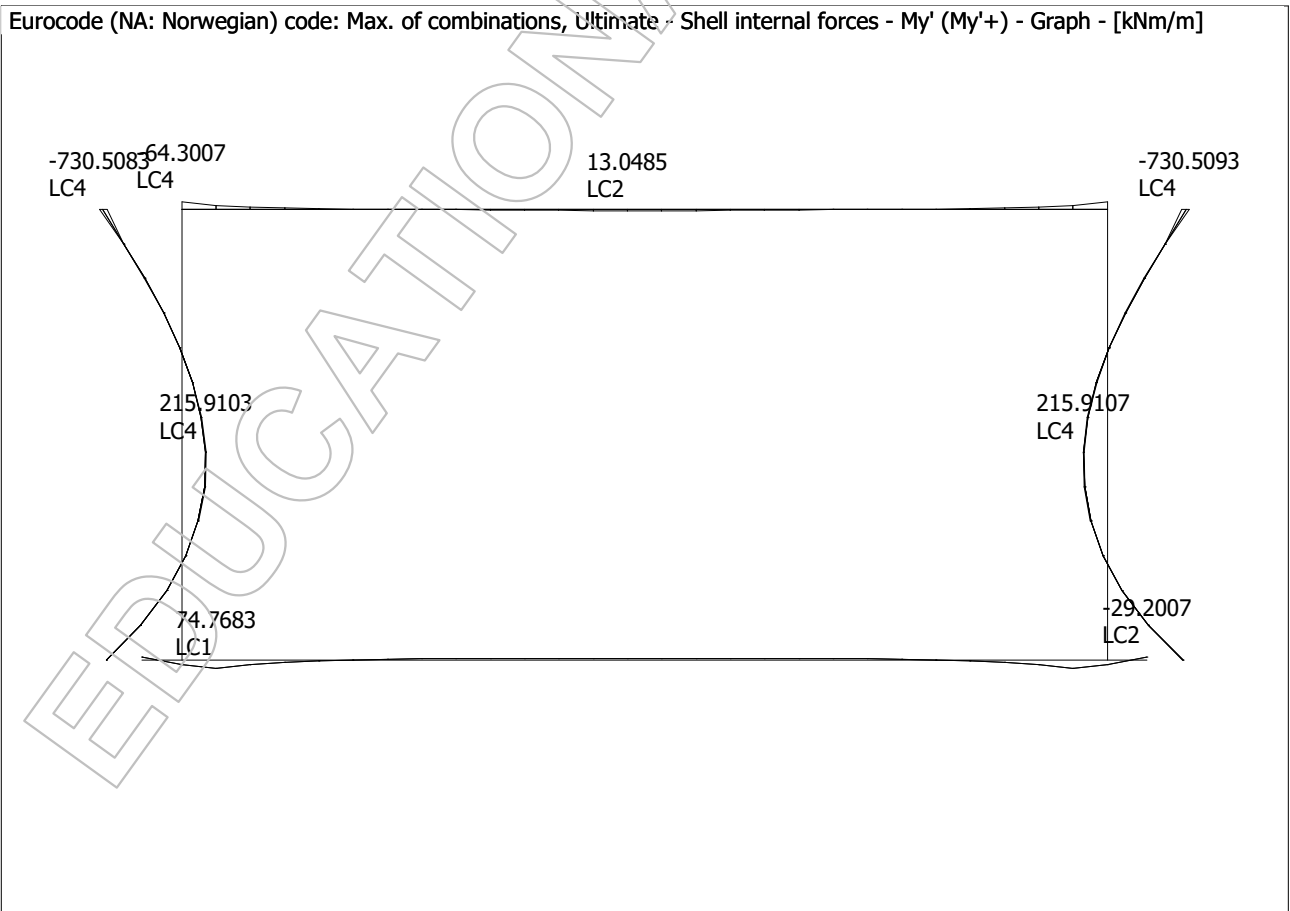
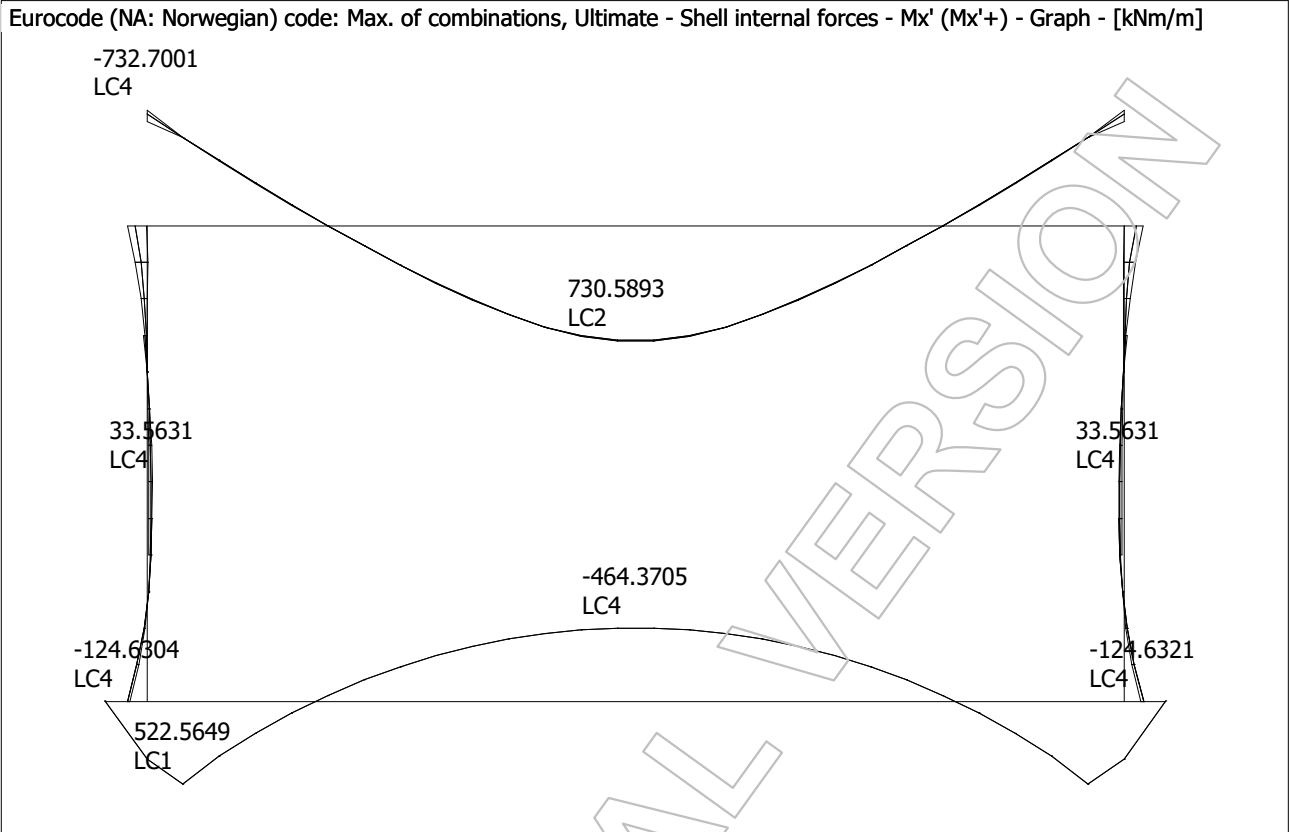


## 7.2 Skjærkraftsdiagram





7.3 Momentdiagram



## 8 Armering

### 8.1 Armeringstype

Reinforcing steel materials

Name	fyk	Es	Epsilon uk	Epsilon ud	k
[-]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[-]	[-]	[-]
B500C	500	200000	0.0750	0.0300	1.15

### 8.2 Overdekning og tykkelse

Armeringens overdekning er forskjellig fra innsiden og utsiden av konstruksjonen grunnet ulike eksponeringsklasser. På utsiden av konstruksjonen har vi en  $C_{nom} = 35\text{mm}$ . Innsiden har en  $C_{nom} = 60\text{mm}$ . Diameteren vi har valgt på armeringen er 16mm. Programmet har en autofunksjon for beregning av armering og vil legge på tilleggsarmering utover den selv.

### 8.3 Utnyttelse

Max. of load combinations, Shell, Utilization

Shell	Max.	Combination	RBX	RBX	RTX	RTY	BU	CWB	CWT
[-]	[%]	[-]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
P.1.1	117	Lastkombin...	79	117	90	103	0	0	0
P.2.1	117	Lastkombin...	77	112	97	117	0	0	0
W.1.1	92	Lastkombin...	88	60	25	92	0	0	0
W.2.1	92	Lastkombin...	88	60	25	92	0	0	0

RBX - Armering i bunnen (x retning)

RBX - Armering i bunnen (y retning)

RTX - Armering i toppen (x retning)

RTY - Armering i toppen (y retning)

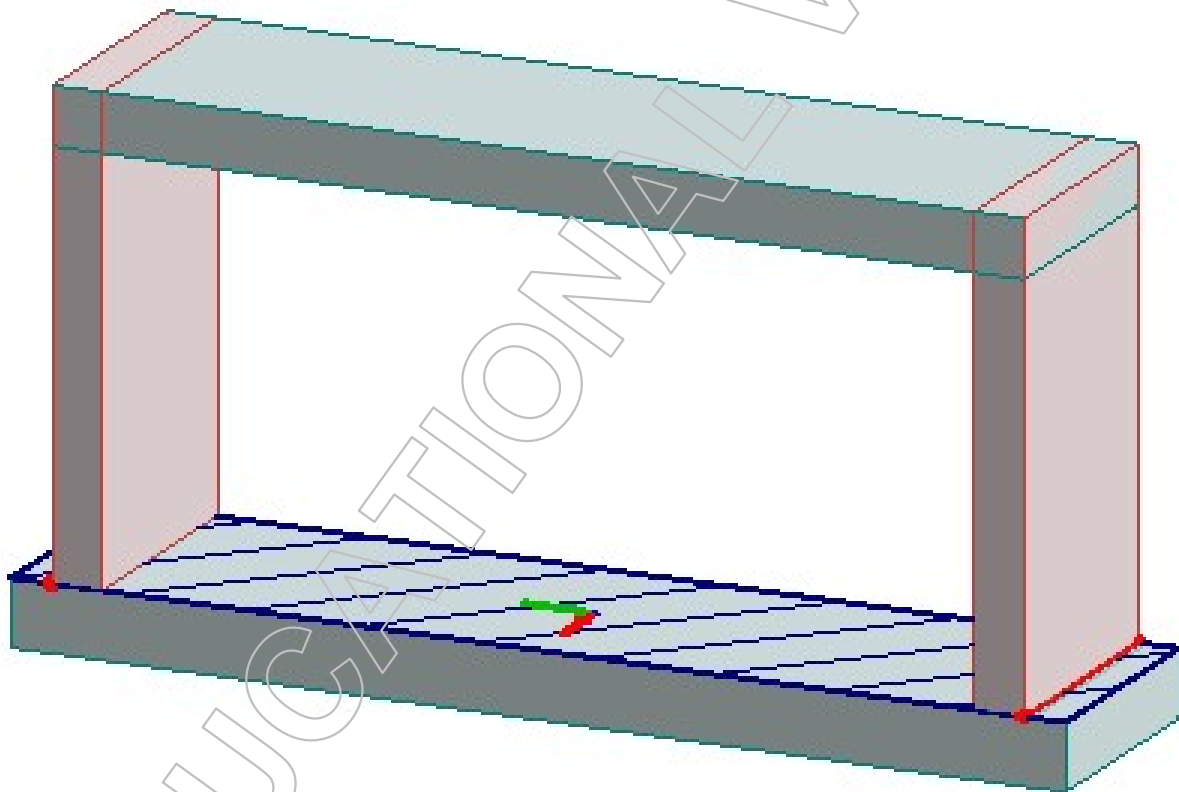
BU - Buckling

CWB - Riss i bunnen

CWT - Riss i toppen



## Beregningsrapport



Project:

**Betong Kulvert**

Customer:

**Statens Vegvesen**

Description:

**Jordstivhetstall: 10 000 MPa**

**FEM-Design © StruSoft**

Designed: Sofie Andersen, Thea V Skavhellen

Date: 29.04.2019

Page: 1 / 18

1 Innledning.....	3
2 Visualisering.....	4
2.1 3D-Modell.....	4
2.2 2D-Modell.....	4
3 Laster.....	6
3.1 Lastdata.....	6
3.2 Egenlast Betong.....	7
3.3 Aksellast.....	7
3.4 Trafikklast.....	8
3.4.1 Trafikklast Vertikal.....	8
3.4.2 Trafikklast Horisontal.....	8
3.5 Innhengt Last.....	9
3.6 Jordlast.....	9
3.6.1 Jordlast Vertikal.....	9
3.6.2 Jordlast Horisontal.....	10
3.7 Vanntrykk.....	10
4 Opplagerkrefter.....	11
4.1 Bruddgrensetilstand.....	11
4.2 Bruksgrensetilstand.....	12
5 Lastkombinasjoner.....	13
6 Deformasjoner.....	15
7 Diagrammer.....	16
7.1 Aksialkraftsdiagram.....	16
7.2 Skjærkraftsdiagram.....	16
7.3 Momentdiagram.....	17
8 Armering.....	18
8.1 Armeringstype.....	18
8.2 Overdekning og tykkelse.....	18
8.3 Utnyttelse.....	18

## 1 Innledning

Rapporten er et beregningsgrunnlag for beregninger gjort i programmet FEM-Design. Programmet er brukt for å fremstille visualiseringer av de ulike lastene som er påført, beregne moment-, skjær og aksiallastdiagram, samt beregning av armering. Resultater som er fremstilt i rapporten er grunnlag for håndberegninger vi har utført.

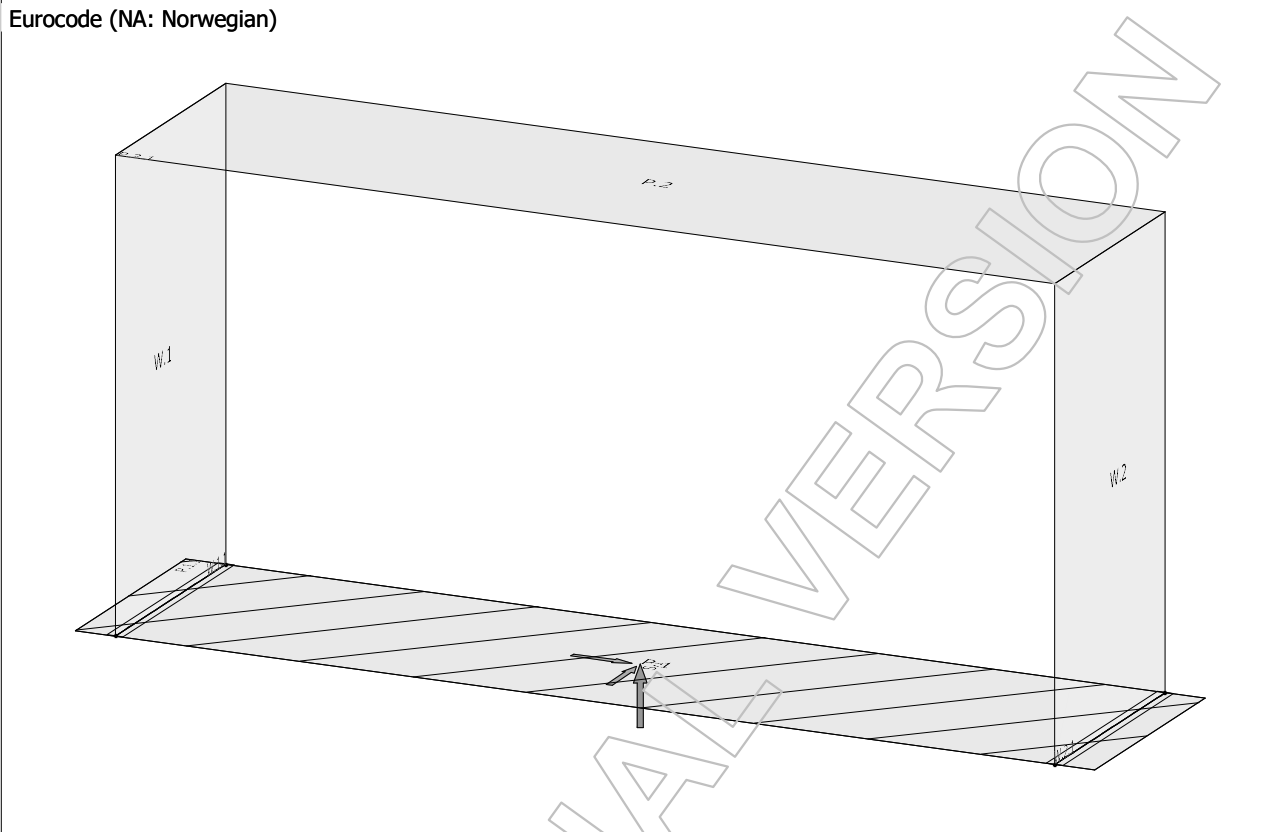
I dette tilfellet baserer lastkombinasjonene seg på Lastmodell 1, hvor aksellasten er plassert på høyre side av kulvertaket.

Fjærstivheten vi har brukt er  $10\,000\text{ kN/m}^2/\text{m}$

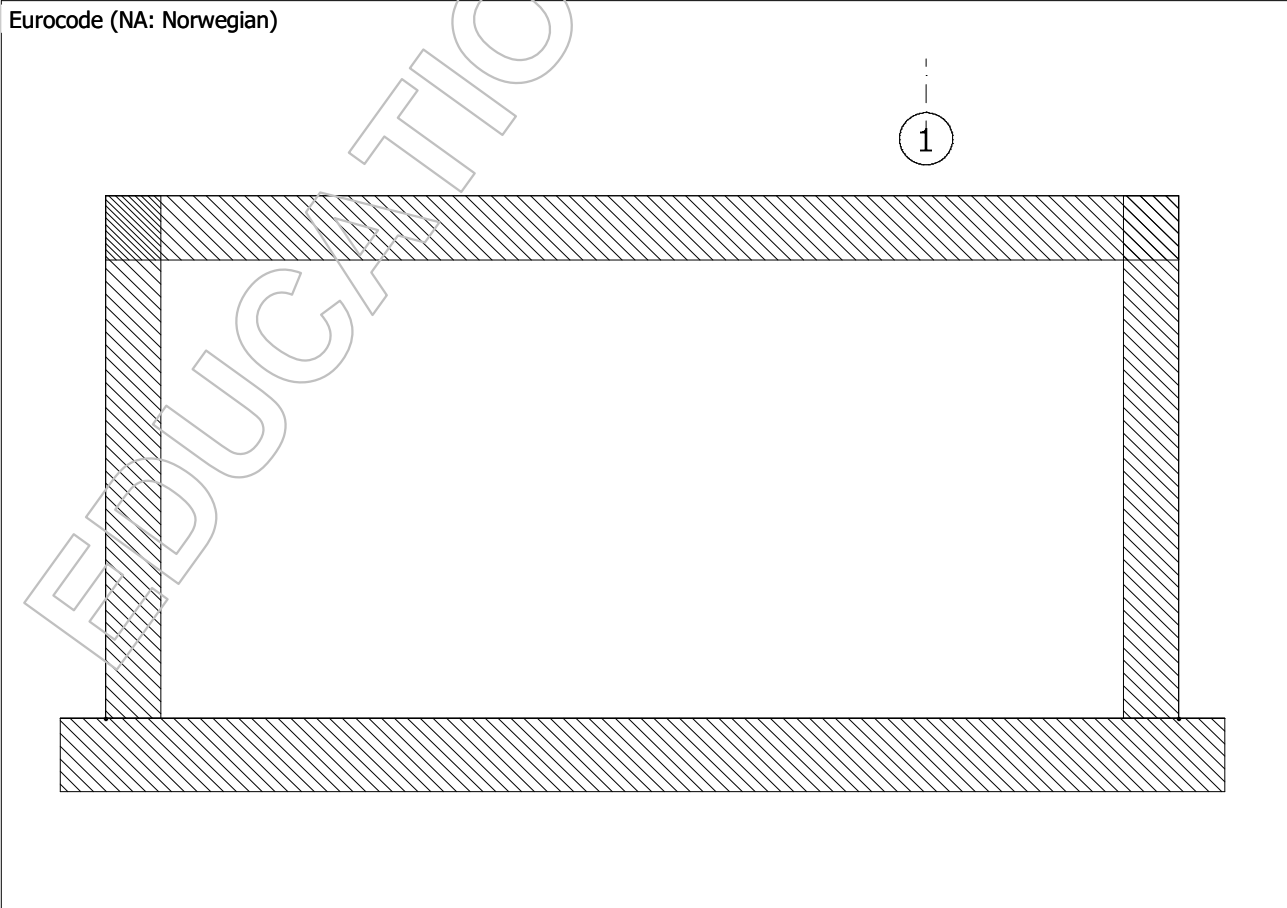
EDUCATIONAL VERSION

# 2 Visualisering

## 2.1 3D-Modell



## 2.2 2D-Modell



## Concrete materials

No.	Name	Fck	Fck,cube	Fctm	Fctk	Ecm
[-]	[-]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
1	C45/55	45.000	55.000	3.800	2.700	36000.000

Yield strain	Ultimate strain	Gamma c	Gamma c, Acc	Gamma cE	Gamma s	Gamma s, Acc	Alfa cc
[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
0.00175	0.00350	1.50	1.20	1.20	1.15	1.00	0.85

Alfa ct	Density	Therm. coeff.	Poisson's ratio	Creep coefficient, SLS
[-]	[t/m <sup>3</sup> ]	[1/°C]	[-]	[-]
0.85	2.548	0.000010	0.200	0.000

Creep coefficient, ULS	Shrinkage	Dyna r.	Stab r.
[-]	[-]	[-]	[-]
0.000	0.000	1.000	1.000

### 3 Laster

#### 3.1 Lastdata

##### Load cases

No.	Name	Type	Duration class
1	Egenvekt betong	+Struc. dead load	Permanent
2	Aksellast	Ordinary	Permanent
3	Trafikklast Vertikal	Ordinary	Permanent
4	Jordtrykk Vertikal	Ordinary	Permanent
5	Jordtrykk Horisontal	Ordinary	Permanent
6	Vanntrykk	Ordinary	Permanent
7	Trafikklast Horisontal	Ordinary	Permanent
8	Innhengt	Ordinary	Permanent

##### Line loads

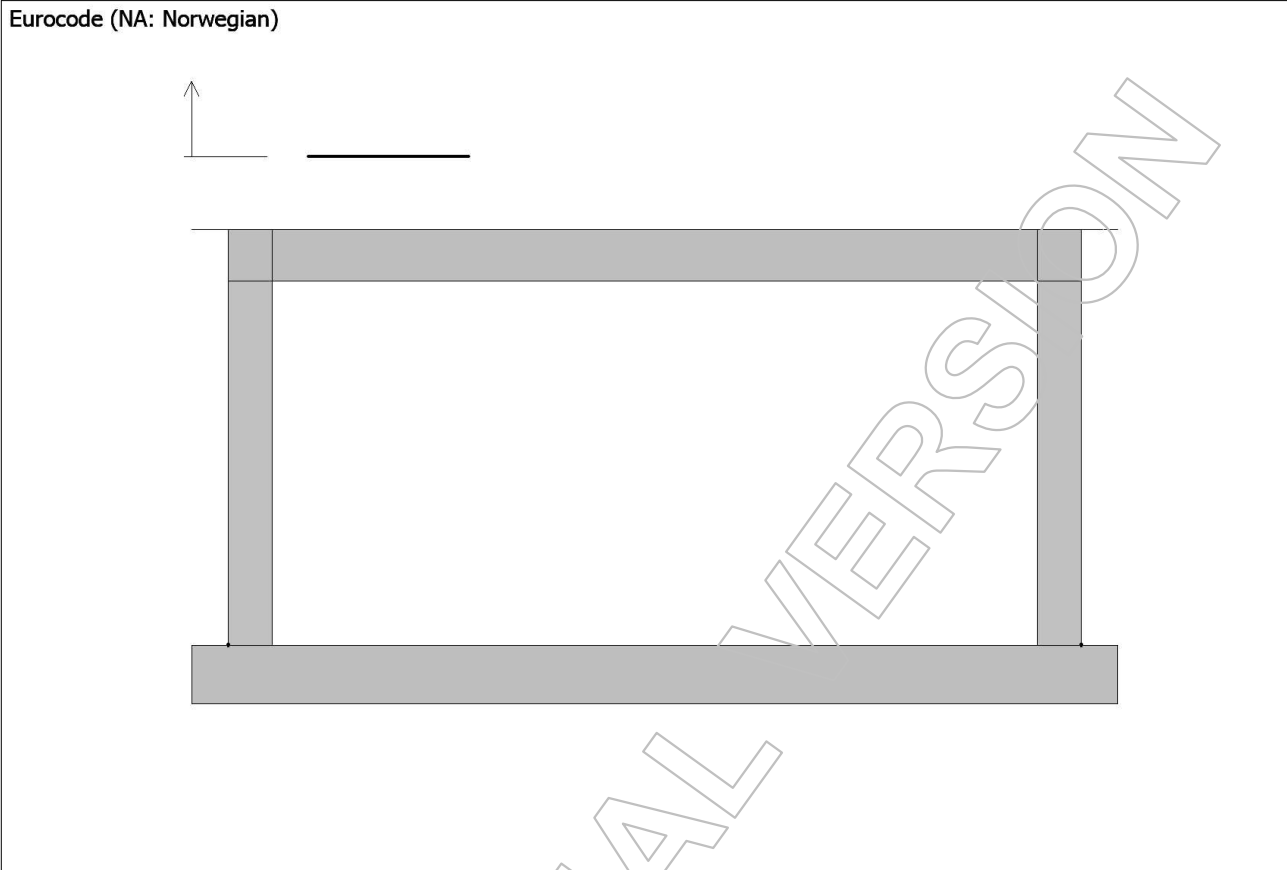
No.	q1	q2	m1	m2	Load case	Comment	Intensity	Direction
[-]	[kN/m]	[kN/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[-]	[-]	[-]	[-]
1	3.000	3.000	0.000	0.000	Innhengt		Action	Constant

##### Surface loads (Ordinary)

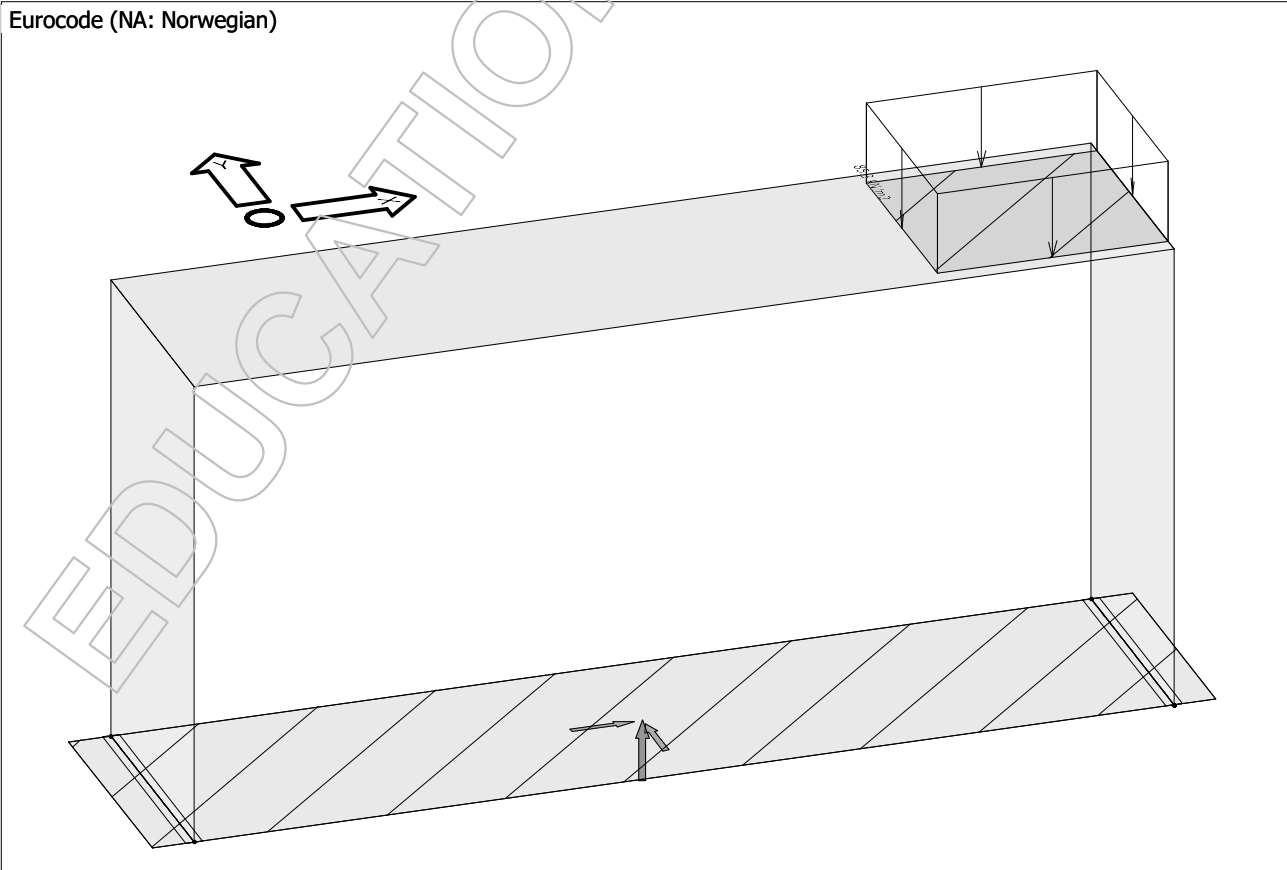
No.	q1	q2	q3	Load case	Comment	Intensity
[-]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[-]	[-]	[-]
1	5.400	5.400	5.400	Trafikklast Vertikal		Action
2	18.000	18.000	18.000	Jordtrykk Vertikal		Action
3	3.150	3.150	3.150	Trafikklast Horisontal		Action
4	3.150	3.150	3.150	Trafikklast Horisontal		Action
5	85.300	85.300	85.300	Aksellast		Action



3.2 Egenlast Betong

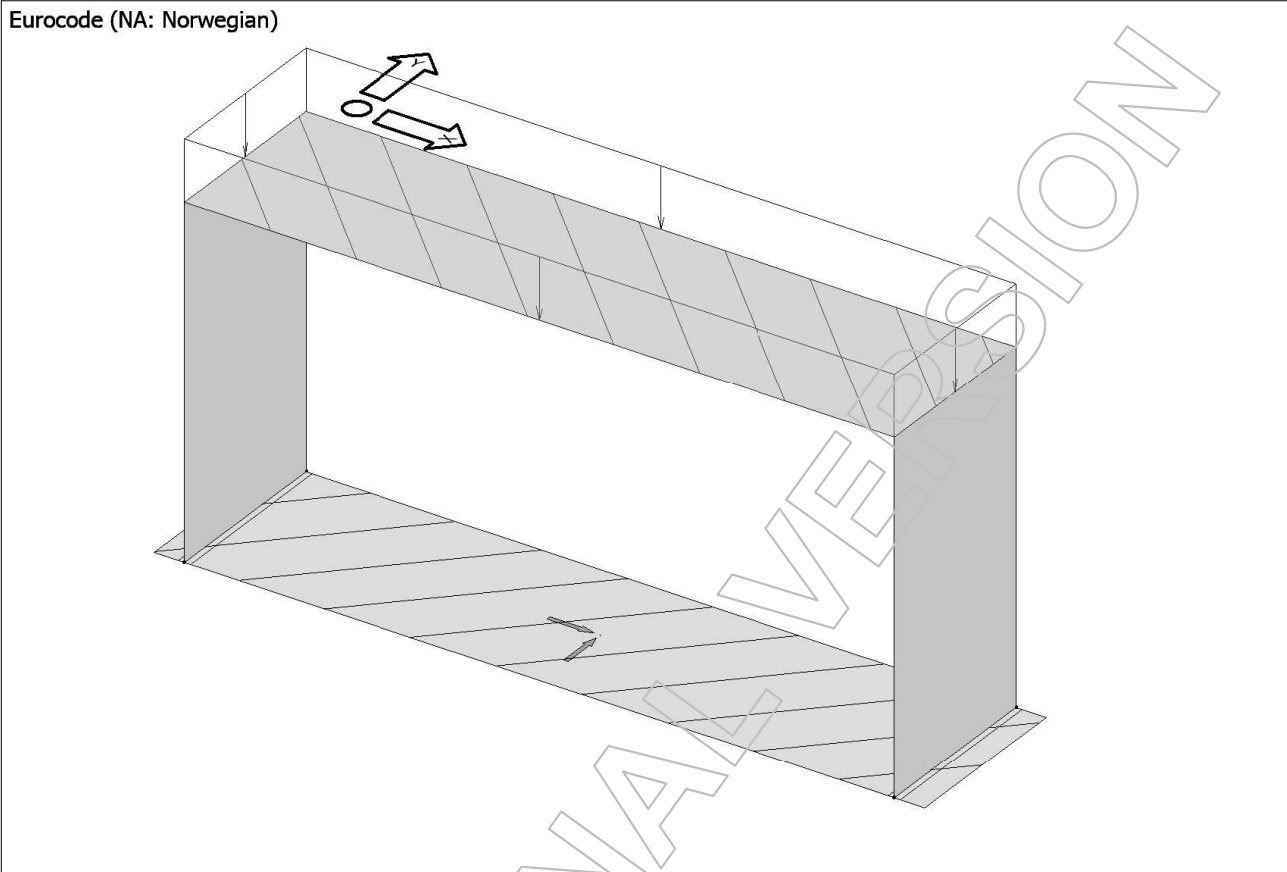


3.3 Aksellast

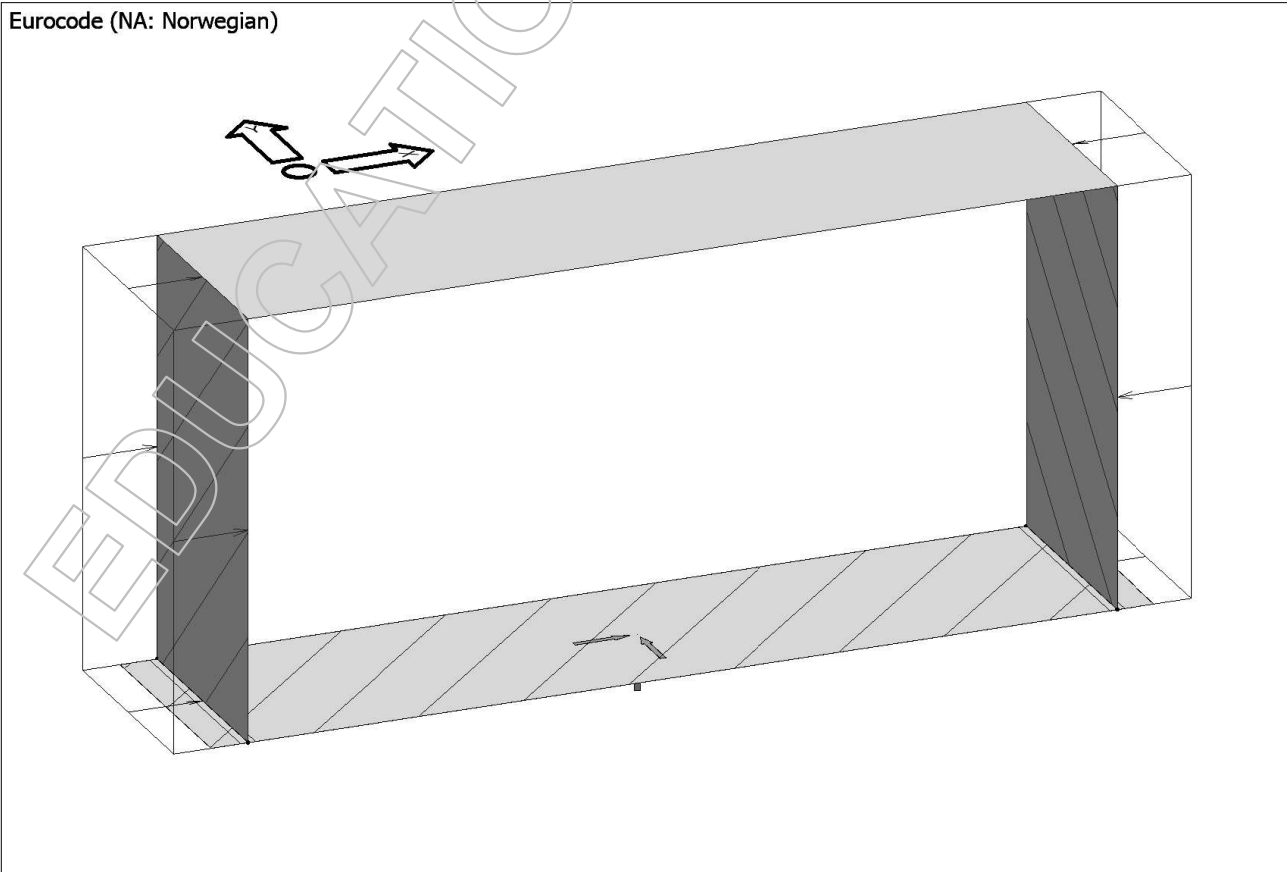


3.4 Trafikklast

3.4.1 Trafikklast Vertikal

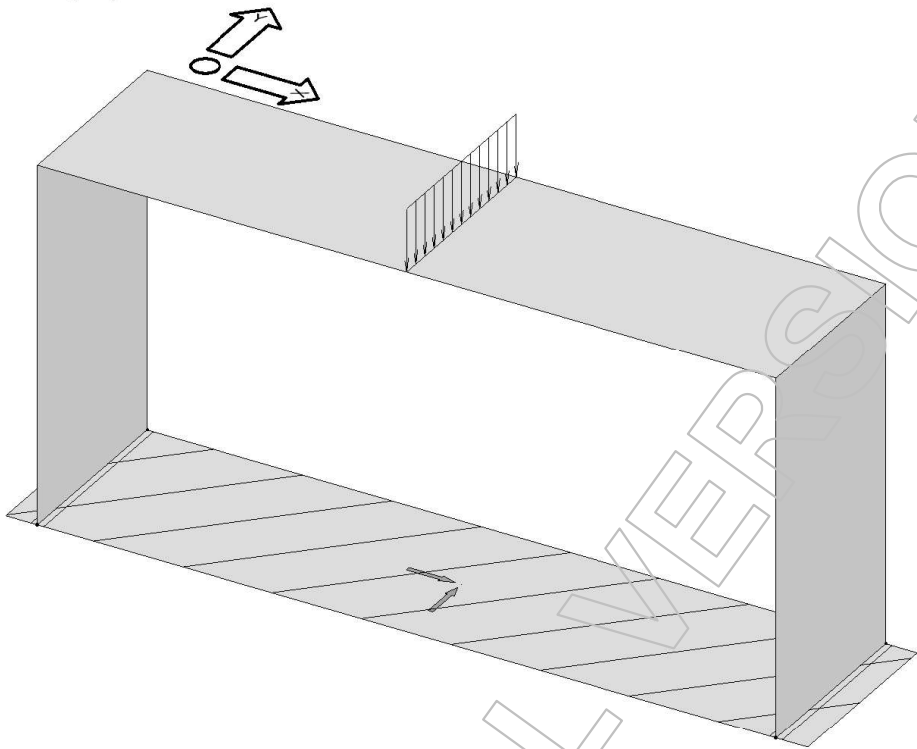


3.4.2 Trafikklast Horisontal



3.5 Innhengt Last

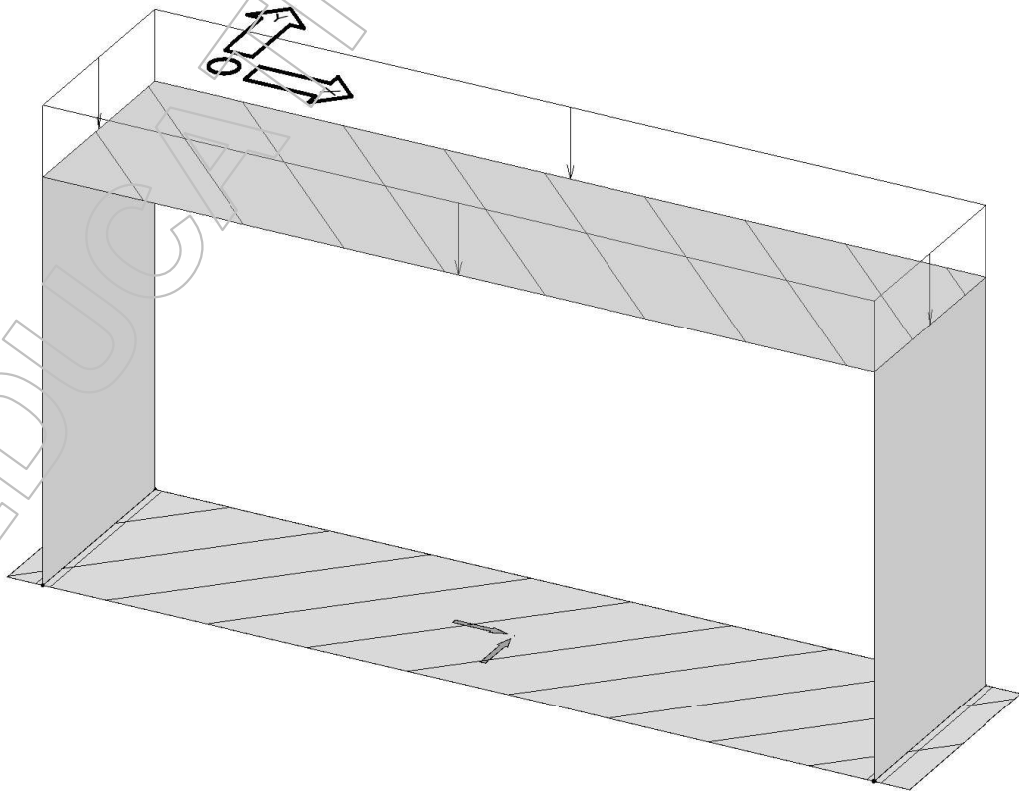
Eurocode (NA: Norwegian)



3.6 Jordlast

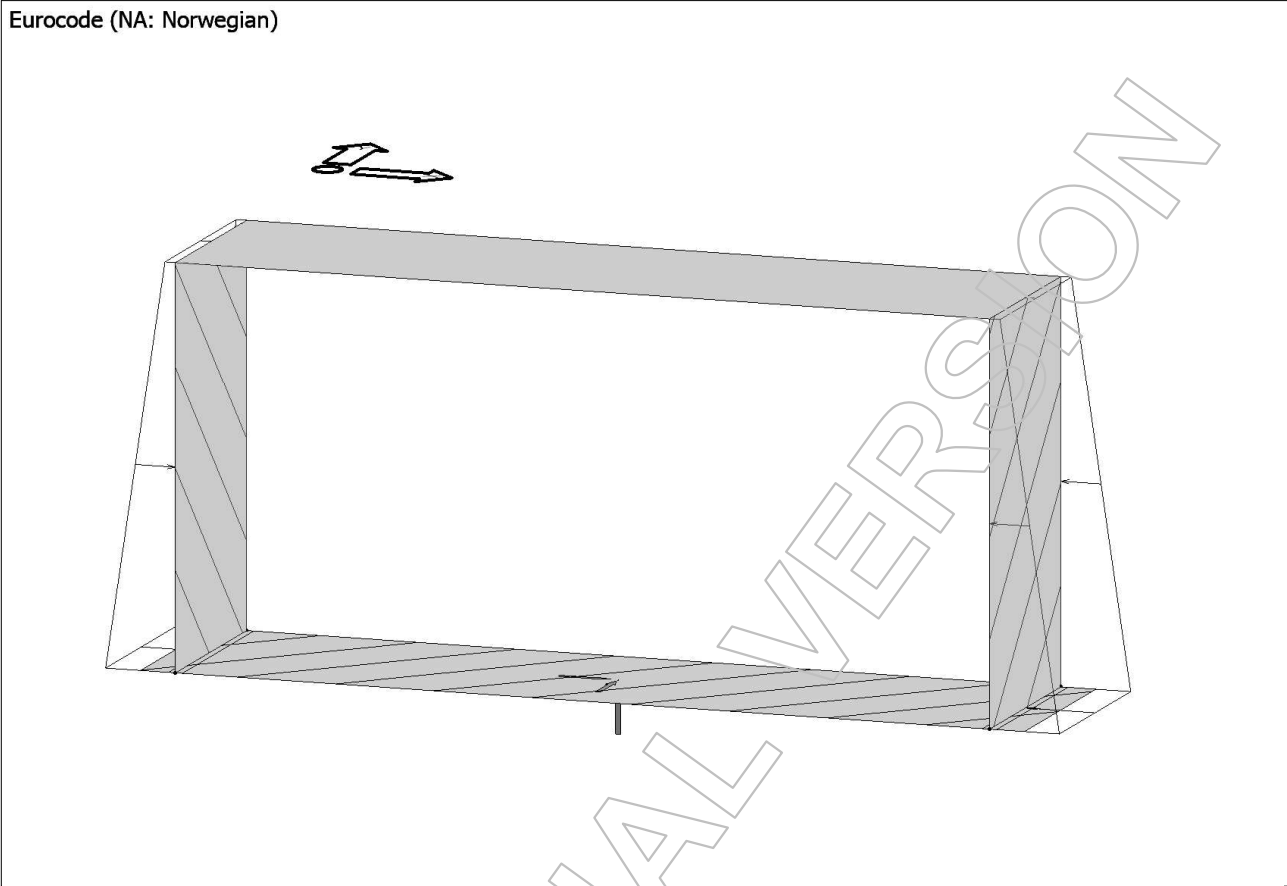
3.6.1 Jordlast Vertikal

Eurocode (NA: Norwegian)



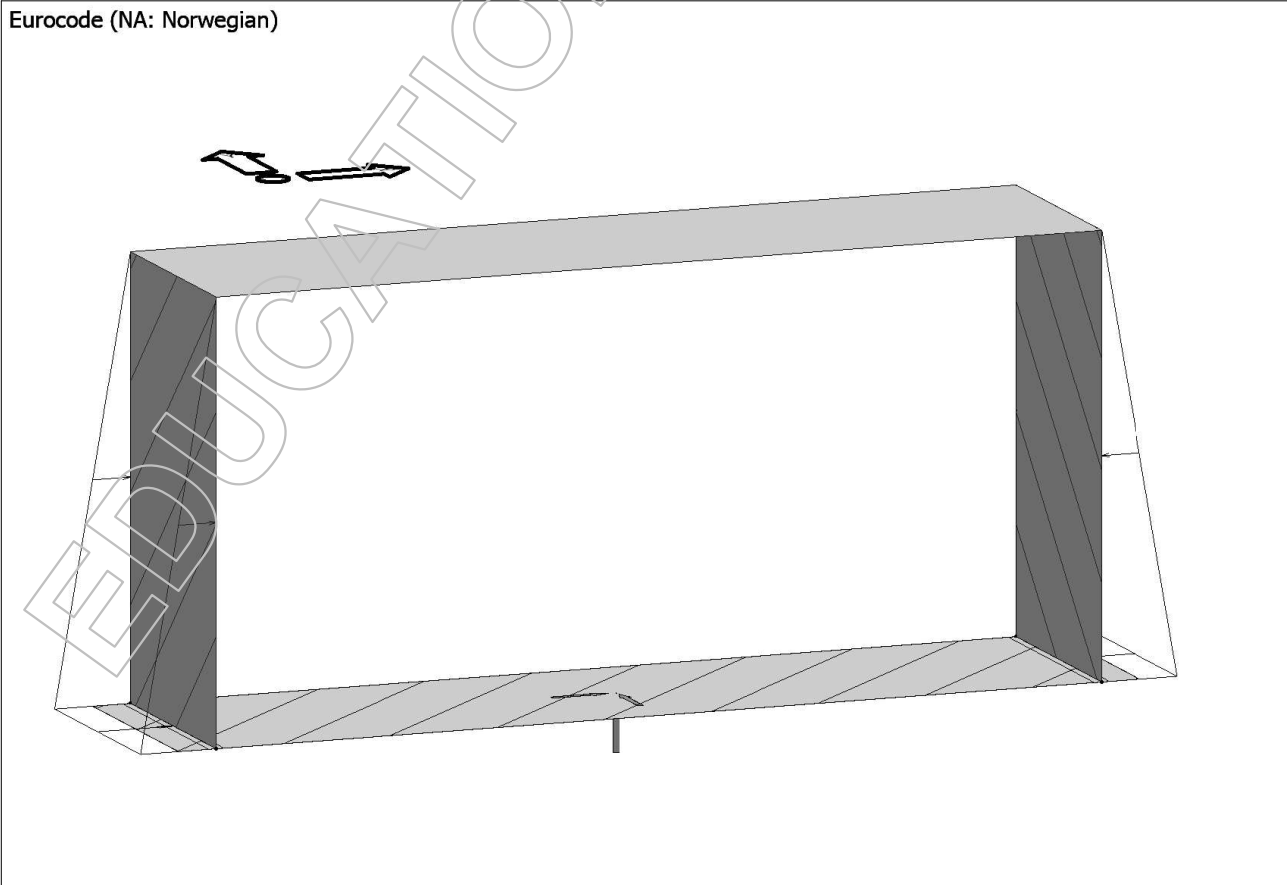
3.6.2 Jordlast Horisontal

Eurocode (NA: Norwegian)



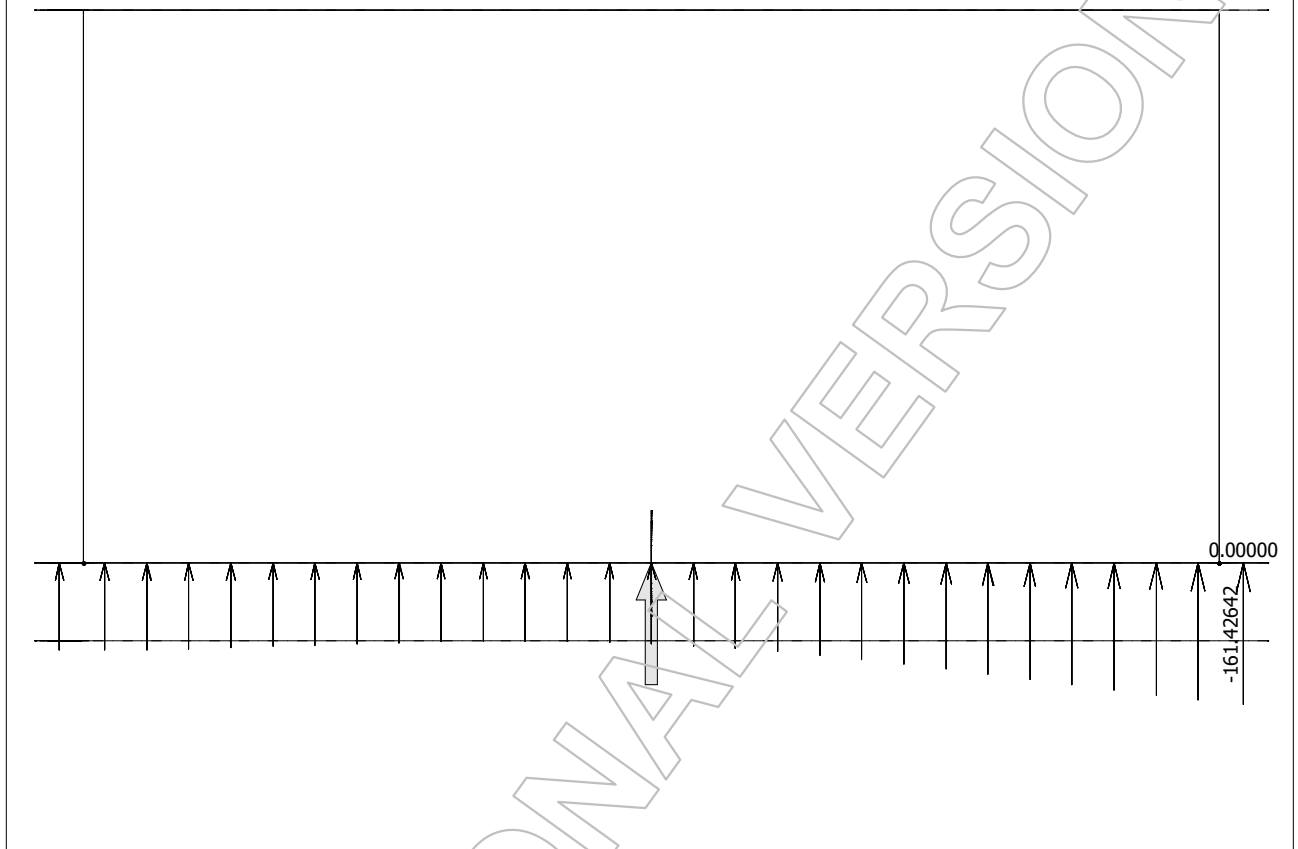
3.7 Vanntrykk

Eurocode (NA: Norwegian)



## 4 Opplagerkrefter

Eurocode (NA: Norwegian) code: 1st order theory - Load combinations - Lastkombinasjon 1 - Reactions -  
[kN, kNm, kN/m, kNm/m, kN/m<sup>2</sup>]



### 4.1 Bruddgrensetilstand

Surface support, Resultants, Load comb.: Lastkombinasjon 1

ID	Fx'	Fy'	Fz'	Mx'	My'	Mz'
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
S.1	-0.000	0.000	-4161.718	0.218	2532.818	0.000

Surface support, Resultants, Load comb.: Lastkombinasjon 2

ID	Fx'	Fy'	Fz'	Mx'	My'	Mz'
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
S.1	-0.000	0.000	-4029.097	0.311	3618.157	0.000

Surface support, Resultants, Load comb.: Lastkombinasjon 3

ID	Fx'	Fy'	Fz'	Mx'	My'	Mz'
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
S.1	-0.000	0.000	-3862.790	0.218	2532.797	0.000

Surface support, Resultants, Load comb.: Lastkombinasjon 4

ID	Fx'	Fy'	Fz'	Mx'	My'	Mz'
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
S.1	-0.000	0.000	-3786.022	0.218	2532.788	0.000

#### 4.2 Bruksgrensetilstand

Surface support, Resultants, Load comb.: Lastkombinasjon 5

ID	Fx'	Fy'	Fz'	Mx'	My'	Mz'
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
S.1	-0.000	0.000	-3262.810	0.231	2680.138	0.000

Surface support, Resultants, Load comb.: Lastkombinasjon 6

ID	Fx'	Fy'	Fz'	Mx'	My'	Mz'
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
S.1	-0.000	0.000	-3139.619	0.161	1876.168	0.000

Surface support, Resultants, Load comb.: Lastkombinasjon 7

ID	Fx'	Fy'	Fz'	Mx'	My'	Mz'
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
S.1	-0.000	0.000	-3082.754	0.161	1876.161	0.000

## 5 Lastkombinasjoner

Load combinations

No.	Name	Type	Factor	Load cases			
1	Lastkombinasjo...	Ultimate	1.350	Egenvekt betong (+Struc. dead load)			
			1.350	Jordtrykk Vertikal			
			1.100	Jordtrykk Horisontal			
			1.000	Vanntrykk			
			1.350	Innhengt			
			0.945	Aksellast			
			0.945	Trafikklast Vertikal			
			0.945	Trafikklast Horisontal			
			2	Lastkombinasjo...	Ultimate	1.202	Egenvekt betong (+Struc. dead load)
						1.202	Jordtrykk Vertikal
1.100	Jordtrykk Horisontal						
1.000	Vanntrykk						
1.202	Innhengt						
1.350	Aksellast						
0.945	Trafikklast Vertikal						
0.945	Trafikklast Horisontal						
3	Lastkombinasjo...	Ultimate				1.202	Egenvekt betong (+Struc. dead load)
						1.202	Jordtrykk Vertikal
			1.100	Jordtrykk Horisontal			
			1.000	Vanntrykk			
			1.202	Innhengt			
			0.945	Aksellast			
			1.350	Trafikklast Vertikal			
			0.945	Trafikklast Horisontal			
			4	Lastkombinasjo...	Ultimate	1.202	Egenvekt betong (+Struc. dead load)
						1.202	Jordtrykk Vertikal
1.100	Jordtrykk Horisontal						
1.000	Vanntrykk						
1.202	Innhengt						
0.945	Aksellast						
0.945	Trafikklast Vertikal						
1.350	Trafikklast Horisontal						
5	Lastkombinasjo...	Characteristic				1.000	Egenvekt betong (+Struc. dead load)
						1.000	Jordtrykk Vertikal
			1.000	Jordtrykk Horisontal			
			1.000	Vanntrykk			
			1.000	Innhengt			
			1.000	Aksellast			
			0.700	Trafikklast Vertikal			
			0.700	Trafikklast Horisontal			
			6	Lastkombinasjo...	Characteristic	1.000	Egenvekt betong (+Struc. dead load)
						1.000	Jordtrykk Vertikal
1.000	Jordtrykk Horisontal						
1.000	Vanntrykk						
1.000	Innhengt						
0.700	Aksellast						
1.000	Trafikklast Vertikal						
0.700	Trafikklast Horisontal						
7	Lastkombinasjo...	Characteristic				1.000	Egenvekt betong (+Struc. dead load)
						1.000	Jordtrykk Vertikal

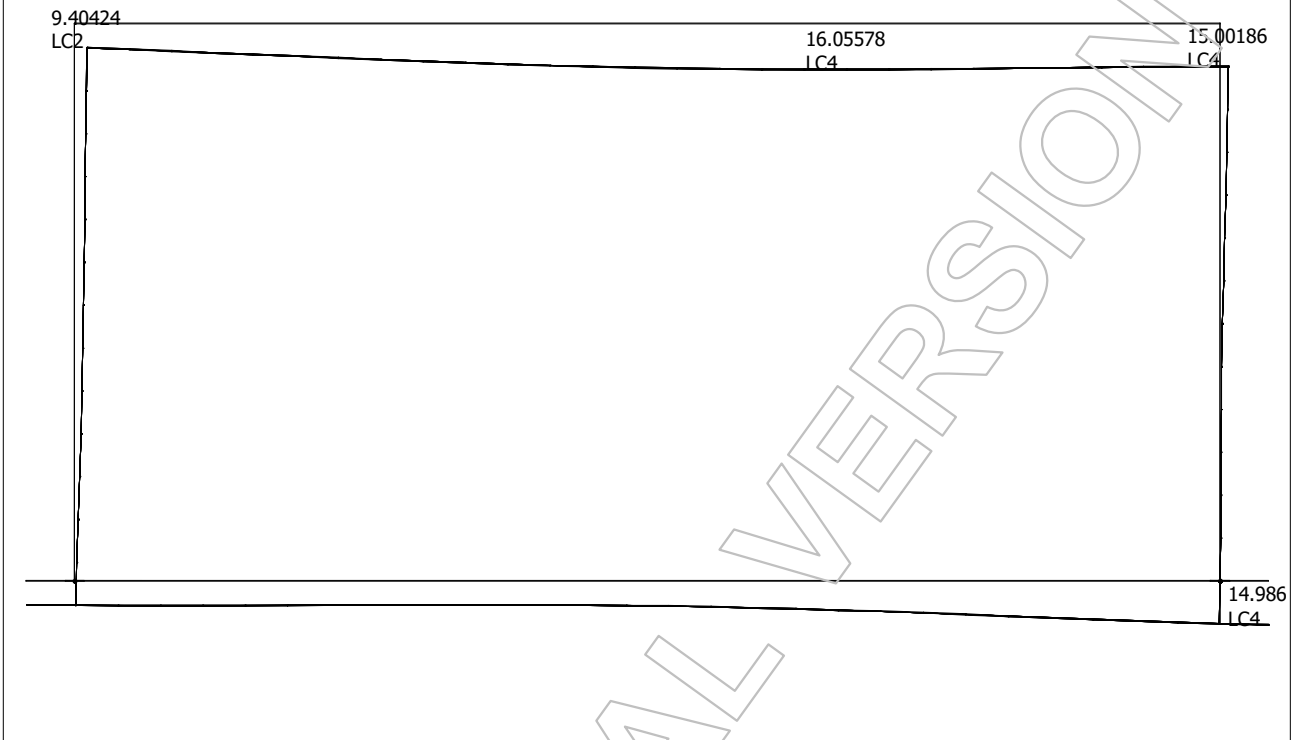
No.	Name	Type	Factor	Load cases
			1.000	Jordtrykk Horisontal
			1.000	Vanntrykk
			1.000	Innhengt
			0.700	Aksellast
			0.700	Trafikklast Vertikal
			1.000	Trafikklast Horisontal

EDUCATIONAL VERSION



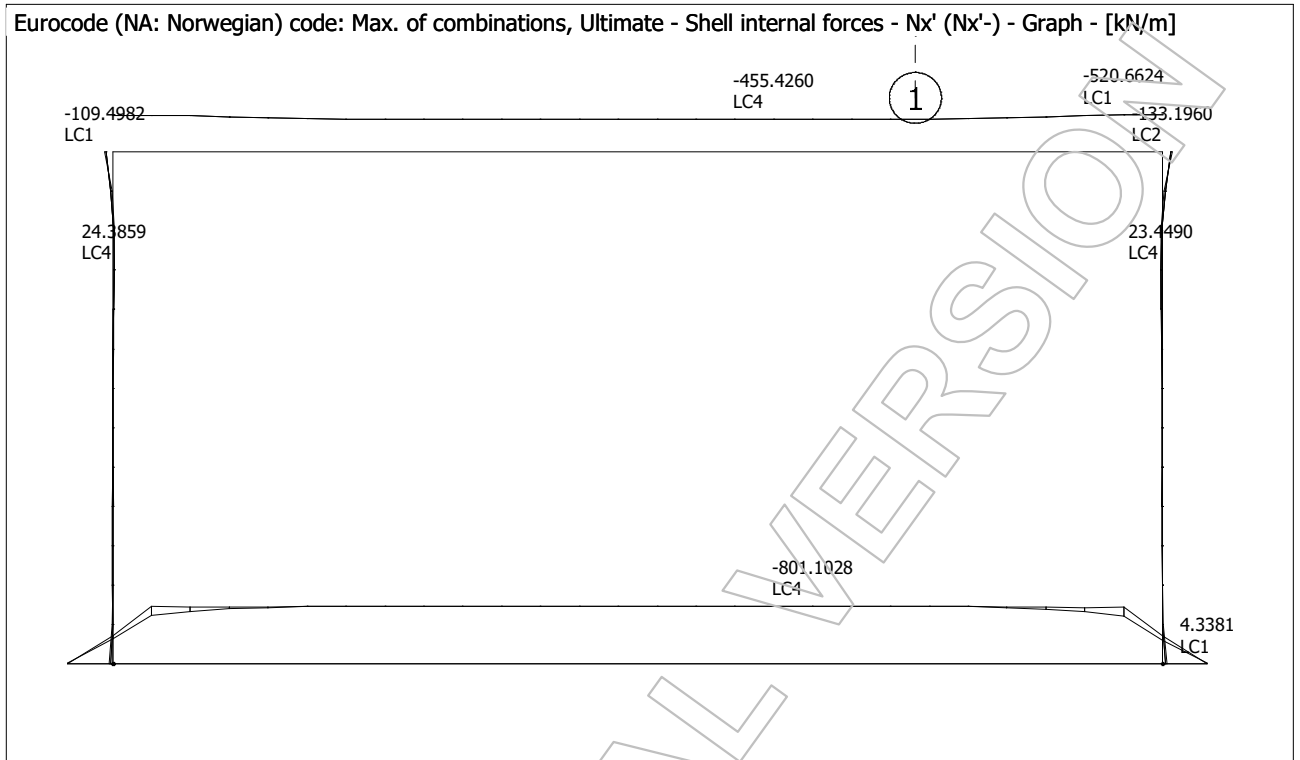
## 6 Deformasjoner

Eurocode (NA: Norwegian) code: Max. of combinations, Ultimate - Translational displacements - ez+ - Graph - [mm]

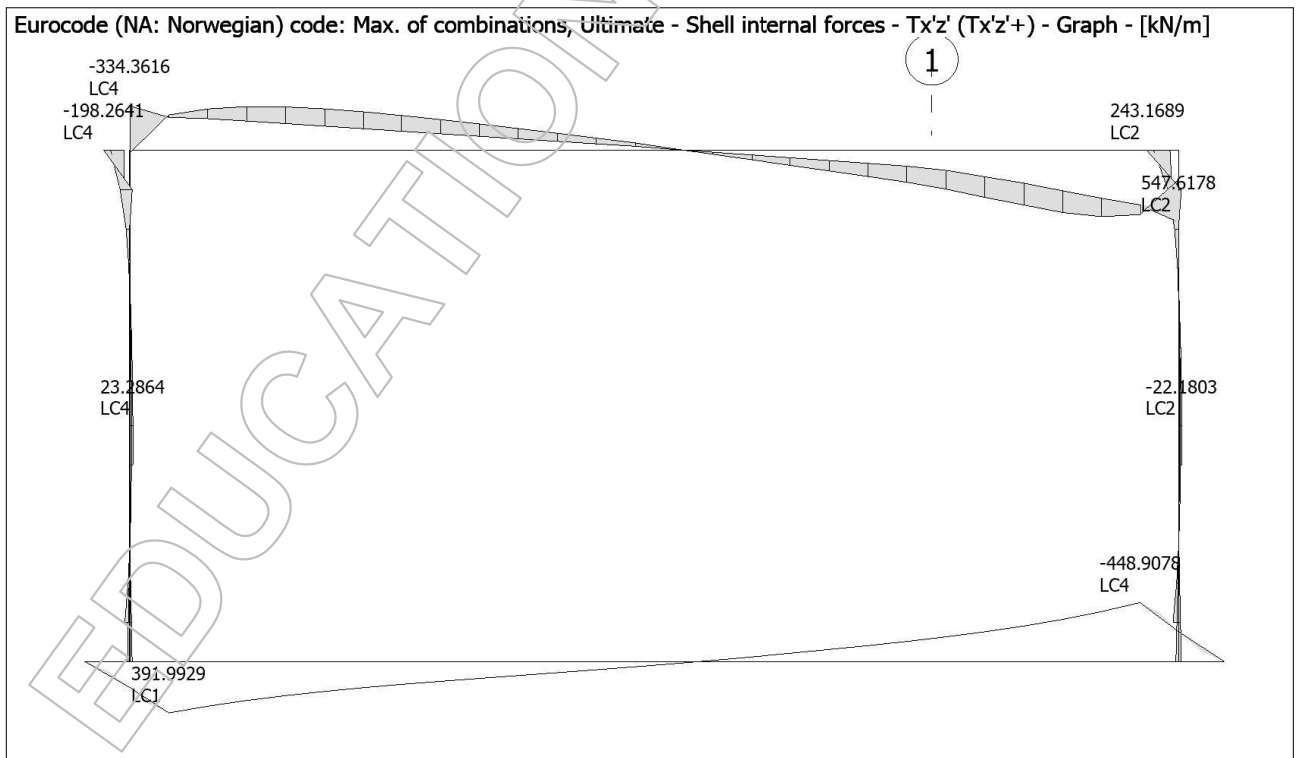


## 7 Diagrammer

### 7.1 Aksialkraftsdiagram

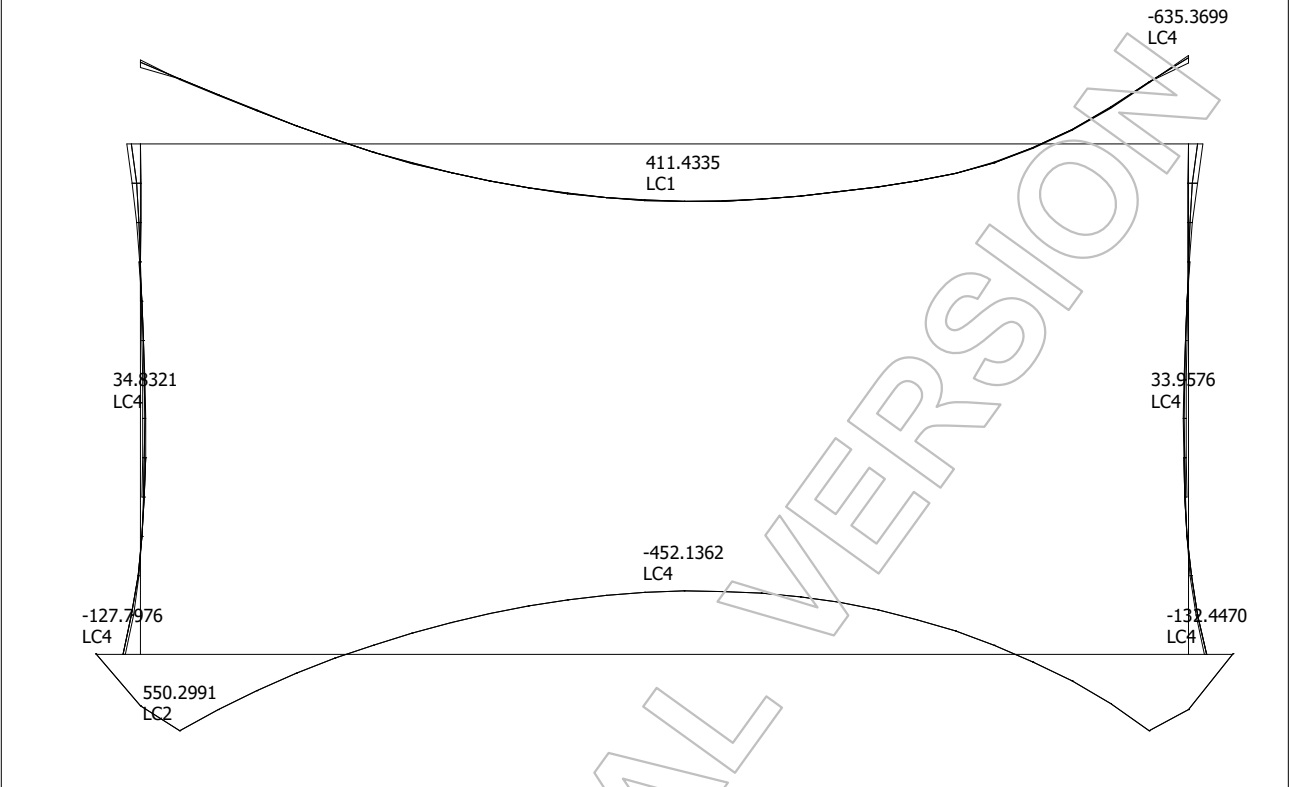


### 7.2 Skjærkraftsdiagram

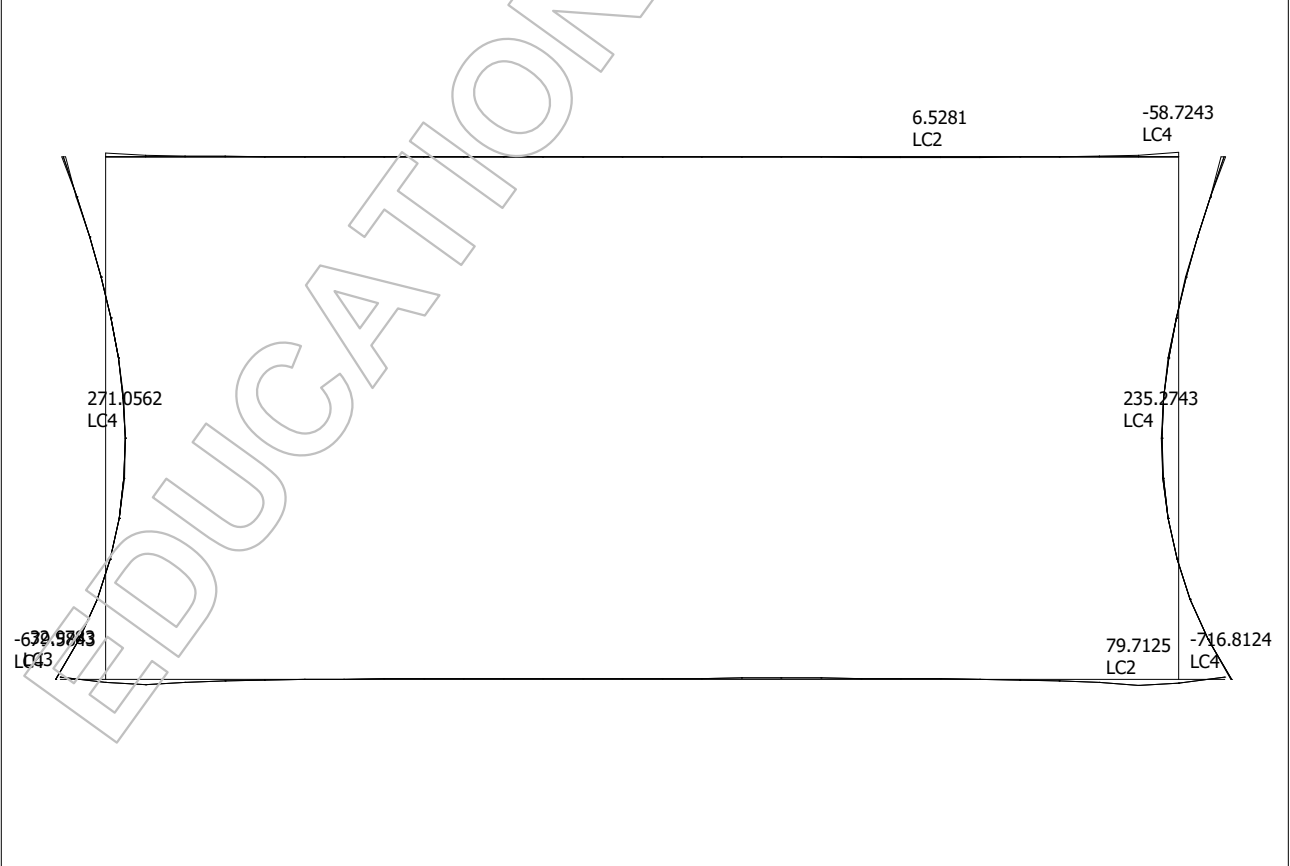


7.3 Momentdiagram

Eurocode (NA: Norwegian) code: Max. of combinations, Ultimate - Shell internal forces -  $M_x'$  ( $M_x'+$ ) - Graph - [kNm/m]



Eurocode (NA: Norwegian) code: Max. of combinations, Ultimate - Shell internal forces -  $M_y'$  ( $M_y'+$ ) - Graph - [kNm/m]



## 8 Armering

### 8.1 Armeringstype

Reinforcing steel materials

Name	fyk	Es	Epsilon uk	Epsilon ud	k
[-]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[-]	[-]	[-]
B500C	500	200000	0.0750	0.0300	1.15

### 8.2 Overdekning og tykkelse

Armeringens overdekning er forskjellig fra innsiden og utsiden av konstruksjonen grunnet ulike eksponeringsklasser. På utsiden av konstruksjonen har vi en  $C_{nom} = 35\text{mm}$ . Innsiden har en  $C_{nom} = 60\text{mm}$ . Diameteren vi har valgt på armeringen er 16mm. Programmet har en autofunksjon for beregning av armering og vil legge på tilleggsarmering utover den selv.

### 8.3 Utnyttelse

Max. of load combinations, Shell, Utilization

Shell	Max.	Combination	RBX	RBV	RTX	RTY	BU	CWB	CWT
[-]	[%]	[-]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
P.1.1	111	Lastkombi...	111	108	111	108	0	0	0
P.2.1	96	Lastkombi...	96	94	74	92	0	0	0
W.1.1	90	Lastkombi...	38	56	52	90	0	0	0
W.2.1	90	Lastkombi...	38	45	51	90	0	0	0

RBX - Armering i bunnen (x retning)

RBV - Armering i bunnen (y retning)

RTX - Armering i toppen (x retning)

RTY - Armering i toppen (y retning)

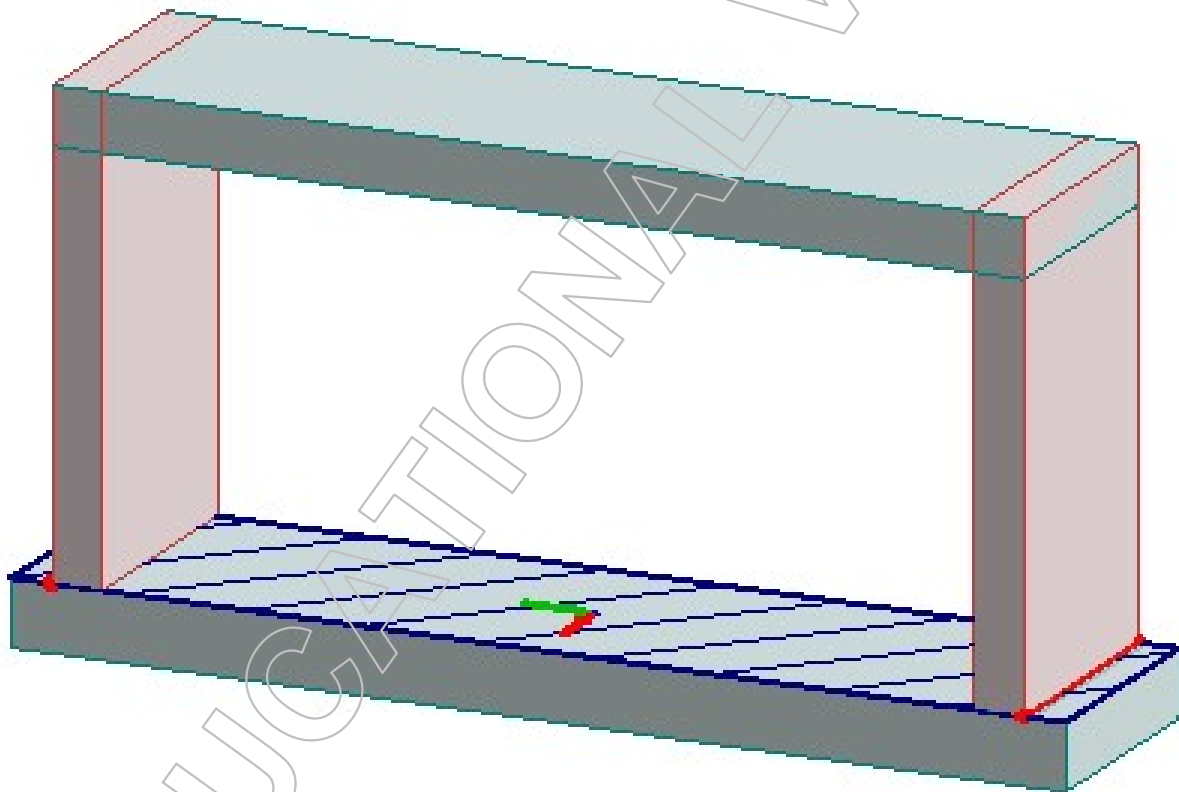
BU - Buckling

CWB - Riss i bunnen

CWT - Riss i toppen



## Beregningsrapport



Project:

**Betong Kulvert**

Customer:

**Statens Vegvesen**

Description:

**Jordstivhetstall: 10 000 MPa**

**FEM-Design © StruSoft**

Designed: Sofie Andersen, Thea V Skavhellen

Date: 29.04.2019

Page: 1 / 17

1 Innledning.....	3
2 Visualisering.....	4
2.1 3D-Modell.....	4
2.2 2D-Modell.....	4
3 Laster.....	6
3.1 Lastdata.....	6
3.2 Egenlast Betong.....	7
3.3 Aksellast.....	7
3.4 Trafikklast.....	8
3.4.1 Trafikklast Vertikal.....	8
3.4.2 Trafikklast Horisontal.....	8
3.5 Innhengt Last.....	9
3.6 Jordlast.....	9
3.6.1 Jordlast Vertikal.....	9
3.6.2 Jordlast Horisontal.....	10
3.7 Vanntrykk.....	10
4 Opplagerkrefter.....	11
4.1 Bruddgrensetilstand.....	11
4.2 Bruksgrensetilstand.....	12
5 Lastkombinasjoner.....	13
6 Deformasjoner.....	14
7 Diagrammer.....	15
7.1 Aksialkraftsdiagram.....	15
7.2 Skjærkraftsdiagram.....	15
7.3 Momentdiagram.....	15
8 Armering.....	17
8.1 Armeringstype.....	17
8.2 Overdekning og tykkelse.....	17
8.3 Utnyttelse.....	17

## 1 Innledning

Rapporten er et beregningsgrunnlag for beregninger gjort i programmet FEM-Design. Programmet er brukt for å fremstille visualiseringer av de ulike lastene som er påført, beregne moment-, skjær og aksiallastdiagram, samt beregning av armering. Resultater som er fremstilt i rapporten er grunnlag for håndberegninger vi har utført.

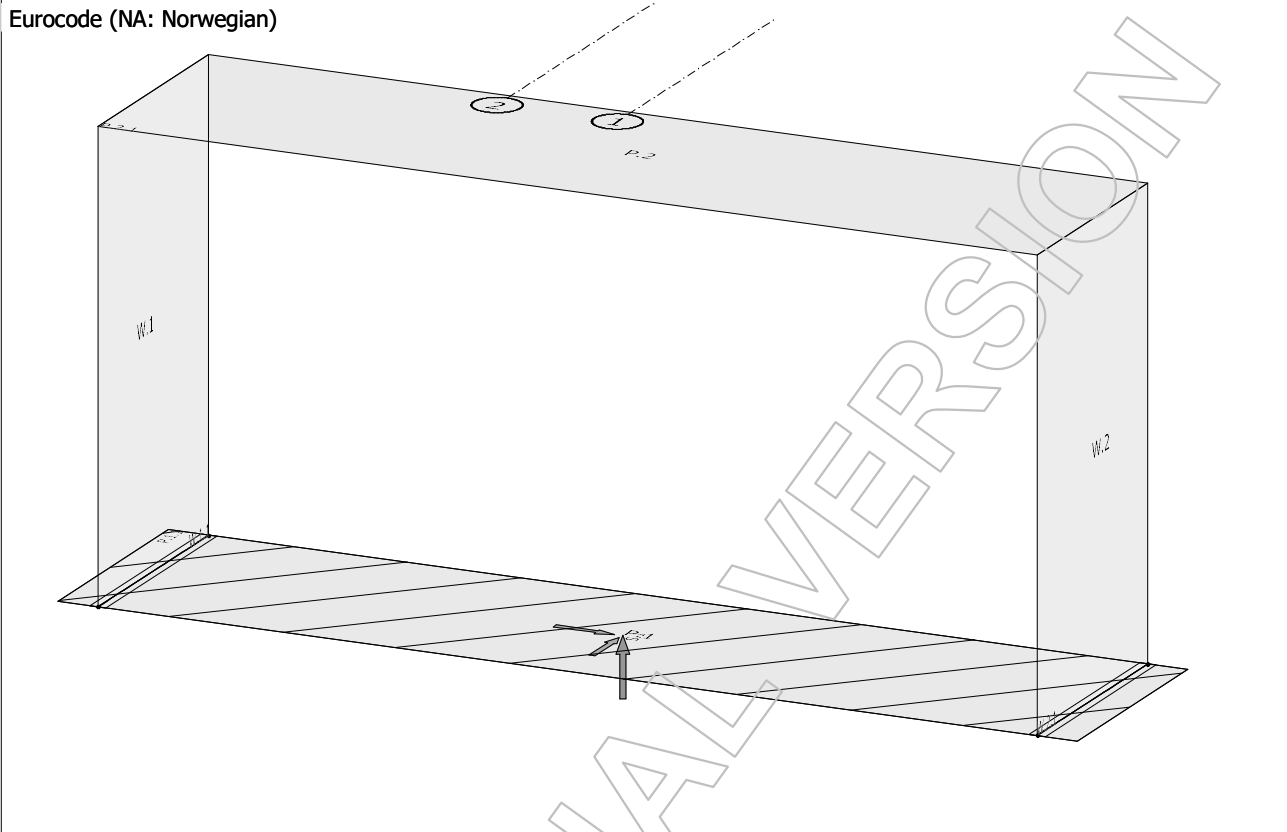
I dette tilfellet baserer lastkombinasjonene seg på Lastmodell 2, hvor aksellasten er plassert på midten av kulvertaket.

Fjærstivheten vi har brukt er  $10\,000\text{ kN/m}^2/\text{m}$

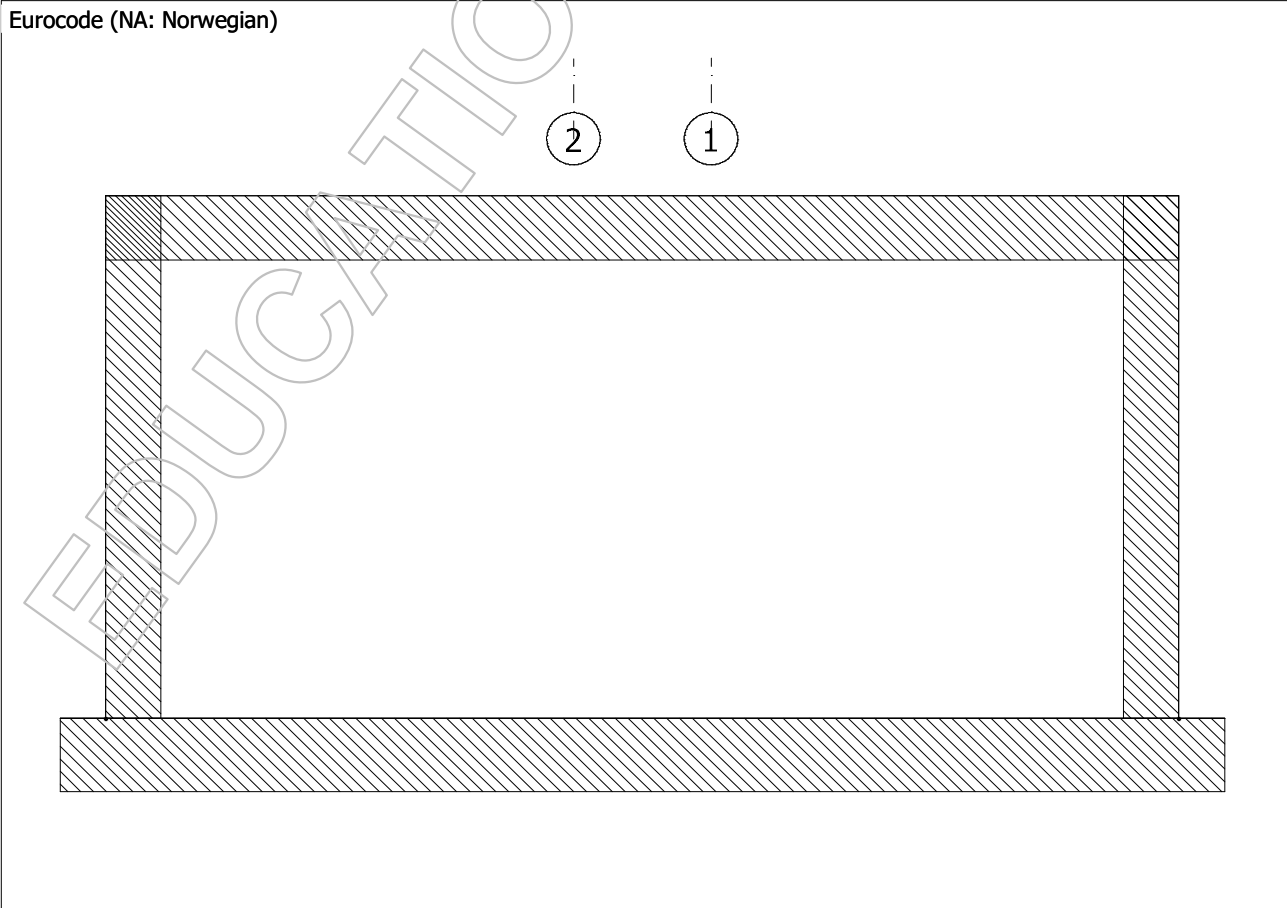
EDUCATIONAL VERSION

# 2 Visualisering

## 2.1 3D-Modell



## 2.2 2D-Modell





## Concrete materials

No.	Name	Fck	Fck,cube	Fctm	Fctk	Ecm
[-]	[-]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
1	C35/45	35.000	45.000	3.200	2.200	34000.000

Yield strain	Ultimate strain	Gamma c	Gamma c, Acc	Gamma cE	Gamma s	Gamma s, Acc	Alfa cc
[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
0.00175	0.00350	1.50	1.20	1.20	1.15	1.00	0.85

Alfa ct	Density	Therm. coeff.	Poisson's ratio	Creep coefficient, SLS
[-]	[t/m <sup>3</sup> ]	[1/°C]	[-]	[-]
0.85	2.548	0.000010	0.200	0.000

Creep coefficient, ULS	Shrinkage	Dyna r.	Stab r.
[-]	[-]	[-]	[-]
0.000	0.000	1.000	1.000

### 3 Laster

#### 3.1 Lastdata

##### Load cases

No.	Name	Type	Duration class
1	Egenvekt betong	+Struc. dead load	Permanent
2	Aksellast	Ordinary	Permanent
3	Jordtrykk Vertikal	Ordinary	Permanent
4	Jordtrykk Horisontal	Ordinary	Permanent
5	Vanntrykk	Ordinary	Permanent
6	Innhengt	Ordinary	Permanent

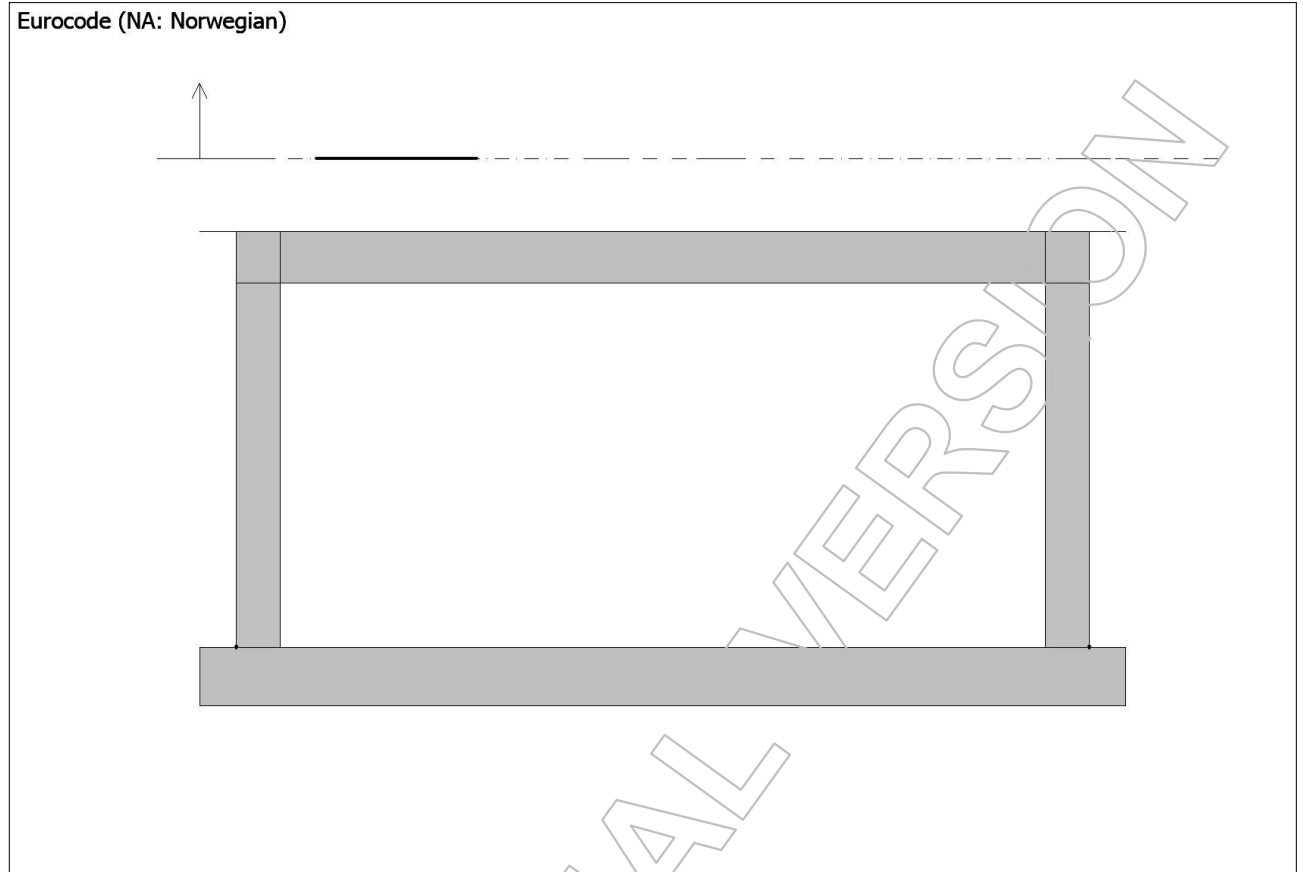
##### Line loads

No.	q1	q2	m1	m2	Load case	Comment	Intensity	Direction
[-]	[kN/m]	[kN/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[-]	[-]	[-]	[-]
1	3.000	3.000	0.000	0.000	Innhengt		Action	Constant

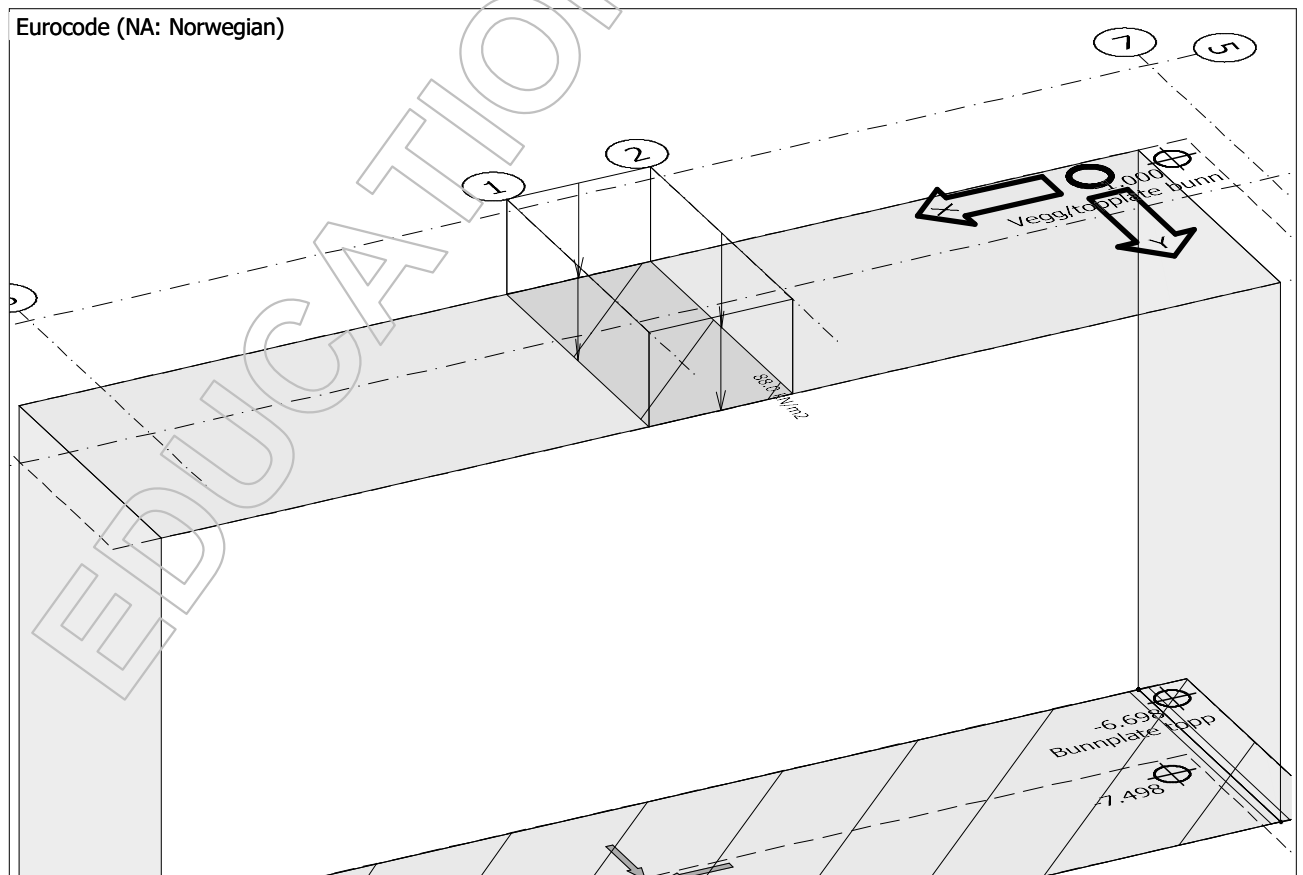
##### Surface loads (Ordinary)

No.	q1	q2	q3	Load case	Comment	Intensity
[-]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[-]	[-]	[-]
1	18.000	18.000	18.000	Jordtryk...		Action
2	88.000	88.000	88.000	Aksellast		Action

### 3.2 Egenlast Betong

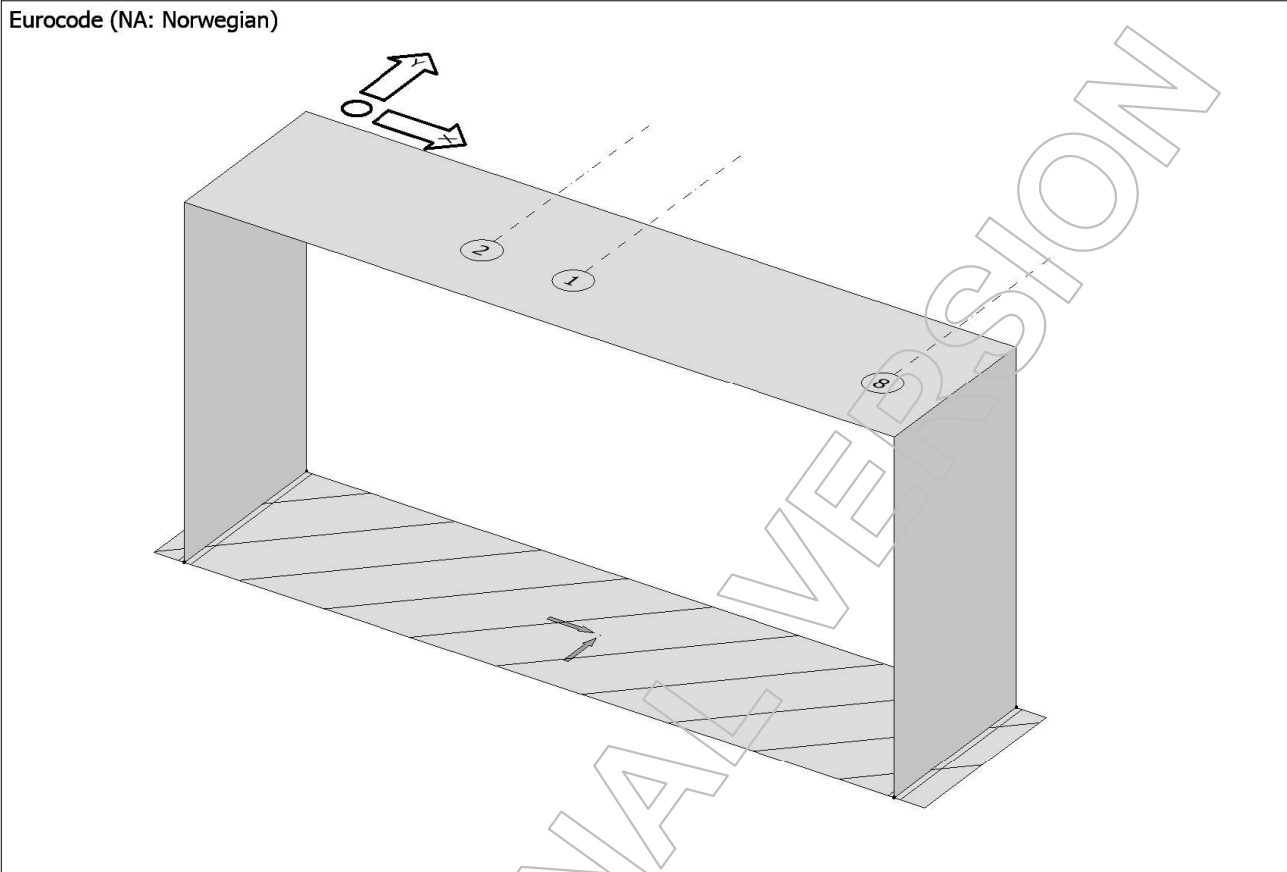


### 3.3 Aksellast

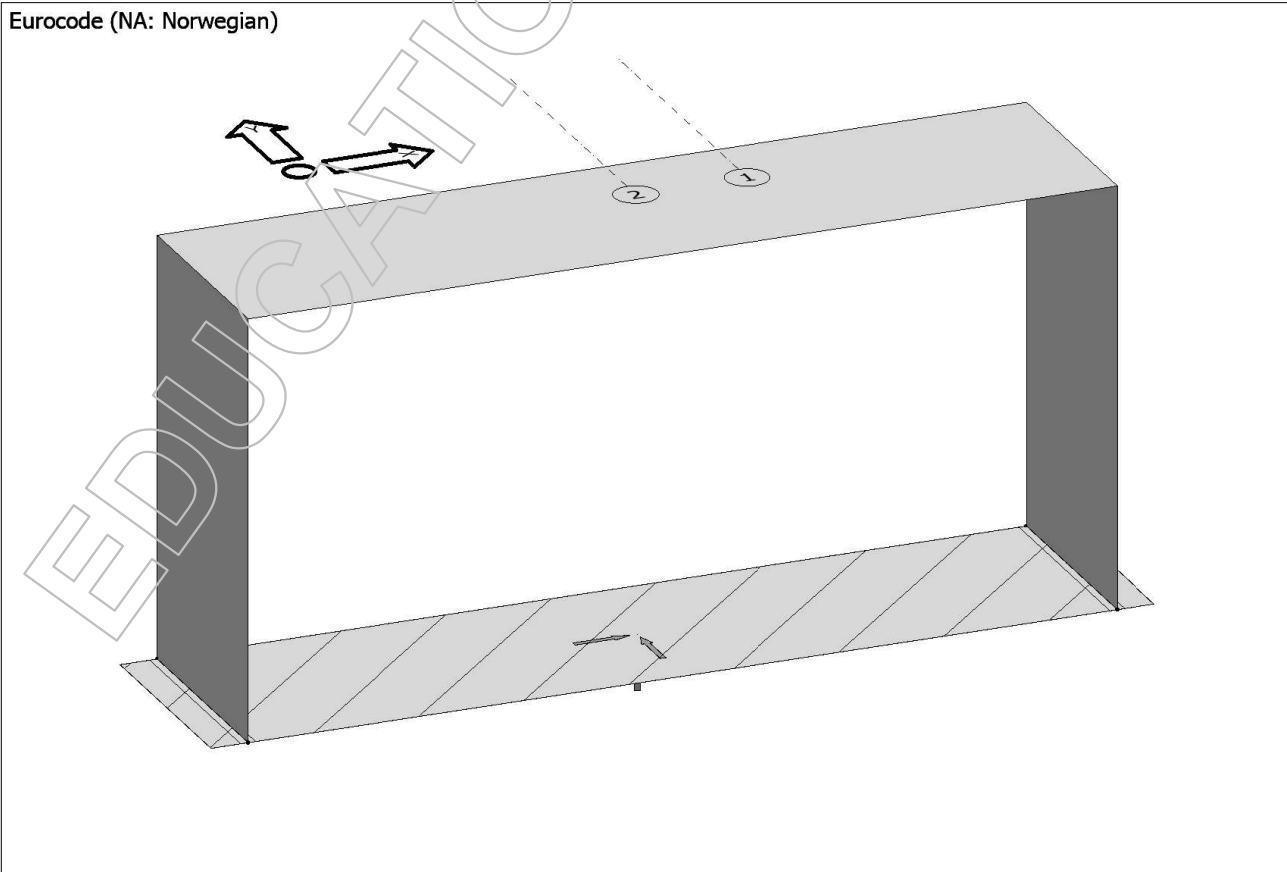


3.4 Trafikklast

3.4.1 Trafikklast Vertikal

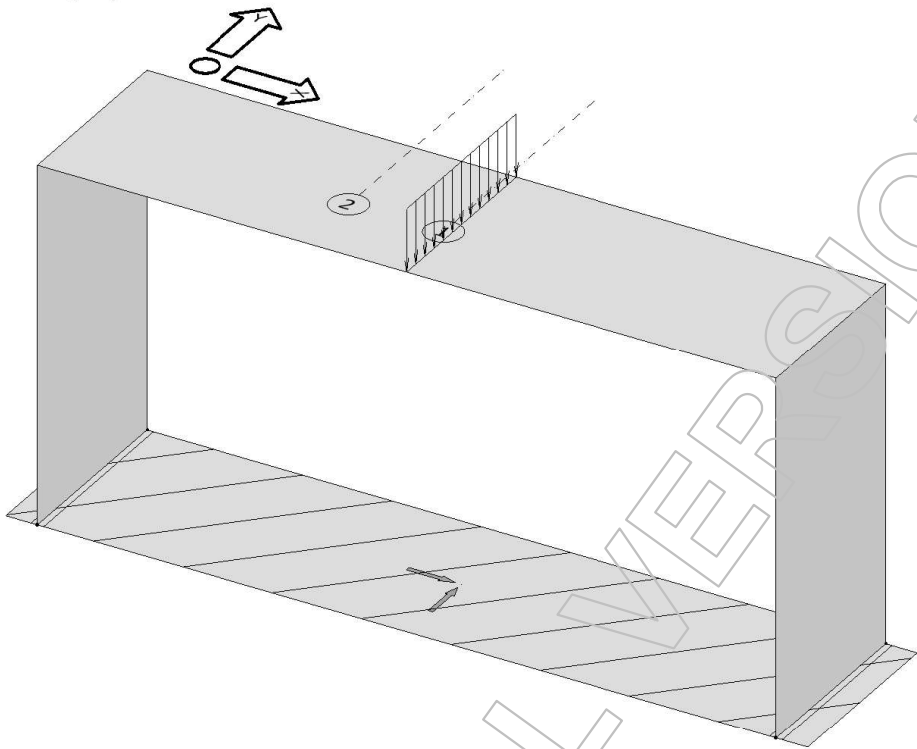


3.4.2 Trafikklast Horisontal



3.5 Innhengt Last

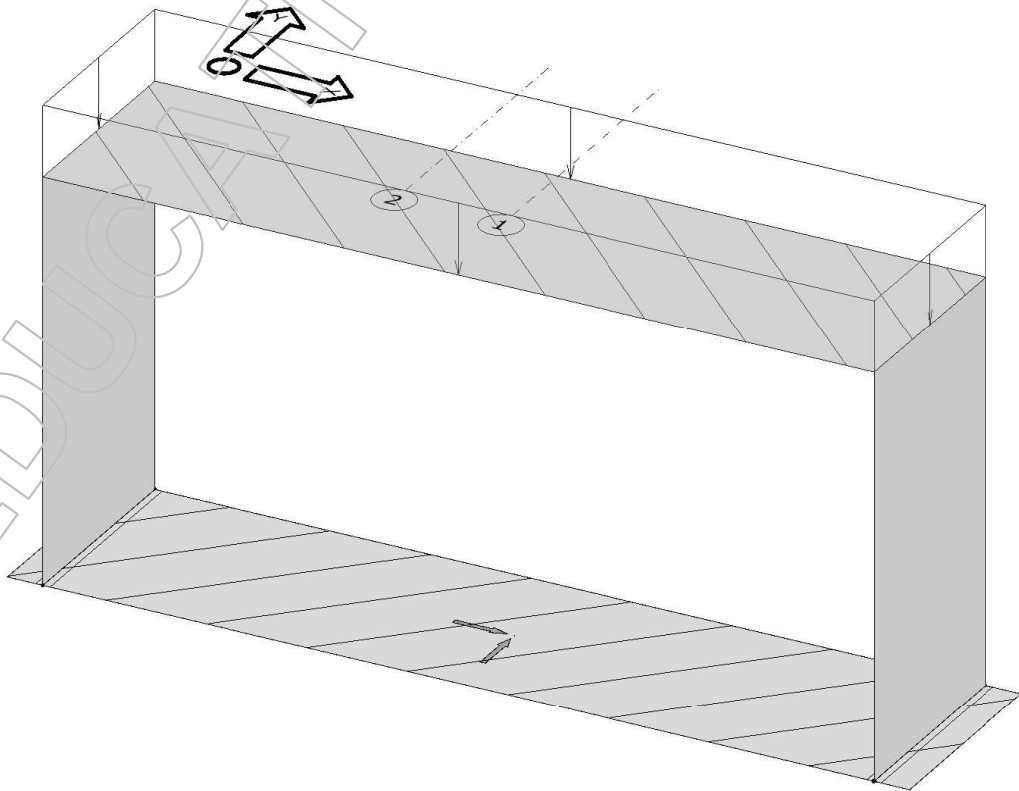
Eurocode (NA: Norwegian)



3.6 Jordlast

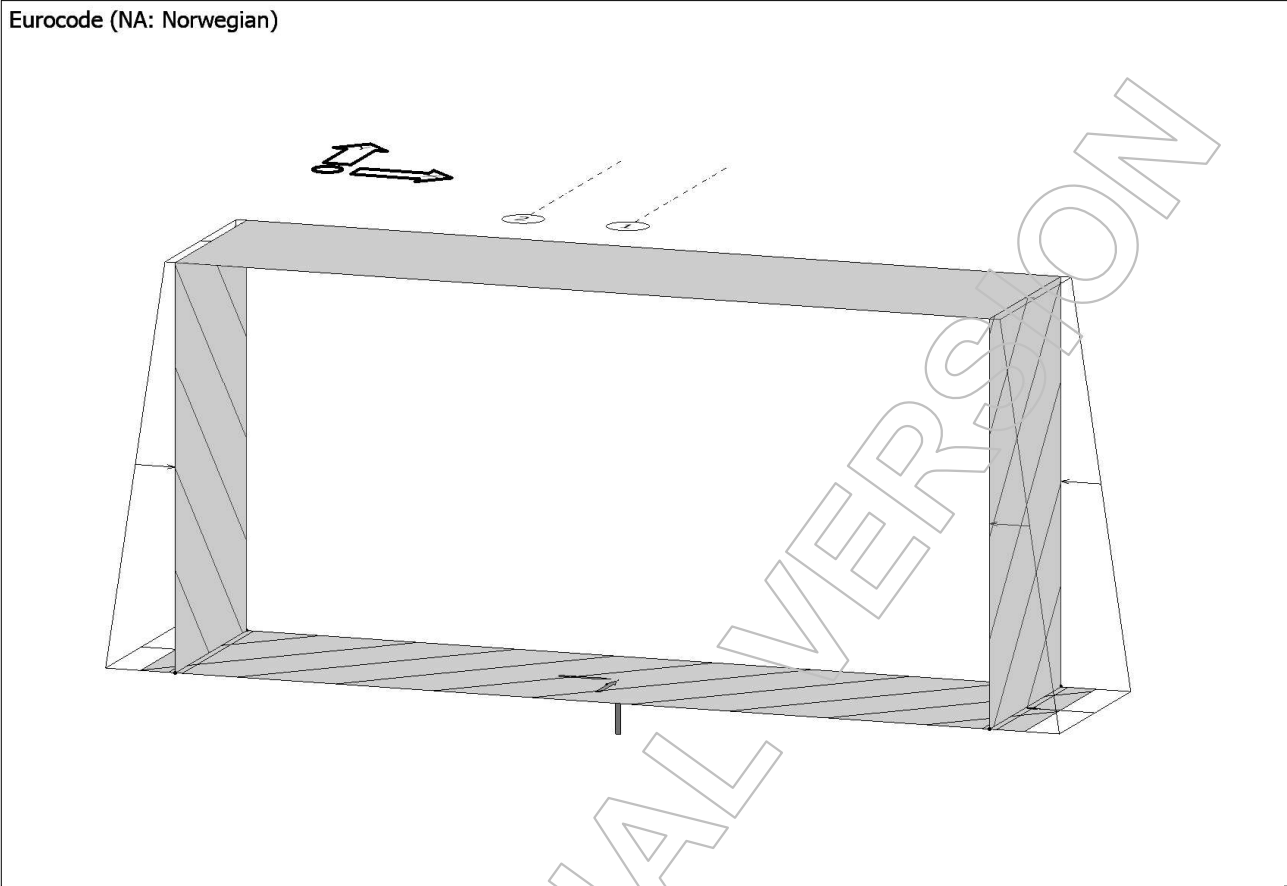
3.6.1 Jordlast Vertikal

Eurocode (NA: Norwegian)



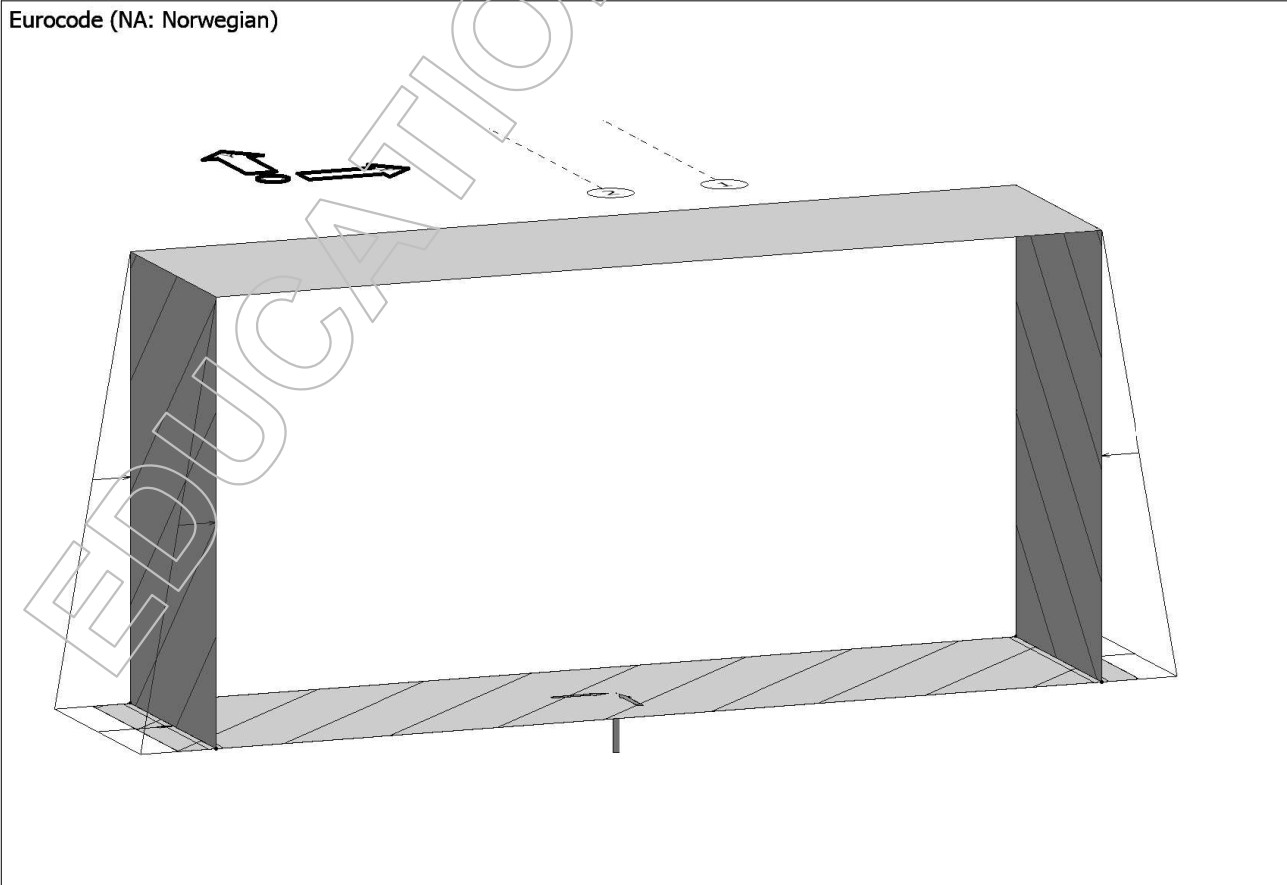
3.6.2 Jordlast Horisontal

Eurocode (NA: Norwegian)



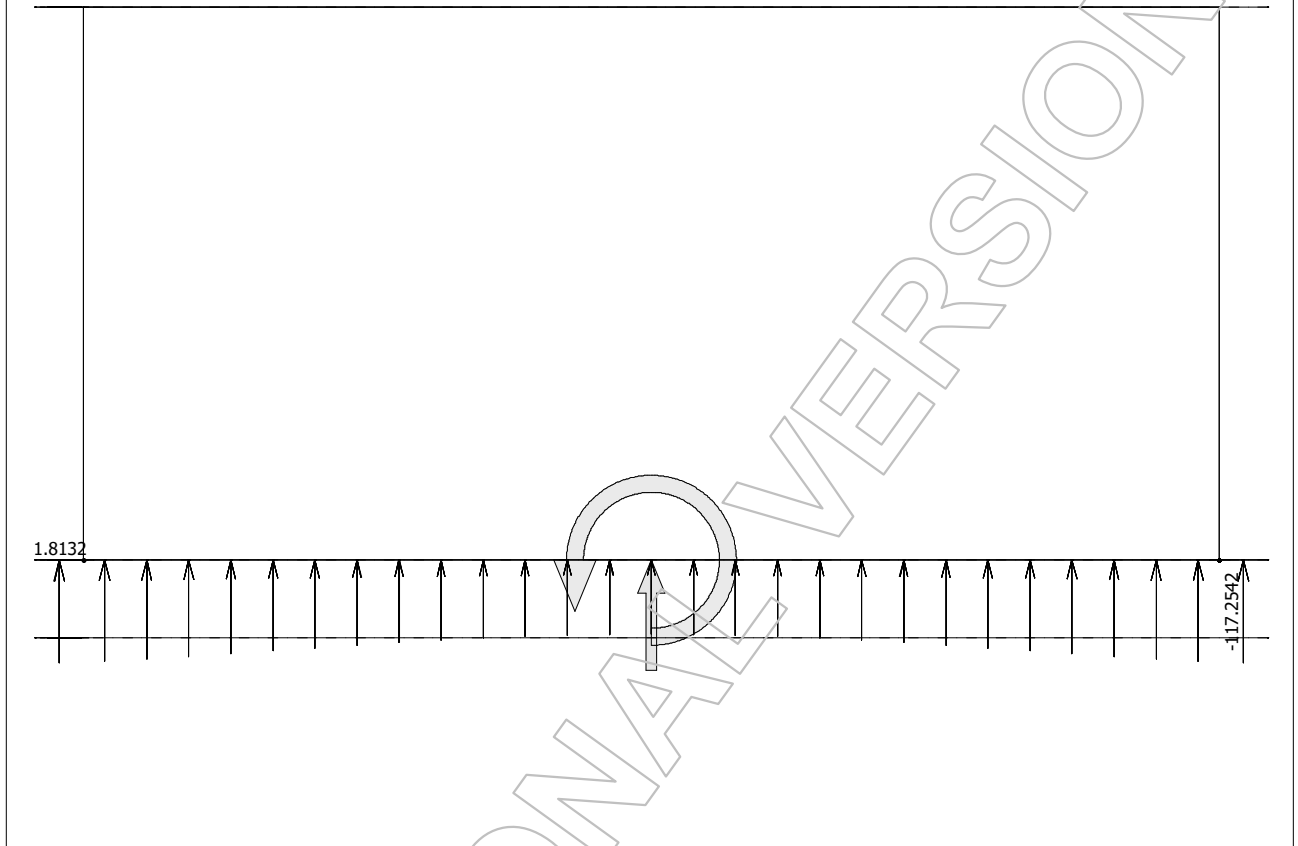
3.7 Vanntrykk

Eurocode (NA: Norwegian)



## 4 Opplagerkrefter

Eurocode (NA: Norwegian) code: 1st order theory - Load combinations - Lastkombinasjon 1 - Reactions -  
[kN, kNm, kN/m, kNm/m, kN/m<sup>2</sup>]



### 4.1 Bruddgrensetilstand

Surface support, Resultants, Load comb.: Lastkombinasjon 1

ID	Fx'	Fy'	Fz'	Mx'	My'	Mz'
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
S.1	0.000	0.000	-3789.679	0.000	0.350	0.000

Surface support, Resultants, Load comb.: Lastkombinasjon 2

ID	Fx'	Fy'	Fz'	Mx'	My'	Mz'
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
S.1	0.000	0.000	-3574.381	0.000	0.355	0.000

Surface support, Resultants, Load comb.: Lastkombinasjon 3

ID	Fx'	Fy'	Fz'	Mx'	My'	Mz'
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
S.1	0.000	0.000	-3413.983	0.000	0.321	0.000

Surface support, Resultants, Load comb.: Lastkombinasjon 4

ID	Fx'	Fy'	Fz'	Mx'	My'	Mz'
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
S.1	0.000	0.000	-3413.983	0.000	0.321	0.000

#### 4.2 Bruksgrensetilstand

Surface support, Resultants, Load comb.: Lastkombinasjon 5

ID	Fx'	Fy'	Fz'	Mx'	My'	Mz'
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
S.1	0.000	0.000	-2925.983	0.000	0.285	0.000

Surface support, Resultants, Load comb.: Lastkombinasjon 6

ID	Fx'	Fy'	Fz'	Mx'	My'	Mz'
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
S.1	0.000	0.000	-2807.170	0.000	0.259	0.000

Surface support, Resultants, Load comb.: Lastkombinasjon 7

ID	Fx'	Fy'	Fz'	Mx'	My'	Mz'
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
S.1	0.000	0.000	-2807.170	0.000	0.259	0.000



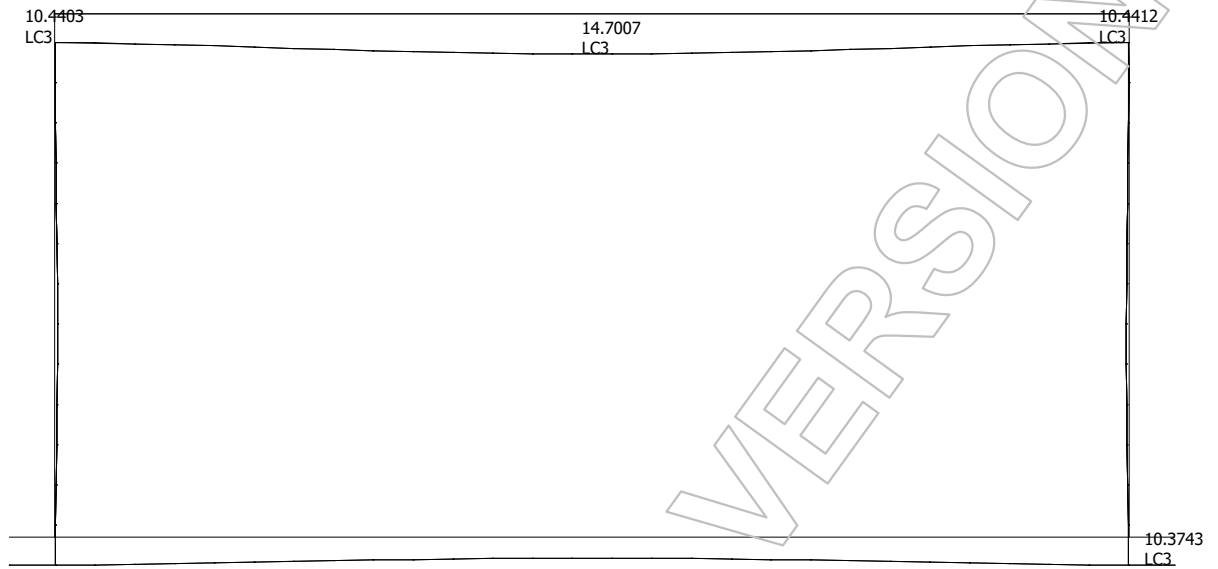
## 5 Lastkombinasjoner

Load combinations

No.	Name	Type	Factor	Load cases
1	Lastkombinasjo...	Ultimate	1.350	Egenvekt betong (+Struc. dead load)
			1.350	Jordtrykk Vertikal
			1.100	Jordtrykk Horisontal
			1.000	Vanntrykk
			1.350	Innhengt
			0.945	Aksellast
			1.202	Egenvekt betong (+Struc. dead load)
2	Lastkombinasjo...	Ultimate	1.202	Jordtrykk Vertikal
			1.100	Jordtrykk Horisontal
			1.000	Vanntrykk
			1.202	Innhengt
			1.350	Aksellast
			1.202	Egenvekt betong (+Struc. dead load)
			1.202	Jordtrykk Vertikal
3	Lastkombinasjo...	Ultimate	1.100	Jordtrykk Horisontal
			1.000	Vanntrykk
			1.202	Innhengt
			0.945	Aksellast
			1.202	Egenvekt betong (+Struc. dead load)
			1.202	Jordtrykk Vertikal
			1.100	Jordtrykk Horisontal
4	Lastkombinasjo...	Ultimate	1.202	Egenvekt betong (+Struc. dead load)
			1.202	Jordtrykk Vertikal
			1.100	Jordtrykk Horisontal
			1.000	Vanntrykk
			1.202	Innhengt
			0.945	Aksellast
			1.000	Egenvekt betong (+Struc. dead load)
5	Lastkombinasjo...	Characteristic	1.000	Jordtrykk Vertikal
			1.000	Jordtrykk Horisontal
			1.000	Vanntrykk
			1.000	Innhengt
			1.000	Aksellast
			1.000	Egenvekt betong (+Struc. dead load)
			1.000	Jordtrykk Vertikal
6	Lastkombinasjo...	Characteristic	1.000	Jordtrykk Horisontal
			1.000	Vanntrykk
			1.000	Innhengt
			0.700	Aksellast
			1.000	Egenvekt betong (+Struc. dead load)
			1.000	Jordtrykk Vertikal
			1.000	Jordtrykk Horisontal
7	Lastkombinasjo...	Characteristic	1.000	Vanntrykk
			1.000	Innhengt
			0.700	Aksellast
			1.000	Egenvekt betong (+Struc. dead load)
			1.000	Jordtrykk Vertikal
			1.000	Jordtrykk Horisontal
			1.000	Vanntrykk

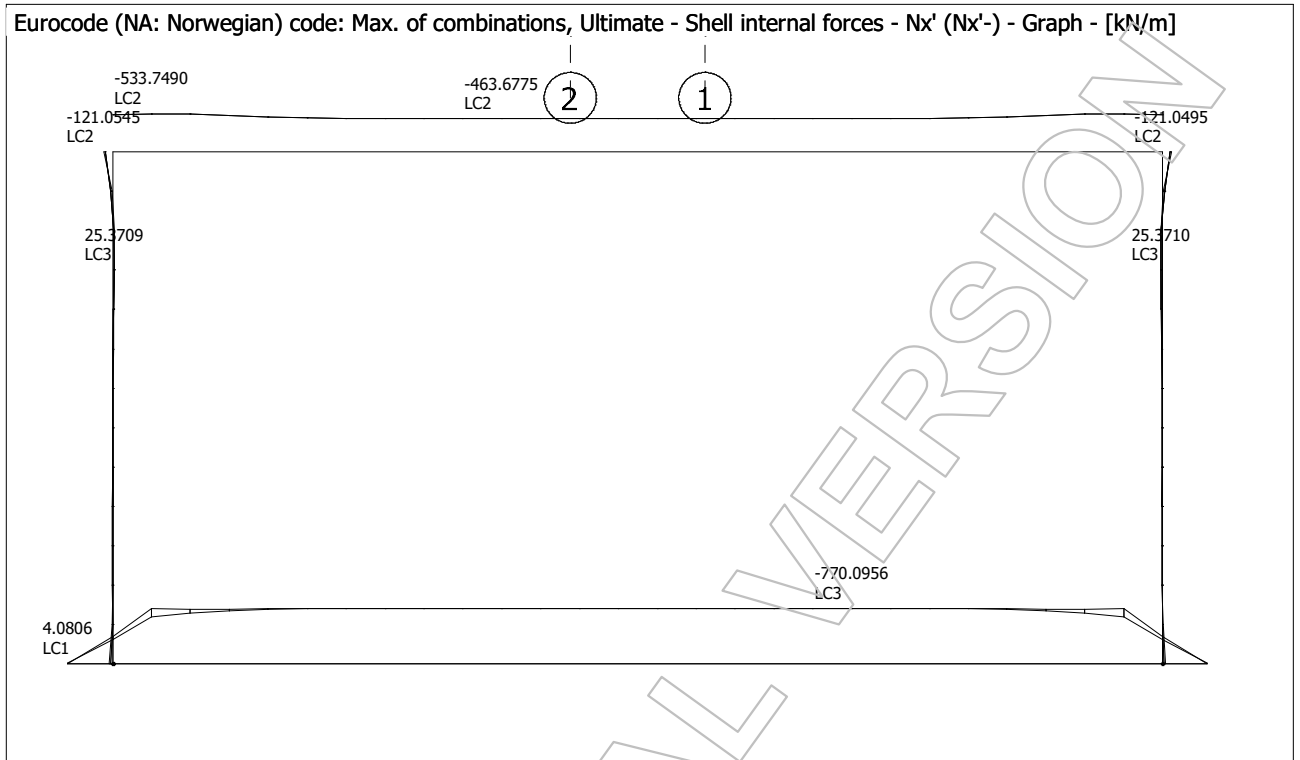
## 6 Deformasjoner

Eurocode (NA: Norwegian) code: Max. of combinations, Ultimate - Translational displacements - ez+ - Graph - [mm]

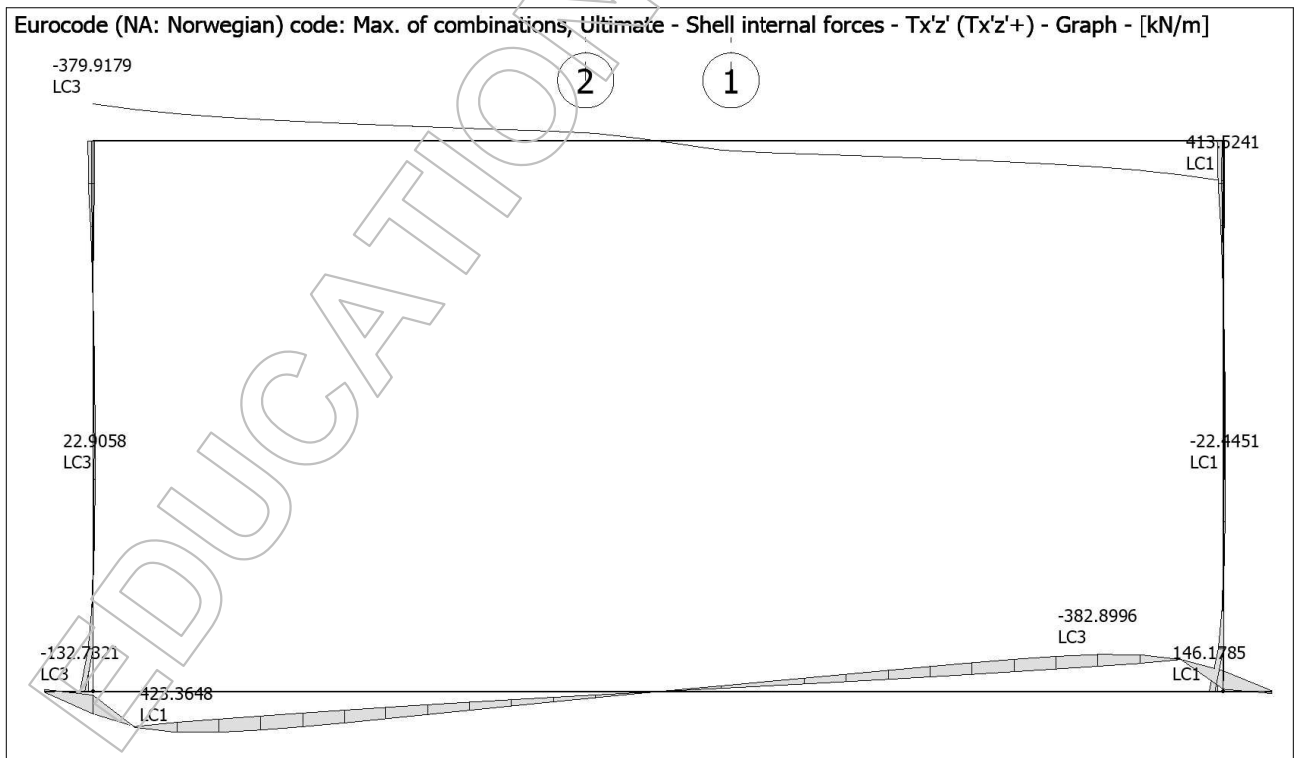


## 7 Diagrammer

### 7.1 Aksialkraftsdiagram

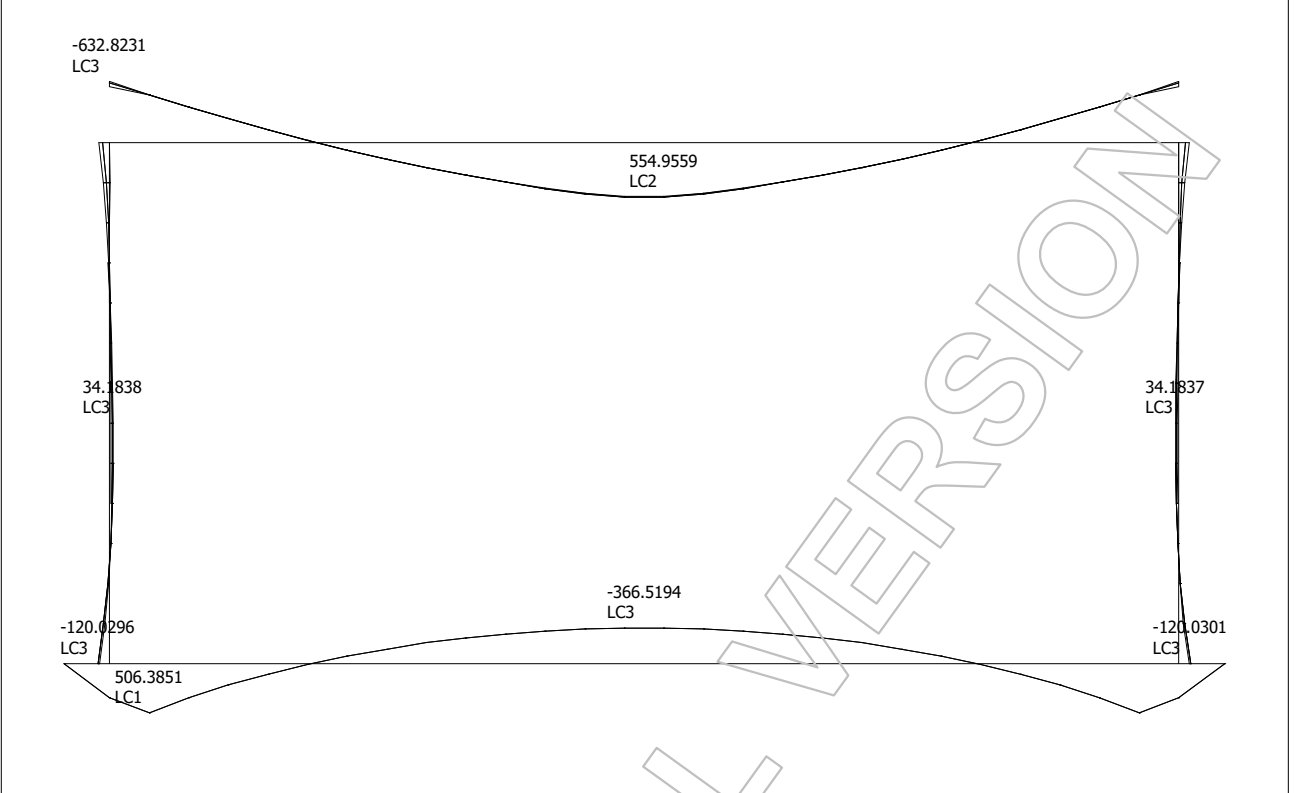


### 7.2 Skjærkraftsdiagram

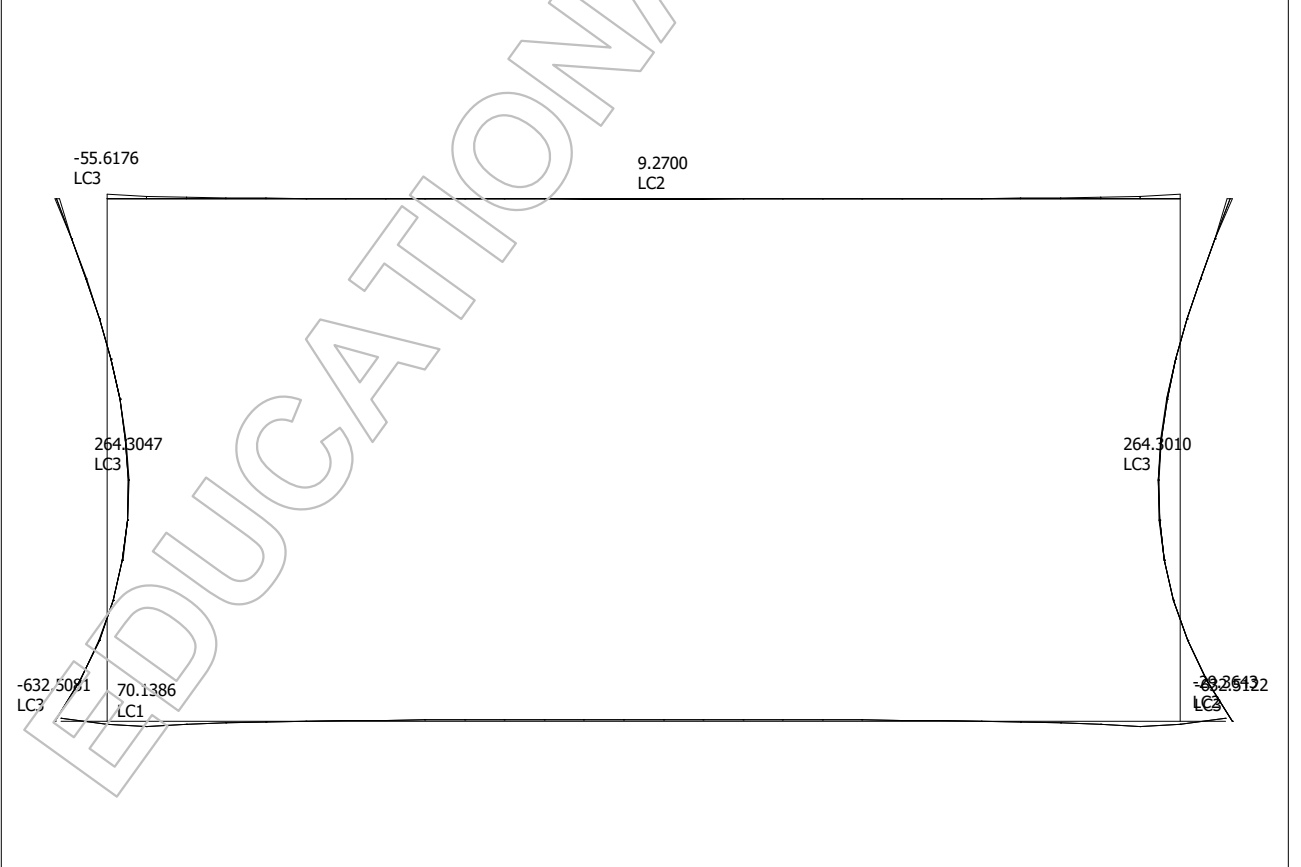


### 7.3 Momentdiagram

Eurocode (NA: Norwegian) code: Max. of combinations, Ultimate - Shell internal forces -  $M_x'$  ( $M_x'+$ ) - Graph - [kNm/m]



Eurocode (NA: Norwegian) code: Max. of combinations, Ultimate - Shell internal forces -  $M_y'$  ( $M_y'+$ ) - Graph - [kNm/m]



## 8 Armering

### 8.1 Armeringstype

Reinforcing steel materials

Name	fyk	Es	Epsilon uk	Epsilon ud	k
[-]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[-]	[-]	[-]
B500C	500	200000	0.0750	0.0300	1.15

### 8.2 Overdekning og tykkelse

Armeringens overdekning er forskjellig fra innsiden og utsiden av konstruksjonen grunnet ulike eksponeringsklasser. På utsiden av konstruksjonen har vi en  $C_{nom} = 35\text{mm}$ . Innsiden har en  $C_{nom} = 60\text{mm}$ . Diameteren vi har valgt på armeringen er 16mm. Programmet har en autofunksjon for beregning av armering og vil legge på tilleggsarmering utover den selv.

### 8.3 Utnyttelse

Max. of load combinations, Shell, Utilization

Shell	Max.	Combination	RBX	RBY	RTX	RTY	BU	CWB	CWT
[-]	[%]	[-]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
P.1.1	94	Lastkombin...	94	92	91	89	0	0	0
P.2.1	84	Lastkombin...	84	77	74	79	0	0	0
W.1.1	96	Lastkombin...	38	56	57	96	0	0	0
W.2.1	96	Lastkombin...	38	56	57	96	0	0	0

RBX - Armering i bunnen (x retning)

RBY - Armering i bunnen (y retning)

RTX - Armering i toppen (x retning)

RTY - Armering i toppen (y retning)

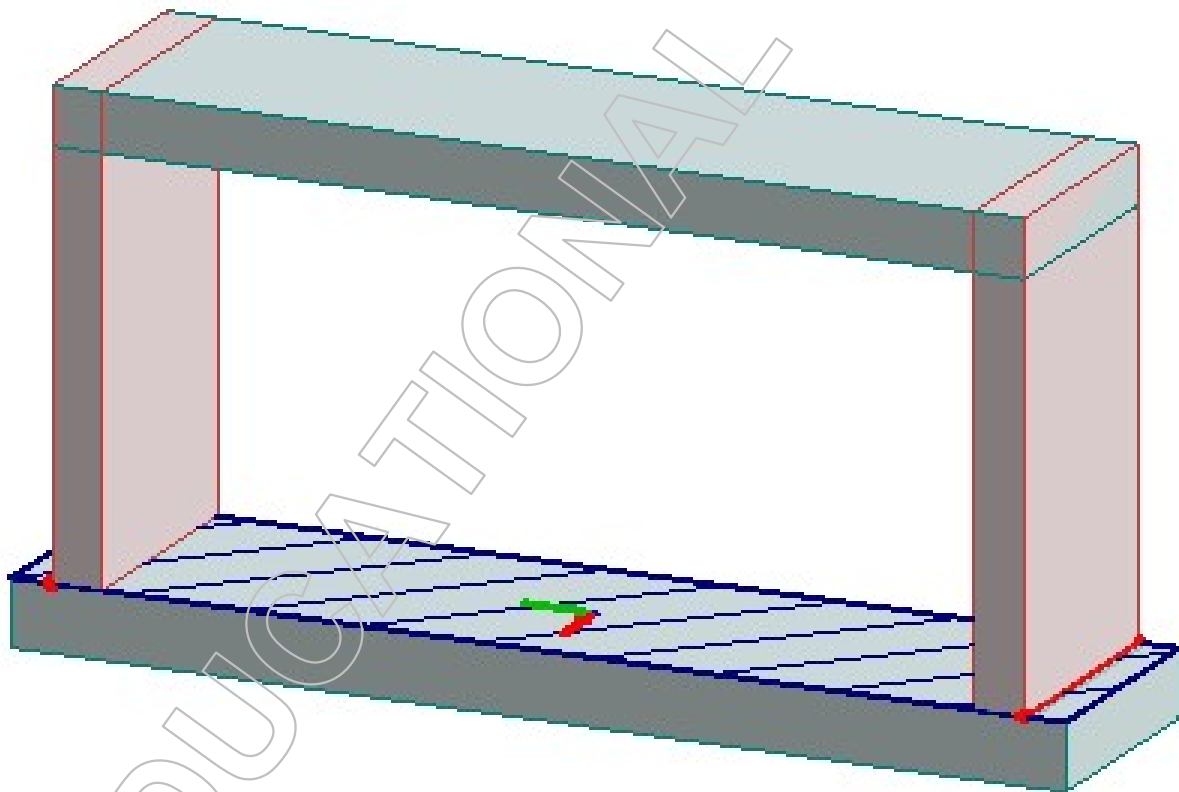
BU - Buckling

CWB - Riss i bunnen

CWT - Riss i toppen



## Beregningsrapport



Project:

**Betong Kulvert**

Customer:

**Statens Vegvesen**

Description:

**Jordstivhetstall: 4 000 MPa**

**FEM-Design © StruSoft**

Designed: Sofie Andersen, Thea V Skavhellen

Date: 29.04.2019

Page: 1 / 18

1 Innledning.....	3
2 Visualisering.....	4
2.1 3D-Modell.....	4
2.2 2D-Modell.....	4
3 Laster.....	6
3.1 Lastdata.....	6
3.2 Egenlast Betong.....	7
3.3 Aksellast.....	7
3.4 Trafikklast.....	8
3.4.1 Trafikklast Vertikal.....	8
3.4.2 Trafikklast Horisontal.....	8
3.5 Innhengt Last.....	9
3.6 Jordlast.....	9
3.6.1 Jordlast Vertikal.....	9
3.6.2 Jordlast Horisontal.....	10
3.7 Vanntrykk.....	10
4 Opplagerkrefter.....	11
4.1 Bruddgrensetilstand.....	11
4.2 Bruksgrensetilstand.....	12
5 Lastkombinasjoner.....	13
6 Deformasjoner.....	15
7 Diagrammer.....	16
7.1 Aksialkraftsdiagram.....	16
7.2 Skjærkraftsdiagram.....	16
7.3 Momentdiagram.....	16
8 Armering.....	18
8.1 Armeringstype.....	18
8.2 Overdekning og tykkelse.....	18
8.3 Utnyttelse.....	18

## 1 Innledning

Rapporten er et beregningsgrunnlag for beregninger gjort i programmet FEM-Design. Programmet er brukt for å fremstille visualiseringer av de ulike lastene som er påført, beregne moment-, skjær og aksiallastdiagram, samt beregning av armering. Resultater som er fremstilt i rapporten er grunnlag for håndberegninger vi har utført.

I dette tilfellet baserer lastkombinasjonene seg på Lastmodell 1, hvor aksellasten er plassert på midten av kulvertaket.

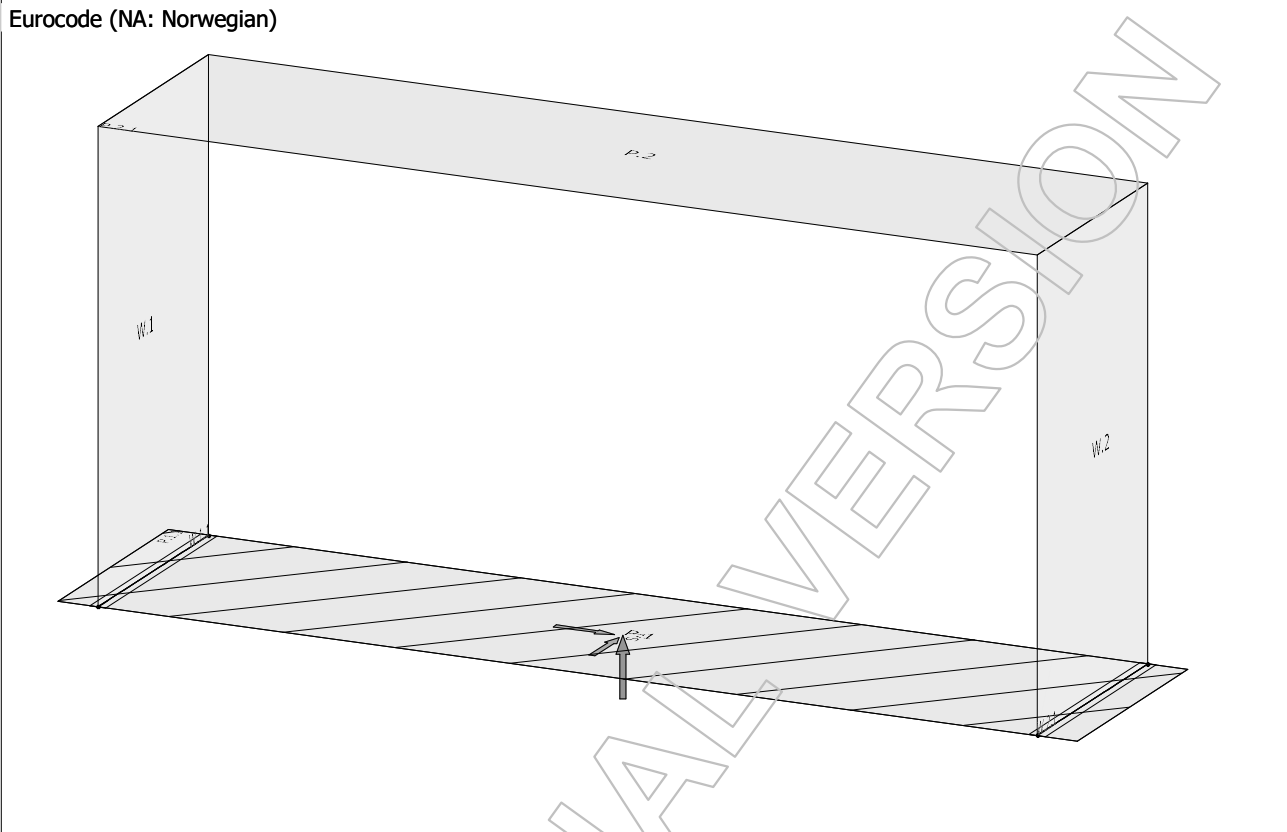
Fjærstivheten vi har brukt er  $4\,000\text{ kN/m}^2/\text{m}$

EDUCATIONAL VERSION

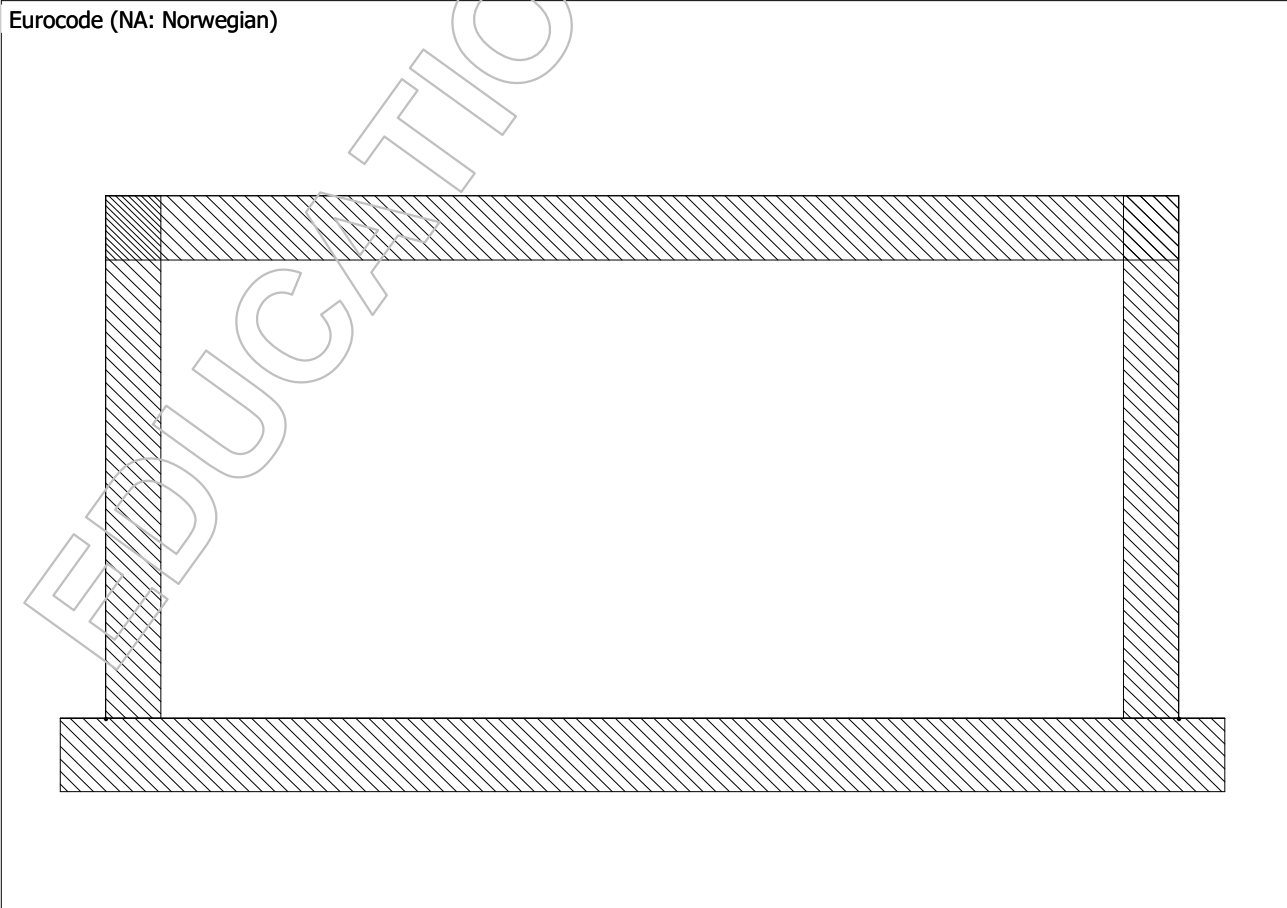


# 2 Visualisering

## 2.1 3D-Modell



## 2.2 2D-Modell



## Concrete materials

No.	Name	Fck	Fck,cube	Fctm	Fctk	Ecm
[-]	[-]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
1	C45/55	45.000	55.000	3.800	2.700	36000.000

Yield strain	Ultimate strain	Gamma c	Gamma c, Acc	Gamma cE	Gamma s	Gamma s, Acc	Alfa cc
[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
0.00175	0.00350	1.50	1.20	1.20	1.15	1.00	0.85

Alfa ct	Density	Therm. coeff.	Poisson's ratio	Creep coefficient, SLS
[-]	[t/m <sup>3</sup> ]	[1/°C]	[-]	[-]
0.85	2.548	0.000010	0.200	0.000

Creep coefficient, ULS	Shrinkage	Dyna r.	Stab r.
[-]	[-]	[-]	[-]
0.000	0.000	1.000	1.000

### 3 Laster

#### 3.1 Lastdata

##### Load cases

No.	Name	Type	Duration class
1	Egenvekt betong	+Struc. dead load	Permanent
2	Aksellast	Ordinary	Permanent
3	Trafikklast Vertikal	Ordinary	Permanent
4	Jordtrykk Vertikal	Ordinary	Permanent
5	Jordtrykk Horisontal	Ordinary	Permanent
6	Vanntrykk	Ordinary	Permanent
7	Trafikklast Horisontal	Ordinary	Permanent
8	Innhengt	Ordinary	Permanent

##### Line loads

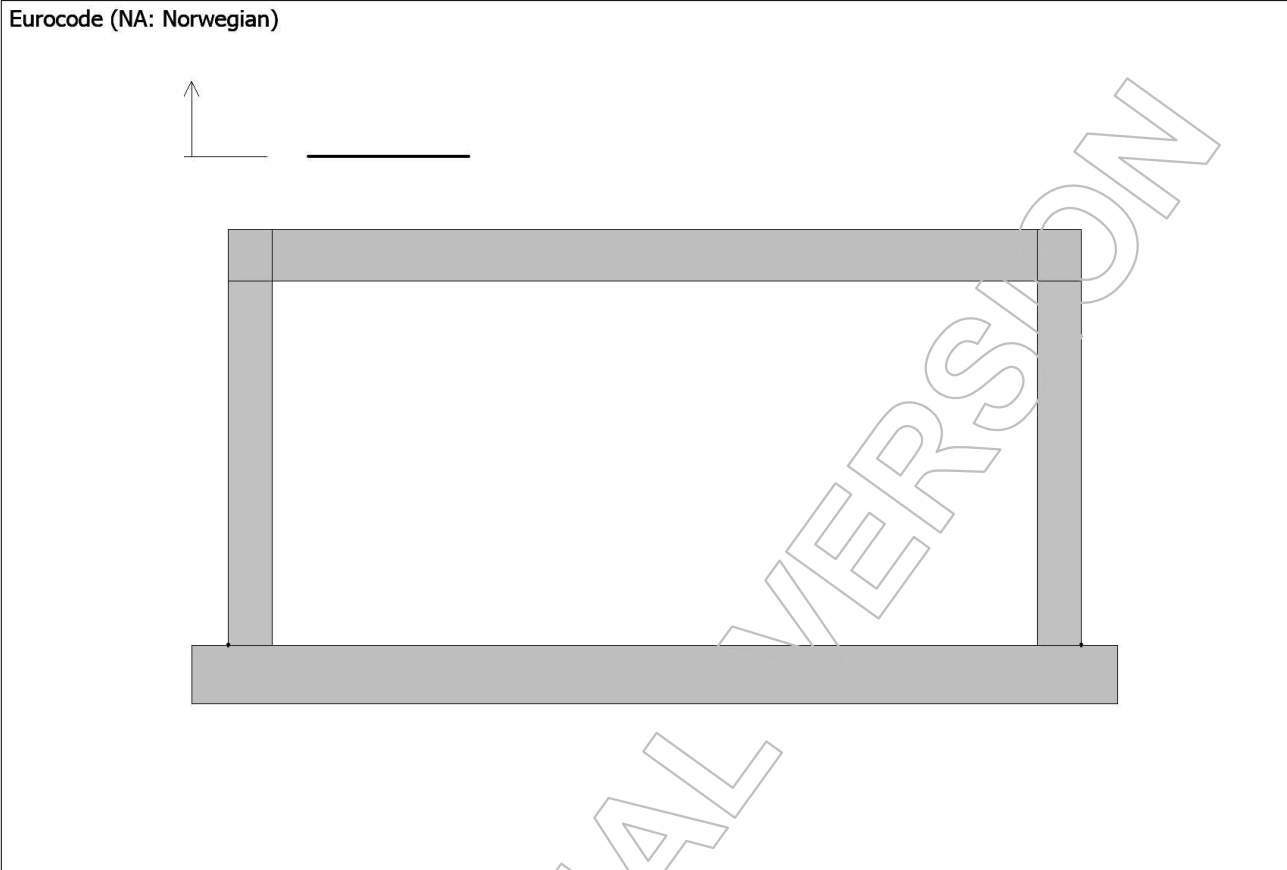
No.	q1	q2	m1	m2	Load case	Comment	Intensity	Direction
[-]	[kN/m]	[kN/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[-]	[-]	[-]	[-]
1	3.000	3.000	0.000	0.000	Innhengt		Action	Constant

##### Surface loads (Ordinary)

No.	q1	q2	q3	Load case	Comment	Intensity
[-]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[-]	[-]	[-]
1	85.300	85.300	85.300	Aksellast		Action
2	5.400	5.400	5.400	Trafikklast		Action
3	18.000	18.000	18.000	Jordtrykk		Action
4	3.150	3.150	3.150	Trafikklast		Action
5	3.150	3.150	3.150	Trafikklast		Action

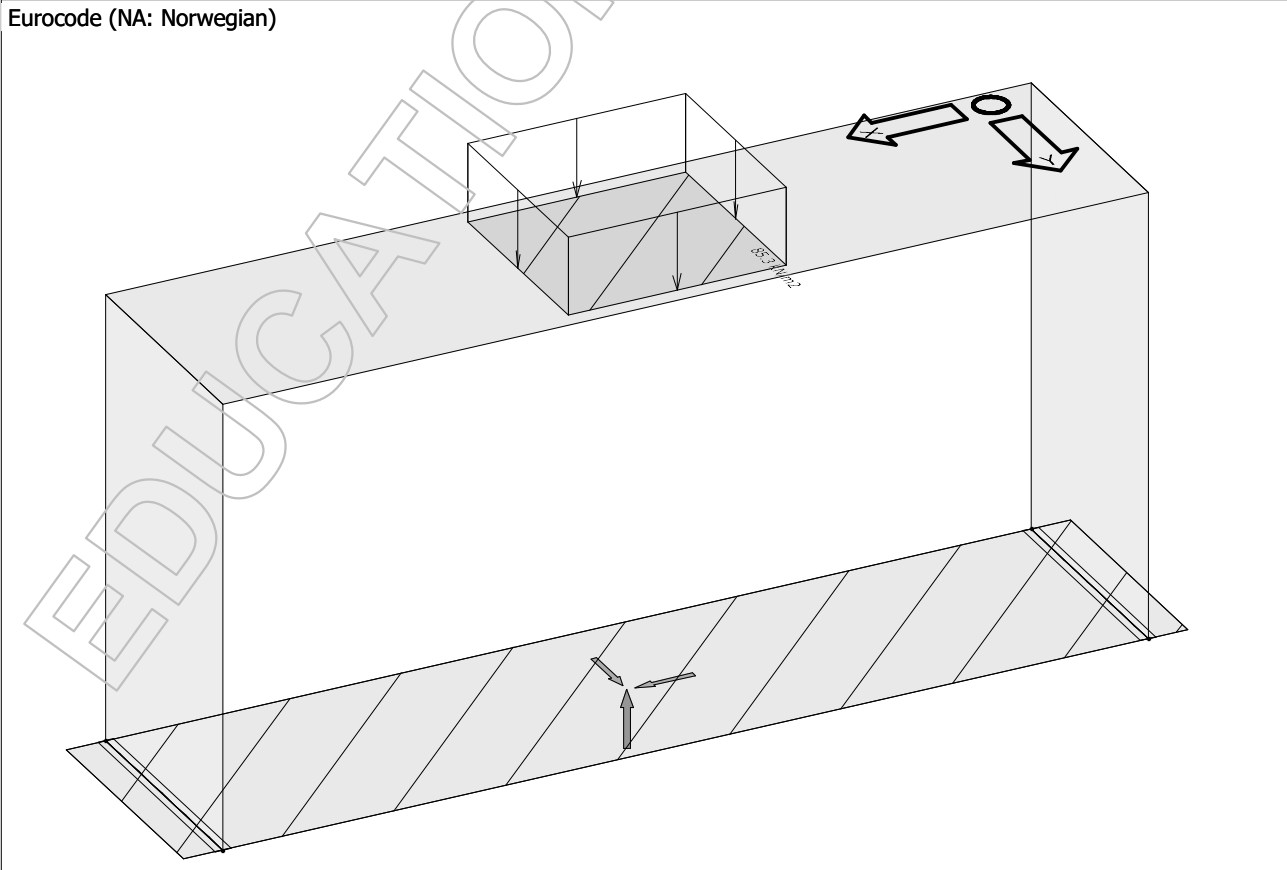
3.2 Egenlast Betong

Eurocode (NA: Norwegian)



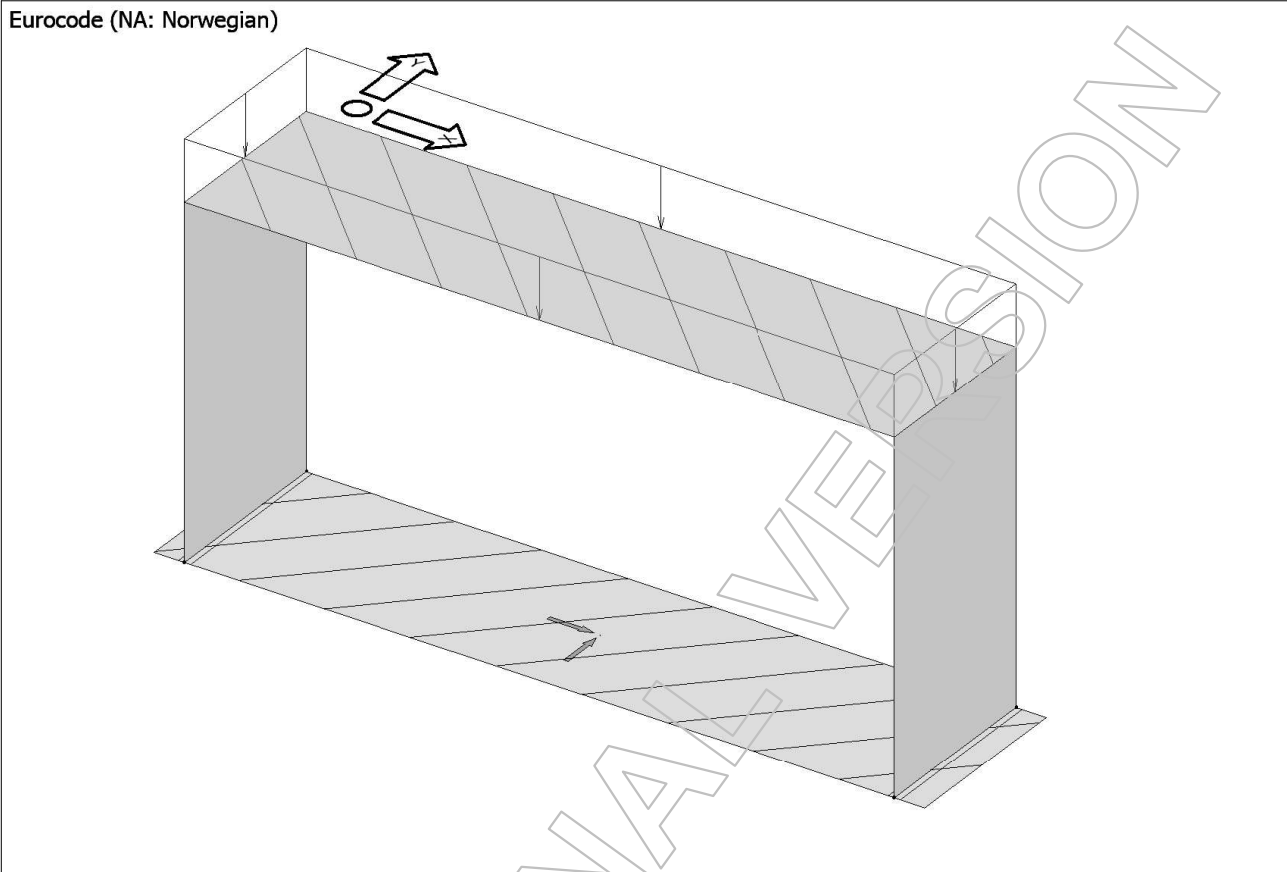
3.3 Aksellast

Eurocode (NA: Norwegian)

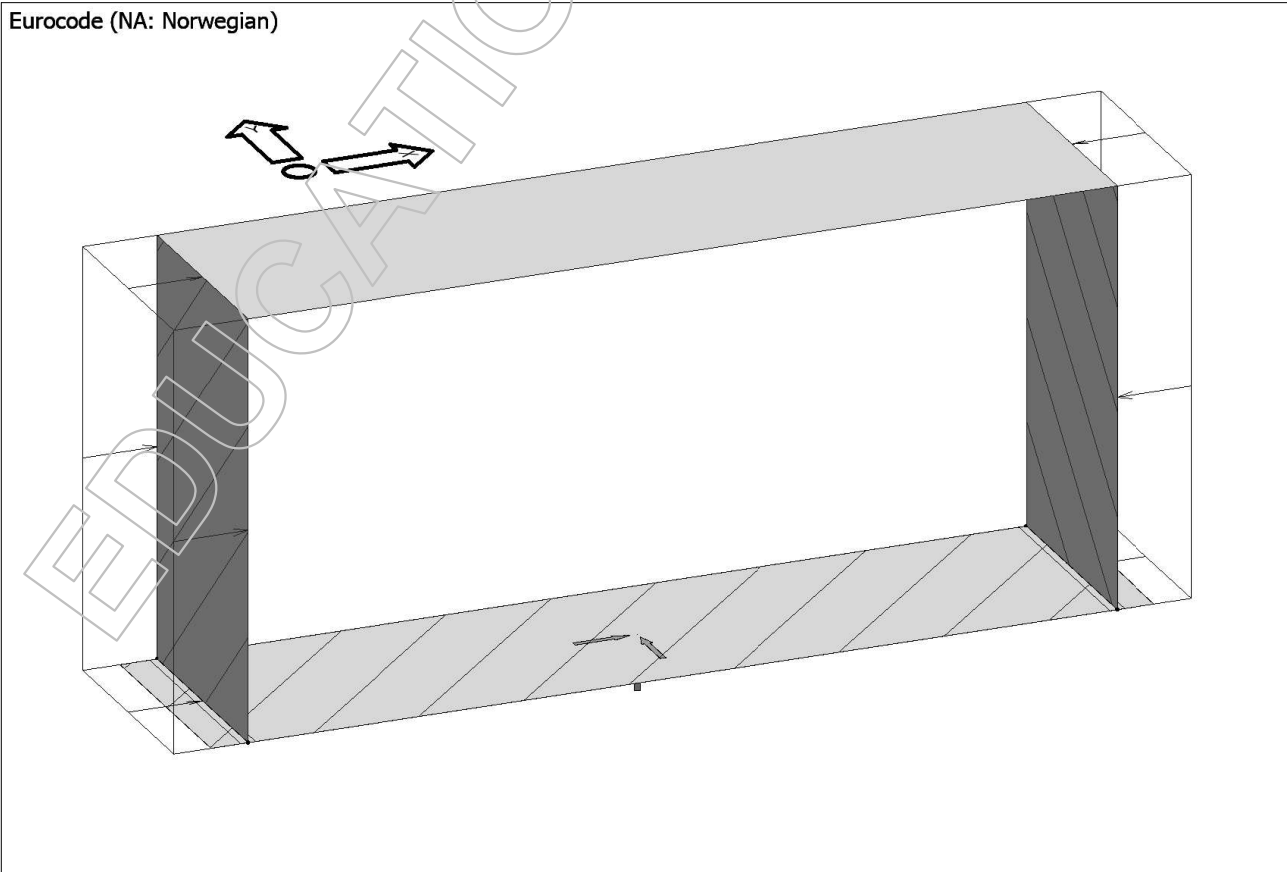


3.4 Trafikklast

3.4.1 Trafikklast Vertikal

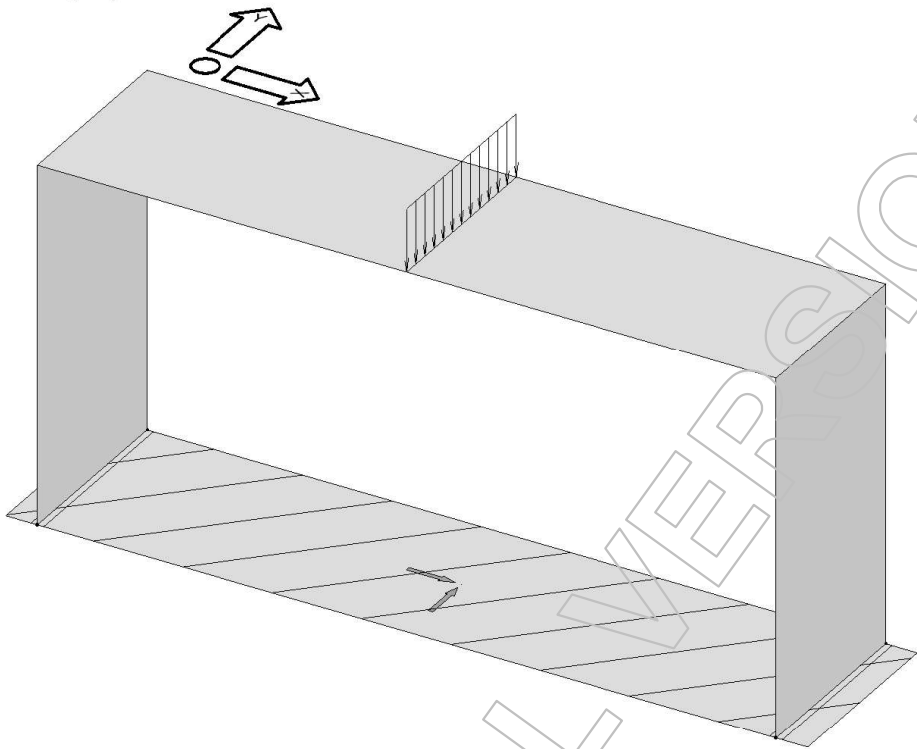


3.4.2 Trafikklast Horisontal



3.5 Innhengt Last

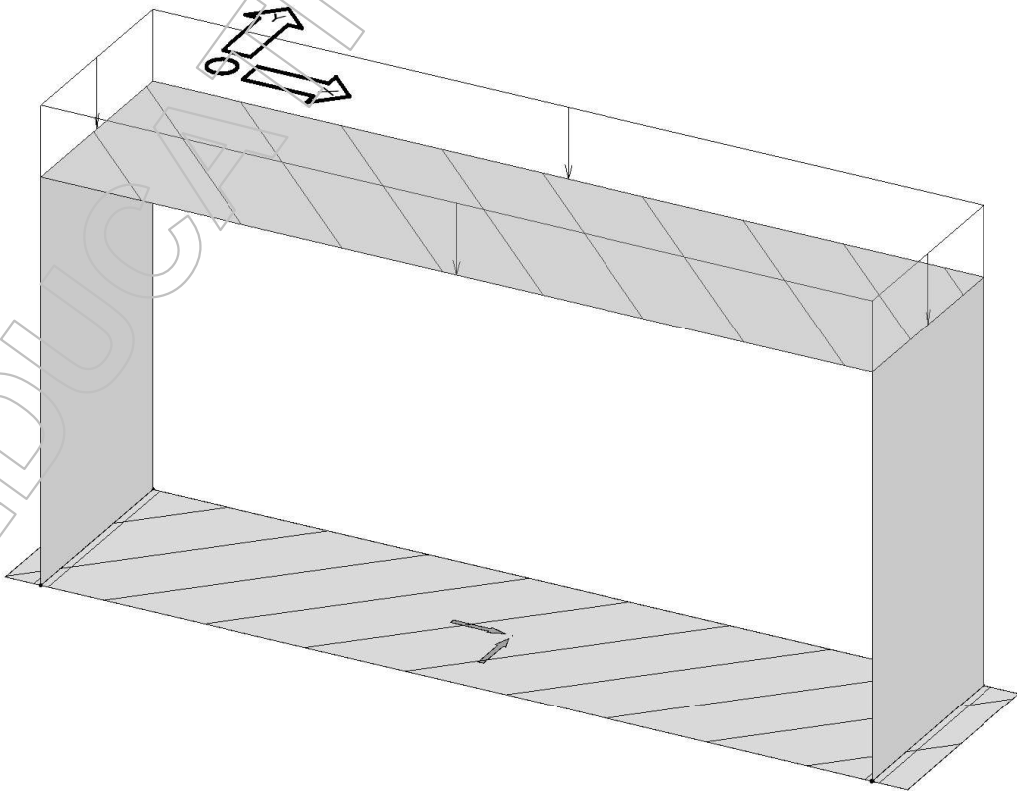
Eurocode (NA: Norwegian)



3.6 Jordlast

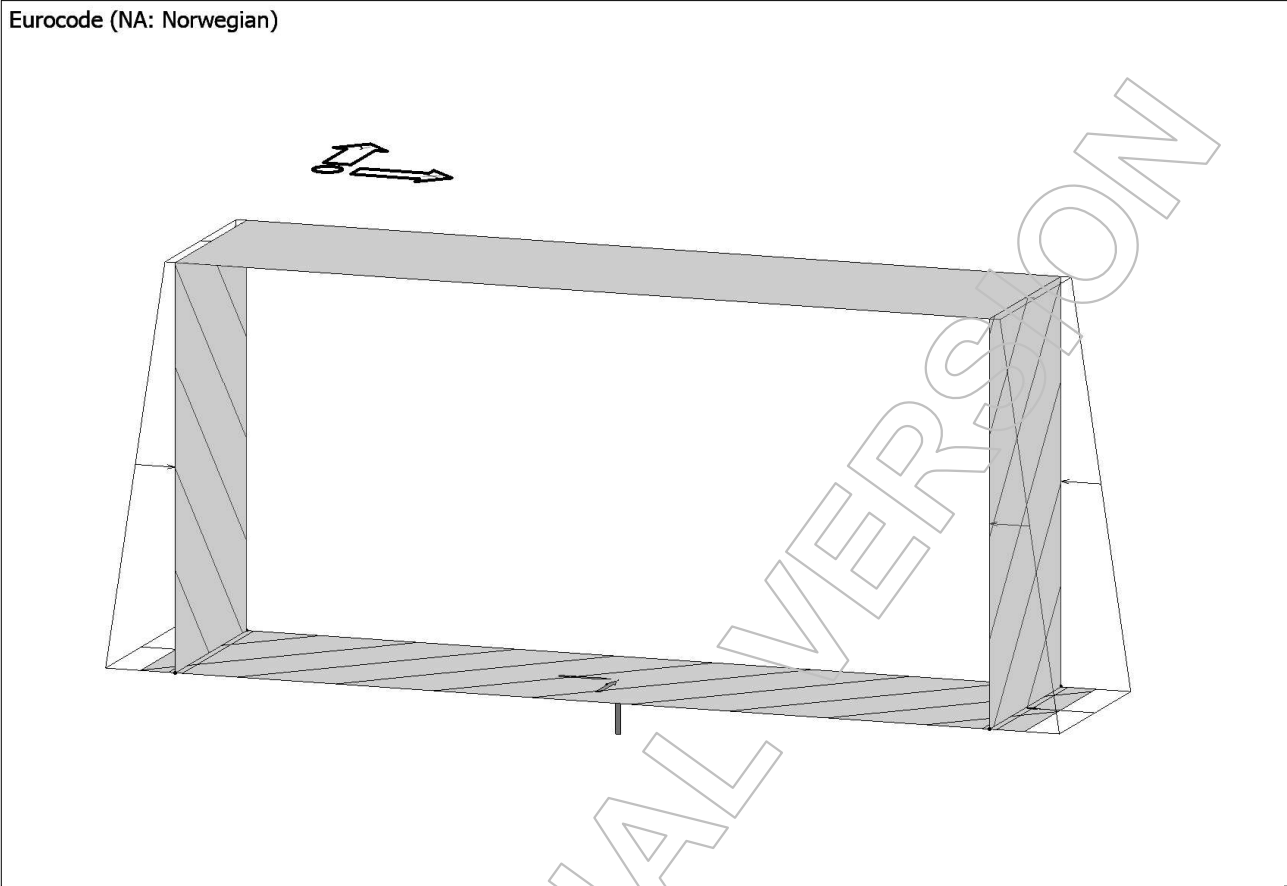
3.6.1 Jordlast Vertikal

Eurocode (NA: Norwegian)



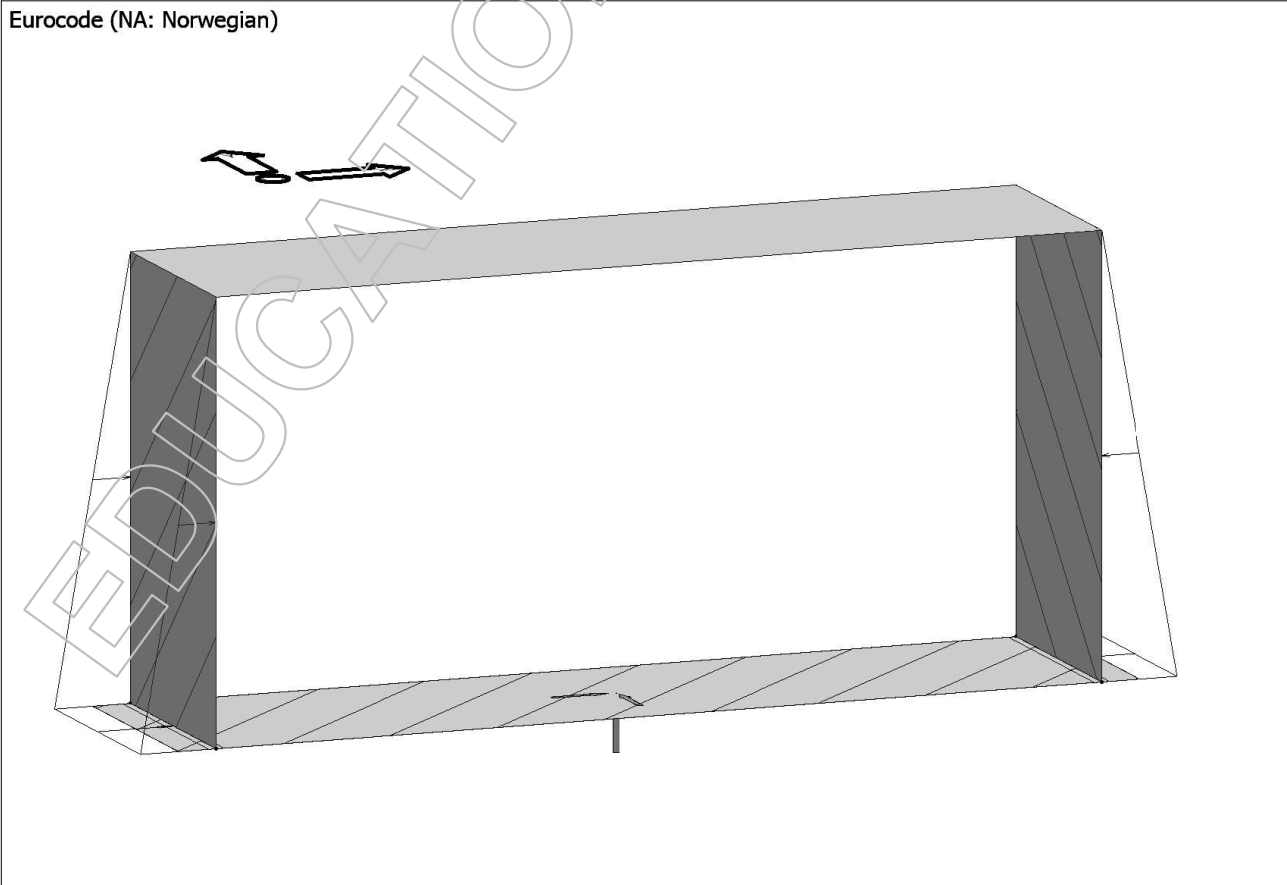
3.6.2 Jordlast Horisontal

Eurocode (NA: Norwegian)



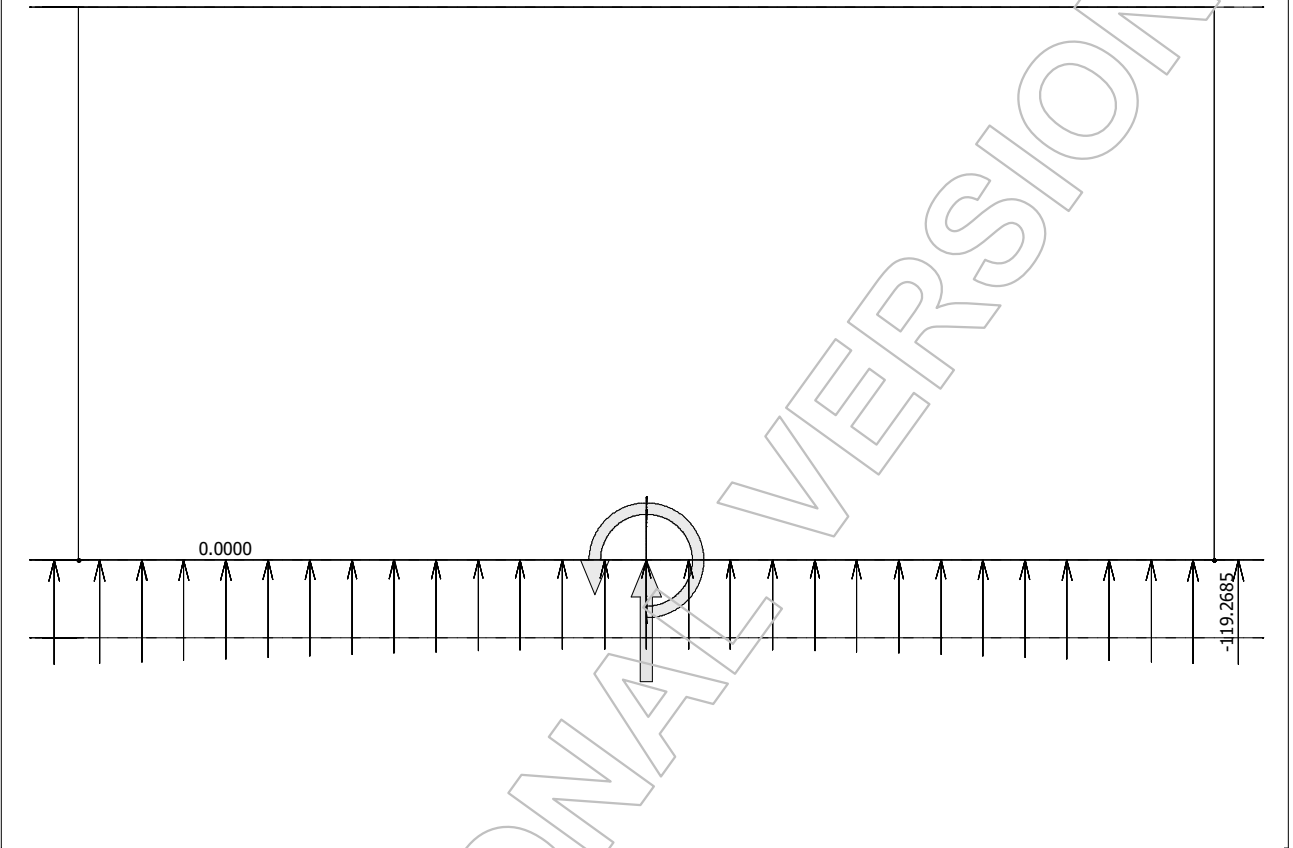
3.7 Vanntrykk

Eurocode (NA: Norwegian)



## 4 Opplagerkrefter

Eurocode (NA: Norwegian) code: 1st order theory - Load combinations - Lastkombinasjon 1 - Reactions -  
[kN, kNm, kN/m, kNm/m, kN/m<sup>2</sup>]



### 4.1 Bruddgrensetilstand

Surface support, Resultants, Load comb.: Lastkombinasjon 1

ID	Fx'	Fy'	Fz'	Mx'	My'	Mz'
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
S.1	0.000	0.000	-4161.518	0.261	0.237	0.000

Surface support, Resultants, Load comb.: Lastkombinasjon 2

ID	Fx'	Fy'	Fz'	Mx'	My'	Mz'
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
S.1	0.000	0.000	-4028.812	0.373	0.184	0.000

Surface support, Resultants, Load comb.: Lastkombinasjon 3

ID	Fx'	Fy'	Fz'	Mx'	My'	Mz'
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
S.1	0.000	0.000	-3862.590	0.261	0.216	0.000

Surface support, Resultants, Load comb.: Lastkombinasjon 4

ID	Fx'	Fy'	Fz'	Mx'	My'	Mz'
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
S.1	0.000	0.000	-3785.822	0.261	0.207	0.000



#### 4.2 Bruksgrensetilstand

Surface support, Resultants, Load comb.: Lastkombinasjon 5

ID	Fx'	Fy'	Fz'	Mx'	My'	Mz'
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
S.1	0.000	0.000	-3262.598	0.276	0.158	0.000

Surface support, Resultants, Load comb.: Lastkombinasjon 6

ID	Fx'	Fy'	Fz'	Mx'	My'	Mz'
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
S.1	0.000	0.000	-3139.471	0.193	0.182	0.000

Surface support, Resultants, Load comb.: Lastkombinasjon 7

ID	Fx'	Fy'	Fz'	Mx'	My'	Mz'
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
S.1	0.000	0.000	-3082.606	0.193	0.175	0.000

## 5 Lastkombinasjoner

Load combinations

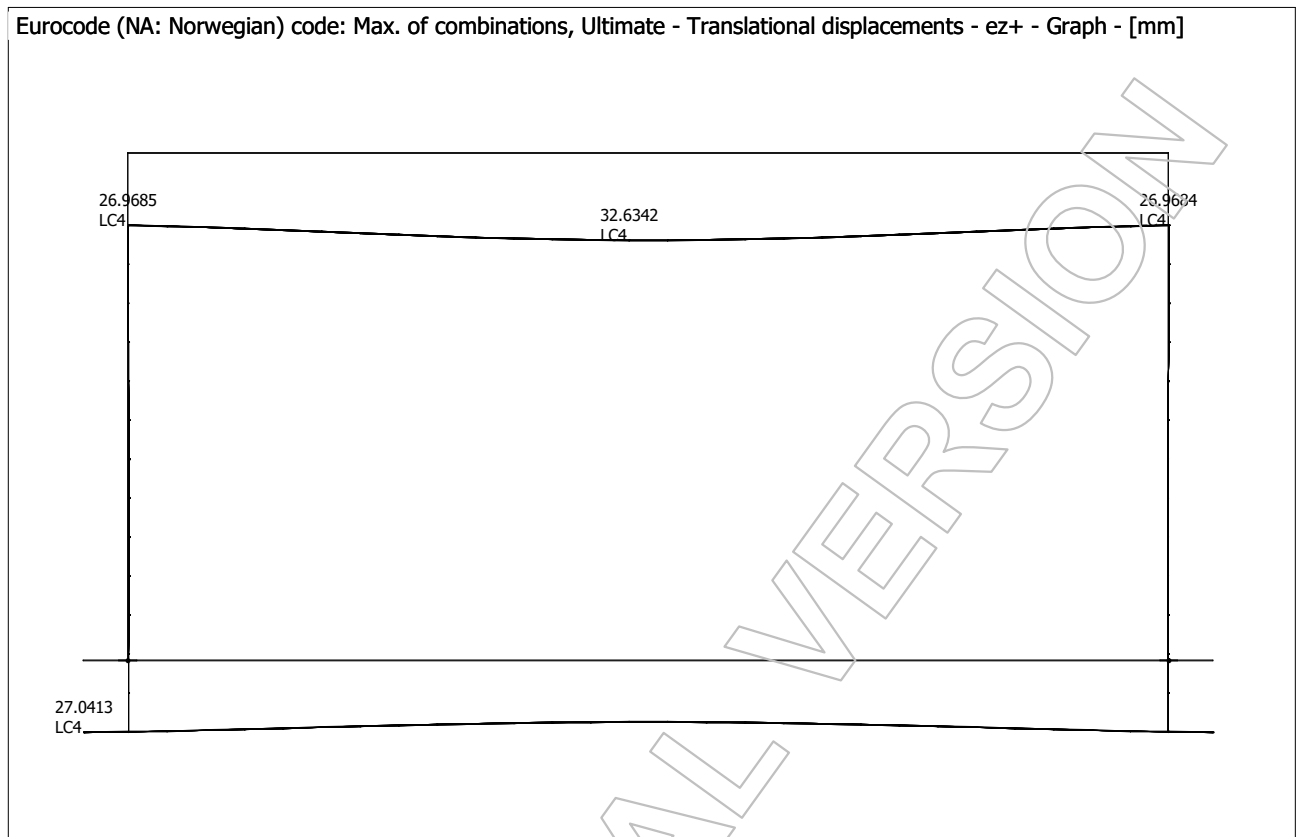
No.	Name	Type	Factor	Load cases			
1	Lastkombinasjo...	Ultimate	1.350	Egenvekt betong (+Struc. dead load)			
			1.350	Jordtrykk Vertikal			
			1.100	Jordtrykk Horisontal			
			1.000	Vanntrykk			
			1.350	Innhengt			
			0.945	Aksellast			
			0.945	Trafikklast Vertikal			
			0.945	Trafikklast Horisontal			
			2	Lastkombinasjo...	Ultimate	1.202	Egenvekt betong (+Struc. dead load)
						1.202	Jordtrykk Vertikal
1.100	Jordtrykk Horisontal						
1.000	Vanntrykk						
1.202	Innhengt						
1.350	Aksellast						
0.945	Trafikklast Vertikal						
0.945	Trafikklast Horisontal						
3	Lastkombinasjo...	Ultimate				1.202	Egenvekt betong (+Struc. dead load)
						1.202	Jordtrykk Vertikal
			1.100	Jordtrykk Horisontal			
			1.000	Vanntrykk			
			1.202	Innhengt			
			0.945	Aksellast			
			1.350	Trafikklast Vertikal			
			0.945	Trafikklast Horisontal			
			4	Lastkombinasjo...	Ultimate	1.202	Egenvekt betong (+Struc. dead load)
						1.202	Jordtrykk Vertikal
1.100	Jordtrykk Horisontal						
1.000	Vanntrykk						
1.202	Innhengt						
0.945	Aksellast						
0.945	Trafikklast Vertikal						
1.350	Trafikklast Horisontal						
5	Lastkombinasjo...	Characteristic				1.000	Egenvekt betong (+Struc. dead load)
						1.000	Jordtrykk Vertikal
			1.000	Jordtrykk Horisontal			
			1.000	Vanntrykk			
			1.000	Innhengt			
			1.000	Aksellast			
			0.700	Trafikklast Vertikal			
			0.700	Trafikklast Horisontal			
			6	Lastkombinasjo...	Characteristic	1.000	Egenvekt betong (+Struc. dead load)
						1.000	Jordtrykk Vertikal
1.000	Jordtrykk Horisontal						
1.000	Vanntrykk						
1.000	Innhengt						
0.700	Aksellast						
1.000	Trafikklast Vertikal						
0.700	Trafikklast Horisontal						
7	Lastkombinasjo...	Characteristic				1.000	Egenvekt betong (+Struc. dead load)
						1.000	Jordtrykk Vertikal

No.	Name	Type	Factor	Load cases
			1.000	Jordtrykk Horisontal
			1.000	Vanntrykk
			1.000	Innhengt
			0.700	Aksellast
			0.700	Trafikklast Vertikal
			1.000	Trafikklast Horisontal

EDUCATIONAL VERSION

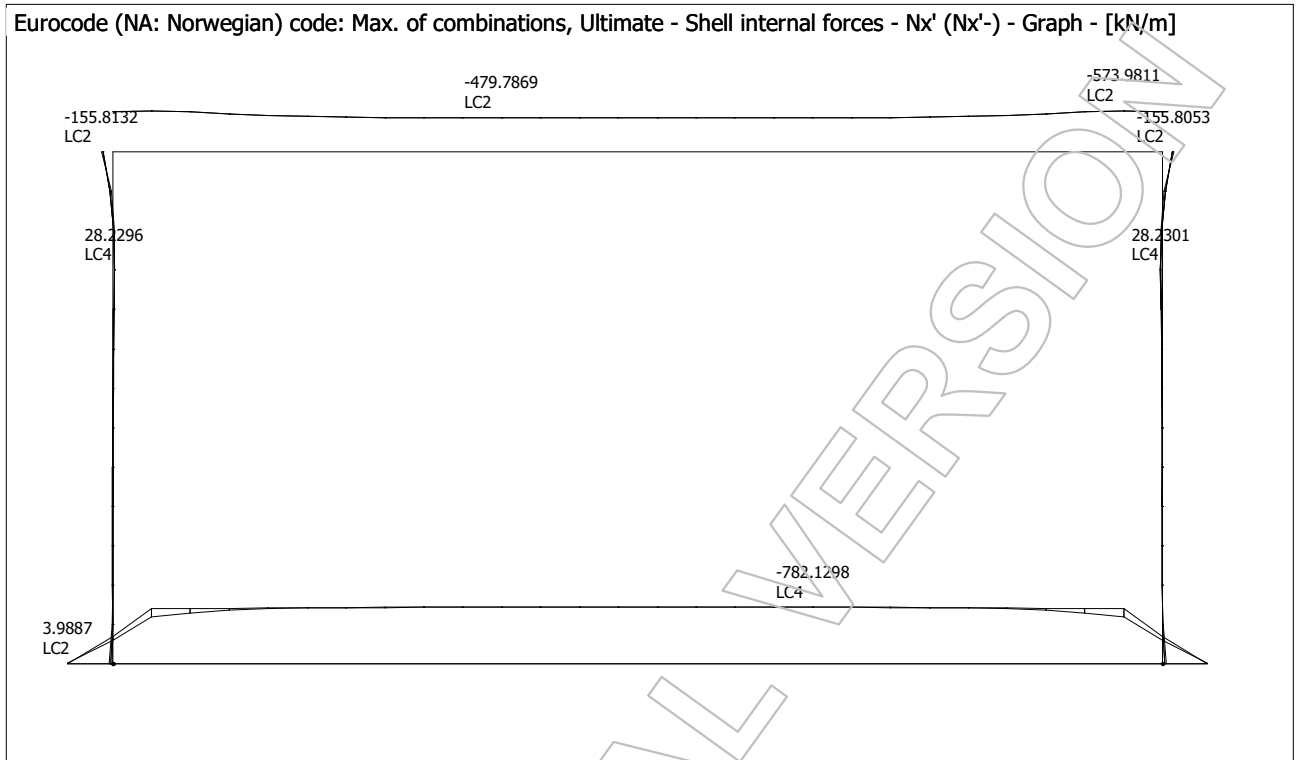
## 6 Deformasjoner

Eurocode (NA: Norwegian) code: Max. of combinations, Ultimate - Translational displacements - ez+ - Graph - [mm]

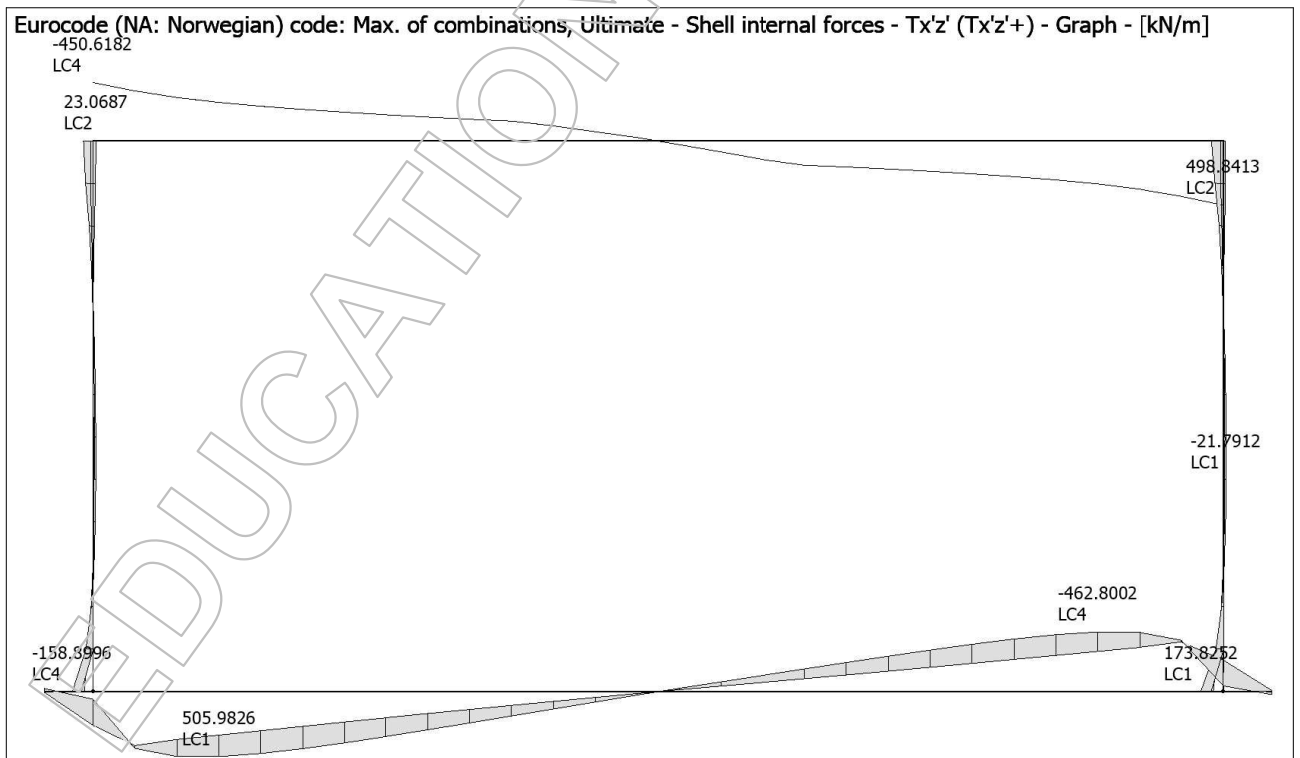


## 7 Diagrammer

### 7.1 Aksialkraftsdiagram

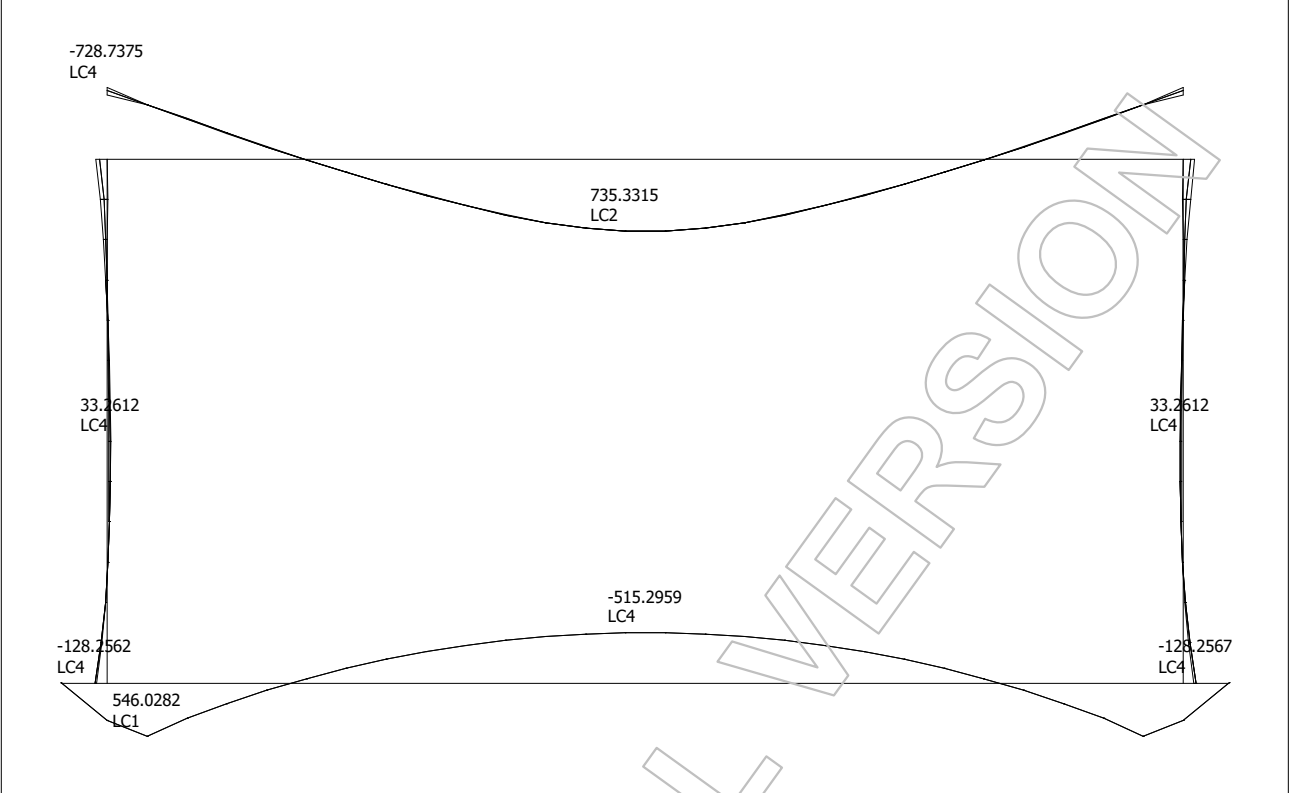


### 7.2 Skjærkraftsdiagram

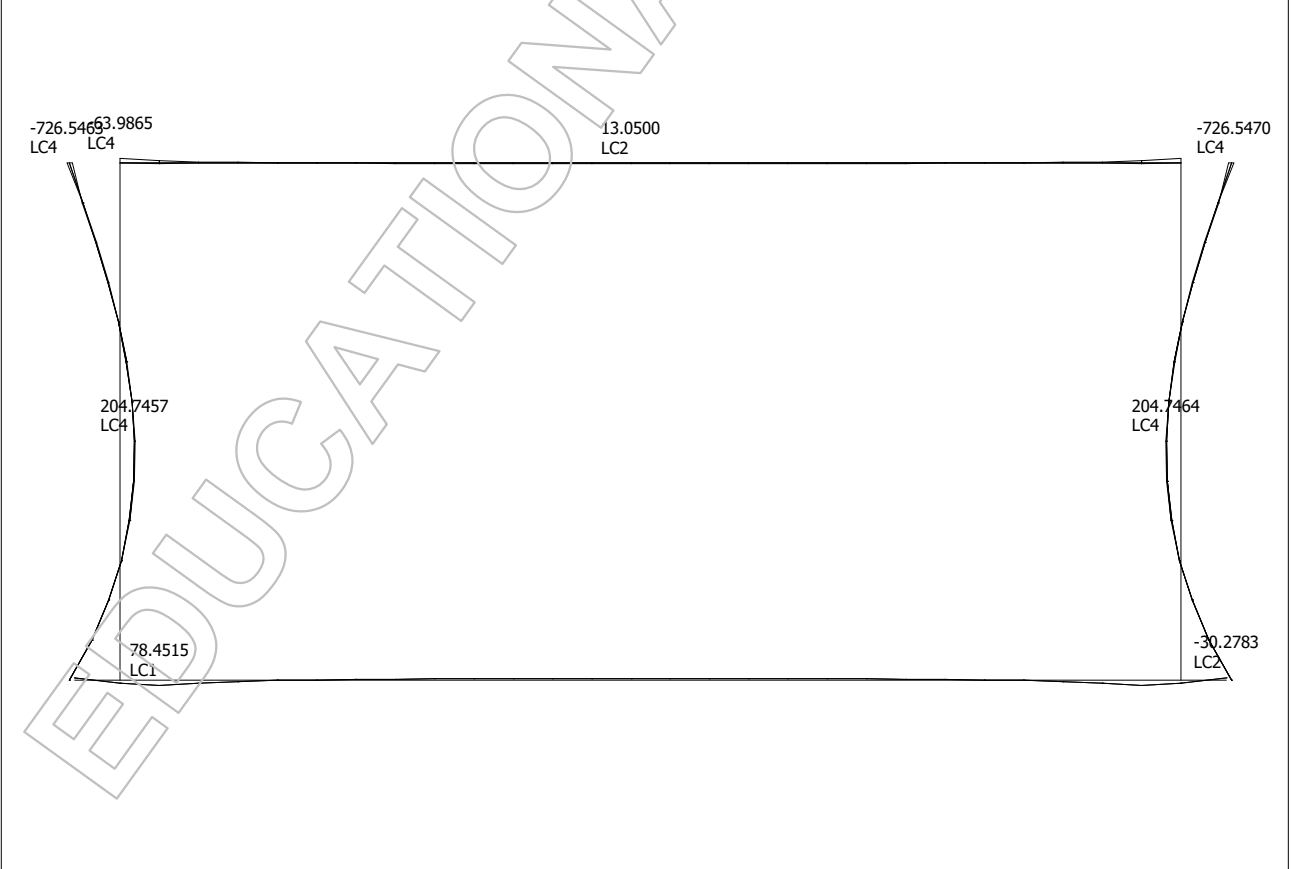


### 7.3 Momentdiagram

Eurocode (NA: Norwegian) code: Max. of combinations, Ultimate - Shell internal forces -  $M_x'$  ( $M_x'$ +) - Graph - [kNm/m]



Eurocode (NA: Norwegian) code: Max. of combinations, Ultimate - Shell internal forces -  $M_y'$  ( $M_y'$ +) - Graph - [kNm/m]



## 8 Armering

### 8.1 Armeringstype

Reinforcing steel materials

Name	fyk	Es	Epsilon uk	Epsilon ud	k
[-]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[-]	[-]	[-]
B500C	500	200000	0.0750	0.0300	1.15

### 8.2 Overdekning og tykkelse

Armeringens overdekning er forskjellig fra innsiden og utsiden av konstruksjonen grunnet ulike eksponeringsklasser. På utsiden av konstruksjonen har vi en  $C_{nom} = 35\text{mm}$ . Innsiden har en  $C_{nom} = 60\text{mm}$ . Diameteren vi har valgt på armeringen er 16mm. Programmet har en autofunksjon for beregning av armering og vil legge på tilleggsarmering utover den selv.

### 8.3 Utnyttelse

Max. of load combinations, Shell, Utilization

Shell	Max.	Combination	RBX	RBV	RTX	RTY	BU	CWB	CWT
[-]	[%]	[-]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
P.1.1	111	Lastkombi...	111	109	108	105	0	0	0
P.2.1	94	Lastkombi...	94	91	91	93	0	0	0
W.1.1	90	Lastkombi...	38	45	65	90	0	0	0
W.2.1	90	Lastkombi...	38	45	65	90	0	0	0

RBX - Armering i bunnen (x retning)

RBV - Armering i bunnen (y retning)

RTX - Armering i toppen (x retning)

RTY - Armering i toppen (y retning)

BU - Buckling

CWB - Riss i bunnen

CWT - Riss i toppen

# Vedlegg 3

Beregningsrapport Eurocode Express



**FRAME-2-02 03 2017****Knutepunkter**

Kn.P.	x [m]	y [m]
1	0.000	0.000
2	0.000	5.698
3	4.473	5.698
4	7.227	5.698
5	11.700	5.698
6	11.700	0.000
7	1.950	0.000
8	3.900	0.000
9	5.850	0.000
10	7.800	0.000
11	9.750	0.000
12	0.000	-2.000
13	1.950	-2.000
14	3.900	-2.000
15	5.850	-2.000
16	7.800	-2.000
17	9.750	-2.000
18	11.700	-2.000

**Opplager**

Kn.P.	Type	ux [mm]	uy [mm]	ur [rad]
5	Rullelager ux=0			
6	Rullelager ux=0			
12	Fritt opplegg			
13	Fritt opplegg			
14	Fritt opplegg			
15	Fritt opplegg			
16	Fritt opplegg			
17	Fritt opplegg			
18	Fritt opplegg			

**Materialtyper**

Materialtype : Betong, E= 36.000 [GPa]  
 Egenlast : 0.000 [kN/m<sup>3</sup>]  
 Elementegenlast er inkludert i statisk last og masser

**Elementtverrsnitt**

Tverrsnitt	b [mm]	h [mm]	b1 [mm]	h1 [mm]	Ac [mm <sup>2</sup> ]	Ic [mm <sup>4</sup> ]
1	3000.000	600.000			1.80000E+006	5.40000E+010
2	3000.000	700.000			2.10000E+006	8.57500E+010
3	3000.000	800.000			2.40000E+006	1.28000E+011
4	3000.000	20.000			6.00000E+004	2.00000E+006

**Elementer**

Element	Kn.P 1	Kn.P 2	Material	Lengde (m)	Vinkel (°)
1	1	2	1	5.698	90.000
2	2	3	2	4.473	0.000
3	3	4	2	2.754	0.000
4	4	5	2	4.473	0.000
5	5	6	1	5.698	270.000
6	1	7	3	1.950	0.000
7	7	8	3	1.950	0.000
8	8	9	3	1.950	0.000
9	9	10	3	1.950	0.000
10	10	11	3	1.950	0.000
11	11	6	3	1.950	0.000
12	1	12	4	2.000	270.000
13	7	13	4	2.000	270.000
14	8	14	4	2.000	270.000
15	9	15	4	2.000	270.000
16	10	16	4	2.000	270.000
17	11	17	4	2.000	270.000
18	6	18	4	2.000	270.000

**Fordelte elementlaster, (yg=1.20, yq=1.50)**

Element	lasttype	lastfordeling	G [kN/m]	Q [kN/m]	ygG+yqQ [kN/m]
3	jevnt fordelt	perpendikulært	54.000	0.000	64.800
3	jevnt fordelt	perpendikulært	52.500	0.000	63.000
3	jevnt fordelt	perpendikulært	0.000	196.070	294.105
3	jevnt fordelt	perpendikulært	0.000	10.200	15.300
4	jevnt fordelt	perpendikulært	54.000	0.000	64.800
4	jevnt fordelt	perpendikulært	52.500	0.000	63.000
4	jevnt fordelt	perpendikulært	0.000	10.200	15.300
2	jevnt fordelt	perpendikulært	54.000	0.000	64.800
2	jevnt fordelt	perpendikulært	52.500	0.000	63.000
2	jevnt fordelt	perpendikulært	0.000	10.200	15.300
5	triang. maks høyre	perpendikulært	16.240	0.000	19.488
5	jevnt fordelt	perpendikulært	0.000	-5.950	-8.925
5	triang. maks høyre	perpendikulært	112.580	0.000	135.096
5	jevnt fordelt	perpendikulært	17.330	0.000	20.796
1	triang. maks venstre	perpendikulært	16.240	0.000	19.488
1	jevnt fordelt	perpendikulært	0.000	-5.950	-8.925
1	triang. maks venstre	perpendikulært	112.580	0.000	135.096
11	jevnt fordelt	perpendikulært	60.000	9.000	85.500
10	jevnt fordelt	perpendikulært	60.000	9.000	85.500
9	jevnt fordelt	perpendikulært	60.000	9.000	85.500
8	jevnt fordelt	perpendikulært	60.000	9.000	85.500
7	jevnt fordelt	perpendikulært	60.000	9.000	85.500
6	jevnt fordelt	perpendikulært	60.000	9.000	85.500
1	jevnt fordelt	perpendikulært	17.330	0.000	20.796

**Knutepunktsforskyvninger**

Kn.P.	ux [mm]	uy [mm]	ur [rad]
1	-0.00740	-1.06813	-0.00039
2	0.08708	-1.17724	0.00153
3	0.05379	-9.21944	0.00107
4	0.03329	-9.21495	-0.00108
5	0.00000	-1.18400	-0.00152
6	0.00000	-1.07466	0.00040
7	-0.00617	-0.42075	-0.00025
8	-0.00493	-0.10740	-0.00009
9	-0.00370	-0.03049	0.00000
10	-0.00247	-0.10557	0.00009
11	-0.00123	-0.41946	0.00025
12	0.00000	0.00000	0.00019
13	0.00000	0.00000	0.00000
14	0.00000	0.00000	0.00000
15	0.00000	0.00000	0.00000
16	0.00000	0.00000	0.00000
17	0.00000	0.00000	0.00000
18	0.00000	0.00000	-0.00020

**Opplagerkrefter**

Kn.P.	Fx [kN]	Fy [kN]	M [kNm]
5	5.615	0.000	0.001
6	-5.615	0.000	0.000
12	-0.021	1153.581	0.000
13	0.000	454.412	0.000
14	0.000	115.994	0.000
15	0.000	32.928	0.000
16	0.000	114.011	0.000
17	0.000	453.022	0.000
18	0.021	1160.637	0.000

**Element endekrefter (globalkoordinater)**

Element	FxA [kN]	FyA [kN]	MA [kNm]	FxB [kN]	FyB [kN]	MB [kNm]
1	54.616	1240.852	192.686	-562.667	-1240.852	1984.195
2	562.667	1240.852	-1984.195	-562.667	-600.766	-2134.583
3	562.667	600.765	2134.583	-562.667	603.298	-2131.097
4	562.667	-603.297	2131.098	-562.667	1243.383	1999.004
5	568.282	-1243.383	-1999.003	-60.231	1243.383	-209.872
6	-54.637	-87.271	-192.645	54.637	253.996	525.380
7	-54.637	200.416	-525.380	54.637	-33.691	297.126
8	-54.637	149.685	-297.126	54.637	17.040	167.797
9	-54.637	15.888	-167.797	54.637	150.837	299.372
10	-54.637	-36.826	-299.373	54.637	203.551	533.740
11	-54.637	249.471	-533.739	54.637	-82.746	209.829
12	0.021	-1153.581	-0.042	-0.021	1153.581	0.000
13	0.000	-454.412	0.000	0.000	454.412	0.000
14	0.000	-115.994	0.000	0.000	115.994	0.000
15	0.000	-32.928	0.000	0.000	32.928	0.000
16	0.000	-114.011	0.000	0.000	114.011	0.000
17	0.000	-453.022	0.000	0.000	453.022	0.000
18	-0.021	-1160.637	0.043	0.021	1160.637	0.000

**Element endekrefter (lokalkoordinater)**

Element	fxA [kN]	fyA [kN]	mA [kNm]	fxB [kN]	fyB [kN]	mB [kNm]
1	1240.852	-54.616	192.686	-1240.852	562.667	1984.195
2	562.667	1240.852	-1984.195	-562.667	-600.766	-2134.583
3	562.667	600.765	2134.583	-562.667	603.298	-2131.097
4	562.667	-603.297	2131.098	-562.667	1243.383	1999.004
5	1243.383	568.282	-1999.003	-1243.383	-60.231	-209.872
6	-54.637	-87.271	-192.645	54.637	253.996	525.380
7	-54.637	200.416	-525.380	54.637	-33.691	297.126
8	-54.637	149.685	-297.126	54.637	17.040	167.797
9	-54.637	15.888	-167.797	54.637	150.837	299.372
10	-54.637	-36.826	-299.373	54.637	203.551	533.740
11	-54.637	249.471	-533.739	54.637	-82.746	209.829
12	1153.581	0.021	-0.042	-1153.581	-0.021	0.000
13	454.412	0.000	0.000	-454.412	0.000	0.000
14	115.994	0.000	0.000	-115.994	0.000	0.000
15	32.928	0.000	0.000	-32.928	0.000	0.000
16	114.011	0.000	0.000	-114.011	0.000	0.000
17	453.022	0.000	0.000	-453.022	0.000	0.000
18	1160.637	-0.021	0.043	-1160.637	0.021	0.000

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 1**

n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]	d [mm]
0	0.000	0.00	192.69	54.62	-1240.85	-0.007	-1.068	1.068
1	0.100	0.57	135.38	145.06	-1240.85	-0.245	-1.079	1.106
2	0.200	1.14	29.05	226.69	-1240.85	-0.504	-1.090	1.201
3	0.300	1.71	-121.28	299.52	-1240.85	-0.768	-1.101	1.342
4	0.400	2.28	-310.61	363.53	-1240.85	-1.010	-1.112	1.502
5	0.500	2.85	-533.90	418.74	-1240.85	-1.201	-1.123	1.644
6	0.600	3.42	-786.13	465.14	-1240.85	-1.301	-1.134	1.726
7	0.700	3.99	-1062.30	502.74	-1240.85	-1.271	-1.145	1.710
8	0.800	4.56	-1357.38	531.52	-1240.85	-1.062	-1.155	1.569
9	0.900	5.13	-1666.35	551.50	-1240.85	-0.627	-1.166	1.324
10	1.000	5.70	-1984.20	562.67	-1240.85	0.087	-1.177	1.181

**Maksimalverdi for element 1**

maxM= 192.686 kNm, minM= -1984.195 kNm  
 maxV= 562.667 kN, minV= 54.616 kN  
 maxN= -1240.852 kN, minN= -1240.852 kN  
 maxd= 1.72598 mm

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 2**

n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]	d [mm]
0	0.000	0.00	-1984.19	-1240.85	-562.67	0.087	-1.177	1.181
1	0.100	0.45	-1443.48	-1176.84	-562.67	0.084	-1.919	1.921
2	0.200	0.89	-931.39	-1112.83	-562.67	0.080	-2.755	2.756
3	0.300	1.34	-447.94	-1048.83	-562.67	0.077	-3.651	3.651
4	0.400	1.79	6.89	-984.82	-562.67	0.074	-4.576	4.576
5	0.500	2.24	433.08	-920.81	-562.67	0.070	-5.501	5.501
6	0.600	2.68	830.64	-856.80	-562.67	0.067	-6.398	6.398
7	0.700	3.13	1199.58	-792.79	-562.67	0.064	-7.241	7.242
8	0.800	3.58	1539.88	-728.78	-562.67	0.060	-8.007	8.007
9	0.900	4.03	1851.55	-664.77	-562.67	0.057	-8.673	8.673
10	1.000	4.47	2134.58	-600.77	-562.67	0.054	-9.220	9.220

**Maksimalverdi for element 2**

maxM= 2134.583 kNm, minM= -1984.195 kNm  
 maxV= -600.766 kN, minV= -1240.852 kN  
 maxN= -562.667 kN, minN= -562.667 kN  
 maxd= 9.21980 mm

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 3**

n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]	d [mm]
0	0.000	0.00	2134.58	-600.76	-562.67	0.054	-9.220	9.220
1	0.100	0.28	2283.45	-480.36	-562.67	0.052	-9.488	9.488
2	0.200	0.55	2399.16	-359.95	-562.67	0.050	-9.701	9.701
3	0.300	0.83	2481.72	-239.55	-562.67	0.048	-9.855	9.855
4	0.400	1.10	2531.11	-119.14	-562.67	0.045	-9.947	9.947
5	0.500	1.38	2547.34	1.27	-562.67	0.044	-9.978	9.978
6	0.600	1.65	2530.41	121.67	-562.67	0.041	-9.946	9.946
7	0.700	1.93	2480.32	242.08	-562.67	0.040	-9.853	9.853
8	0.800	2.20	2397.07	362.49	-562.67	0.037	-9.698	9.698
9	0.900	2.48	2280.66	482.89	-562.67	0.035	-9.484	9.484
10	1.000	2.75	2131.10	603.30	-562.67	0.033	-9.215	9.215

**Maksimalverdi for element 3**

maxM=	2547.338 kNm,	minM=	2131.095 kNm
maxV=	603.298 kN,	minV=	-600.765 kN
maxN=	-562.667 kN,	minN=	-562.667 kN
maxd=	9.97839 mm		

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 4**

n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]	d [mm]
0	0.000	0.00	2131.10	603.30	-562.67	0.033	-9.215	9.215
1	0.100	0.45	1846.93	667.31	-562.67	0.030	-8.667	8.668
2	0.200	0.89	1534.13	731.31	-562.67	0.027	-8.001	8.001
3	0.300	1.34	1192.69	795.32	-562.67	0.023	-7.235	7.235
4	0.400	1.79	822.63	859.33	-562.67	0.020	-6.391	6.391
5	0.500	2.24	423.94	923.34	-562.67	0.016	-5.495	5.495
6	0.600	2.68	-3.39	987.35	-562.67	0.013	-4.571	4.571
7	0.700	3.13	-459.34	1051.36	-562.67	0.010	-3.647	3.647
8	0.800	3.58	-943.93	1115.37	-562.67	0.007	-2.754	2.754
9	0.900	4.03	-1457.15	1179.37	-562.67	0.003	-1.922	1.922
10	1.000	4.47	-1999.00	1243.38	-562.67	0.000	-1.184	1.184

**Maksimalverdi for element 4**

maxM=	2131.098 kNm,	minM=	-1999.000 kNm
maxV=	1243.383 kN,	minV=	603.297 kN
maxN=	-562.667 kN,	minN=	-562.667 kN
maxd=	9.21494 mm		

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 5**

n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]	d [mm]
0	0.000	0.00	-1999.00	-568.28	-1243.38	0.000	-1.184	1.184
1	0.100	0.57	-1677.96	-557.11	-1243.38	0.707	-1.173	1.369
2	0.200	1.14	-1365.79	-537.14	-1243.38	1.133	-1.162	1.623
3	0.300	1.71	-1067.51	-508.35	-1243.38	1.331	-1.151	1.760
4	0.400	2.28	-788.14	-470.76	-1243.38	1.350	-1.140	1.767
5	0.500	2.85	-532.71	-424.36	-1243.38	1.238	-1.129	1.676
6	0.600	3.42	-306.22	-369.15	-1243.38	1.036	-1.118	1.524
7	0.700	3.99	-113.70	-305.13	-1243.38	0.783	-1.107	1.356
8	0.800	4.56	39.84	-232.31	-1243.38	0.509	-1.096	1.209
9	0.900	5.13	149.37	-150.67	-1243.38	0.242	-1.086	1.112
10	1.000	5.70	209.87	-60.23	-1243.38	0.000	-1.075	1.075

**Maksimalverdi for element 5**

maxM=	209.872 kNm,	minM=	-1999.003 kNm
maxV=	-60.231 kN,	minV=	-568.282 kN
maxN=	-1243.383 kN,	minN=	-1243.383 kN
maxd=	1.76737 mm		

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 6**

n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]	d [mm]
0	0.000	0.00	-192.64	87.27	54.64	-0.007	-1.068	1.068
1	0.100	0.20	-211.29	103.94	54.64	-0.007	-0.993	0.993
2	0.200	0.39	-233.18	120.62	54.64	-0.007	-0.919	0.919
3	0.300	0.59	-258.33	137.29	54.64	-0.007	-0.848	0.848
4	0.400	0.78	-286.72	153.96	54.64	-0.007	-0.778	0.778
5	0.500	0.98	-318.37	170.63	54.64	-0.007	-0.711	0.711
6	0.600	1.17	-353.27	187.31	54.64	-0.007	-0.646	0.646
7	0.700	1.37	-391.42	203.98	54.64	-0.007	-0.585	0.585
8	0.800	1.56	-432.82	220.65	54.64	-0.006	-0.526	0.526
9	0.900	1.75	-477.48	237.32	54.64	-0.006	-0.472	0.472
10	1.000	1.95	-525.38	254.00	54.64	-0.006	-0.421	0.421

**Maksimalverdi for element 6**

maxM=	-192.645 kNm,	minM=	-525.380 kNm
maxV=	253.996 kN,	minV=	87.271 kN
maxN=	54.637 kN,	minN=	54.637 kN
maxd=	1.06816 mm		

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 7**

n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]	d [mm]
0	0.000	0.00	-525.38	-200.42	54.64	-0.006	-0.421	0.421
1	0.100	0.20	-487.92	-183.74	54.64	-0.006	-0.374	0.374
2	0.200	0.39	-453.72	-167.07	54.64	-0.006	-0.332	0.332
3	0.300	0.59	-422.77	-150.40	54.64	-0.006	-0.293	0.293
4	0.400	0.78	-395.06	-133.73	54.64	-0.006	-0.257	0.257
5	0.500	0.98	-370.61	-117.05	54.64	-0.006	-0.225	0.225
6	0.600	1.17	-349.41	-100.38	54.64	-0.005	-0.196	0.196
7	0.700	1.37	-331.47	-83.71	54.64	-0.005	-0.170	0.170
8	0.800	1.56	-316.77	-67.04	54.64	-0.005	-0.147	0.147
9	0.900	1.75	-305.32	-50.36	54.64	-0.005	-0.126	0.126
10	1.000	1.95	-297.13	-33.69	54.64	-0.005	-0.107	0.108

**Maksimalverdi for element 7**

maxM=	-297.126 kNm,	minM=	-525.380 kNm
maxV=	-33.691 kN,	minV=	-200.416 kN
maxN=	54.637 kN,	minN=	54.637 kN
maxd=	0.42080 mm		

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 8**

n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]	d [mm]
0	0.000	0.00	-297.13	-149.69	54.64	-0.005	-0.107	0.108
1	0.100	0.19	-269.56	-133.01	54.64	-0.005	-0.092	0.092
2	0.200	0.39	-245.25	-116.34	54.64	-0.005	-0.078	0.078
3	0.300	0.58	-224.19	-99.67	54.64	-0.005	-0.066	0.066
4	0.400	0.78	-206.38	-83.00	54.64	-0.004	-0.057	0.057
5	0.500	0.97	-191.82	-66.32	54.64	-0.004	-0.048	0.049
6	0.600	1.17	-180.51	-49.65	54.64	-0.004	-0.042	0.042
7	0.700	1.36	-172.46	-32.98	54.64	-0.004	-0.037	0.037
8	0.800	1.56	-167.65	-16.31	54.64	-0.004	-0.033	0.034
9	0.900	1.75	-166.10	0.37	54.64	-0.004	-0.031	0.032
10	1.000	1.95	-167.80	17.04	54.64	-0.004	-0.030	0.031

**Maksimalverdi for element 8**

maxM=	-166.100 kNm,	minM=	-297.126 kNm
maxV=	17.040 kN,	minV=	-149.685 kN
maxN=	54.637 kN,	minN=	54.637 kN
maxd=	0.10752 mm		

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 9**

n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]	d [mm]
0	0.000	0.00	-167.80	-15.89	54.64	-0.004	-0.030	0.031
1	0.100	0.20	-166.32	0.78	54.64	-0.004	-0.031	0.031
2	0.200	0.39	-168.10	17.46	54.64	-0.004	-0.033	0.033
3	0.300	0.59	-173.13	34.13	54.64	-0.003	-0.036	0.037
4	0.400	0.78	-181.41	50.80	54.64	-0.003	-0.041	0.041
5	0.500	0.98	-192.95	67.47	54.64	-0.003	-0.047	0.048
6	0.600	1.17	-207.73	84.15	54.64	-0.003	-0.055	0.055
7	0.700	1.37	-225.76	100.82	54.64	-0.003	-0.065	0.065
8	0.800	1.56	-247.05	117.49	54.64	-0.003	-0.076	0.076
9	0.900	1.76	-271.58	134.16	54.64	-0.002	-0.090	0.090
10	1.000	1.95	-299.37	150.84	54.64	-0.002	-0.106	0.106

**Maksimalverdi for element 9**

maxM=	-166.324 kNm,	minM=	-299.373 kNm
maxV=	150.837 kN,	minV=	-15.888 kN
maxN=	54.637 kN,	minN=	54.637 kN
maxd=	0.10559 mm		

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 10**

n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]	d [mm]
0	0.000	0.00	-299.37	36.83	54.64	-0.002	-0.106	0.106
1	0.100	0.19	-308.18	53.50	54.64	-0.002	-0.124	0.124
2	0.200	0.39	-320.24	70.17	54.64	-0.002	-0.144	0.144
3	0.300	0.58	-335.55	86.84	54.64	-0.002	-0.168	0.168
4	0.400	0.78	-354.11	103.52	54.64	-0.002	-0.194	0.194
5	0.500	0.97	-375.92	120.19	54.64	-0.001	-0.223	0.223
6	0.600	1.17	-400.98	136.86	54.64	-0.002	-0.255	0.255
7	0.700	1.36	-429.29	153.53	54.64	-0.002	-0.291	0.291
8	0.800	1.56	-460.86	170.21	54.64	-0.001	-0.330	0.330
9	0.900	1.75	-495.67	186.88	54.64	-0.002	-0.373	0.373
10	1.000	1.95	-533.74	203.55	54.64	-0.001	-0.419	0.419

**Maksimalverdi for element 10**

maxM=	-299.373 kNm,	minM=	-533.740 kNm
maxV=	203.551 kN,	minV=	36.826 kN
maxN=	54.637 kN,	minN=	54.637 kN
maxd=	0.41947 mm		

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 11**

n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]	d [mm]
0	0.000	0.00	-533.74	-249.47	54.64	-0.001	-0.419	0.419
1	0.100	0.19	-486.72	-232.80	54.64	-0.001	-0.471	0.471
2	0.200	0.39	-442.95	-216.13	54.64	-0.001	-0.526	0.526
3	0.300	0.58	-402.43	-199.45	54.64	-0.001	-0.585	0.585
4	0.400	0.78	-365.16	-182.78	54.64	-0.001	-0.647	0.647
5	0.500	0.97	-331.14	-166.11	54.64	0.000	-0.712	0.712
6	0.600	1.17	-300.38	-149.44	54.64	-0.001	-0.780	0.780
7	0.700	1.36	-272.86	-132.76	54.64	0.000	-0.851	0.851
8	0.800	1.56	-248.60	-116.09	54.64	0.000	-0.923	0.923
9	0.900	1.75	-227.59	-99.42	54.64	0.000	-0.998	0.998
10	1.000	1.95	-209.83	-82.75	54.64	0.000	-1.075	1.075

**Maksimalverdi for element 11**

maxM=	-209.828 kNm,	minM=	-533.739 kNm
maxV=	-82.746 kN,	minV=	-249.471 kN
maxN=	54.637 kN,	minN=	54.637 kN
maxd=	1.07466 mm		

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 12**

n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]	d [mm]
0	0.000	0.00	-0.04	-0.02	-1153.58	-0.007	-1.068	1.068
1	0.100	0.20	-0.04	-0.02	-1153.58	0.059	-0.961	0.963
2	0.200	0.40	-0.03	-0.02	-1153.58	0.105	-0.854	0.861
3	0.300	0.60	-0.03	-0.02	-1153.58	0.133	-0.748	0.759
4	0.400	0.80	-0.03	-0.02	-1153.58	0.144	-0.641	0.657
5	0.500	1.00	-0.02	-0.02	-1153.58	0.141	-0.534	0.552
6	0.600	1.20	-0.02	-0.02	-1153.58	0.127	-0.427	0.446
7	0.700	1.40	-0.01	-0.02	-1153.58	0.103	-0.320	0.337
8	0.800	1.60	-0.01	-0.02	-1153.58	0.073	-0.214	0.226
9	0.900	1.80	0.00	-0.02	-1153.58	0.038	-0.107	0.113
10	1.000	2.00	0.00	-0.02	-1153.58	0.000	0.000	0.000

**Maksimalverdi for element 12**

maxM= 0.000 kNm, minM= -0.042 kNm  
maxV= -0.021 kN, minV= -0.021 kN  
maxN= -1153.581 kN, minN= -1153.581 kN  
maxd= 1.06816 mm

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 13**

n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]	d [mm]
0	0.000	0.00	0.00	0.00	-454.41	-0.006	-0.421	0.421
1	0.100	0.20	0.00	0.00	-454.41	-0.006	-0.379	0.379
2	0.200	0.40	0.00	0.00	-454.41	-0.006	-0.337	0.337
3	0.300	0.60	0.00	0.00	-454.41	-0.005	-0.295	0.295
4	0.400	0.80	0.00	0.00	-454.41	-0.005	-0.252	0.252
5	0.500	1.00	0.00	0.00	-454.41	-0.004	-0.210	0.210
6	0.600	1.20	0.00	0.00	-454.41	-0.003	-0.168	0.168
7	0.700	1.40	0.00	0.00	-454.41	-0.002	-0.126	0.126
8	0.800	1.60	0.00	0.00	-454.41	-0.001	-0.084	0.084
9	0.900	1.80	0.00	0.00	-454.41	-0.001	-0.042	0.042
10	1.000	2.00	0.00	0.00	-454.41	0.000	0.000	0.000

**Maksimalverdi for element 13**

maxM= 0.000 kNm, minM= 0.000 kNm  
maxV= 0.000 kN, minV= 0.000 kN  
maxN= -454.412 kN, minN= -454.412 kN  
maxd= 0.00000 mm

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 14**

n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]	d [mm]
0	0.000	0.00	0.00	0.00	-115.99	-0.005	-0.107	0.108
1	0.100	0.20	0.00	0.00	-115.99	-0.005	-0.097	0.097
2	0.200	0.40	0.00	0.00	-115.99	-0.005	-0.086	0.086
3	0.300	0.60	0.00	0.00	-115.99	-0.004	-0.075	0.075
4	0.400	0.80	0.00	0.00	-115.99	-0.004	-0.064	0.065
5	0.500	1.00	0.00	0.00	-115.99	-0.003	-0.054	0.054
6	0.600	1.20	0.00	0.00	-115.99	-0.002	-0.043	0.043
7	0.700	1.40	0.00	0.00	-115.99	-0.002	-0.032	0.032
8	0.800	1.60	0.00	0.00	-115.99	-0.001	-0.021	0.021
9	0.900	1.80	0.00	0.00	-115.99	0.000	-0.011	0.011
10	1.000	2.00	0.00	0.00	-115.99	0.000	0.000	0.000

**Maksimalverdi for element 14**

maxM= 0.000 kNm, minM= 0.000 kNm  
maxV= 0.000 kN, minV= 0.000 kN  
maxN= -115.994 kN, minN= -115.994 kN  
maxd= 0.00000 mm



**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 15**

n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]	d [mm]
0	0.000	0.00	0.00	0.00	-32.93	-0.004	-0.030	0.031
1	0.100	0.20	0.00	0.00	-32.93	-0.004	-0.027	0.028
2	0.200	0.40	0.00	0.00	-32.93	-0.003	-0.024	0.025
3	0.300	0.60	0.00	0.00	-32.93	-0.003	-0.021	0.022
4	0.400	0.80	0.00	0.00	-32.93	-0.003	-0.018	0.019
5	0.500	1.00	0.00	0.00	-32.93	-0.002	-0.015	0.015
6	0.600	1.20	0.00	0.00	-32.93	-0.002	-0.012	0.012
7	0.700	1.40	0.00	0.00	-32.93	-0.001	-0.009	0.009
8	0.800	1.60	0.00	0.00	-32.93	-0.001	-0.006	0.006
9	0.900	1.80	0.00	0.00	-32.93	0.000	-0.003	0.003
10	1.000	2.00	0.00	0.00	-32.93	0.000	0.000	0.000

**Maksimalverdi for element 15**

maxM= 0.000 kNm, minM= 0.000 kNm  
maxV= 0.000 kN, minV= 0.000 kN  
maxN= -32.928 kN, minN= -32.928 kN  
maxd= 0.00000 mm

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 16**

n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]	d [mm]
0	0.000	0.00	0.00	0.00	-114.01	-0.002	-0.106	0.106
1	0.100	0.20	0.00	0.00	-114.01	-0.002	-0.095	0.095
2	0.200	0.40	0.00	0.00	-114.01	-0.002	-0.084	0.084
3	0.300	0.60	0.00	0.00	-114.01	-0.002	-0.074	0.074
4	0.400	0.80	0.00	0.00	-114.01	-0.002	-0.063	0.063
5	0.500	1.00	0.00	0.00	-114.01	-0.001	-0.053	0.053
6	0.600	1.20	0.00	0.00	-114.01	-0.001	-0.042	0.042
7	0.700	1.40	0.00	0.00	-114.01	-0.001	-0.032	0.032
8	0.800	1.60	0.00	0.00	-114.01	0.000	-0.021	0.021
9	0.900	1.80	0.00	0.00	-114.01	0.000	-0.011	0.011
10	1.000	2.00	0.00	0.00	-114.01	0.000	0.000	0.000

**Maksimalverdi for element 16**

maxM= 0.000 kNm, minM= 0.000 kNm  
maxV= 0.000 kN, minV= 0.000 kN  
maxN= -114.011 kN, minN= -114.011 kN  
maxd= 0.00000 mm

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 17**

n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]	d [mm]
0	0.000	0.00	0.00	0.00	-453.02	-0.001	-0.419	0.419
1	0.100	0.20	0.00	0.00	-453.02	-0.001	-0.378	0.378
2	0.200	0.40	0.00	0.00	-453.02	-0.001	-0.336	0.336
3	0.300	0.60	0.00	0.00	-453.02	-0.001	-0.294	0.294
4	0.400	0.80	0.00	0.00	-453.02	-0.001	-0.252	0.252
5	0.500	1.00	0.00	0.00	-453.02	-0.001	-0.210	0.210
6	0.600	1.20	0.00	0.00	-453.02	-0.001	-0.168	0.168
7	0.700	1.40	0.00	0.00	-453.02	0.000	-0.126	0.126
8	0.800	1.60	0.00	0.00	-453.02	0.000	-0.084	0.084
9	0.900	1.80	0.00	0.00	-453.02	0.000	-0.042	0.042
10	1.000	2.00	0.00	0.00	-453.02	0.000	0.000	0.000

**Maksimalverdi for element 17**

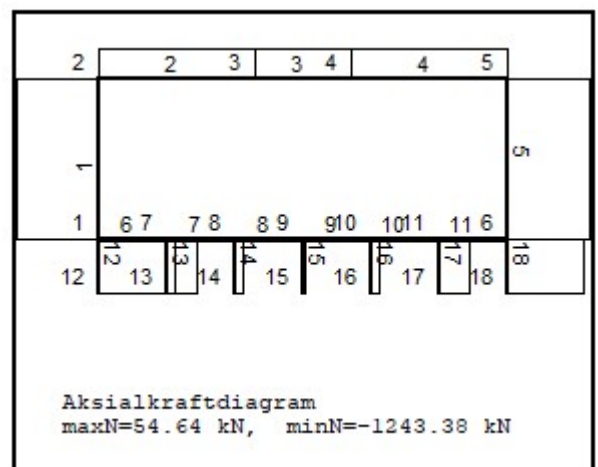
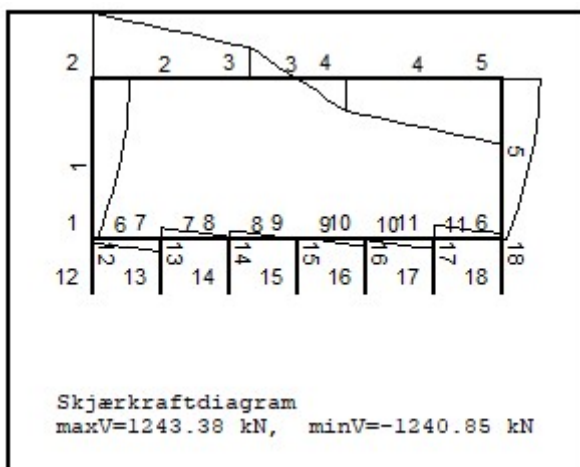
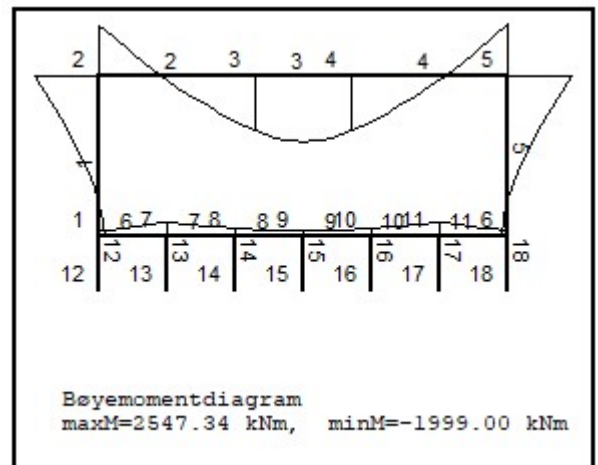
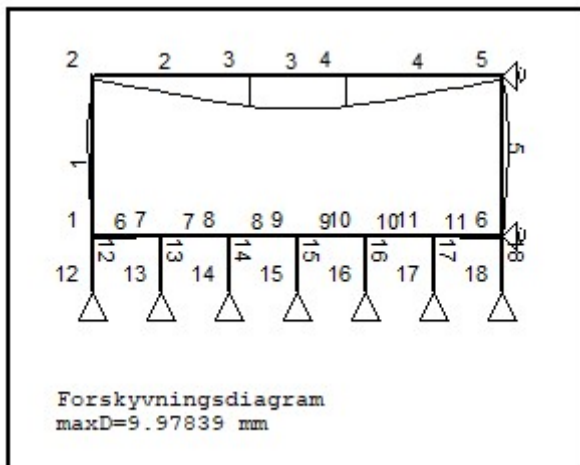
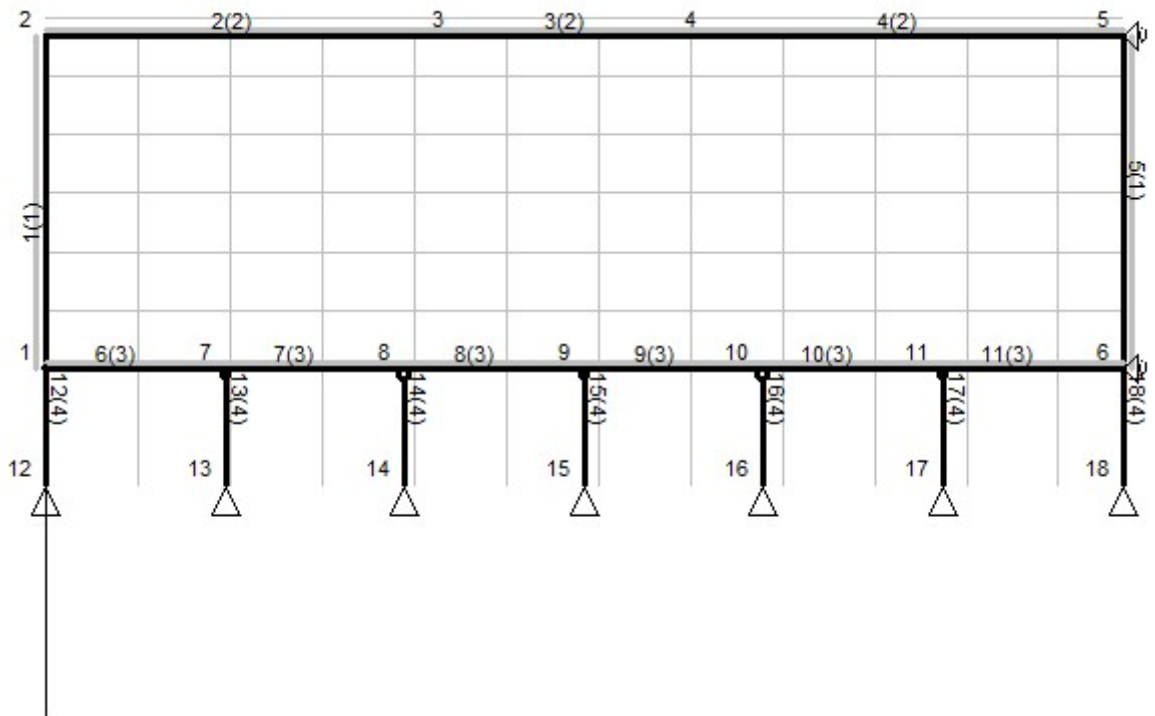
maxM= 0.000 kNm, minM= 0.000 kNm  
maxV= 0.000 kN, minV= 0.000 kN  
maxN= -453.022 kN, minN= -453.022 kN  
maxd= 0.00000 mm

**Diagrammer M, V, N, og forskyvninger d av element 18**

n	x/l	x [m]	M [kNm]	V [kN]	N [kN]	dx [mm]	dy [mm]	d [mm]
0	0.000	0.00	0.04	0.02	-1160.64	0.000	-1.075	1.075
1	0.100	0.20	0.04	0.02	-1160.64	-0.068	-0.967	0.970
2	0.200	0.40	0.03	0.02	-1160.64	-0.114	-0.860	0.867
3	0.300	0.60	0.03	0.02	-1160.64	-0.142	-0.752	0.766
4	0.400	0.80	0.03	0.02	-1160.64	-0.153	-0.645	0.663
5	0.500	1.00	0.02	0.02	-1160.64	-0.149	-0.537	0.557
6	0.600	1.20	0.02	0.02	-1160.64	-0.134	-0.430	0.450
7	0.700	1.40	0.01	0.02	-1160.64	-0.109	-0.322	0.340
8	0.800	1.60	0.01	0.02	-1160.64	-0.076	-0.215	0.228
9	0.900	1.80	0.00	0.02	-1160.64	-0.039	-0.107	0.114
10	1.000	2.00	0.00	0.02	-1160.64	0.000	0.000	0.000

**Maksimalverdi for element 18**

maxM= 0.043 kNm, minM= 0.000 kNm  
 maxV= 0.021 kN, minV= 0.021 kN  
 maxN= -1160.637 kN, minN= -1160.637 kN  
 maxd= 1.07466 mm

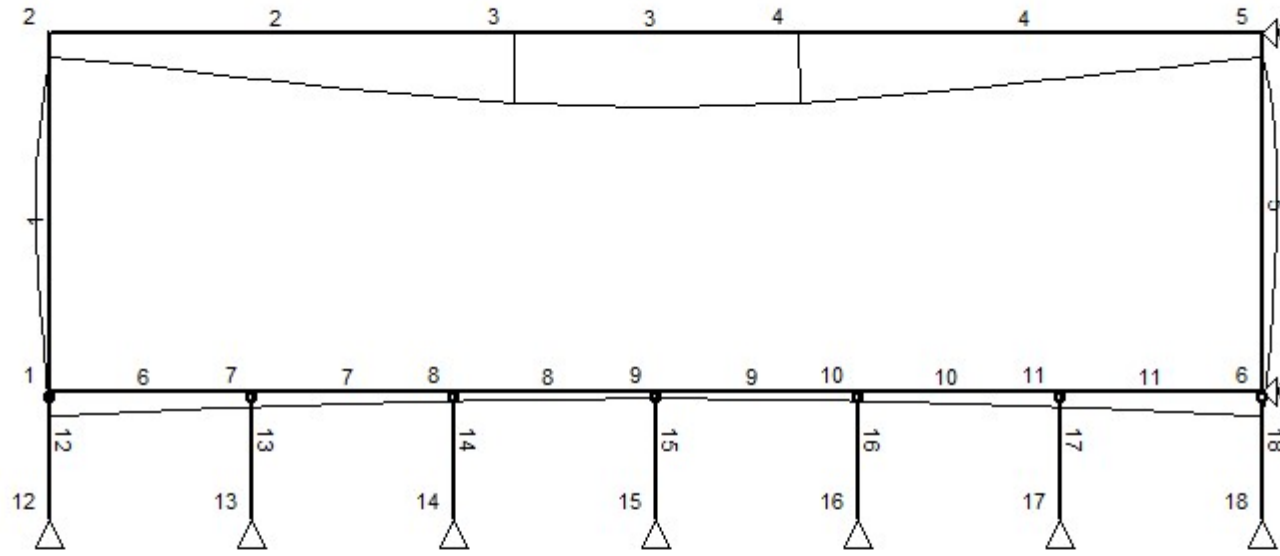


**FRAME-2-02 03 2017****Knutepunktsforskyvninger**

Kn. P.	ux [mm]	uy [mm]	ur [rad]
1	0.04568	-11.55043	-0.00213
2	0.17955	-11.78681	0.00439
3	0.11091	-34.19991	0.00294
4	0.06865	-34.19908	-0.00294
5	0.00000	-11.81386	-0.00437
6	0.00000	-11.57727	0.00215
7	0.03807	-7.32964	-0.00200
8	0.03045	-4.23465	-0.00111
9	0.02284	-3.14184	0.00000
10	0.01523	-4.23553	0.00111
11	0.00761	-7.33759	0.00201
12	0.00000	0.00000	0.00002
13	0.00000	0.00000	0.00002
14	0.00000	0.00000	0.00002
15	0.00000	0.00000	0.00001
16	0.00000	0.00000	0.00001
17	0.00000	0.00000	0.00000
18	0.00000	0.00000	0.00000

**Opplagerkrefter**

Kn. P.	Fx [kN]	Fy [kN]	M [kNm]
5	1.916	-0.001	0.000
6	-1.916	0.001	0.001
12	0.000	664.612	0.000
13	0.000	421.747	0.000
14	0.000	243.662	0.000
15	0.000	180.782	0.000
16	0.000	243.712	0.000
17	0.000	422.205	0.000
18	0.000	666.156	0.000



Forskyvningsdiagram

maxD=36.28170 mm

# Vedlegg 4

Overdekning

### **Beregning av overdekning inne i kulverten:**

Eksponeringsklasse = XS2

Bestandighetsklasse = MF40

Nominell overdekning:  $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$

$$c_{min} = 50 \text{ mm} \qquad \Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 50 + 10 = 60$$

### **Beregning av overdekning utvendig:**

Eksponeringsklasse = XC1

Bestandighetsklasse = MF40

Nominell overdekning:  $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$

$$c_{min} = 25 \text{ mm} \qquad \Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 25 + 10 = 35$$

# Vedlegg 5

Armeringsbergninger



## ARMERINGSBEREGNINGER

I dette vedlegget finner du beregning av armering.

### Beregning av armering i bunnplate U.K

$$M_{Ed} = 521,413 \text{ kNm/m}$$

$$C_{nom} = 60 \text{ mm}$$

#### 1. Trykksoneens momentkapasitet

$$M_{Rd} = k \times f_{cd} \times b \times d^2$$

$$k = 0,275$$

$$f_{cd} = 25,5 \text{ MPa}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$d = 800 - \left(60 + \frac{16}{2}\right) = 732 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = 0,275 \times 25,5 \times 1000 \times 732^2 = 3757,46 \text{ kNm/m}$$

$M_{Rd} > M_{Ed} \Rightarrow$  trykksone delvis utnyttet  $\Rightarrow$  bare strekkarmering påkrevd

#### 2. Nødvendig armering

$$A_{s,n} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \times z}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15}$$

$$z = \left(1 - c \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right) \times d = \left(1 - 0,17 \times \frac{521,41}{3757,46}\right) \times 732 = 714,73$$

$c = 0,17$  hentet fra tabell 4.5 betongkonstruksjoner

$$A_{s,n} = \frac{521,41 \times 10^6}{\frac{500}{1,15} \times 714,72} = 1677,91 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\text{Antall armering } n = \frac{A_{s,n}}{A_{\varphi 16}} = \frac{1677,91}{\pi 8^2} = 8,3 \text{ stk/m} \approx 9 \text{ stk/m}$$

$$\text{Armering: } A = 9\varphi 16 = 9 \times \pi \times 8^2 = 1809,56 \text{ mm}^2/\text{m}$$

### 3. Senteravstand mellom armering

$$s = \frac{1000}{9} = 111 \text{ mm} \approx 110 \text{ mm}$$

$$a_h = 110 - 16 = 94 \text{ mm}$$

### 4. Kontroll av tillatt armeringsmengde

Minimumarmering:

$$A_s \geq A_{s,min} = 0,26 \times b \times d \times \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \geq 0,0013 \times b \times d$$

$$A_s \geq 0,26 \times 1000 \times 732 \times \frac{3,8}{500} \geq 0,0013 \times 1000 \times 732$$

$$A_s \geq 1809,56 > 1446,43 > 951,6$$

OK!

Maksimum armering

$$A_s \leq A_{s,max} = 0,04 \times A_c = 0,04 \times 800 \times 1000 = 32000 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$A_s \leq A_{s,max} = 1809,56 \text{ mm}^2/\text{m} < \text{mm}^2/\text{m}$$

OK!

### 5. Fordelingsarmering: FA= 20% av H.A

$$F.A = 0,2 \times 1809,56 = 361,91 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\text{Antall: } n = \frac{361,91}{\pi \times 6^2} = \frac{3,19 \text{ stk}}{m} \approx \frac{4 \text{ stk}}{m}$$

$$\text{Senteravstand: } s = \frac{1000}{4} = 250 \text{ mm}$$

### 6. Resultat:

$$H.A = 9\varphi 16 s 110$$

$$F.A = 5\varphi 12 s 250$$

## Beregning av armering i bunnplate O.K

$$M_{Ed} = 459,38 \text{ kNm/m}$$

$$C_{nom} = 60 \text{ mm}$$

### 1. Trykksoneens momentkapasitet

$$M_{Rd} = k \times f_{cd} \times b \times d^2$$

$$k = 0,275$$

$$f_{cd} = 25,5 \text{ MPa}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$d = 800 - \left(60 + \frac{16}{2}\right) = 732 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = 0,275 \times 25,5 \times 1000 \times 732^2 = 3757,47 \text{ kNm/m}$$

$M_{Rd} > M_{Ed} \Rightarrow$  trykksone delvis utnyttet  $\Rightarrow$  bare strekkarmering påkrevd

### 2. Nødvendig armering

$$A_{s,n} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \times z}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15}$$

$$z = \left(1 - c \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right) \times d = \left(1 - 0,17 \times \frac{559,38}{3757,47}\right) \times 732 = 716,79$$

$c = 0,17$  hentet fra tabell 4.5 betongkonstruksjoner

$$A_{s,n} = \frac{459,38 \times 10^6}{\frac{500}{1,15} \times 716,79} = 1474,04 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\text{Antall armering } n = \frac{A_{s,n}}{A_{\varphi 16}} = \frac{1474,04}{\pi 8^2} = 7,33 \text{ stk/m} \approx 8 \text{ stk/m}$$

$$\text{Armering: } A = 8\varphi 16 = 8 \times \pi \times 8^2 = 1608,50 \text{ mm}^2/\text{m}$$

### 3. Senteravstand mellom armering

$$s = \frac{1000}{8} = 125mm$$

Krav ah

$$a_h \geq \max\{2\varphi; d_g + 5; 20mm\}$$

$$a_h \geq \max\{32; 27; 20mm\}$$

$$a_h = 125 - 16 = 109mm \geq 32$$

OK!

### 4. Kontroll av tillatt armeringsmengde

Minimumarmering:

$$A_s \geq A_{s,min} = 0,26 \times b \times d \times \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \geq 0,0013 \times b \times d$$

$$A_s \geq 0,26 \times 1000 \times 732 \times \frac{3,8}{500} \geq 0,0013 \times 1000 \times 732$$

$$A_s = 1446,43 > 1387,15 > 951,6$$

OK!

Maksimum armering

$$A_s \leq A_{s,max} = 0,04 \times A_c = 0,04 \times 800 \times 1000 = 32000mm^2/m$$

$$A_s = 1446,43mm^2/m \leq A_{s,max} = 1809,56mm^2/m$$

OK!

### 5. Fordelingsarmering: FA= 20% av H.A

$$F.A = 0,2 \times 1446,43 = 289,29mm^2/m$$

$$\text{Antall: } n = \frac{289,29}{\pi \times 6^2} = \frac{2,56stk}{m} \approx \frac{3stk}{m}$$

$$\text{Senteravstand: } s = \frac{1000}{3} = 330mm$$

## 6. Resultat:

$$H.A = 8\phi 16s125$$

$$F.A = 3\phi 12s125$$

### Beregning av armering i vegg innside kulvert

$$M_{Ed} = 216,54 \text{ kNm/m}$$

$$C_{nom} = 60 \text{ mm}$$

#### 1. Trykksoneens momentkapasitet

$$M_{Rd} = k \times f_{cd} \times b \times d^2$$

$$k = 0,275$$

$$f_{cd} = 25,5 \text{ MPa}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$d = 600 - \left(60 + \frac{16}{2}\right) = 532 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = 0,275 \times 25,5 \times 1000 \times 532^2 = 1984,71 \text{ kNm/m}$$

$M_{Rd} > M_{ed} \Rightarrow$  trykksone delvis utnyttet  $\Rightarrow$  bare strekkarmering påkrevd

#### 2. Nødvendig armering

$$A_{s,n} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \times z}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15}$$

$$z = \left(1 - c \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right) \times d = \left(1 - 0,17 \times \frac{216,54}{1984,71}\right) \times 532 = 522,13$$

$c = 0,17$  hentet fra tabell 4.5 betongkonstruksjoner

$$A_{s,n} = \frac{216,54 \times 10^6}{\frac{500}{1,15} \times 522,13} = 953,87 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\text{Antall armering } n = \frac{A_{s,n}}{A\varphi 16} = \frac{953,87}{\pi 8^2} = 4,75 \text{stk/m} \approx 5 \text{stk/m}$$

$$\text{Armering: } A = 5\varphi 16 = 5 \times \pi \times 8^2 = 1005,31 \text{mm}^2/\text{m}$$

### 3. Senteravstand mellom armering

$$s = \frac{1000}{5} = 200 \text{mm}$$

Krav ah

$$a_h \geq \max\{2\varphi; d_g + 5; 20\text{mm}\}$$

$$a_h \geq \max\{32; 27; 20\text{mm}\}$$

$$a_h = 200 - 16 = 184 \text{mm} \geq 32$$

OK!

### 4. Kontroll av tillatt armeringsmengde

Minimumarmering:

$$A_s \geq A_{s,min} = 0,26 \times b \times d \times \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \geq 0,0013 \times b \times d$$

$$A_s \geq 0,26 \times 1000 \times 532 \times \frac{3,8}{500} \geq 0,0013 \times 1000 \times 532$$

$$A_s = 1005,31 < 1051,23 > 691,6$$

IKKE OK!

Kravene er ikke oppfylt og vi bruker derfor:

$$A_{s,min} = 1051,23$$

$$\text{Antall armering } n = \frac{A_{s,n}}{A\varphi 16} = \frac{1051,23}{\pi 8^2} = 5,23 \text{stk/m} \approx 6 \text{stk/m}$$

$$\text{Armering: } A = 6\varphi 16 = 6 \times \pi \times 8^2 = 1206,37 \text{mm}^2/\text{m}$$

Maksimum armering

$$A_s \leq A_{s,max} = 0,04 \times A_c = 0,04 \times 600 \times 1000 = 24000 \text{mm}^2/\text{m}$$

$$A_s = 1206,37 \text{mm}^2/\text{m} \leq A_{s,max} = 1809,56 \text{mm}^2/\text{m}$$

OK!

### 5. Fordelingsarmering: FA= 20% av H.A

$$F.A = 0,2 \times 1206,37 = 241,26 \text{mm}^2/\text{m}$$

$$\text{Antall: } n = \frac{241,26}{\pi \times 6^2} = \frac{2,13 \text{stk}}{\text{m}} \approx \frac{3 \text{stk}}{\text{m}}$$

$$\text{Senteravstand: } s = \frac{1000}{3} = 330 \text{mm}$$

### 6. Resultat:

$$H.A = 6\phi 16s160$$

$$F.A = 3\phi 12s330$$

## Beregning av armering i vegg utside

$$M_{Ed} = 730,63 \text{ kNm/m}$$

$$C_{nom} = 35 \text{mm}$$

### 1. Trykksoneens momentkapasitet

$$M_{Rd} = k \times f_{cd} \times b \times d^2$$

$$k = 0,275$$

$$f_{cd} = 25,5 \text{ MPa}$$

$$b = 1000 \text{mm}$$

$$d = 600 - \left(35 + \frac{16}{2}\right) = 557 \text{mm}$$

$$M_{Rd} = 0,275 \times 25,5 \times 1000 \times 557^2 = 2175,62 \text{ kNm/m}$$

$M_{Rd} > M_{ed} \Rightarrow$  trykksone delvis utnyttet  $\Rightarrow$  bare strekkarmering påkrevd

## 2. Nødvendig armering

$$A_{s,n} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \times z}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15}$$

$$z = \left(1 - c \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right) \times d = \left(1 - 0,17 \times \frac{730,63}{2175,62}\right) \times 557 = 525,2$$

$c = 0,17$  hentet fra tabell 4.5 betongkonstruksjoner

$$A_{s,n} = \frac{730,63 \times 10^6}{\frac{500}{1,15} \times 525,2} = 3199,64 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\text{Antall armering } n = \frac{A_{s,n}}{A_{\varphi 16}} = \frac{3199,44}{\pi 8^2} = 15,9 \text{ stk/m} \approx 16 \text{ stk/m}$$

$$\text{Armering: } A = 16\varphi 16 = 16 \times \pi \times 8^2 = 3216,99 \text{ mm}^2/\text{m}$$

## 3. Senteravstand mellom armering

$$s = \frac{1000}{16} = 62,5 \text{ mm} \approx 60 \text{ mm}$$

Krav ah

$$a_h \geq \max\{2\varphi; d_g + 5; 20 \text{ mm}\}$$

$$a_h \geq \max\{32; 27; 20 \text{ mm}\}$$

$$a_h = 60 - 16 = 44 \text{ mm} \geq 32$$

OK!

## 4. Kontroll av tillatt armeringsmengde

Minimumarmering:

$$A_s \geq A_{s,min} = 0,26 \times b \times d \times \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \geq 0,0013 \times b \times d$$



$$A_s \geq 0,26 \times 1000 \times 557 \times \frac{3,8}{500} \geq 0,0013 \times 1000 \times 557$$

$$A_s = 3216,99 > 1100,63 > 724,1$$

OK!

Maksimum armering

$$A_s \leq A_{s,max} = 0,04 \times A_c = 0,04 \times 600 \times 1000 = 24000 \text{mm}^2/\text{m}$$

$$A_s = 3216,99 \text{mm}^2/\text{m} \leq A_{s,max} = 24000 \text{mm}^2/\text{m}$$

OK!

### 5. Fordelingsarmering: FA= 20% av H.A

$$F.A = 0,2 \times 3216,99 = 643,39 \text{mm}^2/\text{m}$$

$$\text{Antall: } n = \frac{643,39}{\pi \times 6^2} = \frac{5,6 \text{stk}}{\text{m}} \approx \frac{6 \text{stk}}{\text{m}}$$

$$\text{Senteravstand: } s = \frac{1000}{6} = 166 \text{mm} \approx 170 \text{mm}$$

### 6. Resultat:

$$H.A = 16\phi 16s60$$

$$F.A = 6\phi 12s170$$

## Toppplate U.K

$$M_{Ed} = 730,39 \text{ kNm/m}$$

$$C_{nom} = 60 \text{mm}$$

### 1. Trykksjonens momentkapasitet

$$M_{Rd} = k \times f_{cd} \times b \times d^2$$

$$k = 0,275$$

$$f_{cd} = 25,5 \text{ MPa}$$

$$b = 1000 \text{mm}$$

$$d = 700 - \left(60 + \frac{16}{2}\right) = 632 \text{mm}$$

$$M_{Rd} = 0,275 \times 25,5 \times 1000 \times 632^2 = 2800,96 \text{ kNm/m}$$

$M_{Rd} > M_{ed} \Rightarrow$  trykksone delvis utnyttet  $\Rightarrow$  bare strekkarmering påkrevd

## 2. Nødvendig armering

$$A_{s,n} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \times z}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15}$$

$$z = \left(1 - c \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right) \times d = \left(1 - 0,17 \times \frac{730,39}{2800,96}\right) \times 632 = 603,98 \text{ mm}$$

$c = 0,17$  hentet fra tabell 4.5 betongkonstruksjoner

$$A_{s,n} = \frac{730,39 \times 10^6}{\frac{500}{1,15} \times 603,98} = 2781,39 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\text{Antall armering } n = \frac{A_{s,n}}{A_{\varphi 16}} = \frac{2781,39}{\pi 8^2} = 13,84 \text{ stk/m} \approx 14 \text{ stk/m}$$

$$\text{Armering: } A = 14\varphi 16 = 14 \times \pi \times 8^2 = 2814,86 \text{ mm}^2/\text{m}$$

## 3. Senteravstand mellom armering

$$s = \frac{1000}{14} = 71,44 \text{ mm} \approx 70 \text{ mm}$$

$$a_h = 70 - 16 = 54 \text{ mm}$$

## 4. Kontroll av tillatt armeringsmengde

Minimumarmering:

$$A_s \geq A_{s,min} = 0,26 \times b \times d \times \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \geq 0,0013 \times b \times d$$

$$A_s \geq 0,26 \times 1000 \times 632 \times \frac{3,8}{500} \geq 0,0013 \times 1000 \times 632$$

$$A_s = 2814,86 \text{ mm}^2/\text{m} > 1248,83 \text{ mm}^2/\text{m} > 821,6 \text{ mm}^2/\text{m}$$

OK!

Maksimum armering

$$A_s \leq A_{s,max} = 0,04 \times A_c = 0,04 \times 700 \times 1000 = 28000 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$A_s = 2814,86 \text{ mm}^2/\text{m} \leq A_{s,max} = 28000 \text{ mm}^2/\text{m}$$

OK!

### 5. Fordelingsarmering: FA= 20% av H.A

$$F.A = 0,2 \times 2814,86 = 562,97 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\text{Antall: } n = \frac{562,97}{\pi \times 6^2} = \frac{4,97 \text{ stk}}{m} \approx \frac{5 \text{ stk}}{m}$$

$$\text{Senteravstand: } s = \frac{1000}{5} = 200 \text{ mm}$$

### 6. Resultat:

$$H.A = 14\varnothing 16s70$$

$$F.A = 5\varnothing 12s200$$

## Topplate O.K

$$M_{Ed} = 732,82 \text{ kNm/m}$$

$$C_{nom} = 35 \text{ mm}$$

### 1. Trykksjonens momentkapasitet

$$M_{Rd} = k \times f_{cd} \times b \times d^2$$

$$k = 0,275$$

$$f_{cd} = 25,5 \text{ MPa}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$d = 700 - \left( 35 + \frac{16}{2} \right) = 657 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = 0,275 \times 25,5 \times 1000 \times 657^2 = 3026,93 \text{ kNm/m}$$

$M_{Rd} > M_{ed} \Rightarrow$  trykksone delvis utnyttet  $\Rightarrow$  bare strekkarmering påkrevd

## 2. Nødvendig armering

$$A_{s,n} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \times z}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15}$$

$$z = \left(1 - c \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right) \times d = \left(1 - 0,17 \times \frac{732,82}{3026,93}\right) \times 657 = 629,96 \text{ mm}$$

$c = 0,17$  hentet fra tabell 4.5 betongkonstruksjoner

$$A_{s,n} = \frac{732,82 \times 10^6}{\frac{500}{1,15} \times 629,96} = 2675,54 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\text{Antall armering } n = \frac{A_{s,n}}{A_{\varphi 16}} = \frac{2675,54}{\pi 8^2} = 13,31 \text{ stk/m} \approx 14 \text{ stk/m}$$

$$\text{Armering: } A = 14\varphi 16 = 14 \times \pi \times 8^2 = 2814,86 \text{ mm}^2/\text{m}$$

## 3. Senteravstand mellom armering

$$s = \frac{1000}{14} = 71,44 \text{ mm} \approx 70 \text{ mm}$$

$$a_h = 70 - 16 = 54 \text{ mm}$$

## 4. Kontroll av tillatt armeringsmengde

Minimumarmering:

$$A_s \geq A_{s,min} = 0,26 \times b \times d \times \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \geq 0,0013 \times b \times d$$

$$A_s \geq 0,26 \times 1000 \times 657 \times \frac{3,8}{500} \geq 0,0013 \times 1000 \times 657$$

$$A_s = 2814,86\text{mm}^2/\text{m} > 1298,23\text{mm}^2/\text{m} > 854,10\text{mm}^2/\text{m}$$

OK!

Maksimum armering

$$A_s \leq A_{s,max} = 0,04 \times A_c = 0,04 \times 700 \times 1000 = 28000\text{mm}^2/\text{m}$$

$$A_s = 2814,86\text{mm}^2/\text{m} \leq A_{s,max} = 28000\text{mm}^2/\text{m}$$

OK!

#### 5. Fordelingsarmering: FA= 20% av H.A

$$F.A = 0,2 \times 2814,86 = 562,97\text{mm}^2/\text{m}$$

$$\text{Antall: } n = \frac{562,97}{\pi \times 6^2} = \frac{4,97\text{stk}}{m} \approx \frac{5\text{stk}}{m}$$

$$\text{Senteravstand: } s = \frac{1000}{5} = 200\text{mm}$$

#### 6. Resultat:

$$H.A = 14\phi 16s70$$

$$F.A = 5\phi 12s200$$

#### Nedtrapping av armering mot midten av topplate O.K.

For å spare på armering kan man redusere mengden armering mot midten av topplaten, på overkanten.

Vi velger her å bruke armering 14 $\phi$ 12 i stede for 14 $\phi$ 16. For å beregne dette ser man på momentet på ulike områder inn på topplaten, og ser hvor mengden armering for 14 $\phi$ 12 er tilstrekkelig i forhold til momentet.

1) Momentet 0,8m inn på topplaten:

$$M_{Ed,0,8} = 416,80\text{kNm}/\text{m}$$

Nødvendig armering:

$$A_{s,n} = \frac{M_{Ed,0,8}}{\frac{f_{yk}}{\gamma_s} \times z}$$

$$z = \left(1 - c \frac{M_{Ed,0,8}}{M_{Rd}}\right) \times d = \left(1 - 0,17 \frac{416,80}{3026,90}\right) \times 657 = 641,62 \text{ mm}$$

$$A_{s,n} = \frac{416,80 \times 10^6}{\frac{500}{1,15} \times 641,62} = 1494,09 \text{ mm}^2/\text{m} < A_s = 14 \times \pi \times 6^2 = 1583,36 \text{ mm}^2/\text{m}$$

2) Momentet 0,75m inn på topplaten:

$$M_{Ed,0,75} = 451,25 \text{ kNm/m}$$

Nødvendig armering:

$$A_{s,n} = \frac{M_{Ed,0,75}}{\frac{f_{yk}}{\gamma_s} \times z}$$

$$z = \left(1 - c \frac{M_{Ed,0,75}}{M_{Rd}}\right) \times d = \left(1 - 0,17 \frac{451,256}{3026,90}\right) \times 657 = 640,35 \text{ mm}$$

$$A_{s,n} = \frac{451,25 \times 10^6}{\frac{500}{1,15} \times 640,35} = 1620,79 \text{ mm}^2/\text{m} > A_s = 14 \times \pi \times 6^2 = 1583,36 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Konklusjon: Mellom 0,75 og 0,8 meter inn på topplaten kan man bytte armering fra 14φ16 til 14φ12

# Vedlegg 6

Kontroll og beregning av skjærarmering

## KONTROLL AV SKJÆRARMERING

I dette vedlegget ligger hele fremgangsmåten og beregning av skjærarmering.

### Skjærkapasitet bunnplate

$$V_{Ed} = 448,9kN \quad (\text{aksellast plassert i høyre hjørne})$$

$$V_{Rd} = C_{Rd} \times k \times (100 \times \rho \times f_{ck})^{1/3} \times b \times d$$

$$d = 800 - \left(35 + \frac{20 + 16}{2}\right) = 747mm$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{747}} = 1,52$$

$$C_{Rd} = \frac{k_2}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d}, \quad A_s = 9\varphi 16 + 16\varphi 20 = 9\pi 8^2 + 16\pi 10^2 = 6836,1mm^2$$

$$\rho = \frac{6836,1}{1000 \times 747} = 0,0091$$

$$V_{Rd} = 0,12 \times 1,52(100 \times 0,0091 \times 45)^{\frac{1}{3}} \times 1000 \times 747 = 469,63kN$$

Krav:

$$V_{Rd} = 469,63kN > V_{Ed} = 448,9kN \quad \text{OK, ikke behov for skjærarmering!}$$

### Skjærkapasitet nedre vegg:

Det er vanlig å armere nedre deler av kulverten i lengde retning litt kraftigere for å ta opp tvangskrefter:

Legger derfor inn ekstra armering med  $\varphi 20$

$$16 \varphi 20 = 5062,54mm^2/m$$

$$16 \varphi 16 = 3216,99mm^2/m$$

$$A_s = 5062,54 + 3216,99 = 8248,58mm^2$$

$$V_{Ed} = 149,7kN \quad (\text{aksellast plassert på midten})$$

$$V_{Rd} = C_{Rd} \times k \times (100 \times \rho \times f_{ck})^{1/3} \times b \times d$$

$$d = 600 - \left(35 + \frac{16 + 20}{2}\right) = 547mm$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = \sqrt{\frac{200}{547}} = 1,6$$



$$C_{Rd} = \frac{k_2}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12, \quad b_w = 1000mm$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{8248,58}{1000 \times 547} = 0,015$$

$$V_{Rd} = 0,12 \times 1,6(100 \times 0,015 \times 45)^{\frac{1}{3}} \times 1000 \times 547 = 427,61kN$$

Krav:

$$V_{Rd} = 427,61kN > V_{Ed} = 149,7kN \quad \text{OK, ikke behov for skjærarmering!}$$

### Skjærkapasitet øvre vegg

$$V_{Ed} = 293,63kN \quad (\text{aksellast plassert i høyre hjørne})$$

$$V_{Rd} = C_{Rd} \times k \times (100 \times \rho \times f_{ck})^{1/3} \times b \times d$$

$$d = 600 - \left(35 + \frac{16}{2}\right) = 557mm$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{557}} = 1,6$$

$$C_{Rd} = \frac{k_2}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12 \quad b_w = 1000mm$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d}, \quad A_s = 16\phi 16 = 16\pi 8^2 = 3216,99mm^2$$

$$\rho = \frac{3216,99}{1000 \times 557} = 0,0058$$

$$V_{Rd} = 0,12 \times 1,6(100 \times 0,0058 \times 45)^{\frac{1}{3}} \times 1000 \times 557 = 317,23kN$$

Krav:

$$V_{Rd} = 317,23kN > V_{Ed} = 293,63kN \quad \text{OK, ikke behov for skjærarmering!}$$

### Skjærkapasitet topplate

$$V_{Ed} = 547,65kN \quad (\text{aksellast plassert i høyre hjørne})$$

$$V_{Rd} = C_{Rd} \times k \times (100 \times \rho \times f_{ck})^{1/3} \times b \times d$$

$$d = 1200 - \left(35 + \frac{16}{2}\right) = 1157mm$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{1157}} = 1,42 \quad f_{ck} = 45MPa$$

$$C_{Rd} = \frac{k_2}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12 \quad b_w = 1000mm$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d}, \quad A_s = 16\phi 16 = 16\pi 8^2 = 3216,99 \text{ mm}^2$$

$$\rho = \frac{3216,99}{1000 \times 1157} = 0,0028$$

$$V_{Rd} = 0,12 \times 1,42(100 \times 0,0028 \times 45)^{\frac{1}{3}} \times 1000 \times 1157 = 458,77 \text{ kN}$$

Krav:

$$V_{Rd} = 458,77 \text{ kN} < V_{Ed} = 547,65 \text{ kN} \quad \text{Behov for skjærarmering!}$$

### Beregning av skjærarmering i topplaten:

$$\frac{A_{s,w}}{S} = \frac{V_{Ed}}{f_{ywd} \times z \times \cot\theta}$$

- $V_{Ed} = 547,65 \text{ kN/m}$
- $A_{s,w}$  = Nødvendig armering i forhold til dimensjonerende sjærkraft
- $S$  = Senteravstand mellom skjærarmering
- $f_{ywd} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa}$
- Beregner  $z$  i forhold til at tykkelsen på topplaten øker i enden fra 700mm til 1200mm  
 $z = 0,9 \times d = 0,9 \times \left(1200 - 35 - \frac{16}{2}\right) = 1041,30 \text{ mm}$
- Velger  $\cot\theta = 2,0$  da dette gir minst skjærarmeringstverrsnitt

$$\frac{A_{s,w}}{S} = \frac{547,65 \times 10^3}{434,78 \times 1041,30 \times 2} = 0,6 \text{ mm}^2 / \text{mm}$$

Prøver med armering  $A_{s,w} = 4\phi 12 = 452,39 \text{ mm}^2$  og  $S = 500 \text{ mm}$

$$\frac{A_{s,w}}{S} = \frac{452,39}{500} = 0,9 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}} > 0,6 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}} \quad \text{OK!}$$

# Vedlegg 7

Beregning og kontroll av riss

## RISSBEREGNING

I dette vedlegget ligger hele fremgangsmåten og beregning for kontroll av riss. Det første vi har beregnet i dette vedlegget er  $E_c$ -middel som vi benytter i videre rissberegning.

### Beregning av $E_c$ -middel med hensyn på permanente laster:

$E_{cm} = 36\,000\text{ MPa}$  ( Tabell 3.1 NS-EN 1992-1-1)

Antar følgende lasthistorie:

- Egenlast påføres syv døgn etter støping,  $t_0 = 7\text{ døgn}$
- Variabel last påføres nitti dager etter støping,  $t_0 = 90\text{ døgn}$

Antar også at 50% av den variable lasten regnes som permanent last.

- 1) Kryttall under forutsetning av utendørsforhold etter EC2, fig 3.1b:

$$h_0 = \frac{2 \times A_c}{u}$$

$u$  = omkretsen av den delen som utsatt for uttørking. Anslår at hele tverrsnittet til betongtopplaten er utsatt for uttørking.

$$h_0 = \frac{2 \times 3000 \times 700}{2(3000 + 700)} = 567\text{ mm}$$

Med en  $h_0 = 567\text{ mm}$  og standard sementklasse S: B45, får vi fra figur:

- $\varphi(\infty, 7) \approx 1,9$
- $\varphi(\infty, 90) \approx 1,0$

- 2) Beregning av  $E_{c1}$  og  $E_{c2}$ :

$$E_{c1} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(\infty, 7)} = \frac{36000}{1 + 1,9} = 12\,413,79\text{ MPa}$$

$$E_{c2} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(\infty, 90)} = \frac{36000}{1 + 1,0} = 18\,000\text{ MPa}$$

- 3) Fra FEM-Design hentes det ut verdier for momentet for egenlast og 50% av den variable lasten, hvor dybden er 3 meter:

- $M_1 = 868,41\text{ kNm}$
- $M_2 = 1491,93\text{ kNm}$

4) Beregning av  $E_{c,middel}$

$$E_{c,middel} = \frac{M_1 + M_2}{\frac{M_1}{E_{c1}} + \frac{M_2}{E_{c2}}} = \frac{868,41 + 1491,93}{\frac{868,41}{12413,79} + \frac{1491,93}{18000}} = 15\,443,18 \text{ MPa}$$

### Rissberegning

Videre har vi beregnet tillatt rissvidde både innvendig og utvendig for så kontroll av riss.

### Tillatt rissvidde inne i kulverten

Eksponeeringsklasse = XS2

Bestandighetsklasse = MF40

Nominell overdekning:  $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$

$$c_{min} = 50 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 50 + 10 = 60$$

Tillatt rissvidde inne blir da:

$$w_{max} = 0,3 \times k_c$$

$$k_c = \frac{c_{nom}}{c_{min,dur}} = \frac{60}{50} = 1,2 \leq 1,3$$

**OK!**

$$w_{max} = 0,3 \times 1,2 = 0,36$$

### Kontroll av rissvidde

$$w = s_r \times (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_1 \times \frac{f_{ct,eff}}{p_{p,eff}} \times (1 + \eta p_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \times \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$k_1 = 0,4$  for langvarig belastning

$$\sigma_s = E_s \times \frac{M}{EI}$$

$$M = 730,39 \text{ kNm}$$

$$E_s = 200\,000 \text{ Mpa}$$

$$E_c = 15443,18 \text{ Mpa}$$

$$EI = E_c \times I_{c2} + E_s \times I_{s,2}$$

$$\eta = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{15443,18} = 12,95$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{2814,86}{1000 \times 632} = 4,45 \times 10^{-3}$$

$$\eta\rho = 12,95 \times 4,45 \times 10^{-3} = 0,057 \approx 0,06$$

$$\alpha = \sqrt{(\eta\rho)^2 + 2\eta\rho} - \eta\rho = \sqrt{0,06^2 + 2 \times 0,06} - 0,06 = 0,29$$

$$I_{c2} = \frac{b \times (\alpha \times d)^3}{3} = \frac{1000 \times (0,29 \times 632)^3}{3} = 2052220275$$

$$I_{s,2} = A_s((1 - \alpha) \times d)^2 = 2814,86 \times ((1 - 0,29) \times 632)^2 = 566775070,1$$

$$EI = 15443,18 \times 2052220275 + 200000 \times 566775070,1 = 1,45 \times 10^{14}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{200000 \times \frac{730,39 \times 10^6}{1,58 \times 10^{14}} - 0,4 \times \frac{3,8}{0,017} \times (1 + 12,95 \times 0,026)}{200000} = -5,4 \times 10^{-4}$$

$$p_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{2814,86}{170000} = 0,017$$

$$A_{c,eff} = b \times h_{c,eff}$$

$$h_{c,eff} = \min\left\{2,5(h - d); h - \frac{\alpha d}{3}; \frac{h}{2}\right\}$$

$$h_{c,eff} = \min\{170; 190; 350\}$$

$$\Rightarrow h_{c,eff} = 170$$

$$A_{c,eff} = 1000 \times 170 = 170000$$

$$f_{ctm} = 3,8 \text{ MPa}$$

Fordi  $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$  ikke er større eller lik  $0,6 \times \frac{\sigma_s}{E_s}$  bruker vi:

$$0,6 \times \frac{\sigma_s}{E_s} = \frac{0,6 \times 200000 \times \frac{730,39 \times 10^6}{1,45 \times 10^{14}}}{200000} = 3,2 \times 10^{-6}$$

$$s_{rmax} = k_3 \times c + k_1 \times k_2 \times k_4 \times \frac{\varphi}{p_{p,eff}}$$

$$k_3 = 3,4$$

$$c = \text{lengdearmeringens overdekning} = 60\text{mm}$$

$$k_1 = 0,8 \text{ kamstål}$$

$$k_2 = 0,5 \text{ for bøyning}$$

$$k_4 = 0,425$$

$$\varphi = \text{armeringsdiameter} = 16$$

$$s_{rmax} = 3,4 \times 60 + 0,8 \times 0,5 \times 0,425 \times \frac{16}{0,017} = 364$$

Vi får da riss:

$$w = 364 \times 3,2 \times 10^{-6} = 1,09 \times 10^{-3} \text{mm}$$

$$1,84 \times 10^{-5} \text{mm} \leq 0,36 \text{mm}$$

**OK!**

### **Tillatt rissvidde ut mot jorden:**

Eksponeeringsklasse = XC1

Bestandighetsklasse = MF40

Nominell overdekning:  $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$

$$c_{min} = 25 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 25 + 10 = 35$$

Tillatt rissvidde inne blir da:

$$w_{max} = 0,3 \times k_c$$

$$k_c = \frac{c_{nom}}{c_{min,dur}} = \frac{35}{25} = 1,4 \leq 1,3$$

$$\text{bruker: } k_c = 1,3$$

$$w_{max} = 0,3 \times 1,3 = 0,39$$

### **Kontroll av riss på plater ut mot jorden:**

$$w = s_r \times (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_1 \times \frac{f_{ct,eff}}{p_{p,eff}} \times (1 + \eta p_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \times \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$k_1 = 0,4 \text{ for langvarig belastning}$$

$$\sigma_s = E_s \times \frac{M}{EI}$$

$$M = 732,82 \text{ kNm}$$

$$E_s = 200\,000 \text{ Mpa}$$

$$E_c = 15443,18 \text{ Mpa}$$

$$EI = E_c \times I_{c2} + E_s \times I_{s,2}$$

$$\eta = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200000}{15443,18 \text{ Mpa}} = 12,95$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{2814,86}{1000 \times 657} = 4,28 \times 10^{-3}$$

$$\eta\rho = 12,95 \times 4,28 \times 10^{-3} = 0,055$$

$$\alpha = \sqrt{(\eta\rho)^2 + 2\eta\rho} - \eta\rho = \sqrt{0,055^2 + 2 \times 0,055} - 0,055 = 0,28$$

$$I_{c2} = \frac{b \times (\alpha \times d)^3}{3} = \frac{1000 \times (0,28 \times 657)^3}{3} = 2075147388$$

$$I_{s,2} = A_s((1 - \alpha) \times d)^2 = 2814,86 \times ((1 - 0,28) \times 657)^2 = 629876807,1$$

$$EI = 15443,18 \times 2075147388 + 200000 \times 629876807,1 = 1,58 \times 10^{14}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} &= \frac{200000 \times \frac{732,82 \times 10^6}{1,58 \times 10^{14}} - 0,4 \times \frac{3,8}{0,026} \times (1 + 5,56 \times 0,026)}{200000} \\ &= -3,86 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

$$p_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{2814,86}{107500} = 0,03$$

$$A_{c,eff} = b \times h_{c,eff}$$

$$h_{c,eff} = \min \left\{ 2,5(h - d); \frac{h - \alpha d}{3}; \frac{h}{2} \right\}$$

$$h_{c,eff} = \min\{107,5; 189,53; 350\}$$

$$\Rightarrow h_{c,eff} = 107,5$$

$$A_{c,eff} = 1000 \times 107,5 = 107500$$

$$f_{ctm} = 3,8 \text{ MPa}$$



Fordi  $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$  ikke er større eller lik  $0,6 \times \frac{\sigma_s}{E_s}$  bruker vi:

$$0,6 \times \frac{\sigma_s}{E_s} = \frac{0,6 \times 200000 \times \frac{732,82 \times 10^6}{1,58 \times 10^{14}}}{200000} = 2,78 \times 10^{-6}$$

$$s_{rmax} = k_3 \times c + k_1 \times k_2 \times k_4 \times \frac{\varphi}{p_{p,eff}}$$

$$k_3 = 3,4$$

$$c = \text{lengdearmeringens overdekning} = 35\text{mm}$$

$$k_1 = 0,8 \text{ kamstål}$$

$$k_2 = 0,5 \text{ for bøyning}$$

$$k_4 = 0,425$$

$$\varphi = \text{armeringsdiameter} = 16$$

$$s_{rmax} = 3,4 \times 60 + 0,8 \times 0,5 \times 0,425 \times \frac{16}{0,017} = 364$$

$$w = 364 \times 2,78 \times 10^{-6} = 1,22 \times 10^{-4}\text{mm}$$

$$1,22 \times 10^{-4}\text{mm} \leq 0,36\text{mm}$$

**OK!**

Som resultatet viser vil ikke riss være noe problem for konstruksjonen.

# Vedlegg 8

Kontroll av oppdrift

## OPPDRIFT

**Kontroll av kulverten når grunnvann treffer hele veggen, h= 5698**

$$V = (5698 \times 11500 + 800 \times 12500) \times 1000 = 75,52m^3$$

$$\rho = 1,0kg/dm^3 = 1000kg/m^3 \qquad g = 9,81m/s^2$$

$$\rho_b = 25000N/m^3 \qquad \rho_j = 18000N/m^3$$

**Tyngden av betong:**

$$G_b = 25000 \times (10,5 \times 0,7 + 12,5 \times 0,8 + 2 \times 0,5 \times 5,698) \times 1 = 576200N = 576,2kN$$

**Tyngden av jord:**

$$G_j = 18000 \times (2 \times 5,698 \times 0,5 + 1 \times 12,7m) \times 1 = 331164N = 331,16kN$$

**Oppdrift blir:**

$$O = V \times \rho \times g = 75,52 \times 1000 \times 9,81 = 740851,2N = 740,85kN$$

**Kontroll av oppdrift:**

$$G_b + G_j - O = 576,2 + 331,16 - 740,85 = 166,51kN \qquad \underline{\text{Ikke Oppdrift!}}$$

**Kontroll av oppdrift når traueggens h= 2849mm og grunnvann treffer halvveis opp på veggen.**

$$V = (12500 \times 800 + 11500 \times 1424,5) \times 1000 = 26,38m^3$$

$$\rho = 1,0kg/dm^3 = 1000kg/m^3 \qquad g = 9,81m/s^2$$

$$\rho_b = 25000N/m^3 \qquad \rho_j = 18000N/m^3$$

**Tyngden av betong:**

$$G_b = 25000 \times (12,5 \times 0,8 + 2,85 \times 0,5 \times 2) \times 1 = 323150N = 321,25kN$$

**Tyngden av jord:**

$$G_j = 18000 \times (2 \times 0,5 \times 2,85) \times 1 = 51,2kN$$

**Oppdrift blir:**

$$O = V \times \rho \times g = 26,38 \times 1000 \times 9,81 = 258787,8N = 258,78KN$$

**Kontroll av oppdrift:**

$$G_b + G_j - O = 321,25 + 51,3 - 258,78 = 113,77kN \qquad \underline{\text{Ikke oppdrift!}}$$

**Kontroll av oppdrift når traueggens h=5698m og grunnvann treffer halvveis opp på veggen.**

$$V = \left( \frac{5698}{2} \times 11500 + 800 \times 12500 \right) \times 1000 = 42,76m^3$$

$$\rho = 1,0kg/dm^3 = 1000kg/m^3 \qquad g = 9,81m/s^2$$

$$\rho_b = 25000N/m^3 \qquad \rho_j = 18000N/m^3$$

**Tyngden av betong:**

$$G_b = 25000 \times (12,5 \times 0,8 + 2 \times 0,5 \times 5,698) \times 1 = 3924500N = 392,45kN$$

**Tyngden av jord:**

$$G_j = 18000 \times (2 \times 5,698 \times 0,5) \times 1 = 102564N = 10256,4N = 102,56kN$$

**Oppdrift blir:**

$$O = V \times \rho \times g = 42,76 \times 1000 \times 9,81 = 419475,6N = 419,48kN$$

**Kontroll av oppdrift:**

$$G_b + G_j - O = 392,45 + 102,56 - 419,48 = 75,53kN \qquad \underline{\text{Ikke oppdrift!}}$$

**Kontroll av oppdrift når traueggens h=5698mm og grunnvann treffer hele veggen.**

$$V = (5698 \times 11500 + 800 \times 12500) \times 1000 = 75,52m^3$$

$$\rho = 1,0kg/dm^3 = 1000kg/m^3 \qquad g = 9,81m/s^2$$

$$\rho_b = 25000N/m^3 \qquad \rho_j = 18000N/m^3$$

**Tyngden av betong:**

$$G_b = 25000 \times (12,5 \times 0,8 + 2 \times 0,5 \times 5,698) \times 1 = 3924500N = 392,45kN$$

**Tyngden av jord:**

$$G_j = 18000 \times (2 \times 5,698 \times 0,5) \times 1 = 102564N = 10256,4N = 102,56kN$$

**Oppdrift blir:**

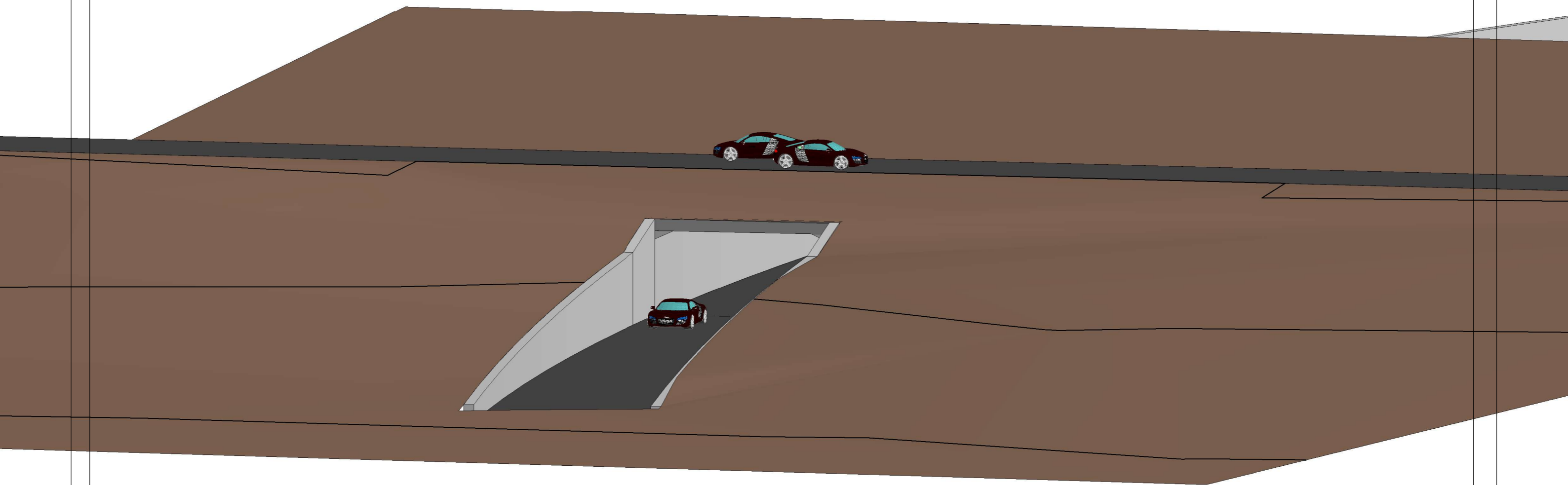
$$O = V \times \rho \times g = 75,52 \times 1000 \times 9,81 = 740851,2N = 740,85kN$$

**Kontroll av oppdrift:**

$$G_b + G_j - O = 392,45 + 102,56 - 740,85 = -245,84kN \qquad \underline{\text{Oppdrift!}}$$

# Vedlegg 9

Detaljtegninger

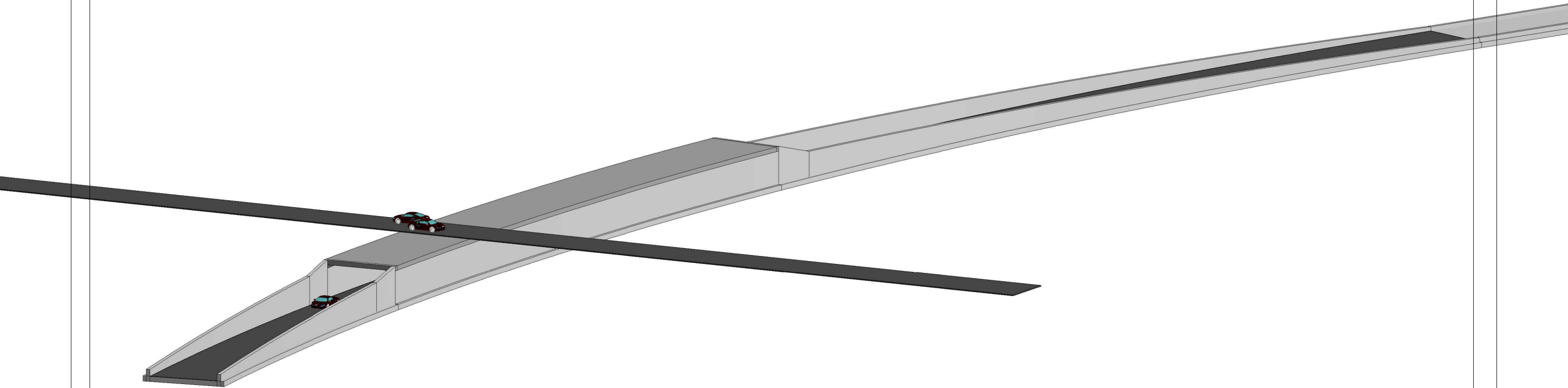


Betongkulver E136

3D fig med terreng

Project number	1	1-3
Date	14.05.19	
Drawn by	TVS	
Checked by	SA	Scale

15.05.2019 09.01.24



① {3D}



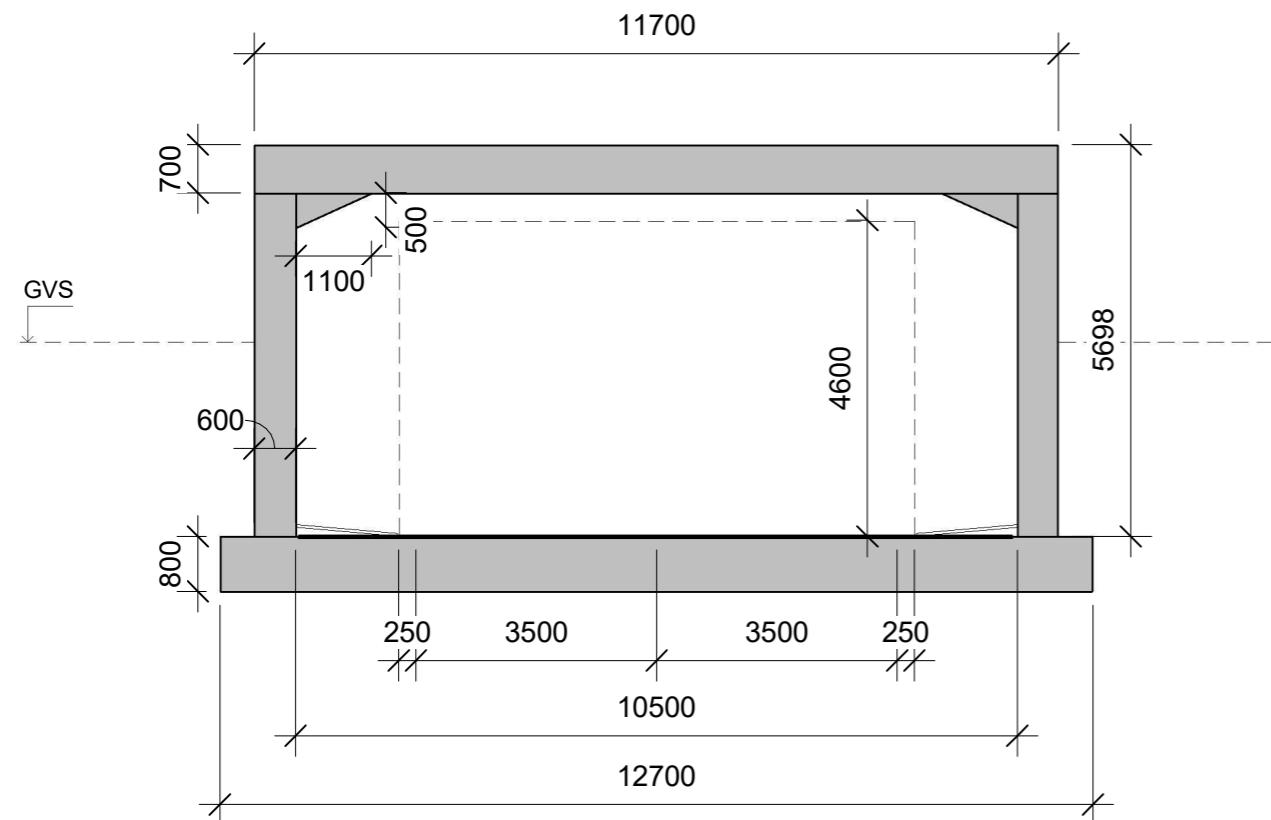
Betongkulver E136

3D fig uten terreng

Project number	1
Date	14.05.19
Drawn by	SA
Checked by	TVS

1-1

Scale



① Tversnitt med mål  
1 : 100

Anmerkninger:

Konstruksjonstype: Plasstøpt betongkulvert

Vegdata: H1 veg, basert på vegnormail fra 2018  
Dimensjonerende hastighet: 80km/t  
ÅDT: 3200 kjøretøy

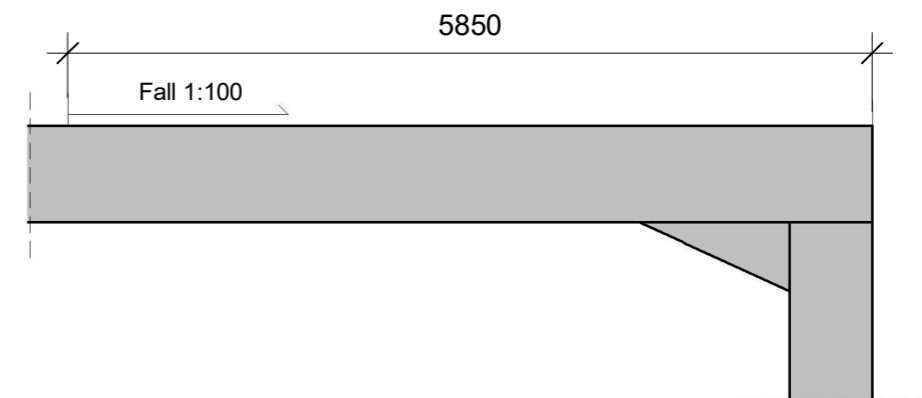
Btong: B45

Fundamentering: Såle på løsmasse av sprengstein

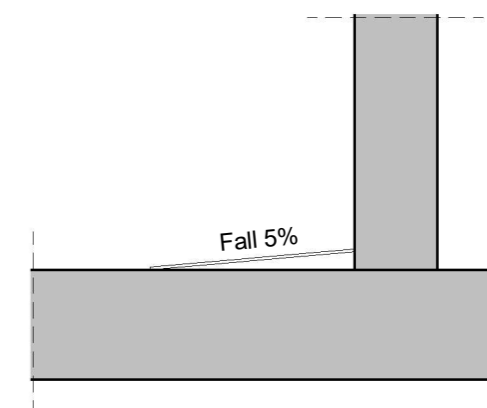
Drenering: Topplaten skal ha fall 1:100 fra midten og ut, på begge sider  
Fundamentsåle skal ha fall 1:50 fra utside vegg

Kjørebane: Stiplet linje markerer trafikkområdet  
Kjørebane skal ha et fall på 8%

GVS: Grunnvannstand



② Detalj Topplate/vegg  
1 : 50



③ Detalj bunnplate/vegg  
1 : 50



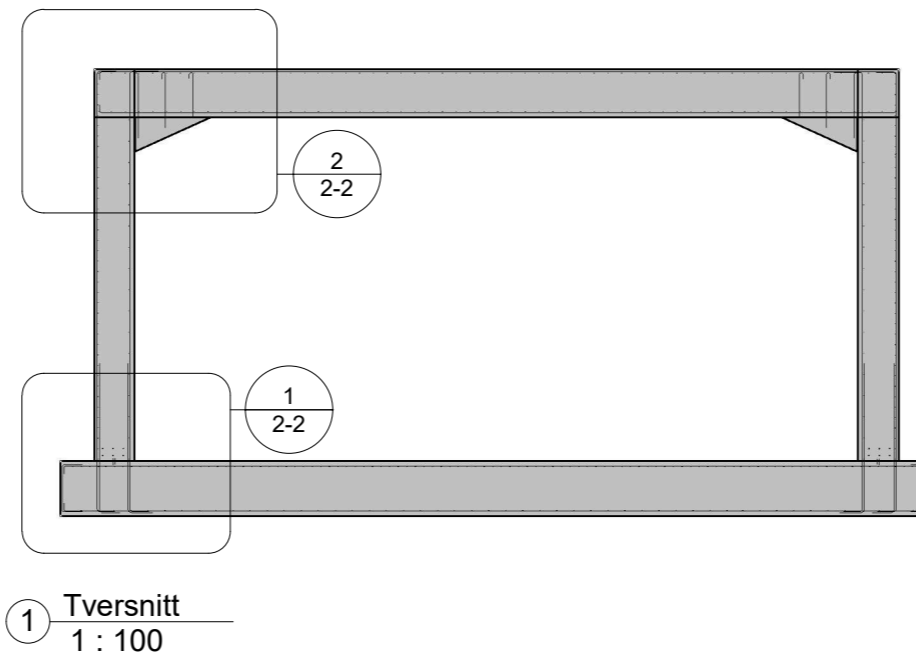
Betongkulver E136

Tversnitt med mål

Project number	1	1-2
Date	14.05.19	
Drawn by	SA	Scale
Checked by	TVS	As indicated

15.05.2019 16.49.42





Anmerkninger:  
 Betong: B45  
 Armering: B500C

Overdekning innside : 60mm  
 Overdekning utide: 35mm  
 Overdekning utside av bunnplate: 60mm

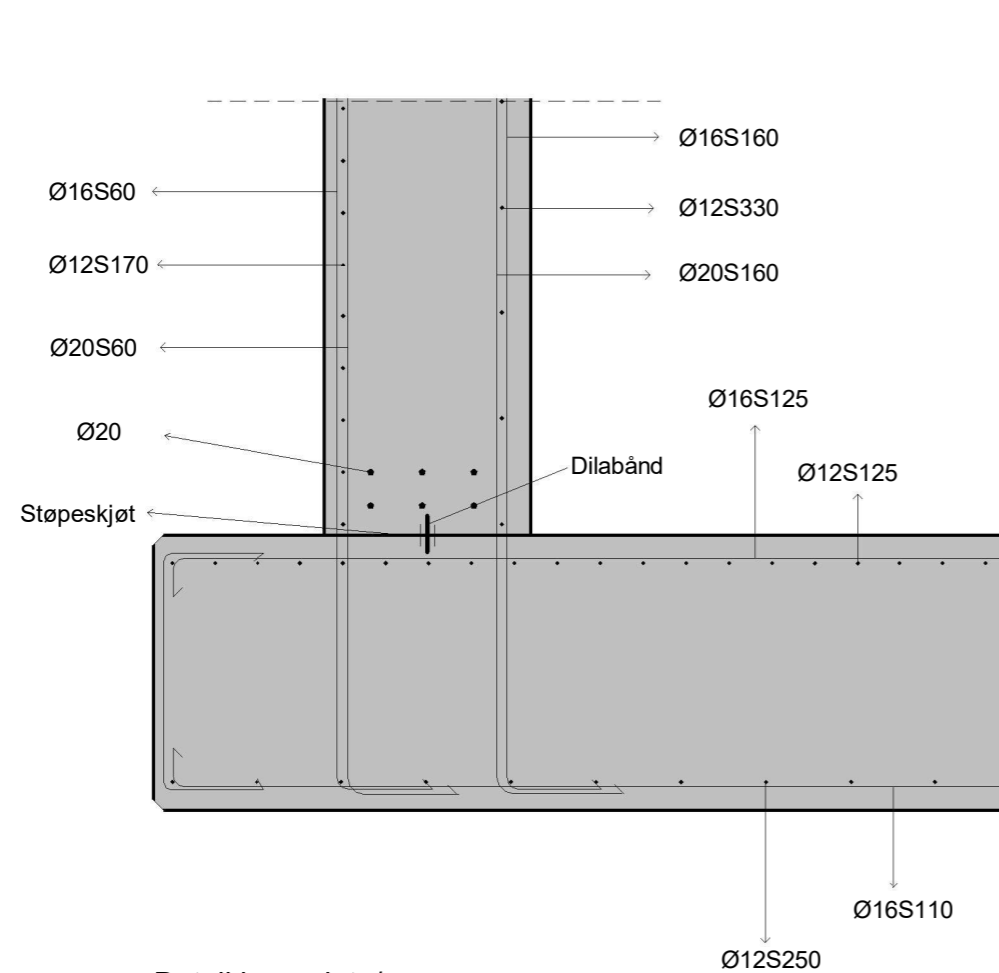
Drenering:  
 Topplaten skal ha fall 1:100 fra midten og ut, på begge sider  
 Fundamentsåle skal ha fall 1:50 fra utside vegg



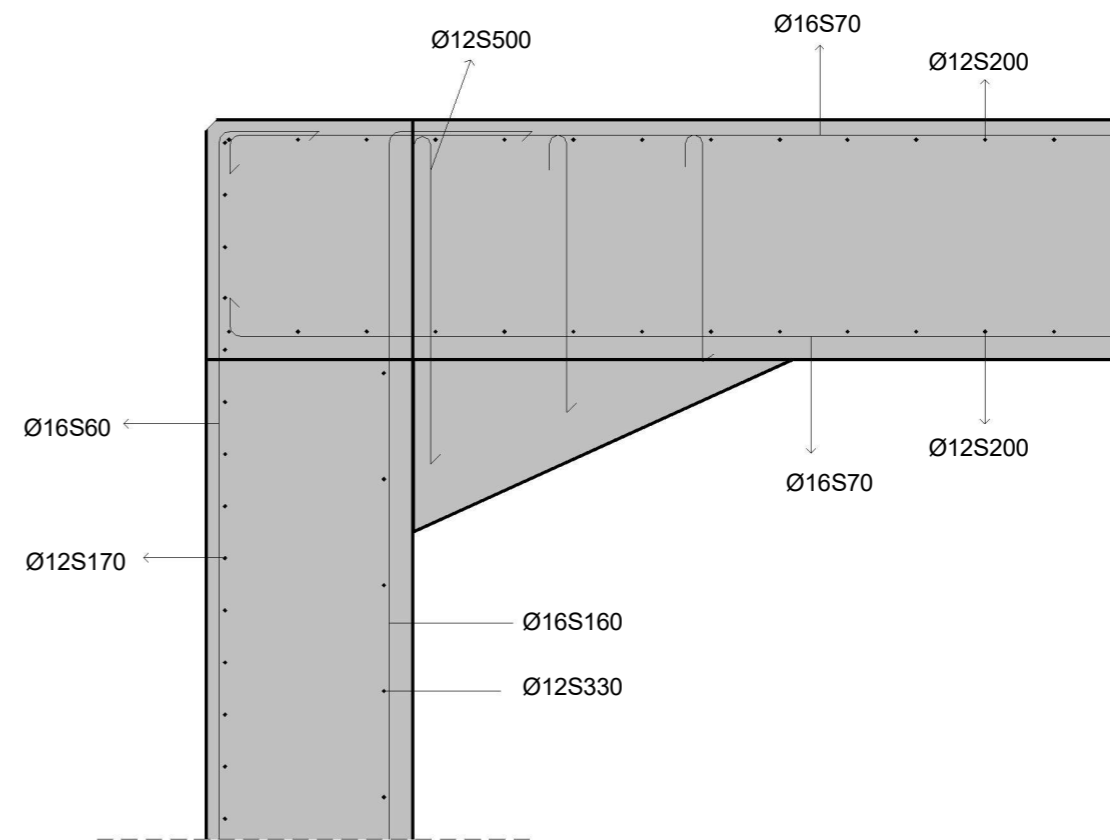
Betongkulvert

Tversnitt

Project number	1	2-1
Date	15.05.19	
Drawn by	SA	Scale
Checked by	TVS	
		1 : 100



① Detalj bunnplate/vegg  
1 : 20

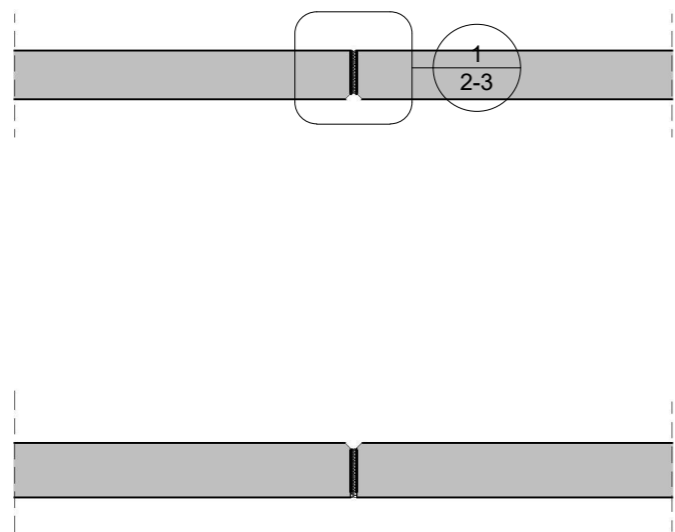


② Detalj Topplate/vegg  
1 : 20

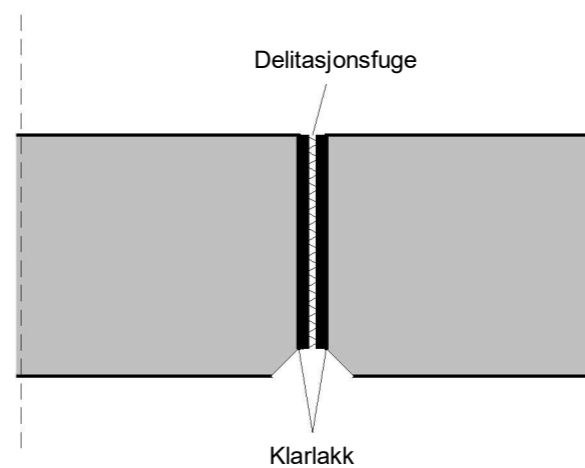
Anmerkninger:  
Betong: B45  
Armering: B500C

Overdekning innside : 60mm  
Overdekning utide: 35mm  
Overdekning utside av bunnplate: 60mm

Project number	1	2-2
Date	15.05.19	
Drawn by	SA	Scale
Checked by	TVS	
		1 : 20



② Topplate/bunnplate seksjon  
1 : 100



① Detalj seksjon  
1 : 20

Anmerkning:  
Vanntette delitasjonsfuger c/c 25m

# Vedlegg 10

Mailer



Sofie Andersen &lt;sofie.bolle96@gmail.com&gt;

---

**Fwd: FEM-design**

3 messages

---

**Thea Vestrheim** <vs.thea@gmail.com>  
To: Sofie Andersen <Sofie.bolle96@gmail.com>

Mon, Mar 4, 2019 at 8:34 AM

----- Forwarded message -----

From: **Moussavian Babak** <babak.moussavian@vegvesen.no>

Date: man. 4. mar. 2019 kl. 08:11

Subject: SV: FEM-design

To: Thea Vestrheim &lt;vs.thea@gmail.com&gt;

Hei,

Skal se om jeg får en geoteknisk rapport fra prosjektets geoteknikker.

Angående fordeling av trafikklast gjennom jordoverfylling, så henvises det til NS-EN 1991-2:2003+NA:2010, 4.3.6

Samme forutsetning også gjelder for trafikklast som jevnt fordelt flatelast bak et brulandkar.



Med hilsen  
Babak Moussavian  
Mobil: +47 48174278

**Fra:** Thea Vestrheim <[vs.thea@gmail.com](mailto:vs.thea@gmail.com)>  
**Sendt:** fredag 1. mars 2019 11:38  
**Til:** Moussavian Babak <[babak.moussavian@vegvesen.no](mailto:babak.moussavian@vegvesen.no)>  
**Emne:** Re: FEM-design

Takk for svar! Beklager forstyrrelse i vinterferien.

Vi har hatt nytt møte med Kristian i dag og har kommet frem til noen nye spørsmål:  
Lurer på om dere har laget noen geotekniske rapporter til området som vi kan benytte i oppgaven?

Kreftene vil fordele seg med 30 grader fra punktlast og ned i jorden. Har du noen kilder vi kan vise til?

Går helt fint med svar neste uke, god helg!

Mvh

Thea og Sofie

Den tor. 28. feb. 2019 kl. 13:08 skrev Moussavian Babak <[babak.moussavian@vegvesen.no](mailto:babak.moussavian@vegvesen.no)>:

Hei,

Jeg er på vinterferie nå.

Det tyder på at det er noe galt med opplagringene.

Se om rammen er holdt sideveis og sjekk deformasjonen. Hvis stor deformasjoner da er noe galt, men hvis små deformasjoner så kan du se bort fra det.

Prøv først kun med egenvekt.

Mvh Babak Moussavian

Sendt fra min Samsung Galaxy-smarttelefon.

----- Opprinnelig melding -----

Fra: Thea Vestrheim <[vs.thea@gmail.com](mailto:vs.thea@gmail.com)>

Dato: 28.02.2019 09:38 (GMT+01:00)

Til: Moussavian Babak <[babak.moussavian@vegvesen.no](mailto:babak.moussavian@vegvesen.no)>

Emne: Re: FEM-design

Hei igjen!

Vi har prøvd på dette, men får fortsatt opp feilmeldinger. En av de er at det ikke er likevekt, har dere noe erfaring der?

Thea

Den ons. 27. feb. 2019 kl. 10:38 skrev Moussavian Babak <[babak.moussavian@vegvesen.no](mailto:babak.moussavian@vegvesen.no)>:

Prøv å definere tverrsnitt, materialegenskaper og definer noder som går gjennom systemlinjer dvs NA.

Etterpå lag enkle opplagring (support) som pinned-supports.

Tips: Ikke bruk 3D-modell da får dere antagelig masse instabilitets feilmeldinger. Bruk 2D modell.

Med hilsen  
Babak Moussavian  
Mobil: +47 48174278

**Fra:** Thea Vestrheim <vs.thea@gmail.com>  
**Sendt:** onsdag 27. februar 2019 10:34  
**Til:** Moussavian Babak <babak.moussavian@vegvesen.no>  
**Emne:** Re: FEM-design

Vi har vært i kontakt med Norconsult. Vi sliter med programmet generelt, får opp feilmelding på figurer vi har laget og kommer ikke videre.

Thea

Den ons. 27. feb. 2019 kl. 10:31 skrev Moussavian Babak <babak.moussavian@vegvesen.no>:

Hei,

Jeg får prøve her internt, men best at dere i mellomtiden tar kontakt med Norconsult og får hjelp.

Er det snakk om «trykkfjærene» dere slier med?

Med hilsen  
Babak Moussavian  
Mobil: +47 48174278

**Fra:** Thea Vestrheim <vs.thea@gmail.com>  
**Sendt:** onsdag 27. februar 2019 10:28  
**Til:** Moussavian Babak <babak.moussavian@vegvesen.no>  
**Emne:** FEM-design

Hei!

Vi har problemer med FEM- design, har prøvd å bruke nettet som hjelpemiddel, men får bare opp feilmelding når vi skal fullføre beregningene. Ingen på skolen som har kunnskap om dette programmet. Er det noen hos dere som kan hjelpe oss å komme videre? Eventuelt noen som er stasjonert her i Ålesund?

Ha en fin dag!

Mvh

Thea og Sofie

---

**3 attachments**



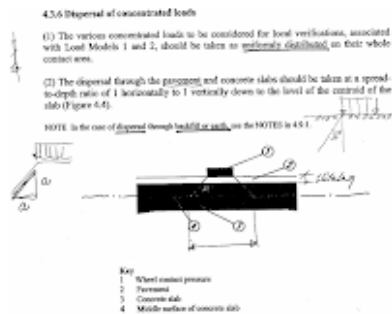


image001.png  
47K

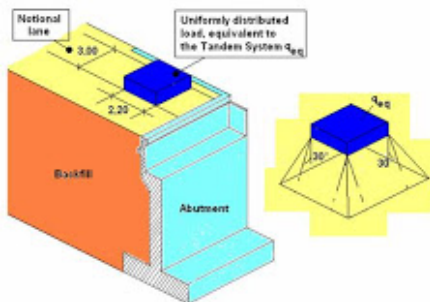


image004.jpg  
27K

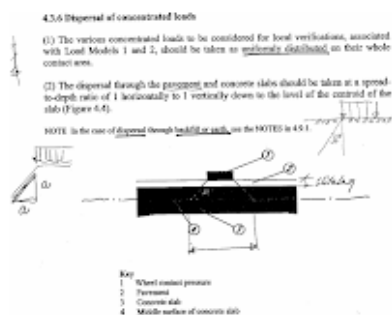


image001.png  
47K

Thea Vestrheim <vs.thea@gmail.com>  
To: Sofie Andersen <Sofie.bolle96@gmail.com>

Mon, Mar 25, 2019 at 1:02 PM

----- Forwarded message -----  
 Fra: **Moussavian Babak** <babak.moussavian@vegvesen.no>  
 Date: man. 25. mar. 2019 kl. 11:49  
 Subject: SV: FEM-design  
 To: Thea Vestrheim <vs.thea@gmail.com>

Hei,  
 Skal se hva vegplanleggeren har gjort når det gjelder kartfil.

Krav til rissvidder (Eksempel):



Tetting av konstruksjoner:

Man bruker vanntette dybler og waterstopp, se vedlagt fil.

Med hilsen  
Babak Moussavian  
Mobil: +47 48174278

**Fra:** Thea Vestrheim <vs.thea@gmail.com>  
**Sendt:** mandag 25. mars 2019 11:21  
**Til:** Moussavian Babak <babak.moussavian@vegvesen.no>  
**Emne:** Re: FEM-design

Takk for svar! Da dropper vi den geotekniske rapporten. Men en kartfil hadde vært fint til presentasjonen, eller kanskje vi kan benytte de filene dere har laget som vi fikk på det første møtet?

Hva er kravet for riss?

Hvordan skal vi gjøre det med tanke på tetting av konstruksjonen? Bruke dilabånd, litt usikker på hva dette er. Har du en enkel forklaring? Eller er det noe annet som er bedre å benytte?

Mvh

Thea og Sofie

fre. 22. mar. 2019 kl. 13:15 skrev Moussavian Babak <babak.moussavian@vegvesen.no>:

Hei,

Den geotekniske rapporten er ikke helt ferdig og antagelig vil være på over 200 sider har fått beskjed om.

Er det noe spesifikt dere trenger å vite noe om?

Angående kartfiler ble den så stor for at det kunnes sendes på mail.

Skal høre med vegplanlegger om han kan lage filen litt mindre.

Husk at dere skal beregne kulverten og ikke tegne/prosjekttere konstruksjonen som byggeplan (bruk tiden litt fornuftig)!

[Quoted text hidden]

---

**Moussavian Babak** <babak.moussavian@vegvesen.no>

Thu, Mar 28, 2019 at 2:13 PM

To: Thea Vestrheim <vs.thea@gmail.com>, Sofie Andersen <sofie.bolle96@gmail.com>

Hei,

Vedlagt følger LandXML fil som er avgrenset området hvor miljøtunnelen er prosjektert og dwg fil med høydekoter i 3D av hele området.

[Quoted text hidden]

[Quoted text hidden]

[Quoted text hidden]

Hei!

Noe nytt om geoteknisk rapport?

Har dere kartfiler med området kulverten skal bygges i som vi kan benytte i Revit filen vår? Slik at vi får framstilt konstruksjonen i terrenget den ligger i.

Med vennlig hilsen

Thea

man. 4. mar. 2019 kl. 08:11 skrev Moussavian Babak <babak.moussavian@vegvesen.no>:

Hei,

Skal se om jeg får en geoteknisk rapport fra prosjektets geoteknikker.

Angående fordeling av trafikklast gjennom jordoverfylling, så henvises det til NS-EN 1991-2:2003+NA:2010, 4.3.6

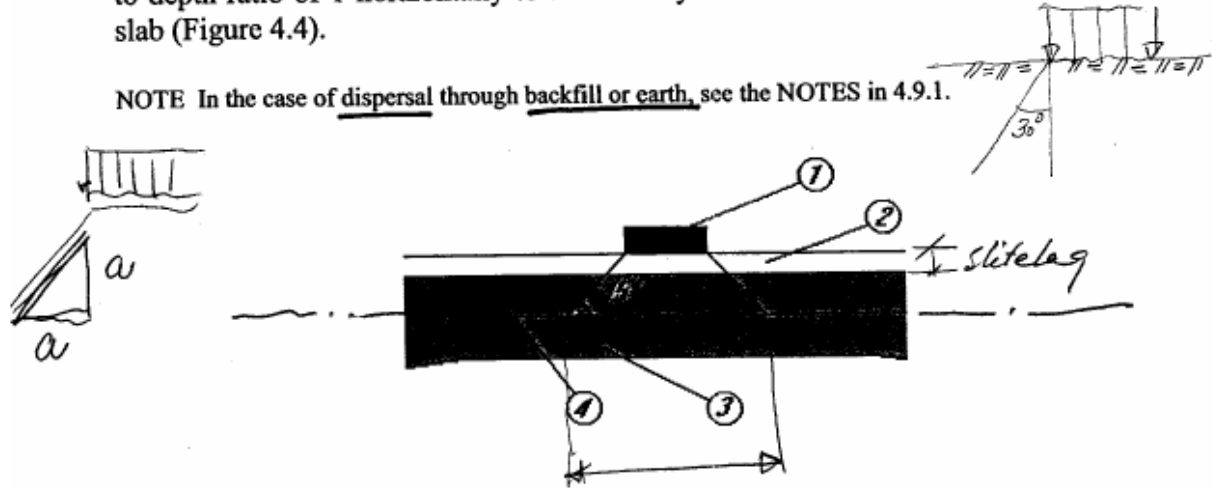
Samme forutsetning også gjelder for trafikklast som jevnt fordelt flatelast bak et brulandkar.

### 4.3.6 Dispersal of concentrated loads

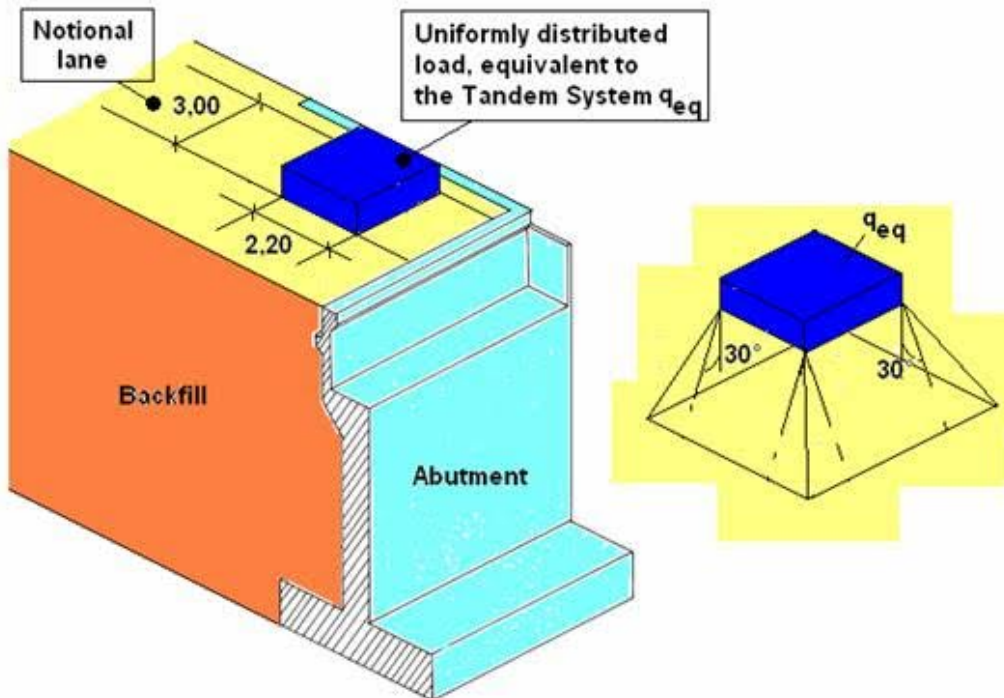
(1) The various concentrated loads to be considered for local verifications, associated with Load Models 1 and 2, should be taken as uniformly distributed on their whole contact area.

(2) The dispersal through the pavement and concrete slabs should be taken at a spread-to-depth ratio of 1 horizontally to 1 vertically down to the level of the centroid of the slab (Figure 4.4).

NOTE In the case of dispersal through backfill or earth, see the NOTES in 4.9.1.



- Key**
- 1 Wheel contact pressure
  - 2 Pavement
  - 3 Concrete slab
  - 4 Middle surface of concrete slab



Med hilsen  
Babak Moussavian  
Mobil: +47 48174278

**Fra:** Thea Vestrheim <vs.thea@gmail.com>  
**Sendt:** fredag 1. mars 2019 11:38  
**Til:** Moussavian Babak <babak.moussavian@vegvesen.no>  
**Emne:** Re: FEM-design

Takk for svar! Beklager forstyrrelse i vinterferien.

Vi har hatt nytt møte med Kristian i dag og har kommet frem til noen nye spørsmål:  
Lurer på om dere har laget noen geotekniske rapporter til området som vi kan benytte i oppgaven?

Kreftene vil fordele seg med 30 grader fra punktlast og ned i jorden. Har du noen kilder vi kan vise til?

Går helt fint med svar neste uke, god helg!

Mvh

Thea og Sofie

Den tor. 28. feb. 2019 kl. 13:08 skrev Moussavian Babak <babak.moussavian@vegvesen.no>:

Hei,

Jeg er på vinterferie nå.

Det tyder på at det er noe galt med opplagringene.

Se om rammen er holdt sideveis og sjekk deformasjonen. Hvis stor deformasjoner da er noe galt, men hvis små deformasjoner så kan du se bort fra det.

Prøv først kun med egenvekt.

Mvh Babak Moussavian

Sendt fra min Samsung Galaxy-smarttelefon.

----- Opprinnelig melding -----

**Fra:** Thea Vestrheim <vs.thea@gmail.com>

**Dato:** 28.02.2019 09:38 (GMT+01:00)

**Til:** Moussavian Babak <babak.moussavian@vegvesen.no>

**Emne:** Re: FEM-design

Hei igjen!

Vi har prøvd på dette, men får fortsatt opp feilmeldinger. En av de er at det ikke er likevekt, har dere noe erfaring der?

Thea

Den ons. 27. feb. 2019 kl. 10:38 skrev Moussavian Babak <babak.moussavian@vegvesen.no>:

Prøv å definere tverrsnitt, materialegenskaper og definer noder som går gjennom systemlinjer dvs NA.

Etterpå lag enkle opplagring (support) som pinned-supports.

Tips: Ikke bruk 3D-modell da får dere antagelig masse instabilitets feilmeldinger. Bruk 2D modell.

Med hilsen  
Babak Moussavian  
Mobil: +47 48174278

**Fra:** Thea Vestrheim <vs.thea@gmail.com>

**Sendt:** onsdag 27. februar 2019 10:34

**Til:** Moussavian Babak <babak.moussavian@vegvesen.no>

**Emne:** Re: FEM-design

Vi har vært i kontakt med Norconsult. Vi sliter med programmet generelt, får opp feilmelding på figurer vi har laget og kommer ikke videre.

Thea

Den ons. 27. feb. 2019 kl. 10:31 skrev Moussavian Babak <babak.moussavian@vegvesen.no>:

Hei,

Jeg får prøve her internt, men best at dere i mellomtiden tar kontakt med Norconsult og får hjelp.

Er det snakk om «trykkfjærene» dere slier med?

Med hilsen  
Babak Moussavian  
Mobil: +47 48174278


**Fra:** Thea Vestrheim <vs.thea@gmail.com>  
**Sendt:** onsdag 27. februar 2019 10:28  
**Til:** Moussavian Babak <babak.moussavian@vegvesen.no>  
**Emne:** FEM-design

[Quoted text hidden]

---

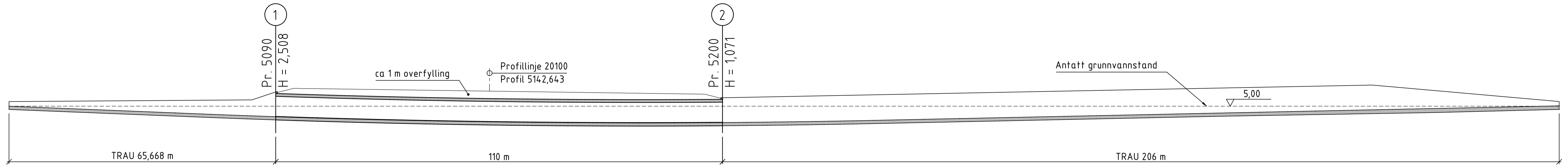
## 2 attachments

 **Høydekoter\_3D.dwg**  
10222K

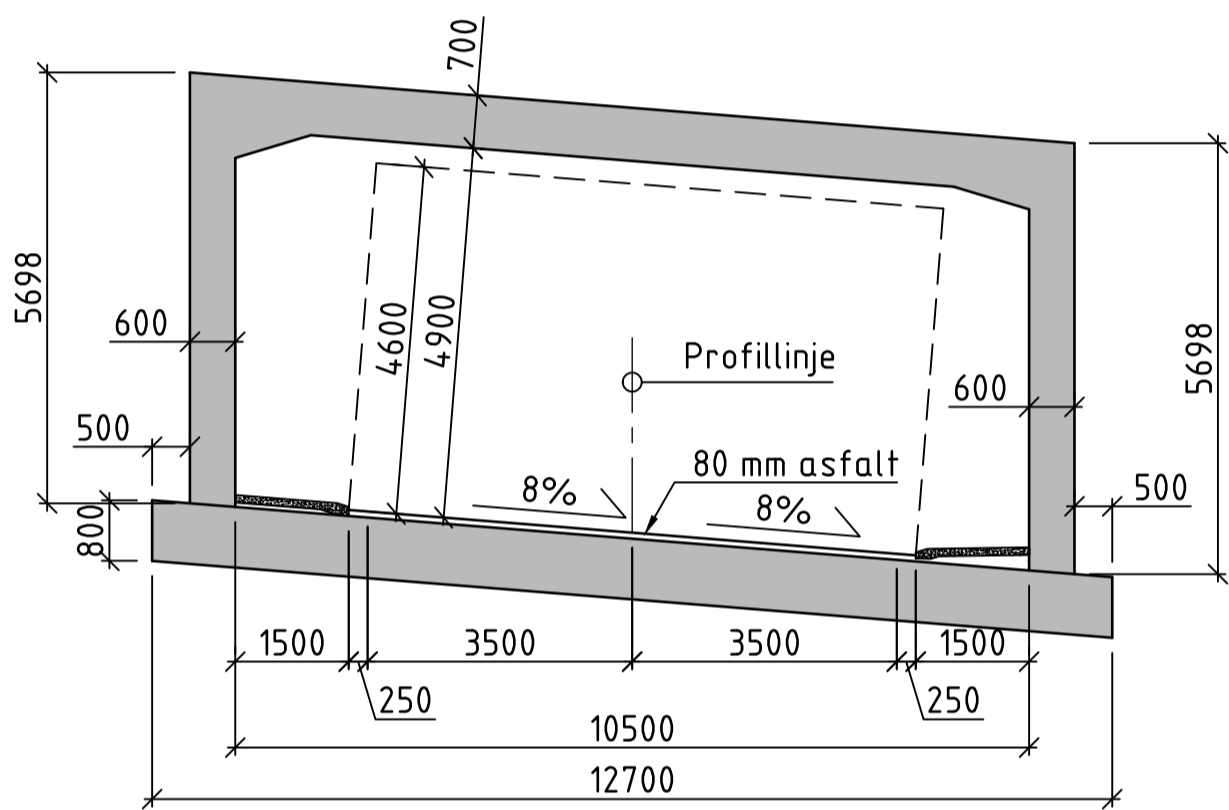
 **110m.xml**  
1027K

Current road project: 10000\_3\_L

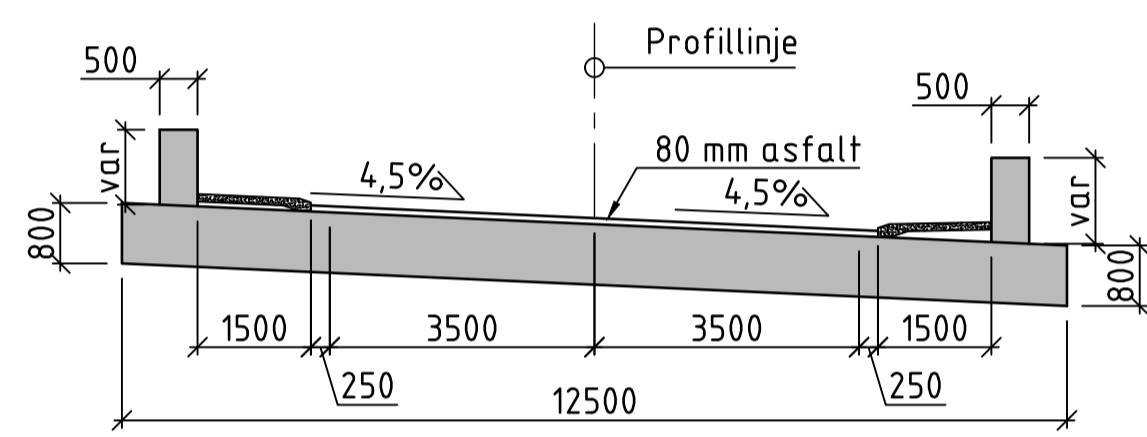
PROFILNUMMER	5060	5080	5100	5120	5140	5160	5180	5200	5220	5240	5260	5280	5300	5320	5340	5360	5380	5400		
PROFILHØYDE	3.650	2.861	2.192	1.671	1.299	1.075	0.999	1.071	1.291	1.658	2.080	2.503	2.926	3.348	3.771	4.193	4.616	5.038		
TERRENGHØYDE																				
VERTIKALKURVE	s=-0.04	R=2700m										s=0.021								
HORISONTALKURVE	R = 640m										A = 210.00				R = ∞		A = 160.00			



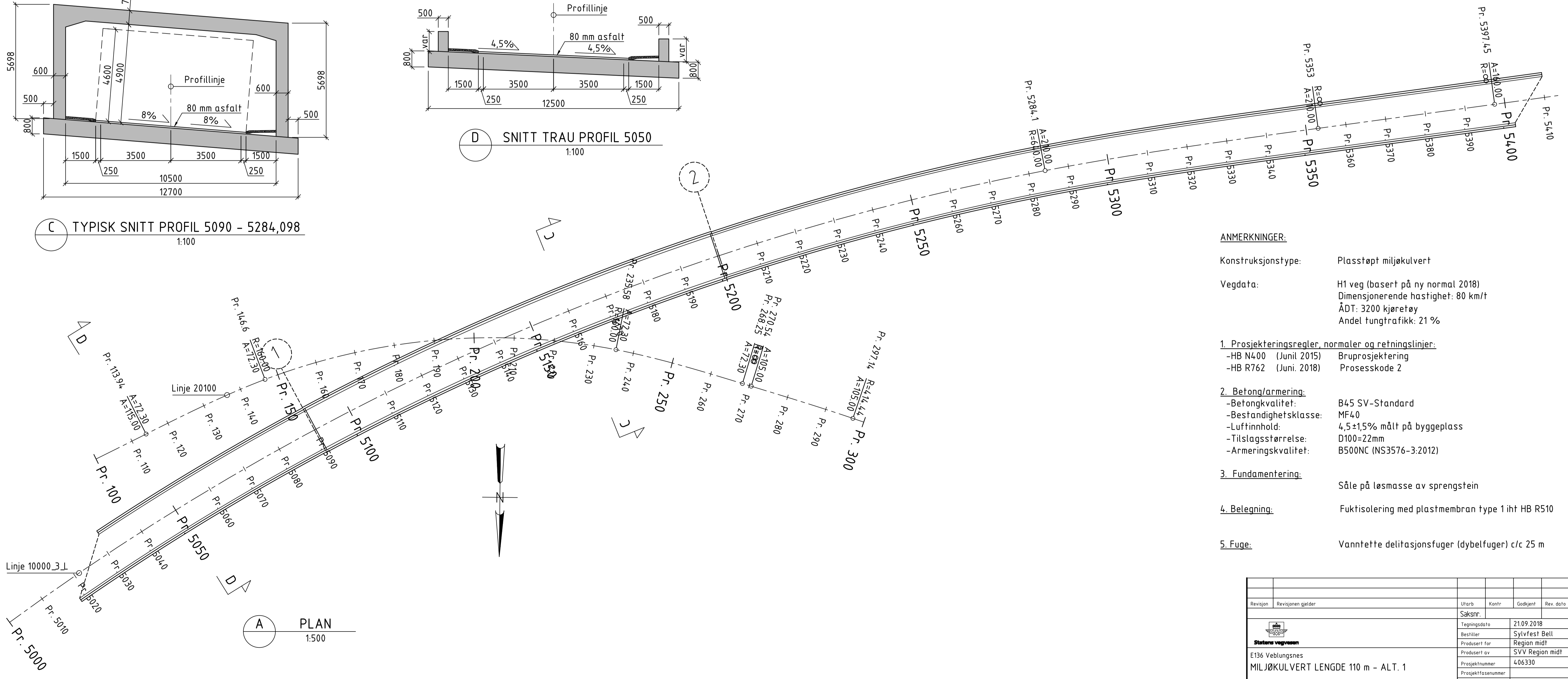
**B** LENGDESNIITT  
1:500



**C** TYPISK SNITT PROFIL 5090 - 5284,098  
1:100



**D** SNITT TRAU PROFIL 5050  
1:100



**A** PLAN  
1:500

- ANMERKNINGER:**
- Konstruksjonstype: Plasstøpt miljøkulvert
  - Vegdata: H1 veg (basert på ny normal 2018)  
Dimensjonerende hastighet: 80 km/t  
ÅDT: 3200 kjøretøy  
Andel tungtrafikk: 21 %
  - 1. Prosjekteringsregler, normaler og retningslinjer:  
-HB N400 (Juni 2015) Bruprosjektering  
-HB R762 (Juni. 2018) Prosesskode 2
  - 2. Betong/armering:  
-Betongkvalitet: B45 SV-Standard  
-Bestandighetsklasse: MF40  
-Luffinnhold: 4,5±1,5% målt på byggeplass  
-Tilslagsstørrelse: D100=22mm  
-Armeringskvalitet: B500NC (NS3576-3:2012)
  - 3. Fundamentering: Såle på løsmasse av sprengstein
  - 4. Belegning: Fuktisolering med plastmembran type 1 iht HB R510
  - 5. Fuge: Vanntette delifasjonsfuger (dybelfuger) c/c 25 m

Revisjon	Revisjonen gjelder	Utdr.	Kontr.	Godkjent	Rev. dato
Saksnr.:		Tegningsdato: 21.09.2018			
Saksnr.:		Bestiller: Sylfest Bell			
Saksnr.:		Prosjekt for: Region midt			
Saksnr.:		Prosjekt nr.: 406330			
Saksnr.:		Prosjekt fase: Region midt			
Saksnr.:		Arkivreferanse: Som vist			
Saksnr.:		Målestokk A1-format			
<b>REGULERINGSPLAN</b>					
Utdr.	Kontr.	Godkjent	Konsulentarkiv	Tegningsnummer / revisjonsbokstav	NTM 7, NNS4
babmou	bjarls	arichr			K01



# Vedlegg 11

Forprosjektrapport

TITTEL:  DIMENSJONERING AV BETONGKULVERT
--

KANDIDATNUMMER(E):			
DATO:	EMNEKODE: * <b>IB303312</b>	EMNE: <b>Bacheloroppgave (Bygg)</b>	DOKUMENT TILGANG: - Åpen
STUDIUM: BYGGINGENIØR		ANT SIDER/VEDLEGG:  13/4	BIBL. NR: - Ikke i bruk -

OPPDRAGSGIVER(E)/VEILEDER(E):  Statens Vegvesen / Moussavian Babak NTNU: Kristian Nordmann
---

OPPGAVE/SAMMENDRAG:  Formålet med denne forprosjektrapporten er å kartlegge hvordan vi skal gå frem for gjennomføringen av bacheloroppgaven. Det skal være et hjelpemiddel som gjør det lettere for gruppen å nå mål og delmål innen satte tidsfrister.
---

*Denne oppgaven er en eksamensbesvarelse utført av student(er) ved NTNU i Ålesund.*

## INNHold

<b>1 INNLEDNING .....</b>	<b>3</b>
<b>2 BEGREPER .....</b>	<b>3</b>
<b>3 PROSJEKTORGANISASJON.....</b>	<b>3</b>
3.1 PROSJEKTGRUPPE .....	3
3.2 STYRINGSGRUPPE (VEILEDER OG KONTAKTPERSON OPPDRAGSGIVER) .....	4
<b>4 AVTALER.....</b>	<b>4</b>
4.1 AVTALE MED OPPDRAGSGIVER .....	4
4.2 ARBEIDSTED OG RESSURSER .....	4
4.3 GRUPPENORMER – SAMARBEIDSREGLER – HOLDNINGER .....	4
<b>5 PROSJEKTBESKRIVELSE .....</b>	<b>4</b>
5.1 PROBLEMSTILLING - MÅLSETTING - HENSIKT .....	4
5.2 KRAV TIL LØSNING ELLER PROSJEKTRESULTAT – SPESIFIKASJON .....	4
5.3 PLANLAGT FRAMGANGSMÅTE(R) FOR UTVIKLINGSARBEIDET – METODE(R) .....	4
5.4 INFORMASJONSINNSAMLING – UTFØRT OG PLANLAGT .....	5
5.5 VURDERING – ANALYSE AV RISIKO .....	5
5.6 HOVEDAKTIVITETER I VIDERE ARBEID .....	5
5.7 FRAMDRIFTSPLAN – STYRING AV PROSJEKTET .....	5
5.8 BESLUTNINGER – BESLUTNINGSPROSESS .....	6
<b>6 DOKUMENTASJON .....</b>	<b>6</b>
6.1 RAPPORTER OG TEKNISKE DOKUMENTER .....	6
<b>7 PLANLAGTE MØTER OG RAPPORTER.....</b>	<b>6</b>
7.1 MØTER.....	6
7.2 PERIODISKE RAPPORTER .....	6
<b>8 PLANLAGT AVVIKSBEHANDLING .....</b>	<b>6</b>
<b>9 UTSTYRSBEHOV/FORUTSETNINGER FOR GJENNOMFØRING.....</b>	<b>7</b>
<b>10 REFERANSER .....</b>	<b>7</b>
<b>VEDLEGG .....</b>	<b>7</b>

## 1 INNLEDNING

Vi har fått tildelt oppgave fra Statens Vegvesen Molde. Den grunnleggende problemstillingen for oppgaven omfatter å prosjektere og gi et beregningsgrunnlag for en 110m lang betongkulvert på veistrekningen E136 mellom Dombås og Åndalsnes. Kulverten skal erstatte strekningen gjennom Veblungsnes. I denne oppgaven vil vi komme innenfor flere fagfelt innenfor ingeniørfaget som veg, geoteknikk og konstruksjon, og ser på dette som en spennende utfordring.

I dag er vegstrekningen en flaskehals med dårlig kurvatur og er en relativ smal veg. Formålet med prosjektet er at det skal bidra til færre trafikkulykker og gi en vesentlig reduksjon av støy og andre nærføringsulemper. Utfordringer knyttet til prosjekteringen er blant annet problemer i forhold til høy grunnvannstand og dårlige grunnforhold.

## 2 BEGREPER

- Betong kulvert – Tunell av betong.
- Flaskehals – Et sted på en veg hvor avviklingen av trafikken er begrenset.
- Fjærer - Brukes til å holde konstruksjonen stabil og tar opp bevegelser.

## 3 PROSJEKTORGANISASJON

### 3.1 Prosjektgruppe

Studentnummer(e)
476143 – Sofie Andersen
476149 – Thea V. Skavhellen

#### 3.1.1 Oppgaver for prosjektgruppen – organisering

Alle i prosjektgruppen har likt ansvar for framdrift og gjennomføring av prosjektet.

### **3.2 Styringsgruppe (veileder og kontaktperson oppdragsgiver)**

Styringsgruppen består av:

Veileder: Kristian Normann, NTNU Ålesund.

Kontaktperson oppdragsgiver: Babak Moussavian, Statens Vegvesen Molde.

## **4 AVTALER**

### **4.1 Avtale med oppdragsgiver**

Viser til vedlegg 1

### **4.2 Arbeidssted og ressurser**

Oppgaven vil bli gjennomført ved NTNU Ålesund. Vi har her tilgang til veileder fra skolen. Veileder fra Statens Vegvesen vil vi holde kontakt med gjennom mail og Skype. Det vil også være mulighet for avtale eventuelle møter med veiledere underveis i prosjektet.

### **4.3 Gruppenormer – samarbeidsregler – holdninger**

Normen grupper må forholde seg til:

- Møte til avtalte tider. Kjernetid 08.00-16.00 alle hverdager.
- Plikt om å melde fra ved fravær.
- Behandle hverandre med respekt.
- Ha tiltro til hverandres arbeid.
- Hele gruppen har ansvar for at mål/delmål for oppgaven blir nådd.
- Hele gruppen skal være enige når beslutninger tas.

## **5 PROSJEKTBEKRIVELSE**

### **5.1 Problemstilling - målsetting – hensikt**

Vegstrekninger E136 gjennom Veblungsnes har i dag en flaskehals med dårlig kurvatur og er en relativt smal veg. Det skal her tilrettelegges for en ny vei i form av en kulvert. Ved utforming av denne kulverten er det utfordringer i forhold til høy grunnvannstand og dårlige grunnforhold.

Den grunnleggende problemstillingen for oppgaven omfatter å gi et beregnings- og prosjekteringsgrunnlag for en 110m lang betongkulvert på denne strekningen. Kulverten skal dimensjoneres under overliggende trafikk, i forhold til konstruksjonens oppførsel og samvirke mellom jordtrykk, trafikk og konstruksjonens egenvekt.

For å kunne besvare den grunnleggende problemstillingen har vi utarbeidet følgende delmål:

- Lastberegning
- Nødvendig dimensjoner og armering for sålefundamenter, vegger og hvelvet
- Hvordan løse problemet med grunnvann
- Hvordan konstruksjonen vil oppføre seg i forhold til ulik jordfasthet
- Beregning av fjærer for stabilitet av konstruksjon
- Byggetegninger
  - Tegning av kulvert
  - Armerings tegninger
  - Plantegning
  - Snitt
  - 3D modellering

Kulverten skal dimensjoneres med utgangspunkt i standard NS-EN 1991-2:2003+NA:2010 og Statens Vegvesen sine håndbøker og retningslinjer.

## **5.2 Krav til løsning eller prosjektresultat – spesifikasjon**

Oppgaven skal løses i samsvar med problemstilling.

Skal være tilfredsstillende utført i forhold til plan- og bygningsloven med tilhørende standarder, veiledere og nasjonale tillegg.

Henvender oss spesielt til:

- NS-EN 1991-2:2003+NA:2010
- Nasjonalt tillegg NA, Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner.
- Håndbøker levert av Statens Vegvesen.

Bacheloroppgaven skal utføres i samsvar med NTNUs regelverk. Det er krav om innlevering av en forprosjektrapport, framdriftsrapport og logg hver 14 dag. Til slutt skal det leveres en skriftlig prosjektrapport, samt plakater og presentasjon etter gitt mal.

### **5.3 Planlagt framgangsmåte(r) for utviklingsarbeidet – metode(r)**

*Definering av oppgaven:* I denne perioden vil vi ha et oppstartsmøte med bedrift og veiledere, jobbe med å sette grenser og rammer for prosjektet og utarbeide problemstilling. Det vil også være en forprosjektrapport som skal leveres og fremføres.

*Teoretisk grunnlag:* Innsamling av grunnleggende informasjon for å kunne gjennomføre arbeidsoppgavene i prosjektet. Vi vil hovedsakelig benytte oss av følgende litteratur:

- *Håndbok N400, Bru prosjektering*, Statens Vegvesen
- *Geoteknikk i vegbygging*, Statens Vegvesen
- *Eurokode 1: Laster på konstruksjoner. Del 2: trafikklast på bruer*. Norsk Standard
- *Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner*. Nasjonalt tillegg NA
- *Kommunedelplan: Setesjordet – Innfjordtunnelen*. Statens Vegvesen, Rauma Kommune

Vi vil benytte oss av annen litteratur vi finner relevant for prosjektet underveis.

*Beregningsdel:* Denne perioden vil vi gjennomføre de nødvendige beregningene som kreves for å løse oppgaven. Store deler av perioden vil bli brukt til programmet Fem Design. Det skal i dette programmet utarbeides beregninger og kontrollberegninger. Vi vil også gjøre beregninger for hånd. Det skal lages tegninger og illustrasjoner som viser beregninger og teori.

*Modellering/visualisering:* Utarbeiding av tegning av kulvert, armerings tegninger, tegninger av ulike plan og snitt, samt en 3D modellering av kulverten. Her vil vi bruke Revit og Autocad.

*Fullføring av rapport:* Hovedrapport skal korrekturleses og fullføres.

*Presentasjon:* Det skal lages en presentasjon og plakater etter gitt mal til oppgaven.

### **5.4 Vurdering – analyse av risiko**

I forhold til de ulike rammene og delmålene vi har definert anser vi prosjektet som gjennomførbart. Det er en viss risiko for at deler av oppgaven blir vanskeligere å gjennomføre enn andre. Blant annet har vi ingen tidligere erfaring med beregningsprogrammet Fem-Design. Velger derfor å sette av mye tid til forståelse av programmet. Vi er avhengig av at samarbeidet fungerer bra og at vi er pliktoppfyllende for å få framdrift i prosjektet.

### **5.5 Hovedaktiviteter i videre arbeid**

Definere bacheloroppgave			
Oppstartsmøte med oppdragsgiver og veileder			
Sette rammer for oppgaven og lage problemstilling			
Lage fremdriftsplan			
Definere delmål			
Teoretisk grunnlag			
Samle informasjon til oppgaven			
* Kulvert			
* Jordforhold			
* Beregningsgrunnlag			
* Vegstrekingen som skal utbygges			
* Fjærer			
Beregningsdel			
Lastberegning på kulvert			
Beregning av jordtrykk			
Beregning av fjærer			
Moddelering/visualisering			
Byggetegninger			
* Tegning av kulver			
* Armeringstegning			
* Plantegning			
* Snitt			
3D- modell			
Fullføring av rapport			
Konklusjon og drøfting			
Presentasjon			
Produksjon av plakat			
Forberede presentasjon			

## 5.6 Framdriftsplan – styring av prosjektet

### 5.6.1 Hovedplan

Task Name	Duration	Start	Finish	January	February	March	April	May
Definering av oppgaven	17 days	ons. 09.01.19 08.00	tor. 31.01.19 17.00	█				
Teoretisk grunnlag	39 days	man. 21.01.19 08.00	tor. 14.03.19 17.00		█			
Beregninger	73 days	man. 21.01.19 08.00	ons. 01.05.19 17.00		█	█		
Moddelering/visualisering	23 days	man. 01.04.19 08.00	ons. 01.05.19 17.00			█		
Fullføring av rapport	14 days	ons. 01.05.19 08.00	man. 20.05.19 17.00				█	
Presentasjon	7 days	fre. 10.05.19 08.00	man. 20.05.19 17.00					█

### 5.6.2 Utviklingshjelpemidler

Hjelpemidler for utviklingen av prosjektet vil være ved bruk av gant-diagram. Vi vil her kunne se hvilke tidsrammer vi skal forholde oss til. Kunne gjøre endringer underveis ved eventuelle avvik og tilføye nye elementer etter opparbeidet erfaring underveis i oppgaven.



### **5.6.3 Intern kontroll – evaluering**

Vi kommer til å levere framdriftsrapport og logg hver 14 dag til veileder. Dette sørger for jevnlig oppfølging og mulighet for tilbakemeldinger fra veileder, samt refleksjon over arbeid i gruppen.

Alle gruppens medlemmer skal sørge for at vi forholder oss til avsatte tidsfrister for ulike mål/delmål under hele prosjektperioden.

Når gruppens medlemmer er tilfredsstilt med resultat anser vi det som et nådd mål/delmål.

## **5.7 *Beslutninger – beslutningsprosess***

Det skal være enighet i gruppen før eventuelle beslutninger tas. Ved situasjoner hvor vi ikke kommer til enighet vil vi avtale møte med veileder og rådføre oss.

## **6 DOKUMENTASJON**

### **6.1 *Rapporter og tekniske dokumenter***

I hovedoppgaven skal det utarbeides:

- Forprosjektrapport som skal leveres 31.01.19
- Logg og framdriftsrapport skal leveres til veileder hver 14. dag fra og med 21.01.19 og gjennom hele prosjektperioden (se vedlegg 2 og 3)
- Avviksskjema ved eventuelle endringer
- Beregnings rapport og tekniske tegninger
- Plakat som presenterer prosjekt
- Papirutskrift og elektronisk utgave av bacheloroppgave

## **7 PLANLAGTE MØTER OG RAPPORTER**

### **7.1 *Møter***

#### **7.1.1 Møter med styringsgruppen**

Oppstartsmøte onsdag 09.01.19 kl 10.00 med veileder Babak Moussavian fra Statens vegvesen og veileder Kristian Normann fra NTNU Ålesund.

Ellers avtaler vi møter etter behov med veiledere. Vi vil levere framdriftsrapport og logg hver 14 dag, det vil derfor være jevnlig kontakt og oppfølging med veileder.

### 7.1.2 Prosjektmøter

Vi ser ikke noe behov for å avtale prosjektmøter innad i prosjektgruppen, dette er fordi vi kommer til å jobbe sammen store deler av prosjektet.

## 7.2 Periodiske rapporter

### 7.2.1 Framdriftsrapporter (inkl. milepæl)

Etter NTNU regelverk og mal skal det utarbeides framdriftsrapporter og logg. Etter avtale med veileder skal dette levers hver 14 dag, første framdriftsrapport og logg levers 21.01.19. (se vedlegg 2)

## 8 PLANLAGT AVVIKSBEHANDLING

Dersom prosjektet ikke går som planlagt og det oppstår avvik vil vi gjennomføre avviksbehandling. Dette kan være alt fra avvik som hindrer oss fra å rekke sentrale tidsfrister eller grove feilvurderinger. Hvis dette oppstår vil vi evaluere og se på eventuelle nye løsninger og muligheter for prosjektet. Vi vil også avtale et møte med veileder for rådføring og informere rådgiver om eventuelle avvik og endringer. Feil og avvik vil bli grundig drøftet i hovedrapporten.

Hele gruppen har ansvar for at avvik oppdages og vurderes, og at eventuelle endringer gjennomføres på en best mulig måte.

## 9 UTSTYRSBEHOV/FORUTSETNINGER FOR GJENNOMFØRING

I dette prosjektet trenger vi tilgang til:

- Fem-Design
- Revit
- Autocad

## 10 REFERANSER

- Statens Vegvesen, *E136 Veblungnes*, (04.06.2018), <https://www.vegvesen.no/Europaveg/e136veblungnes>. Hentet: 08.01.2019

## VEDLEGG

Vedlegg 1 Arbeidsavtale

Vedlegg 2 Framdriftsrapport

Vedlegg 3 Logg

Vedlegg 1:



1 av 2

# Bacheloroppgave 2019

I forbindelse med utførelse av Bacheloroppgave i bedrift.

## Avtale mellom oppdragsgiver (bedrift), student og NTNU i Ålesund

Generelt om bacheloroppgaven:

*Bacheloroppgaven gjennomføres fortrinnsvis i samarbeid med næringslivet, men kan også utformes i tilknytning til forskningsprosjekt skolens forskningsmiljø er involvert i. Oppgaveperioden deles i en forprosjektfase med egen innlevering og en prosjektfase som avsluttes med en offentlig framføring og rapport. Bacheloroppgaven kan også gjennomføres i bedrift. Oppgaven gjøres i grupper fortrinnsvis med 3 studenter og følges opp av oppnevnte veiledere. Bacheloroppgaven er på 20 studiepoeng som tilsvarer 2/3 av et semester i arbeidsmengde for studenten.*

Denne avtale er inngått mellom:

Bedrift:

*Statens Vegvesen Region Midt*

NTNU i Ålesund:

Institutt IHB, Fagseksjon Bygg,

**Veileder** *Kristian Normann*

Studenter:

*Thea V Skarvellen og Sofie Andersen*

Forpliktelser NTNU i Ålesund:

- Fagseksjonen skal stille med ansvarlig veileder.
- Fagseksjon Bygg ved veileder skal godkjenne oppgaven etter beskrivelse gitt i studiehandboken.
- Veileder har ansvar for oppfølging og kontroll av fremdrift i bacheloroppgaven.

Postadresse  
Postboks 1517  
6025 Ålesund

Org.nr. 974 767 880  
postmottak@alesund.ntnu.no

Besøksadresse  
Larsgårdsvegen 2  
6009 Ålesund

Telefon  
+47 73 59 50 00

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

---

- NTNU i Ålesund ved veileder har ansvar for at vurdering av bacheloroppgaven blir utført i henhold til vedtatte retningslinjer.

Forpliktelser til studentene (studentgruppen(e)):

- Beskrive bacheloroppgaven gjennom forprosjekt og fremdriftsplan
- Levere rapportskjema til veileder hver 14. dag
- Levere og presentere bacheloroppgaven etter opsatt mal og fremdriftsplan.

Forpliktelser oppdragsgiver (bedrift):

- Støtte studenten i utvelgelse og utforming/beskrivelse av bacheloroppgaven.
- Navngitt person, fra oppdragsgiver/firma, som kontaktperson/veileder for studentgruppen.
- Dekke alle nødvendige utgifter (ikke lønn) som reise, evt. kontorhold, kopiering, spesielle programvare etc.
- Forsikre studentene som om de var tilsatt i firmaet. (Spesielt ulykkesforsikring når studentene er ute på anlegg).

Generelt:

Bacheloroppgaven er NTNUs eiendom, men oppdragsgiver (firma) har rett til å benytte seg av resultatene i oppgaven. Er resultatene i bacheloroppgaven konfidensielle og må beskyttes, gjøres dette ved egen avtale mellom NTNU i Ålesund og oppdragsgiver (bedrift)

Dato: 9.01.2019

Wiel Normann  
NTNU i Ålesund

Statens vegvesen  
Oppdragsgiver (bedrift)

Sofie Andersen  
Thea V Skarvellen  
Student(ene)

Babak Mousavian

Vedlegg 2:

Hovedhensikt / fokus for arbeidet i denne perioden
Planlagte aktiviteter i denne perioden
Virkelig gjennomførte aktiviteter i denne perioden
Beskrivelse av/begrunnelse for eventuelle avvik mellom planlagte og virkelige aktiviteter
Beskrivelse av /begrunnelse for endringer som nå ønskes i selve prosjektets innhold eller i den videre framgangsmåten - eller framdriftsplanen
Erfaring fra denne perioden
Hovedhensikt/fokus neste periode

Planlagte aktiviteter neste periode
Annet
Ønske om /behov for veiledning, tema i undervisningen – drøfting ellers





# Vedlegg 12

Framdriftsrapport og logg

<b>IB303312</b> <b>Bacheloroppgave</b>	Prosjekt	Antall møter denne periode 1).	Firma – Oppdragsgiver	Side
	Dimensjonering av kulvert	5 dager	Vegvesenet	2 av 33
<b>Rapport fra prosess</b> <b>Framdriftsrapport</b>	Periode/uke(r)	Antall timer denne per. (fra logg)	Prosjektgruppe (navn)	Dato
	Uke 2 og 3	7 timer	Sofie Andersen Thea V Skavhellen	18.01.19

<p>Hovedhensikt / fokus for arbeidet i denne perioden</p> <p>Hovedhensikten/ fokus for arbeidet denne perioden har vært å definere oppgaven og skrive problemstilling.</p>
<p>Planlagte aktiviteter i denne perioden</p> <p>Møte med Statens Vegvesen.</p> <p>Skrive forprosjektrapporten.</p>
<p>Virkelig gjennomførte aktiviteter i denne perioden</p> <p>08.01.19 hadde vi oppstartsmøte med veileder Babak Moussavian fra Statens Vegvesne og veilder Kristian Normann fra NTNU Ålesund. Vi fikk her et godt grunnlag for å kunne definere en problemstilling.</p> <p>Vi har så bearbeidet informasjon fra oppstartsmøte, laget problemstilling og kommet godt i gang med forprosjektoppgaven. Har hatt god dialog med veileder fra skolen underveis i arbeidet.</p>
<p>Beskrivelse av/begrunnelse for eventuelle avvik mellom planlagte og virkelige aktiviteter</p> <p>Måtte avlyse planlagt arbeidsdag, 11.01.19, grunnet sykdom.</p>
<p>Beskrivelse av /begrunnelse for endringer som nå ønskes i selve prosjektets innhold eller i den videre framgangsmåten - eller framdriftsplanen</p> <p>Ingen endringer i perioden.</p>

<b>IB303312</b>  <b>Bacheloroppgave</b>	Prosjekt	Antall møter denne periode 1).	Firma – Oppdragsgiver	Side
	Dimensjonering av kulvert	5 dager	Vegvesenet	3 av 33
<b>Rapport fra prosess</b> <b>Framdriftsrapport</b>	Periode/uke(r)	Antall timer denne per. (fra logg)	Prosjektgruppe (navn)	Dato
	Uke 2 og 3	7 timer	Sofie Andersen Thea V Skavhellen	18.01.19

Erfaring fra denne perioden

Mye informasjon å bearbeide.

Ting tar mye lengre tid enn forventet, i denne perioden har vi brukt mer tid enn planlagt på forprosjektrapport. Dette var forventet grunnet lite erfaring.

Hovedhensikt/fokus neste periode

Ferdigstille forprosjektrapport.

Begynne dimensjoneringen av kulverten.

Planlagte aktiviteter neste periode

Anskaffe bakgrunns teori

Beregne laster på kulvert

Starte på dimensjoneringen av kulvert

Sette oss inn i dimensjoneringsprogrammet FEM-Designe.

Annet

Ønske om /behov for veiledning, tema i undervisningen – drøfting ellers

<b>IB303312</b>  <b>Bacheloroppgave</b>	Prosjekt	Antall møter denne periode 1).	Firma – Oppdragsgiver	Side
	Dimensjonering av betongkulvert	7	Statens Vegvesen	4 av 33
<b>Rapport fra prosess</b> <b>Framdriftsrapport</b>	Periode/uke(r)	Antall timer denne per. (fra logg)	Prosjektgruppe (navn)	Dato
	4 og 5	46,5	Sofie Andersen og Thea V. Skavhellen	01.01.19

Hovedhensikt / fokus for arbeidet i denne perioden

Fokuset på arbeid i denne perioden har vært å komme i gang med beregninger. Sette oss inn i programmet FEM-Design.

Planlagte aktiviteter i denne perioden

Beregne laster på kulverten

FEM-Design

Virkelig gjennomførte aktiviteter i denne perioden

Aktiviteter som har blitt gjennomført denne perioden er at vi har beregnet oss frem til de ulike lastene som påvirker konstruksjonen. Vi fikk begynt å se på FEM-Design, men dette er et relativt komplisert program så framdriften vår i dette programmet er ikke helt som ønsket.

Vi har også startet på hovedrapporten og samlet inn informasjon som er relevant for oppgaven.

Beskrivelse av/begrunnelse for eventuelle avvik mellom planlagte og virkelige aktiviteter

Avvik fra denne perioden er at vi ikke har fått gjort beregninger i forhold til hvordan konstruksjonen vil påvirkes når lastene blir påført. Grunnen for dette er det tidligere nevnte problemet med at FEM-Design er et komplisert program som vi ikke har tidligere erfaring fra.

Beskrivelse av/begrunnelse for endringer som nå ønskes i selve prosjektets innhold eller i den videre framgangsmåten - eller framdriftsplanen

Ligger relativt bra an, men kan se ut som at FEM-design tar mer tid enn forventet.

Erfaring fra denne perioden

<b>IB303312</b>  <b>Bacheloroppgave</b>	Prosjekt	Antall møter denne periode 1).	Firma – Oppdragsgiver	Side
	Dimensjonering av betongkulvert	7	Statens Vegvesen	5 av 33
<b>Rapport fra prosess</b> <b>Framdriftsrapport</b>	Periode/uke(r)	Antall timer denne per. (fra logg)	Prosjektgruppe (navn)	Dato
	4 og 5	46,5	Sofie Andersen og Thea V. Skavhellen	01.01.19

Vi møter mye utfordringer i programmet FEM-design. Dette er fordi vi ikke har noe erfaring fra tidligere.

Vi har også erfart at det er lurt å jobbe med hovedrapporten jevnt underveis.

Hovedhensikt/fokus neste periode

Beregne laster i FEM-design

Planlagte aktiviteter neste periode

Føring av utregning av laster og modeller.

Videre arbeid med hovedrapport.

Annet

Ønske om /behov for veiledning, tema i undervisningen – drøfting ellers

Vi har jevnlig kontakt med veileder på skolen, noe som vi ønsker å fortsette med. Foreløpig er det ikke behov for å avtale møte.

<b>IB303312</b>  <b>Bacheloroppgave</b>	Prosjekt	Antall møter denne periode 1).	Firma – Oppdragsgiver	Side
	Dimensjonering av betongkulvert	8	Statens Vegvesen Molde	6 av 33
<b>Rapport fra prosess</b> <b>Framdriftsrapport</b>	Periode/uke(r)	Antall timer denne per. (fra logg)	Prosjektgruppe (navn)	Dato
	6 og 7	45	Sofie Andersen og Thea Skavhellen	20.02.19

Hovedhensikt / fokus for arbeidet i denne perioden

Føring av utregning av laster og modeller.

Videre arbeid med hovedrapport.

Planlagte aktiviteter i denne perioden

Aktiviteter vi planla å gjennomføre denne perioden:

- Få en oversiktlig innføring av laster i dokument.
- Modellere kulvert i Revit.
- Skrive relevant teori for oppgaven.
- Møte med Kristian Nordmann

Virkelig gjennomførte aktiviteter i denne perioden

Aktiviteter vi gjennomførte i perioden:

- Møte med Kristian, 08.02.2019. Her fikk vi avklart spørsmål angående beregninger av fjærer. Her har det vært litt uklarhet om hvilke program vi skal bruke og teorien bak.
- Førte inn horisontale og vertikale laster på kulverten inn i et dokument.
- Skrevet relevant teori for oppgaven.

Beskrivelse av/begrunnelse for eventuelle avvik mellom planlagte og virkelige aktiviteter

Vi fikk ikke modellert kulverten i Revit på grunn av problemer med templatene.

<b>IB303312</b>	Prosjekt	Antall møter denne periode 1).	Firma – Oppdragsgiver	Side
<b>Bacheloroppgave</b>	Dimensjonering av betongkulvert	8	Statens Vegvesen Molde	7 av 33
<b>Rapport fra prosess Framdriftsrapport</b>	Periode/uke(r)	Antall timer denne per. (fra logg)	Prosjektgruppe (navn)	Dato
	6 og 7	45	Sofie Andersen og Thea Skavhellen	20.02.19

<p>Beskrivelse av /begrunnelse for endringer som nå ønskes i selve prosjektets innhold eller i den videre framgangsmåten - eller framdriftsplanen</p> <p>Foreløpig ingen behov for endringer i selve prosjektets innhold.</p>
<p>Erfaring fra denne perioden</p>
<p>Hovedhensikt/fokus neste periode</p> <p>Modellere kulvert i Revit.</p> <p>Eurocode Express</p>
<p>Planlagte aktiviteter neste periode</p> <p>Planlagte aktiviteter for perioden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modellere kulvert i Revit</li> <li>- Beregne ulike diagrammer i Eurocode Express, med hensyn på fjærer.</li> </ul>
<p>Annet</p>

<b>IB303312</b> <b>Bacheloroppgave</b>	Prosjekt  Dimensjonering av betongkulvert	Antall møter denne periode 1).  8	Firma – Oppdragsgiver  Statens Vegvesen Molde	Side  8 av 33
<b>Rapport fra prosess</b> <b>Framdriftsrapport</b>	Periode/uke(r)  6 og 7	Antall timer denne per. (fra logg)  45	Prosjektgruppe (navn)  Sofie Andersen og Thea Skavhellen	Dato  20.02.19

Ønske om /behov for veiledning, tema i undervisningen – drøfting ellers

Vi holder jevnlig kontakt med veileder fra skolen ved behov.



<b>IB303312</b>  <b>Bacheloroppgave</b>	Prosjekt	Antall møter denne periode 1).	Firma – Oppdragsgiver	Side
	Dimensjonering av betongkulvert	4	Statens Vegvesen	9 av 33
<b>Rapport fra prosess</b> <b>Framdriftsrapport</b>	Periode/uke(r)	Antall timer denne per. (fra logg)	Prosjektgruppe (navn)	Dato
	8 og 9	26 timer	Sofie Andersen og Thea V Skavhellen	01.03.19

Hovedhensikt / fokus for arbeidet i denne perioden

Hovedhensikten for denne perioden:

Modellere kulvert i Revit.

Eurcode Express

Planlagte aktiviteter i denne perioden

Det vi planlagte å gjøre i denne perioden:

- Modellere kulverten i Revit
- Få en forståelse og prøve å gjøre beregninger på kulvert i Eurocode Express

Virkelig gjennomførte aktiviteter i denne perioden

Aktiviteter vi gjennomførte denne perioden:

- Kommet godt i gang med modellering av kulvert i Revit. Er fortsatt et par ting som gjenstår som vi ikke har funnet ut av enda
- Begynt på beregning av kulverten i Eurocode Express. Dette er et program vi ikke har mye kjennskap til så fortsatt en del ting som mangler for å kunne få rett resultat av beregningene.
- I tillegg skrev vi på relevant teori for oppgaven og har fått fremgang i FEM-design.
- Møte med veileder Kristian Normann 01.03.19. Hvor vi gikk gjennom en del av utfordringene angående dataprogrammet Eurocode Express. Og diskuterte en del teori og eventuelle løsninger, noe som god hjelp for å få fremdrift i prosjektet.

Beskrivelse av/begrunnelse for eventuelle avvik mellom planlagte og virkelige aktiviteter

Pga. Obligatorisk prosjekt i faget, "ingeniørfaglig systemteknikk og systemutvikling" fikk vi ikke jobbet med oppgaven i uke 8. Dette førte til at vi ikke fikk gjennomført alle målene for denne perioden.

<b>IB303312</b> <b>Bacheloroppgave</b>	Prosjekt  Dimensjonering av betongkulvert	Antall møter denne periode 1).  4	Firma – Oppdragsgiver  Statens Vegvesen	Side  10 av 33
<b>Rapport fra prosess</b> <b>Framdriftsrapport</b>	Periode/uke(r)  8 og 9	Antall timer denne per. (fra logg)  26 timer	Prosjektgruppe (navn)  Sofie Andersen og Thea V Skavhellen	Dato  01.03.19

Beskrivelse av /begrunnelse for endringer som nå ønskes i selve prosjektets innhold eller i den videre framgangsmåten - eller framdriftsplanen

Foreløpig ingen endringer som ønskes i selve prosjektet.

Erfaring fra denne perioden

Vi har fått større forståelse for programmene FEM-design og Eurocode Express. Og vi har bearbeidet mye teori og fått god fremdrift i rapportskrivningen.

Hovedhensikt/fokus neste periode

Neste periode vil det være mye fokus på eksamen vi skal ha 14. Mars. Vi vil derfor ikke få mye tid til å arbeide med oppgaven.

Planlagte aktiviteter neste periode

- Eksamensøving
- Eksamen

<b>IB303312</b> <b>Bacheloroppgave</b>	Prosjekt  Dimensjonering av betongkulvert	Antall møter denne periode 1).  4	Firma – Oppdragsgiver  Statens Vegvesen	Side  11 av 33
<b>Rapport fra prosess</b> <b>Framdriftsrapport</b>	Periode/uke(r)  8 og 9	Antall timer denne per. (fra logg)  26 timer	Prosjektgruppe (navn)  Sofie Andersen og Thea V Skavhellen	Dato  01.03.19

Annet

Ønske om /behov for veiledning, tema i undervisningen – drøfting ellers

Avtaler møte med veileder Kristian Normann etter behov.

Ønske om veiledning i dataprogrammet FEM-Design.

<b>IB303312</b> <b>Bacheloroppgave</b>	Prosjekt  Dimensjonering av betongkulvert	Antall møter denne periode 1).  0	Firma – Oppdragsgiver  Statens Vegvesen	Side  12 av 33
<b>Rapport fra prosess</b> <b>Framdriftsrapport</b>	Periode/uke(r)  10 og 11	Antall timer denne per. (fra logg)  0 timer	Prosjektgruppe (navn)  Sofie Andersen og Thea V Skavhellen	Dato  26.03.19

Hovedhensikt / fokus for arbeidet i denne perioden

Denne perioden har vi fokusert på eksamen, vi har derfor ikke jobbet med oppgaven.

Planlagte aktiviteter i denne perioden

Virkelig gjennomførte aktiviteter i denne perioden

Beskrivelse av/begrunnelse for eventuelle avvik mellom planlagte og virkelige aktiviteter

Beskrivelse av /begrunnelse for endringer som nå ønskes i selve prosjektets innhold eller i den videre framgangsmåten - eller framdriftsplanen

Erfaring fra denne perioden

Hovedhensikt/fokus neste periode

Vi fortsetter der vi var på FEM design og jobber videre med rapporten.

<b>IB303312</b> <b>Bacheloroppgave</b>	Prosjekt  Dimensjonering av betongkulvert	Antall møter denne periode 1).  0	Firma – Oppdragsgiver  Statens Vegvesen	Side  13 av 33
<b>Rapport fra prosess</b> <b>Framdriftsrapport</b>	Periode/uke(r)  10 og 11	Antall timer denne per. (fra logg)  0 timer	Prosjektgruppe (navn)  Sofie Andersen og Thea V Skavhellen	Dato  26.03.19

<p>Planlagte aktiviteter neste periode</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Ferdig med FEM design og Eurocode Express</li><li>- Komme godt videre med rapport skrivingen.</li></ul>
<p>Annet</p>
<p>Ønske om /behov for veiledning, tema i undervisningen – drøfting ellers</p> <p>Avtaler møte med veileder Kristian Normann etter behov.</p>

<b>IB303312</b> <b>Bacheloroppgave</b>	Prosjekt  Dimensjonering av betongkølvert	Antall møter denne periode 1).  0	Firma – Oppdragsgiver  Statens Vegvesen	Side  14 av 33
<b>Rapport fra prosess</b> <b>Framdriftsrapport</b>	Periode/uke(r)  12 og 13	Antall timer denne per. (fra logg)  0 timer	Prosjektgruppe (navn)  Sofie Andersen og Thea V Skavhellen	Dato  26.03.19

Hovedhensikt / fokus for arbeidet i denne perioden

Denne perioden har vi jobbet med FEM design og Eurocode Express. Vi har også kommet godt i gang med rapportskrivning.

Planlagte aktiviteter i denne perioden

- Ferdig med FEM design og Eurocode Express
- Komme godt videre med rapport skrivingen.

Virkelig gjennomførte aktiviteter i denne perioden

Vi har kommet godt i gang med FEM design og Eurocode Express, men ser at vi trenger litt tid for å få en fullstendig rapport.

Vi hadde også et møte med Kristian denne perioden om Eurocode Express fordi resultatene her ikke var helt riktige. Vi kom her frem til løsninger på problemene som vi skal prøve. Også gikk vi gjennom en del generelle spørsmål angående rapporten.

Angående FEM design er vi kommet godt i gang, vi har her rådført oss til veileder fra Statens Vegvesen, Babak Moussavian.

Beskrivelse av/begrunnelse for eventuelle avvik mellom planlagte og virkelige aktiviteter

Vi er ikke kommet helt i mål med beregningsprogrammene vi benytter som var målet for perioden. Det er ikke mye igjen, og møte vi hadde med Kristian ga svar på en god del av problemene.

Beskrivelse av/begrunnelse for endringer som nå ønskes i selve prosjektets innhold eller i den videre framgangsmåten - eller framdriftsplanen

I denne perioden har vi gjort en del endringer i forhold til problemstillingen vi hadde utarbeidet. Vi har formulert den feil i og med at vi ikke skal prosjektere betongkølverten, men vi skal utføre beregninger. Etter dialog med veileder fra Statens Vegvesen over mail, oppdaget vi feilen ved problemstilling.

<b>IB303312</b>  <b>Bacheloroppgave</b>	Prosjekt	Antall møter denne periode 1).	Firma – Oppdragsgiver	Side
	Dimensjonering av betongkulvert	0	Statens Vegvesen	15 av 33
<b>Rapport fra prosess</b> <b>Framdriftsrapport</b>	Periode/uke(r)	Antall timer denne per. (fra logg)	Prosjektgruppe (navn)	Dato
	12 og 13	0 timer	Sofie Andersen og Thea V Skavhellen	26.03.19

Vi var derfor i møte med Max Ingar Mørk for å rådføre oss om hvordan vi skal gjennomføre endringene. Etter avtale med veileder Kristian Normann, har vi avtalt å dokumentere endringen her i framdriftsrapporten.

Erfaring fra denne perioden

Erfaringer fra denne perioden er at vi stadig opparbeider oss kunnskap i forhold til oppgaven og det blir derfor tydelig hvordan denne skal løses. Vi ser også det at vi har en del igjen å gjøre for å løse oppgaven og må derfor bruke tiden fornuftig.

Endringene vi har gjort i forhold til problemstilling og gjort det tydeligere hva vi skal gjennomføre for å kunne besvare problemstillingen.

Hovedhensikt/fokus neste periode

Utføre håndberegninger og jobbe videre med rapporten.

Planlagte aktiviteter neste periode

Utføre håndberegninger for:

- Nedbøyning
- Riss
- Kontroll av armerings resultater fra FEM design for hånd

Framstille resultater fra håndberegning og rapporter fra beregningsprogrammer i rapporten.

<b>IB303312</b> <b>Bacheloroppgave</b>	Prosjekt Dimensjonering av betongkulvert	Antall møter denne periode 1).  0	Firma – Oppdragsgiver  Statens Vegvesen	Side  16 av 33
<b>Rapport fra prosess</b> <b>Framdriftsrapport</b>	Periode/uke(r)  12 og 13	Antall timer denne per. (fra logg)  0 timer	Prosjektgruppe (navn)  Sofie Andersen og Thea V Skavhellen	Dato  26.03.19

Annet

Ønske om /behov for veiledning, tema i undervisningen – drøfting ellers

Avtaler møte med veileder Kristian Normann etter behov.



<b>IB303312</b>	Prosjekt	Antall møter denne periode 1).	Firma – Oppdragsgiver	Side
<b>Bacheloroppgave</b>	Betongkulvert	9	Statens Vegvesen	17 av 33
<b>Rapport fra prosess Framdriftsrapport</b>	Periode/uke(r)	Antall timer denne per. (fra logg)	Prosjektgruppe (navn)	Dato
	14 og 15	68,5	Sofie Andersen og Thea V Skavhellen	11.04.19

Hovedhensikt / fokus for arbeidet i denne perioden

Hente frem resultater fra FEM Design vi skal benytte i håndberegningene. Ferdigstille og føring av håndberegninger.

Planlagte aktiviteter i denne perioden

Utføre håndberegninger for:

- Nedbøyning
- Armering
- Skjærarmering
- Riss
- Kontroll av armerings resultater fra FEM design for hånd
- Oppdrift

Føring av håndberegninger.

Virkelig gjennomførte aktiviteter i denne perioden

Vi har gjort oss ferdig med håndberegningene og de er nå ført.

Beskrivelse av/begrunnelse for eventuelle avvik mellom planlagte og virkelige aktiviteter

Denne perioden har vi klart å gjennomføre alt vi hadde planlagt.

Beskrivelse av /begrunnelse for endringer som nå ønskes i selve prosjektets innhold eller i den videre framgangsmåten - eller framdriftsplanen

Erfaring fra denne perioden

Vi har brukt en del lengre tid på håndberegningene enn ventet, men klarte å holde oss innenfor tidsfristen vi satt.

<b>IB303312</b>	Prosjekt	Antall møter denne periode 1).	Firma – Oppdragsgiver	Side
<b>Bacheloroppgave</b>	Betongkulvert	9	Statens Vegvesen	18 av 33
<b>Rapport fra prosess Framdriftsrapport</b>	Periode/uke(r)	Antall timer denne per. (fra logg)	Prosjektgruppe (navn)	Dato
	14 og 15	68,5	Sofie Andersen og Thea V Skavhellen	11.04.19

Hovedhensikt/fokus neste periode

Korrigerings og skriving i hovedrapporten. Se gjennom alle håndberegninger.

Planlagte aktiviteter neste periode

Utføre håndberegninger for:

- Nedbøyning
- Riss
- Kontroll av armerings resultater fra FEM design for hånd

Framstille resultater fra håndberegning og rapporter fra beregningsprogrammer i rapporten.

Annet

Ønske om /behov for veiledning, tema i undervisningen – drøfting ellers

Avtaler møte med veileder Kristian Normann etter behov.

<b>IB303312</b> <b>Bacheloroppgave</b>	Prosjekt Betongkulvert	Antall møter denne periode 1). 4	Firma – Oppdragsgiver Statems Vegvesen	Side 19 av 33
<b>Rapport fra prosess</b> <b>Framdriftsrapport</b>	Periode/uke(r) 16 og 17	Antall timer denne per. (fra logg) 34	Prosjektgruppe (navn) Sofie Andersen og Thea V Skavhellen	Dato

Hovedhensikt / fokus for arbeidet i denne perioden

Rapport arbeid.

Planlagte aktiviteter i denne perioden

Korrigerings og skriving i hovedrapporten. Se gjennom alle håndberegninger.

Virkelig gjennomførte aktiviteter i denne perioden

Korrigerings og skriving i hovedrapporten. Se gjennom alle håndberegninger.

Beskrivelse av/begrunnelse for eventuelle avvik mellom planlagte og virkelige aktiviteter

Beskrivelse av/begrunnelse for endringer som nå ønskes i selve prosjektets innhold eller i den videre framgangsmåten - eller framdriftsplanen

Erfaring fra denne perioden

Hovedhensikt/fokus neste periode

<b>IB303312</b>	Prosjekt	Antall møter denne periode 1).	Firma – Oppdragsgiver	Side
<b>Bacheloroppgave</b>	Betongkulvert	4	Statems Vegvesen	20 av 33
<b>Rapport fra prosess Framdriftsrapport</b>	Periode/uke(r)	Antall timer denne per. (fra logg)	Prosjektgruppe (navn)	Dato
	16 og 17	34	Sofie Andersen og Thea V Skavhellen	

Planlagte aktiviteter neste periode

Korrigerings og skriving i hovedrapporten. Se gjennom alle håndberegninger.

Lage armeringstegninger i Revit og andre detaljtegninger.

Annet

Ønske om /behov for veiledning, tema i undervisningen – drøfting ellers

Avtaler møte med veileder Kristian Normann etter behov.

Hovedhensikt / fokus for arbeidet i denne perioden

Ferdigstille bachelor oppgave

Planlagte aktiviteter i denne perioden

Korrigerer og skriver i hovedrapporten. Se gjennom alle håndberegninger.

Lage armeringstegninger i Revit og andre detaljtegninger.

Virkelig gjennomførte aktiviteter i denne perioden

Korrigerer og skriver i hovedrapporten. Se gjennom alle håndberegninger.

Lage armeringstegninger i Revit og andre detaljtegninger.

Beskrivelse av/begrunnelse for eventuelle avvik mellom planlagte og virkelige aktiviteter

Beskrivelse av /begrunnelse for endringer som nå ønskes i selve prosjektets innhold eller i den videre framgangsmåten - eller framdriftsplanen

Erfaring fra denne perioden

Hovedhensikt/fokus neste periode

Ferdigstille bachelor oppgave

Planlagte aktiviteter neste periode

Lage plakat

Korrektur lesing

Lage fremføring

Annet

Ønske om /behov for veiledning, tema i undervisningen – drøfting ellers

Avtaler møt med veileder etter behov.



# LOG

## Utført arbeid i perioden

**Navn på studenter:**

**Stud1: Sofie Andersen**

**Stud2: Thea V Skahellen**

**Navn på bedrift/organisasjon: Statens vegvesen Molde**

**Namn på veileder ved bedrift/organisasjon: Babak Moussavian**

**Aktivitetsplan**

Uke	Dato	Gjennomført arbeid/Tema/aktivitet	Stud1 Timer	Stud2 Timer	Stud3 Timer	Stu 4 Timer
2	09.0 1.19	Oppstartmøte med Statens vegvesen.  Tilstede: Babak Moussavian, Kristian Normann, Sofie Andersen og Thea V Skavhellen	7	7		
2	11.0 1.19	Møte uteble pga sykdom	0	0		
3	14.0 1.19	Definering av bacheloroppgave Arbeid med forprosjektrapport	7	7		
3	15.0 1.19	Arbeid med forprosjektrapport Anskaffet faglitteratur	3	3		
3	16.0 1.19	Arbeid med forprosjektrapport. Mottatt lisens for FEM- Design Laget problemstilling	6.5	6.5		
3	18.0 1.19	Korrekturlesing av forprosjektoppgave	4	4		
Sum timer			27,5	27,5		

Plan for neste uke, tema (aktivitetsplan)

4		Fullføre forprosjektrapport og lage presentasjon til fremføring
---	--	---







# IB303312 Bacheloroppgave LOG

## Utført arbeid i perioden

Navn på studenter:

Stud1: Sofie Andersen

Stud2: Thea V Skavhellen

Navn på bedrift/organisasjon: Statens Vegvesen Molde

Namn på veileder ved bedrift/organisasjon: Babak Moussavian

### Aktivitetsplan

Uke	Dato	Gjennomført arbeid/Tema/aktivitet	Stud1 Timer	Stud2 Timer	Stud3 Timer	Stu 4 Timer
6	04.0 2.19	Byggseminar				
6	05.0 2.19	FEM-design Oppføring av regning i Excel, men ønsker en annen form for oppføring.	4	4		
6	06.0 2.19	Jobbet med hovedrapport og oppsamling av teori	7	7		
6	07.0 1.19	Hovedrapport Figurtegning i Revit, trenger assistanse fra Lala	7	7		
6	08.0 2.19	Møte med veileder, Kristian Normann Gått igjennom det som ble sakt i møte	5	5		
7	11.0 2.19	Møte uteble pga sykdom				
7	12.0 2.19	Jobbet med dataprogram, men fant ut at vi måtte avtale et møte med lala pga problemer med revit template	4	4		
7	13.0 2.19	Førte laster og skrev på oppgaven	7	7		
7	14.0 2.19	Møte med lala	3	3		
7	15.0 2.19	Beregning av traue og teoriskrivning	6	6		
Sum timer			43	43		

Plan for neste uke, tema (aktivitetsplan)

8 og 9	Eurocode Express. Se mer på trauberegninger
-----------	--

# IB303312 Bacheloroppgave LOG

## Utført arbeid i perioden

**Navn på studenter:**

**Stud1:** Thea V Skavhellen

**Stud2:** Sofie Andersen

**Navn på bedrift/organisasjon:** Statens Vegvesen

**Namn på veileder ved bedrift/organisasjon:** Babak Moussavian

### Aktivitetsplan

Uke	Dato	Gjennomført arbeid/Tema/aktivitet	Stud1 Timer	Stud2 Timer	Stud3 Timer	Stu 4 Timer
8		Uteble pga. Obligatorisk undervisning og gruppeoppgave i Ingeniørfaglig systemteknikk og systemutvikling				
9	25.0 2.19	Tegnet modell i Revit Skrev teori	7	7		
9	26.0 2.19	Undervisning hele dagen				
9	27.0 2.19	Jobbet med FEM-Design og Eurocode Express	7	7		
9	28.0 2.19	Jobbet videre med FEM-Design, Eurocode Express og teoriskrivning	8	8		
9	29.0 2.19	10.00-11.00: Møte med veileder Kristian Normann	4	4		
Sum timer						

Plan for neste uke, tema (aktivitetsplan)

10 og 11	Ukene vil gå til eksamenslesing og eksamen.

# IB303312 Bacheloroppgave

## LOG

### Utført arbeid i perioden

Navn på studenter:

Stud1: Sofie Andersen

Stud2: Thea V Skavhellen

Navn på bedrift/organisasjon: Statens Vegvesen

Namn på veileder ved bedrift/organisasjon: Babak Moussavian

### Aktivitetsplan

Uke	Dato	Gjennomført arbeid/Tema/aktivitet	Stud1 Timer	Stud2 Timer	Stud3 Timer	Stu 4 Timer
12	18.03.19	Arbeidet med FEM-Design Arbeidet med teori til hovedrapport	8	8		
12	19.03.19	Arbeidet med FEM-Design. Fikk tekniske problemer på grunn av at lisens utgikk. Arbeidet med teori til hovedrapport	6	6		
12	21.03.19	Arbeidet med Eurocode Express	7	7		
12	22.03.19	Møte med Kristian Normann, kl. 09.30	6	6		
13	25.03.19	FEM design og jobbing med rapport	7	7		
13	26.03.19	FEM design og jobbing med rapport	7	7		
13	27.03.19	FEM design og jobbing med rapport Beregning av tillatt rissvidde	7	7		
13	28.03.19	EEM design og jobbing med rapport Framdriftsrapport	7	7		
13	30.03.19	FEM design og jobbing med rapport Skrive logg	7	7		
Sum timer						

Plan for neste uke, tema (aktivitetsplan)

14		Fullføre rapport i FEM design og Eurocode Express. Jobbing med hovedrapport og gjøre håndberegninger
15		Alle håndberegninger skal være ferdig og skal føres i hovedrapporten.

# IB303312 Bacheloroppgave

## LOG

### Utført arbeid i perioden

Navn på studenter:

Stud1: Sofie Andersen Stud2: Thea V Skavhellen

Navn på bedrift/organisasjon: Statens Vegvesen

Namn på veileder ved bedrift/organisasjon: Babak Moussavian

### Aktivitetsplan

Uke	Dato	Gjennomført arbeid/Tema/aktivitet	Stud1 Timer	Stud2 Timer	Stud3 Timer	Stu 4 Timer
14	01.0 4.19	- Lager rapporter i FEM-Design - Skrive teori	7,5	7,5		
14	02.0 4.19	- Ferdigstilte rasultater i FEM-Design -Skrive teori	7,5	7,5		
14	03.0 4.19	- Utførte håndberegninger for armering - Skrev teori	7,5	7,5		
14	04.0 4.19	- Utførte håndberegninger armering	7,5	7,5		
14	05.0 4.19	- Førte inn håndberegningene vi gjorde så langt	7,5	7,5		
15	08.0 4.19	- Utførte andre håndberegninger	8	8		
15	09.0 4.19	- Håndberegninger	8	8		
15	10.0 4.19	- Håndberegninger - Førte håndberegninger	9	9		
15	11.0 4.19	- Førte håndberegninger	6	6		
Sum timer						

Plan for neste uke, tema (aktivitetsplan)

16	Påskeferie
17	Korrigering og skriving i hovedrapport

# IB303312 Bacheloroppgave

## LOG

### Utført arbeid i perioden

Navn på studenter:

Stud1: Sofie Andersen

Stud2: Thea V skavhellen

Navn på bedrift/organisasjon: Statens Vegvesen

Namn på veileder ved bedrift/organisasjon: Babak Moussavian

### Aktivitetsplan

Uke	Dato	Gjennomført arbeid/Tema/aktivitet	Stud1 Timer	Stud2 Timer	Stud3 Timer	Stu 4 Timer
17	23.0 4.19	- Korrekturlesing av rapport - Se gjennom beregninger	8,5	8,5		
17	24.0 4.19	- Skrev videre på rapport - Jobbet med vedlegg	8,5	8,5		
17	25.0 4.19	- Metode skriving	8,5	8,5		
17	26.0 4.19	- Tegnet figurer - Rapport arbeid	5	5		
17	27.0 4.19	- Rapportarbeid		4		
17	28.0 4.19	- Ferdig fremstilling av rapporter og figurer	3			
Sum timer						

Plan for neste uke, tema (aktivitetsplan)

18/19		Jobbe med diskusjon og konklusjon

# IB303312 Bacheloroppgave LOG

## Utført arbeid i perioden

Navn på studenter:

Stud1: Sofie Andersen    Stud2: Thea V Skavhellen

Navn på bedrift/organisasjon: Statens vegvesen

Namn på veileder ved bedrift/organisasjon: Babak Moussavian

### Aktivitetsplan

Uke	Dato	Gjennomført arbeid/Tema/aktivitet	Stud1 Timer	Stud2 Timer	Stud3 Timer	Stu 4 Timer
18	29.0 4.19	Jobbet med hovedrapport	10	10		
18	30.0 4.19	Jobbet med hovedrapport	10	10		
18	01.0 5.19	Jobbet med hovedrapport	10	10		
18	02.0 5.19	Jobbet med hovedrapport	10	10		
18	03.0 5.19	Jobbet med hovedrapport	10	10		
19	06.0 5.19	Armeringstegninger i Revit Jobbet med hovedrapport	8	8		
19	07.0 5.19	Armeringstegninger i Revit Jobbet med hovedrapport	8	8		
19	08.0 5.19	Armeringstegninger Jobbet med hovedrapport	8	8		
19	09.0 5.19	Jobbet med hovedrapport	8	8		
19	10.0 5.19	Korrekturlesing	8	8		
19	11.0 5.19	Korrekturlesing	5	5		
19	12.0 5.19	Korrekturlesing	5	5		
Sum timer						

Plan for neste uke, tema (aktivitetsplan)



20		Ferdigstille og gjøre klar for levering