

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP

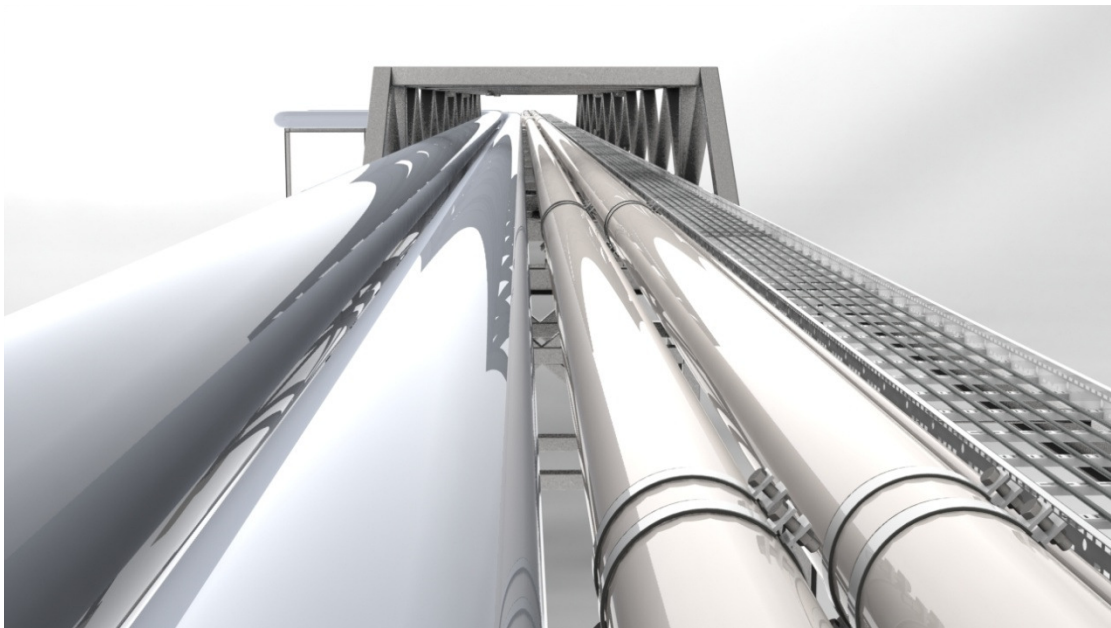


# Mekanisk/hydraulisk utvikling og dimensjonering av rørgate

---

av

Fredrik Romsaas



Gradsoppgave  
Maskin- prosess og produktutvikling,  
IMT/UMB, 2011



## FORORD

Denne oppgaven er en masteroppgave i studiet Maskin, Prosess og Produktutvikling, ved Institutt for Matematiske Realfag og Teknologi ved Universitetet for Miljø og Biovitenskap. Etter eget ønske for å få et innblikk i arbeidslivet ble det valgt en røroppgave hos ingeniør- firmaet A-TEK AS. Ved utvikling av rørgater er man innom flere disipliner som blant annet; hydraulik, termodynamikk og mekanikk.

I en slik oppgave får man også trening i å bruke standarder og normer for utvikling av utstyr. Dette gjør prosjektet veldig verdifullt for meg som ingeniør, ettersom som jeg har fått brukt mine teoretiske kunnskaper i praksis. Gjennom oppgaven har jeg oppnådd mange nye erfaringer som vil gi meg et bedre grunnlag når jeg går inn i arbeidslivet.

Jeg vil også benytte anledningen til å takke Siv.ing Johan Spenningsby, Senior ing. Jonny Edvardsen og de andre ansatte ved A-TEK AS for god veiledning og utlån av diverse litteratur.

Takk til hovedveilder/førsteamanuensis Geir Terjesen og førsteamanuensis Jan Kåre Bøe for all hjelp og veiledning gjennom oppgaven. Har satt stor pris på deres raske og konkrete tilbakemeldinger.

Ås, den 13. mai 2010

---

Fredrik Romsaas



## SAMMENDRAG

Denne oppgaven tar for seg hydraulisk og mekanisk utvikling av en rørgate som skal frakte bensen, jet-A1, fyringsolje 6 og bitumen (asfalt) fra kai til tankanlegg. Distansen er gitt til å være 900m og trykktapet skal ikke overskride 2 bar. Fyringsolje 6 og bitumen er medier som krever relativt høy temperatur for å oppnå egnet viskositet for pumping. Rørgater som frakter slike medier må derfor utformes på en slik måte at temperaturen opprettholdes ellers kan det oppstå størkning og innvendig fortetning. Alle rørstrekke skal ha et fall på 1/100 slik at anlegget kan tappes ved behov. Rørgaten skal legges 4,5m over bakkenivå, videre skal opplagrene utstyres med påkjøringsbeskyttelse. Rørgaten krysser et område på 32m hvor det ikke er mulighet for opplagere.

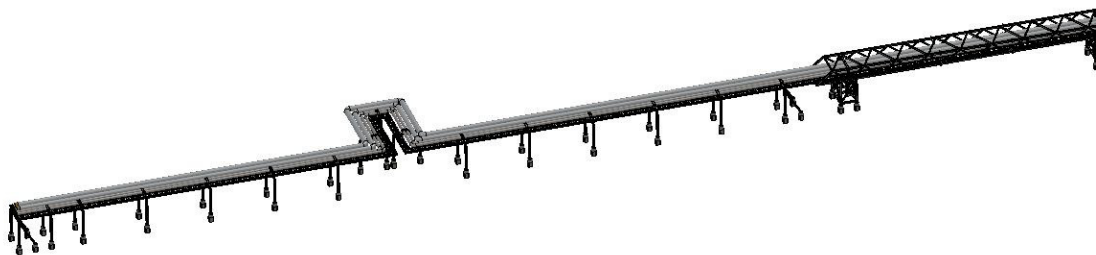
Det ble det gjort en hydraulisk betraktning av de forskjellige mediene og på grunnlag av dette ble rørdimensjoner og materialer valgt. I dette arbeidet ble det laget et EXCEL regneark for å lette arbeidet med å finne fornuftig rørdiameter med hensyn til trykktap. Isolasjonstykkelse til fyringsoljen og bitumen ble beregnet og optimalisert i beregningsprogrammet Glava Gti 5.0. Endte opp med 120mm og 160mm i tykkelse. Noe som virket høyt da det var forespeilet 80mm. Kontakte Glava som bekreftet at resultatet stemte.

Rørgatens ytre laster ble beregnet etter gitte standarder. Deretter ble styrkeberegninger og fleksibilitetsanalyser for rørene gjort i CAEPIPE. Analysene viste at rørstrekke hadde for store ekspansjonsspenninger. Innførte ekspansjonslyrer for å få redusert spenningene. Var nødt til å ha en ekspansjonslyre for hver 100m rør i henhold til å tilfredsstillte maks tillatt spenning. Største lyre endte på 11m x 7m (h x b).

Resultatene fra CAEPIPE og tilleggslasten fra ekstramateriell dannet dimensjoneringsgrunnlaget til opplagrene. Det ble utviklet to typer; standard- og ankeropplager. Grunnet påkjøringsbeskyttelse skulle fundamenteringen stikke 1 meter over bakken. Dette resulterte i at opplagersøylene trengte en høyde på 3,5m. Opplagrene ble analysert i ANSYS og håndberegnet mot knekking om både sterk og svak akse. Bjelkeelement HE200B ble valgt.

For området på 32m hvor det ikke kunne benyttes opplagere ble det først forsøkt med IPE-bjelker, men selv den største lagerførte bjelken holdt ikke kravet til nedbøyning. Var nødt til å innføre et fagverk for å tilfredsstillte forutsetningene. Laget fagverksbro av typen "Warren" som ble analysert og optimalisert i ANSYS. Endte opp med hulprofilene 200x200x8mm og 200x100x5mm, en totalvekt på 15tonn og nedbøyning på 85mm. Videre ble kapasiteten til flensforbindelsene i fagverksbroen kontrollert.

I ettertid har det også blitt oppdaget feil og mangler som ikke har latt seg endre av hensyn til begrenset tid. Dette er oppsummert og tatt med som videre arbeid i kapitlet med samme navn. I figuren under vises foreløpig løsningsforslag.



Figur 1 – Løsningsforslag.

## ABSTRACT

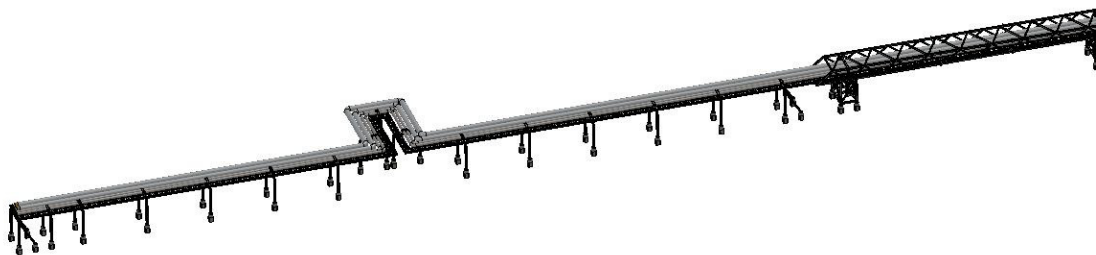
This thesis examines the hydraulic and mechanical development of a pipeline that will transport gasoline, jet-A1, oil heat 6 and bitumen (asphalt) from the pier to tank farm. The distance is given to be 900m and the pressure loss shall not exceed 2 bar. Oil heat 6 and bitumen is medium that requires relatively high temperature to achieve suitable viscosity for pumping. Pipelines that carry such media must be designed in such a way that the temperature is maintained or it can cause solidification and internal clogging. All pipes shall have a drop of 1 / 100 so that the plant can be tapped when needed. The pipeline shall be 4.5 m above ground and the supports must be equipped with collision protection. Pipeline also crosses an area of 32m where it is no possibility for supports.

Hydraulic consideration of the different mediums was made to select suitable materials and pipe sizes. To this work it was made an EXCEL spreadsheet to facilitate efforts of finding reasonable diameter with respect to pressure loss. Insulation thickness for oil heat and bitumen was calculated and optimized in the calculation program - Glava GTI 5.0, ended up with 120mm and 160mm in thickness. This seemed high when it was envisaged 80mm; I contacted Glava who confirmed the result.

The pipeline external loads were calculated according to certain standards. Strength calculations and flexibility analysis of pipes was done in CAEPIPE. Great expansion stresses was revealed in the analysis and expansion loops was introduced to reduce the tensions. Therefore, it was placed one expansion loop for every 100 m of pipeline in accordance to satisfy maximum allowed stress. The greatest expansion loop ended with a height of 11 m and width of 7m.

The results from CAEPIPE and additional equipments loads formed the basis for constructing the supports. It was made two types of supports; standard support and anchor support. Due to collision protection shall support foundation be 1m above the ground; this resulted in a support height of 3,5m. The supports was analyzed in ANSYS and hand calculated against buckling of both strong and weak axis. Beam Element HE200B was selected. For the area of 32m where no supports could be used, here it was first tried with IPE-beams. But even the greatest IPE-beam did not satisfy the requirements for deflection. I had to introduce a framework to satisfy the prerequisites. Built a framework of type – Warren, this was analyzed and optimized in ANSYS.

Ended up with following hollow profiles; 200x200x8mm and 200x100x5mm, a total weight of 15 ton and a deflection of 85 mm. Moreover the capacity of the flanges in the framework has been controlled and checked-ok. In retrospect has errors and defects been discovered that not have been possible to change for reasons of limited time. These are summarized and included as further work in the chapter with the same name. The preliminary solution is shown in the picture below.



*Figur 2 – Preliminary solution.*

# INNHALDSFORTEGNELSE

	Side:
1. INNLEDNING .....	9
1.1 Bakgrunn.....	9
1.2 Problemstillinger.....	9
1.3 Målsettinger og begrensninger.....	10
1.4 Fremdriftplan .....	11
1.5 Symboler og formler.....	12
2. BESKRIVELSER .....	18
2.1 Kravspesifikasjoner .....	18
2.2 Forskrifter og standarder.....	18
3 HYDRAULISK DIMENSJONERING AV RØR.....	21
3.1 Beregningsgrunnlag og forutsetninger.....	21
3.2 Strømningshastighet, friksjon og trykktap.....	22
3.2.1 Strømningshastighet som følge av rørdiameter .....	22
3.2.2 Reynolds tall .....	22
3.2.3 Haaland ligningen.....	22
3.2.4 Lokale trykktap.....	23
3.2.5 Friksjons trykktap .....	23
3.2.6 Totalt trykktap.....	23
3.2.7 Resultat av hydraulisk dimensjonering.....	23
3.3 Materialvalg – Rør.....	24
3.4 Hensyn til trykkstøt.....	26
3.5 Valg av flenser.....	28
4. ISOLASJON OG MANTLING .....	29
4.1 Isolasjonsklasser og utførelse .....	29
4.2 Isolasjonsmateriale.....	30
4.3 Mantling og ikke avtakbar isolasjon.....	32
4.4 Beregning av nødvendig isolasjonstykkelse .....	33
4.4.1 Beregningsgrunnlag .....	33
4.4.2 Glava Gti 5.0.....	33
4.4.3 Resultat .....	34
5 MEKANISK DIMENSJONERING AV RØR.....	35
5.1 Beregningsgrunnlag / Laster.....	35
5.1.1 Personlast.....	35
5.1.2 Snølast.....	35
5.1.3 Vindlast.....	37
5.2 CAEPIPE – Innledning.....	38

5.2.1 Temperatur.....	38
5.2.2 Tillatt trykk .....	39
5.2.3 Vedvarende spenninger.....	40
5.2.4 Sporadiske spenninger .....	40
5.2.5 Ekspansjons spenninger .....	40
5.2.6 Vindlaster.....	41
5.2.7 Bend.....	41
5.3 CAEPIPE – Analyse .....	42
5.3.1 Første analyse .....	42
5.3.2 Termisk ekspansjon .....	43
5.3.3 Ekspansjonslyre .....	43
5.3.4 Sluttresultat .....	45
<b>6 BEREGNING AV STÅLKONSTRUKSJONER .....</b>	<b>46</b>
6.1 Beregningsgrunnlag .....	46
6.1.1 Lastfaktor .....	46
6.1.2 Materialfaktor .....	46
6.1.3 Skrueforbindelser.....	46
6.1.4 Sveis.....	47
6.1.4 Knekking.....	47
6.2 Kabelstige og servicerør .....	48
6.3 Dimensjonering av profiler.....	49
6.3.1 Hulprofil.....	49
6.3.2 UNP - Profil.....	51
6.4 Opplagere.....	54
6.4.1 Standardopplager .....	55
6.4.2 Søylefot – Standardopplager.....	61
6.4.3 Ankeropplager .....	64
6.4.4 Søylefot – ankeropplager .....	67
6.5 Fagverksbro .....	68
6.5.1 Forundersøkelse .....	68
6.5.2 Modellering og optimalisering.....	68
6.5.3 Skrudd bjelkeforbindelse med endeplater.....	72
<b>7. ELEMENT- OG LØSNINGSVALG.....</b>	<b>82</b>
7.1 Fabrikerte elementer .....	82
7.2 Innkjøpte elementer .....	83
7.3 Teknisk detaljutforming.....	84
<b>8. MATERIALVALG OG BEARBEIDING.....</b>	<b>86</b>
8.1 Materialvalg.....	86

8.2 Bearbeiding og utforming.....	87
8.3 Bearbeidingskart.....	88
8.4 Korrosjonsbeskyttelse.....	89
9. PRESENTASJON AV LØSNING .....	91
7 MATERIAL- OG PRODUKSJONSKOSTNADER .....	95
7.1 Materialforbruk.....	95
7.2 Massebasert kalkyle.....	96
8 PROSESSDISKUSJON.....	97
9 KONKLUSJON .....	99
9.1 Anbefalinger .....	99
9.2 Videre arbeid .....	100
10 LITTERATURREFERANSER .....	101
10.1 Skriftlige kilder.....	101
10.2 Internettkilder .....	101
11 VEDLEGG .....	102

## 1. INNLEDNING

### 1.1 Bakgrunn

Denne oppgaven ble gitt av A-TEK AS som er et rådgivende ingeniørfirma med spesialkompetanse innen landbasert oljelagringsanlegg, bensinstasjoner og VVS-teknikk. Jeg kontaktet dette firmaet i håp om å få et reelt prosjekt og på den måten få en smakebit av det virkelige livet. Samtidig ville det gi meg mange nye erfaringer. A-TEK AS var svært imøtekommende og ga meg i første runde følgende oppgavetittel;

”Mekanisk og hydraulisk utvikling og dimensjonering av rørgate for...”,

da det var uvisst hvilke medier som skulle fraktes i rørene. Grensesnittet for konstruksjonen skulle være endepunktene og overgang til betongfundament og følgende temaer ble satt som aktuelle:

- Designkoder/Standarder
- Trykktap-/kapasitetsberegninger
- Styrkeberegninger/fleksibilitetsanalyser for rørene.  
(indre trykk, trykkstøt/unormale trykk, egenlast, ytrelaster, termisk ekspansjon)
- Ekspansjonslyre
- Design/modellering

I et nytt møte hos A-TEK AS ble fire forskjellige medier definert med hensyn til hastighet, volum og temperatur. Oppgaveteksten ble derfor endret til;

”Mekanisk/hydraulisk utvikling og dimensjonering av rørgate”.

For å gi oppgaven en mer realistisk fremstilling blir Holmen i Drammen brukt som geografisk referansepunkt med hensyn til vind, snø og temperatur. Eventuelt andre parametere som er nødvendige blir også hentet fra dette området.

### 1.2 Problemstillinger

- Sette seg inn i regelverk som gjelder for industrielle rørsystemer.
- Bestemme rørets diameter, veggtykkelse og materialet av hensyn til det mediet det skal frakte
- Utføre varmetekniske beregninger som gir svar på økonomiske korrekte isolasjonstykkelser.
- Gjøre styrkeberegninger og fleksibilitetsanalyser av rørene. Utforme rørgaten slik at kravspesifikasjonene blir tilfredsstilte.
- Utforme og dimensjonere et fornuftig forslag til opplagere.
- Dimensjonere en bro som kan ”bære” rørene 32 m.

## 1.3 Målsettinger og begrensninger

**Hovedmål:** Fremstille et løsningsforslag for en rørgate som skal transportere fire forskjellige medier. Det skal tas hensyn til trykktap, termisk ekspansjon og ytre påkjenninger som rørgaten blir utsatt for, slik at kravspesifikasjonene blir tilfredsstilte.

**Delmål:**

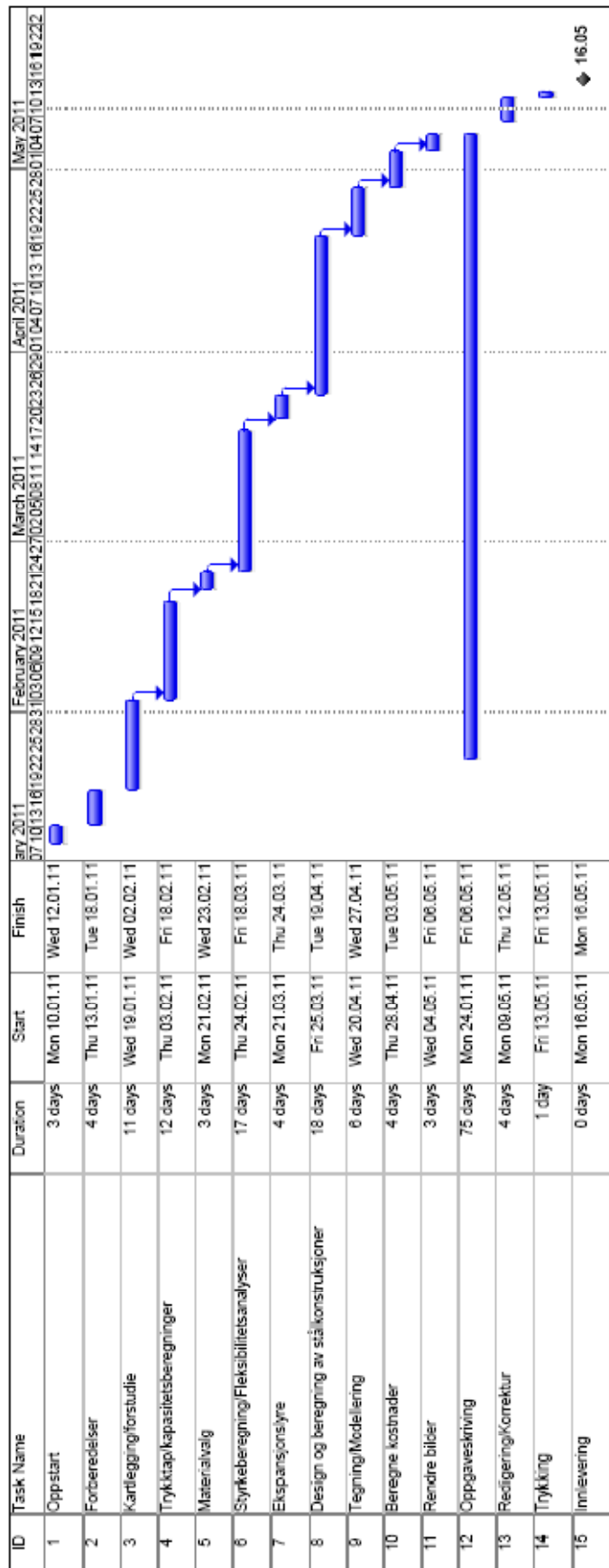
- Kartlegge geometriske og funksjonelle krav for rørgate ved hensiktsmessig bruk, påvirkning fra omgivelsene, inkludert anbefalinger fra aktuelle forskrifter og standarder.
- Utføre trykktap og kapasitetsberegninger.
- Ta hensyn til trykkstøt.
- Beregne nødvendig isolasjonstykkelse og mantling.
- Utføre styrkeberegninger og fleksibilitetsanalyser av rørene.
- Designe og beregne opplagere.
- Designe og beregne en 32 m lang bro.
- Estimere materialforbruk.
- Lage en grov kostnadskalkyle.
- Fremstille renderte bilder av løsningsforslag.
- Vurdere løsningsvalg og mulige endringer.

**Begrensninger:**

På grunn av begrenset tid og grensesnittene som ble satt i oppgaveteksten er følgende punkter ikke inkludert eller tatt med i denne oppgaven og bør arbeides videre med for å komplimentere rørgaten:

- Endepunktene/flenser
- Overgang betongfundament/byggdisiplin
- Fabrikasjonstegninger
- Elektrisk utstyr, varmekabler etc.

1.4 Fremdriftplan





## 1.5 Symboler og formler

Tabell 1 – Symboler og enheter som er brukt i oppgaven.

Symbol	Betydning	Enhet	Kommentar
	Parallell med sveisens lengderetning	-	sveis
⊥	Vinkelrett mot sveisens lengderetning	-	sveis
A	Areal	mm <sup>2</sup>	
a	a-mål	mm	sveis
A <sub>s</sub>	Spenningsareal	mm <sup>2</sup>	skrue
A <sub>w</sub>	Sveisens tverrsnittsareal	mm <sup>2</sup>	sveis
b	Bredde	mm	rør
c <sub>0</sub>	Korrosjonstillegg rør	mm	rør
c <sub>1</sub>	Negativ valsetoleranse for rør	mm	rør
C <sub>e</sub>	Eksponeringsfaktor	-	snølast
c <sub>p</sub>	Trykkstøt, forplantningshastighet	m/s	rør
C <sub>t</sub>	Termiskfaktor	-	snølast
d	Diameter	mm	
D <sub>i</sub>	Innvendig rørdiameter	mm	rør
DN	Nominell rørdiameter	mm	rør
D <sub>o</sub>	Utvendig rørdiameter	mm	rør
E	E - modul for materiale	MPa	
E <sub>c</sub>	E-modul ved laveste temperatur	MPa	rør
E <sub>h</sub>	E-modul ved høyeste temperatur	MPa	rør
e <sub>n</sub>	Nominell veggtykkelse	mm	rør
E <sub>v</sub>	E - modul for væske	MPa	væske
f	Spennings reduksjonsfaktor	-	rør
f	Nedbøying	mm	
f <sub>a</sub>	Tillatt spennings område	MPa	rør
f <sub>c</sub>	Tillatt spenning ved laveste temperatur	MPa	rør
f <sub>d</sub>	Dimensjonerende spenning	MPa	
f <sub>h</sub>	Tillatt spenning ved maksimal temperatur	MPa	rør
F <sub>K</sub>	Tillatt knekkraft	N	
F <sub>p,C</sub>	Forspenningskraft ved kapasitetsberegning	N	skrue
F <sub>s,Rd</sub>	Friksjonsforbindelse	N	skrue
F <sub>t,Rd</sub>	Stekk kapasitet i å skure	N	skrue
f <sub>u</sub>	Nominell fasthetsverdi for strekkfasthet	MPa	
F <sub>x</sub>	Kraft langs x-akse	N	
f <sub>y</sub>	Nominell fasthetsverdi for flytegrense	MPa	
F <sub>y</sub>	Kraft langs y-akse	N	
f <sub>z</sub>	Rørets tillatte spenning	MPa	rør
F <sub>z</sub>	Kraft langs z-akse	N	
g	Tyngdeakselerasjon	m/s <sup>2</sup>	g = 9,81m/s <sup>2</sup>
h	Høyde	mm	
h <sub>b</sub>	Fleksibilitets karakteristikk	-	bend
h <sub>f</sub>	Trykktap	m	rør
i	Spennings intensifiseringsfaktor	-	rør
I	Annet arealmoment	mm <sup>4</sup>	
i	Treghetsradius	mm	
I <sub>w</sub>	Sveisens annet arealmoment	mm <sup>4</sup>	sveis

## Mekanisk/hydraulisk utvikling og dimensjonering av rørgate

Fortsettelse av tabell 1			
Symbol	Betydning	Enhet	Kommentar
k	Lokal tapskoeffisient	-	rør
k <sub>b</sub>	Fleksibilitetsfaktor	-	bend
k <sub>i</sub>	Spennings intensifiseringsfaktor	-	bend
k <sub>s</sub>	Reduksjonsfaktor mht. skruehulets utforming	-	skrue
L	Rørlengde	m	rør
L <sub>ekvi.</sub>	Ekvivalent rørlengde	m	rør
L <sub>K</sub>	Knekk lengde	mm	
L <sub>tot</sub>	Total rørlengde	m	rør
m	Masse	kg	
M <sub>A</sub>	Resulterende bøyemoment – vedvarende last	N/mm	rør
M <sub>B</sub>	Resulterende bøyemoment – sporadiske laster	N/mm	rør
M <sub>b</sub>	Bøyemoment	Nm	
M <sub>c</sub>	Resulterende bøyemoment – termisk ekspansjon	N/mm	rør
M <sub>x</sub>	Bøyemoment om x-akse	Nm	
M <sub>y</sub>	Bøyemoment om y-akse	Nm	
M <sub>z</sub>	Bøyemoment om z-akse	Nm	
n	Antall friksjonsflater	-	
N	Normalkraft	N	
P	Trykk	MPa	1/10 bar
P	Punktlast	N	
PN	Trykkklasse	-	rør
p <sub>s</sub>	Designtrykk	bar	rør
Q	Volumstrøm	m <sup>3</sup> /t	rør
q	Jevnt fordelt last	N/m	
q <sub>ko</sub>	Hastighetstrykk fra kastvind	kN/m <sup>2</sup>	vindlast
R	Bendets radius	mm	rør
Re	Reynolds tall	-	væske
R <sub>eh</sub> /R <sub>p0,2</sub>	Materialets flytegrense	MPa	
R <sub>m</sub>	Materialets strekkfasthet	MPa	
s	Vegg tykkelse	mm	rør
s	Representativ snølast	kN/m <sup>2</sup>	snølast
s <sub>k</sub>	Karakteristisk snølast på mark	kN/m <sup>2</sup>	snølast
S <sub>x</sub>	Statisk moment	mm <sup>3</sup>	
T	Temperatur	°C	
t	Tykkelse	mm	
t <sub>c</sub>	Lukketid	s	sekunder
T <sub>r</sub>	Refleksjonstiden	s	sekunder
T <sub>ref</sub>	Referanse temperatur	°C	rør
v	Stømningshastighet	m/s	væske
V	Skjærkraft	N	
W	Tverrsnittsmodul	mm <sup>3</sup>	
Z <sub>h</sub>	Høyde over terrenget	m	vind
α	Lengdeutvidelseskoeffisienten	m/m °C	rør
β <sub>w</sub>	Kalibreringsfaktor	-	sveis
δ	Termiske ekspansjon	m	
ε	Rørets ruhet	mm	rør
η	Sikkerhetsfaktor	-	

Fortsettelse av tabell 1			
Symbol	Symbol	Symbol	Symbol
$\lambda$	Friksjonsfaktor	-	
$\lambda_s$	Slankhetsforhold	-	
$\mu$	Formfaktor	-	snølast
$\mu$	Friksjonsfaktor	-	væske
$\nu$	Kinematisk viskositet	cSt	væske
$\sigma_1$	Vedvarende spenninger	MPa	rør
$\sigma_2$	Sporadiske spenninger	MPa	rør
$\sigma_3 / \sigma_4$	Ekspansjonsspenninger	MPa	rør
$\sigma_b$	Bøyepening	MPa	
$\sigma_{jf}$	Jevnførende spenning	MPa	
$\sigma_K$	Maks knekkspenning	MPa	
$\sigma_s$	Strekkspenning	MPa	
$\sigma_t$	Trykkspenning	MPa	
$\sigma_{till}$	Tillatt spenning	MPa	
$\tau$	Skjærspenning	MPa	
$\gamma_G$	Lastfaktor permanente laster	-	
$\gamma_M$	Materialfaktor	-	
$\gamma_Q$	Lastfaktor variable laster	-	

**Formler som benyttes i denne rapporten:**

Strømningshastighet: 
$$v = \frac{Q}{A} \quad (1)$$

Reynolds tall: 
$$Re = \frac{v \times d}{\nu} \quad (2)$$

Haaland ligningen: 
$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1,8 \log \left[ \left( \frac{\varepsilon/d}{3,7} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{Re} \right] \quad (3)$$

Ekvivalent rørlengde: 
$$L_{ekvi.} = \frac{k \times d}{\lambda} \quad (4)$$

Darcy – Weisbach ligningen: 
$$hf = \lambda \times \frac{L}{d} \times \frac{v^2}{2g} \quad (5)$$

Minstekrav til veggtykkelse for  $D_o/D_i \leq 1,7$ : 
$$e = \frac{p_c \times D_o}{2f_z + p} \quad \text{eller} \quad e = \frac{p_c \times D_i}{2f_z - p} \quad (6)$$

Joukowsky's ligning (forplantnings hastighet): 
$$c_p = \sqrt{\frac{\frac{E_v}{\rho}}{1 + \frac{D_i}{s} \times \frac{E_v}{E}}} \quad (7)$$

Refleksjonstiden: 
$$T_r = \frac{2L}{c_p} \quad (8)$$

Trykkstøt: 
$$\Delta p = \rho \times c_p \times v \quad (9)$$

Beregning av snølast: 
$$s = \mu \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (10)$$

Tillatt trykk for rør  $D_o/D_i \leq 1.7$ : 
$$p = \frac{2 \cdot f_z \cdot z \cdot e}{D_o - e} \quad (11)$$

Tillatt trykk for rør  $D_o/D_i > 1.7$ : 
$$p = f_z \times z \times \frac{(1 - a^2)}{(1 + a^2)} \quad (12)$$

Modifisert verdi av veggtykkelse: 
$$e_{int} = \frac{(R/D_o - 0,25)}{R/D_o + 0,25} \quad (13)$$

Vedvarende spenninger (rør): 
$$\sigma_1 = \frac{pD_o}{4e_n} + \frac{0,75iM_A}{Z} \quad (14)$$

Sporadiske spenninger (rør): 
$$\sigma_2 = \frac{pD_o}{4e_n} + \frac{0,75iM_A}{Z} + \frac{0,75iM_B}{Z} \quad (15)$$

Ekspansjons spenninger, 1: 
$$\sigma_3 = \frac{iM_C}{Z} \quad (16)$$

Ekspansjons spenninger, 2: 
$$\sigma_4 = \frac{pD_o}{4e_n} + \frac{0,75iM_A}{Z} + \frac{iM_C}{Z} \quad (17)$$

Fleksibilitets karakteristikk – bend: 
$$h_b = \frac{4Re_n}{d_m^2} \quad (18)$$

Fleksibilitets faktor – bend: 
$$k_b = \frac{1,65}{h} \quad (19)$$

Spennings intensiverings faktor: 
$$k_i = \frac{0,9}{h^{2/3}} \quad (20)$$

Lengdeutvidelse: 
$$\delta = \alpha \cdot L \cdot (t_2 - t_1) \quad (21)$$

Kapasitet i stekk – skrue: 
$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} \quad (22)$$

Kapasitet gjennomlokking – grunnmateriale: 
$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \quad (23)$$

Friksjonsforbindelse – skrue: 
$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3}} \cdot F_{p,C} \quad (24)$$

Forspenningskraften – skrue: 
$$F_{p,C} = 0,7 \cdot f_{ub} \cdot A_s \quad (25)$$

Jevnførende spenning – sveis: 
$$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \quad (26)$$

Kraft: 
$$F = m \cdot g \quad (27)$$

Sum av krefter:  $\Sigma F = F_1 \pm F_2 \dots \pm F_n$  (28)

Maks bøyemoment for bjelke, fast innspent i begge ender og jevnt fordel last:  $M_b = \frac{QL}{24}$  (29)

Maks skjærkraft for bjelke fast innspent i begge ender og jevnt fordel last:  $V = \frac{Q}{2}$  (30)

Dimensjonerende spenning:  $f_d = \frac{f_u}{\gamma_{M1}}$  (31)

Nødvendig tverrsnittsmodul:  $W_{nødv} = \frac{M_b}{f_d}$  (32)

Maksimal skjærspenning ved bøyning:  $\tau_{max} = \frac{VS}{Ib}$  (33)

Maks nedbøyning for bjelke, fast innspent i begge ender og jevnt fordel last:  $f = \frac{Q}{EI} \frac{L^3}{384}$  (34)

Maks bøyemoment for bjelke, fast innspent i begge ender og punkt last:  $M_b = \frac{PL}{8}$  (35)

Treghetsradius:  $i = \sqrt{\frac{I_0}{A}}$  (36)

Slankhetsforhold:  $\lambda_s = \frac{L_K}{i}$  (37)

Knekkraft:  $F_K = \frac{\sigma_K}{n} \cdot A$  (38)

Maks knekkspenning for stål:  $\sigma_K = 310 - 1,14 \cdot \frac{l}{i}$  (39)

Sikkerhet mot knekking (Kraft og bøyepåkjent):  $\frac{F}{F_{k,till}} + \frac{1,5 \cdot M_b}{M_{b,maks}} \leq 1$  (40)

Kapasitet kilesveis:  $\sigma_{till.w} = \frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w}$  (41)

Sveisens tverrsnittsareal, rektangulært:  $A_w = lxb$  (42)

Tverrsnittsmodul for hult rektangulært tverrsnitt:  $w = \frac{bh^3 - bh^3}{6h}$  (43)

Bøyepening: 
$$\sigma_b = \frac{M_b}{I_w} \cdot y = \frac{M_b}{W} \quad (44)$$

Trykkspening: 
$$\sigma_t = \frac{F}{A} \quad (45)$$

Bøyemoment: 
$$M = F \cdot L \quad (46)$$

Breds formel: 
$$\tau_{\parallel} = \tau_v = \frac{M_x}{2 \cdot b \cdot h \cdot a} \quad (47)$$

Pythagoras' læresetning: 
$$a^2 + b^2 = c^2 \quad (48)$$

Maks nedbøyning for bjelke, fast innspent i begge ender og jevnt punkt last: 
$$f = \frac{P}{EI} \frac{L^3}{384} \quad (49)$$

Knekk lengde: 
$$L_K = \kappa \cdot L = \quad (50)$$

Annet arealmoment rektangulært: 
$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (51)$$

Strekspening: 
$$\sigma_s = \frac{F}{A} \quad (52)$$

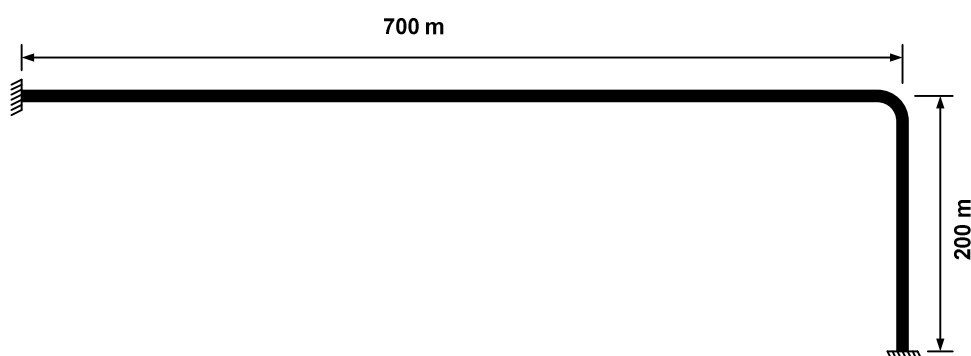
## 2. BESKRIVELSER

### 2.1 Kravspesifikasjoner

Kravspesifikasjonene som ble gitt av A-TEK AS er oppsummert i tabell 2 og figur 3 viser målene til rørgaten.

Tabell 2 – Kravspesifikasjoner.

Mekanisk						
<b>Geografisk</b>	Monterings sted: Drammen					
<b>Lengde</b>	900m (700m – 90° bend – 200m), se figur 3					
<b>Fall</b>	1/100 (1m fall per 100m rørlengde)					
<b>Høyde</b>	4,5 m (terreng – underside rør)					
<b>Terreng</b>	Et strekke på 32m hvor ikke opplagere kan settes					
<b>Sikkerhet</b>	Påkjørings beskyttelse av opplagere					
Hydraulisk						
Medier	$v_{maks}$	$Q_{maks}$	T	$\Delta p_{maks}$	$T_{design}$	$p_{arbeidstrykk}$
Bensin	10 m/s	1200 m <sup>3</sup> /t	$T_{design}$	2 bar	-29 °C til +30 °C	16 bar
Jet – A1	7 m/s	1200 m <sup>3</sup> /t	$T_{design}$			
Fyringsolje 6	10 m/s	400 m <sup>3</sup> /t	80 °C			
Bitumen	10 m/s	400 m <sup>3</sup> /t	180 °C			



Figur 3 – Tenkt rørgate.

### 2.2 Forskrifter og standarder

#### Regelverk for analyse og utførelse av rørsystemer

Alle rørsystemer skal analyseres og utføres i henhold til et regelverk. I Norge brukes standarden NS-EN 13480 (industrielle rørsystemer). Regelverket er ment å være en sikkerhet slik at rørsystemet fungerer tilfredsstillende under drift. På den måten kan ulykker eller andre uheldige hendelser unngås. Finner design betingelser som må avdekkes før spenningsberegninger og fleksibilitetsanalyse kan gjennomføres.

## Konstruksjonstrykket

NS-EN 13480 gir følgende definisjon på konstruksjonstrykket:

Konstruksjonstrykket skal ikke være mindre enn trykket ved den mest ugunstige kombinasjonen av samtlige opptredende indre og ytre trykk, samt temperatur ved normal drift.(EN-13480-3:20202-4.2.3.4)

Samtidig finnes 10 % regelen i NS-EN 13480 som tillater følgende:

Maksimal belastning som følge av variasjoner i trykk kan overstige det tillatte designtrykket med 10 %, dersom den forbigående hendelsen oppstår sjeldnere enn 10 % i løpet av 24timers driftstid.

Det må tas hensyn til at strømmende medier i et rør kan gi uforutsette trykksvingninger (trykkstøt) og ytre varme påvirkninger (sol) kan gi tildels store trykkpåkjenninger i rørsystemet.

EN-13480-4.2.4 krever at slike tilstander tas med i vurderingen ved bestemmelse av verdier på konstruksjonstrykket og på konstruksjonstemperaturen.

## Konstruksjonstemperatur

NS-EN 13480 -4.2.3.5 gir følgende definisjon på konstruksjonstemperaturen:

Konstruksjonstemperaturen er den metalltemperaturen som tilsvarer til den mest ugunstige kombinasjon av samtidig opptredende trykk og temperatur

Konstruksjonstemperaturen er den materialtemperaturen som rørsystemet dimensjoneres etter. Det er vanlig å sette konstruksjonstrykket lik temperaturen på det strømmende mediet eller noe høyere avhengig av sikkerhetsfaktoren.

For utvendige isolerte rør sier regelverket at konstruksjonstemperaturen skal settes minst lik temperaturen til mediet. Lavere temperatur kan brukes, men da må det i så fall forligge dokumentasjon basert på målinger og tester.

For ikke-isolerte rør kan konstruksjonstemperaturen settes noe lavere enn væsketemperaturen. For Temperaturer under 40 °C skal konstruksjonstemperaturen settes lik væsketemperaturen. For væsketemperaturer over 40 °C kan konstruksjonstemperaturen settes lik 95 % av væsketemperaturen. Gjelder ventiler, rør, sveiser og deler som har samme godstykkelse som røret.

## Dynamiske belastninger

Etter NS-EN 13480-3.12.3 skal det tas hensyn til laster som varierer over tid. Herunder ligger følgende laster:[2]

- Seismisk forskyvning/jordskjelv: Statistiske data vil kunne danne grunnlag for å fastlegging av dynamiske krefter på grunn av jordskjelv.
- Vindlaster: Rørsystemer i friluft blir hele tiden belastet med varierende vindlaster. Høye vindhastigheter vil kunne påføre konstruksjonen relativt store vindkrefter.
- Hydrauliske sjokk: Det vil si uønskede trykkvariasjoner, slike variasjoner kan oppstå ved hurtig stengning av ventiler.
- Temperaturendringer: Ved temperaturendringer vil stål også endre seg. Disse endringene kan medføre til relativt store spenninger i rørsystemet. Derfor skal rørene kontrolleres mot ekspansjonsspenninger.



## Tillatt spenning

For rette rør og komponenter som ikke er normert i trykklasser, skal spenningene beregnes og sammenlignes med tillattspenning. NS-EN 13480 gir regler for hvilke spenninger som skal beregnes og hvordan disse skal settes sammen og håndteres i forhold til tillatt spenning. Tillatte spenninger skal korrigeres med en styrkefaktor. Denne er avhengig av rørenes fremstillingsmetode og antallet termiske sykler.

Følgende spenninger skal tas med:

- Vedvarende spenninger – Grunnet trykk, egenvekt og andre vedvarende laster.
- Sporadiske spenninger – Grunnet jordskjelv og vindlaster.
- Ekspansjons spenninger – Grunnet termisk ekspansjon og vekslende laster

## Komponenter

Basert på EN 1092. [3]

For komponenter med relativt kompliserte geometrier (for eksempel ventiler), så er det vanskelig å beregne og få oversikten over spenningene. Derfor er slike komponenter normert i trykklasser. I EN 1092-1 velges flenser etter trykkklasse med hensyn til materiale og temperatur. Flensens normerte trykk ved konstruksjonstemperaturen skal være større eller lik konstruksjonstrykket.

## Regelverk for dimensjonering av konstruksjonskomponenter

For dimensjonering av konstruksjonskomponentene benyttes følgende standarder, listet under. Her finnes en rekke anbefalinger, test data og beregningsmetoder som er aktuelle for dimensjoneringen. Boken Dimensjonering av stålkonstruksjoner av Per Kr. Larsen er også mye brukt ettersom alle beregningene refererer til NS-EN 1993 (Eurokode 3).

- NS 3472            Prosjektering av stålkonstruksjoner – Beregning og dimensjonering.
- NS 3491-3        Prosjektering av stålkonstruksjoner – Del 1-3 – Snølaster
- NS-EN 1990      Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner.
- NS-EN 1993      Eurokode 3 – Prosjektering av stålkonstruksjoner.

### 3 HYDRAULISK DIMENSJONERING AV RØR

#### 3.1 Beregningsgrunnlag og forutsetninger.

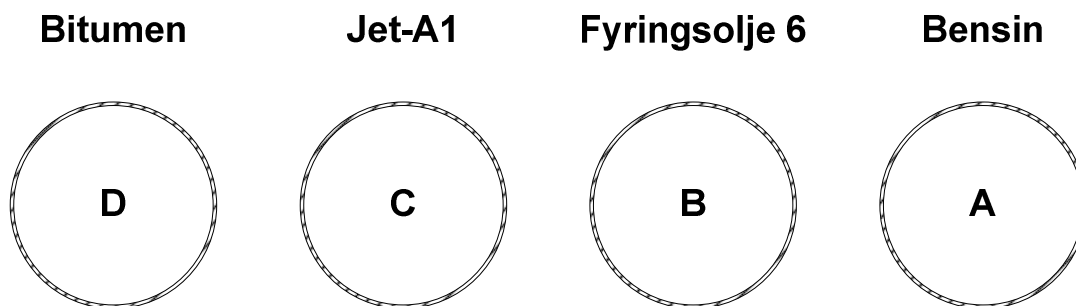
Følgende informasjon setter grunnlaget for dimensjonering av rørgaten. Får oppgitt at rørgaten skal frakte fire forskjellige medier og hvert av disse mediene har egne krav til temperatur, volumstrøm og hastighet, se tabell 3. Det er viktig å kunne frakte ønsket mengde uten at hastigheten blir for stor. Ved for store hastigheter kan det være fare for at brannfarlige medier blir statisk ladet og selvantenner. Samtidig stilles det krav til at trykktapet i hvert enkelt av rørstrekene ikke skal overskride 2 bar. Designtemperaturen,  $T_{\text{design}}$ , er satt fra  $-29\text{ °C}$  til  $+30\text{ °C}$  og designtrykket til 16 bar.

Tabell 3 – Forutsetninger gitt av A-TEK.

Medier	$v_{\text{maks}}$	$Q_{\text{maks}}$	T	$\Delta p_{\text{maks}}$	$T_{\text{design}}$	$p_{\text{arbeidstrykk}}$
Bensin	10 m/s	1200 m <sup>3</sup> /t	0 °C	2 bar	-29 °C til +30 °C	16 bar
Jet – A1	7 m/s	1200 m <sup>3</sup> /t	20 °C			
Fyringsolje 6	10 m/s	400 m <sup>3</sup> /t	80 °C			
Bitumen (B85)	10 m/s	400 m <sup>3</sup> /t	180 °C			

#### Tetthet og viskositet

For å kunne gjøre beregninger må væskenes tetthet og viskositet bestemmes ved gitt temperatur. Viskositeten hentes fra temperatur – viskositetsdiagram (vedlegg V-27 og V-28) og tettheten fra tabeller [4]. Bensin og Jet-A1 har relativt liten endring av viskositet i  $T_{\text{design}}$  området, derfor hentes viskositeten direkte fra tabell med tilhørende temperatur. Verdiene er satt inn i tabell 4.



Figur 4 – Oversikt over rørstrekene.

Tabell 4 – Beregningsgrunnlag.

Rørstrekk	Medier	$v_{\text{maks}}$	$Q_{\text{maks}}$	T	$\rho$	cSt
A	Bensin	10 m/s	1200 m <sup>3</sup> /t	0 °C	720kg/m <sup>3</sup>	0,56
B	Jet – A1	7 m/s	1200 m <sup>3</sup> /t	20 °C	803kg/m <sup>3</sup>	1,70
C	Fyringsolje 6	10 m/s	400 m <sup>3</sup> /t	80 °C	975kg/m <sup>3</sup>	50,00
D	Bitumen	10 m/s	400 m <sup>3</sup> /t	180 °C	950kg/m <sup>3</sup>	120,00

## 3.2 Strømningshastighet, friksjon og trykktap

Bruker Microsoft Excel i arbeidet med å finne riktig rørdiameter. Ettersom svarene kommer "rett ut" blir det gjort en gjennomgang av beregningsmetodikken. Dette gjør det forhåpentligvis lettere å forstå resultatet.

### 3.2.1 Strømningshastighet som følge av rørdiameter

Hvert av rørstrekkene skal kunne levere en viss mengde pr tidsenhet. Det vil si at strømningshastigheten forandres etter hvilken rørstørrelse som velges. Samtidig ønsker man ikke å ha for store hastigheter på mediet, da dette kan føre til statisk oppladning av mediet. Beregner strømningshastigheten etter følgende formel.

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{4 \times Q}{\pi \times d^2}, \quad \text{Strømnings hastighet (m/s)} \quad (1)$$

### 3.2.2 Reynolds tall

Ved strømming av virkelige væsker opptrer alltid motstandskrefter på grunn av indre friksjon i væsken. Denne indre friksjonen skyldes motstand mot bevegelse mellom de enkelte væskepartikler og væskesjikt, og er avhengig av væskens treghet – det vil si dens viskositet. De to vanligste strømmingstypene avhenger om de dominerende kreftene kommer av væskens treghet eller av dens viskositet. De kalles laminær- og turbulentstrømming.

Laminærstrømming er karakterisert ved at væskestrømmen er jevn, rolig, regelmessig og foregår i parallelle sjikt. Strømmingen domineres av friksjonskrefter, det vil si viskøse krefter.

Turbulentstrømming er karakterisert ved at væskestrømmen er urolig, virvlene, pulserende og ved at ulike sjikt blandes med hverandre. Strømmingen domineres av "treghetskrefter".

Et viktig dimensjonsløst forholdstall i fluidemekanikken er Reynolds tall. Det er et mål på forholdet mellom væskens akselerasjon (treghetskraft pr masseenhet) og dens friksjonsfaktor pr masseenhet. Stort Reynolds tall betyr at treghetskrefter dominerer (turbulentstrømming), lite Reynolds tall betyr at viskøse krefter dominerer (laminærstrømming).

Det er ønskelig med turbulentstrømming i rørene som skal dimensjoneres, da dette gir jevn varme i mediet som fraktes. Ved laminærstrømming vil det laget som strømmer langs rørvæggen gradvis bli avkjølt og størkne. Dette kan medføre til tetting av røret. [5]

$$Re = \frac{v \times d}{\nu}, \quad \text{Reynoldstall} \quad (2)$$

### 3.2.3 Haaland ligningen

Haaland ligningen brukes til å finne (Darcy-) friksjonsfaktoren  $\lambda$  for alle typer rør ved full strømming, uten å måtte benytte Moodys diagrammet. Ligningen er en tilnærming av den implisitte Colebrook – White ligningen. Nøyaktigheten er  $\pm 1,5 \%$  for  $4000 \leq Re \leq 10^8$ . [6]

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1,8 \log \left[ \left( \frac{\varepsilon/d}{3,7} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{Re} \right], \quad \text{Haaland ligningen} \quad (3)$$

Hvor:

$\varepsilon$  = rørets ruhet

Fra tabell 8.1 – Finnemore et al.2002 side 286; Stålrør =0,05 mm.[6]

## 3.2.4 Lokale trykktap

Ved hydraulisk dimensjonering av rørledninger er energitapet som følge av friksjonen dominerende for rør lengre enn 30m. For kortere rør så er det bend, ventiler, innløp og lignende som bidrar til de største tapene. Derfor ble det utledet formler og diagrammer for å kunne finne disse. En annen metode er å konvertere lokale tap til ekvivalent rørlengde. Denne ekvivalente rørlengden adderes til det aktuelle rørstrekket. [7]

$$L_{ekvi.} = \frac{k \times d}{\lambda}, \quad \text{Ekvivalent rørlengde} \quad (4)$$

Hvor:

$k$  = lokal tap koeffisient

$\lambda$  = rørets friksjonsfaktor

De aktuelle rørgatene består kun av et 90° bend hver. Ut ifra tabellen side 64 i Brautaset så er 3D bend (bøyeradius = 1,5 x rørets diameter) oppgitt med  $k=0,4$ . Denne verdien benyttes til beregningene. [5]

## 3.2.5 Friksjons trykktap

I all strømmende væske vil man miste energi i form av friksjon og turbulens, så sant ikke strømmingen er laminær. De største tapene kommer som følge av energitap per lengde på rør. Den vanligste måten å beregne trykktapet på er ved hjelp av Darcy-Weisbach ligningen. [6]

$$hf = \lambda \times \frac{L}{d} \times \frac{v^2}{2g}, \quad \text{Darcy – Weisbach ligningen} \quad (5)$$

## 3.2.6 Totalt trykktap

Ved å multiplisere tettheten til mediet med summert trykktap,  $h_f$  så får man trykktapet i Pa.

$$\Delta p = \rho_{mediet} \times g \times h_f, \quad \text{Trykktap i bar}$$

Dividerer svaret med  $10^5$  og får trykktapet oppført i bar. Det totale trykktapet skal ikke være større enn 2 bar.

## 3.2.7 Resultat av hydraulisk dimensjonering

Legger inn forskjellige rørdiametre med et sprang på 50 mm for å finne fornuftige dimensjoner hvor trykktapet ligger under 2 bar. I tabell 5 vises resultatene med valgte rørdiametre. (Regnearket er lagt ved i vedlegg V-26)

Tabell 5 – Resultatene fra Excel.

Linje	ID	v	k/d	Re	$\lambda$	$L_{ekvi}$	$L_{tot}$	$h_f$	$\Delta p$
A	350mm	3,5m/s	0,0001	2,2E+06	0,01339	10,5m	910,5m	21,3m	1,5bar
B	350mm	3,5m/s	0,0001	7,1E+06	0,01426	9,8m	909,8m	22,7m	1,8bar
C	300mm	1,6m/s	0,0002	9,4E+06	0,03157	3,8m	903,8m	12,0m	1,1bar
D	300mm	1,6m/s	0,0002	1,3E+06	0,02872	4,2m	904,2m	10,9m	1,0bar

## 3.3 Materialvalg – Rør

Flere kriterier spiller inn ved valg av rørmateriale.

- Pris
- Vedlikeholdsbehov
- Termisk utvidelse
- Mediet som skal transporteres
- Miljøet
- Isolasjon
- Levetid
- Korrosjon
- Bearbeidings kostnader

I Norge hvor arbeidskostnaden er høy og materialprisene er lave så lønner det seg ofte å velge syrefast. Det er raskere å sveise, mindre veggtykkelse og trenger ikke å beskyttes med maling. For væsker som bensin og Jet A-1 bør det brukes syrefast siden dette er medier som krever stor grad av renhet. Ulempen med syrefast er at den har større termisk utvidelses koeffisient enn vanlig karbonstål, noe som er ugunstig ved høye temperaturer. Til dette brukes som regel isolerte karbonstålrør. Isoleringen beskytter røret mot korrosjon og holder på varmen. Valgene faller naturlig på syrefast for rørstrekk A og B, mens det skal brukes karbonstål for rørstrekk C og D. Velger rør fra Brødrene Dahl sin industrikatalog. Se vedlegg V-1.

### Innledende beregning av veggtykkelse

Beregnet etter NS-EN 13480-3 [2]

Minstekravet til veggtykkelse for rette rør uten hensyn til korrosjon og toleranse skal beregnes på følgende måte:

For  $D_0/D_i \leq 1,7$ :

$$\frac{D_0}{D_i} = \frac{323,9\text{mm}}{306,3\text{mm}} = 1,06 \Rightarrow \mathbf{OK}, \quad \frac{D_0}{D_i} = \frac{356\text{mm}}{350\text{mm}} = 1,02 \Rightarrow \mathbf{OK} \quad (6)$$

$$e = \frac{p_c \times D_0}{2f_z + p} \quad \text{eller} \quad e = \frac{p_c \times D_i}{2f_z - p}$$

Tabell 6 – Tabell over korrosjonstillegg, valsetillegg og valgt tykkelse.

Minste veggtykkelse for rette rør uten hensyn til toleranser og korrosjon.				
Rørstrekk	e, minimum	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	s (valgt)
A	2,2 mm	0,0mm	0,6 mm	3 mm
B	2,2 mm	0,0 mm	0,6 mm	3 mm
C	2,0 mm	1,0 mm	1,4 mm	7,1 mm
D	2,3 mm	1,0 mm	1,4 mm	7,1 mm

C<sub>0</sub> – Korrosjonstillegg, hentet fra NS-EN 13480.

C<sub>1</sub> – Negativ valsetolleranse, NS-EN 13480.

## Mekanisk/hydraulisk utvikling og dimensjonering av rørgate

Tabell 7 – Valgte rørdimensjoner og materiale.

Rørstrekk	Medie	Materiale	ståltype	D <sub>o</sub> mm	s mm	Di mm	kg/m
A	Bensin	EN 1.4404	Syrefast	356	3,0	350	22,8
B	Jet – A1	EN 1.4404	Syrefast	356	3,0	350	22,8
C	Fyringsolje 6	EN 10216-2	Karbonstål	323,9	7,1	306,3	68,3
D	Bitumen	EN 10216-2	Karbonstål	323,9	7,1	306,3	68,3

Tabell 8 – Mekaniske egenskaper, hentet fra EN 10216-2. [8]

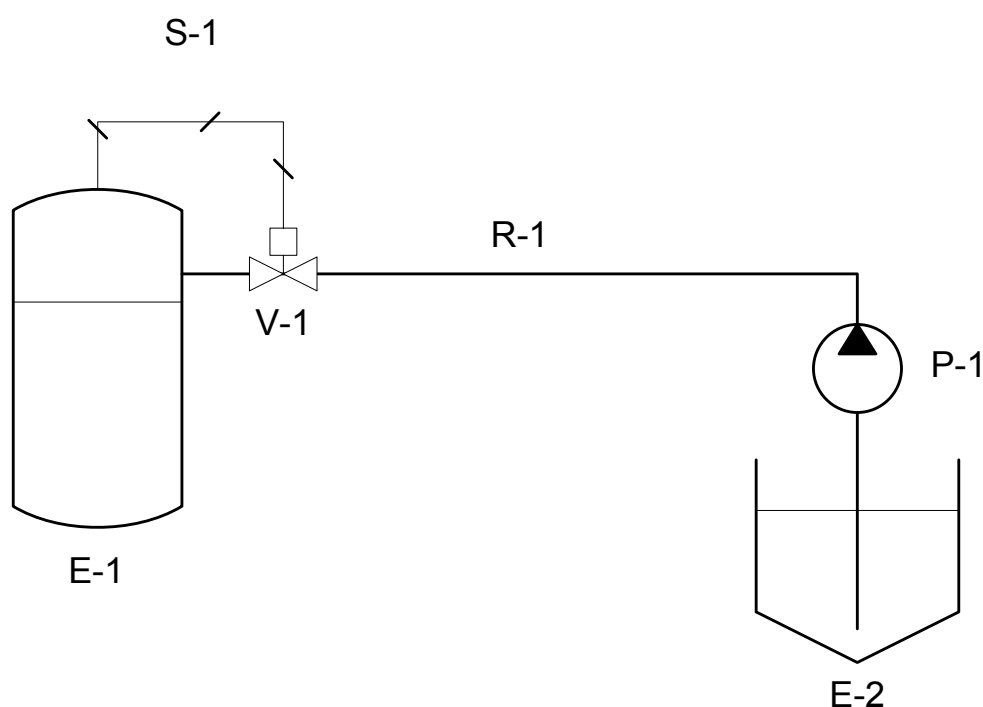
Materiale		Strekfasthet ved rom temperatur				
Navn	Type	Øvre flytegrense / bevist styrke. R <sub>eH</sub> / R <sub>p0,2</sub> ved gitt tykkelse		Strekfasthet R <sub>m</sub>	Forlengelse A min. % a	
		T ≤ 16 [MPa]	T ≤ 16 [MPa]		[MPa]	l
P235GH	1.0425	235	225	320 - 440	27	25
		T ≤ 60				
		R <sub>p0,2</sub> min	R <sub>p1,0</sub> min			
X2CrNiNo17-12-2	1.4404	190	225	491-690	40	30

Tabell 9 – Flytegrense og E-modul ved høyere temperaturer, hentet fra EN 10216-2. [8]

Materiale		Veggtykkelse [mm]	Temperatur i °C							
Navn	Type		50	100	150	200	250	300	350	400
P235GH	1.0425	≤ 60	R <sub>p0,2t</sub> [MPa]							
			-	198	187	170	150	132	120	112
			E-modul [10 <sup>3</sup> MPa]							
			209	207	203	199	196	192	188	184
X2CrNiNo17-12-2	1.4404	≤ 60	R <sub>p0,2t</sub> [MPa]							
			170	165	150	137	127	119	113	108
			R <sub>p1,0t</sub> [MPa]							
			217	200	180	165	153	145	139	135
			E-modul [10 <sup>3</sup> MPa]							
			194	190	186	182,5	179	175,5	172	168,5

### 3.4 Hensyn til trykkstøt

Under transport av væsker er det normalt at pumpen (P-1) i tankskipet leverer 10 bar. Ved en eventuelt "overfylling" vil nivåmetere i lagringstanken gi signal til ventilen (V-1), og stenge denne ventilen. Ved en slik stengning er det viktig at trykkstøtet som følge av lukketiden, addert med pumpens arbeidstrykk ikke overskrider tillatt trykk i rørene (R-1). Det blir ikke valgt ventiler i denne oppgaven, men det er ytterst viktig å dokumentere for hva som er akseptabel lukketid.



Figur 5 – Fyllesituasjon.

Tabell 10 – Figur beskrivelse, figur 5.

Referert – figur 5	Beskrivelse
E-1	Lagringstank
E-2	Tankskip
P-1	Pumpe
R-1	Importtrør
S-1	Signalkabel
V-1	Elektrisk operert stengeventil

## Joukowsky's ligning

Ved hjelp av Joukowsky's ligning kan minste lukketid beregnes slik at trykkstøtet ikke overskrider designtrykket. [6]

Faktorer som påvirker forplantnings hastigheten.

- E-modul  $\rightarrow$  lavere = mindre  $c_p$
- Rørdiameter  $\rightarrow$  økning = redusert  $c_p$
- Rørets veggtykkelse  $\rightarrow$  mindre = redusert  $c_p$

$$c_p = \sqrt{\frac{\frac{E_v}{\rho}}{1 + \frac{D_i}{s} \times \frac{E_v}{E}}}, \quad \text{forplantnings hastighet (m/s)} \quad (7)$$

Hvor:

$\rho$  = tetthet til væske ( $\text{kg/m}^3$ )

$E_v$  = E-modul for væske ( $\text{N/m}^2$ )

$E$  = E-modul for materialet i rørvegg ( $\text{N/m}^2$ )

$s$  = tykkelsen av rørvegg (m)

$D_i$  = innvendig rørdiameter (m)

Trykkøkningen som forplanter seg oppstrøms av stengningsorganet ved momentant og full stengning. [6]

$$T_r = \frac{2L}{c_p}, \quad \text{Refleksjonstiden (sekunder)} \quad (8)$$

Hvor:

$L$  = rørlengde

$$\Delta p = \rho \times c_p \times v, \quad \text{Trykkstøt (MPa)} \quad (9)$$

Hvor:

$v$  = væskehastigheten i røret (m/s)

$$\Delta p = v \times \sqrt{\frac{\rho}{\left(\frac{1}{E_v} + \frac{D_i}{s \times E}\right)}} \quad (7,9)$$

Trykkøkningen som forplanter seg oppstrøms av stengningsorganet ved rolig og full stengning. [6]

$$\Delta p' = \frac{T_r}{t_c} \times \Delta p = \frac{c_p}{t_c} \times (\rho \times c_p \times v) = \frac{(2 \times L \times \rho \times v)}{t_c}$$



### Fra EN 13480 – "10 %" regelen.

"Maksimal belastning som følge av variasjoner i trykk kan overstige den tillatte design trykket med 10 % dersom den forbigående hendelsen oppstår sjeldnere enn 10 % i løpet av 24 timers driftstid." [2]

$$\text{Max } p = p_{\text{design}} + 10 \% = 16 \text{ bar} \cdot 10\% = \mathbf{17,6 \text{ bar}}$$

$$\Delta p' = p_{\text{maks}} - p_{\text{pumpe}} = 17,6 \text{ bar} - 10,0 \text{ bar} = 7,6 \text{ bar} = \mathbf{0,76 \text{ Mpa}}$$

$$t_c = \frac{2 \times L \times \rho \times v}{\Delta p'}, \quad \text{minste lukketid}$$

Beregner minste lukketid, med hensyn til maksimalt trykkstøt som er 10 % større en designtrykket. Lukketiden til de respektive rørgatene er gitt i tabell 11.

Tabell 11 – Minste lukketid.

Beregning av minste lukketid mht trykkstøt					
Rørstrekk	$L_{\text{tot}}$	$\rho$	$\Delta v$	$\Delta p'$	$t_{\text{cmin}}$
A	900 m	720 kg/m <sup>3</sup>	3,5 m/s	0,76 MPa	6,0 sekunder
B		803 kg/m <sup>3</sup>	3,5 m/s		6,7 sekunder
C		975 kg/m <sup>3</sup>	1,6 m/s		3,7 sekunder
D		950 kg/m <sup>3</sup>	1,6 m/s		3,6 sekunder

### 3.5 Valg av flenser

Fra begrensningene så skal rørgaten dimensjoneres helt frem til endepunktene, for rørstrekk er dette flensene. Flensene velges etter trykkklasser fra tabeller i EN 1092-1:2007. Tabellene definerer flensenes tillatte trykk som funksjon av materiale og driftstemperatur. Bruker interpolering ved henting av verdiene, resultatene er lagt inn i tabell 12. [3]

Tabell 12 – Valg av trykkklasse. [3]

Rørstrekk	Gruppe	Materiale	Material No.	PN	Maks °C	Maks PS(bar)	Tabell
A	13E0	X2CrNiMo17-12-2	1.4404	16	30	16	G.4.1-4-PN16
B	13E0	X2CrNiMo17-12-2	1.4404	16	30	16	G.4.1-4-PN16
C	3E0	P245GH	1.0352	16	80	15,4	G.2.1-4-PN16
D	3E0	P245GH	1.0352	16	160	14,4	G.2.1-4-PN16

Ser at rørstrekk C og D har lavere tillatt trykk enn design trykket. Er derfor nødt til å gå opp til trykkklasse PN25 på rørstrekk C og D for å komme innenfor designkravet.

Verdiene er hentet fra vedleggene V-03 til V-05.

## 4. ISOLASJON OG MANTLING

### 4.1 Isolasjonsklasser og utførelse

#### Isolasjonsklasser

Benytter NORSOK standard R-004 N for å dekke minstekravene til termisk isolering, personellbeskyttelse og tetning av gjennomføringer for rør, utstyr, tanker, beholdere, ventiler, flenser m. m for installasjoner offshore og landanlegg. [9]

Standarden deler isoleringen opp i 9 forskjellige klasser:

<b>Klasse 1:</b>	Varmekonservering
<b>Klasse 2:</b>	Kuldekonservering
<b>Klasse 3:</b>	Personbeskyttelse
<b>Klasse 4:</b>	Frostbeskyttelse
<b>Klasse 5:</b>	Brannbeskyttelse
<b>Klasse 6:</b>	Akustisk isolasjon, reduksjon av støy med 10 db
<b>Klasse 7:</b>	Akustisk isolasjon, reduksjon av støy med 20 db
<b>Klasse 8:</b>	Akustisk isolasjon, reduksjon av støy med 30 db
<b>Klasse 9:</b>	Kondensisolering

For rørstrekkene som blir beregnet i denne oppgaven gjelder følgende isolasjonsklasse:

#### **Klasse 1 – Varmekonservering:**

Hensikten er å redusere varmetap og opprettholde driftstemperaturer som sikrer en effektiv prosess.

Tildels også klasse 4, da det ikke er ønskelig med størkning og innvendig fortetning av bitumen i rørgaten. Dette rørstrekket skal utrustes med varmekabler som tilfører den samme varmemengde som forsvinner på rørstrekket.

#### **Generell utførelse**

Isolasjonstykkelser skal beregnes i samsvar med NS-EN ISO 12241 basert på prosjektkrav for varmetap, varmetilførsel, m.m. All isolasjon skal ha værbeskyttelse som er utformet slik at den hindrer vanninntrengning, under normale driftsforhold og gjennom prosjektets planlagte levetid. Isolasjon som ligger inn mot flenser på rørsystem og utstyr skal avsluttes slik at bolter kan løsnes og fjernes uten å skade isolasjonen. Minste avstanden fra flens til nærmeste isolerte del skal være lik boltelengden pluss 25mm. Avslutningen av værbeskyttelse skal være vanntett.

#### **Avtakbar isolasjon for flenser og ventiler**

Avtakbar isolasjon for flenser og ventiler som eksempelvis skreddersydde isolasjonsputer eller prefabrikkerte isolasjonskasser, skal være egnet for hurtig demontering og montering. Ytterkledningen skal være vanntett, tilpasset ventilen og utstyret og skal ha en overlapp på minst 100mm på det tilstøtende isolerte røret. Isolasjonsputer og prefabrikkerte kasser skal være utformet slik at de ikke tar skade av hyppige demonteringer og monteringer.

Isolasjonsputer skal ikke benyttes for klasse 2, 3, og 9. Det skal heller ikke benyttes isolasjonsputer på ventiler og flenser over DN400, eller for systemer med operasjonstemperatur  $\leq 20$  °C, eller i vær utsatte områder. Det vil si at det skal benyttes isolasjonskasser på de aktuelle ventilene.

## Drenering

For alle isolerte systemer og alle isolasjonsklasser skal det være dreneringshull med minst 10 mm diameter, på alle lavpunkter, og høyst 3 m senteravstand mellom dreneringshullene på horisontale strekk. Dreneringshullet skal gå gjennom hele isolasjonssystemet, og helt inn til røret. Det skal tas nødvendige forholdsregler for å unngå å skade overflatebehandlingen og eventuelle varmekabler på røret. Det skal også være montert drenerings hull på laveste punkt i isolasjonskasser og isolasjonspalter. Dreneringshullene gjør det lettere å oppdage en eventuell lekkasje.

## Varmekabler

Rør, flenser, ventiler og utstyr som er påmontert varmekabler skal pakkes inn med aluminiumsfolie (minst 0,045 mm tykkelse) før montering av isolasjonen for å beskytte kablene og for å gi en god varmefordeling.

Der varmekabler går gjennom kapselen skal kantbeskyttelse monteres for å hindre skade på kablet. Tetningsmasse skal også påføres for å unngå vanninntrengning.

## 4.2 Isolasjonsmateriale

All varme som må tilføres, har også en økonomi. Jo bedre isolasjon og isolasjonsjobb som blir utført, jo bedre økonomisk resultat vil en oppnå. Typiske isolasjonsmaterialer for varmeisolasjon er: [1]

- Mineralprodukter, herunder mineralull som er isolasjonsprodukter produsert av glass eller stein som hovedbestanddel. Produktene har meget gode egenskaper mht. å holde på varme og er vanligst innen varmeinstallasjon.
- Cellematerialer, som brukes både i varme og kalde anlegg. Felles for disse er at de produseres etter metoder som gjør materialet fylt av små bobler med luft eller gasser. Disse boblene gjør materialet godt egnet til å skille varme og kalde sider av en konstruksjon. Vi kaller disse for materialer med lukkede cellestrukturer, og de produseres som harde og myke isolasjonsprodukter.

### Steinull

Steinull har følgende egenskaper:

- God isolasjonsevne
- Enkel å installere
- Enkel å forme
- Ikke brennbar
- Kan benyttes i de fleste isolasjons-, lyd- og brannklasser



Figur 6 – Bildet viser en nettingmatte produsert i steinull. [1]

### Glassull

Glassull har følgende egenskaper:

- God isolasjonsevne
- Enkel å installere
- Enkel å forme
- Krever lett verktøy for å skjære og forme
- Ikke brennbar
- Kan benyttes i de fleste isolasjons-, lyd- og brannklasser
- Lite tilskjæring gir lite kapp



Figur 7 – Bildet viser en nettingmatte produsert i glassull. [1]

### Celleglass

Celleglass har følgende egenskaper:

- Tett mot inntrengning av vann og vanddamp
- Høy isolasjonsevne
- Ikke brennbar
- Trykkfast
- Lav vekt
- Lav utvidelse av materialet
- Lang levetid
- Motstand mot oljer, syrer og gasser
- Uorganisk
- Miljøvennlig, ingen skadelige gasser, fiber eller bindemiddel. Stort sprang i effektiv isolering fra temperaturområde -260 til +430 grader celsius



Figur 8 – Rørskåler og plater i celleglass.[1]

I samråd med A-TEK så skal mineralull av stein benyttes på de rørstrekkene som skal isoleres.

## 4.3 Mantling og ikke avtakbar isolasjon

### Tetningsmasse og forseilingstape:

Tetningsmasse og forseilingstape skal være fleksibel for relevant temperaturområdet. Videre skal materialet ha evnen til å tåle gjentatte strekk og trykkpåkjenninger.

### Valg av mantlings/kapslings materiale:

Etter samtale med A-TEK så skal det benyttes kapslingsmateriale av aluminium. NORSOK standarden sier aluminiumslegert kapsel skal være av typen AlMn1 (AA 3103) eller med tilsvarende korrosjonsmotstand. Aluminiumskapsel for rør opp til og med DN450 skal ha minst tykkelse på 0,7mm. For dimensjoner over DN450, skal minste tykkelse være 1,0 mm.

### Utførelse av ikke avtakbar isolasjon:

Isolasjonsmatter skal benyttes der rørsåler ikke er tilgjengelige. Skjøtene skal være tette og sikret med tråd eller bånd i rustfritt stål. Isolasjonen skal sikres med bånd rundt det ytterste laget på hver side av rørsåler og midten av hver seksjon. Rørdeler og flenser skal isoleres med isolasjonsmatter, som sikres med tråd eller bånd. Som beskrevet i generell utførelse så skal isolasjonstykkelsen beregnes i samsvar med NS-EN ISO 12241 basert på høyeste temperatur og andre drifts- og sikkerhetskrav. Beregnet isolasjonstykkelse kan oppjusteres til nærmeste standardtykkelse.

### Tilleggsmateriell:

Leverandøren skal i IPS-spesifisere standarden (materiale, dimensjon og type) vedrørende tilleggsmateriell som eksempelvis nagler, justerbare eksenterlåser, bånd, tråd, klipp og ekspansjonsfjærer. Se tabell 13 for stålbånd og låseklipp. Alt tilleggsmateriell skal være i rustbestandig stål, unntatt maljer i isolasjonsputer. Justerbare og låsbare eksenterlåser skal ha minste strekkstyrke på 900 N og hver del av låsen skal festes med minst to popnagler. Tykkelsen på rustbestandig ståltråd for å sikre isolasjonen, skal være minst 1 mm.

Tabell 13 – Stålbånd og låseklipp.

Utstyr	Bånd bredde x tykkelse mm x mm	Klipp lengde x bredde x tykkelse mm x mm x mm
Rør og maskindeler	12 x 0,4	20 x 13 x 0,7
Beholdere/tanker	19 x 0,4	20 x 20 x 0,7

## 4.4 Beregning av nødvendig isolasjonstykkelse

Har ikke tilgang på NS-EN ISO 12241, derfor beregnes nødvendig isolasjonstykkelse med Glava sitt beregningsprogram – Gti 5.0. Det er et omfattende beregningsprogram for industri-, VVS- og kuldebransjen som tar for seg kondens-, termisk- og lydisolering av rør, kanaler, tanker og flater. Varmetapsberegningene i Gti 5.0 utføres etter ISO 12241. [10]

### 4.4.1 Beregningsgrunnlag

#### Verdier hentet fra Holmen Tankanlegg:

Gitt av Anders Moen – Statoil, pr telefon:

- Import ca 2 ganger i uka.
- Tar ca 20 timer å laste mediene (asfalt).
- Rørstrekket står konstant med varme på (varmekabel).
- Setter driftstiden til (24 timer x 300dager) 7200 timer/år.
- Vanskelig å tappe ned systemet.
- Stenger av og til importledningen, hvis det tar lang tid til neste levering (sjeldent).

#### Geologiske data:

Fra Meteorologisk Institutt hentes årsmiddelverdier med hensyn til vind [m/s] og temp [°C] for Drammensområdet. Beregnet middelværdi legges direkte inn i Gti 5.0. Se vedlegg V – 06.

#### Kraftpriser:

Fjordkraft estimerte at en stor bedriftskunde betaler ca 1 krone pr kwh. Da er nettleien inkludert. Setter prisen til 50øre pr. kWh i beregningene, ettersom slike anlegg har veldig gode avtaler.

### 4.4.2 Glava Gti 5.0

Verdiene fra tabell 14 blir sammen med isolasjonskostnadene i tabell 15 lagt inn i beregningsverktøyet Gti 5.0. Fra resultatene plottes totalkostnaden med hensyn på isolasjonstykkelse i tabell 15. Totalkostnad = energi- og investeringskostnaden pr meter.

Tabell 14 – Inndata Glava – GTI 5.0.

Inndata	Rørstrek - C	Rørstrek - D
Isolering	1.lags isolering	1.lags isolering
Medietemperatur[°C]	80	180
Diameter[mm]	323,9	323,9
Rørlengde[m]	900	900
Beregnings kriterie	Gitt isolasjonstykkelse*	Gitt isolasjonstykkelse*
Omgivelsestemperatur [°C]	6,3	6,3
Vindhastighet [m/s]	1,8	1,8
Driftstid [timer/år]	7200	7200
Energipris [øre/kWh]	50	50
Avskrivningstid [år]	20	20
Realrente [%]	7	7

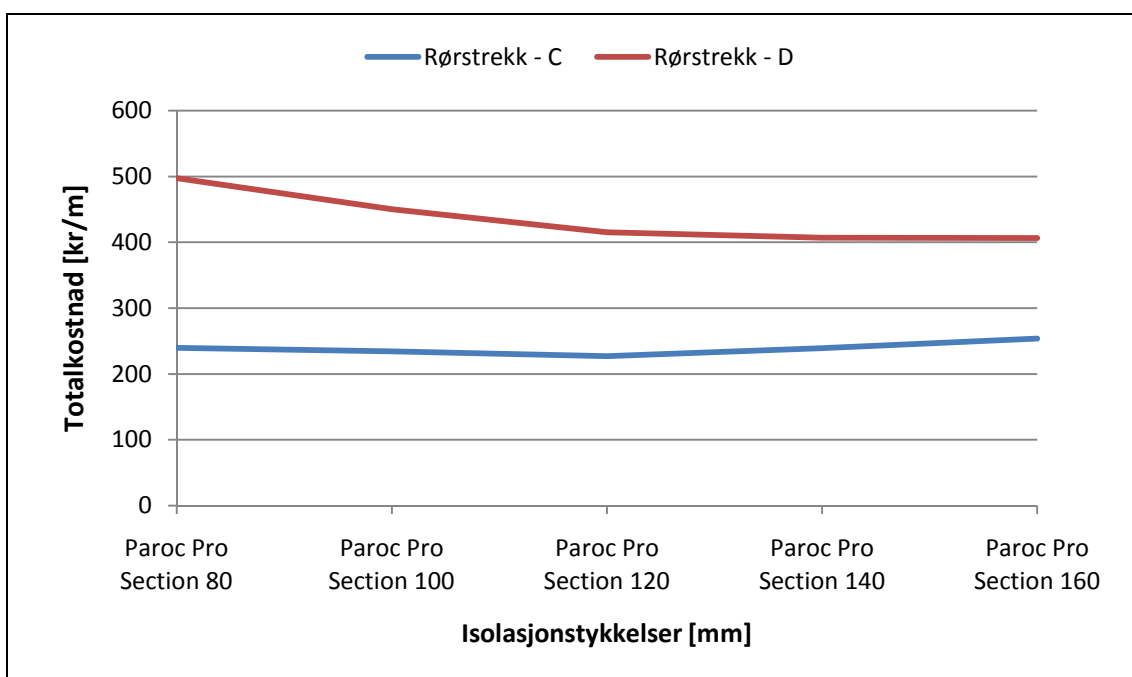
\* Legger manuelt inn lagerførte isolasjonstykkelser – Paroc Pro Section. Se tabell 15.

Tabell 15 – Kostnadsoversikt - Isolering av rør.

GLAVA produkt	Std. tykkelse [mm]	Mantling	Kostnad inkl. montering [kr/m]*
Paroc Pro Section 80	80,0	Alu	950
Paroc Pro Section 100	100,0	Alu	1150
Paroc Pro Section 120	120,0	Alu	1250
Paroc Pro Section 140	140,0	Alu	1500
Paroc Pro Section 160	160,0	Alu	1750

\*Kostnadene er et prisoverslag gitt av A-TEK, men ettersom det brukes kun 50 øre pr kWh i beregningene så har man noe å gå på.

Tabell 16 - Forholdet mellom isolasjonstykkelser og totalkostnad.



### 4.4.3 Resultat

Ser at Paroc Pro Section 120 er et fornuftig valg for rørstrekk - C, mens rørstrekk - D ender opp med Paroc Pro Section 160. Se vedlegg V-07 og V-08 for mer utfyllende resultater fra beregningene i Glava GTI 5.0.

Tar hensyn til at varmekabelen bygger noe, velger å gå opp en dimensjon på rørskalene. Velger dimensjonene:

- **Ø356/160mm med ytter diameter 674mm**
- **Ø356/120mm med ytter diameter 634mm**

Nå som isolasjonstykkelse er valgt, så bør varmetapet ved laveste designtemperatur (-29 °C) beregnes. Dette gir grunnlaget for varmekabelens laveste effekt. Det er denne effekten som må tilføres røret for å kunne opprettholde driftstemperatur ved -29 °C.

**Varmekablene inngår ikke som en del av oppgaven og blir derfor ikke beregnet.**

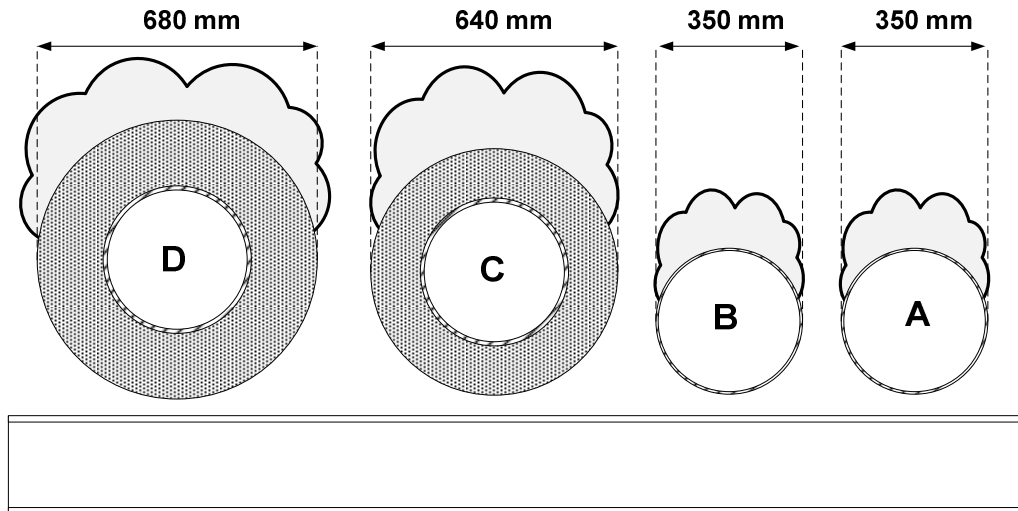
## 5 MEKANISK DIMENSJONERING AV RØR

### 5.1 Beregningsgrunnlag / Laster

#### 5.1.1 Personlast

Ved montering og inspeksjon av rørgater, så er det ikke uvanlig å se arbeiderne gå på røret. Dette bør det tas hensyn til ved dimensjonering. Tommelfingerregel tilsier at for rørdimensjoner f.o.m. DN 350 så har denne lasten ingen innvirkning.

#### 5.1.2 Snølast



Figur 9 – Beregnings grunnlag snølast på rør.

Snølasten på en konstruksjon er en funksjon av byggestedets klima, høyde over havet og topografi, samt konstruksjonens form, mantelmateriale og varmegjennomgang. I Norge er det store regionale klimavariasjoner og snømengden varierer sterkt både over tid og fra kommune til kommune. [11]

Snødybden på tak og mark er som oftest forskjellig. Det er derfor nødvendig å transformere markverdiene til verdier som kan benyttes for lastvirkningsanalysen for takkonstruksjonen. Fra NS 3491-3 1.utgave mars 2001, pkt 5.4: "For overbygde bruer fastsettes snølaster på samme måte som for bygninger". [12]

Bruker pkt. 5.1 - *Snølaster på tak* til beregning av snølast.

Den representative verdien for snølasten  $s$  (kN/m<sup>2</sup>) på tak i **NS 3491-3, pkt 5.1** er gitt ved:

$$s = \mu \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (10)$$

Hvor:

$\mu$  = formfaktor for snølast

$C_e$  = formfaktor for snølast

$C_t$  = termisk faktor

$s_k$  = karakteristisk snølast på mark



### Fra Konstruksjons teknikk – Laster og bæresystemer, s.44:

"Snølasten  $s$  refereres til takets horisontalprojeksjon, det vil si at den er gitt som kraft pr. horisontal flate. Eksponeringsfaktoren gis verdien  $C_e=1,0$  med mindre annen verdi kan dokumenteres, og for tak med normalt god varmeisolasjon er det vanlig å sette  $C_t=1,0$ ". Snølastens formfaktor blir satt til 0,8 i samråd med A-TEK. [11]

Fra NS 3491-3:2001, s.16; hentes karakteristisk snølast på mark fra Drammen. [12]  
Vedlegg V-09.

$$s_{k,Drammen} = 3,5 \text{ kN/m}^2$$

### Beregning av snølast:

Beregner representativ snølast,  $s$ :

$$s = \mu \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 3,5 = 2,8 \text{ kN/m}^2 \quad (10)$$

Finner snølasten som virker på røret pr. m:

$$q_{\text{snølast}} = s \cdot D_o$$

Tabell 17 – Snølast som virker på rørene.

Rørstrekk	$s$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$D_o$ [m]	$q_{\text{snølast}}$ [N/m]	$L$ [kg/m]	L, legges inn som snølast i CAEPIPE.
A	2,8	0,680	980	100	
B	2,8	0,640	980	100	
C	2,8	0,350	1792	183	
D	2,8	0,350	1904	194	

## 5.1.3 Vindlast

Fra Konstruksjons teknikk – Laster og bæresystemer, s.47. [11]

For å kunne beskrive vindforholdene på det regionale og lokale nivå er det nødvendig å ta hensyn til områdets topografi og friksjonskreftene mellom luft og terrengets overflate.

Bruker NS 3491 - 4: 2002; for å finne vindtrykket som virker pr. flateenhet.

Gjør en forenklet beregning av hastighetstrykket fra vindkasthastigheten iht. tillegg E fra NS 3491. Hensikten med dette tillegget er å tilby en rask metode basert på diagrammer for beregning av hastighetstrykket fra vindkast  $q_{kast}$  når det kreves mindre nøyaktighet.

Fra side 11 i NS 3491 - 4: 2002; velges kategori nummer som ligner vegetasjonen på Holmen i Drammen. Kategori – II passer. Vedlegg V-10.

Kategori – II; Landbruksområde, område med spredte små bygninger eller trær. Henter følgende verdier fra valgt kategori.

$$\begin{aligned}k_T &= 0,19 \\ Z_0 &= 0,05m \\ Z_{min} &= 4 \text{ min}\end{aligned}$$

Fra side 70 i NS 3491 - 4: 2002 – Tabell A.1: hentes vindhastighetenes referanseverdi for gitte geografiske områder. Se vedlegg V-11.

$$V_{REFDrammen} = 22 \text{ m/s}$$

Fra Tillegg E, tabell a), s.94, hentes hastighetstrykket,  $q_{k0}(Z)$ . Vedlegg V-11.

### Beregning av $q_{k0}(Z)$

$q_{k0}(z)$  er angitt som funksjon av høyden over terrenget  $Z_h(m)$  for terrengruhetskategoriene 0, ..., IV og for referanseverdiene  $V_{REF}$  lik 22m/s, 24m/s....32m/s.

Tabell 18 – Grunnverdier for hastighetstrykk fra kastevind  $q_{k0}(Z)$ .

$Z_h$ [m]	$q_{k0}(Z)$ [N/m <sup>2</sup> ]	$Z_h$ [m]	$q_{k0}(Z)$ [N/m <sup>2</sup> ]
2	544	10	716
4	560	12	750
6	620	14	784
8	660	16	816

Dette legges inn i CAEPIPE som påført vindlast med hensyn til høyden over terrenget.

## 5.2 CAEPIPE – Innledning

Bruker CAEPIPE for å gjøre statiske og dynamiske analyser av rørsystemet med hensyn til egenvekter, punktlast, temperatur, vindlast og mediene som nå er definert. Beregningene i CAEPIPE gjøres etter NS-EN 13480, da dette blir valgt som rørkode i analyseinnstillingene.

Innledningsvis vil beregnings metodene som utføres i CAEPIPE bli beskrevet, slik at man får en bedre forståelse av resultatene fra analysen. Her legges også inn referanser til hvor i NS-EN 13480 beregningsgrunnlaget er hentet fra og hvilke inputs som blir lagt inn. Det meste ordner CAEPIPE automatisk når rør og bend velges fra egne lister i menyen.

### 5.2.1 Temperatur

#### Referansetemperatur:

Referanseverdien for beregningene, det er dette som utgjør nullpunktet for temperatur variasjonene. Det vil si at det er ved denne temperaturen rørsystemet blir satt sammen. Brukes til beregning av:

$$\Delta T = T_1 - T_2 = (T_1 - T_{ref}) - (T_2 - T_{ref})$$

Referanse temperaturen er satt til **15 °C**

#### Antall termiske sykler:

Antallet termiske sykler er med på å definere reduksjonsfaktoren,  $f$ , for å kunne redusere tillatt ekspansjonsspenning,  $f_a$

Antall sykler	faktor ( $f$ )
$0 \leq 7,000$	1.0
$7,001 \leq 14,000$	0,9
$14,001 \leq 22,000$	0,8
$22,001 \leq 45,000$	0,7
$45,001 \leq 100,000$	0,6
$100,000 <$	0,5

Antall sykler blir satt til **7000**, da anlegget stort sett er i kontinuerlig i drift. Dette medfører få svingninger i løpet av et år.

### 5.2.2 Tillatt trykk

Det tillatte trykket for rette rør er beregnet etter formel 6.1.1 eller 6.1.3, avhengig av forholdet mellom inner- og ytterdiameter. [2]

For  $D_o/D_i \leq 1.7$

$$p = \frac{2 \cdot f_z \cdot z \cdot e}{D_o - e}, \quad \{6.1.1\} \quad (11)$$

For  $D_o/D_i > 1.7$

$$p = f_z \times z \times \frac{(1 - a^2)}{(1 + a^2)}, \quad \{6.1.3\} \quad (12)$$

$$a = 1 - \frac{2 \cdot e}{D_o}$$

Hvor:

$P$  = Tillatt trykk

$D_o$  = Rørets ytter diameter

$D_i$  = Rørets inner diameter

$f_z$  = Tillatt spenning iht. kapittel 5 i EN 13480

$z$  = Sammenføyings faktor = 1, for sømløse rør

For rørbend vil det maksimale tillatte trykket bli beregnet etter formel 6.1.1 eller 6.1.3, men med modifisert verdi av veggtykkelsen,  $e_{int}$  (intrados)

$$e_{int} = \frac{(R/D_o - 0,25)}{R/D_o + 0,25} \quad (13)$$

Hvor:

$R$  = Bendets radius.

Dette beregner CAEPIPE **automatisk** når ønsket rør type og bend velges i programmet.

### 5.2.3 Vedvarende spenninger

Spenningen  $\sigma_1$ , grunnet trykk, egenvekt og andre vedvarende mekaniske laster, er beregnet etter formel 12.3.2.1. [2]

$$\sigma_1 = \frac{pD_0}{4e_n} + \frac{0,75iM_A}{W} \leq f_h, \quad \{12.3.2.1\} \quad (14)$$

Hvor:

$p$  = Maksimalt trykk

$D_0$  = Rørets ytterdiameter

$e_n$  = Nominell veggykkelse

$i$  = Stress intensifiseringsfaktor, produktet av 0,75i skal ikke være mindre en 1.

$M_A$  = Resulterende bøyemoment som følge av vedvarende last.

$W$  = Tverrsnitt modul

$f_h$  = Tillatt spenning ved maksimal temperatur

Her legges **snølast, egenvekten til isolasjon og mantling** inn manuelt, resten ordner CAEPIPE.

### 5.2.4 Sporadiske spenninger

Spenningen  $\sigma_2$ , grunnet sporadiske belastninger er beregnet etter formelen 12.3.3.1.  $\sigma_2$  er summen av spenninger som følge av jordskjelv og vindlaster. [2]

$$\sigma_2 = \frac{pD_0}{4e_n} + \frac{0,75iM_A}{W} + \frac{0,75iM_B}{W} \leq kf_h, \quad \{12.3.3.1\} \quad (15)$$

Hvor

$M_B$  = Resulterende bøyemoment som følge av sporadiske laster

$k = 1.2$  hvis belastningen varer mindre en 1 % i løpet av 24 driftstimer. Dersom belastningen inntreffer/vedvarer mer en 10 % av drifttiden, så skal den beregnes som vedvarende last.

I CAEPIPE er  $k = 1.2$  benyttet til beregning av vedvarende laster.

### 5.2.5 Ekspansjons spenninger

Spenningen  $\sigma_3$ , grunnet termisk ekspansjon og vekslende laster (seismisk forskyving) blir beregnet etter formelen 12.3.4.1. [2]

$$\sigma_3 = \frac{iM_c}{W} \leq f_a, \quad \{12.3.4.1\} \quad (16)$$

Hvor

$M_c$  = Resulterende bøyemoment som følge av termisk ekspansjon eller alternerende laster.

$f_a$  = Tillatt spenningsområde =  $f(1,25f_c + 0,25f_h)(E_h/E_c)$

$f$  = Spennings reduksjons faktor, hentet fra tabell 12.1.3-1

$f_c$  = Tillatte spenninger ved laveste temperatur

$f_h$  = Tillatte spenninger ved høyeste temperatur

$E_c$  = Elastisk modul ved laveste temperatur

$E$  = Elastisk modul ved høyeste temperatur

Hvis tilstandene i formelen 12.3.4.1 ikke er tilfredsstillende, kan formelen 12.3.4.2 benyttes.

$$\sigma_4 = \frac{pD_0}{4e_n} + \frac{0,75iM_A}{W} + \frac{iM_C}{W} \leq f_h + f_a, \quad \{12.3.4.2\} \quad (17)$$

CAEPIPE bruker **design- og mediets temperatur** for å beregne ekspansjons spenningene. Se tabell 3 og 4 for verdiene som er lagt inn i analysen

## 5.2.6 Vindlaster

Legger inn verdiene fra tabell 18.

Nullpunktet i CAEPIPE er ca 4 meter lavere enn virkeligheten. Tar høyde for dette når verdiene legges inn i beregningsverktøyet. Det vil si at høyde Z = 4 i tabellen får høyde lik 0 i CAEPIPE.

## 5.2.7 Bend

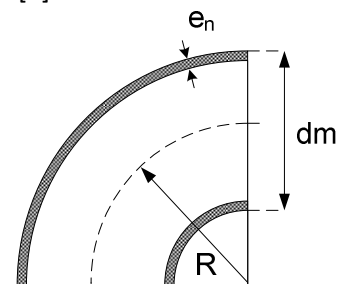
I CAEPIPE så kan man velge mellom *Long* eller *Short* radius bend. Normalt benyttes long radius bend. Dette er rørbend med en bøyeradius = 1.5 x rørets nominelle diameter. Bendene av syrefast stål som er hentet fra Br. Dahl sin produktkatalog har en bøyeradius = nominell diameter + 100mm derfor legges disse inn manuelt. Flexibilitetsfaktoren til rørbend beregnes etter NS-EN 13480-3:2002 Annex H, tabell H.1. [2]

Vanlig bend:

$$\text{Flexibilitets karakteristikk, } h_b = \frac{4Re_n}{d_m^2} \quad (18)$$

$$\text{Flexibilitets faktor, } k_b = \frac{1,65}{h} \quad (19)$$

$$\text{Spennings intensiverings faktor, } k_i = \frac{0,9}{h^{2/3}} \quad (20)$$



Figur 10 – Rørbend.

### Beregning av fleksibilitetsfaktor

Målene hentes fra industrikatalogen til Brødrene Dahl.

$$h = \frac{4 \cdot (450\text{mm} + 100\text{mm}) \cdot 3\text{mm}}{(356\text{mm})^2} = \underline{\underline{0,052}} \quad (18)$$

$$k_b = \frac{1,65}{0,052} \approx \underline{\underline{32}} \quad (19)$$

$$k_i = \frac{0,9}{(32)^{2/3}} \approx \underline{\underline{0,09}} \quad (20)$$

Velger **egendefinert bend** i CAEPIPE og **legger inn verdiene**.

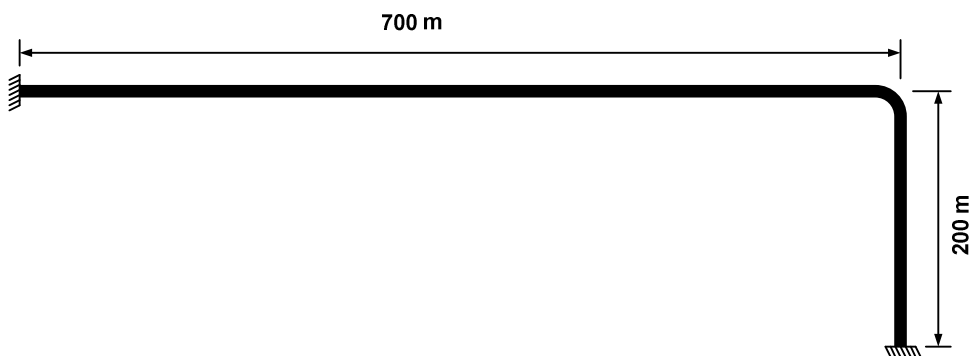
## 5.3 CAEPIPE – Analyse

### 5.3.1 Første analyse

Først settes fornuftige opplageravstander, får opplyst fra A-TEK at ved slike rørgater brukes som regel en opplageravstand på ca 8m og gjerne kortere avstander før bend (4m). Følgelig er det den totale lasten av rørenes egenvekt, snølast, personlaster, isolasjon, vind, etc. som setter grunnlaget for avstanden.

#### Modellering i CAEPIPE

1. Definerer første node som *Anchor*, denne gir fast innspenning av røret.
2. Neste node settes 4 meter fra *Anchor*, deretter lages det noder for hver 8. meter.
3. Før og etter bendet settes nodene med en avstand på 4 m.
4. Deretter lages noder for hver 8. meter til nest siste node.
5. Siste node settes 4 meter ifra forrige, definerer denne som *Anchor*..
6. Definerer rørtypen mellom hver node.
7. Definerer opplager betingelsene til hver node.
  - a. Y-akse: Nedre grense = 0,0mm, Øvre grense = 3,0mm, friksj. faktor = 0,15
  - b. Z-akse: Nedre grense = -10,0mm, Øvre grense = 10,0mm, friksj. faktor = 0,15
8. Får en modell med samme utforming som i figur 11
9. Kjører analyse av modellen.



Figur 11 – Første utkast – Rørstrekk.

#### Resultat av første analyse.

Resultatene fra analysen viste at ekspansjons spenningene ( $\sigma_3$  og  $\sigma_4$ ) var langt utenfor tillatt spenning (røde tall). Prøvde først å endre opplager betingelsene for å få ned spenningene, men dette var ikke godt nok. Var nødt til å finne en metode som tok opp lengdeutvidelsen som følge av temperaturstigningen.

## 5.3.2 Termisk ekspansjon

Ønsker å finne hvor mye røret utvider seg. Vet at syrefast utvider seg mer enn karbonstål, men i denne oppgaven så blir karbonstålet utsatt for mye større temperaturstigning og utvider seg derfor mest. Gjør en enkel håndberegning av lengdeutvidelsen. Formel og koeffisient er hentet fra side 120 i kompendiet *Konstruksjon av rørsystemer*. [13]

Ser på temperatur økning fra 20 °C til 150 °C.

$$\delta = \alpha \cdot L \cdot (t_2 - t_1) = 11,9 \cdot 10^{-6} \text{ m/m } ^\circ\text{C} \cdot 100\text{m} \cdot (150^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) \approx \mathbf{0,16 \text{ m}} \quad (21)$$

Hvor:

$\alpha$  = lengdeutvidelseskoeffisienten (m/m °C)

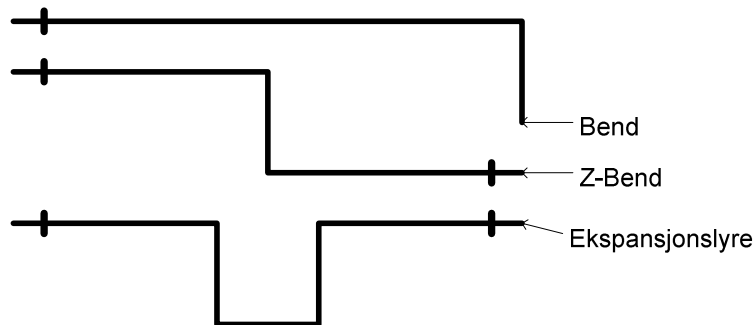
$L$  = rørlengde ved laveste temperatur

$(t_2 - t_1)$  = temperaturøkning

Dette stemmer godt overens med tommelfinger regelen; "stål utvider seg med ca 1 mm pr meter ved 100 °C temperaturøkning". For å kunne ta opp så store lengdeutvidelser er det nødt til å sette inn ekspansjonslyrer.

## 5.3.3 Ekspansjonslyre

De vanligste metodene for å kompensere for termisk ekspansjon er å benytte bend, z-bend eller ekspansjonslyre. Se eksempler i figur 12.



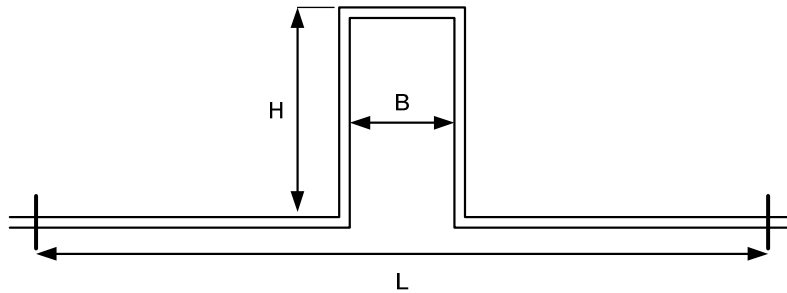
Figur 12 – Metoder å kompensere for termisk ekspansjon.



## Design av ekspansjonslyre

Fra vedlegg V-25 er det gitt veiledning om hvordan ekspansjonslyrer bør utformes og hvor aksial låsing bør monteres. Ved en slik utforming vil lyren ta lengdeutvidelsen optimalt. [14]

1. Ekspansjonslyrer bør legges i senter mellom to faste opplagre eller aksiale låsinger.
2. Høyden er vanligvis dobbel så lang av ekspansjonslyrens bredde. Unntaket er for de lyrene hvor det skal også være plass til en annen lyre på innsiden. Det skal også legges inn rom for at lyrene skal kunne bevege seg uavhengig av hverandre.



Figur 13 – Optimal ekspansjonslyre.

## Valg av lyrestørrelse

Fra tabellen i vedlegg V-25 kan størrelsen på ekspansjonslyren bestemmes med hensyn til lengdeutvidelsen det skal kompenseres for.

Konverterer rørdiameter til tommer (323,9mm  $\approx$  13"), det samme med lengdeutvidelsen ( $\Delta L = 160\text{mm pr } 100\text{m} = 6,3\%$ ). Største lyre for 13" rør har en kapasitet på 102mm, starter med denne som utgangspunkt. Denne lyren har en høyde,  $H \approx 5500\text{ mm}$  (18') og bredde,  $B \approx 2750\text{ mm}$  (9').

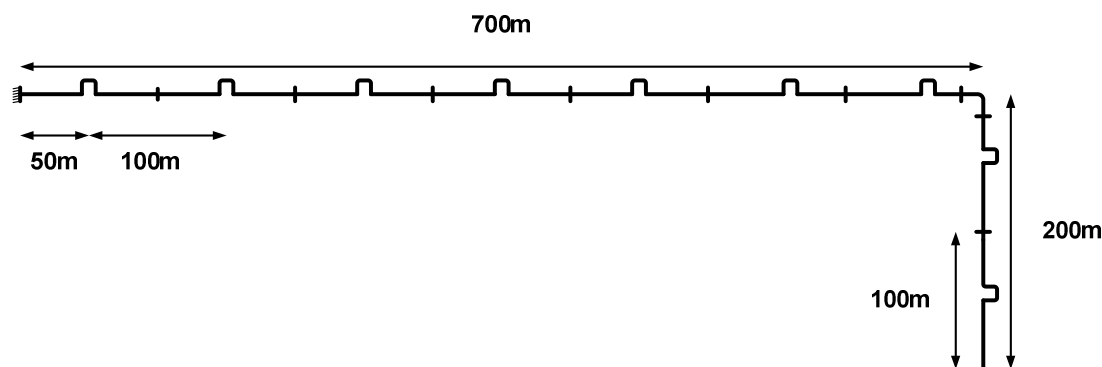
Må ta hensyn til at det skal være rom for andre lyrer på innsiden og at disse skal kunne bevege seg fritt og uavhengig av hverandre. Etter flere analyser i CAEPIPE blir følgende lyrestørrelser nødvendige med hensyn til ekspansjonsspenningene og for å gi tilstrekkelig med rom mellom rørene.

Tabell 19 – Lyrestørrelser.

Rørstrekk	H [mm]	B [mm]
A	8450	3350
B	8950	4350
C	10325	5650
D	11125	7250

## 5.3.4 Sluttresultat

Etter flere geometriske endringer og plasseringer av fastlåsingene med hensyn til tillatt spenning ble rørgaten utformet som vist i figur 14. Tversgående streker illustrerer hvor aksial låsning er plassert.



Figur 14 – Sluttresultat med ekspansjons lyrer.

Tabell 20 – Sorterte spenninger fra CAEPIPE, viser hvilke noder som har høyeste spenning.

EN 13480 (2009) Code Compliance (Sorted Stresses)											
Sust(12.3.2-1)			Exp(12.3.4-1)			Exp(12.3.4-2)			Occ(12.3.3-1)		
No	$\sigma_1$ (MPa)	$\frac{\sigma_1}{f_h}$	No	$\sigma_3$ (MPa)	$\frac{\sigma_3}{f_a}$	No	$\sigma_4$ (MPa)	$\frac{\sigma_4}{(f_h + f_a)}$	No	$\sigma_2$ (MPa)	$\frac{\sigma_2}{1,2f_h}$
Linjestrekk - A											
447	100,4	0,61	646A	24,76	0,10	353	113,4	0,28	760	106,5	0,54
Linjestrekk - B											
447	97,7	0,59	646A	24,7	0,10	353	110,6	0,27	688	107,3	0,55
Linjestrekk - C											
753	55,72	0,43	646A	47,76	0,37	646A	76,38	0,29	760	67,54	0,43
Linjestrekk - D											
160	54,94	0,47	54A	127,9	1,05	54A	153,1	0,64	688	73,00	0,52
No = node			A = node før bend			B = node etter bend					

Resultatet viser for høye spenninger (røde tall) i node 54A etter formel 12.3.4-1, men i henhold til avsnitt 5.2.4 kan dette aksepteres dersom tilstanden i formel 12.3.4-2 er tilfredstilt. I vedleggene V-13 til V-19 er det spenningsplott av de forskjellige røstrekkene og oversikt over nodene. Det lot seg ikke lage en fornuftig oversikt over alle nodene i rørestrekket. Ettersom nodenummeret angir lengden i rørestrekket er det kun laget bilde av nodene i det området som er av interesse.

Ved en slik utforming av rørgaten som vist i figur 14 med lyrestørrelser oppgitt i tabell 19, så vil valgte rørmaterialer og dimensjoner være tilfredsstillende.

## 6 BEREGNING AV STÅLKONSTRUKSJONER

### 6.1 Beregningsgrunnlag

#### 6.1.1 Lastfaktor

Lastfaktorer som benyttes til beregningene, er hentet fra NS-EN 1990, tabell NA.A1.2(B). Ser bort ifra kombinasjonsverdier som i hovedtrekk gir mer presis angivelse ved flere laster, eksempelvis vindlast, snølast nyttelast og så videre. Gir mer konservativt svar. [15, 16]

Permanente laster	$\gamma_{Gj} = 1,2$
Variabel last	$\gamma_{Q1} = 1,5$
Maks nedbøyning	$L/250$

#### 6.1.2 Materialfaktor

Materialfaktoren for de ulike påvisninger er spesifisert i det nasjonale tillegg for NS-EN 1993-1-1. For bygninger gjelder følgende verdier. [15, 17]

Tverrsnitts kapasitet	$\gamma_{M0} = 1,05$
Skrue- og bolteforbindelser	$\gamma_{M2} = 1,25$
Sveisede forbindelser	$\gamma_{M2} = 1,25$
Friksjonsforbindelser	$\gamma_{M2} = 1,25$
Stålbuer	$\gamma_{M0} = \gamma_{M1} = 1,1$

Nominelle fasthetsverdier for  $f_u$  og  $f_y$  etter NS-EN 1993-1-1, se tabell 21

Tabell 21 – Nominelle fasthetsverdier for  $f_u$  og  $f_y$ .

Standard og fasthetsklasse	Nominell platetykkelse (mm)			
	$t \leq 40\text{mm}$		$40\text{mm} < t \leq 80\text{mm}$	
	$f_y$ (MPa)	$f_u$ (MPa)	$f_y$ (MPa)	$f_u$ (MPa)
Varmvalsede profiler				
<b>EN 10025-2</b>				
S235	235	360	215	360
S355	355	510	335	470
Varmvalsede hulprofiler				
<b>EN 10210-1</b>				
S235H	235	360	215	360
S355H	355	510	335	470

#### 6.1.3 Skrueforbindelser

##### Kapasitet i strekk.

Fra boken Dimensjonering av stålkonstruksjoner s.356. [15]

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} \quad (22)$$

Hvor:

$k_2 = 0,63$  for forsenket hode

$k_2 = 0,9$  for alle andre tilfeller

## Kapasitet gjennomlokking i grunnmaterialet.

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \quad (23)$$

Hvor:

$t_p$  er grunnmaterialets platetykkelse  
 $d_m$  er den minste middelverdien av skruehodets eller mutterens hjørnedimensjon og nøkkelvidde

## Friksjonsforbindelse:

Fra boken Dimensjonering av stålkonstruksjoner s.358. [15, 17]

For 8.8 skruer skal det brukes en skive under skrue hode eller mutter, avhengig av hva som skal roteres. NS-EN 1993-1-8 gir kapasiteten pr skrue som:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3}} \cdot F_{p,C} \quad (24)$$

Hvor:

$k_s$  er en reduksjonsfaktor som tar hensyn til skruehullets dimensjon, og jo større hull jo mindre er effektiv kontaktareal.  $k_s = 0,85$  - for skruer i overstore hull.

$n$  er antall friksjonsflater

$\mu$  er flatens friksjonskoeffisient.  $\mu = 0,4$  – for sandblåst flate og sprøytemetallisert med et produkt av aluminium eller sink.

$\gamma_{M3}$  partialfaktor lik 1,25 i bruddgrensetilstanden og 1,1 i bruksgrensetilstanden.

$F_{p,C}$  forspenningskraften som skal benyttes ved kapasitetsberegningen. Dersom tiltrekkingen av skruen skjer etter NS-EN 1090-2 settes forspenningskraften lik:

$$F_{p,C} = 0,7 \cdot f_{ub} \cdot A_s \quad (25)$$

### 6.1.4 Sveis

Fra boken Dimensjonering av stålkonstruksjoner s.394:

"Kalibrering mot forsøk har imidlertid vist at ligning (26) gir tilfredsstillende resultater, dersom man innfører en kalibreringsfaktor,  $\beta_w$ . Faktoren avhenger av grunnmaterialets fasthet, og er for stål i henhold til NS-EN 10025". [15]

$$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} \quad (26)$$

Tabell 22 – Korreksjonsfaktor for kilesveis.

Fasthetsklasse	$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\beta_w$
S235	360	0,8
S355	510	0,9

### 6.1.4 Knekkning

Fra Tekniske tabeller s. 61 er det oppgitt sikkerhetsfaktorer med hensyn til forskjellige konstruksjoner; Stål, hus-, bru- og krankonstruksjoner: 3-5

Velger å bruke sikkerhetsfaktor **3** til dimensjonering. [4]

## 6.2 Kabelstige og servicerør

### Kabelstige

Rørgaten skal utstyres med kabelstige for å holde orden på strøm- og signalkabler som trengs for å drifte importgaten. Det er også ønskelig å ha muligheten til å utvide med en ekstra kabelstige i høyden dersom dette blir nødvendig i fremtiden. Spesifikasjonene til stigen er hentet fra Øglænd System – Kabelstigesystem katalog. vedlegg V-21.



Figur 15 – Kabelstige galvanisert.

Tabell 23 – Spesifikasjoner kabelstige OE 100 HDG.

Kabelstige OE 100 HDG - Varmgalvanisert				
Netto bredde	Brutto bredde	Type	Egenvekt (kg/m)	Part no.
600	644	OE 100-600	6,0	1371609
Lasteevne pr. m:				
Opphengs avstand		(kg/m)	Info	
3,0m		217	Viser maksimalt tillatt belastning ved 1,5mm materialtykkelse, inkludert sikkerhetsfaktor 1,7. Betinget at endespennet $\leq \frac{3}{4}$ av supportavstanden.	
4,0m		116		
4,5m		93		
5,0m		70		
6,0m		45		

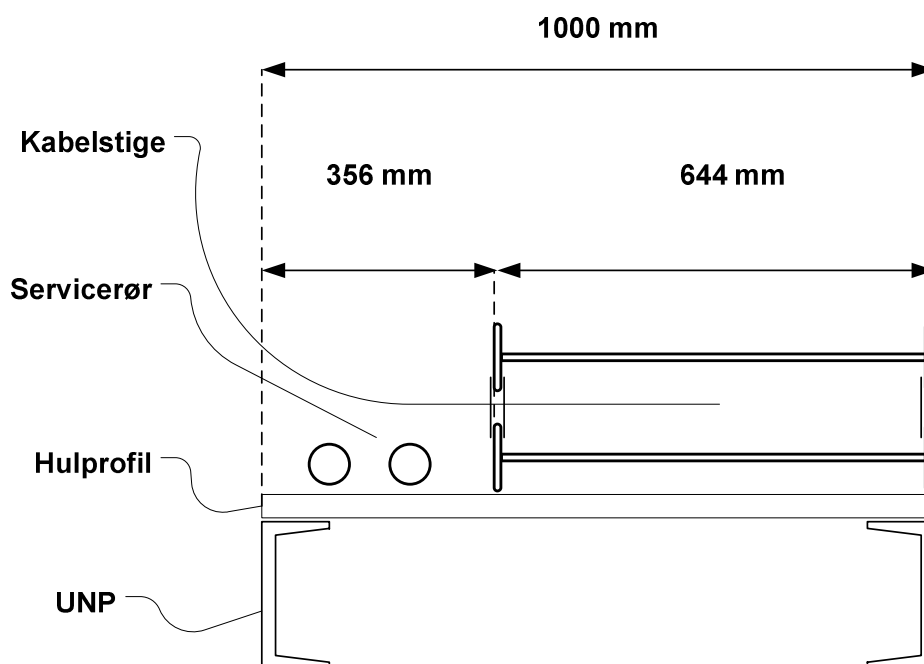
### 6.2.2 Servicerør og trykkluft

2 stk trykkluft/service rør skal ligge parallelt med kabelstigen. Disse er forhåndsvalgt til å være rustfrie DN50 med veggtykkelse 2mm. Henter rør spesifikasjoner fra Brødrene Dahls industrikatalog. Vedlegg V-01.

Tabell 24 – Spesifikasjoner servicerør – syrefast.

Syrefast AISI 316L			
OD (mm)	s (mm)	Egenvekt (kg/m)	Part no.
54	2,0	2,6	1900702

### 6.3 Dimensjonering av profiler



Figur 16 – Skisse av kabelstige og servicerør.

Summerer lastene profilene skal bære:

Tabell 25 – Oversikt laster

Beskrivelse	Egenvekt [kg/m]	Antall	Totallast [N/m]
Snølast*	285,0	1	3500
Kabelstige	6,0	2	120
Last kabelstige	45,0	2	880
Servicerør	2,6	2	50
Total jevnt fordelt last			4550

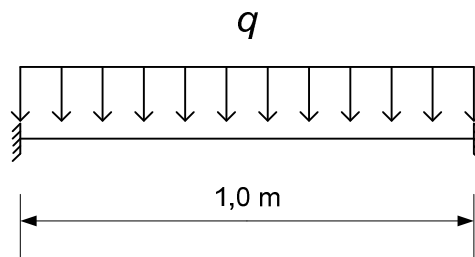
\*Snølasten er beregnet etter samme grunnlag som ble gjort ved rørstrekene. ( $3500\text{N/m}^2 \cdot 0,8\text{m} \cdot 1 = 2800\text{N/m}$ ). Denne snølasten ligger da over både kabelstigen og de to servicerørene.

#### 6.3.1 Hulprofil

For at kabelstigen skal kunne bære den totale jevnt fordelte lasten, bør opphengs avstand være 3,0m, referert tabell 25. Ser på snølasten som fordelt på de to overliggende stigen, det vil si at de bærer hver sin halvpart av snølasten. Hulprofilet festes i endene til UNP profilet med gjennomgående bolter eller ved sveiset forbindelse.

## Dimensjonering av hulprofil:

Ser på hulprofilet som fast innspent i endene og belastningen som jevnt fordelt. Profilet skal utføres med stålsort S355.



Figur 17 – Lasttilfelle for hulprofil.

Antar at hulprofil 70x70x3 er tilstrekkelig. Bjelkens egenlast hentes fra vedlegg V-22.

Beregner jevnt fordelt last som virker på profilet.

$$q_{\text{egenvekt}} = 6,24 \text{ kg/m} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = \mathbf{61 \text{ N/m}} \quad (27)$$

$$q_{\text{last}} = \frac{\frac{4550 \text{ N/m} \cdot 3\text{m}}{2}}{1,0\text{m}} = \mathbf{6825 \text{ N/m}}$$

$$q = q_{\text{last}} + q_{\text{egenvekt}} = 6825 \text{ N/m} + 61 \text{ N/m} = \mathbf{6886 \text{ N/m}} \quad (28)$$

Finner maks moment og skjærkraft:

$$M_{b,\text{max}} = \frac{1}{24} \gamma_{Gj} q L^2 = \frac{1}{24} \cdot 1,2 \cdot 6886 \text{ N/m} \cdot 1,0\text{m}^2 \approx \mathbf{335 \text{ Nm}} \quad (29)$$

$$V = \frac{1}{2} \gamma_{Gj} q L = \frac{1}{2} \cdot 1,2 \cdot 6886 \text{ N/m} \cdot 1,0\text{m} \approx \mathbf{4132 \text{ N}} \quad (30)$$

Dimensjonerende spenning:

$$f_d = \frac{355 \text{ MPa}}{\gamma_{M1}} = \frac{355}{1,05} = \mathbf{338 \text{ MPa}} \quad (31)$$

Nødvendig tverrsnittsmodul er dermed

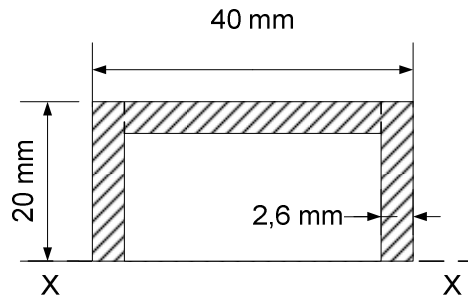
$$W_{\text{nødv}} = \frac{M_{\text{max}}}{f_d} = \frac{335 \cdot 10^3}{338} \approx \mathbf{1,0 \cdot 10^3 \text{ mm}^3} \quad (32)$$

Fra vedlegg V-22; ser at hulprofil 25x25x2 med  $W=1,25 \cdot 10^3$  har tilstrekkelig tverrsnittsmodul for å ta momentet. Det ønskes å ha bredere profil slik at det blir lettere å feste rør og annet tilbehør, samtidig må det tas høyde for hullene som må borres i profilet. Velger 40x40x2,6 hulprofil ( $W_x=4,40 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$ ).

## Skjærspenninger ved bøyning:

I tillegg bør det kontrolleres om bjelken kan oppta skjærkraften (kort bjelke).

Beregner statisk moment,  $S_x$ :



Figur 18 – Statisk moment forenklet.

$$S_x = 2 \cdot 20\text{mm} \cdot 2,6\text{mm} \cdot 10\text{mm} + 2,6\text{mm} \cdot 34,8\text{mm} \cdot 18,7\text{mm} \approx 2732 \text{ mm}^3 \quad (42)$$

Skjærspenning:

$$\tau_{max} = \frac{VS_x}{I_x b} = \frac{4132\text{N} \cdot 2732\text{mm}^3}{88,0 \cdot 10^3\text{mm}^3 \cdot 2,6\text{mm}} \approx 50 \text{ Mpa} < \frac{355}{1,05 \cdot \sqrt{3}} = 195 \text{ Mpa} \rightarrow \text{OK} \quad (33)$$

Ser at bjelken har tilstrekkelig skjærkapasitet.

Beregner nedbøyning:

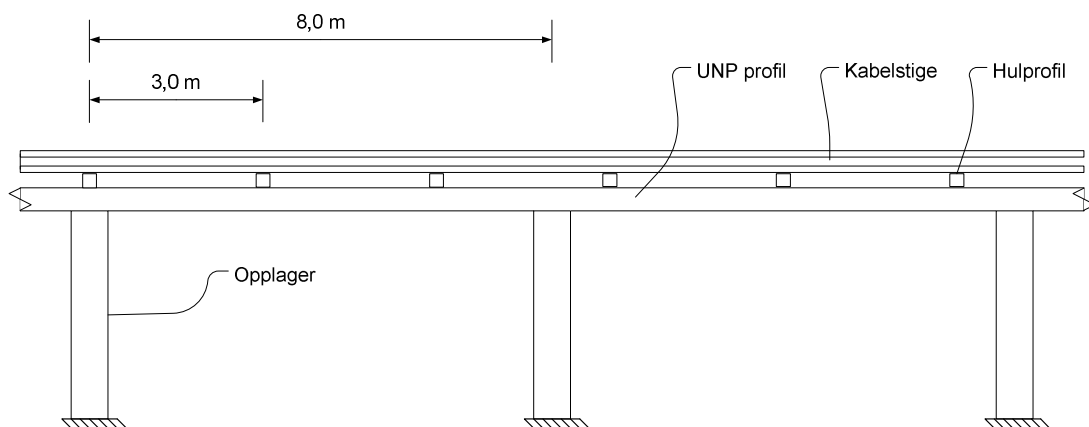
$$f = \frac{q \cdot \gamma_{Gj}}{EI} \frac{L^4}{384} = \frac{1,2 \cdot 6,886\text{Nmm}}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 88,0 \cdot 10^3\text{mm}^4} \cdot \frac{(1000\text{mm})^4}{384} \approx 1,2 \text{ mm} \quad (34)$$

$$1,1 \text{ mm} \leq \frac{1000\text{mm}}{250} = 4 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$$

Hulprofil 40mmx40mmx2,6mm velges.

## 6.3.2 UNP - Profil

For bæring av kabelstiger, hulprofil og serviceør skal det brukes 2 stk UNP-profiler. Det skal også tas hensyn til punktlasten av en person (servicepersonell). Profilene har et spenn på 8,0m mellom hvert opplager.

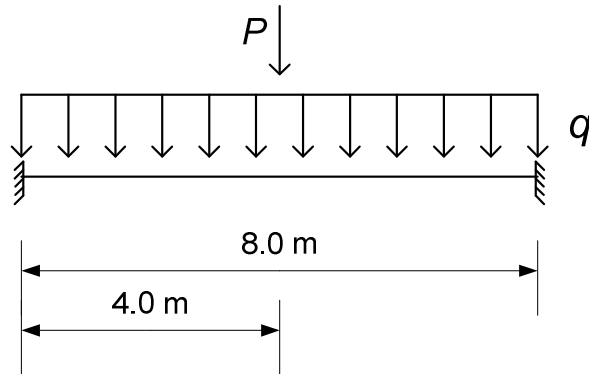


Figur 19 – Opplager av UNP-profil.



## Dimensjonering av UNP-profil:

Forenkler lasttilfellet til jevnt fordelt last med en punktlast og fast innspenning i endene. Profilet skal utføres med stålsort S355.



Figur 20 – Viser påførte laster – UNP-profil.

Finder lastene som virker på et profil:

Fra tabell 25 hentes jevnt fordelt last, ser bort ifra hulprofilenes egenvekt, da den er så liten at den kan neglisjeres.

$$q_{total} = 4550 \text{ N/m}$$

$$q_{last} = \frac{q_{total}}{\text{antall profiler}} = \frac{4550 \text{ N/m}}{2} = 2275 \text{ N/m}$$

Antar at bjelkedimensjonen UNP 140 er tilstrekkelig. Bjelkens egenlast hentes fra vedlegg V-22;  $G_j=16,0 \text{ kg/m}$ .

$$q_{egenvekt} = 16,0 \text{ kg/m} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \approx 157 \text{ N/m} \quad (27)$$

$$q = q_{last} + q_{egenvekt} = 2275 \text{ N/m} + 157 \text{ N/m} = 2432 \text{ N/m} \quad (28)$$

Personlasten blir satt til 1000 N, det vil si at hvert profil må bære en punktlast  $P = 500 \text{ N}$ .

$$P = 500 \text{ N}$$

Det maksimale momentet opptrer når punktlasten,  $P$ , står midt på bjelken, mens den maksimale skjærkraften opptrer med  $P$  plassert ved det ene opplageret. Fra Konstruksjons-elementer, 2.utg, s.39, står det skrevet; "For alle andre tilfeller enn ved svært korte bjelker kan en i alminneligheten se bort ifra skjærspenningen,  $\tau_{maks}$ . Dermed blir normalspenningen  $\sigma_{b,maks}$  avgjørende for dimensjonen av bjelken". [18]

Finner maks bøyemoment:

$$M_{maks} = \frac{1}{24} \gamma_{Gj} q L^2 + \frac{1}{8} \gamma_Q P L \quad (29)$$

$$M_{max} = \frac{1}{24} \cdot 1,2 \cdot 2432 \text{ N/m} \cdot (8,0\text{m})^2 + \frac{1}{8} \cdot 1,5 \cdot 500\text{N} \cdot (8,0\text{m}) \approx \mathbf{8533 \text{ Nm}} \quad (29)$$

Dimensjonerende spenning:

$$f_d = \frac{355\text{Mpa}}{\gamma_{M1}} = \frac{355\text{Mpa}}{1,05} = \mathbf{338 \text{ Mpa}} \quad (31)$$

Nødvendig tverrsnittsmodul er dermed:

$$W_{n\ddot{o}dv} = \frac{M_{max}}{f_d} = \frac{8533 \cdot 10^3 \text{mm}^3}{338} \approx \mathbf{25,3 \cdot 10^3 \text{mm}^3} \quad (32)$$

Fra vedlegg V-22 ser man at et profil UNP 140 med  $W = 86,4 \cdot 10^3$  har tilstrekkelig tverrsnittsmodul for å ta momentet.

Den maksimale nedbøyningen  $f$  opptrer når punktlasten står midt på bjelken.

$$f = \frac{q}{EI} \frac{L^4}{384} + \frac{P}{EI} \frac{L^3}{192} \quad (34,49)$$

$$f = \frac{2,432 \text{ N/mm}}{2,1 \cdot 10^5 \text{ Mpa} \cdot 6,05 \cdot 10^6 \text{ mm}^4} \cdot \frac{(8000\text{mm})^4}{384} + \frac{500\text{N}}{2,1 \cdot 10^5 \text{ Mpa} \cdot 6,05 \cdot 10^6 \text{ mm}^4} \cdot \frac{(8000\text{mm})^3}{192} \approx \mathbf{26 \text{ mm}}$$

$$26 \text{ mm} \leq \frac{L}{250} = \frac{8000\text{mm}}{250} = \mathbf{32 \text{ mm} \rightarrow OK}$$

**UNP 140 velges.**

## 6.4 Opplagere

Henter ut dimensjonerende laster fra CAEPIPE → Danner grunnlaget for dimensjonering av opplagrene. Deler opplagrene opp i to typer.

1. Standardopplagere:  
Opplagrene som står mellom ankersupportene, tar stort sett kun opp egenvekt, friksjonskrefter og vindlaster. Her avgjør friksjonskraften mellom rør og opplager hvor store kreftene blir i horisontalplanet, med mindre glideskoen går i ende stopp.
2. Ankeropplagere:  
Det er opplageret som sitter ved endene på rørstrekket. Det er viktig at disse er solide/rigide og klarer å holde igjen for de krefter og momenter som opptrer ved drift. Her kan det oppstå store krefter som følge av termisk utvidelse.

**Finner lastene opplagrene blir utsatt for:**

Tabell 26 – Kreftene som virker på standardopplager.

Linjestrekk	Node	FX(N)	FY(N)	FZ(N)	FX = friksjonskraften x Fy Friksjonskraften = 0,15 (stål mot stål)
A	447	2505	-16700	-	
B	680	2497	-16646	-	
C	172	4091	-27271	-	
D	128	4330	-28864	12300(550)	
Summert		13423	-89481	13423	

Tabell 27 – Maks. kraft og moment på ankeropplager.

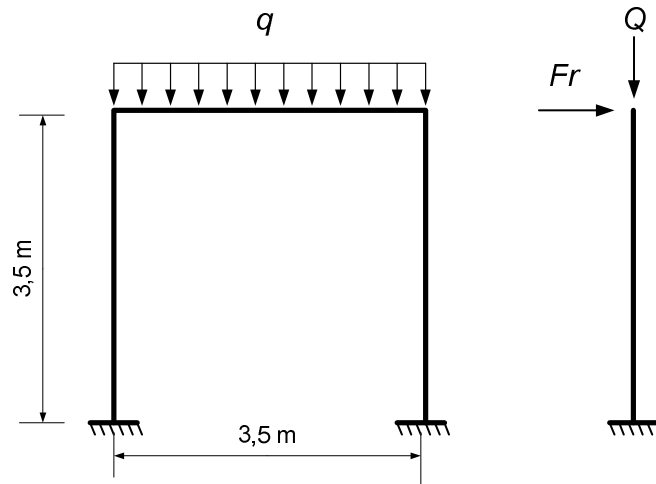
Linjestrekk	Node	FX(N)	FY(N)	FZ(N)	MX(Nm)	MY(Nm)	MZ(Nm)
A	1	14578	-4243	7	533	5344	-3208
	900	2026	-1548	15717	81	15	681
B	1	15105	-4404	0	506	5336	-3323
	900	2029	-1617	16244	86	14	643
C	1	25037	-7203	9	631	8911	-5463
	900	3229	-2880	27424	217	14	750
D	1	26140	-7564	41	499	9655	-5738
	900	3723	-2467	31783	863	46	713
Summert	1	80860	-23414	57	2169	29246	-17732
	900	11007	-8512	91168	1247	89	2787

Tabell 28 – Min. kraft og moment på ankeropplager.

Linjestrekk	Node	FX(N)	FY(N)	FZ(N)	MX(Nm)	MY(Nm)	MZ(Nm)
A	1	-14089	-4535	-1478	443	-4	-3263
	900	-4	-2261	-15857	-155	-6121	494
B	1	-14577	-4723	-1476	438	5	-3401
	900	-4	-2348	-16605	-155	-6136	457
C	1	-24666	-7760	-2390	520	6	-5669
	900	-7	-3506	-27763	-79	-9759	750
D	1	-29010	-8241	-2671	373	-49	-6153
	900	-21	-3988	-29109	-169	-11321	365
Summert	1	-82342	-25259	-8015	1774	-42	-18486
	900	-36	-12103	89334	-558	-33337	2066

## 6.4.1 Standardopplager

Det skal lages et opplager som kan benyttes over hele rørstrekking med hensyn til de lastene den blir utsatt for. Det er satt som krav at det skal være en klaring mellom bakke og rørgate på 4,5m og av sikkerhetsmessige grunner så skal betongfundamentet bygge ca 1m over bakke nivå. Det vil si at lengden på søylene skal være 3,5m. I kravspesifikasjonene står det også skrevet at rørgaten skal ha et fall på 1/100, dette blir "spist opp" av topografien fra kaia til tankanlegget inne på land.



Figur 21 – Last tilfelle, enkel support

### Beregning av standardopplager:

Ettersom dette er en statisk ubestemt konstruksjon, bruker ANSYS classic til å finne frem til fornuftig bjelkedimensjon med hensyn til jevnførende spenning, bøyemoment og nedbøyning. Det skal også kontrolleres mot knekking. Bjelken skal utføres med stålsort S355.

Beregner jevnt fordelt last som virker på rammesøylen.

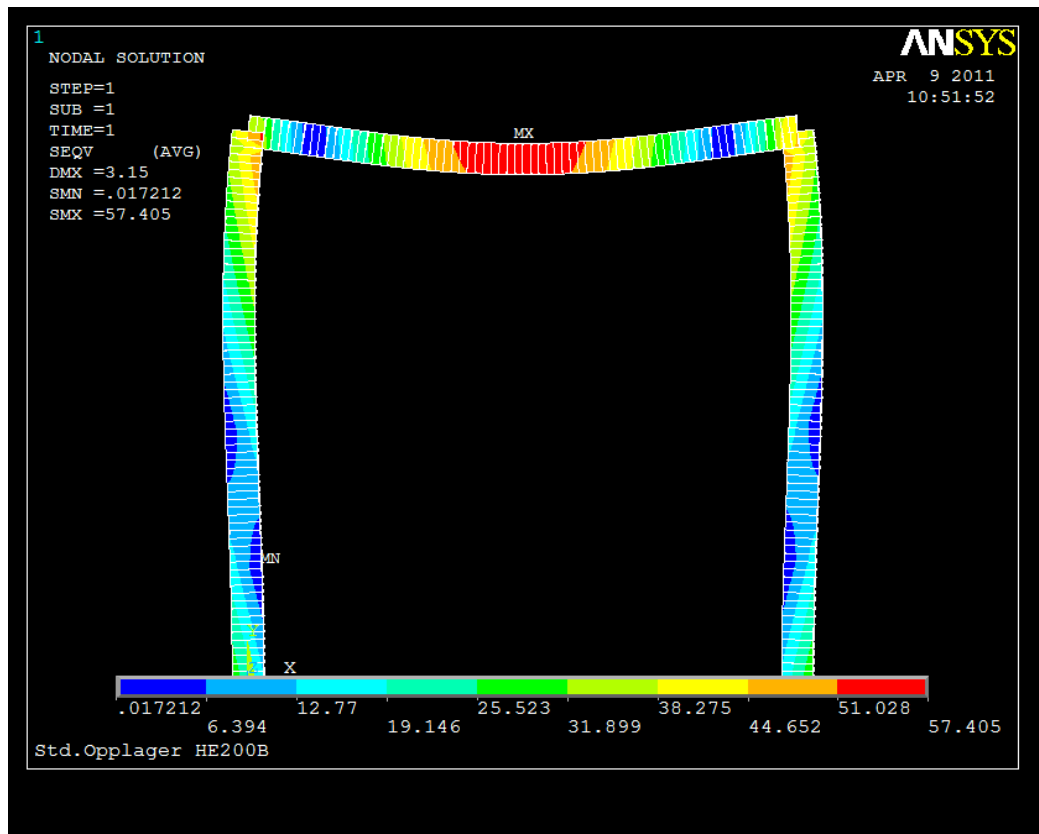
Fra tabell 26:

$$F_{y,CAEPIPE} \approx 90.000 \text{ N}$$

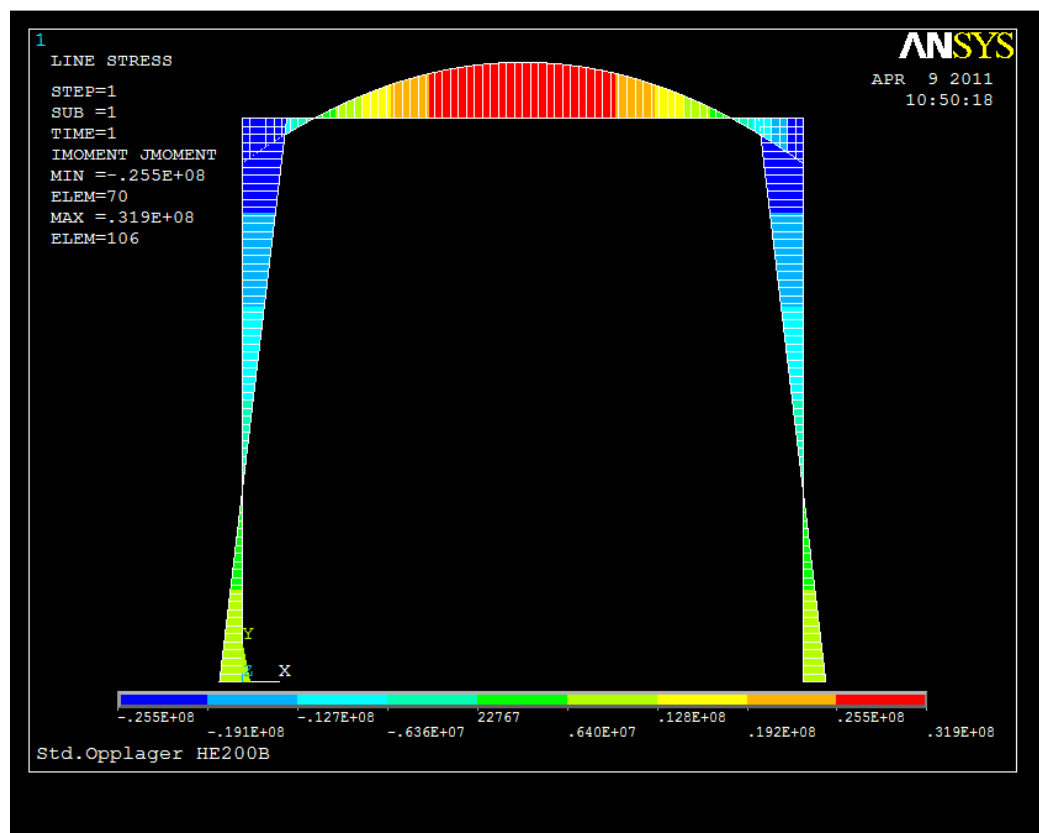
$$F_y q_{last} = \frac{[4550 \text{ N/m} + 2 \cdot (16,0 \text{ kg/m} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2)] \cdot 8,0 \text{ m}}{2} \approx 19.500 \text{ N} \quad (27)$$

$$q = \frac{F_{y,CAEPIPE} + F_y q_{last}}{b} \gamma_G = \frac{90.000 \text{ N} + 19.500 \text{ N}}{3,5 \text{ m}} \cdot 1,2 \approx 37.500 \text{ N/m} \quad (28)$$

Lasten, q legges inn som "pressure" på ønskede bjelkeelementer i ANSYS. Forsøker med HE200B og legger inn profilets data, mesh størrelsen er satt til 50 mm pr. element. Plotter ut jevnførende spenninger, nedbøyning og momentdiagram.



Figur 22 – Viser jevnførende spenninger og nedbøyning



Figur 23 – Viser moment diagrammet

## Resultater:

### HE200B:

$$\frac{L}{250} = \frac{3500\text{mm}}{250} = \mathbf{14\text{ mm}}$$

$$f_d = \frac{355\text{Mpa}}{\gamma_{M1}} = \frac{355\text{Mpa}}{1,05} = \mathbf{338\text{ Mpa}} \quad (31)$$

$$M_{maks} = W_{HE200B} \cdot f_d = 570 \cdot 10^3 \text{mm}^3 \cdot 338\text{Mpa} \approx \mathbf{193.000\text{ Nm}} \quad (44)$$

Tabell 29 – Resultater ANSYS.

Beskrivelse:	Verdi	Maks tillatt
Maks nedbøyning	3,15 mm	14 mm
Jevnførende spenning	57,4 MPa	338 MPa
Maks bøyemoment	31.900 Nm	193.000 Nm
Min. Bøyemoment	-25.500 Nm	

Ser at HE200B holder godt innenfor hva den tåler.

### Håndberegning som verifikasjon:

Bruker tabell 5:3. Statisk ubestemte rammer fra den Svenske "Ingenjörshandboken", se vedlegg V-23. Finner tilfelle som er tilsvarende og gjør en verifikasjon av bøyemomentet i toppen av søylen:

$I_l = I_h$  og  $h = l$  det gir:

$$k = \frac{I_l}{I_h} \cdot \frac{h}{l} = 1$$

$$\frac{M_B}{Q \cdot l} = \frac{1}{6 \cdot (k + 2)} \rightarrow M_B = \frac{q \cdot l^2}{6 \cdot (k + 2)} = \frac{37,5\text{ N/mm} \cdot (3500\text{mm})^2}{6 \cdot (1 + 2)} = \mathbf{25.520\text{ Nm}} \quad (46)$$

Stemmer med resultatet fra ANSYS.

### Kontrollerer rammen mot knekking sideveis:

Fastlegger knekk lengden fra tidligere stål standard – NS3472 (2.utg 1984), vedlegg V-24. Må se på lasttilfellet som 2 punktlaster over hver vertikale søyle, For dette tilfelle blir inngangsverdien "ρ" beregnet etter: [19]

For dette tilfelle er  $b = l$  og  $I_s = I_r$ . Faktoren  $\eta = 0,5$  i dette tilfellet (kurve, d). Dermed blir faktoren  $\rho = \eta = 0,5$ . Leser av  $\kappa \approx 1.16$ . Knekk lengden blir dermed:

$$L_K = \kappa \cdot L = 1,16 \cdot 3500\text{mm} = \mathbf{4060\text{ mm}} \quad (50)$$

Treghetsradius:

$$i = \sqrt{\frac{I_0}{A}} = \sqrt{\frac{57 \cdot 10^6 \text{mm}^4}{7,81 \cdot 10^3 \text{mm}^2}} \approx \mathbf{86\text{ mm}} \quad (36)$$

Slankhetsforhold:

$$\lambda_s = \frac{L_K}{i} = \frac{4060\text{mm}}{86\text{mm}} \approx \mathbf{48} \quad (37)$$

Slankhet  $10 < \lambda < 105 \rightarrow$  Må bruke Tetmajers formel for å beregne den tillatte knekk kraften

$$F_K = \frac{\sigma_K}{n} \cdot A \quad (38)$$

Hvor:

For stål:  $\sigma_K = 310 - 1,14 \cdot \frac{l}{i}$ , maks knekkspenning.

$$\sigma_K = 310 - 1,14 \cdot \frac{3500\text{mm}}{86\text{mm}} \approx \mathbf{264\text{ MPa}} \quad (39)$$

Tillatt knekkraft en søyle med sikkerhetsfaktor,  $\eta = 3$ :

$$F_K = \frac{\sigma_K}{n} \cdot A = \frac{264\text{Mpa}}{3} \cdot 7,81 \cdot 10^3\text{mm}^2 = \mathbf{687.280\text{ N}} \quad (38)$$

Finner knekklasten  $F$ , som virker pr. søyle:

$$F = \frac{F_{y,CAEPIPE} + F_y q_{last}}{2} = \frac{90.000\text{N} + 19.500\text{N}}{2} = \mathbf{54.750\text{ N}} \quad (28)$$

Fra Stålhåndboken, s.118 - Hentes følgende formel: [20]

$$\frac{F}{F_{k,till}} + \frac{1,5 \cdot M_b}{M_{b,maks}} \leq 1 \quad (40)$$

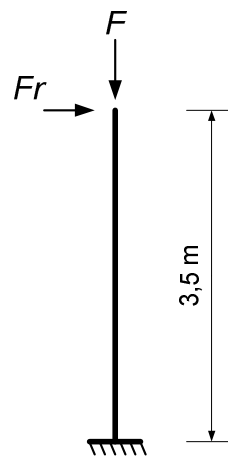
Sjekker sikkerheten mot knekking er tilfredsstillende:

$$\frac{54.750\text{N}}{687.280} + \frac{1,5 \cdot 25.500\text{Nm}}{193.000\text{Nm}} = 0,08 + 0,2 = \mathbf{0,28 \leq 1 \rightarrow OK} \quad (40)$$

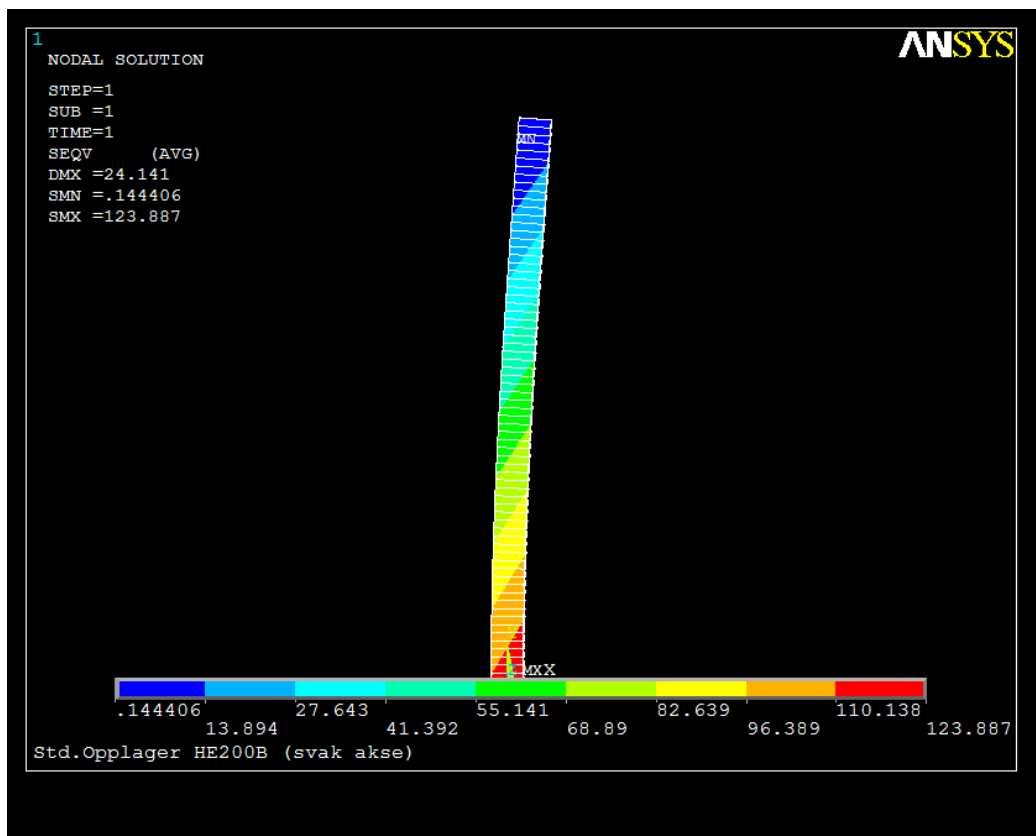
**Kontrollerer rammen mot knekking om svak akse mht, kraften friksjonskraften,  $F_r$ :**

Ser på en søyle:

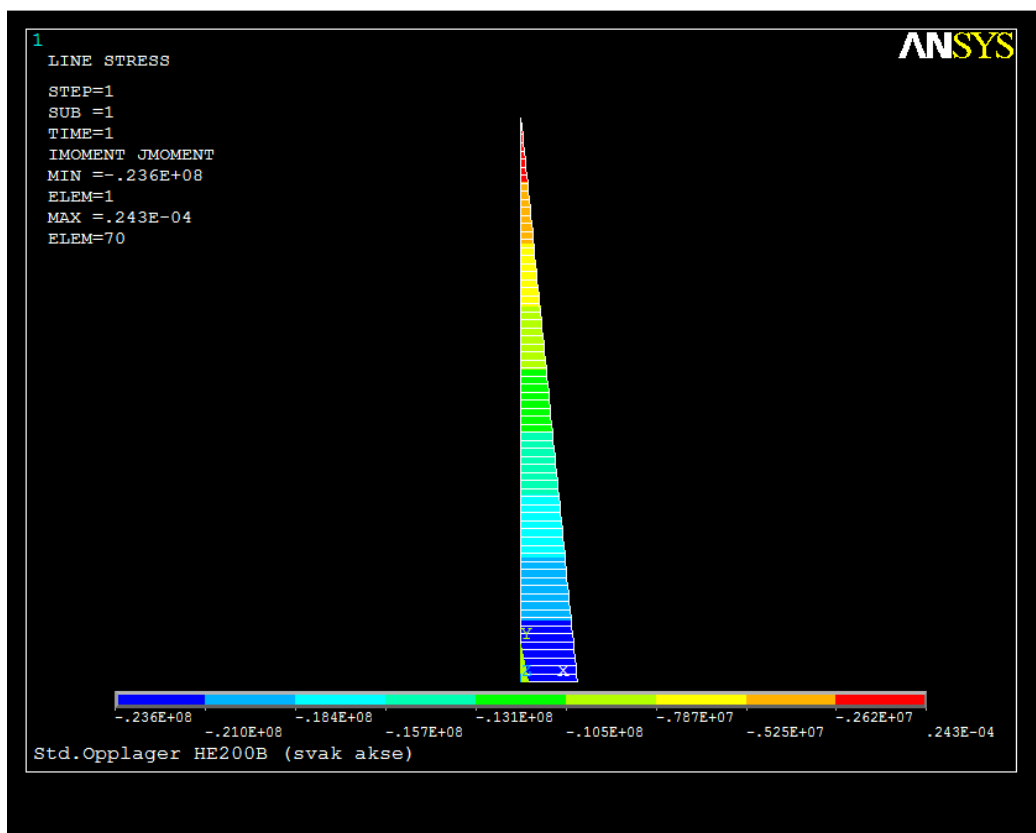
Kraften  $F_r$  er hentet fra tabell 26,  $F_x$ . Denne tilsvarer friksjonskraften som oppstår når rørgatene beveger seg i forhold til opplager. Friksjonskraften mellom glidesko og opplager er satt til 0,15 (friksjonskraften mellom stål-stål). Lager modellen i ANSYS og legger på lastene.



Figur 24 – Lasttilfelle mht. friksjonskraften,  $F_r$ .



Figur 25 – Viser jevnførende spenninger og nedbøyning.



Figur 26 – Viser moment diagrammet.



## Mekanisk/hydraulisk utvikling og dimensjonering av rørgate

$$M_{maks} = W_{HE200B} \cdot f_d = 200 \cdot 10^3 \text{mm}^3 \cdot 338 \text{Mpa} \approx \mathbf{67.600 Nm} \quad (32)$$

Tabell 30 – Resultater ANSYS

Beskrivelse:	Verdi	Maks tillatt
Maks utbøyning	3,15 mm	*
Jevnførende spenning	124 MPa	338 MPa
Maks bøyemoment	23.600 Nm	67.600 Nm
Min. Bøyemoment	0,0 Nm	

\*Ser at utbøyningen blir relativt stor, men i virkeligheten vil UNP-profilene imellom opplagrene bidra til å stive opp slik at utbøyningen ikke vil bli så stort.

Finner knekk lengden:

Fastlegger knekk lengden fra tidligere stål standard – NS3472 (2.utg 1984), vedlegg V-24; Må se på lasttilfellet som 2 punktlast over hver vertikale søyle, For dette tilfelle blir inngangsverdien "ρ" beregnet etter: [19]

For dette tilfelle er  $b = 8,0\text{m}$ ,  $l = 3,5\text{ m}$  og  $I_s = 20 \cdot 10^6 \text{mm}^4$  og  $I_R = 6,05 \cdot 10^6 \text{mm}^4$ . Faktoren  $\eta = 0,5$  i dette tilfellet (kurve, d). Dermed blir faktoren  $\rho$ ;

$$\rho = \eta \cdot \frac{b \cdot I_s}{l \cdot I_R} = 0,5 \cdot \frac{8\text{m} \cdot 20,0 \cdot 10^6 \text{mm}^4}{3,5\text{m} \cdot 6,5 \cdot 10^6 \text{mm}^4} \approx \mathbf{3,5}$$

Leser av  $\kappa \approx 1.6$ , knekk lengden blir dermed:

$$L_K = \kappa \cdot L = 1,6 \cdot 3500\text{mm} = \mathbf{5600 mm} \quad (50)$$

Treghetsradius:

$$i = \sqrt{\frac{I_0}{A}} = \sqrt{\frac{20 \cdot 10^6 \text{mm}^4}{7,81 \cdot 10^3 \text{mm}^2}} \approx \mathbf{51 mm} \quad (36)$$

Slankhetsforhold:

$$\lambda_s = \frac{L_K}{i} = \frac{5600\text{mm}}{51\text{mm}} \approx \mathbf{110} \quad (37)$$

Slankhet  $\lambda \geq 105 \rightarrow$  Må bruke Eulers formel for tillatt belastning (Stang med den ene enden innspenst og den andre enden fri):

$$F_K = \frac{\pi^2}{4n} \cdot \frac{E \cdot I_0}{L^2} = \frac{\pi^2}{4 \cdot 3} \cdot \frac{2,1 \cdot 10^5 \text{mm}^2 \cdot 20 \cdot 10^6 \text{mm}^4}{5,6^2} \approx \mathbf{113.500 N} \quad (38)$$

Fra Stålhåndboken, s.118 - Hentes følgende formel: [20]

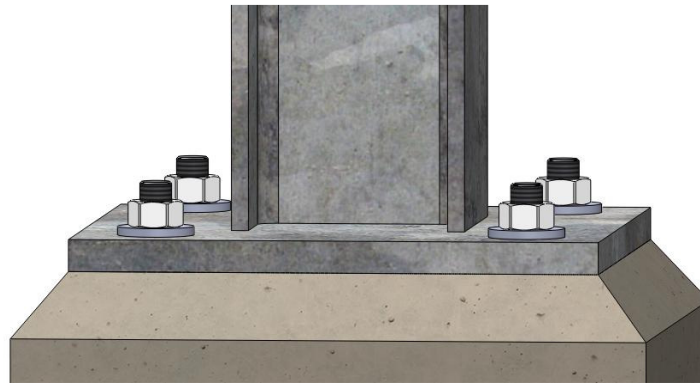
$$\frac{F}{F_{k,till}} + \frac{1,5 \cdot M_b}{M_{b,maks}} \leq 1 \quad (40)$$

Sjekker sikkerheten mot knekking er tilfredsstillende:

$$\frac{45.000\text{N}}{113.500} + \frac{1,5 \cdot 23.600\text{Nm}}{67.600\text{Nm}} = 0,4 + 0,52 = 0,92 \leq 1 \rightarrow \mathbf{OK} \quad (40)$$

**HE 200B kan benyttes til standardopplager.**

6.4.2 Søyfefot – Standardopplager



Figur 27 – Tenkt søyfefot.

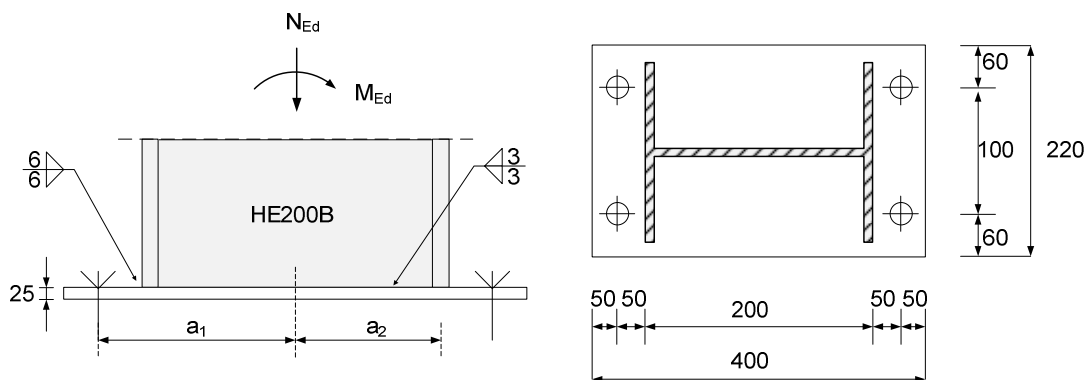
Hentet fra boken; Dimensjonering av stålkonstruksjoner 2.utg. s. 440. [15]  
 Søyfens fotpunkt må utformes slik at det oppfyller forutsetninger vedrørende stivhet og kapasitet som er satt i den globale analysemodellen. Momentstive søyfeføtter krever større fundamenter og er kostbare å utføre, men det er slikt opplager som må til for å tilfredsstille forutsetningene. Søyfefoten blir utsatt for aksialkraften  $N$  og momentet  $M_y$  om sterk akse. Skruene på søyfens strekkside må overføre strekkraften til betongfundamentet. Fotplaten understøpes med mørtel etter at søylen er montert.

Sveis mellom bjelke og stivt underlag.

Forutsetter at sveisen fagmessig godt utført. Sveisens  $a$ -mål bør normalt ikke være mindre enn 3mm og større enn minste veggtykkelse multiplisert med 0,7 som i dette tilfellet gir:

$$a_{steget} = t \cdot 0,7 = 9\text{mm} \cdot 0,7 = 6,3\text{mm} \rightarrow \text{Velger } a_{steget} = 3\text{ mm}$$

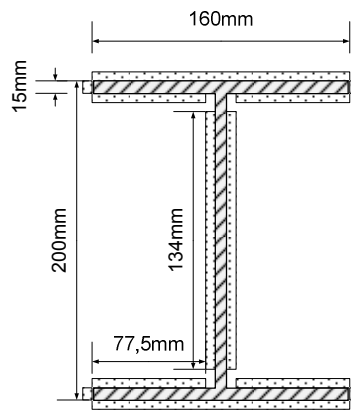
$$a_{flens} = t \cdot 0,7 = 15\text{mm} \cdot 0,7 = 10,5\text{mm} \rightarrow \text{Velger } a_{flens} = 6\text{ mm}$$



Figur 28 – Fotplaten med aksialkraft og moment.

Kapasitet av kilesveis, stålsort S 355:

$$\sigma_{till.w} = \frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} = \frac{510\text{ N/mm}^2}{1,25 \cdot 0,9} = 453,3\text{ Mpa} \quad (41)$$



Figur 29 – Sveisesnitt.

Sveisens tverrsnittsareal:

$$A_w = 6\text{mm} \cdot (2 \cdot 134\text{mm} + 4 \cdot 77,5\text{mm} + 4 \cdot 15\text{mm}) + 3\text{mm} \cdot (2 \cdot 134\text{mm}) = 4272 \text{ mm}^2 \quad (42)$$

Sveisens annet arealmoment:

$$I_w = 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 3\text{mm} \cdot 134\text{mm}^3 + 2 \cdot 200\text{mm} \cdot 6\text{mm} \cdot 104\text{mm}^2 + 4 \cdot 6\text{mm} \cdot 77,5\text{mm} \cdot 81\text{mm}^2 + 4 \cdot 6\text{mm} \cdot 15\text{mm} \cdot 192,5\text{mm}^2 = 52,70 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \quad (51)$$

Flens:

Bøyespennning i sveisen:

$$\sigma_b = \frac{M_b}{I_w} \cdot y = \frac{23,6 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \cdot 1,2}{52,70 \cdot 10^6 \text{ mm}^4} \cdot \left( \frac{200}{2} + 6 \right) = 50,5 \text{ MPa} \quad (44)$$

$$\sigma_{b\perp} = \tau_{b\perp} = \frac{\sigma_b}{\sqrt{2}} = \frac{50,5 \text{ MPa}}{\sqrt{2}} = 35,7 \text{ MPa}$$

Trykkspenning:

$$\sigma_t = \frac{F_y}{A_w} = \frac{45.000 \text{ N} \cdot 1,2}{4272 \text{ mm}^2} = 12,6 \text{ MPa} \quad (45)$$

$$\sigma_{t\perp} = \tau_{t\perp} = \frac{\sigma_t}{\sqrt{2}} = \frac{12,64 \text{ MPa}}{\sqrt{2}} = 8,9 \text{ MPa}$$

Jevnførende spenning i sveisen:

$$\sigma_{jf} = \sqrt{(\sigma_{b\perp} + \sigma_{t\perp})^2 + 3 \cdot (\sigma_{b\perp} + \sigma_{t\perp})} = 89,3 \text{ MPa} \quad (26)$$

$$\sqrt{4 \cdot (35,7 \text{ MPa} + 8,9 \text{ MPa})^2} =$$

$$\sigma_{jf} < \sigma_{till.w} \rightarrow \underline{\text{OK}}$$

Steget:

Bøyespennning i sveisen:

$$\sigma_b = \frac{M_b}{I_w} \cdot y = \frac{23,6 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \cdot 1,2}{52,70 \cdot 10^6 \text{ mm}^4} \cdot \left(\frac{134}{2}\right) = \mathbf{30,0 \text{ Mpa}} \quad (44)$$

$$\sigma_{b\perp} = \tau_{b\perp} = \frac{\sigma_b}{\sqrt{2}} = \frac{30,0 \text{ Mpa}}{\sqrt{2}} = \mathbf{21,2 \text{ Mpa}}$$

Trykkspenning:

$$\sigma_t = \frac{F_y}{A_w} = \frac{45.000 \text{ N} \cdot 1,2}{4272 \text{ mm}^2} = \mathbf{12,6 \text{ Mpa}} \quad (45)$$

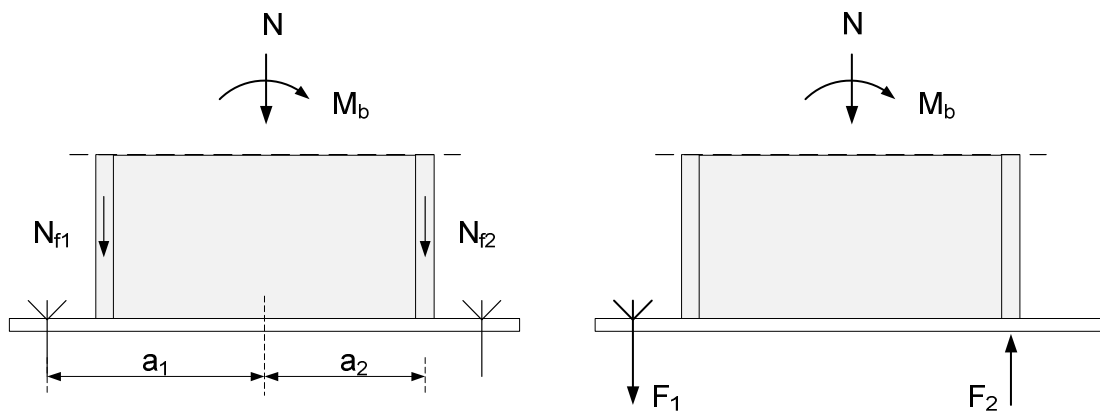
$$\sigma_{t\perp} = \tau_{t\perp} = \frac{\sigma_t}{\sqrt{2}} = \frac{12,64 \text{ Mpa}}{\sqrt{2}} = \mathbf{8,9 \text{ Mpa}}$$

Jevnførende spenning i sveisen:

$$\sigma_{jf} = \sqrt{(\sigma_{b\perp} + \sigma_{t\perp})^2 + 3 \cdot (\sigma_{b\perp} + \sigma_{t\perp})} = \sqrt{4 \cdot (21,2 \text{ Mpa} + 8,9 \text{ Mpa})^2} = \mathbf{60,3 \text{ Mpa}} \quad (26)$$

$$\sigma_{jf} < \sigma_{till.w} \rightarrow \mathbf{OK}$$

Kontrollerer fotplaten og forankringsbolter.



Figur 30 – Definisjonsskisse for søylefot med moment og aksialkraft.

Flenskrefter:

$$N_{f1} = \frac{N}{2} - \frac{M_b}{2 \cdot a_1} = \frac{45.000 \text{ N} \cdot 1,2}{2} - \frac{23.600 \text{ Nm} \cdot 1,2}{(0,200 \text{ m} - 0,015 \text{ m})} \approx \mathbf{126.100 \text{ N, strekk}} \quad (46)$$

$$N_{f2} = \frac{N}{2} + \frac{M_b}{2 \cdot a_1} = \frac{45.000 \text{ N} \cdot 1,2}{2} + \frac{23.600 \text{ Nm} \cdot 1,2}{(0,200 \text{ m} - 0,015 \text{ m})} \approx \mathbf{180.100 \text{ N, trykk}} \quad (46)$$

Kraft i forankringsbolter og trykkresultant:

$$F_1 = N_{f1} \cdot \frac{2 \cdot a_1}{a_1 + a_2} = 126.100 \text{ N} \cdot \frac{(0,200 \text{ m} - 0,015 \text{ m})}{(0,200 \text{ m} + 0,050 \text{ m} - 0,0075 \text{ m})} \approx \mathbf{96.200 \text{ N, strekk}}$$

$$F_2 = N_{f_2} + F_1 = 180.100 + 96.200 \text{ N} = \mathbf{276.300 \text{ N, trykk}} \quad (28)$$

Kapasitet av forankringsbolter (M24 – 8.8):

$$F_{t,Rd} = 2 \cdot \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,9 \cdot 800 \text{ N/mm}^2 \cdot 353 \text{ mm}^2}{1,25} = 407.000 \text{ N} > F_1 \rightarrow \mathbf{OK} \quad (24)$$

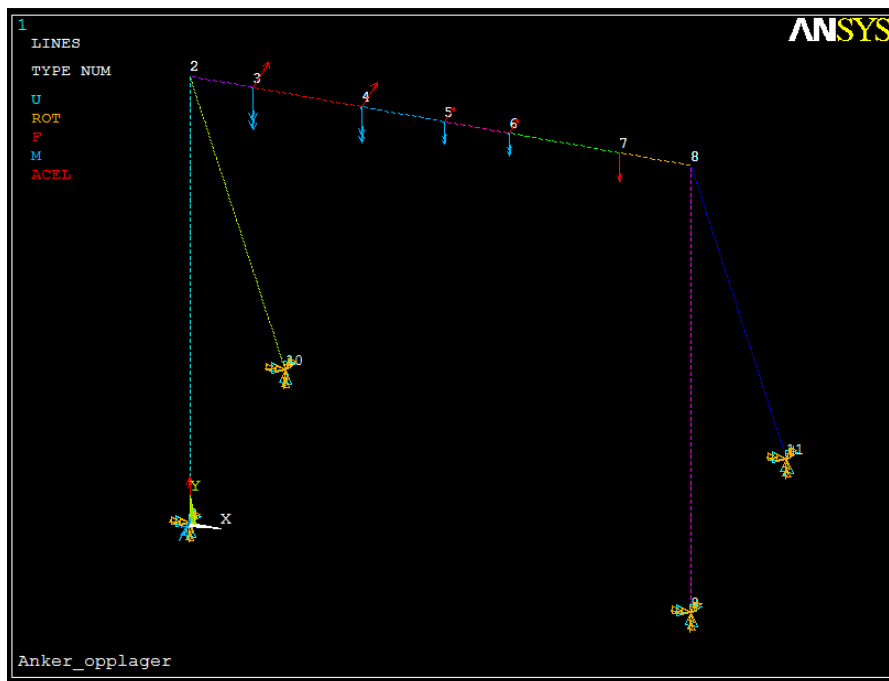
Kapasitet med hensyn på gjennomlokking av grunnmaterialet s. 356:

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 36 \cdot 25 \cdot 355}{1,25} = 1231.000 \text{ N} > F_1 \rightarrow \mathbf{OK} \quad (23)$$

### 6.4.3 Ankeropplager

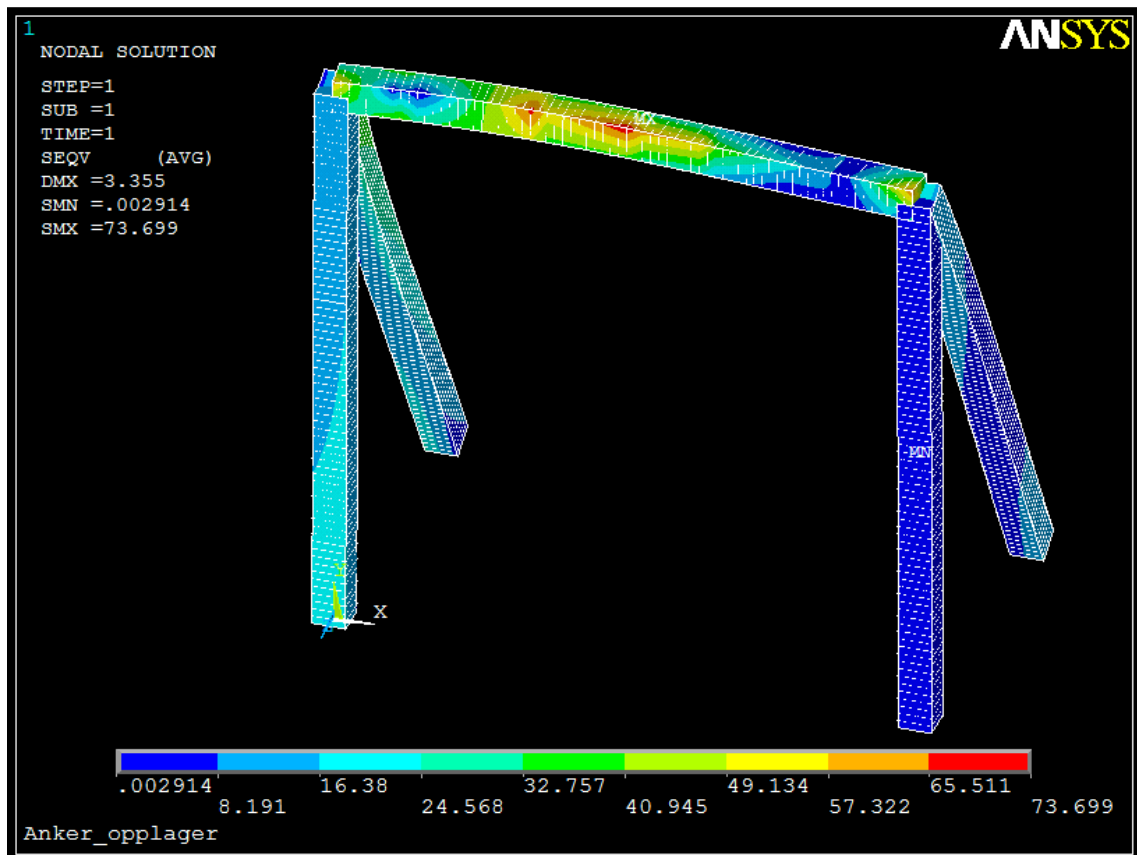
Det skal lages 2 stk ankeropplager som kan benyttes i hver ende av rørstrekket. Ankeropplagerne skal dimensjoneres og utformes slik at de tar opp alle kreftene og momentene fra rørene slik at disse ikke forplanter seg videre inn til eventuelt utstyr som pumper eller annet roterende utstyr. Bruker ANSYS for å dimensjonere opplageret, siden det er relativt kompleks belastningstilfelle. Her virker 12 momenter og krefter ved forskjellige steder på overliggeren.

Krefter og momenter som er lagt på modellen i ANSYS

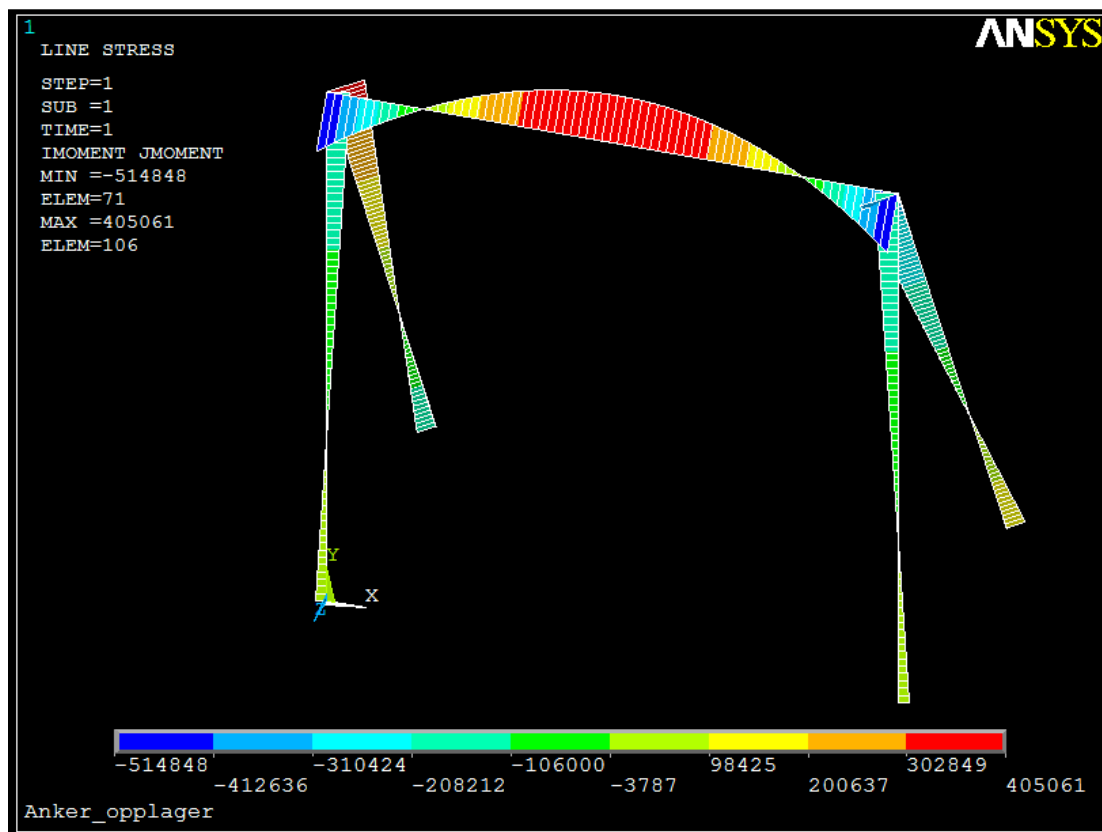


Figur 31 – Lasttilfelle anker opplager.

KEYPOINT	Last	KEYPOINT	Last	KEYPOINT	Last
3	FX -21,0 N	4	FZ -27763,0 N	5	MZ 457,0 Nm
3	FY -3988,0 N	4	MX -79,0 Nm	6	FX -4,0 N
3	FZ -29109,0 N	4	MY -9759,0 Nm	6	FY -2261,0 N
3	MX -169,0 Nm	4	MZ 750,0 Nm	6	FZ -15857,0 N
3	MY -11321,0 Nm	5	FX -4,0 N	6	MX -155,0 Nm
3	MZ 365,0 Nm	5	FY -2348,0 N	6	MY -6121,0 Nm
4	FX -7,0 N	5	FZ -16605,0 N	6	MZ 494,0 Nm
4	FY -3506,0 N	5	MX -155,0 Nm	7	FY -19500,0 N
		5	MY -6136,0 Nm		

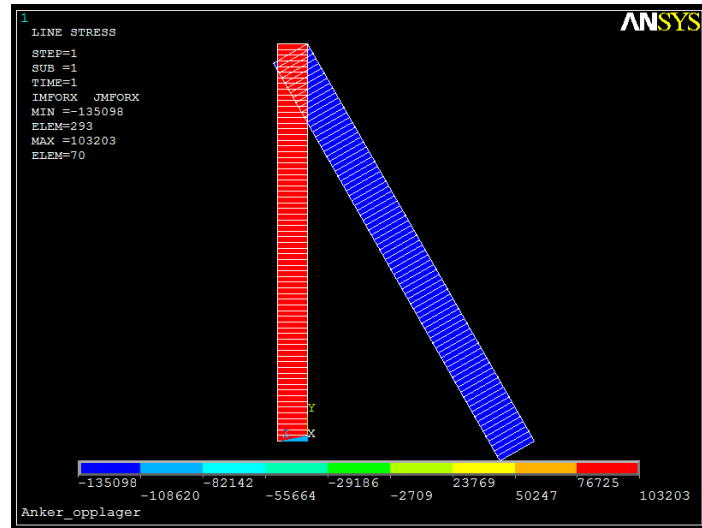


Figur 32 – Jevnførende spenning og nedbøyning.



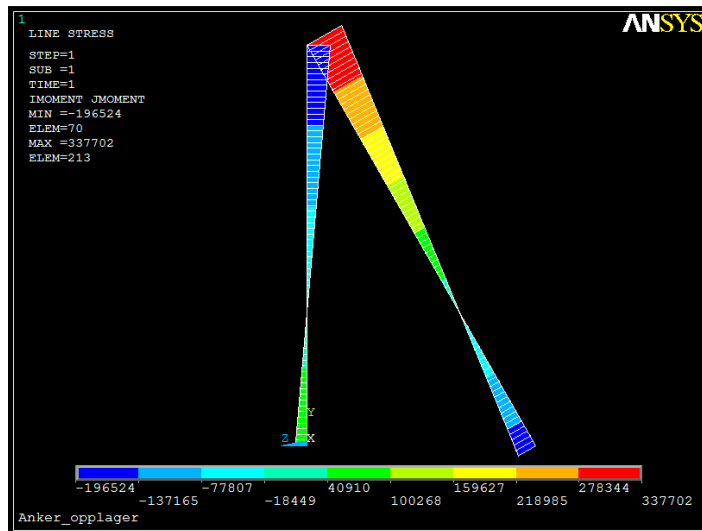
Figur 33 – Bøyemoment.

Tar ut bjelkene som ligger i mellom keypoint 1 & 2 og 2 & 10. Det er disse to bjelkene som blir mest belastet. Figur 34 viser kreftene som virker i bjelkens lengderetning.



Figur 34 – Normalkraften i venstre søyle og diagonal.

Her vises samme bjelker som i figur 35 med tilhørende bøyemoment.



Figur 35 – Bøyemomentet i venstre søyle og diagonal.

Ved gjennomgang av resultatene så kan det konkluderes med at selve søylerammen (som er tilsvarende standardopplageret) ligger godt innenfor det som skal til for å knekke søylene om svak akse. Kontrollerer diagonale avstivere mot knekking. Bøyemomentet og normalkraften er ikke voldsomt store, men gjør en konservativ betraktning av diagonal avstiver med den ene enden innspent og den andre leddet.

Knekk lengden blir dermed:

$$L_K = \kappa \cdot L = 0,7 \cdot \sqrt{(3500\text{mm})^2 + (2000\text{mm})^2} = \mathbf{2822 \text{ mm}} \quad (50)$$

Treghetsradius:

$$i = \sqrt{\frac{I_0}{A}} = \sqrt{\frac{20 \cdot 10^6 \text{mm}^4}{7,81 \cdot 10^3 \text{mm}^2}} \approx \mathbf{51 \text{ mm}} \quad (36)$$

Slankhetsforhold:

$$\lambda_s = \frac{L_K}{i} = \frac{2882\text{mm}}{51\text{mm}} \approx \mathbf{57} \quad (37)$$

Slankhet  $10 < \lambda < 105 \rightarrow$  Må bruke Tetmajers formel for å beregne den tillatte knekkraften

$$\sigma_K = 310 - 1,14 \cdot \frac{2822\text{mm}}{51\text{mm}} \approx \mathbf{247\text{ Mpa}} \quad (39)$$

Tillatt knekkraft en søyle med sikkerhetsfaktor,  $\eta = 3$ :

$$F_K = \frac{\sigma_K}{n} \cdot A = \frac{247\text{Mpa}}{3} \cdot 7,81 \cdot 10^3\text{mm}^2 = \mathbf{643.023\text{ N}} \quad (38)$$

Fra Stålhåndboken, s.118 - Hentes følgende formel:

$$\frac{F}{F_{k,till}} + \frac{1,5 \cdot M_b}{M_{b,maks}} \leq 1 \quad (40)$$

Sjekker sikkerheten mot knekking er tilfredsstillende:

$$\frac{135.098\text{N}}{643.023\text{N}} + \frac{1,5 \cdot 338\text{Nm}}{67.600\text{Nm}} = 0,21 + 0,01 = 0,22 \leq \mathbf{1} \rightarrow \mathbf{OK} \quad (40)$$

Ankeropplageret grovt overdimensjonert med hensyn til brudd og knekking, men gir liten deformasjon som er meget ønskelig ved endene på rørstrekket.

#### 6.4.4 Søylefot – ankeropplager

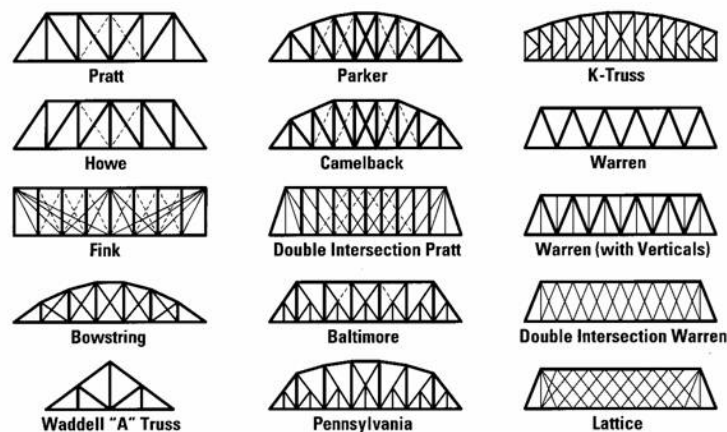
Bruker samme søylefot som standardopplager.



## 6.5 Fagverksbro

### 6.5.1 Forundersøkelse

Det er gitt at over et strekke på ca 32m så er det ikke mulighet å bruke opplagere til bakken. Her må det lages en bro som oppfyller forutsetninger vedrørende stivhet og kapasitet som er satt. Broen skal bære lastene fra beregningene i CAEPIPE med opplageravstand på 8m og annet utstyr som servicerørene og kabelstignene. Starter med å se på IPE-bjelker som bærerne, men ser at selv den største lagerførte IPE-bjelken ikke klarer og tilfredsstille nedbøyningskravet. Må lage en fagverksbro for å kunne innfri kravene. Ser på kjente fagverk og gjør en undersøkelse over hva som vanligvis benyttes. Gjennom søk på nettet og gjennomgang av flere rørgatebruer så faller valget på fagverkstype – Warren. Det er denne typen som går igjen.



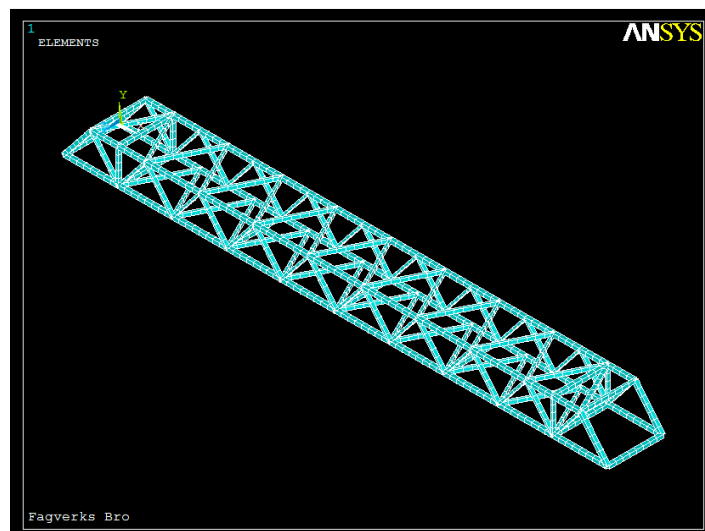
Figur 36 – Generelle fagverkstyper. [21]

### 6.5.2 Modellering og optimalisering

#### Fase 1 – Lager en modell med grove dimensjoner.

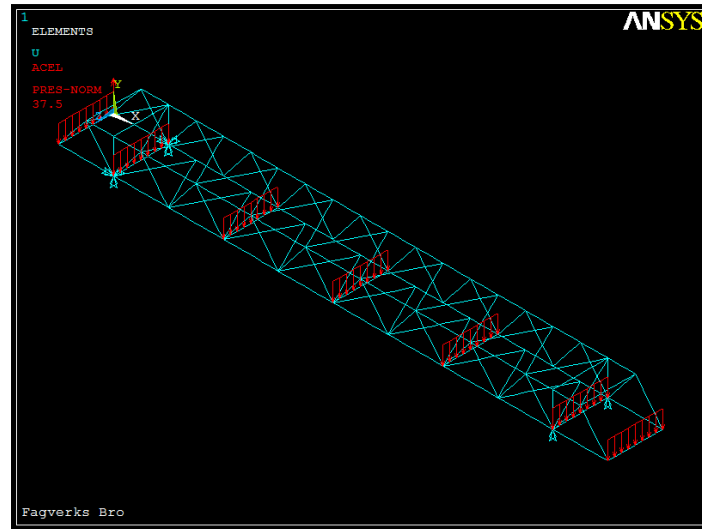
Tar utgangspunkt fra bestemt fagverks type, lager en modell som er tilpasset de målene som er satt og velger profiler som virker fornuftige. Starter med følgende hulprofiler; 250x250x10 og 250x150x10. Lager modellen i ANSYS classic:

Figur 37 viser modellen i ANSYS og hvordan de forskjellige profilene er orientert globalt. Slik det fremkommer av bildet, så er hulprofil 250x250x10 brukt som ramme rundt, mens tverr- og diagonalbjelker av hulprofil 250x150x10.



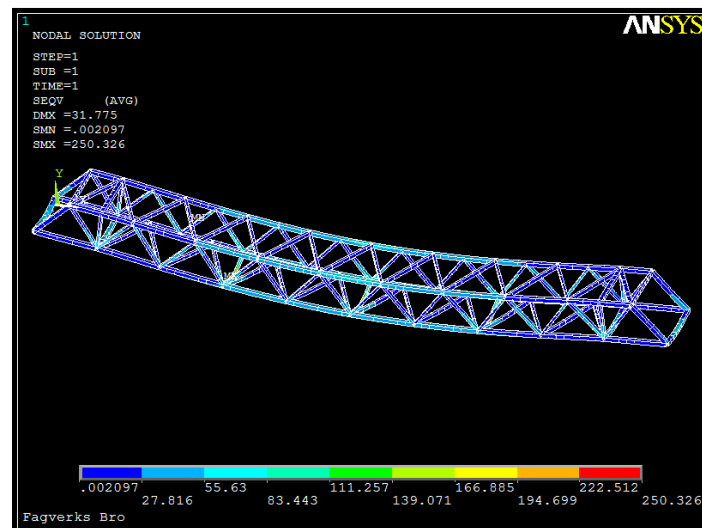
Figur 37 – Viser modellen i ANSYS.

Figur 38 viser hvordan lastene er fordelt på fagverket. Den jevnt fordelte lasten,  $q$ , er samme last som ble benyttet på std. opplager,  $q=37,5\text{N/mm}$ . Vet at lastene burde vært jevnere fordelt på undergurtene, men holder meg til opplageravstand på 8m som dimensjonert i CAEPIPE. (konservativt iht. virkelighet) Broen er innspent i venstre opplager mot forskyvning i alle akser, mens i høyre er det kun mot forskyvning i vertikal akse.



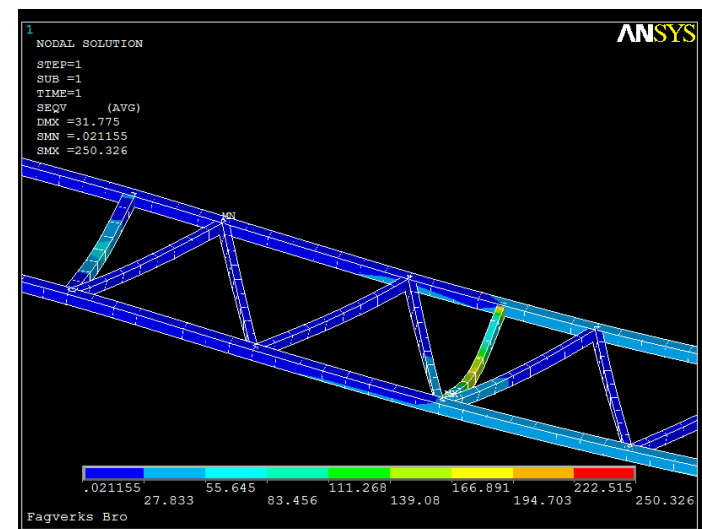
Figur 38 – Viser laster og opplagere.

Figur 39 viser første resultat av modellen, ser at fagverket har en nedbøyning på 32 mm og en jevnførende spenning på 250 MPa. Ser at de største spennings- og nedbøyningene opptrer i de bjelkene som blir påført lastene. Velger å øke disse bjelkene til samme størrelse som ytterrammen (250x250x10). Samtidig kan høyden på fagverket senkes grunnet lav nedbøyning.



Figur 39 – Viser jevnførende spenning og nedbøyning.

Figur 40 viser et bedre bilde av last på kjent tverrbjelke og hvor den maksimale spenningen er. Det er også denne bjelken som gir mye av nedbøyningen.

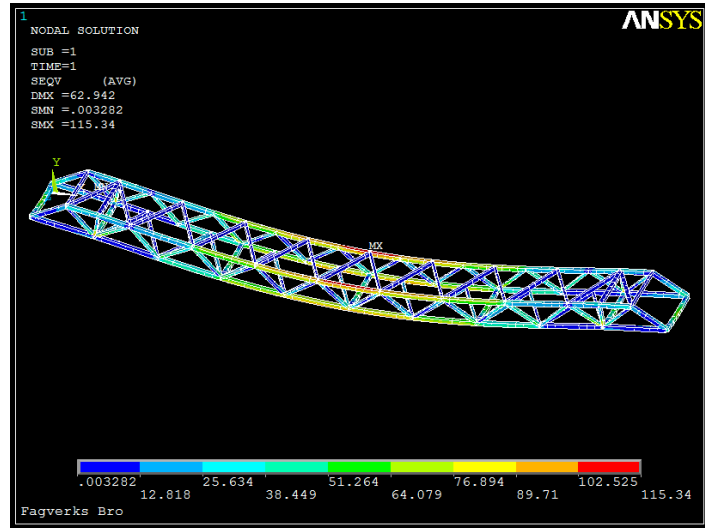


Figur 40 – Viser maks og min. spenninger på undergurtene.

## Fase 2 – Revidert modell 1

Endrer modellen etter resultatene fra fase 1. Bjelker med påført last får endret profil fra 250x150x10 til 250x250x10. Avstanden mellom under- og overgurt reduseres fra 2500mm til 1500mm. Legger på samme laster og opplagere og kjører ny analyse.

Figur 41 viser at nedbøyningen har økt og at den jevnførende spenningen er mindre, men fortsatt langt innenfor kravet. Ser muligheten for å velge mindre profiler for å slanke broens vekt og kostnad, samt øke utnyttelsen av materialet.

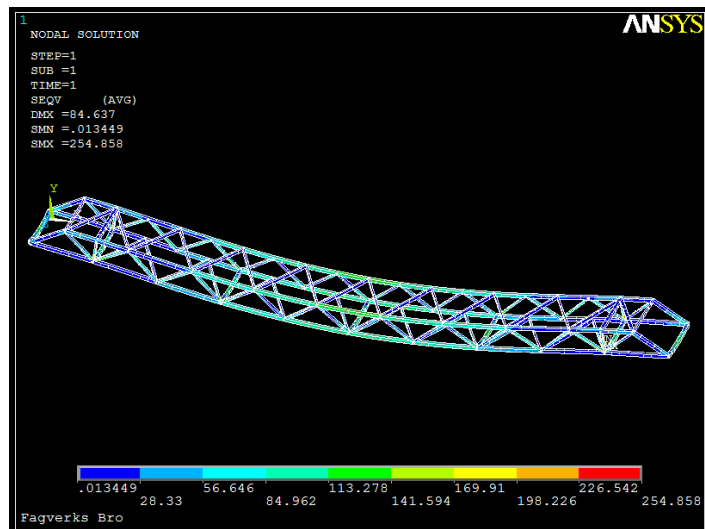


Figur 41 – Viser jevnførende spenning og nedbøyning.

## Fase 3 – Revidert modell 2

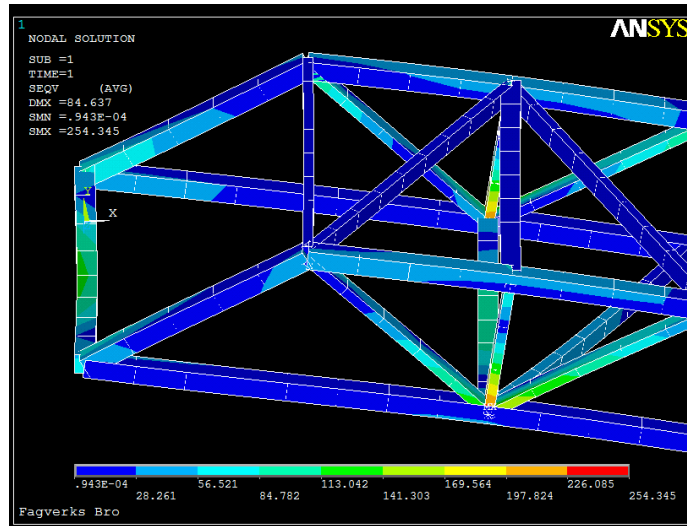
Endrer modellen gjennom flere selektive valg av tverrsnitts profiler for å bedre utnyttelsesgraden av materialet. Det tas også hensyn til at godstykkelsen ikke blir for liten, noe som vil gi konsekvenser for sveisens a-mål. Etter flere analyser velges følgende hulprofiler; 200x200x8mm og 200x100x5mm.

Figur 42 viser at nedbøyningen og jevnførende spenning har økt. Har fortsatt mer å gå på når det gjelder nedbøyning, men spenningene tilsier at det må foretas strukturendringer som følge av høye spenninger. Ser at dette kun er lokalt i de horisontale søylene ved hvert opplager. Velger å se nærmere på disse.



Figur 42 – Viser jevnførende spenning og nedbøyning.

Figur 43, ser nærmere på de horisontale søylene. Vil endre disse fra 200x100x5mm til 200x200x8mm.

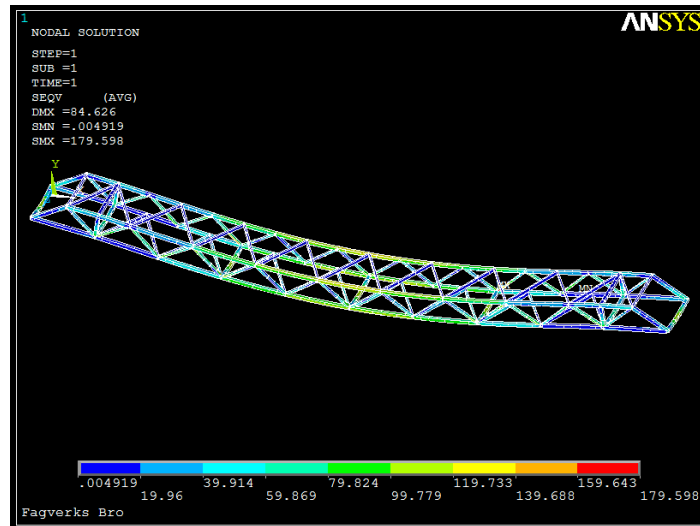


Figur 43 - Horizontal søyle.

### Fase 4 – Revidert modell 3

Endrer modellen en siste gang med større horisontale søyler ved hvert opplager og sjekker hvordan det nye spenningsbildet og nedbøyningen blir.

Figur 44, Siste reviderte modell har en nedbøyning på 85mm og maks jevnførende spenning på 180MPa, noe som ligger godt innenfor gitte krav. Det er ikke ønskelig å utnytte materialet grunnet alle knutepunktene som skal sveises. Det er ønskelig å ha noe å gå på.



Figur 44 – Viser jevnførende spenning og nedbøyning

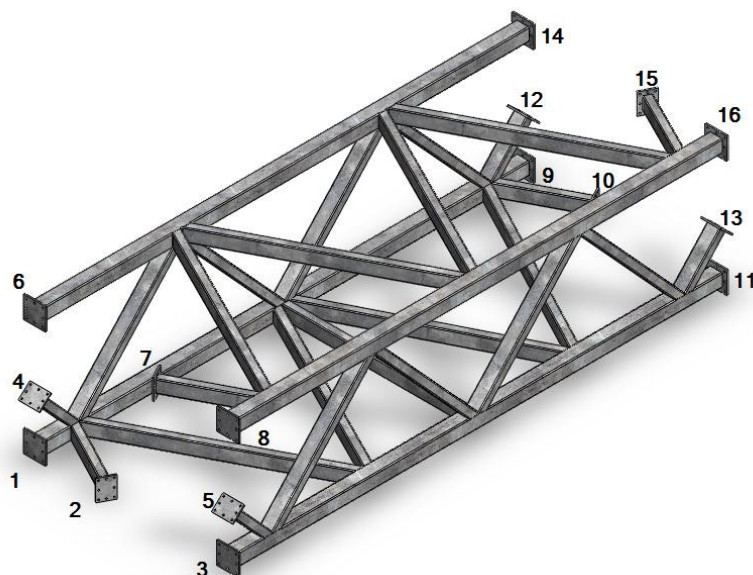
Tabell 31 – Resultatet av optimalisering.

	Original modell	Optimalisert modell
Nedbøyning [mm]	32	85
Jevnførende spenning [MPa]	250	180
1. Profil [mm]	250x250x10	200x200x8
2. Profil [mm]	250x150x10	200x100x5
Vekt [kg]*	29.200	15.100
Total lxbxh [mm]	4000x4000x2500	4000x3500x1500

\*Beregnet etter opplagerkrefter.

## 6.5.3 Skrudd bjelkeforbindelse med endeplater

Grunnet muligheten for å kunne frakte fagverksbroen fra produksjonsstedet, er det nødvendig å dele broen opp i passende lengder. Det er viktig å dele fagverket på passende områder hvor bøyemomentet ikke er for stort, derfor blir broen delt på 15,6 m og 24,6 m. Her sveises det på endeplater for å kunne bolte broen sammen igjen. Henter verdier fra analysene i ANSYS for å kunne dimensjonere forbindelsen med sveiste endeplater.

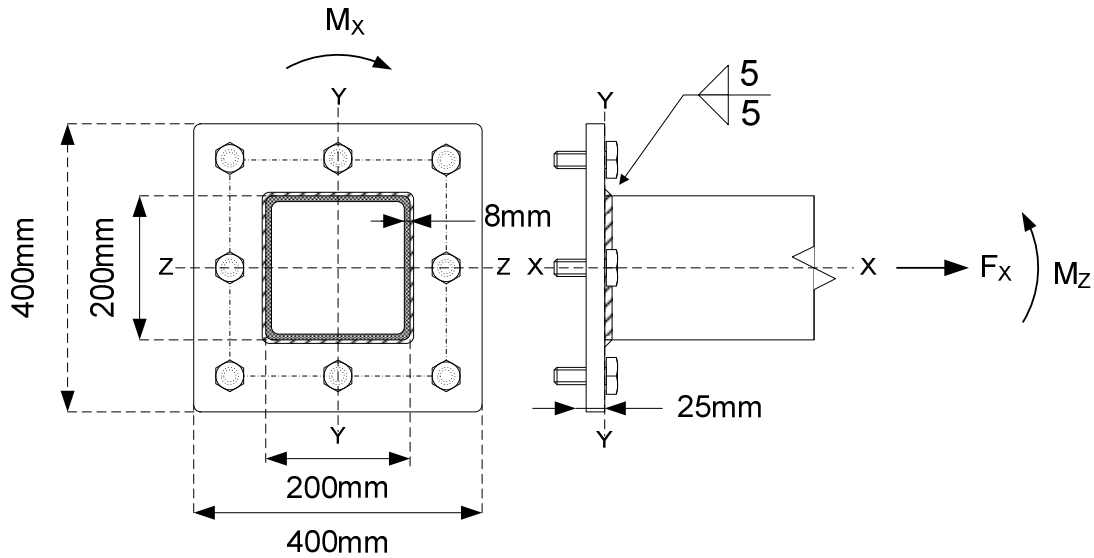


Figur 45 – Viser plateskjøtene i fagverkskonstruksjonen.

Tabell 32 – Dimensjonerende verdier hentet fra ANSYS Classic.

Resultater fra ANSYS (lokalt)							
Plateskjøt nr	Element nr i ANSYS	Krefter [N]			Momenter [Nm]		
		F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>
1	31	536780	799	-1913	-2750	299	4692
2	244	2330	389	591	-665	-346	1400
3	138	534630	739	46	3550	-103	4485
4	735	73059	467	2105	1119	1021	1505
5	831	73059	461	2047	1185	1044	1505
6	387	-595210	-1362	-2234	126	-236	4773
7	589	-2947	145	-602	259	338	431
8	486	-593600	-640	-40	-57	409	5139
9	50	536970	-1034	-1916	2750	660	4233
10	293	2135	-493	589	666	624	1192
11	119	534520	-504	-49	-3552	-81	-4796
12	758	72837	-555	-2108	-1118	2076	1250
13	854	73560	-550	2044	1184	-2064	1252
14	406	-595210	1129	2236	-125	-1353	5397
15	630	-3143	-250	603	259	-623	337
16	467	-593600	875	42	52	387	-4759
<b>Minste verdi</b>							
6	387	-595210	-1362	-2234	126	-236	4773
<b>Største verdi</b>							
9	50	536970	-1034	-1916	2750	660	4233

Kontrollerer plateskjøt for 200x200x8 profil:



Figur 46 – Plateskjøt for 200x200x8hulprofil.

Kontrollerer sveis mellom bjelke og stivt underlag etter retningsmetoden. Ser på det elementet som har størst belastning. Fra tabell 32 hentes verdiene til plateskjøt nr 9. Lastfaktoren er allerede lagt inn i analysen.

$$\begin{aligned} F_x &= 536.970 \text{ N} & M_x &= 2750 \text{ Nm} \\ F_y &= -1034 \text{ N} & M_y &= 660 \text{ Nm} \\ F_z &= -1916 \text{ N} & M_z &= 4233 \text{ Nm} \end{aligned}$$

$F_y$  og  $F_z$  neglisjeres da disse verdiene er så små i forhold til  $F_x$ . Ser også bort ifra bidraget fra  $M_y$ , da denne er vesentlig mindre en de to andre momentene.

Forutsetter at sveisen fagmessig blir godt utført. Sveisens a-mål bør normalt ikke være mindre enn 3mm og større enn minste veggtykkelse multiplisert med 0,7 som i dette tilfellet gir. [18]

$$a_{200 \times 200 \times 8} = t \cdot 0,7 = 8 \text{ mm} \cdot 0,7 = 5,6 \text{ mm} \rightarrow \text{Velger } a_{200 \times 200 \times 8} = 5 \text{ mm}$$

Sveisens tverrsnittsareal:

$$A_w = 210 \text{ mm} \cdot 210 \text{ mm} - 200 \text{ mm} \cdot 200 \text{ mm} = 4100 \text{ mm}^2$$

Sveisens motstandsmoment:

$$W_z = W_y = \frac{210 \text{ mm} \cdot (210 \text{ mm})^3 - 200 \text{ mm} \cdot (200 \text{ mm})^3}{6 \cdot 210 \text{ mm}} = 273,7 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \quad (43)$$

Strekkspenning i sveisen:

$$\sigma_s = \frac{F_x}{A_w} = \frac{536.970 \text{ N}}{4100 \text{ mm}^2} = 131,0 \text{ Mpa} \quad (52)$$

$$\sigma_{t\perp} = \tau_{t\perp} = \frac{\sigma_t}{\sqrt{2}} = \frac{131 \text{ Mpa}}{\sqrt{2}} = \mathbf{93,0 \text{ Mpa}}$$

Bøyesspenning i sveisen (om z-akse):

$$\sigma_b = \frac{M_z}{W_z} = \frac{4233 \cdot 10^3 \text{ Nmm}}{273,7 \cdot 10^3 \text{ mm}^3} = \mathbf{15,5 \text{ Mpa}} \quad (44)$$

$$\sigma_{b\perp} = \tau_{b\perp} = \frac{\sigma_b}{\sqrt{2}} = \frac{15,5 \text{ Mpa}}{\sqrt{2}} = \mathbf{11,0 \text{ Mpa}}$$

Skjærspenning i sveisen:

Momentet  $M_x$  utsetter sveisen for vridning som gir skjærspenninger i sveisen. Fra boken Konstruksjonselementer s. 44 så henvises det til å benytte Bredts formel for kasseprofiler. [18]

Betingelse for at formelen skal gjelde:

$$0,5 \leq \frac{h}{b} \leq 2 \rightarrow 0,5 \leq \frac{200}{200} \leq 2 \rightarrow \mathbf{OK}$$

Bredts formel:

$$\tau_{\parallel} = \tau_v = \frac{M_x}{2 \cdot b \cdot h \cdot a_{200 \times 200 \times 8}} = \frac{2750 \cdot 10^3 \text{ Nmm}}{2 \cdot (200 \text{ mm})^2 \cdot 5 \text{ mm}} = \mathbf{6,9 \text{ Mpa}} \quad (47)$$

Jevnførende spenning i sveisen:

Den største spenning konsentrasjonen vil oppstå i det ene hjørnet av sveisen hvor alle bidragene virker. Kontrollerer om den jevnførende spenningen er innenfor kapasitetskravet til sveisen.

Jevnførende spenning i sveisen:

$$\sigma_{\perp} = 93 \text{ Mpa} + 11 \text{ Mpa} = \mathbf{104 \text{ Mpa}}$$

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25} = 259 \text{ Mpa} \rightarrow \mathbf{OK} \quad (31)$$

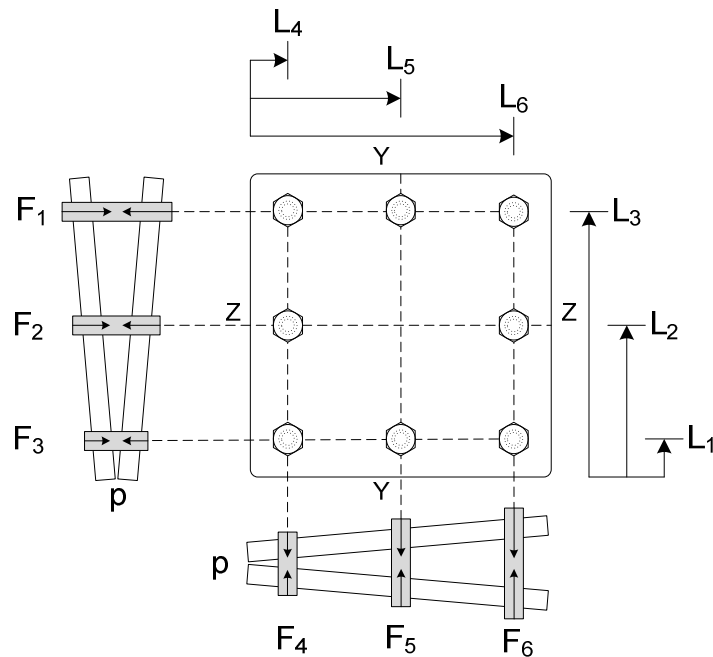
$$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\sigma_{\perp}^2 + \sigma_{\parallel}^2)} = \sqrt{(93 + 11)^2 + 3 \cdot ((93 + 11)^2 + 6,9^2)} = \mathbf{208 \text{ Mpa}} \quad (26)$$

$$\sigma_{jf} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} = \frac{360}{1,25 \cdot 0,8} = 360 \text{ Mpa} \rightarrow \mathbf{OK} \quad (41)$$

Sveisen har tilstrekkelig kapasitet til å ta opp snittkreftene.

#### Fastlegger nyttelast i bolter:

Ser på flensen som "uendelig stiv". Skruene i flensforbindelsen skal forspennes slik at skruens spennkraft (normalkraft) danner en friksjonskraft mellom platedelene som forbindes. På denne måten vil friksjonskraften mellom platene ta opp bøyemomentet om x-aksen og andre krefter som utsetter skruene for skjær. Må derfor kontrollere at skruene har nok kapasitet til nyttelast og forspenningen som behøves for å danne tilstrekkelig friksjonskraft.



Figur 47 – "Uendelig stiv" flens.

Ser først på bøyemomentet om z-aksen, og hvilke bidrag dette momentet gir.

$$\frac{F_1}{L_1} = \frac{F_2}{L_2} = \frac{F_3}{L_3} \Rightarrow F_1 = \frac{L_1}{L_3} \cdot F_3, \quad F_2 = \frac{L_2}{L_3} \cdot F_3$$

$$\sum M_p = 0 \quad (46)$$

$$M_z = 3 \cdot F_1 \cdot L_1 + 2 \cdot F_2 \cdot L_2 + 3 \cdot F_3 \cdot L_3 = 0 \Rightarrow F_3 = \frac{M_z \cdot L_3}{3 \cdot \left( L_1^2 + \frac{2}{3} \cdot L_2^2 + L_3^2 \right)}$$

$$F_3 = \frac{4233 \cdot 10^3 \text{ Nmm} \cdot 350 \text{ mm}}{3 \cdot \left( (50 \text{ mm})^2 + \frac{2}{3} \cdot (200 \text{ mm})^2 + (350 \text{ mm})^2 \right)} \approx 3.256 \text{ N} \quad (46)$$

Bidraget fra bøyemomentet om y-aksen.

$$\frac{F_4}{L_4} = \frac{F_5}{L_5} = \frac{F_6}{L_6} \Rightarrow F_4 = \frac{L_4}{L_6} \cdot F_6, \quad F_5 = \frac{L_5}{L_6} \cdot F_6$$

$$\sum M_p = 0 \quad (46)$$

$$M_y = 3 \cdot F_4 \cdot L_4 + 2 \cdot F_5 \cdot L_5 + 3 \cdot F_6 \cdot L_6 = 0 \Rightarrow F_6 = \frac{M_y \cdot L_6}{3 \cdot \left( L_4^2 + \frac{2}{3} L_5^2 + L_6^2 \right)}$$

$$F_6 = \frac{660 \cdot 10^3 \text{ Nmm} \cdot 350 \text{ mm}}{3 \cdot \left( (50 \text{ mm})^2 + \frac{2}{3} (200 \text{ mm})^2 + (350 \text{ mm})^2 \right)} \approx 508 \text{ N} \quad (46)$$



Bidraget fra strekkraften  $F_x$ .

$$F_{skrue} = \frac{F_x}{n} = \frac{536.970N}{8} \approx \mathbf{67.121 N}$$

Kapasitet i strekk pr. skrue:

$$F_{last} = F_{skrue} + F_3 + F_6 = 67.121N + 3.252N + 508N = \mathbf{70.881 N} \quad (28)$$

Kapasitet av forankringsbolt (M20 – 8.8):

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 800 N/mm^2 \cdot 245mm^2}{1,25} = 141.120 N > F_{last} \rightarrow \mathbf{OK} \quad (22)$$

Antar at boltene i hjørnene tar opp skjærspenning som følge av momentet  $M_x$ .

$$F_{avskjær} = \frac{M_x}{n \cdot r} = \frac{2750 \cdot 10^3 Nmm}{4 \cdot \sqrt{((150mm)^2 + (150mm)^2)}} \approx \mathbf{3.241 N} \quad (46)$$

Ser bort i fra bidraget fra  $F_y$  og  $F_z$ , da dette blir veldig lite når de deles på antall skruer.

Ønsker å finne friksjonskapasiteten pr skrueforbindelse og kontrollere om denne er større en  $F_{avskjær}$ .

$$F_{p,c} = 0,7 \cdot f_{ub} \cdot A_s = 0,7 \cdot 800 N/mm^2 \cdot 245mm^2 = \mathbf{137.200 N} \quad (25)$$

Beregner friksjonskapasiteten pr. skrue

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3}} \cdot (F_{p,c} - 0,8 \cdot F_{last}) \quad (24)$$

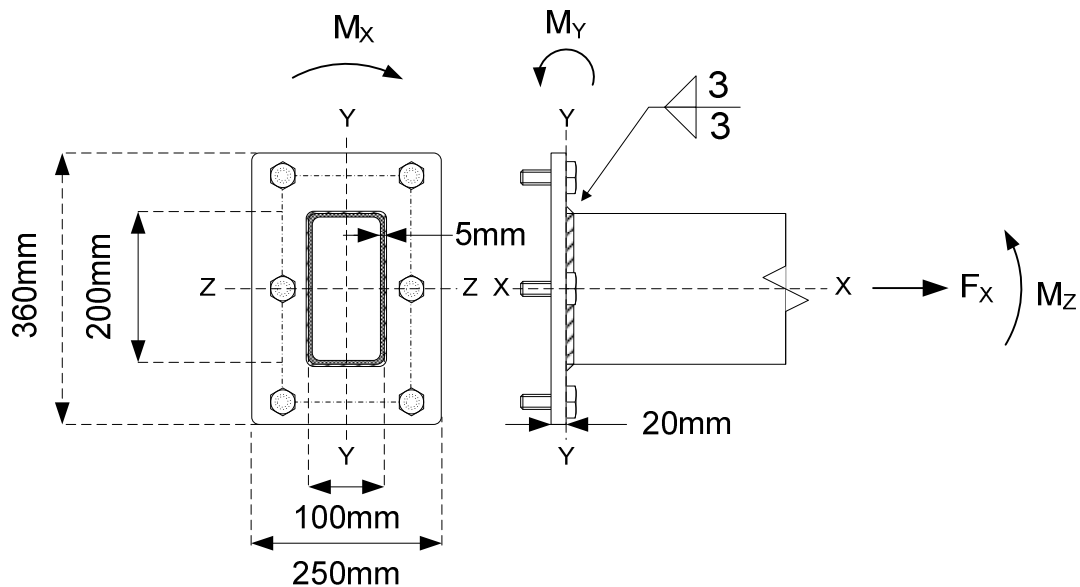
$$F_{s,Rd} = \frac{0,85 \cdot 1 \cdot 0,4}{1,25} \cdot (137.200N - 70.881N) \approx \mathbf{18.040 N} > 3.241 N \rightarrow \mathbf{OK} \quad (24)$$

Kapasitet med hensyn på gjennomlokking av grunnmaterialet:

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 30 \cdot 25 \cdot 235}{1,25} = 265.778 N > F_{p,c} \rightarrow \mathbf{OK} \quad (23)$$

Ser at skruene har god margin i henhold til kapasiteten.

Kontrollerer plateskjøt for 200x100x5 profil:



Figur 48 – Plateskjøt for 200x100x5 hulprofil.

Kontrollerer sveis mellom bjelke og stivt underlag etter retningsmetoden. Ser på det elementet som har størst belastning. Fra tabell 32 hentes verdiene til plateskjøt nr 13. Lastfaktoren er allerede lagt inn i analysen.

$$\begin{aligned} F_x &= 73.560 \text{ N} & M_x &= 1184 \text{ Nm} \\ F_y &= -550 \text{ N} & M_y &= -2064 \text{ Nm} \\ F_z &= -2044 \text{ N} & M_z &= 1252 \text{ Nm} \end{aligned}$$

$F_y$  og  $F_z$  neglisjeres da disse verdiene er så små i forhold til  $F_x$ . Her tar det hensyn til alle momentene siden de er relativt like store. Forutsetter at sveisen fagmessig blir godt utført. Sveisens a-mål bør normalt ikke være mindre enn 3mm og større enn minste veggtykkelse multiplisert med 0,7 som i dette tilfellet gir:

$$a_{200 \times 100 \times 5} = t \cdot 0,7 = 5 \text{ mm} \cdot 0,7 = 3,5 \text{ mm} \rightarrow \text{Velger } a_{200 \times 100 \times 5} = \mathbf{3 \text{ mm}}$$

Sveisens tverrsnittsareal:

$$A_w = 206 \text{ mm} \cdot 106 \text{ mm} - 200 \text{ mm} \cdot 100 \text{ mm} = \mathbf{1836 \text{ mm}^2} \quad (42)$$

Sveisens annet arealmoment:

$$W_z = \frac{106 \text{ mm} \cdot (206 \text{ mm})^3 - 100 \text{ mm} \cdot (200 \text{ mm})^3}{6 \cdot 206 \text{ mm}} = \mathbf{102,5 \cdot 10^3 \text{ mm}^3} \quad (43)$$

$$W_y = \frac{206 \text{ mm} \cdot (106 \text{ mm})^3 - 200 \text{ mm} \cdot (100 \text{ mm})^3}{6 \cdot 106 \text{ mm}} = \mathbf{71,3 \cdot 10^3 \text{ mm}^3} \quad (43)$$

Strekkspenning i sveisen:

$$\sigma_s = \frac{F_x}{A_w} = \frac{73.560 \text{ N}}{1836 \text{ mm}^2} = \mathbf{40,0 \text{ Mpa}} \quad (52)$$

$$\sigma_{t\perp} = \tau_{t\perp} = \frac{\sigma_t}{\sqrt{2}} = \frac{40,0 \text{ Mpa}}{\sqrt{2}} = \mathbf{28,3 \text{ Mpa}}$$

Bøyenspenning i sveisen (om z-akse):

$$\sigma_b = \frac{M_z}{W_z} = \frac{1252 \cdot 10^3 \text{ Nmm}}{102,5 \cdot 10^3 \text{ mm}^3} = \mathbf{12,2 \text{ Mpa}} \quad (44)$$

$$\sigma_{b\perp} = \tau_{b\perp} = \frac{\sigma_b}{\sqrt{2}} = \frac{12,2 \text{ Mpa}}{\sqrt{2}} = \mathbf{8,6 \text{ Mpa}} \quad (44)$$

Bøyenspenning i sveisen (om y-akse):

$$\sigma_b = \frac{M_y}{W_y} = \frac{2064 \cdot 10^3 \text{ Nmm}}{71,3 \cdot 10^3 \text{ mm}^3} = \mathbf{29,0 \text{ Mpa}} \quad (44)$$

$$\sigma_{b\perp} = \tau_{b\perp} = \frac{\sigma_b}{\sqrt{2}} = \frac{29,0 \text{ Mpa}}{\sqrt{2}} = \mathbf{20,5 \text{ Mpa}} \quad (44)$$

Skjærspenning i sveisen, Bredts formel for kasseprofiler:

Betingelse for at formelen skal gjelde:

$$0,5 \leq \frac{h}{b} \leq 2 \rightarrow 0,5 \leq \frac{200}{100} \leq 2 \rightarrow \mathbf{OK}$$

Bredts formel:

$$\tau_{\parallel} = \tau_v = \frac{M_x}{2 \cdot b \cdot h \cdot a_{200 \times 200 \times 8}} = \frac{1184 \cdot 10^3 \text{ Nmm}}{2 \cdot 200 \text{ mm} \cdot 100 \text{ mm} \cdot 3 \text{ mm}} = \mathbf{9,9 \text{ Mpa}} \quad (47)$$

Jevnførende spenning i sveisen:

Den største spenningskonsentrasjonen vil oppstå i det ene hjørnet av sveisen hvor alle bidragene virker. Kontrollerer om den jevnførende spenningen er innen for kapasitetskravet til sveisen.

$$\sigma_{\perp} = 28,3 \text{ Mpa} + 8,6 \text{ Mpa} + 20,5 \text{ Mpa} = \mathbf{57,4 \text{ Mpa}}$$

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25} = 259 \text{ Mpa} \rightarrow \mathbf{OK} \quad (31)$$

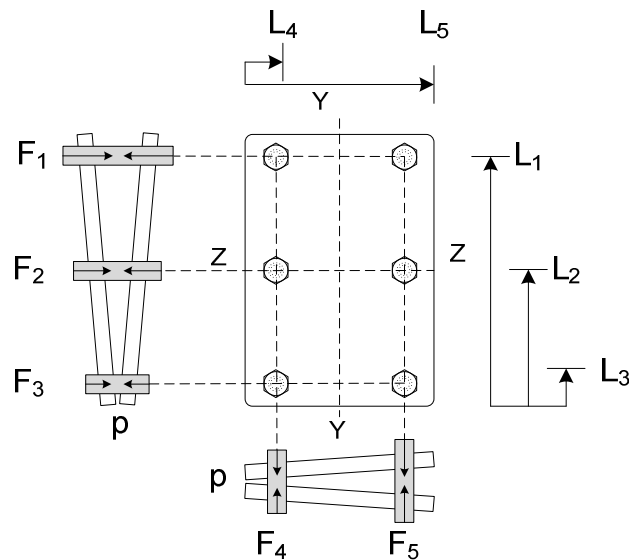
$$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\sigma_{\perp}^2 + \sigma_{\parallel}^2)} \quad (26)$$

$$= \sqrt{(57,4 \text{ Mpa})^2 + 3 \cdot ((57,4 \text{ Mpa})^2 + 9,9 \text{ Mpa}^2)} = \mathbf{116 \text{ Mpa}} \quad (26)$$

$$\sigma_{jf} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} = \frac{360}{1,25 \cdot 0,8} = 360 \text{ Mpa} \rightarrow \mathbf{OK} \quad (41)$$

**Sveisen har tilstrekkelig kapasitet til å ta opp snittkreftene.**

Fastlegger nyttelast i bolter:



Figur 49 – "Uendelig stiv" flens.

Ser først på bøyemomentet om z-aksen, og hvilke bidrag dette momentet gir.

$$\frac{F_1}{L_1} = \frac{F_2}{L_2} = \frac{F_3}{L_3} \Rightarrow F_1 = \frac{L_1}{L_3} \cdot F_3, \quad F_2 = \frac{L_2}{L_3} \cdot F_3$$

$$\sum M_p = 0 \quad (46)$$

$$M_z = 2 \cdot F_1 \cdot L_1 + 2 \cdot F_2 \cdot L_2 + 2 \cdot F_3 \cdot L_3 = 0 \Rightarrow F_3 = \frac{M_z \cdot L_3}{2 \cdot (L_1^2 + L_2^2 + L_3^2)}$$

$$F_3 = \frac{1252 \cdot 10^3 \text{ Nmm} \cdot 330 \text{ mm}}{2 \cdot ((30 \text{ mm})^2 + (180 \text{ mm})^2 + (330 \text{ mm})^2)} \approx 1.453 \text{ N} \quad (46)$$

Bidraget fra bøyemomentet om y-aksen.

$$\frac{F_4}{L_4} = \frac{F_5}{L_5} \Rightarrow F_4 = \frac{L_4}{L_5} \cdot F_5$$

$$\sum M_p = 0 \quad (46)$$

$$M_y = 3 \cdot F_4 \cdot L_4 + 3 \cdot F_5 \cdot L_5 = 0 \Rightarrow F_5 = \frac{M_y \cdot L_5}{3 \cdot (L_4^2 + L_5^2)}$$

$$F_5 = \frac{2064 \cdot 10^3 \text{ Nmm} \cdot 230 \text{ mm}}{3 \cdot ((20 \text{ mm})^2 + (230 \text{ mm})^2)} \approx 2.969 \text{ N} \quad (46)$$

Bidraget fra strekkraften  $F_x$ .

$$F_{skruer} = \frac{F_x}{n} = \frac{73.560N}{6} = \mathbf{12.260 N}$$

Kapasitet i strekk pr bolt:

$$F_{last} = F_{skruer} + F_3 + F_5 = 12.260N + 1.453N + 2.969N = \mathbf{16.682 N} \quad (28)$$

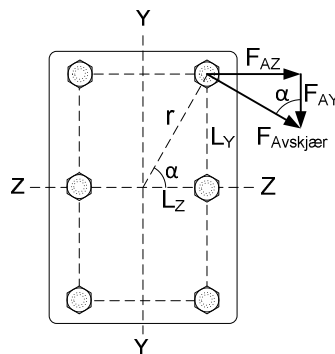
Kapasitet av forankringsbolt (M16 – 8.8):

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 800 N/mm^2 \cdot 157mm^2}{1,25} = \mathbf{90.432 N} > F_{last} \rightarrow \mathbf{OK} \quad (22)$$

Antar at boltene i hjørnene tar opp skjærspenning som følge av momentet  $M_x$ .

$$F_{avskjær} = \frac{M_x}{n \cdot r} = \frac{1184 \cdot 10^3 Nmm}{4 \cdot \sqrt{((150mm)^2 + (85mm)^2)}} = \mathbf{1.717 N} \quad (46)$$

Tar med bidraget fra  $F_y$  og  $F_z$ :



Figur 50 – Geometrisk modell.

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{L_y}{L_x}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{150mm}{85mm}\right) \approx \mathbf{60,5^\circ}$$

$$F_{AY} = F_{avskjær} \cdot \cos \alpha = 1.717N \cdot \cos 60,5^\circ \approx \mathbf{845 N} \quad (46)$$

$$F_{AZ} = F_{avskjær} \cdot \sin \alpha = 1.717N \cdot \sin 60,5^\circ \approx \mathbf{1495 N} \quad (46)$$

$$F_R = \sqrt{\left(\left(\frac{F_Y}{n} + F_{AY}\right)^2 + \left(\frac{F_Z}{n} + F_{AZ}\right)^2\right)} \quad (48)$$

$$F_R = \sqrt{\left(\left(\frac{550N}{6} + 845N\right)^2 + \left(\frac{2.044N}{6} + 1.495N\right)^2\right)} \approx \mathbf{2.061 N} \quad (48)$$

Ønsker å finne friksjonskapasiteten pr skrueforbindelse og kontrollere om denne er større en  $F_{avskjær}$ :

$$F_{p,C} = 0,7 \cdot f_{ub} \cdot A_s = 0,7 \cdot 800 \text{ N/mm}^2 \cdot 157 \text{ mm}^2 = \mathbf{87.920 \text{ N}} \quad (25)$$

Beregner friksjons kapasiteten pr. skrue:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3}} \cdot (F_{p,C} - 0,8 \cdot F_{last}) \quad (24)$$

$$F_{s,Rd} = \frac{0,85 \cdot 1 \cdot 0,4}{1,25} \cdot (87.920 - 16.682 \text{ N}) = \mathbf{19.377 \text{ N}} > 2.061 \text{ N} \rightarrow \mathbf{OK} \quad (24)$$

Kapasitet med hensyn på gjennomlokking av grunnmaterialet:

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 30 \cdot 20 \cdot 235}{1,25} = \mathbf{212.622 \text{ N}} > F_{p,C} \rightarrow \mathbf{OK} \quad (23)$$

Ser at skruene har god margin i henhold til kapasiteten. Mulig at mindre skruer kan benyttes, men velger å bruke valgte størrelse da ekstra kostnadene er minimale. Det er heller ønskelig å ha gode marginer i slike forbindelser med hensyn til uforutsette belastninger.

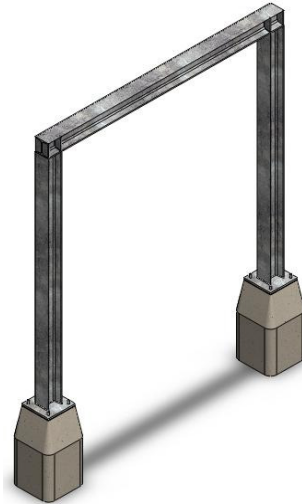
## 7. ELEMENT- OG LØSNINGSVALG

### 7.1 Fabrikkerte elementer

Det meste som er dimensjonert til rørgaten blir kjøpt i lagerførte lengder og tilpasset på byggeplassen. Fagverksbroen, standardopplager og ankeropplager derimot må prefabrikeres og deretter galvaniseres før de kan leveres på byggeplassen. I dette kapittelet vises de forskjellige elementene.

#### Standardopplager:

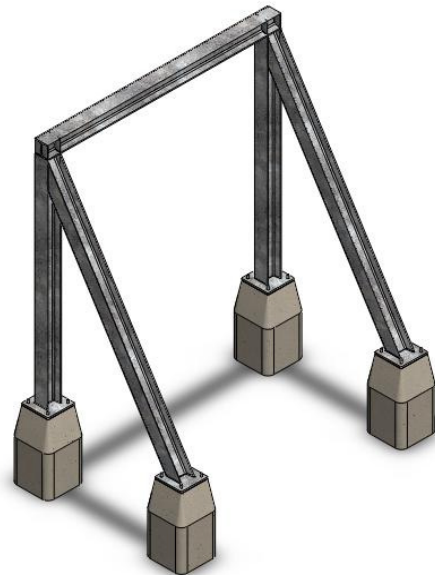
Standardopplageret består av 3 stk HE200B bjelker som danner selve søylen. I hvert rammehjørne sveises det inn plater som sørger for bedre momentavstivning i hjørnene. Disse er ikke beregnet i denne oppgaven. Søylen sveises fast til to søyleføtter med platetykkelse 25 mm. Disse bestilles ferdig utformet fra et vannskjæringsfirma. Til forankring er det valgt 4 stk M24 8-8. Betongfundamentene er ikke en del av oppgaven, det eneste kravet er at disse stikker 1m over bakken, grunnet påkjøringssikring.



Figur 51 – Standardopplager.

#### Ankeropplager:

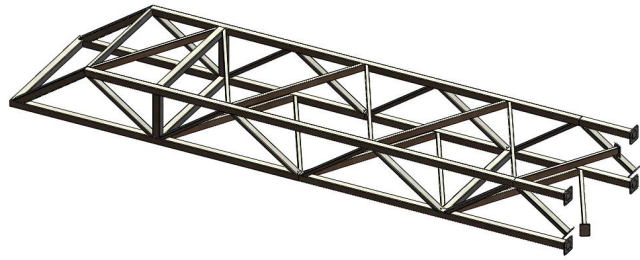
Lages på samme måte som standardopplageret, men her tilføres to ekstra diagonale avstivere. På denne måten kan opplageret stå imot de momentene det blir påført.



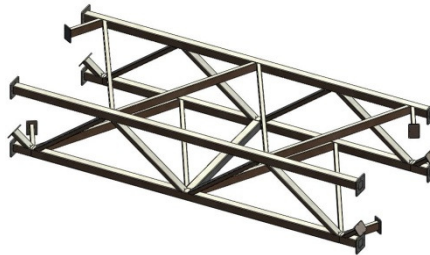
Figur 52 – Ankeropplager.

### Fagverksbro:

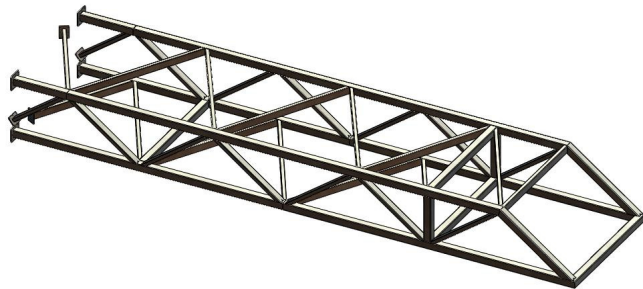
Fagverksbroen består av to hulprofiler av størrelsen 200x200x8mm og 200x100x5mm. Disse skal sveises sammen, foreløpig er kun sveisene til flensplatene som er beregnet. Broen er delt opp for å kunne fraktes normalt (ikke bredlast) på norske veier. Del 1:3 og 2:3 veier ca 5,5 tonn og er 15,6 m lange, mens midtstykket 2:3 ligger på 4 tonn og er 9 m langt. Høyden til alle delene er 1,7 m og bredden 3,9 m med flensforbindelser.



Figur 53 – Fagverksbro del 1:3.



Figur 54 – Fagverksbro del 2:3.



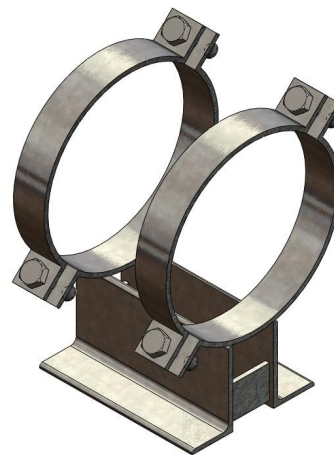
Figur 55 – Fagverksbro del 3:3.

## 7.2 Innkjøpte elementer

Tar med de elementene som ikke allerede er beskrevet og valgt tidligere i oppgaven.

### Glidesko:

For at rørene skal kunne bevege seg i takt med temperaturendringene brukes glidesko som opplager. Glidesko legges gjerne rett på bærende bjelke. Da er det kun friksjonskraften som hindrer røret i å bevege seg. Dersom andre opplagerbetingelser ønskes kan disse bestemmes ved bruk av bjelkeklammere. Se figur 56. I noen tilfeller kan friksjonskoeffisienten være for høy. Ved slike tilfeller monteres teflon imellom underlag og glidesko.

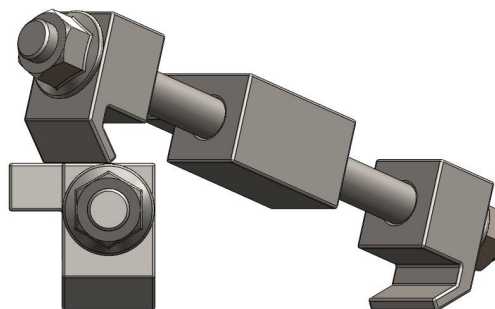


Figur 56 – Glidesko.



### Bjelkeklammer:

Ettersom man helst vil unngå å sveise på noe som er galvanisert, kan det isteden benyttes klammere som skrues fast. Disse er hentet fra Bernecker som leverer det meste innenfor festemateriell til rør. Med slike klammere kan man enkelt bestemme opplagerbetingelsene til glideskoen.

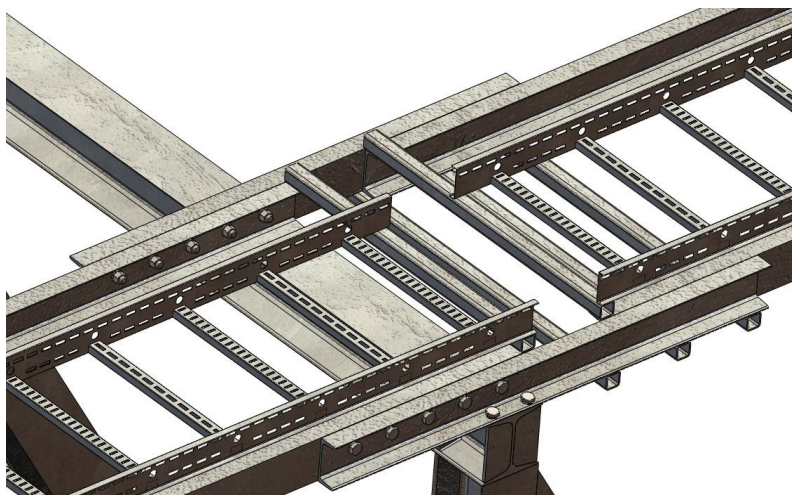


Figur 57 – Bernecker, bjelkeklammer.

### 7.3 Teknisk detaljutforming

Dette avsnittet tar for seg noen viktige konstruksjons utforminger som det bør tas hensyn til ved fabrikking.

#### Termisk ekspansjon



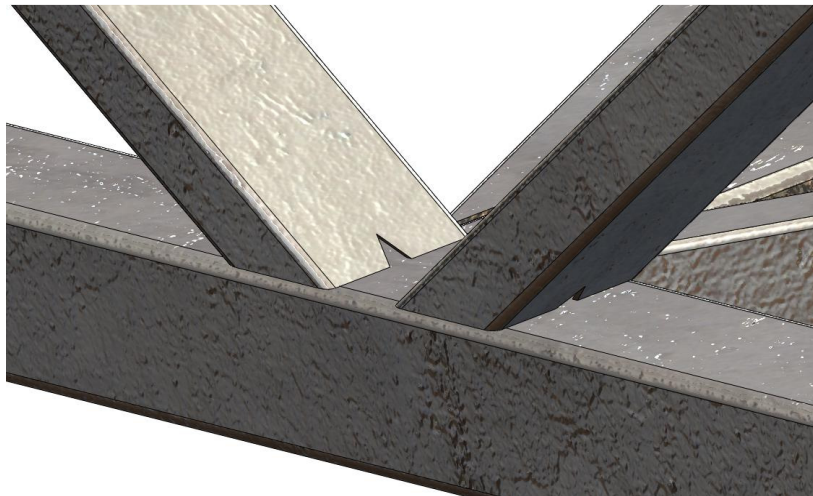
Figur 58 – Løsning med hensyn til termiske ekspansjon.

Som tidligere nevnt i oppgaven utvider stål seg ved temperatur økning. Selv ved omgivelses temperatur kan dette gi større utslag. Eksempelvis fra en kald vinterdag til en varm sommerdag. En måte å løse dette på kan være å gjøre som i figur 58. To UNP profiler med hullprofiler sveist på undersiden boltes fast til venstre kalbelgate og opplageret, slik at høyre kabelgate kan gli oppå hulprofilene.

#### Ytre varmepåvirkninger

Tidligere i oppgaven ble det nevnt at det må tas hensyn til ytre varmepåvirkning, eksempelvis varme fra solen. Hvis et lukket rørsystem med stillestående medium blir varmet opp tilstrekkelig vil det oppstå trykk som følge av fordampningen. Dette løses ved å innføre sikkerhetsventiler i rørsystemet. Plasseres gjerne ved stengeventilen slik at overtrykket slippes forbi.

### Hensyn til varmgalvanisering



*Figur 59 – Drenering/Luftehull.*

Konstruksjoner med hulrom må utstyres med hull for drenering og utlufting. Er ikke dette tilrettelagt foreligger det stor risiko for at konstruksjonen kan sprenges ved varmgalvanisering. Videre anbefalinger er beskrevet i kapittel 8.3. Se tabell 34 for hullstørrelse.

### Hensyn til galvanisk korrosjon



*Figur 60 – Isolering mellom syrefaste rør og galvaniserte rørklammere.*

Grunnet galvanisk korrosjon er det nødvendig å bruke isolasjon mellom syrefaste rør og galvaniserte rørklammer. Rørene blir jodet ved endeflensene slik at rørene ikke blir statisk oppladet ved drift. Figur 60 viser rørklammer med isolasjon.

## 8. MATERIALVALG OG BEARBEIDING

### 8.1 Materialvalg

Oppsummering av valgte materialer og dimensjoner fra kapittel 3, 4, 5 og 6.

Tabell 33 – Materialliste.

Beskrivelse	Materialvalg		Dimensjon					Vare nr.
	Navn	Type	DN	D <sub>o</sub> mm	S mm	D <sub>i</sub> mm	kg m	
<b>Rør</b>								
Linjestrekk A	Syrefast	1.4404	-	356	3,0	350	26,5	1801102
Linjestrekk B	Syrefast	1.4404	-	356	3,0	350	26,5	1801102
Linjestrekk C	Karbonstål	P235GH	300	323,9	7,1	309,7	55,5	1101133
Linjestrekk D	Karbonstål	P235GH	300	323,9	7,1	309,7	55,5	1101133
Servicerør	Syrefast	1.4404	-	54,0	2,0	50,0	2,6	1901091
<b>Bend</b>								
90° Bend 3D	Karbonstål	P235GH	300	323,9	7,1	-	39,8	1151133
90° Bend	Syrefast	1.4404	-	356,0	3,0	-	14,4	1906789
90° Bend	Syrefast	1.4404	-	54,0	2,0	-	0,6	1906488
<b>Isolasjon</b>								
Glava	Paroc P. Section	120	-	674	160	356		640 943
Glava	Paroc P. Section	160	-	634	120	356		640 xxx
<b>Bjelker</b>	<b>(Varmvalset)</b>		<b>h mm</b>	<b>b mm</b>	<b>s mm</b>	<b>t mm</b>	<b>kg m</b>	
HE200B	Stål	S355J2	200	200	9,0	15,0	62,5	180200
<b>Kanalstål</b>	<b>(Varmvalset)</b>							
UNP140	Galvanisert stål	S355J2	140	60	7	10	16,3	Bestill.
<b>Profil</b>	<b>(Varmvalset)</b>							
Hulprofil	Galvanisert stål	S355J2	40	40	-	2,6	3,0	Bestill.
Hulprofil	Stål	S355J2	200	100	-	5	23,2	53407
Hulprofil	Stål	S355J2	200	200	-	8	49,0	52647
<b>Plater</b>	<b>(Varmvalset)</b>		<b>t mm</b>	<b>b mm</b>	<b>l mm</b>	<b>kg plate</b>		
Plate	Stål	235J2	20	1000	2000	320	Bestill.	
Plate	Stål	235J2	25	1000	2000	320	Bestill.	
Plate	Stål	S355J2	25	2000	6000	2400	150420	
Plate	Stål	S355J2	20	1000	2000	320	150320	
<b>Festemateriell</b>			<b>D<sub>o</sub></b>	<b>l<sub>max</sub></b>	<b>T<sub>max</sub></b>	<b>kg</b>		
Glidesko	Stål	235J2	323,9	180	300°C	26,3	GLW200	
Glidesko	Stål	235J2	350	80	300°C	19,4	Bestill.	

Bestill. = Bestillingsvare, l<sub>max</sub> = Maks isolasjonstykkelse, T<sub>max</sub> = Maks temperatur

### 8.2 Bearbeiding og utforming

Mesteparten av bearbeidingen skjer på byggeplassen. Her tilpasses lengder etter nødvendige mål. Fremstillings metodene for de delene som skal prefabrikeres er valgt med hensyn til bygging av en rørgate. Metodene er også valgt slik at konstruksjonen skal kunne fremstilles på et gjennomsnittlig stort verksted, med unntak av galvaniseringen som må gjøres på egne varmforsinkingsanlegg.

#### **Firkantprofiler til fagverksbroen:**

Til alle bjelkeelementene er det valgt å benytte standardiserte firkantprofiler som lagerføres. Firkantprofilene kappes i en sagemaskin med for eksempel automatisk mating slik at produksjonen går raskere. Profilene spennes fast og ønskede dreneringshull bores med søylebor eventuelt kappes V-kutt i endene på profilet med vinkelsliper. Dette er med hensyn til sikkerhetskrav til varmgalvanisering og drenering.

#### **Fotplate til opplager og plateskjøt til fagverksbro:**

Det skal maskineres mange fotplater til dette rørstrekket slik at det er fornuftig å bruke vannskjæring som bearbeidingsmetode. Nøyaktigheten ved vannskjæring er på  $\pm 0,1$  mm det vil si at også hullene kan vannskjæres. Skjæresnittet blir nesten som maskinert og man slipper å gjøre etterarbeid som fjerning av slagg, sliping og lignende.

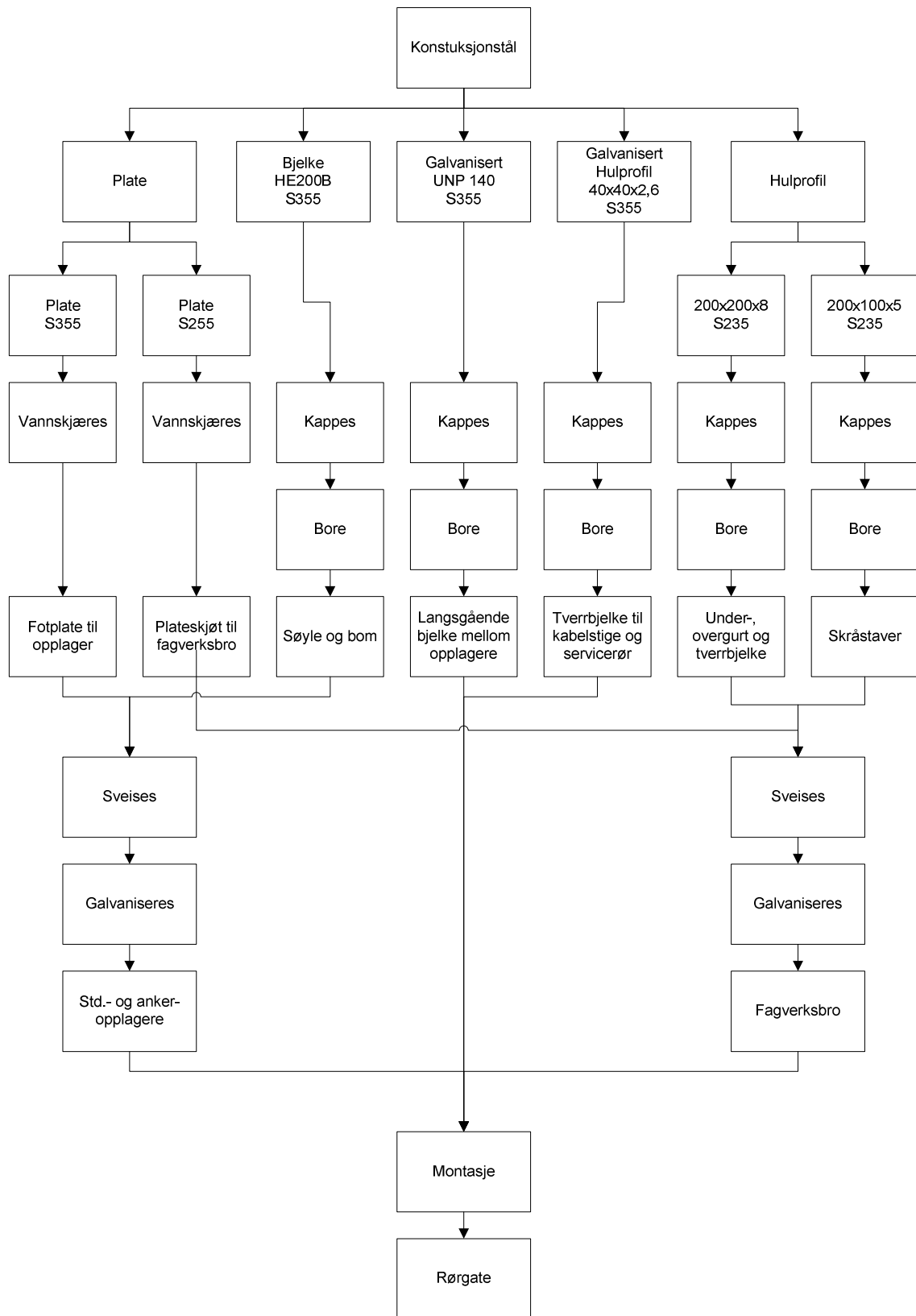
#### **HE-B bjelke, UNP- og hulprofil**

Til alle disse bjelkeelementene er det valgt å bruke standardiserte profiler som lagerføres. Disse kappes i ønsket lengde etter samme prinsippet som beskrevet over. Profilene spennes fast og aktuelle boltehull bores med et søylebor eller lignende. Flere av hullene kan ikke lages før delene sammenstilles på byggeplassen. Disse må montør lage med egnet håndverktøy for å få riktig pasning.

#### **Galvanisering**

Dette blir beskrevet i neste del kapittel 8.3 – Korrosjonsbeskyttelse.

### 8.3 Bearbeidingskart



Figur 61 – Bearbeiding av rå emne til ferdig rørgate.

### 8.4 Korrosjonsbeskyttelse

Stålets store ulempe er at det har altfor stor korrosjonshastighet i mange miljøer. Rustbeskyttelse av stål-konstruksjoner har derfor stor økonomisk betydning. Det er uheldig å sveise etter at varmforsinking har blitt utført. Grunnen er at sinken blir brent av ved sveising. Både opplagrene og fagverksbroen skal derfor prefabrikeres før galvanisering. Fra [www.nordicgalvanizers.com](http://www.nordicgalvanizers.com) står det følgende om varmforsinking:

*”Varmforzinking er en rask prosess med lave kostnader og lang levetid. Det finnes riktignok andre metoder som har like lave initialkostnader, for eksempel maling. Men tas varigheten av beskyttelsen i betraktning, er varmforsinking i de aller fleste tilfeller den beste og rimeligste korrosjonsbeskyttelsen av stål. Varmforzinking er dessuten en enkel, sannferdig og lett kontrollerbar prosess som gir et komplett beskyttende belegg på få minutter. Varmforzinket stål er klart til bruk umiddelbart etter avkjøling og kontroll. Sammenligner man dette med gjennomføringstiden med andre beskyttelsesmetoder finner vi at varmforsinking ikke forsinket byggetid eller forlenger planleggingen av de konstruksjoner som stålet skal brukes i. Maling kan påføres om det ønskes en annen farge, eller for å gi økt beskyttelse om miljøet er ekstra aggressivt.*

*Zinkbelegget legerer seg med stålet og gjør det meget motstandsdyktig. Zinkbelagt stål tåler mekanisk påkjenning svært godt, og det er ikke nødvendig å vise ekstra forsiktighet ved håndtering, lagring, transport eller bruk. Kommer det for eksempel en ripe i stålets overflate, dannes det et galvanisk element som forårsaker at stålet får en katodisk beskyttelse mot korrosjon”. [22]*

Slik det fremkommer av teksten så vil konstruksjonen få katodisk beskyttelse på de stedene hvor det er nødvendig og borre hull.

#### **Konstruksjonsutforming:**

Viktig er det at større konstruksjoner tilpasses størrelsen på de beiskar og zinkgryter som er tilgjengelige. Ofte greier man å varmforsinke konstruksjoner som er lengre enn zinkgryten ved å dobbeldyppe konstruksjonen.

Eksempelvis Jæren Zink AS som har følgende begrensninger: [23]

- Ståldigel T=460 °C, l 13m x b 1,5m x h 2,2m
- Zink innhold i digel 320 tonn
- Maks mål på konstruksjoner: l 16m x b 1,49m x h 4m
- 4 traverskraner med løftekapasitet på 6,4 tonn pr. kran.
- Største løfte kapasitet på konstruksjoner er 12,8 tonn

#### **Sikkerhetskrav:**

*”Varmforzinking krever dypping av de aktuelle konstruksjonsdetaljene dels i syrebad, dels i et bad av smeltet zink som holder 460 eller 560 °C. Dette medfører at konstruksjoner med hulrom må utstyres med hull for drenering og utlufting”. [22]*

Er ikke dette tilrettelagt foreligger det stor risiko for at konstruksjonen kan sprenges. Dette er meget farlig med hensyn til person- og materielle skader. Passende størrelse på hull angis i tabell 34.[22]

Tabell 34 – Passende hullstørrelser for lufting av rørkonstruksjoner.

Indre rør diameter [mm]	Hulldiameter [mm]
Under 13	5 – 6
13 – 25	6 – 8
25 – 40	8 – 10
40 – 50	10 – 15
50 og over	< 15

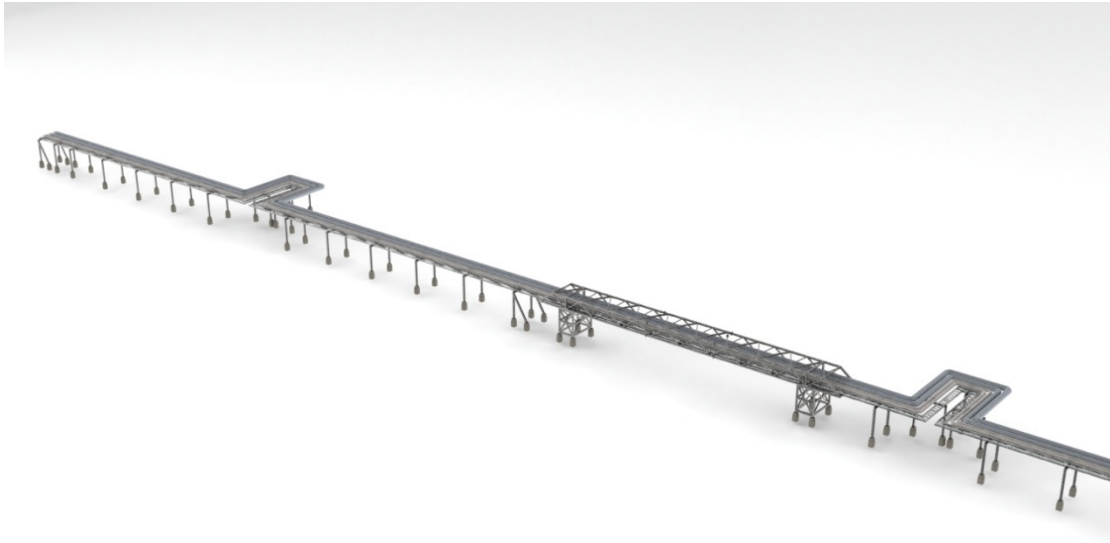
### Detaljutforming for bedre galvanisering:

Det er mange forutsetninger som bør tas hensyn til for å bedre kvaliteten på galvaniseringen samtidig som utførelsen av arbeidet blir lettere. I denne oppgaven har dette ikke blitt lagt vekt på, men følgende punkter bør det tas hensyn til; store variasjoner i godstykkelse, unngå forskjeller i stålqualiteter, unngå syrefeller/lommer og utforming av sveis.

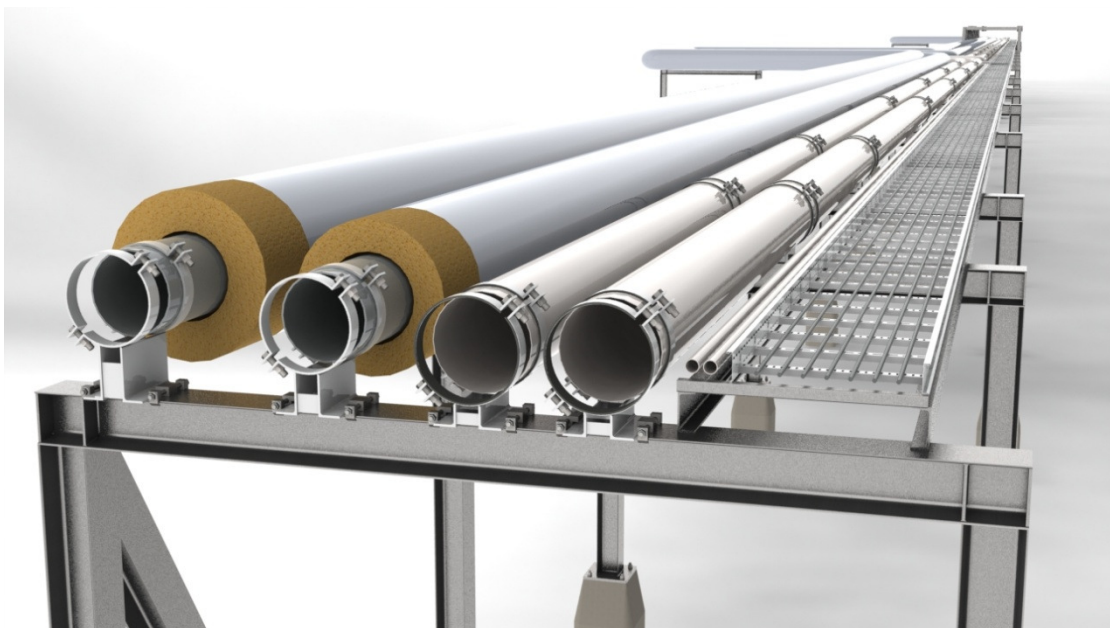
### Galvanisk korrosjon:

Det meste av konstruksjonen er av vanlig konstruksjonsstål, men 2 av importrørene og servicerørene er av syrefast stål. Hvor stor faren er for galvanisk korrosjon avhenger av hvor langt metallene ligger i forhold til hverandre i spenningsrekken. Dersom rustfritt monteres til zinkbelagt stål og samtidig utsatt for fukt, så vil zinken gå i oppløsning (korrodere) da dette er det mest uedle metallet. Dette kan forhindres med riktig montering, det vil si at metallene blir galvanisk avskilt med for eksempel gummi eller plast. Se figur 60.

## 9. PRESENTASJON AV LØSNING



*Figur 62 – En del av rørgaten, med 2 ekspansjonslyrer og fagverksbro.*

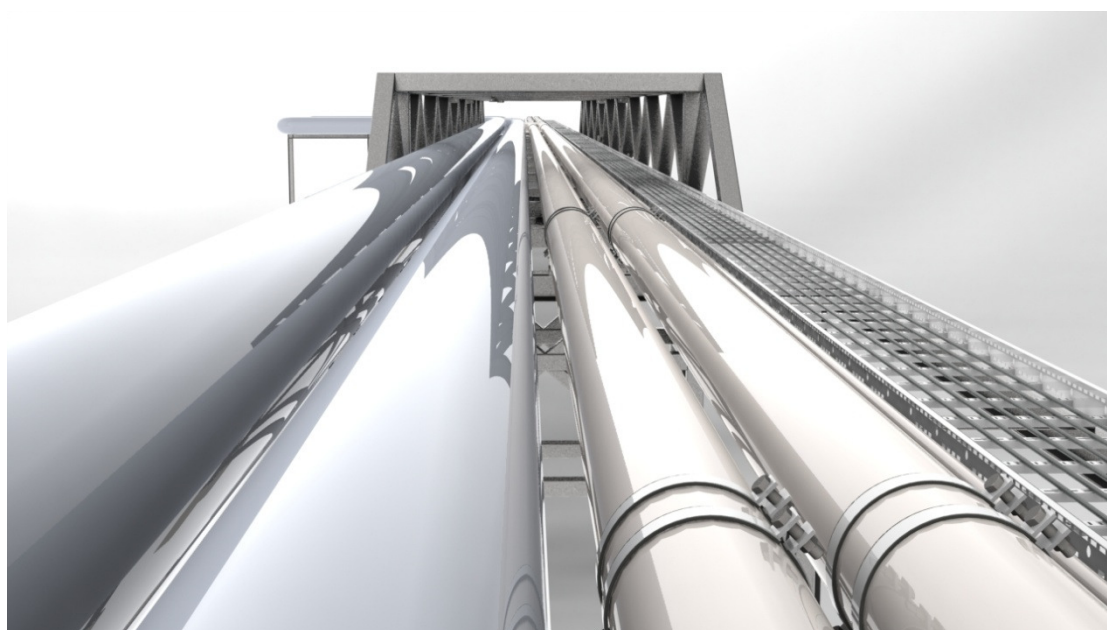


*Figur 63 – Begynnelsen på rørgaten.*





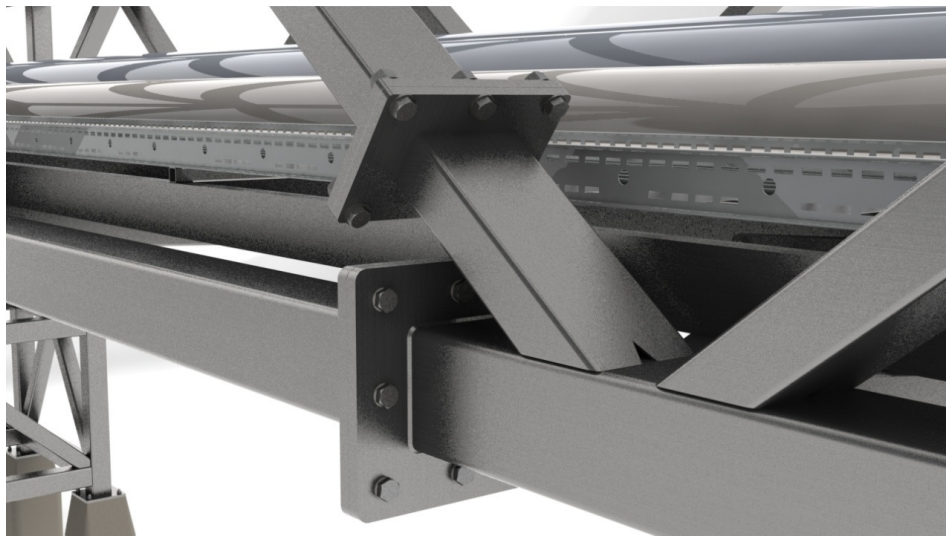
*Figur 64 – Ekspansjonslyre.*



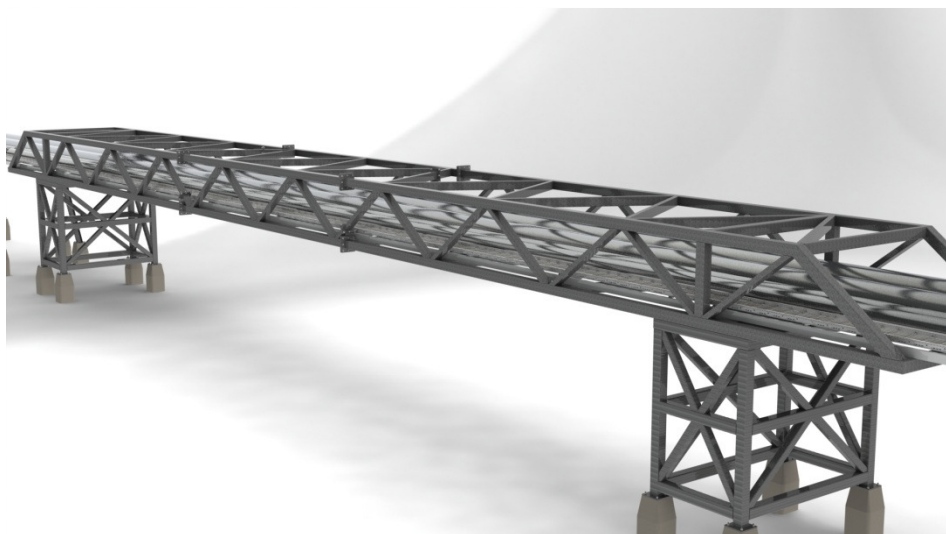
*Figur 65 – Rørgate inn mot fagverksbro.*



Figur 66 – "Flyfoto" fagverksbro.



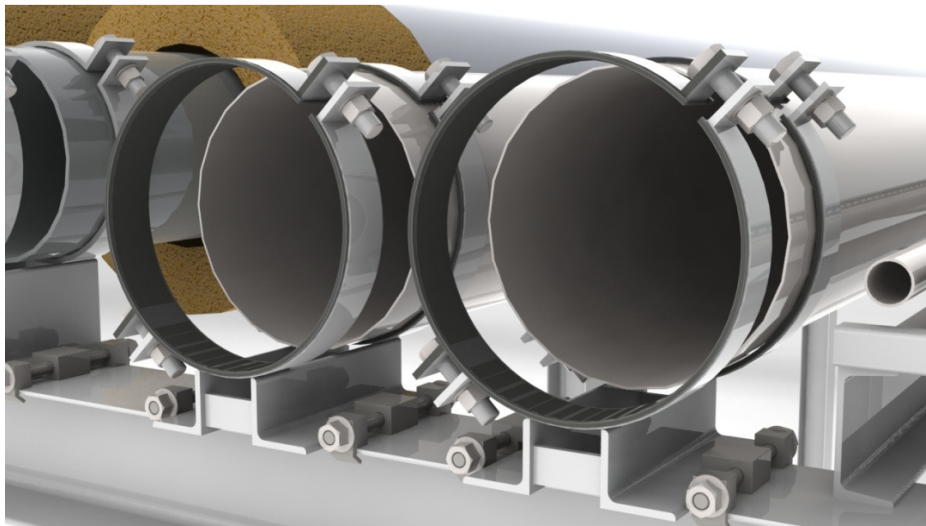
Figur 67 – Skrudd forbindelse i fagverksbro.



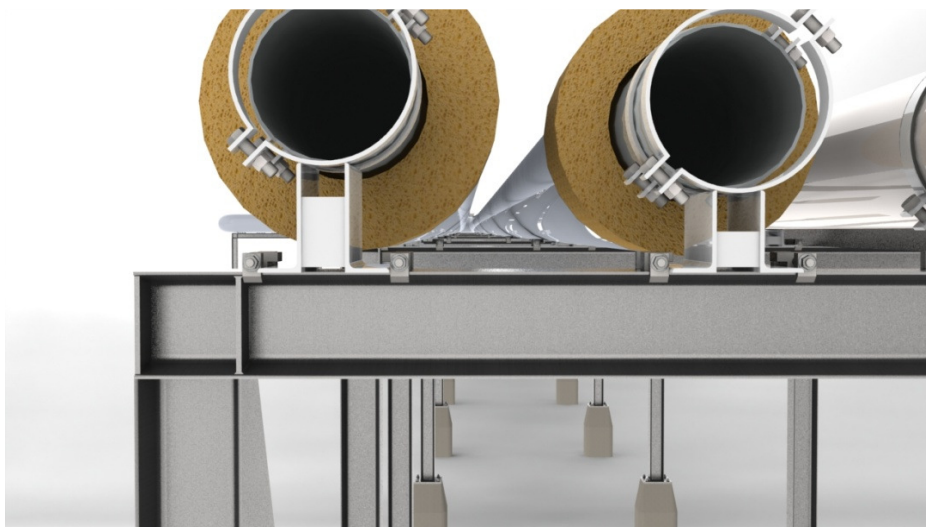
Figur 68 – Fagverksbro med opplagere, disse er ikke tatt med i denne rapporten. Disse var tenkt å produseres i betong, og er laget kun med hensyn på visualiseringen.



Figur 69 – Løsning med hensyn til termisk ekspansjon.



Figur 70 – Syrefaste rør montert med isolerte rørklammer. Berneckere (bjelkeklammer) for å sette opplagerbetingelsene.



Figur 71 – Isolerte rør med tilpassede glidesko. Legg merke til spalten mellom rør og isolasjon, dette med hensyn til varmekablene. Rammehjørne med avstivere for bedre momentstivhet.

## 7 MATERIAL- OG PRODUKSJONSKOSTNADER

### 7.1 Materialforbruk

Tabell 35 – Grovestimat av materialforbruk.

Grovestimat av materialforbruk					
Rørgate					
Beskrivelse	Total lengde (m)	Antall glidelager	Antall fastlager	Antall bend	
Linjestrekk A	1029	160	11	37	
Linjestrekk B	1039	160	11	37	
Linjestrekk C	1061	160	11	37	
Linjestrekk D	1081	160	11	37	
2 stk Servicerør	1800	-	-	37	
Fagverksbro					
Beskrivelse	Forbruk pr enhet (m)	Vekt pr enhet (kg)	Antall enheter	Total lengde (m)	Total vekt (kg)
Hulprofil 200x100x5	214	4950	1	214	4950
Hulprofil 200x200x8	187	9125	1	187	9125
Plateskjøt S235JR t =25mm	0,16 (m <sup>2</sup> )	31	12	1,92 (m <sup>2</sup> )	372 <sup>(1)</sup>
Plateskjøt S235JR t =20mm	0,09 (m <sup>2</sup> )	14	24	2,16 (m <sup>2</sup> )	336 <sup>(1)</sup>
Standardopplager					
Beskrivelse	Forbruk pr enhet (m)	Vekt pr enhet (kg)	Antall enheter	Total lengde (m)	Total vekt (kg)
HE200B	10,1	631	160	1610	100960
Fotplate S355J2 t =25mm	0,09 (m <sup>2</sup> )	17	320	28,8 (m <sup>2</sup> )	5440 <sup>(1)</sup>
Ankeropplager					
Beskrivelse	Forbruk pr enhet (m)	Vekt pr enhet (kg)	Antall enheter	Total lengde (m)	Total vekt (kg)
HE200B	18	872	11	198	9592
Fotplate S355J2 t =25mm	0,09 (m <sup>2</sup> )	17	44	3,96 (m <sup>2</sup> )	748 <sup>(1)</sup>
Diverse					
Beskrivelse	Lengde pr enhet (m)	Vekt pr enhet (kg)	Antall enheter	Total lengde (m)	Total vekt (kg)
Hulprofil 40x40x2,6	1	2,6	290	290	870
UNP140	12	195,6	75	900	14670
Kabelstige	6 <sup>(2)</sup>	36	150	900	5400

<sup>(1)</sup> Det kan være lønnsomt å bruke S355J2 plate med tykkelsen 25mm til alle platedelene. Ofte er stål merket S235 av mye bedre kvalitet, da stål som ikke ligger innenfor kravene til S355 blir solgt som S235. 3 stk S355J2 plater av størrelsen 25mm x 2000mm x 6000mm dekker behovet til alle platedelene. <sup>(2)</sup> På forespørsel.

## 7.2 Massebasert kalkyle

Tabell 36 – Massebasert kalkyle (Grovt regnet).

<b>I. Prosjektering:</b>	Kvanta	Enhet	Pris	Enhet	Sum,NOK
Ca 20 % av entrep. kostnader					5.226.611,-
<b>Delsum, prosjektering</b>					<b>5.226.611,-</b>
<b>II. Entreprenør kostnader:</b>					
<b>Rør</b>					
12m 323,9x7,1 (mm) P235GH	2142	m	2145,-	kr/m <sup>(1)</sup>	4.594.590,-
12m 356,0x3,0 (mm) 316L	2068	m	3217,-	kr/m <sup>(1)</sup>	6.652.756,-
12m 54,0x2,0 (mm) 316L	1800	m	577,-	kr/m <sup>(1)</sup>	1.038.600,-
<b>Bend</b>					
90° 323,9x7,1 (mm) P235GH	37	stk	4620,-	kr/stk <sup>(1)</sup>	170.940,-
90° 356,0x3,0 (mm) 316L	37	stk	6930,-	kr/stk <sup>(1)</sup>	256.410,-
90° 54,0x2,0 (mm) 316L	74	stk	907,-	kr/stk <sup>(1)</sup>	67.118,-
<b>Konstruksjonstål</b>					
12m Hulprofil 40x40x2,6 S355	870	kg	60,-	kr/kg <sup>(2)</sup>	52.200,-
12m Hulprofil 200x100x5 S235	4950	kg	60,-	kr/kg <sup>(2)</sup>	297.000,-
12m Hulprofil 200x200x8 S235	9125	kg	60,-	kr/kg <sup>(2)</sup>	547.500,-
12m HE200B S355	110552	kg	60,-	kr/kg <sup>(2)</sup>	6.633.120,-
Plate S355 25x2000x6000	6896	kg	60,-	kr/kg <sup>(2)</sup>	413.730,-
<b>Diverse</b>					
Isolering 120mm	1061	m	1250,-	kr/m	1.326.250,-
Isolering 160mm	1081	m	1750,-	kr/m	1.891.750,-
Kabelstige	900	m	500,-	kr/m <sup>(3)</sup>	450.000,-
Strømtilførsel (pr. m rør)	1071	m	83,-	kr/kg <sup>(2)</sup>	88.893,-
Varmekabel (pr. m rør)	2142	m	330,-	kr/kg <sup>(2)</sup>	706.860,-
Glidelager	640	stk	1375	kr/stk <sup>(1)</sup>	880.000,-
Fastlager	44	stk	1485	kr/stk <sup>(1)</sup>	65.340,-
<b>Delsum, entreprenering</b>					<b>26.133.057,-</b>
<b>III. TOTALKOSTNAD:</b>					<b>31.359.669,-</b>

<sup>(1)</sup> Inkludert: - Monterings kostnader(50 %); luftepunkter, drenering, kontroll, sveis, etc.  
- Generelle kostnader (10 %); brakkerigger, stillaser, og annet utstyr.

<sup>(2)</sup> Inkludert bearbeiding/sveising /varmgalvanisering.

<sup>(3)</sup> Inkludert montering /fabrikkerte svinger og annet utstyr

## 8 PROSESSDISKUSJON

Ved mekanisk og hydraulisk dimensjonering av rørgate er det mange faktorer som er avhengige av hverandre. Derfor er det viktig å begynne i riktig ende for å nå delmålene som er satt. Begynte med å sette meg inn i aktuelle forskrifter og standarder som gjelder for rørgater. For en uerfaren som meg, er det relativt krevende å sette seg inn standarder.

I Norge brukes NS-EN 13480 til metalliske industrielle rørsystemer.

Startet med å beregne rørdiametre av hensyn til mengden som skulle fraktes, maks tillatte strømningshastigheter og trykktap. Til beregningen laget jeg et EXCEL ark, men støtte på et problem da friksjonskoeffisienten  $\lambda$  måtte hentes ut ifra Moodys diagram. Dette ble løst ved å bruke Haalands ligning slik at trykktapet ble beregnet etter rørdiameter. Kunne ut ifra beregningsverktøyet velge passende rørdiametre. Material valgene ble i hovedsak bestemt ut ifra mediets temperatur og krav til renhet. Etter NS-EN 13480 ble minstekravet til veggtykkelse beregnet og addert med korrosjonstillegg og produksjonsavvik. Rør kunne nå velges fra Brødrene Dahl sin katalog. For at rørene ikke skulle bli utsatt for trykk høyere en designtrykket, ble akseptabel lukketid for ventiler beregnet. Her ble det også tatt hensyn til trykkbidraget fra pumpen. Flenser ble hentet direkte fra tabeller i EN 1092-1 på grunnlag av materialet, driftstemperaturen og trykket.

Benyttet NORSOK R-004N for veiledning av minstekravene til termisk isolering, personellbeskyttelse og tetting av gjennomføringer for rør og utstyr tiltenkt landanlegg. Denne standarden var også gratis på [www.norskstandard.no](http://www.norskstandard.no). I henhold til standarden ble det dannet et bilde av hvordan isolering og mantling skal utføres og hvilke standard som gjelder for beregning av isolasjonstykkelse. Siden jeg ikke hadde tilgang på NS-EN ISO 12241 ble Glava sitt beregningsprogram brukt til å beregne nødvendig isolasjonstykkelse. Det ble gjort en grundig "research" for å finne riktige parametere til beregningsprogrammet. Hentet informasjon fra Holmen tankanlegg, Meteorologisk Institutt og Fjordkraft. Fra Glava Gti 5.0 ble optimal isolasjonstykkelsene bestemt etter totalkostnaden (energi- og investeringskostnaden). Endte på 120mm og 160mm isolasjonstykkelse. Dette virket noe høyt da jeg hadde fått forespeilet ca 80mm. Kontaktet Glava som bekreftet tykkelsene jeg hadde fått.

Før styrkeberegninger og fleksibilitetsanalyser i CAEPIPE (rørberegningsprogram) kunne gjennomføres måtte ytre laster defineres. Snø- og vindlast ble beregnet i henhold til NS-3491. Brukte verdier fra Drammen ved beregningene. Nå, som rør, isolasjon, ytre laster, medier, temperaturer, etc. var definert, kunne analysene i CAEPIPE gjøres. I første runde ble det laget en modell hvor de forskjellige rørstrekkene ble analysert. Det viste seg at ekspansjonspenningene var altfor høye. Så at det var behov for ekspansjonslyrer for å ta opp ekspansjonen. Etter flere runder med analyser og endringer i rørstrekket, fikk jeg spenninger innenfor tillatte verdier etter NS-EN 13480. Etter denne revisjonen av rørstrekket skulle det ha vært utført nye trykktapsberegninger. Under sammenstilling av rørstrekkene i SolidWorks oppdaget jeg at avstanden mellom rørene i lyrene var dobbelt så store som planlagt. Dette ble ikke oppdaget før nå, siden rørene ble analysert hver for seg i CAEPIPE.

Jeg stiller meg også noe undrende til at det er nødvendig med så store og mange lyrer for å få tilfredstilt kravene. Da rørpriser ble hentet inn, ble jeg informert av A-TEK at det var valgt feil syrefaste rør, da disse var metriske og stemte ikke overens med standardiserte DIN flenser.



Nå som alt det hydrauliske var dimensjonert kunne jeg begynne å beregne opplagere. Først ble tilleggsmateriell som servicerør og kabelbro valgt. Det ble utformet en opplagring av dette utstyret mellom opplagrene. Det var viktig å få på plass egenvekten og tilhørende laster av "kabelgaten". Dette og opplagerlastene fra CAEPIPE dannet grunnlaget for dimensjonering av opplagrene. Startet med standardopplager som ble modellert i ANSYS og påført belastningen som beskrevet over (jevnt fordelt). Fra ANSYS ble jevnførende spenning, nedbøyning og bøyemoment hentet for å kontrolleres mot tillatte verdier. Med HE200B lå verdiene godt innenfor. Siden opplagersøylene var såpass lange, ville jeg kontrollere disse mot knekking om svak- og sterkakse. Knekkengder ble fastlagt etter NS3472. Om svak akse fikk jeg relativt høye verdier – men innenfor. Uansett så ville UNP profilene være med på å stive opp opplagrene om denne akse. Dette er det ikke tatt hensyn til i beregningene det vil si at resultatet er konservativt. Søylenes fotplater med boltforbindelse ble deretter kontrollert for størrelser og verdier som var satt; a-mål = 3 og 6 mm, plate = 220x400x25mm, forankringsbolter = M24 8.8. Fotplatene lå godt innenfor kapasiteten. Valgte elementer hadde tilstrekkelig med kapasitet. Disse fotplatene ble også valgt til ankeropplagrene. Jeg reagerte på fotplatens størrelse da disse ble modellert i SolidWorks. Det så ikke estetisk riktig ut. Da slo det meg at fotplatene måtte følgelig også dimensjoneres med hensyn til betongens kapasitet. Dette er noe som bør utbedres før produksjon.

For at det skulle se mer "korrekt" ut, ble disse tegnet med en størrelse på 400x400mm i SolidWorks. Ankeropplageret ble dimensjonert etter samme metode som standardopplageret. Eneste forskjellen er at alle krefter og momenter ble lagt på individuelt langs bommen. Ser i ettertid at det er gode muligheter for å kunne spare kostnader ved å optimalisere for eksempel de diagonale avstiverne, men før det kan gjøres bør det innhentes verdier for hvor mye forskyvning (aksialt) som kan tillates.

Allerede i starten av modelleringen av fagverksbroen ble det gjort en feil. Her skulle jeg først sjekket med nærliggende galvaniseringsanlegg, slik at maks konstruksjonsstørrelser med hensyn til sinkgrytens kapasitet hadde blitt satt som konstruksjons kriterie. Jeg tok kun hensyn til begrensningene av hva som kunne fraktes med svanehenger på norske veier. Med dagens løsning kan den heller ikke galvaniseres hos JærenZink AS som har pr i dag den største sinkgryten. Men modellen kan lett endres i logfilen. Uansett lærte jeg mye ved å bruke ANSYS til beregning av fagverksbroen. Her ble hele broen modellert og kontrollert mot kravspesifikasjonene. Flensforbindelsene ble håndberegnet med hensyn til sveisens, skruens og platens kapasitet. I ettertid fant jeg ut at hulprofiler normalt leveres i S355 stål kvalitet, hvor jeg hadde valgt S235. Jeg ser at det er muligheter for videre optimalisering, men samtidig så er det sikkert en del som det ikke er tatt hensyn til. For eksempel alle knutepunktene, som er et relativt komplekst tema. Da jeg begynte med denne oppgaven var jeg heller ikke klar over at det måtte lages en fagverksbro, men det var veldig lærerikt.

## 9 KONKLUSJON

### 9.1 Anbefalinger

Hovedmålet var å fremstille et løsningsforslag for en rørgate som skulle transportere fire forskjellige medier. Det skulle tas hensyn til trykktap, termisk ekspansjon og ytre påkjenninger som rørgaten blir utsatt for, slik at kravspesifikasjonene blir tilfredsstilte. Dette målet klarte jeg dessverre ikke helt å oppnå. Det må en revisjon til for å tilfredsstille alle kriteriene som ble satt.

- Det er blitt utviklet et beregningsverktøy i Microsoft Excel som beregner rørets trykktap med hensyn til mediets hastighet, volumstrøm, viskositet, tetthet antall bend og rørets ruhet. Ved å integrere Haaland-ligningen i verktøyet slipper brukeren å måtte bruke Moodys diagrammet for å finne friksjonsfaktoren  $\lambda$  (gjelder for alle typer rør ved full strømning).
- Akseptabel lukketid er beregnet for alle linjestrekkene hvor det også er tatt hensyn til påført pumpetrykk. I tilfeller hvor man ikke ønsker begrenset trykkøkning brukes formler for rolig stengning. En fordel med denne betraktningen er at E-modulen for væsker faller bort, da disse verdiene er vanskelige å finne for en del væsker.
- Isolasjon og mantel er valgt etter de krav som stilles til klasse 1 varmekonservering, hvor det er tatt hensyn til drenering, varmekabler, isolasjonsmateriale, mantling og utførelse. Det skal brukes mineralull som isolasjon og aluminiumskapsel med en minstetykkelse på 0,7mm. Isolasjonstykkelsen er optimalisert med hensyn til geometriske betingelser, designtemperatur og totalkostnad. Paroc Pro Section 120 ble valgt for linjestrekk C og Paroc Pro Section 160 for linjestrekk D.
- Etter gitte standarder er vind- og snølast beregnet med hensyn til geografisk område. Personlast er også tatt med i betraktningen av ytrelaster som brukes til røranalysen i CAEPIPE.
- Analyserte rørene i CAEPIPE etter NS 13480. Fra resultatene er rørgaten blitt utformet på nytt med ekspansjonslyrer, slik at spenningene er innenfor kravene. Ekspansjonslyrene er utformet på en slik måte at de skal kunne ta opp ekspansjonen optimalt. Største lyre er 11,1m høy og 7,3m bred.
- Etter Eurokode 3 er alle profiler og bjelker beregnet for å ivareta de krav som er satt. Opplagrene er beregnet for knekking om svak- og sterkakse. Standard opplageret er det mest utsatte med utnyttelses grad på 0,92 hvor 1 er maks. For fotplatene er a-mål = 3mm/6mm, platetykkelse = 25mm og skrue størrelse M24 8.8 kontrollert – OK.
- Det er utarbeidet en logfil for hele fagverksbroen. På denne måten er det lettere å optimalisere fagverket ytterligere når stålqualität S355 skal benyttes. Fra resultatet med hulprofil 200x200x8mm og 200x100x5mm ble nedbøyningen 85mm over et spenn på 32m. Maks jevnførende spenning lik 180 MPa. Totalvekten ble ca. 15 tonn og dette ga en vektbesparelse på 14 tonn fra opprinnelig modell.
- Broens skrudde flensforbindelser er dimensjonert etter Eurokode 3 hvor a-mål, platetykkelse, godstykkelse og skruer er kontrollert – OK.
- Fagverksbroen er utformet med hensyn til frakt.
- Det er utformet et forslag for hvordan termiske ekspansjonen kan tas opp for UNP profilene.



### 9.2 Videre arbeid

Dette er viderearbeid som bør gjøres for at rørgaten skal tilfredsstillere kravspesifikasjonene. Det er også blitt oppdaget feil underveis som ikke har latt seg endre på grunn av begrenset tid.

- Etter analysene i CAEPIPE ble rørstrekket endret med hensyn til termiskekspanjon. Dette førte til at 36 flere bend ble lagt inn i rørgaten. Etter denne revisjonen av rørgaten, skulle det følgelig blitt utført nye trykktapsberegninger. Dette ble ikke gjort. Nye trykktaps beregninger viser at linjestrekk A og B overstiger kravet med 0,1 bar i linjestrekk A og 0,5 bar i linjestrekk B. I tabell 19 ser man at begge disse strekkene er lite utsatt for ekspansjonsspenninger, dvs. at antall lyrer kan reduseres slik at trykktapet reduseres. Det ble også oppdaget ved sammenstilling i SolidWorks at ekspansjonslyrene som ble modellert i CAEPIPE hadde fått dobbel så stor avstand mellom rørene enn hva som var tenkt.
- Da rørpriser ble hentet inn ble jeg informert av A-TEK at det var valgt feil syrefaste rør, da disse var metriske og disse stemmer ikke overens med standardiserte DIN flenser.
- Når opplagrene ble tegnet i SolidWorks, syntes jeg ikke at fotplatene ikke så tilstrekkelig store ut. Etter beregningene så har disse nok kapasitet, men ved videre ettertanke, så må disse også dimensjoneres med hensyn til betong-fundamentet som skal ta opp disse kreftene. Fotplatene ble derfor endret til 400x400mm da disse ble tegnet SolidWorks.
- Fagverksbroen som ble modellert i ANSYS ble dimensjonert med hulprofiler av 235J2 kvalitet. Det viser seg i ettertid at hulprofiler normalt selges med S355J2 kvalitet. Det vil si at broen kan optimaliseres ytterligere hvis denne kvaliteten benyttes.
- Forminske fagverksbroen slik at den kan varmgalvaniseres hos nærliggende varmforskningsanlegg. Dette kan enkelt endres i ANSYS modellen og etter revisjon analyseres mot kravspesifikasjonene.
- Lage fabrikkasjonstegninger
- Beregne og velge nødvendig elektrisk utstyr, eksempelvis effekten til varmekablene.

## 10 LITTERATURREFERANSER

### 10.1 Skriftlige kilder

2. **Norges, s. (2002). NS-EN 13480-3: Metalliske industrielle rørsystemer. Del 3: Konstruksjon og beregning.** Oslo: NSF. 268 s.
3. **Norges, s. (2007). NS-EN 1092-1: Flenser og forbindelser - Sirkulære flenser for rør, ventiler, rørdeler og tilbehør med PN-angivelse. Del 1: Stålfenser.** Lysaker: Standard Norge. 124 s.
4. **Johannessen, J. (2002). Tekniske tabeller.** [Oslo]: Cappelen. 158 s.
5. **Brautaset, K. (1983). Innføring i oljehydraulikk.** [Oslo]: Universitetsforl. 340 s.
6. **Finnemore, E. J., Franzini, J. B. & Daugherty, R. L. (2002). Fluid mechanics with engineering applications.** Boston: McGraw-Hill. 790 s.
7. **Simon, A. L. & Korom, S. F. (1997). Hydraulics.** Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall. 445 s.
8. **Norges, s. (2002). NS-EN 10216-1: Sømløse stålrør for trykkpåkjent utstyr Tekniske leveringsbetingelser Del 2: Ulegerte og legerte stålrør med spesifiserte egenskaper ved høye temperaturer.** Lysaker: Standard Norge. 48 s.
9. **Norges, s. (2009). NORSOK R-004 N: Isolering av rør og utstyr.** Utgave 1. Lysaker: Standard Norge. 30 s.
11. **Larsen, P. K. (2008). Konstruksjonsteknikk: Laster og bæresystemer.** Trondheim: Tapir akademisk forl. 173 s.
12. **Norges, s. (2001). NS 3491-3: Prosjektering av konstruksjoner: dimensjonerende laster. Del 3 : snølaster.** Oslo: Norges standardiseringsforbund. 40 s.
13. **Thoresen, P. E. (2006). Kompendium i konstruksjon av rørsystemer. (Piping Design).** 157s.
15. **Larsen, P. K. (2010). Dimensjonering av stålkonstruksjoner.** [Trondheim]: Tapir akademisk forl. 554 s.
16. **Standard, N. (2002). NS-EN 1990:2002+NA2008: Eurokode - Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner.** Lysaker: Standard Norge. 108 s.
17. **Standard, N. (2008). NS-EN 1993: Eurocode 3: Prosjektering av stålkonstruksjoner, Del 1-1, Allmenne regler og regler for bygninger.** Oslo: Norsk standard. 95 s.
18. **Dahlvig, G., Christensen, S. & Strømsnes, G. (1991). Konstruksjonselementer.** [Ås]: Yrkesopplæring. 486 s.
19. **Norges, s. (1984). NS 3472: Prosjektering av stålkonstruksjoner - Beregning og dimensjonering.** Lysaker: Standard Norge. 110 s.
20. **Standariseringsentral, N. V. (1994). Stål Håndbok, del – 3.** 116s.

### 10.2 Internettkilder

1. **Slettvoll, S. Isolatørfaget. 19.** Tilgjengelig fra: [www.bokasnettressurs.no/asset/928/1/928\\_1.pdf](http://www.bokasnettressurs.no/asset/928/1/928_1.pdf) (lest 09.05.11).
10. **GLAVA. Glava Gti 5.0.** Tilgjengelig fra: <http://www.glava.no/proff/teknisk-isolering/beregningsprogram/registreringsskjema/beregningsprogram-teknisk-isolering-gti> .(lest 09.05.11).
14. **TP.Thermacor. (2007). Expansion calculations and loop sizing.** Tilgjengelig fra: [http://thermacor.com/downloads/documents/15.103-4\\_001.pdf](http://thermacor.com/downloads/documents/15.103-4_001.pdf) (lest 09.05.11).
21. **Fagverks typer.** Tilgjengelig fra: [http://www.prhs.k12.ny.us/fac/HerskowiczM/bridges\\_files/image010.jpg](http://www.prhs.k12.ny.us/fac/HerskowiczM/bridges_files/image010.jpg) (lest 03.05.11).
22. **NordicGalvanizers. Varmgalvanisering.** Tilgjengelig fra: <http://www.nordicgalvanizers.com/> (lest 03.05.11).
23. **Jæren.Zink.AS. Galvanisering.** Tilgjengelig fra: [www.jzink.no](http://www.jzink.no) (lest 05.05.2011).

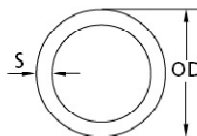
## 11 VEDLEGG

	Side:
V – 01	Brødrene Dahl – Industrikatalogen. I
V – 02	Tabell for valg av materialgruppe – Syrefast. III
V – 03	Tabell for valg av trykkklasse – Syrefast. IV
V – 04	Tabell for valg av materialgruppe – Karbonstål. V
V – 05	Tabell for valg av trykkklasse – Karbonstål. VI
V – 06	Middelverdier for Drammensområdet – Meteorologisk Institutt. VII
V – 07	Resultater fra Glava Gti 5.0 – Linjestrekk C. IX
V – 08	Resultater fra Glava Gti 5.0 – Linjestrekk D. XI
V – 09	Karakteristisk snølast – NS 3491-3:2001. XIII
V – 10	Terrengruhetskategorier og tilhørende parametere. XIV
V – 11	Tabell A.1 – Referansevindhastighet $V_{ref}$ for kommunene. XV
V – 12	Grunnverdi for hastighetstrykk fra kastvind. XVI
V – 13	Nodeplott – Linjestrekk A. XVII
V – 14	Spenningsplott – Linjestrekk A. XVIII
V – 15	Nodeplott – Linjestrekk B. XIX
V – 16	Spenningsplott – Linjestrekk B. XX
V – 17	Nodeplott – Linjestrekk C. XXI
V – 18	Spenningsplott – Linjestrekk C. XXII
V – 19	Nodeplott – Linjestrekk D. XXIII
V – 20	Spenningsplott – Linjestrekk D. XXIV
V – 21	Øglænd System – OE100HDG. XXV
V – 22	Bjelker og profiler fra Norsk Stål. XXVI
V – 23	Statisk ubestemte rammer fra Svenske "Ingenjörshandboken". XXVII
V – 24	Tidligere stålstandard NS3472 – Knekk lengde. XXVIII
V – 25	Excel regneark for beregning av trykktap. XXIX
V – 26	Temperatur og viskositets diagram – Fyringsolje 6. XXXI
V – 27	Temperatur og viskositets diagram – Bitumen (B85). XXXII
T – 01	Hovedmål Standardopplager. XXXIII
T – 02	Hovedmål Ankeropplager. XXXIV
T – 03	Hovedmål Fagverksbro. XXXV
CD	Digitalt materiell – Egen CD på bakerste side.

## V – 01 Brødrene Dahl – Industri katalogen

Karbonstål:

Rør:



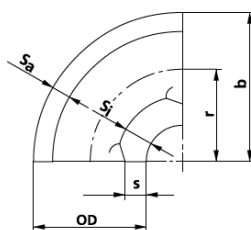
HS Code  7304.5910

HS Code Int. 7304.59

DN	OD mm	s mm	ID mm	kg m	NRF nr. Part no.
100	114,3	3,6	107,1	9,9	1100988
		4,5	105,3	12,1	1115009
		6,3	101,7	16,8	1115075
		7,1	110,2	18,8	1115097
		8,0	98,3	21,0	1115119
		8,8	96,7	22,9	1115141
		10,0	94,3	25,7	1115163
		11,0	92,3	28,0	1115185
		12,5	89,3	31,4	1115189
	127,0	4,0	119,0	12,2	1101011
125	133,0	4,0	125,0	12,8	1101022
125	139,7	4,0	131,7	13,5	1101033
		4,5	130,7	15,0	1115603
		6,3	127,1	20,7	1115669
		8,0	123,7	26,0	1115713
		8,8	122,1	28,4	1115735

DN	OD mm	s mm	ID mm	kg m	NRF nr. Part no.
175	193,7	5,6	182,5	26,0	1101088
		10,0	173,7	45,3	1116571
200	219,1	6,3	206,8	33,1	1101099
		8,8	201,5	45,6	1116659
		10,0	199,1	51,6	1116681
		12,5	194,1	63,7	1116725
	244,5	6,3	231,9	37,0	1101111
		10,0	224,5	57,8	1116813
250	273,0	6,3	260,4	41,4	1101122
		8,8	255,4	57,3	1116923
		10,0	253,0	64,9	1116945
		12,5	248,0	80,3	1116989
300	323,9	7,1	309,7	55,5	1101133
		8,8	306,3	68,3	1117011
		10,0	303,9	77,4	1117033
		12,5	298,9	96,0	1117077

### 3D – Bend 90°:



HS Code  7307.9900

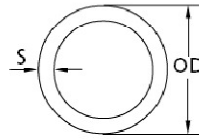
HS Code Int. 7307.99

OD mm	s mm	r mm	b mm	kg stk	NRF nr. Part no.
21,3	2,0	28,0		0,04	1150066
26,9	2,3	29,0	43	0,06	1150088
33,7	2,6	38,0	56	0,12	1150122
42,4	2,6	48,0	69	0,19	1150144
48,3	2,6	57,0	82	0,26	1150166
57,0	2,9	72,0	100	0,44	1150188
60,3	2,9	76,0	106	0,49	1150199
76,1	2,9	95,0	133	0,78	1150233

OD mm	s mm	r mm	b mm	kg stk	NRF nr. Part no.
114,3	3,6	152,0	210	2,36	1150288
133,0	4,0	181,0	247	3,62	1150322
139,7	4,0	190,0	260	4,01	1150333
159,0	4,5	216,0	294	5,82	1150355
168,3	4,5	229,0	313	6,53	1150366
219,1	6,3	305,0	414	15,8	1150399
273,0	6,3	381,0	518	24,8	1150422
323,9	7,1	457,0	619	39,8	1150433

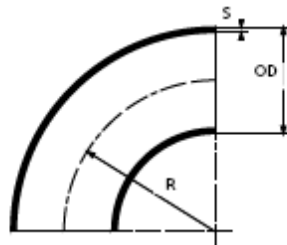
Syrefast:

Rør:



HS Code  7306.4010 HS Code  7306.4090 HS Code  7305.3110 ▲				HS Code Int. 7306.40 HS Code Int. 7305.31			
OD mm	S mm	kg m	NRF nr. Part no.	OD mm	S mm	kg m	NRF nr. Part no.
● 18,0	1,5	0,62	1900402	106,0	3,0	7,70	1900835
● 20,0	1,5	0,70	1900413	129,0	2,0	6,40	1900868
● 23,0	1,5	0,81	1900435	131,0	3,0	9,60	1900879
● 25,0	1,5	0,88	1900446	● 153,0	1,5	5,70	1900902
25,0	2,0	1,15	1900457	154,0	2,0	7,60	1900913
● 28,0	1,5	1,00	1900491	156,0	3,0	11,50	1900924
30,0	2,0	1,40	1900535	204,0	2,0	10,10	1900957
38,0	2,0	1,80	1900591	206,0	3,0	15,20	1900979
● 43,0	1,5	1,56	1900624	254,0	2,0	12,60	1901013
44,5	2,0	2,13	1900635	256,0	3,0	19,00	1901035
● 53,0	1,5	1,93	1900691	304,0	2,0	15,10	1901056
54,0	2,0	2,60	1900702	306,0	3,0	22,80	1901068

Bend:



Rustfritt SS 2333/AISI 304L  
 Stainless Steel SS 2333/AISI 304L  
 Otel inoxidabil SS 2333/AISI 304L  
 Нержавеюци сталь SS 2333/AISI 304L

Syrefast SS 2343/AISI 316L  
 Stainless Steel SS 2343/AISI 316L  
 Otel inoxidabil SS 2343/AISI 316L  
 Нержавеюци сталь SS 2343/AISI 316L

HS Code  7307.2900				
HS Code Int. 7307.29				
OD mm	S mm.	R mm	kg stk/ea.	NRF nr. Part no.
84	2,0	180	1,2	1806524
104	2,0	200	1,6	1806559
129	2,0	225	2,3	1806613
154	2,0	250	3,0	1806648
204	2,0	300	4,8	1806684
206	3,0	300	7,2	1806719
254	2,0	350	7,0	1806754
256	3,0	350	10,5	1806789
305	2,5	400	12,0	1806825
306	3,0	400	14,4	1806843
356	3,0	450	18,8	1806896

OD mm	S mm.	R mm	kg stk/ea.	NRF nr. Part no.
44	2,0	140	0,5	1906471
54	2,0	150	0,6	1906488
69	2,0	165	0,9	1906506
84	2,0	180	1,2	1906524
104	2,0	200	1,6	1906559
106	3,0	200	2,4	1906577
129	2,0	225	2,3	1906613
154	2,0	250	3,0	1906648
156	3,0	250	4,6	1906666
204	2,0	300	4,8	1906684
205	2,5	300	6,0	1906702
206	3,0	300	7,2	1906719
254	2,0	350	7,0	1906754
255	2,5	350	8,7	1906772
256	3,0	350	10,5	1906789
305	2,5	400	12,0	1906825
306	3,0	400	14,4	1906843

## V – 02 Tabell for valg av materialgruppe – Syrefast.

EN 1092-1:2007 (E)

### G.3 Austenitic and austenitic-ferritic steels

#### G.3.1 General

p/t-ratings are given in Tables G.4.1-1 to G.4.1-12 for austenitic and austenitic-ferritic steels. They are calculated by using the strength values of steel forgings (see Table G.3.1-1) and are verified for flat steel products of the same group (see Table 9) up to and incl. 600 °C. Thickness related strength values for all thicknesses up to and including 150 mm have been considered.

p/t-ratings are calculated by using the strength values of steel forgings and are verified for flat steel products of the same group.

100 000 h creep rupture strength values are considered for materials marked with X' in Table G.3.1-1.

Maximum allowable pressures at temperatures for which 100 000 h creep rupture strength values have been considered are indicated in italic letters in Tables G.4.1-1 to G.4.1-12.

For flanges made from steel castings (type 21; material selection see Table 9) the p/t-ratings shall be the same as for the corresponding steel forgings respectively flat steel products (see Table 9). The wall thicknesses need to be verified (see provisions made in F.2.5).

NOTE For nominal design stress values of steel castings it may be necessary to consider the provisions given in applicable component or equipment standards (e.g. EN 12516).

#### G.3.2 List of materials

Table G.3.1-1 — Austenitic and austenitic-ferritic materials

Group	Material	Material No.	EN	R <sub>p</sub> /R <sub>b</sub>	Creep	t <sub>m</sub> (mm)	Λ%
10E0	X2CrNi18-9	1.4307	10222-5	R <sub>p1.0t</sub>	X	—	35
10E1	X2CrNiN18-10	1.4311	10222-5	R <sub>p1.0t</sub>	—	—	35
11E0	X5CrNi18-10	1.4301	10222-5	R <sub>p1.0t</sub>	X	—	35
12E0	X8CrNiTi18-10	1.4541	10222-5	R <sub>p1.0t</sub>	X	—	30
12E0	X8CrNiNb18-10	1.4550	10222-5	R <sub>p1.0t</sub>	—	—	30
13E0	X2CrNiMo17-12-2	1.4404	10222-5	R <sub>p1.0t</sub>	—	—	35
14E0	X5CrNiMo17-12-2	1.4401	10222-5	R <sub>p1.0t</sub>	X	—	35
15E0	X8CrNiMoTi17-12-2	1.4571	10222-5	R <sub>p1.0t</sub>	X	—	35
18E0	X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	10222-5	R <sub>p0.2t</sub>	—	—	25
11E0	X8CrNi18-10	1.4948	10222-5	R <sub>p1.0t</sub>	X	—	35
12E0	X8CrNiTiB18-10	1.4941	10222-5	R <sub>p1.0t</sub>	X	—	30

NOTE Table contains a selection of commonly used austenitic and austenitic-ferritic materials.

V – 03 Tabell for valg av trykkklasse – Syrefast.

Table G.4.1.4 – PN 10

PN	Group	Material- No.	max. allowable temperature 15 °C															
			RT	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	580	590	600		
10	10E0	1.4307	16,0	13,7	12,3	11,2	10,4	9,8	9,2	8,6	8,3	7,9	6,4	5,9	5,4	4,8	4,4	
	10E1	1.4311	16,0	16	14,2	13,3	12,7	12,2	11,8	11,5	11,3							
	11E0	1.4301	16,0	14,5	13,1	11,9	11	10,3	9,8	9,5	9,3	9,1	7,3	6,4	5,9	5,1	4,8	4,4
	12E0	1.4541	16,0	15,8	14,2	14,1	13,4	12,7	12,2	11,8	11,6	11,3	10,8	9,6	8,1	7,3	6,5	
	12E1	1.4550	16,0	16,0	14,6	14,1	13,4	12,7	12,2	11,8	11,6	11,3						
	13E0	1.4494	16,0	16,1	13,7	12,7	11,8	11	10,5	10,2	10	9,7						
	14E0	1.4401	16,0	16,0	14,5	13,4	12,7	11,8	11,4	10,9	10,7	10,4	10,3	10,1	10,0	9,3	8,9	8,8
	16E0	1.4571	16,0	16,0	15,6	14,3	14,1	13,3	12,8	12,4	12,2	12	11,9	11,5	11,7	10,7	9,7	8,8
	18E0	1.4682	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
	19E0	1.4948	16,0	14,5	13,1	11,9	11,2	10,4	10,0	9,8	9,3	8,9	8,8	8,4	8,2	8,1	7,4	6,7
	12E0	1.4941	16,0	13,3	14,5	13,7	13,4	13,1	12,7	12,3	11,9	11,5	11,2	10,8	10,6	9,6	8,6	7,7

Table G.4.1.5 – PN 25

PN	Group	Material- No.	max. allowable temperature 15 °C															
			RT	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	580	590	600		
25	10E0	1.4307	25,0	21,5	19,2	17,5	16,3	15,1	14,4	13,8	13,3	12,9	10,9	10,7	9,2	8,5	7,7	7,0
	10E1	1.4311	25,0	25,0	22,7	22,2	20,8	19,8	19,1	18,5	18,1	17,7						
	11E0	1.4301	25,0	22,7	20,4	18,9	17,2	16,0	15,3	14,9	14,5	14,2	12,9	10,1	9,2	8,5	7,7	7,0
	12E0	1.4541	25,0	24,7	23,3	22,1	21,0	19,8	19,1	18,5	18,1	17,7	15,9	15,3	14,0	12,7	11,4	10,2
	12E1	1.4550	25,0	25,0	23,3	22,1	21,0	19,3	19,1	18,5	18,1	17,7						
	13E0	1.4404	25,0	21,6	21,5	19,8	18,6	17,2	16,5	16,2	15,8	15,2						
	14E0	1.4401	25,0	25,0	22,7	21,0	19,3	18,5	17,8	17,1	16,8	16,5	16,3	16,0	15,3	15,6	14,4	14,0
	15E0	1.4571	25,0	25,0	24,5	23,3	22,1	20,8	20,1	19,6	19,1	18,4	18,8	18,3	18,3	18,7	18,2	18,8
	16E0	1.4682	25,0	26,0	26,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
	11E0	1.4948	25,0	22,7	20,4	18,8	17,6	16,3	15,7	15,1	14,5	14,0	13,4	13,1	12,9	12,7	11,6	10,3
	12E0	1.4941	25,0	23,9	22,7	21,5	20,8	20,4	19,8	19,2	18,6	18,0	17,5	17,0	16,6	16,1	15,2	14,1

## V – 04 Tabell for valg av materialgruppe – Karbonstål.

## G.2.2 List of materials

Table G.1.1-1 — Non-austenitic materials

Group	Material	Material No.	EN	$R_{p0.2}$	Creep	Notes
3E0	P245GH	1.0362	10222-2	$R_{p0.2}$	X	
3E1	P280GH	1.0426	10222-2	$R_{p0.2}$	X	
4E0	16Ni3	1.5415	10222-2	$R_{p0.2}$	X	
5E0	13CrMo4-5	1.7335	10222-2	$R_{p0.2}$	X	
6E0	11CrMo9-10	1.7363	10222-2	$R_{p0.2}$	X	
6E1	X16CrMo8-1+NT	1.7366	10222-2	$R_{p0.2}$	X	
7E0	13MnNi8-3	1.8217	10222-3	$R_{p0.2}$	—	f
7E1	P355 NL1, P355 HL2	1.8666 1.1108	10021-3	$R_{p0.2}$	—	a, c
7E2	15MnNi6	1.8228	10222-3	$R_{p0.2}$	—	f
7E3	12Ni14	1.5837	10222-3	$R_{p0.2}$	—	f
7E2	X8Ni9	1.5662	10222-3	$R_{p0.2}$	—	f
8E2	P285NH	1.0487	10222-4	$R_{p0.2}$	—	b, d
8E3	P355NH	1.0665	10222-4	$R_{p0.2}$	—	b, d, e
9E0	X20CrMoV11-1	1.4822	10222-2	$R_{p0.2}$	X	
9E1	X10CrMoVNb8-1	1.4903	10222-2	$R_{p0.2}$	X	

NOTE: Table contains a selection of commonly used non-austenitic materials.

<sup>a</sup> Refer to Annex D for steel forgings corresponding to this low-temperature tough fine-grain steel.

<sup>b</sup>  $pH$ -ratings can also be used for material group 7E1 under conditions (see EN 10028-3).

<sup>c</sup> For all thicknesses of up to and including 70 mm the strength values for temperatures above 50 °C for a thickness range 35 <  $t_{th}$  ≤ 70 have been used for calculation of  $pH$ -ratings.

<sup>d</sup> For all thicknesses up to and including 150 mm the strength values for temperatures above 50 °C over strength values either of EN 10021-3 or EN 10222-4 has been used.

<sup>e</sup> For all thicknesses of up to and including 100 mm the strength values for temperatures above 50 °C for a thickness range 50 <  $t_{th}$  ≤ 100 have been used for calculation of  $pH$ -ratings.

<sup>f</sup> Material groups 7E0, 7E2; no separate  $pH$ -ratings are listed, because of the reason that no strength values for temperatures above 50 °C are given by the related EN standards EN 10222-3 and EN 10028-4.

<sup>g</sup> No separate  $pH$ -ratings are listed, since the strength values are the same as for the NH-grade.



V – 05 Tabell for valg av trykkklasse – Karbonstål.

Table G.4.1.4 – PN 10

PN	Group	Material- No.	max. allowable temperature 15 °C															
			RT	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	580	590	600		
10	10E0	1.4307	16,0	13,7	12,3	11,2	10,4	9,8	9,2	8,6	8,3	8,0	7,0	6,4	5,9	5,4	4,8	4,4
	10E1	1.4311	16,0	16	14,2	13,3	12,7	12,2	11,8	11,5	11,3							
	11E0	1.4301	16,0	14,5	13,1	11,9	11	10,3	9,8	9,5	9,3	9,1	7,3	6,4	5,9	5,1	4,8	4,4
	12E0	1.4541	16,0	15,8	14,2	14,1	13,4	12,7	12,2	11,8	11,6	11,3	10,8	9,8	8,9	8,1	7,3	6,5
	12E1	1.4550	16,0	16,0	14,8	14,1	13,4	12,7	12,2	11,8	11,6	11,3						
	13E0	1.4494	16,0	16,1	13,7	12,7	11,8	11	10,5	10,2	10	9,7						
	14E0	1.4401	16,0	16,0	14,5	13,4	12,7	11,8	11,4	10,9	10,7	10,4	10,4	10,3	10,1	10,0	9,3	8,9
	16E0	1.4571	16,0	16,0	15,6	14,3	14,1	13,3	12,8	12,4	12,2	12						
	18E0	1.4682	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0											
	19E0	1.4948	16,0	14,5	13,1	11,9	11,2	10,4	10,0	9,8	9,3	8,9	8,8	8,4	8,2	8,1	7,4	6,7
	12E0	1.4941	16,0	13,3	14,5	13,7	13,4	13,1	12,7	12,3	11,9	11,5	11,2	10,8	10,6	9,6	8,6	7,7

Table G.4.1.5 – PN 25

PN	Group	Material- No.	max. allowable temperature 15 °C															
			RT	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	580	590	600		
25	10E0	1.4307	25,0	21,5	19,2	17,5	16,3	15,1	14,4	13,8	13,3	12,9	10,9	10,7	9,2	8,5	7,7	7,0
	10E1	1.4311	25,0	25,0	23,0	22,2	20,8	19,8	19,1	18,5	18,1	17,7						
	11E0	1.4301	25,0	22,7	20,4	18,9	17,2	16,0	15,3	14,8	14,5	14,2	12,9	10,1	9,2	8,5	7,7	7,0
	12E0	1.4541	25,0	24,7	23,3	22,1	21,0	19,8	19,1	18,5	18,1	17,7	15,9	15,3	14,0	12,7	11,4	10,2
	12E1	1.4550	25,0	25,0	23,3	22,1	21,0	19,3	19,1	18,5	18,1	17,7						
	13E0	1.4404	25,0	21,6	21,5	19,8	18,6	17,2	16,5	16,3	15,6	15,2						
	14E0	1.4401	25,0	25,0	22,7	21,0	19,3	18,5	17,8	17,1	16,8	16,6	16,3	16,0	15,3	15,6	14,4	14,0
	15E0	1.4571	25,0	25,0	24,5	23,3	22,1	20,8	20,1	19,6	19,1	18,8	18,8	18,3	18,3	18,7	18,2	17,8
	16E0	1.4682	25,0	26,0	26,0	25,0	25,0											
	11E0	1.4948	25,0	22,7	20,4	18,8	17,6	16,3	15,7	15,1	14,5	14,0	13,4	13,1	12,9	12,7	11,6	10,3
	12E0	1.4941	25,0	23,0	22,7	21,5	20,8	20,4	19,8	19,2	18,6	18,0	17,5	17,0	16,6	16,1	15,2	14,1

## V – 06 Middelverdier for Drammensområdet – Meteorologisk Institutt.

### MÅNEDSVERDIER - ELEMENTVIS M/STATISTIKK

Stasjoner

Stnr Navn I drift fra I drift til Hoh Breddegrad Lengdegrad

Kommune Fylke Region  
 26890 DRAMMEN - MARIENLYST mai 1966 okt 2003 3 59,7372 10,2020  
 DRAMMEN BUSKERUD ØSTLANDET

26900 DRAMMEN - BERSKOG sep 2004 8 59,7537 10,1237  
 DRAMMEN BUSKERUD ØSTLANDET

Elementer

Kode Navn Enhet  
 FFM Middel av vindhastigheter (hovedobservasjoner) m/s  
 TAM Middeltemperatur °C

#### 26890 DRAMMEN - MARIENLYST, Middeltemperatur (TAM)

År	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	Sum	Middel	Normal	Avvik
1971	-3,8	-0,2	-2,0	5,0	11,9	14,4	16,8	15,0	11,6	7,1		-0,1	5,5			
1972	-7,2	-4,3	-0,4	4,8	11,3	14,0		14,6	10,0	6,9	1,1	0,7	5,5			
1973	-0,6	-0,3	3,9	4,7	10,8	16,1	18,8	15,3	10,6	3,6	-2,1	-3,5	6,4	5,5		0,9
1974	-0,5	-0,3	1,0	7,5	11,4	15,2	15,8	15,5	11,8	5,3	1,0	-2,0	6,8	5,5		1,3
1975	-0,1	-5,2	0,6	4,7	11,2	14,9	18,7	18,9	12,2	6,9	2,1	0,7	7,1	5,5		1,6
1976	-6,2	-3,1	-0,7	5,9	11,6	16,2	18,9	18,0	9,7	5,1	0,4	-5,9	5,8	5,5		0,3
1977	-5,7	-7,5	0,4											5,5		
1978														5,5		
1979														5,5		
1980														5,5		
1981	-5,4	-4,6	-1,9	4,7	12,1	13,5	16,6	15,5	12,3	5,3	0,0	-10,8	4,8	5,5		-0,7
1982	-9,9	-4,5	1,7	5,6	10,3	14,5		16,5	12,3	6,1	1,5	-3,2		5,5		
1983	0,3	-5,8	1,9	5,5	10,4	14,6		17,2	11,4	7,4	0,7	-1,7		5,5		
1984	-6,5	-3,9	-1,3	5,5	12,6	15,1		16,5	10,2	7,8	3,3	0,2		5,5		
1985	-9,7	-10,6	-0,2	3,0	11,6	14,8		14,8	8,9	7,5	-2,0	-9,0		5,5		
1986	-9,8	-10,1	0,9	3,1	11,1	16,9		13,4	9,2	6,7	4,0	-1,8		5,5		
1987	-13,8	-5,6	-4,9	5,0	10,0	12,8			9,4	7,8	0,2	-3,3		5,5		
1988	0,2	-1,4	-1,3	3,7	12,6	19,1		15,7	12,4	5,0	-1,0	-4,0		5,5		
1989	2,2	3,0	3,8	5,7	12,1	16,0		14,5	11,5	6,9	2,2	-3,9		5,5		
1990	0,9	3,8	5,8	7,4	13,3	15,8		16,5	10,9	6,4	-0,6	-1,6		5,5		
1991	-4,2	-5,2	2,1	6,1	11,9	12,1		17,2	12,1	6,1	2,2	-0,3		5,5		
1992		0,0	3,7	5,3	14,3			11,6	3,6	0,3	-1,4			5,5		
1993	-0,2	-0,2	1,7		13,5	15,0		9,5	4,8	-0,5	-3,9			5,5		
1994	-5,5	-9,1	0,9	6,6	11,6	15,5		10,6	5,4	1,3	-1,2			5,5		
1995	-3,5	-0,3	1,6	5,0	10,6	15,8		18,5	11,6	9,1	-0,5	-7,9		5,5		
1996	-6,1	-7,5	-0,8	5,4	9,7	15,9	16,7	18,3	10,1			-6,2		5,5		
1997	-6,4	-0,5	2,6	5,7	10,1	16,8	20,0	20,6	12,5					5,5		
1998	-1,5	1,4	0,8		12,3		16,1	14,6		5,4	-0,9	-1,3		5,5		
1999	-2,7	-2,7	0,7	6,3	10,1	14,4	17,7	15,8	14,3	6,4				5,5		
2000					13,0			15,6	10,6	9,4		0,6		5,5		
2001	-3,9		-2,7								2,1	-4,6		5,5		
2002	-4,0	-0,1	2,2	7,2	13,1	16,9						-6,9		5,5		
2003	-4,5	-3,5							12,3	3,0				5,5		

Antall	28	28	28	24	27	24	10	22	26	25	22	26
Laveste	-13,8	-10,6	-4,9	3,0	9,7	12,1	15,8	13,4	8,9	3,0	-2,1	-10,8
År	1987	1985	1987	1985	1996	1991	1974	1986	1985	2003	1973	1981
Høyeste	2,2	3,8	5,8	7,5	14,3	19,1	20,0	20,6	14,3	9,4	4,0	0,7
År	1989	1990	1990	1974	1992	1988	1997	1997	1999	2000	1986	1972

Sum

Middel -4,2 -3,2 0,7 5,4 11,6 15,3 17,6 16,3 11,1 6,2 0,7 -3,2  
 Normal -5,6 -5,1 -0,5 4,8 11,0 15,6 16,8 15,5 11,1 6,5 0,2 -4,1

#### 26890 DRAMMEN - MARIENLYST, Middel av vindhastigheter (hovedobservasjoner) (FFM)

År	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	Sum	Middel
1971	1,0	1,3	1,1	1,6	1,9	2,0	1,9	1,9	1,9	4,2		3,7		
1972	4,3	4,2	4,9	5,4	5,3	4,0		3,7	3,4	2,9	3,1	3,3		
1973	3,2	3,7	4,3	5,0	4,5	4,7	4,4	3,3	3,4	3,0	3,8	3,7		3,9
1974	3,4	3,6	3,4	4,2	4,8	4,9	3,5	4,4	4,4	4,8	3,4	3,5		4,0
1975	4,0	3,2	3,9	5,1	5,3	5,5	3,6	3,6	4,0	3,5	3,2	4,8		4,1
1976	4,8	3,9	5,4	5,8	6,0	6,0	3,9	4,6	4,1	4,1	4,1	4,9		4,8
1977	4,4	5,4	5,6											

# Vedlegg

1978														
1979														
1980														
1981	1,6	1,6	1,4	2,4	1,8	2,0	2,0	1,6	2,2	1,2	1,1	1,7		1,7
1982	0,9	0,9	1,2	2,5	1,9	2,6		2,5	3,0	1,6	1,2	1,2		
1983	1,4	1,2	1,5	1,5	2,0	2,7		1,8	1,9	2,7	1,1	1,7		
1984	1,3	0,4	1,1	1,6	1,3	2,0		1,3	1,6	1,3	1,3	0,6		
1985	0,7	0,5	1,1	1,3	1,2	1,0		1,7	1,3	1,1	1,1	0,2		
1986	0,3	0,7	1,1	1,0	2,1	1,7		1,2	0,8	0,8	0,9	1,3		
1987	0,7	0,2	0,5	0,4	1,5	1,3			0,7	1,5	0,1	0,6		
1988	0,4	0,3	0,3	0,7	0,5	0,7		0,7	1,0	0,8	0,7	0,6		
1989	1,8	1,3	0,6	0,7	2,1	2,0		0,9	0,3	1,1	0,5	0,4		
1990	1,1	1,5	2,5	1,3	2,4	1,9		1,5	1,7	1,8	0,7	0,5		
1991	0,3	0,4	0,3	1,4	2,6	0,8		0,6	1,2	0,8	0,6	0,7		
1992		0,7	0,9	0,9	1,1				0,7	1,5	0,4	0,3		
1993	2,2	0,9	1,2		1,3	2,2			0,9	0,4	0,2	0,7		
1994	0,6	0,2	0,9	0,9	1,3	2,6			0,8	0,4	0,2	0,4		
1995	0,8	0,8	0,8	0,8	1,3	1,1		0,4	0,6	1,0	0,4	0,3		
1996	0,2	0,4	0,8	0,4	1,0	1,2	1,5	0,8	0,5			0,2		
1997	0,1	0,9	1,4	1,9	0,6	0,8	0,7	0,5	0,8					
1998	0,2	0,9	0,8		1,2		0,9	1,1		0,4	0,2	0,6		
1999		0,8	0,4	0,6		0,8	1,5	0,7		0,4				
2000					1,5			1,2	0,5	0,6		0,3		
2001	0,4										1,2	0,8		
2002	0,3	0,5	1,1	0,9	1,4	1,2						0,6		
2003	0,5	0,3						0,9	0,3					

Antall	27	28	27	24	26	24	10	22	25	25	22	26		
Laveste	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,7	0,4	0,3	0,3	0,1	0,2		
År	1997	1987	1988	1987	1988	1988	1997	1995	1989	2003	1987	1985		
Høyeste	4,8	5,4	5,6	5,8	6,0	6,0	4,4	4,6	4,4	4,8	4,1	4,9		
År	1976	1977	1977	1976	1976	1976	1973	1976	1974	1974	1976	1976		

Sum														
Middel	1,5	1,5	1,8	2,0	2,2	2,3	2,4	1,8	1,7	1,7	1,3	1,4		

## 26900 DRAMMEN - BERSKOG, Middeltemperatur (TAM)

År	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	Sum	Middel	Normal	Avvik %
2004										6,2	0,0	-1,0		5,5		
2005	1,3	-1,1	-1,0	7,0	10,0	14,5	18,6	16,2	12,3	6,9	4,2	-2,4	7,2	5,5	1,7	
2006	-3,4	-4,4	-4,5	4,7	11,6	16,5	20,5	17,7	14,9	7,9	2,8	1,8	7,2	5,5	1,7	
2007	-1,9	-3,7	3,7	7,9	11,2	16,9	16,4	16,4	11,1	6,6	1,0	-3,3	6,9	5,5	1,4	
2008	0,3	1,6	1,1	6,3	12,2	15,7	18,7	15,5	10,6	6,8	1,1	-2,9	7,2	5,5	1,7	
2009	-3,3	-6,6	1,3	7,3	11,8	15,8	17,5	16,0	12,7	3,2	2,6	-5,7	6,0	5,5	0,5	
2010	-10,0	-8,2	-0,8	5,6	10,6	15,1	18,0	16,0	10,9	4,8	-3,3	-13,2	3,8	5,5	-1,7	
Antal	6	6	6	6	6	6	6	6	6	7	7	7				
Laveste	-10,0	-8,2	-4,5	4,7	10,0	14,5	16,4	15,5	10,6	3,2	-3,3	-13,2				
År	2010	2010	2006	2006	2005	2005	2007	2008	2008	2009	2010	2010				
Høyeste	1,3	1,6	3,7	7,9	12,2	16,9	20,5	17,7	14,9	7,9	4,2	1,8				
År	2005	2008	2007	2007	2008	2007	2006	2006	2006	2006	2005	2006				
Sum																
Middel	-2,8	-3,7	-0,0	6,5	11,2	15,7	18,3	16,3	12,1	6,1	1,2	-3,8				
Normal	-5,4	-4,7	-0,4	4,8	11,1	15,6	17,1	15,5	10,6	6,1	-0,1	-4,1				

## 26900 DRAMMEN - BERSKOG, Middel av vindhastigheter (hovedobservasjoner) (FFM)

År	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	Sum	Middel		
2004													1,5			
2005				2,2	2,4				1,8	1,4						
2006	1,9	1,8		1,9	2,1	2,3	2,0	1,5	1,8	1,4	1,4	1,5				
2007	2,0	1,8	1,8	2,7	2,1	1,8	1,8	1,8	2,2	1,5	1,9	1,6		1,9		
2008	2,1	2,1	2,3	1,6	1,7	2,3	1,9	1,5	1,3	1,7	1,9	1,7		1,8		
2009	1,9	1,6	1,8	1,5	2,3		1,9	1,8	2,0	1,6	2,1	1,7				
2010	1,7	1,4	1,4	1,9	1,9	2,2	2,1	1,8	1,6	1,7	1,4	1,5		1,7		
Antall	5	5	4	6	6	4	5	5	6	6	5	6				
Laveste	1,7	1,4	1,4	1,5	1,7	1,8	1,8	1,5	1,3	1,4	1,4	1,5				
År	2010	2010	2010	2009	2008	2007	2007	2006	2008	2005	2006	2004				
Høyeste	2,1	2,1	2,3	2,7	2,4	2,3	2,1	1,8	2,2	1,7	2,1	1,7				
År	2008	2008	2008	2007	2005	2006	2010	2007	2007	2008	2009	2008				
Sum																
Middel	1,9	1,7	1,8	2,0	2,1	2,2	1,9	1,7	1,8	1,5	1,7	1,6				

-----  
Data er gyldig per 17.02.2011 © met.no

## V – 07 Resultater fra Glava Gti 5.0 – Linjestrekk C.

## Økonomi:


 GTI Beregningsprogram for teknisk isolasjon  
 Økonomisk isolasjon

Programversjon : 3.04

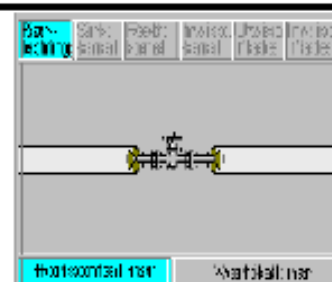
Tid/Dato : 17:08 05.04.2011

Lisensinnehaver : Universitetet for miljø- og biovitenskap

Prosjekt navn : Rørstrekk - D

Beregninger utført av : Fredrik Romsaas

Filnavn : C:\Users\Fredrik\Documents\Masteroppgave\GTI 5.0-beregninger\Rørstrekk - C-2.gti



Isolasjonstykkelse/pris	Varmetap	Utv. varmeovergangstall
Faroc Pro Section 100, 80.0, 850.00 kr/m (standardløsning)	52.6 W/m	17.3 W/m <sup>2</sup> K
Faroc Pro Section 100, 90.0, 950.00 kr/m	41.6 W/m	17.1 W/m <sup>2</sup> K
Faroc Pro Section 100, 100.0, 1150.00 kr/m	34.9 W/m	17.0 W/m <sup>2</sup> K
Faroc Pro Section 100, 120.0, 1250.00 kr/m	30.4 W/m	16.9 W/m <sup>2</sup> K
Faroc Pro Section 100, 140.0, 1500.00 kr/m	27.1 W/m	16.8 W/m <sup>2</sup> K
Faroc Pro Section 100, 160.0, 1750.00 kr/m	24.6 W/m	16.7 W/m <sup>2</sup> K

Isolasjonstykkelse/pris	CO2-utslipp	energikostnad	inv. kostnad	total kostnad
Faroc Pro Section 100, 80.0, 850.00 kr/m (standardløsning)	0 kg/m	189.51 kr/m	80.23 kr/m	209.75 kr/m
Faroc Pro Section 100, 90.0, 950.00 kr/m	0 kg/m	149.91 kr/m	89.67 kr/m	239.59 kr/m
Faroc Pro Section 100, 100.0, 1150.00 kr/m	0 kg/m	125.72 kr/m	108.55 kr/m	234.27 kr/m
<b>Faroc Pro Section 100, 120.0, 1250.00 kr/m</b>	<b>0 kg/m</b>	<b>109.36 kr/m</b>	<b>117.99 kr/m</b>	<b>227.35 kr/m</b>
Faroc Pro Section 100, 140.0, 1500.00 kr/m	0 kg/m	97.54 kr/m	141.59 kr/m	239.13 kr/m
Faroc Pro Section 100, 160.0, 1750.00 kr/m	0 kg/m	88.57 kr/m	165.19 kr/m	253.76 kr/m

Isolasjonstykkelse/pris	Tilbakebetalingstid (inntjeningstid)
Faroc Pro Section 100, 80.0, 850.00 kr/m	2.9 År
Faroc Pro Section 100, 100.0, 1150.00 kr/m	5.9 År
Faroc Pro Section 100, 120.0, 1250.00 kr/m	6.4 År
Faroc Pro Section 100, 140.0, 1500.00 kr/m	10.1 År
Faroc Pro Section 100, 160.0, 1750.00 kr/m	14.5 År

## Vedlegg

Økonomisk isolasjon	Inndataverdier
Rør-/kanal-type	Rørledning
Rør/kanal diameter	324.0 mm
Medietemperatur	60.0 °C
Omgivelsestemperatur	6.3 °C
Omgivelser	Utendørs (tvungen konveksjon)
Vindhastighet	1.8 m/s
Driftstid	7200 timer/år
Energipris	50.0 øre/kWh
CO2-utslipp	0 g/kWh
Avskrivningstid	20.0 år
Prisstigning energi	0.00 %
Realrente investering	1.00 %

### Varmetapsberegninger:

Varmetapsberegning	Resultater
Overflatetemperatur isolasjon	7.0 °C
Varmetap	24.6 W/m
Uvendig varmeovergangstall	16.7 W/m <sup>2</sup> K
Totalt varmetap	221.12 W
Årlig energitap	159204 kWh/år
Årlig energikost	79602 kr/år
Varmetap uten isolasjon (emissivitet=0.5)	1541.2 W/m
Årlig energitap uten isolasjon	9987068 kWh/år
Årlig energikost uten isolasjon	4993534 kr/år
Beregnet isolasjonsmengde	1820.87 m <sup>2</sup>
Spart CO2-utslipp pga. isolasjon	0 kg

Varmetapsberegning	Inndataverdier
Rør-/kanal-type	Rørledning
Rør/kanal diameter	324.0 mm
Rør-/kanal-lengde	900.00 m
Beregningskriterie	Gitt isolasjonstykkelse
Tykkelse isolasjonslag 1	160.0 mm
Isolasjonsprodukt lag 1 (GLAVA)	Paroc Pro Section 100
Mantling	Kledning av aluminium
Emissivitet overflate	0.18
Medietemperatur	60.0 °C
Omgivelsestemperatur	6.3 °C
Omgivelser	Utendørs (vungen konveksjon)
Vindhastighet	1.8 m/s
Driftstid	7200 timer/år
Energipris	50.0 øre/kWh
CO2-utslipp	0 g/kWh
Usolete oppbeholdninger	Nei

## V – 08 Resultater fra Glava Gti 5.0 – Linjestrekk D.

## Økonomi:


 GTI Beregningsprogram for teknisk isolasjon  
 Økonomisk isolasjon

Programversjon : 5.04

Tid/Dato : 17:08 05.04 2011

Lisensinnehaver : Universitetet for miljø- og biovitenskap

Prosjektnavn : Rørstrekk - D

Beregninger utført av : Fredrik Romsaas

Filnavn: C:\Users\Fredrik\Documents\Masteroppgave\GTI 5.0-beregninger\Rørstrekk - D-2.gti



Isolasjonstykkelse/pris	Varmetap	Utv. varmeovergangstall
Paroc Pro Section 100, 80.0, 850.00 kr/m (standardløsning)	143.2 W/m	17.3 W/m <sup>2</sup> K
Paroc Pro Section 100, 80.0, 950.00 kr/m	113.3 W/m	17.2 W/m <sup>2</sup> K
Paroc Pro Section 100, 100.0, 1150.00 kr/m	95.0 W/m	17.0 W/m <sup>2</sup> K
Paroc Pro Section 100, 120.0, 1250.00 kr/m	82.6 W/m	16.9 W/m <sup>2</sup> K
Paroc Pro Section 100, 140.0, 1500.00 kr/m	73.8 W/m	16.8 W/m <sup>2</sup> K
Paroc Pro Section 100, 160.0, 1750.00 kr/m	67.0 W/m	16.7 W/m <sup>2</sup> K

Isolasjonstykkelse/pris	CO2-utslipp	energikostnad	inv. kostnad	total kostnad
Paroc Pro Section 100, 80.0, 850.00 kr/m (standardløsning)	0 kg/m	515.42 kr/m	80.23 kr/m	595.65 kr/m
Paroc Pro Section 100, 80.0, 950.00 kr/m	0 kg/m	407.73 kr/m	89.67 kr/m	497.41 kr/m
Paroc Pro Section 100, 100.0, 1150.00 kr/m	0 kg/m	341.83 kr/m	108.55 kr/m	450.48 kr/m
Paroc Pro Section 100, 120.0, 1250.00 kr/m	0 kg/m	297.44 kr/m	117.99 kr/m	415.43 kr/m
Paroc Pro Section 100, 140.0, 1500.00 kr/m	0 kg/m	265.63 kr/m	141.59 kr/m	407.22 kr/m
Paroc Pro Section 100, 160.0, 1750.00 kr/m	0 kg/m	241.21 kr/m	165.19 kr/m	406.40 kr/m

Isolasjonstykkelse/pris	Tilbakebetalingstid (inntjeningstid)
Paroc Pro Section 100, 80.0, 850.00 kr/m	1.0 År
Paroc Pro Section 100, 100.0, 1150.00 kr/m	1.9 År
Paroc Pro Section 100, 120.0, 1250.00 kr/m	2.0 År
Paroc Pro Section 100, 140.0, 1500.00 kr/m	3.0 År
Paroc Pro Section 100, 160.0, 1750.00 kr/m	3.9 År

## Vedlegg

Økonomisk isolasjon	Inndataverdier
Rør-/kanal-type	Rørledning
Rør/kanal diameter	324.0 mm
Medietemperatur	180.0 °C
Omgivelsestemperatur	6.3 °C
Omgivelser	Utendørs (vungen konveksjon)
Vindhastighet	1.8 m/s
Driftstid	7200 timer/år
Energipris	50.0 øre/kWh
CO2-utslipp	0 g/kWh
Avskrivningstid	20.0 år
Prisstigning energi	0.00 %
Realrente investering	7.00 %

### Varmetapsberegninger:

Varmetapsberegning	Resultater
Overflatetemperatur isolasjon	8.3 °C
Varmetap	56.8 W/m
Uvendig varmeovergangstall	16.7 W/m <sup>2</sup> K
Totalt varmetap	60087 W
Årlig energitap	432626 kWh/år
Årlig energikost	216313 kr/år
Varmetap uten isolasjon (emissivitet=0.5)	4018.6 W/m
Årlig energitap uten isolasjon	26040748 kWh/år
Årlig energikost uten isolasjon	13020374 kr/år
Beregnet isolasjonsmengde	1818.04 m <sup>2</sup>
Spart CO2-utslipp pga. isolasjon	0 kg

Varmetapsberegning	Inndataverdier
Rør-/kanal-type	Rørledning
Rør/kanal diameter	323.0 mm
Rør-/kanal-lengde	900.00 m
Beregningskriterie	Gitt isolasjonstykkelse
Tykkelse isolasjonslag 1	160.0 mm
Isolasjonsprodukt lag 1 (GLAVA)	Paroc Pro Section 100
Mantling	Kledning av aluminium
Emissivitet overflate	0.18
Medietemperatur	180.0 °C
Omgivelsestemperatur	6.3 °C
Omgivelser	Utendørs (vungen konveksjon)
Vindhastighet	1.8 m/s
Driftstid	7200 timer/år
Energipris	50.0 øre/kWh
CO2-utslipp	0 g/kWh
Usolene opphegninger	Nei

## V – 09 Karakteristisk snølast – NS 3491-3:2001.

Side 16  
NS 3491-3:2001

**04 Hedmark**

$s_k$ -verdien økes f.o.m. beregnet høydegrense  $H_g$  over kommunesenter (se A.1 (4)) med  $\Delta s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$  for hver 100 m høydeøkning, inntil  $6,5 \text{ kN/m}^2$ , med unntak for områder nær grensen mot Trøndelag. Her bør  $7,5 \text{ kN/m}^2$  brukes som øvre grense.

Kommune:	kN/m <sup>2</sup>	Kommune:	kN/m <sup>2</sup>
0402 Kongsvinger	3,5	0419 Sør-Odal	3,5
0403 Hamar	3,5	0420 Eidskog	3,5
0412 Ringsaker	3,5	0423 Grue	3,5
0415 Løten	4,0	0425 Åsnes	3,5
0417 Stange	3,5	0426 Våler	4,0
0418 Nord-Odal	3,5	0427 Elverum	4,0
0428 Trysil	4,0	0436 Tolga	4,5
0429 Åmot	4,0	0437 Tynset	4,0 <sup>1)</sup>
0430 Stor-Elvdal	4,0	0438 Alvdal	4,0
0432 Rendalen	4,0	0439 Folldal	4,0
0434 Engerdal	4,0	0441 Os	4,5

<sup>1)</sup> Kvikne 4,5 kN/m<sup>2</sup>.

**05 Oppland**

$s_k$ -verdien økes f.o.m. beregnet høydegrense  $H_g$  over kommunesenter (se A.1 (4)) med  $\Delta s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$  for hver 100 m høydeøkning, inntil  $6,5 \text{ kN/m}^2$ , med unntak for områder nær grensen mot Sogn og Fjordane, Møre og Romsdal og Trøndelag. Her bør  $7,5 \text{ kN/m}^2$  brukes som øvre grense.

Kommune:	kN/m <sup>2</sup>	Kommune:	kN/m <sup>2</sup>
0501 Lillehammer	4,5	0528 Østre Toten	4,5
0502 Gjøvik	4,5	0529 Vestre Toten	4,5
0511 Dovre	4,0	0532 Jevnaker	4,0
0512 Løsjø	4,0	0533 Lunner	4,5
0513 Skjåk	3,5	0534 Gran	4,0
0514 Lom	3,5	0536 Søndre Land	4,5
0515 Vågå	3,5	0538 Nordre Land	4,5
0516 Nord-Fron	4,0	0540 Sør-Aurdal	4,5
0517 Sel	3,5	0541 Etnedal	4,5
0519 Sør-Fron	4,0	0542 Nord-Aurdal	4,5
0520 Ringebu	4,0	0543 Vestre Slidre	4,5
0521 Øyer	4,0	0544 Øystre Slidre	4,5
0522 Gausdal	4,5	0545 Vang	4,5

**06 Buskerud**

For kystkommunene økes  $s_k$ -verdien med  $\Delta s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$  for hver 100 m høydeøkning f.o.m. 150 m o.h. For øvrige kommuner økes  $s_k$ -verdien med  $\Delta s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$  for hver 100 m høydeøkning f.o.m. beregnet høydegrense  $H_g$  over kommunesenter (se A.1 (4)), inntil  $6,5 \text{ kN/m}^2$ , utenom nær grensen mot Hordaland og Sogn og Fjordane. Her bør  $7,5 \text{ kN/m}^2$  brukes som øvre grense.

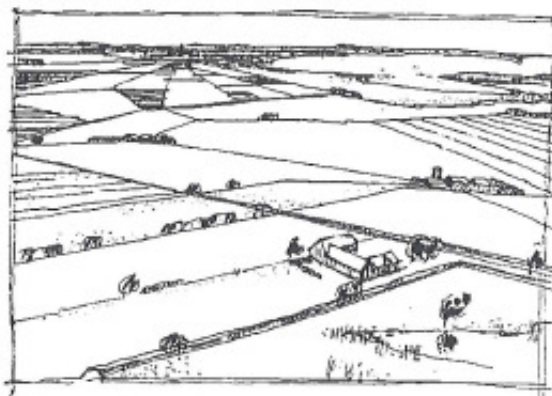
Kommune:	kN/m <sup>2</sup>	Kommune:	kN/m <sup>2</sup>
0602 Drammen	3,5	0622 Krødsherad	4,5
0604 Kongsberg	5,0	0623 Modum	4,5
0605 Ringerike	3,5	0624 Øvre Eiker	4,5
0612 Hole	3,0	0625 Nedre Eiker	3,5
0615 Flå	3,5	0626 Lier	3,5



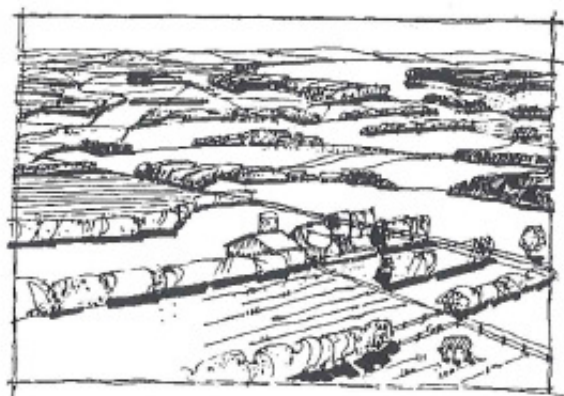
**V – 10 Terrengruhetskategorier og tilhørende parametere.**

Tabell 1 – Terrengruhetskategorier og tilhørende parametere

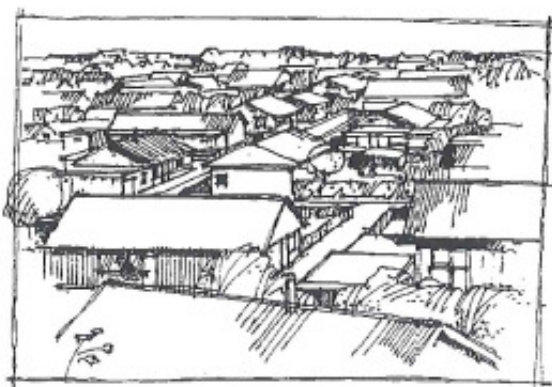
Kategorinummer	Terrengruhetskategori	$k_T$	$z_0$ (m)	$z_{min}$ (m)
0	Åpent opprørt hav	0,16	0,003	2
I	Kystnær, opprørt sjø. Åpne vidder og strandsoner uten trær eller busker	0,17	0,01	2
II	Landbruksområde, område med spredte små bygninger eller trær	0,19	0,05	4
III	Sammenhengende småhusbebyggelse, industriområder eller skogsområder	0,22	0,3	8
IV	Byområder der minst 15 % av arealet er dekket med bygninger og deres gjennomsnittlige høyde overskrider 15 m. Granskogområder	0,24	1	16



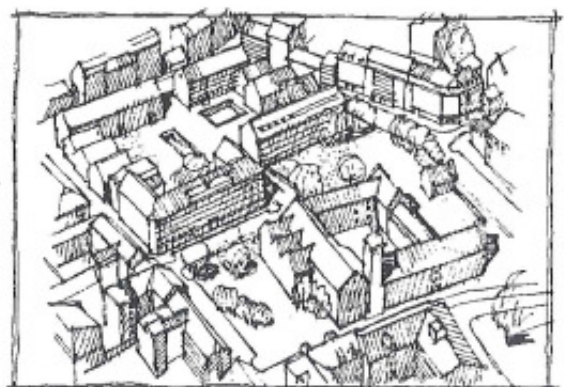
a) Terrengruhetskategori I



b) Terrengruhetskategori II



c) Terrengruhetskategori III



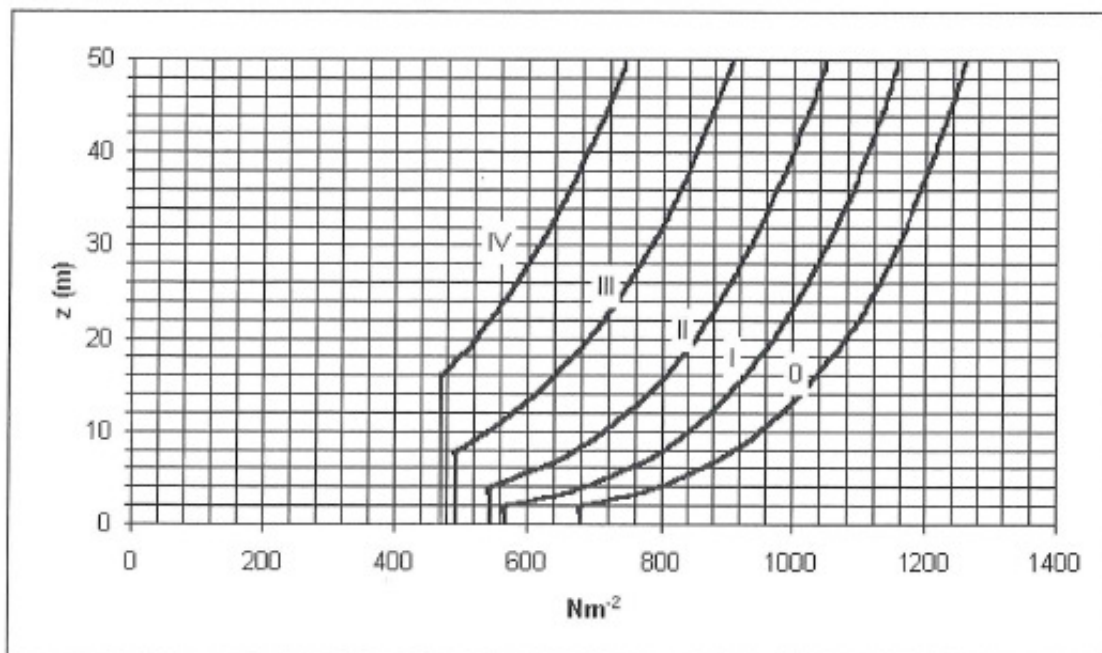
d) Terrengruhetskategori IV

Figur 1 – Eksempel på terrengruhetskategoriene I - IV

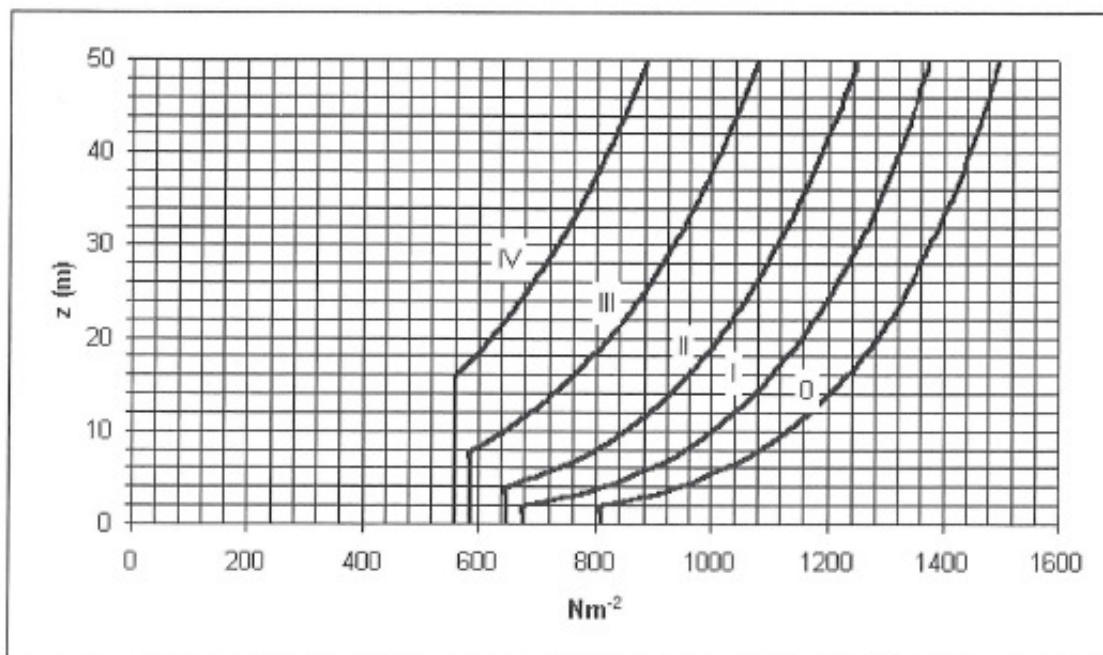
V – 11 Tabell A.1 – Referansevindhastighet  $V_{REF}$  for kommunene.Tabell A.1 – Referansevindhastighet  $v_{REF}$  for kommunene

Komm.-nr.	Kommune	$V_{REF}$ m/s	Fylke
101	Halden	24	Østfold
104	Moss	24	Østfold
105	Sarpsborg	24	Østfold
103	Fredrikstad	26	Østfold
111	Hvaler	27	Østfold
113	Aremark	22	Østfold
113	Marker	22	Østfold
121	Rømskog	22	Østfold
122	Trogestad	22	Østfold
123	Spydeberg	22	Østfold
124	Askim	22	Østfold
125	Eidsberg	22	Østfold
127	Økiptvet	22	Østfold
123	Rakkestad	22	Østfold
135	Råde	24	Østfold
136	Rygge	24	Østfold
137	Våler	24	Østfold
138	Hobøl	22	Østfold
211	Vestby	24	Østfold
213	Ski	22	Akershus
214	Ås	22	Akershus
215	Frogn	22	Akershus
216	Nesodden	22	Akershus
217	Oppegård	22	Akershus
219	Bærum	22	Akershus
220	Asker	22	Akershus
221	Aurskog-Heland	22	Akershus
226	Sørum	22	Akershus
227	Fet	22	Akershus
228	Rælingen	22	Akershus
229	Enebakk	22	Akershus
230	Lørenskog	22	Akershus
231	Skedsmo	22	Akershus
233	Nittedal	22	Akershus
234	Gjerdrum	22	Akershus
235	Ullensaker	22	Akershus
236	Nes	22	Akershus
237	Eidsvoll	22	Akershus
238	Nannestad	22	Akershus
239	Hurdal	22	Akershus
301	Oslo	22	Oslo
402	Kongsvinger	22	Hedmark
403	Hamar	22	Hedmark
412	Ringsaker	22	Hedmark
415	Lølen	22	Hedmark
417	Stange	22	Hedmark
418	Nord-Odal	22	Hedmark
419	Sør-Odal	22	Hedmark
420	Eidskog	22	Hedmark
423	Grue	22	Hedmark
425	Åsnes	22	Hedmark
425	Våler	22	Hedmark
427	Elverum	22	Hedmark
428	Trysil	22	Hedmark
429	Åmot	22	Hedmark
430	Stor-Elvdal	22	Hedmark
432	Rendalen	22	Hedmark
434	Engerdal	22	Hedmark
433	Toiga	24	Hedmark
437	Tynset	24	Hedmark
433	Alvdal	24	Hedmark
439	Folldal	24	Hedmark
441	Os	24	Hedmark
501	Lillehammer	22	Oppland
502	Gjøvik	22	Oppland
511	Dovre	24	Oppland
512	Lesja	25	Oppland
513	Skjåk	25	Oppland
514	Lom	24	Oppland
515	Vågå	23	Oppland
516	Nord-Fron	22	Oppland
517	Sel	22	Oppland
519	Sør-Fron	22	Oppland
520	Ringebu	22	Oppland
521	Øyer	22	Oppland
522	Gausdal	22	Oppland
523	Østre Toten	22	Oppland
523	Vestre Toten	22	Oppland
532	Jevnaker	22	Oppland
533	Lunner	22	Oppland
534	Gran	22	Oppland
536	Søndre Land	22	Oppland
533	Nordre Land	22	Oppland
540	Sør-Aurdal	22	Oppland
541	Etnedal	22	Oppland
542	Nord-Aurdal	22	Oppland
543	Vestre Slidre	22	Oppland
544	Øystre Slidre	22	Oppland
545	Vang	24	Oppland
602	Drammen	22	Buskerud

**V – 12 Grunnverdi for hastighetstrykk fra kastvind.**

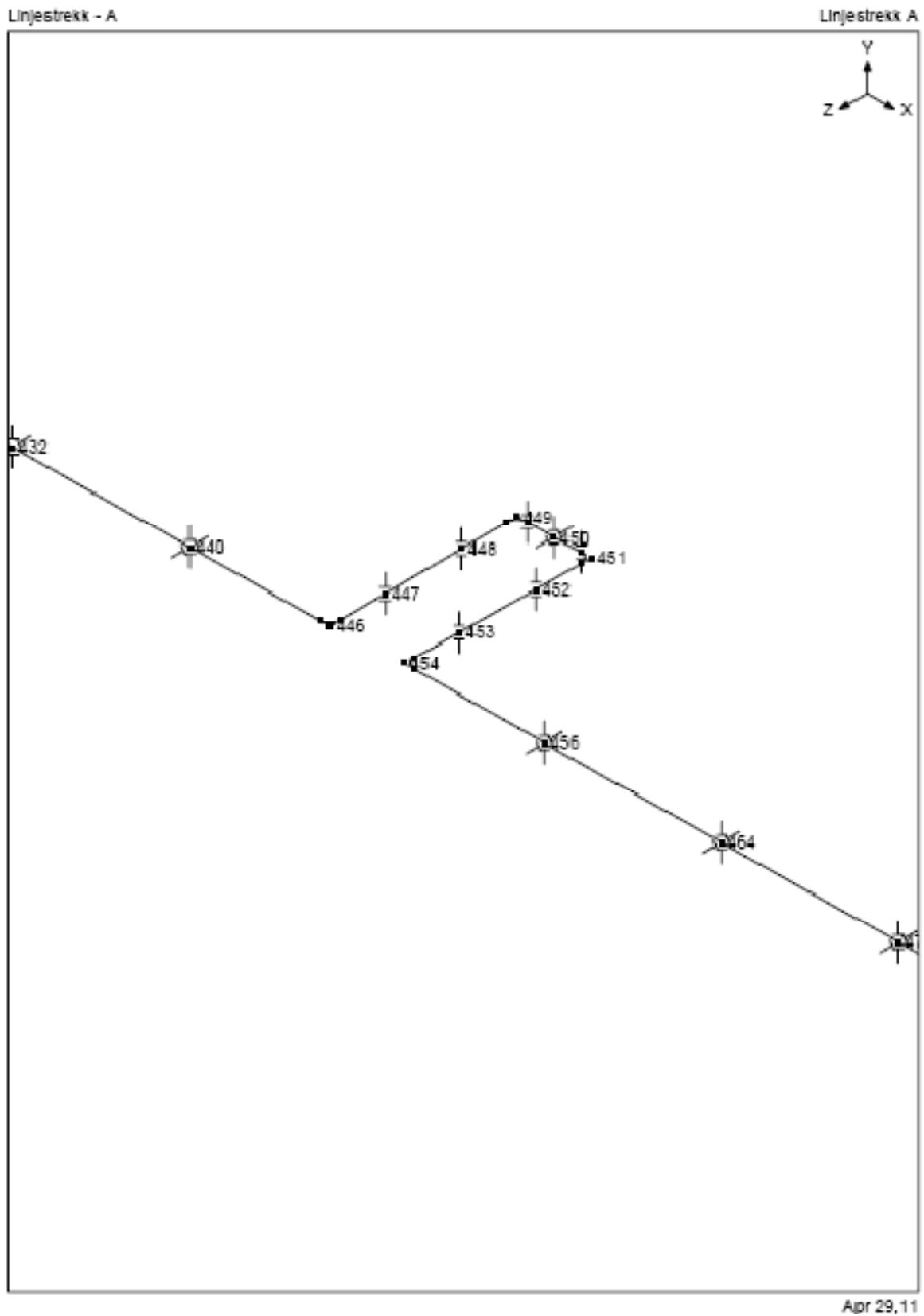


**a) Grunnverdi for hastighetstrykk fra kastvind  $q_{k0}(z)$  for  $v_{REF} = 22$  m/s**



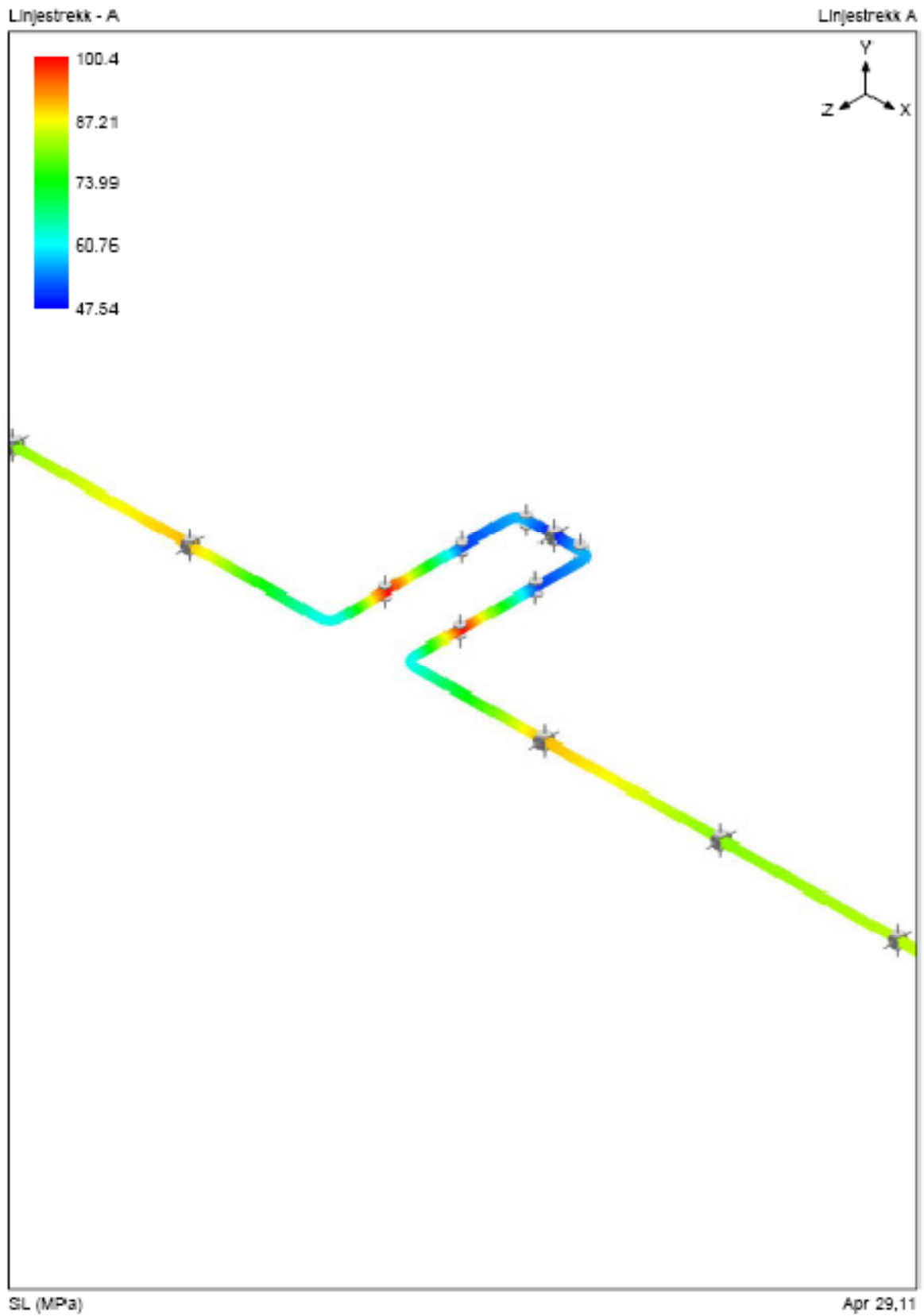
**b) Grunnverdi for hastighetstrykk fra kastvind  $q_{k0}(z)$  for  $v_{REF} = 24$  m/s**

V – 13 Nodeplott – Linjestrekk A.

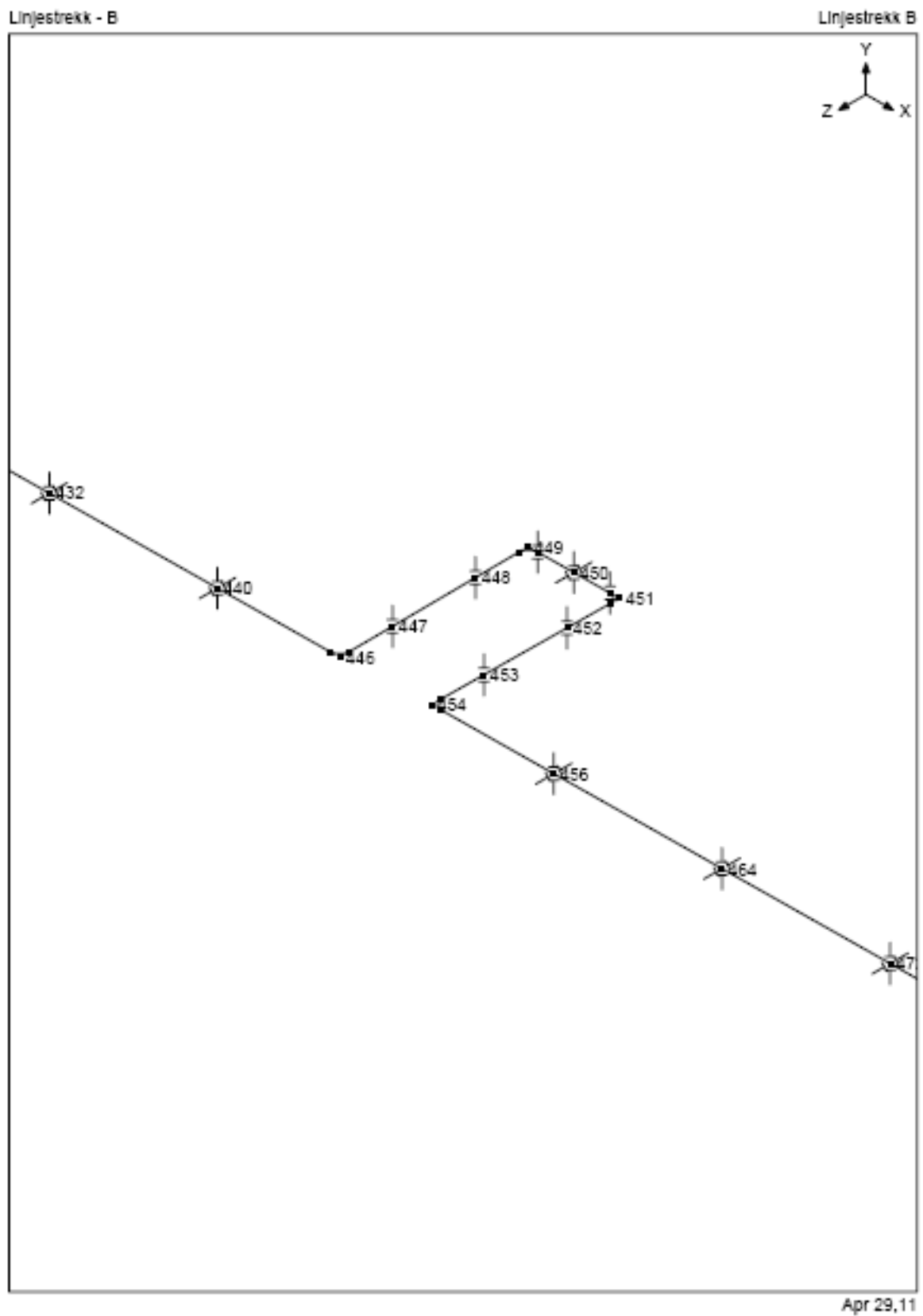




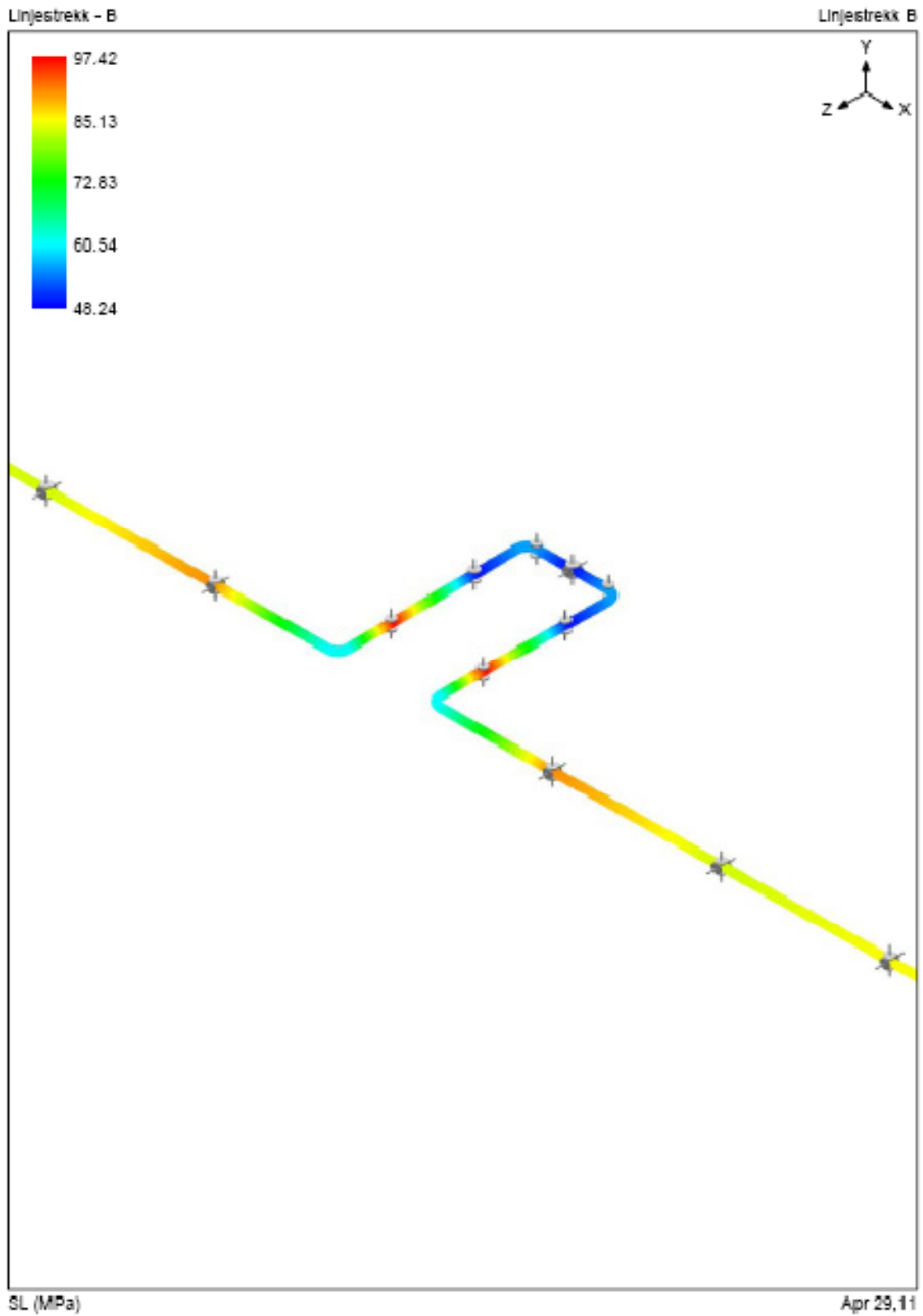
V – 14 Spenningsplott – Linjestrekk A.



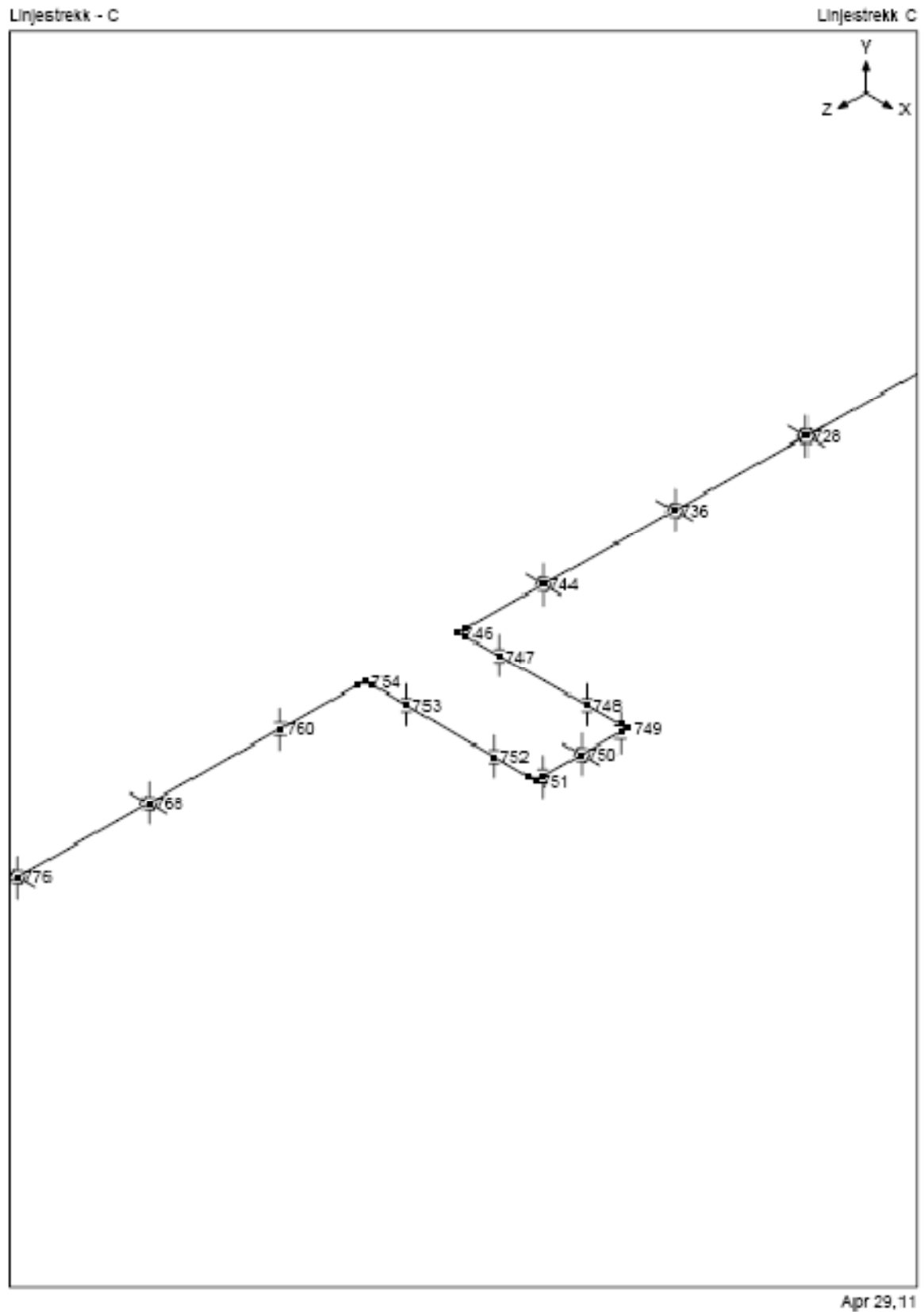
## V – 15 Nodeplott – Linjestrekk B.



V – 16 Spenningsplott – Linjestrekk B.

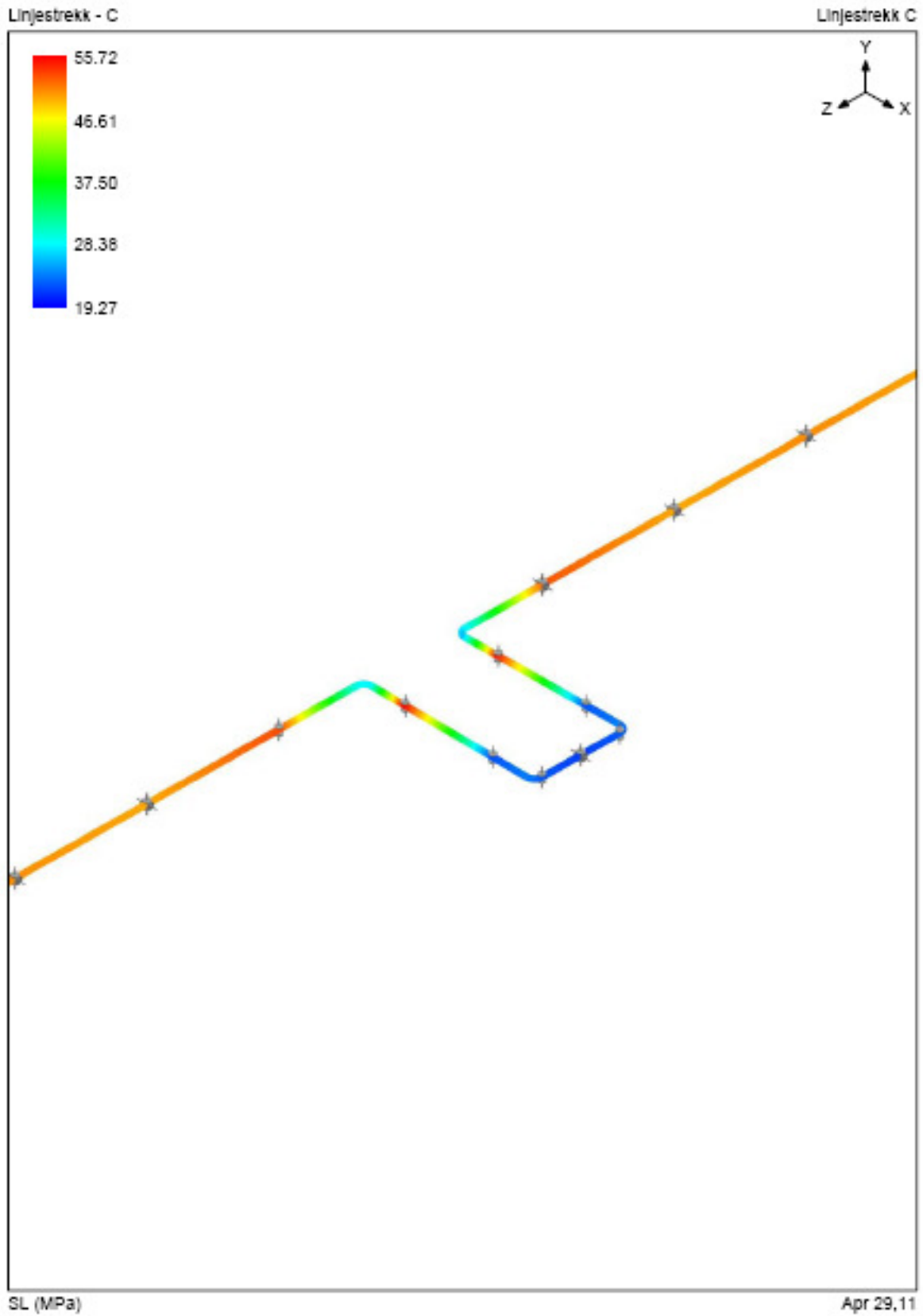


## V – 17 Nodeplott – Linjestrekk C.

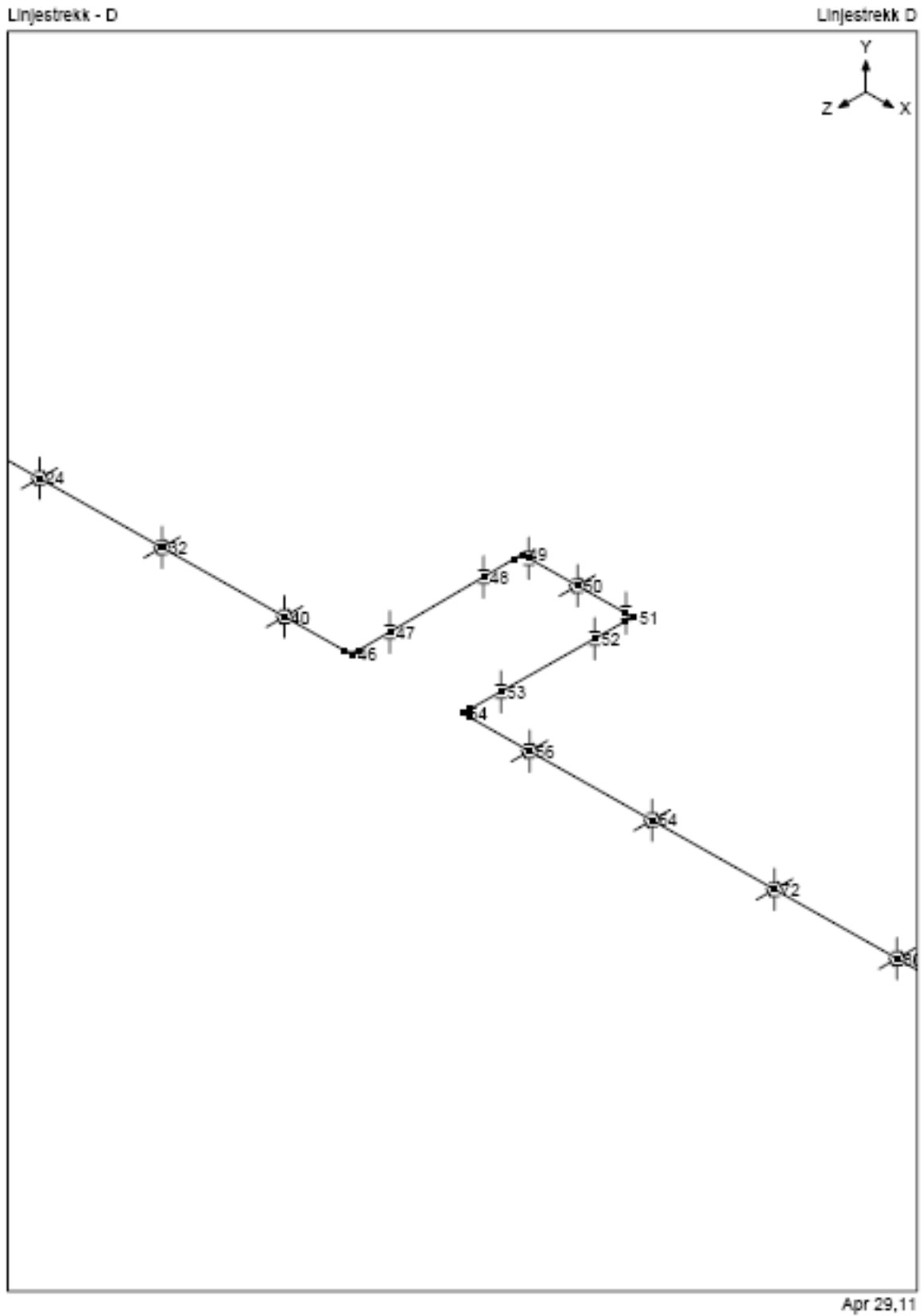




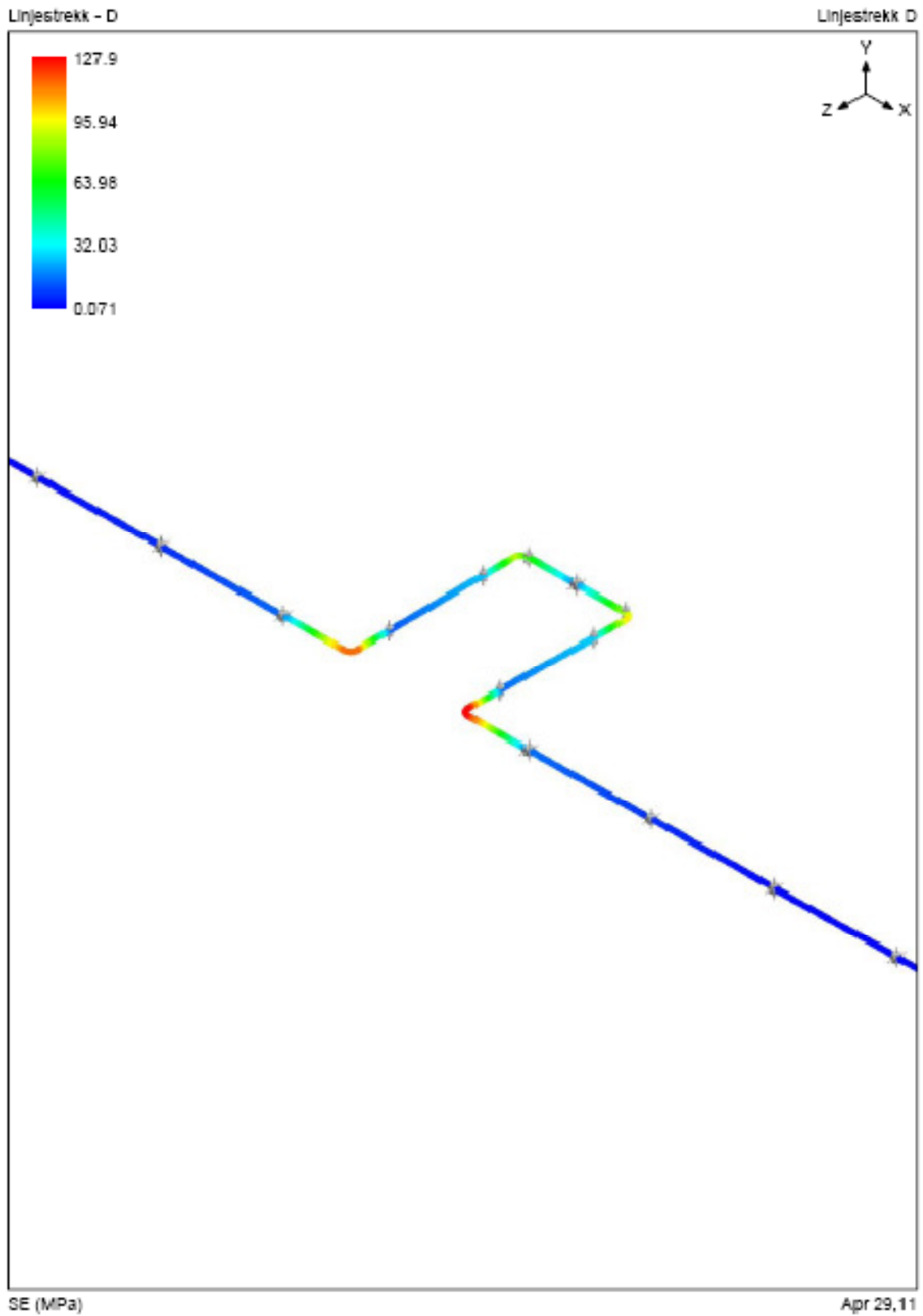
V – 18 Spenningsplott – Linjestrekk C.



V – 19 Nodeplott – Linjestrekk D.



V – 20 Spenningsplott – Linjestrekk D.





## V – 22 Bjelker og profiler fra Norsk Stål.

### Profiler:

Mål				Masse kg/m <sup>1</sup>	Tverrsnitt mm <sup>2</sup>	Overflate		Nominell lengde per tonn m	Profilmfaktor i (m <sup>-1</sup> ) A <sub>m</sub> /V og A <sub>y</sub> /V		I mm <sup>4</sup> x10 <sup>9</sup>	i mm	W <sub>x</sub> mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	W <sub>y</sub> mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	l mm <sup>4</sup> x10 <sup>3</sup>	C <sub>v</sub> mm <sup>3</sup> x10 <sup>3</sup>	
H	x	B	t			m <sup>2</sup> /m	m <sup>2</sup> /t										
20	x	20	x	2,0	1,10	140	0,075	68,2	909	535	421	7,4	7,3	0,74	3,93	12,2	1,37
25	x	25	x	2,0	1,41	180	0,095	67,4	709	523	411	15,6	9,3	1,25	1,53	25,2	1,31
25	x	25	x	3,0	2,00	254	0,092	46,0	500	362	207	20,0	0,9	1,80	2,06	30,5	2,30
30	x	30	x	2,0	1,72	220	0,115	66,9	581	523	405	28,4	11,4	1,99	2,29	45,3	2,75
30	x	30	x	3,0	2,47	314	0,112	45,3	405	357	280	37,4	10,9	2,50	3,14	61,6	3,30
40	x	40	x	2,6	3,00	382	0,153	51,0	334	401	309	88,0	15,2	4,40	5,31	140	6,41
70	x	70	x	3,0	6,24	794	0,272	43,8	160	343	262	590	27,3	16,90	18,90	922	24,80
200	x	200	x	8,0	47,70	6880	0,779	16,3	21,0	128	98	37090	78,1	371	436	57780	645
200	x	200	x	10,0	58,80	7490	0,774	13,2	17,0	103	79	44710	77,2	447	531	70310	655
250	x	250	x	8,0	60,30	7680	0,979	16,2	16,6	127	97	74550	98,6	596	694	115260	880
250	x	250	x	10,0	74,50	9490	0,974	13,1	13,4	103	78	90550	97,7	724	851	141000	1005

Dimensjon	Tykkelse	Masse (7,85kg/dm <sup>3</sup> )	Tverrsnittsareal	Annet arealmoment		Treghetsradius		Elastisk tverrsnittsmodul		Plastisk tverrsnittsmodul		Torsjonskonstanter		Utvendig overflate pr.m.lengde	Nominell lengde pr. tonn
										Annet arealmoment for torsjon	Elastisk tverrsnittsareal for torsjon				
200 x 100	5,0	22,60	28,70	1495	505	7,21	4,19	149	101	185	114	1204	172	0,587	44,3
	6,3	28,10	35,8	1829	613	7,15	4,14	133	123	228	140	1475	208	0,584	35,5
	8,0	35,10	44,8	2234	739	7,06	4,06	223	148	282	172	1804	251	0,579	28,5
	10,0	43,10	54,9	2664	869	6,96	3,98	256	174	341	206	2156	295	0,574	23,2
	12,5	52,70	67,1	3136	1004	6,84	3,87	314	201	408	245	2541	341	0,568	19
250 x 100	10,0	51,00	64,90	4733	1072	8,54	4,06	379	214	491	251	2908	376	0,674	19,6
	12,5	62,50	79,6	5622	1245	8,41	3,96	450	249	592	299	3436	438	0,668	16

### UNP:

Betegnelse	Masse kg/m <sup>1</sup>	Mål i mm							Tverrsnitt mm <sup>2</sup> x10 <sup>3</sup>	Overflate		I <sub>y</sub> mm <sup>4</sup> x10 <sup>8</sup>	I <sub>w</sub> mm <sup>6</sup> x10 <sup>6</sup>	Profilmfaktor i (m <sup>-1</sup> ) A <sub>m</sub> /V og A <sub>y</sub> /V			
		H	B	s	t	r	h <sub>1</sub> <sup>2)</sup>	m <sup>2</sup> /m		m <sup>2</sup> /t							
UNP 30	4,27	30	33	5	7	3,5	1	0,544	0,174	40,7	9,12	4,36	320	232	259	171	
UNP 40	4,87	40	35	5	7	3,5	11	0,621	0,199	40,9	10,0	11,9	320	242	264	185	
UNP 50	5,59	50	38	5	7	3,5	20	0,712	0,232	41,5	11,2	27,8	326	247	272	194	
UNP 60	5,07	60	30	6	8	3	29	0,646	0,215	42,4	9,39	21,9	333	279	286	232	
UNP 65	7,09	65	42	5,5	7,5	4	33	0,903	0,273	38,5	16,1	77,3	302	237	256	190	
UNP 80	8,64	80	45	6	8	4	46	1,10	0,312	36,1	21,6	168	284	227	244	186	
UNP 100	10,8	100	50	6	8,5	4,5	64	1,35	0,372	35,1	28,1	414	277	223	239	186	
UNP 120	13,4	120	55	7	9	4,5	82	1,70	0,434	32,4	41,5	900	253	206	220	174	
UNP 140	16,0	140	60	7	10	5	98	2,04	0,489	30,6	56,8	1800	239	186	210	167	
UNP 160	18,8	160	65	7,5	10,5	5,5	115	2,40	0,546	29,0	73,9	3260	227	167	200	160	
UNP 180	22,0	180	70	8	11	5,5	133	2,80	0,611	27,8	95,5	5570	216	179	191	154	

### Bjelker:

Betegnelse	Masse kg/m <sup>1</sup>	Mål i mm							Tverrsnitt mm <sup>2</sup> x10 <sup>3</sup>	Overflate		Profilmfaktor i (m <sup>-1</sup> ) A <sub>m</sub> /V og A <sub>y</sub> /V			
		H	B	s	t	r	h <sub>1</sub> <sup>2)</sup>	m <sup>2</sup> /m		m <sup>2</sup> /t					
HE 180 B	51,2	180	180	8,5	14	15	122	6,53	1,04	20,3	157	110	130	82	
HE 200 B	61,3	200	200	9	15	18	134	7,81	1,15	18,8	147	102	121	76	
HE 220 B	71,5	220	220	9,5	16	18	152	9,1	1,27	17,8	139	96	115	72	

V – 23 Statisk ubestemte rammer fra Svenske "Ingenjörshandboken".

Tab. 413. Statiskt ubestämde rammar.

Beteckningar:  $\gamma = \frac{h}{l}$ ;  $k = \frac{I_1}{I_2} \cdot \frac{h}{l}$ ;  $k_A = \frac{I_A}{I_h} \cdot \frac{h}{l}$ ;  $k_B = \frac{I_B}{I_h} \cdot \frac{h}{l}$

Belastningsfall	A inre pänd	A lod	Belastningsfall	$k_A = k_B = k$	
	$\frac{H}{F}$ $\frac{3}{8\gamma(k+2)}$ $\frac{M_A}{Fl}$ $\frac{1}{8(k+2)}$ $\frac{M_B}{Fl}$ $\frac{1}{4(k+2)}$	$\frac{3}{8\gamma(2k+3)}$ $0$ $\frac{3}{8(2k+3)}$		$\frac{M_A}{Fl}$ $\frac{1}{8} \cdot \frac{3+2k_\gamma-k_A}{k_A k_B + 2k_A + 2k_B + 3}$ $\frac{M_B}{Fl}$ $\frac{1}{8} \cdot \frac{3+2k_\gamma-k_B}{k_A k_B + 2k_A + 2k_B + 3}$	$\frac{1}{8(k+1)}$
	$\frac{H}{Q}$ $\frac{1}{4\gamma(k+2)}$ $\frac{M_A}{Ql}$ $\frac{1}{12(k+2)}$ $\frac{M_B}{Ql}$ $\frac{1}{6(k+2)}$	$\frac{1}{4\gamma(2k+3)}$ $0$ $\frac{1}{4(2k+3)}$		$\frac{M_A}{Ql}$ $\frac{1}{24} \cdot \frac{6+4k_\gamma-3k_A}{k_A k_B + 2k_A + 2k_B + 3}$ $\frac{M_B}{Ql}$ $\frac{1}{24} \cdot \frac{9+6k_\gamma-2k_B}{k_A k_B + 2k_A + 2k_B + 3}$	$\frac{6+k}{24(k+1)(k+3)}$ $\frac{9+4k}{24(k+1)(k+3)}$
	$\frac{H}{Q}$ $\frac{2k+5}{4(k+2)}$ $\frac{M_A}{Qh}$ $\frac{3+k}{12(k+2)}$ $\frac{M_B}{Qh}$ $\frac{k}{12(k+2)}$	$\frac{3}{4} \cdot \frac{k+2}{2k+3}$ $0$ $\frac{k}{4(2k+3)}$		$\frac{M_A}{Ql}$ $\frac{k_A}{12} \cdot \frac{3+k_B}{k_A k_B + 2k_A + 2k_B + 3}$ $\frac{M_B}{Ql}$ $\frac{k_B}{12} \cdot \frac{3+k_A}{k_A k_B + 2k_A + 2k_B + 3}$	$\frac{k}{12(k+1)}$

Momentdiagrammet schematiskt framställt på strävornas dragsida

**V – 24 Tidligere stålstandard NS3472 – Knekk lengde.**

I tidligere stålstandard NS3472 (2.utgave 1984) er det en grei figur vi kan benytte for å beregne knekk lengden til enkle rammer. Inngangsverdien "ρ" beregnes med:

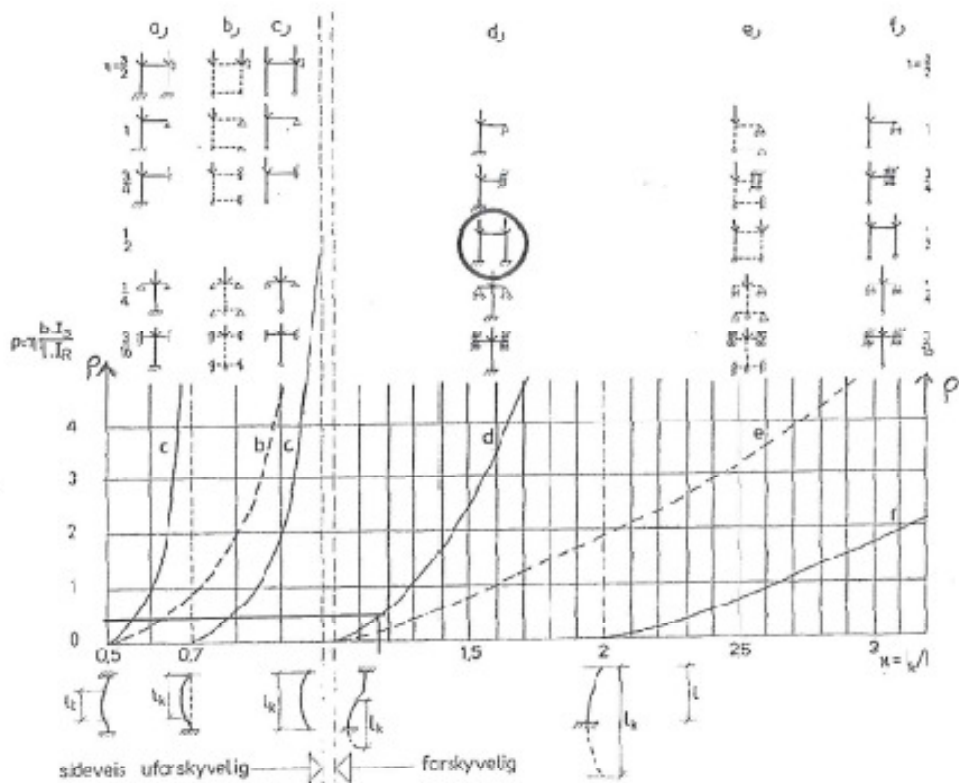
b: lengde rammebjelke (rigel)

l: lengde søyle

$I_S$ : Annet arealmoment søyle

$I_R$ : Annet arealmoment bjelke (Rigel)


Knekk lengden til søylen blir:  $I_K = \kappa \cdot L$



Vi ser at figuren skiller mellom fastholdte rammer som er sideveis uforskyvelige a), b) og c) og rammer som kan knekke sideveis (antimetrisk) er forskyvlige d), e) og f).



## V – 26 Beregning og konstruksjon av ekspansjonslyre.

	<h2 style="margin: 0;">TECHNICAL DATA</h2> <h3 style="margin: 0;">Calculation and Design</h3> <p style="margin: 0;">EXPANSION CALCULATIONS AND LOOP SIZING</p>	<p style="margin: 0;">TDCD <b>15.103</b></p> <p style="margin: 0;">3 14 07</p>
---	--	--

### EXPANSION CALCULATIONS AND LOOP SIZING

In a bonded system, the carrier pipe, foam insulation, and outer protective jacket are joined together forming one cohesive unit that expands and contracts together. Thermal expansion of the carrier pipe during operation is therefore transferred to the polyurethane foam and outer jacket. These movements are naturally restricted to a certain extent by the friction between the soil and jacket. In extreme cases, the force of friction can become so great that free expansion cannot occur and the unit becomes "fixed" into place. In such a case, the opposing force from thermal expansion can place impermissibly high stresses in the carrier pipe. Therefore, free expansion must be allowed to occur, but expansion must ultimately be compensated for through system design. The most common method is the inclusion of expansion elbows, loops, or z-bends.

Thermal expansion will occur between all fixed points in the piping system. If the system has the same covering height, natural fixed points will occur in the center of a line section between two expansion elbows. Unequal covering will cause the fixed point to be displaced due to varying frictional forces, and if there is any doubt, the fixed point should be set with an anchor. In all cases, this fixed point should be considered when calculating expansion.

**GUIDELINES FOR LOOP SIZING**

- The expansion loop is usually located on the side of the hottest line.
- The expansion loop, as a rule, should be located in the center of the distance between two anchors.
- The height of the expansion loop is normally twice the width. The exception to this rule occurs when more than one line runs parallel in a common trench. The dimensions of the loops for the additional line must be increased to allow nesting of the loops.

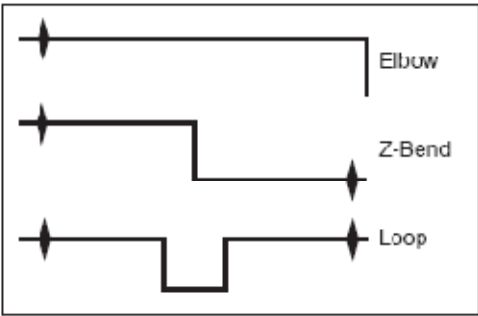
**CALCULATIONS**

- The formula for calculating thermal expansion.  

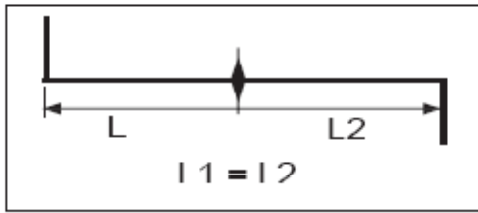
$$\Delta L = C \times L \times (T_f - T_g) \times 12 \text{ in./ft.}$$

Coefficient of thermal expansion (C):  
 Steel (C) =  $6.5 \times 10^{-6}$  in./in.°F  
 Copper (C) =  $9.2 \times 10^{-6}$  in./in.°F  
 Distance between fixed points (L) in feet  
 Temperature of fluid (T<sub>f</sub>)  
 Temperature of ground (T<sub>g</sub>)
- After calculating the expansion, find the expansion loop size from the charts for the applicable pipe or tube. Loop sizes are taken to the nearest half foot on the height and width.

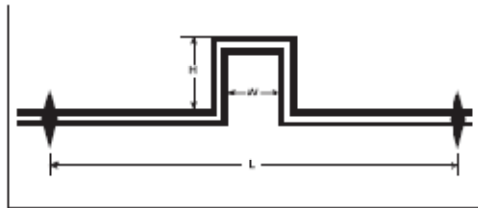
#### EXPANSION COMPENSATION



#### NATURAL FIXED POINT



#### EXPANSION LOOP



**EXAMPLE**

Find the loop size for a 6" diameter steel pipe carrying 200°F heating water with 200 ft. between anchors and an average annual ground temperature of 50°F

Given:

Steel (C) =  $6.5 \times 10^{-6}$  in./in.°F  
 Distance (L) = 200 ft.  
 Temp. Dif. (ΔT) = (200°F - 50°F) = 150°F  
 Pipe Diam. (D) = 6"

Calculations:

$$\Delta L = C \times L \times (T_f - T_g) \times 12 \text{ in./ft.}$$

$$\Delta L = 6.5 \times 10^{-6} \times 200 \times (200 - 50) \times 12$$

$$\Delta L = 2.34 \text{ in. (expansion)}$$

From the expansion loop chart for steel:  
 Requires 5'x10' expansion loop.



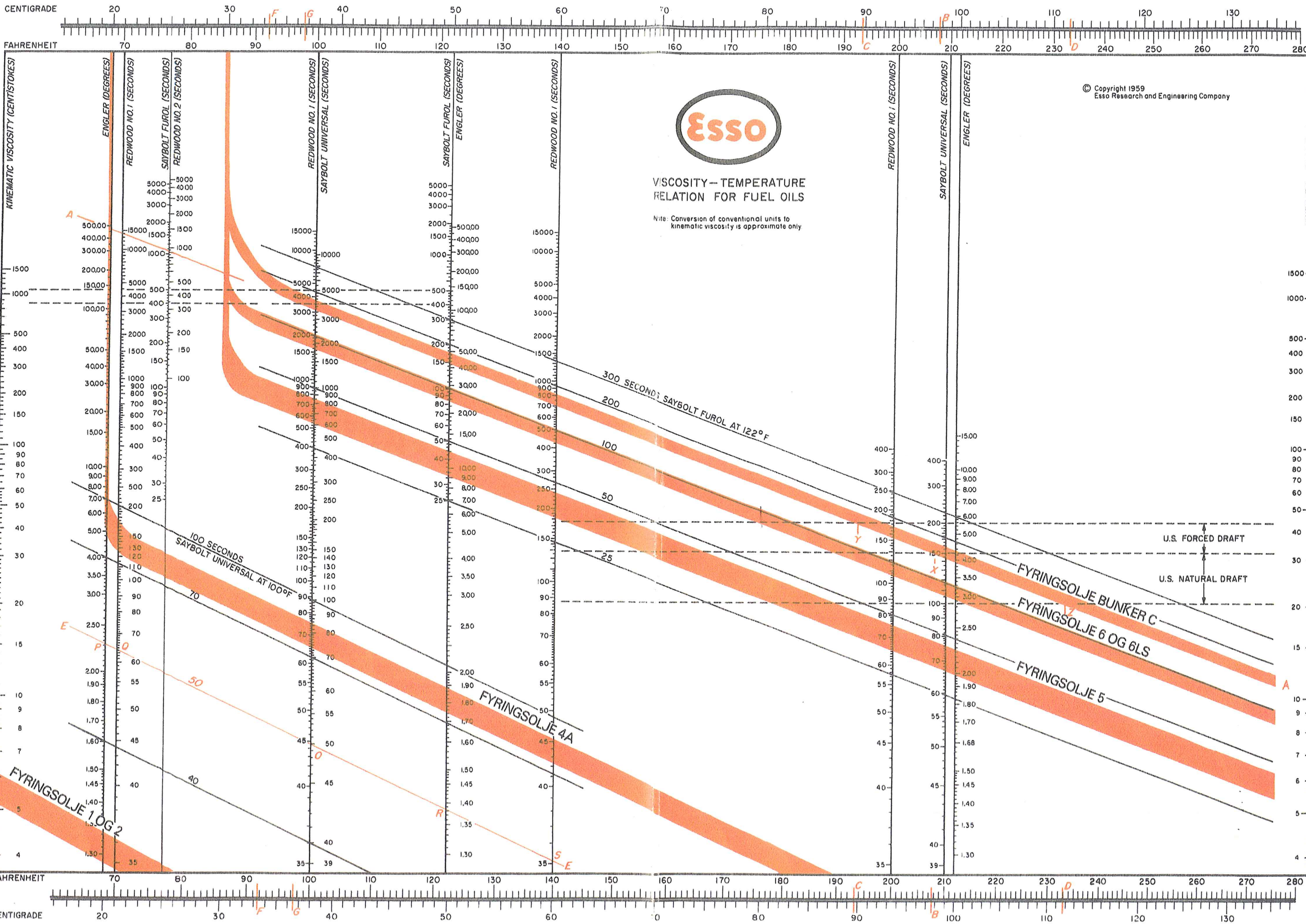
	<h2 style="margin: 0;">TECHNICAL DATA</h2> <h3 style="margin: 0;">Calculation and Design</h3>	TDCD <b>15.104</b>
EXPANSION LOOP SIZES		3.14.U/

EXPANSION LOOP SIZES FOR STEEL PIPE				EXPANSION LOOP SIZES FOR COPPER TUBING			
Expansion loops are sized for A53 Grade B ERW steel pipe allowable stresses.				Expansion loop dimensions are for ASTM B-88 seamless copper tubing based on an allowable stress of 8,000 psi, as stated in the copper development association handbook for copper tubing. Pressure shall not exceed 150 psig.			
PIPE SIZE (IN)	ΔL (IN)	LOOP SIZE (FT)		PIPE SIZE (IN)	ΔL (IN)	LOOP SIZE (FT)	
		H	W			H	W
3/4	0.00 - 1.50	4	2	10	0.00 - 0.42	4	2
	1.50 - 6.00	6	3		0.42 - 0.91	6	3
1	0.00 - 1.00	4	2	12	0.91 - 1.44	8	4
	1.00 - 4.14	6	3		1.44 - 2.00	10	5
1-1/4	0.00 - 0.93	4	2	14	2.00 - 2.57	12	6
	0.93 - 3.33	6	3		2.57 - 3.16	14	7
	3.33 - 6.66	8	4		3.16 - 3.80	16	8
1-1/2	0.00 - 0.00	4	2	16	3.80 - 4.14	18	9
	0.88 - 2.75	6	3		0.00 - 0.39	4	2
	2.75 - 4.75	8	4		0.39 - 0.07	6	3
2	0.00 - 0.85	4	2	18	0.87 - 1.34	8	4
	0.85 - 2.38	6	3		1.34 - 1.88	10	5
	2.38 - 4.00	8	4		1.88 - 2.43	12	6
2-1/2	0.00 - 0.78	4	2	20	2.43 - 3.00	14	7
	0.70 - 2.14	6	3		3.00 - 3.67	16	8
	2.14 - 3.71	8	4		3.67 - 4.14	18	9
3	0.00 - 0.72	4	2	22	0.00 - 0.41	4	2
	0.72 - 1.78	6	3		0.41 - 0.85	6	3
	1.78 - 3.00	8	4		0.85 - 1.32	8	4
3-1/2	0.00 - 0.08	4	2	24	1.32 - 1.83	10	5
	0.88 - 1.35	6	3		1.83 - 2.34	12	6
	1.35 - 2.70	8	4		2.34 - 2.86	14	7
4	0.00 - 0.63	4	2	26	2.86 - 3.43	16	8
	0.63 - 1.45	6	3		3.43 - 4.00	18	9
	1.45 - 2.41	8	4				
5	2.41 - 3.45	10	5				
	3.45 - 4.52	12	6				
6	0.00 - 0.42	4	2				
	0.42 - 1.27	6	3				
	1.27 - 2.12	8	4				
8	2.12 - 3.00	10	5				
	3.00 - 3.96	12	6				
	3.96 - 4.13	14	7				
8	0.00 - 0.46	4	2				
	0.46 - 1.16	6	3				
	1.16 - 1.07	8	4				
8	1.87 - 2.35	10	5				
	2.35 - 3.51	12	6				
	3.51 - 4.26	14	7				
8	0.00 - 0.54	4	2				
	0.54 - 1.00	6	3				
	1.00 - 1.64	8	4				
8	1.64 - 2.30	10	5				
	2.30 - 2.95	12	6				
	2.95 - 3.64	14	7				
	3.64 - 4.35	16	8				

V – 26 Excel – regneark for beregning av trykktap.

Inputs		Lengde		ruhet ε for rør		tapskoeffisient 90° bend		Haaaland		Haaaland		Haaaland	
L	900 m												
ε	0,05 mm												
k	0,40 3D												
A - Bensin		V=Q/A		k/d		Re		λ		L <sub>equiv</sub>		L <sub>total</sub>	
V <sub>max</sub>	10 m/s	10,6m/s	0,0003	3,8E+06	0,01461	5,5m	905,5m	379,5m	2680363,0Pa	26,8 bar	Swamee-Jain	0,01467	0,01461
Q <sub>max</sub>	1200 m <sup>3</sup> /t	6,8m/s	0,0002	3,0E+06	0,01406	7,1m	907,1m	119,9m	846714,9 Pa	8,5 bar			
u	0,56 cSt	4,7m/s	0,0002	2,5E+06	0,01367	8,8m	908,8m	46,9m	331501,6 Pa	3,3 bar			
T	0 °C	3,5m/s	0,0001	2,2E+06	0,01339	10,5m	910,5m	21,3m	150517,3 Pa	1,5 bar	Size-14 in		
ρ	720 kg/m <sup>3</sup>	400mm	2,7m/s	0,0001	1,9E+06	12,1m	912,1m	10,8m	76172,3 Pa	0,8 bar			
		450mm	2,1m/s	0,0001	1,7E+06	13,8m	913,8m	5,9m	41877,1 Pa	0,4 bar			
		500mm	1,7m/s	0,0001	1,5E+06	15,5m	915,5m	3,5m	24575,5 Pa	0,2 bar			
B- Jet-A1		V=Q/A		k/d		Re		λ		L <sub>equiv</sub>		L <sub>total</sub>	
V <sub>max</sub>	7 m/s	10,6m/s	0,0003	1,2E+06	0,01499	5,3m	905,3m	389,4m	3067576,6 Pa	30,7 bar			
Q <sub>max</sub>	1200 m <sup>3</sup> /t	6,8m/s	0,0002	1,0E+06	0,01460	6,8m	906,8m	124,5m	980547,6 Pa	9,8 bar			
u	1,7 cSt	4,7m/s	0,0002	8,3E+05	0,01438	8,3m	908,3m	49,3m	388695,9 Pa	3,9 bar			
T	20 °C	3,5m/s	0,0001	7,1E+05	0,01426	9,8m	909,8m	22,7m	178691,3 Pa	1,8 bar	Size-14 in		
ρ	803 kg/m <sup>3</sup>	400mm	2,7m/s	0,0001	6,2E+05	11,3m	911,3m	11,6m	91520,8 Pa	0,9 bar			
		450mm	2,1m/s	0,0001	5,5E+05	12,7m	912,7m	6,5m	50886,3 Pa	0,5 bar			
		500mm	1,7m/s	0,0001	5,0E+05	14,0m	914,0m	3,8m	30176,0 Pa	0,3 bar			
Fyringsolje 6		V=Q/A		k/d		Re		λ		L <sub>equiv</sub>		L <sub>total</sub>	
V <sub>max</sub>	10 m/s	3,5m/s	0,0003	1,4E+04	0,02849	2,8m	902,8m	82,0m	784247,3 Pa	7,8 bar			
Q <sub>max</sub>	400 m <sup>3</sup> /t	2,3m/s	0,0002	1,1E+04	0,03010	3,3m	903,3m	28,4m	271678,4 Pa	2,7 bar			
u	50 cSt	1,6m/s	0,0001	9,4E+03	0,03157	3,8m	903,8m	12,0m	114550,5 Pa	1,1 bar	Size-12 in		
T	80 °C	350mm	1,2m/s	0,0001	8,1E+03	4,3m	904,3m	5,8m	55282,8 Pa	0,6 bar			
ρ	975 kg/m <sup>3</sup>	400mm	0,9m/s	0,0001	7,1E+03	4,7m	904,7m	3,1m	29443,7 Pa	0,3 bar			
		450mm	0,7m/s	0,0001	6,3E+03	5,1m	905,1m	1,8m	16905,4 Pa	0,2 bar			
		500mm	0,6m/s	0,0001	5,7E+03	5,5m	905,5m	1,1m	10298,1 Pa	0,1 bar			
Bitumen 85		V=Q/A		k/d		Re		λ		L <sub>equiv</sub>		L <sub>total</sub>	
V <sub>max</sub>	10 m/s	3,5m/s	0,0003	2,0E+04	0,02611	3,1m	903,1m	75,2m	700627,3 Pa	7,0 bar			
Q <sub>max</sub>	400 m <sup>3</sup> /t	2,3m/s	0,0002	1,6E+04	0,02748	3,6m	903,6m	25,9m	241708,2 Pa	2,4 bar			
u	35 cSt	1,6m/s	0,0001	1,3E+04	0,02872	4,2m	904,2m	10,9m	101598,0 Pa	1,0 bar	Size-12 in		
T	180 °C	350mm	1,2m/s	0,0001	1,2E+04	4,7m	904,7m	5,2m	48908,9 Pa	0,5 bar			
ρ	950 kg/m <sup>3</sup>	400mm	0,9m/s	0,0001	1,0E+04	5,2m	905,2m	2,8m	25993,5 Pa	0,3 bar			
		450mm	0,7m/s	0,0001	9,0E+03	5,6m	905,6m	1,6m	14896,6 Pa	0,1 bar			
		500mm	0,6m/s	0,0001	8,1E+03	6,1m	906,1m	1,0m	9059,2 Pa	0,1 bar			

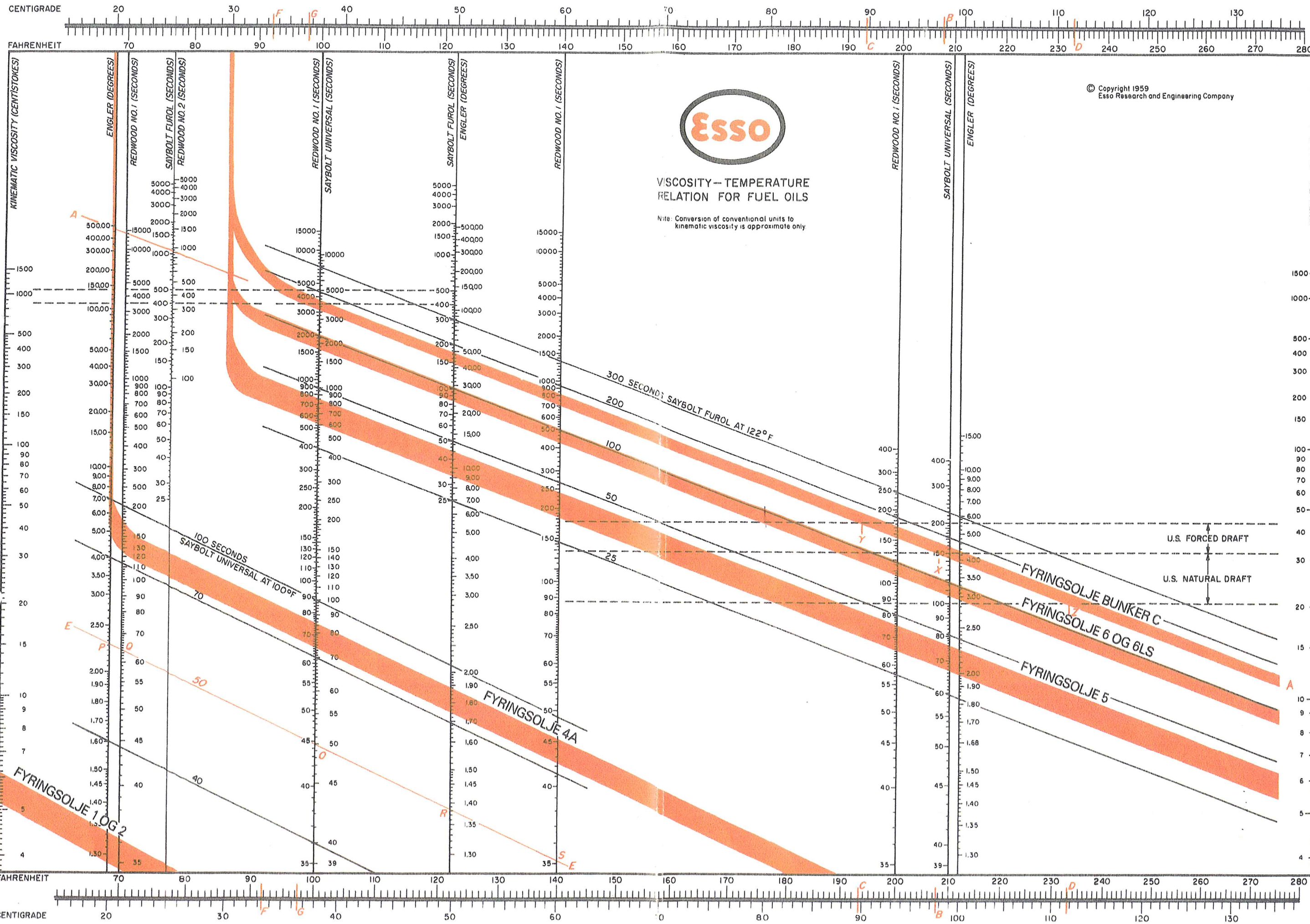
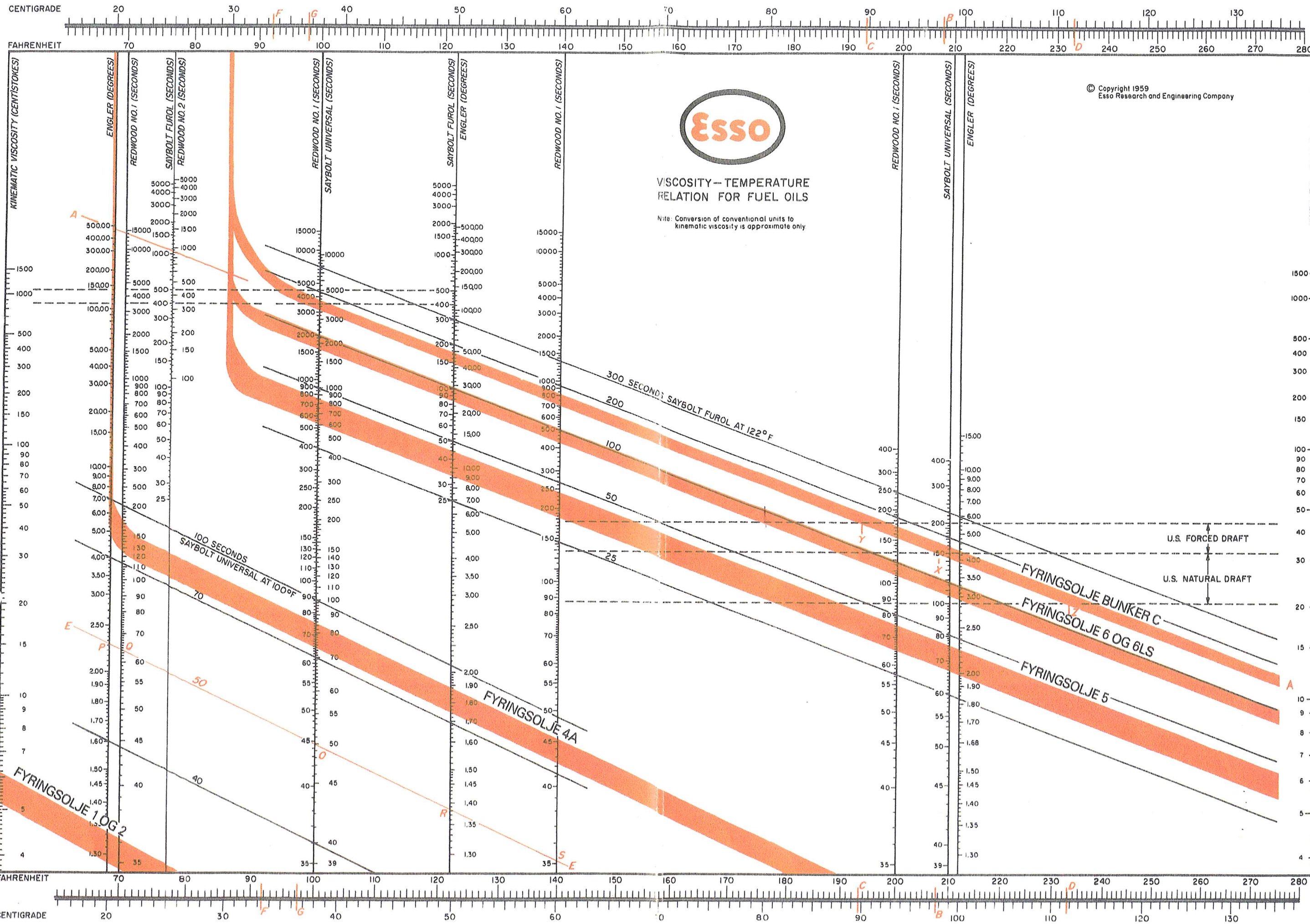
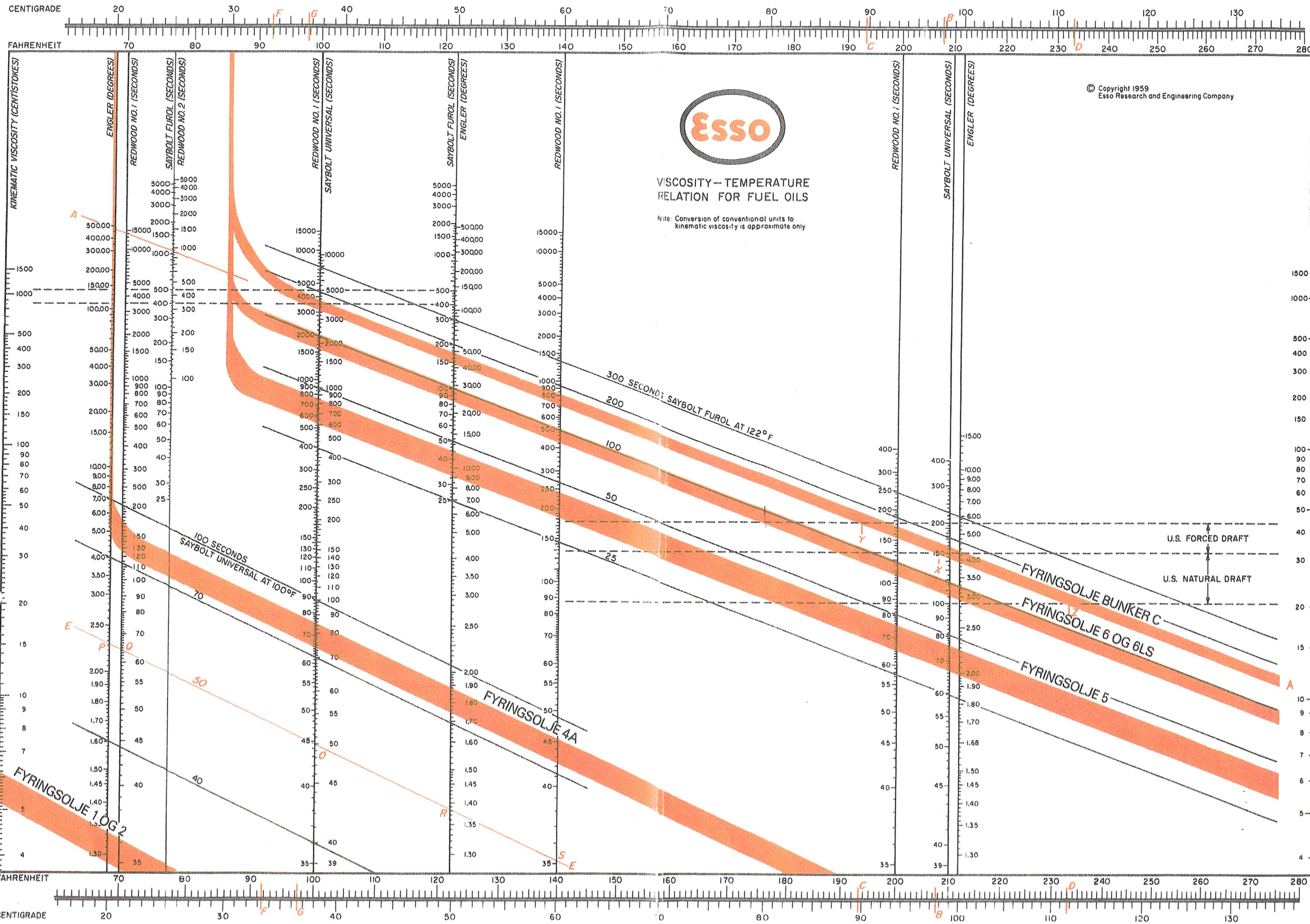
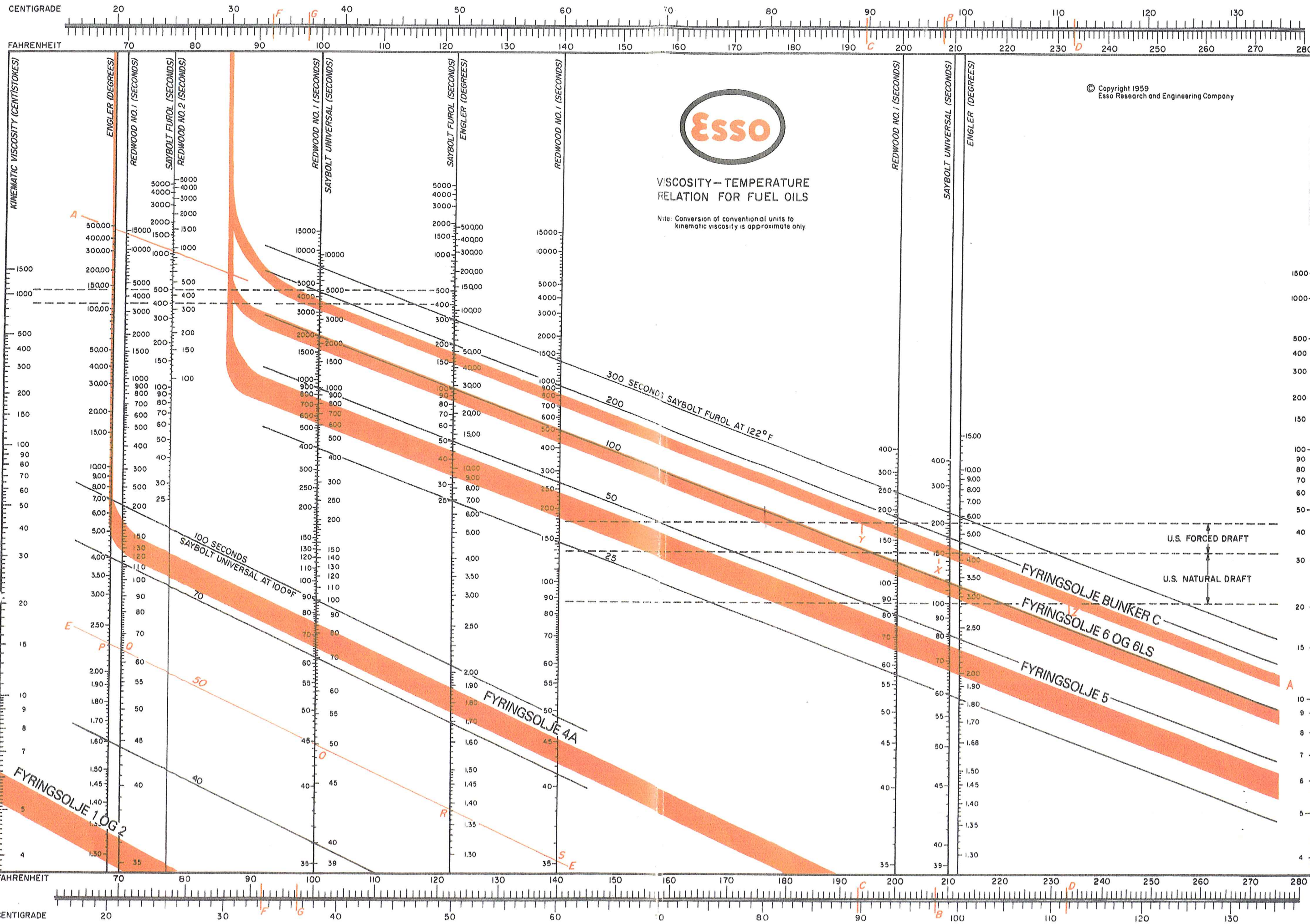
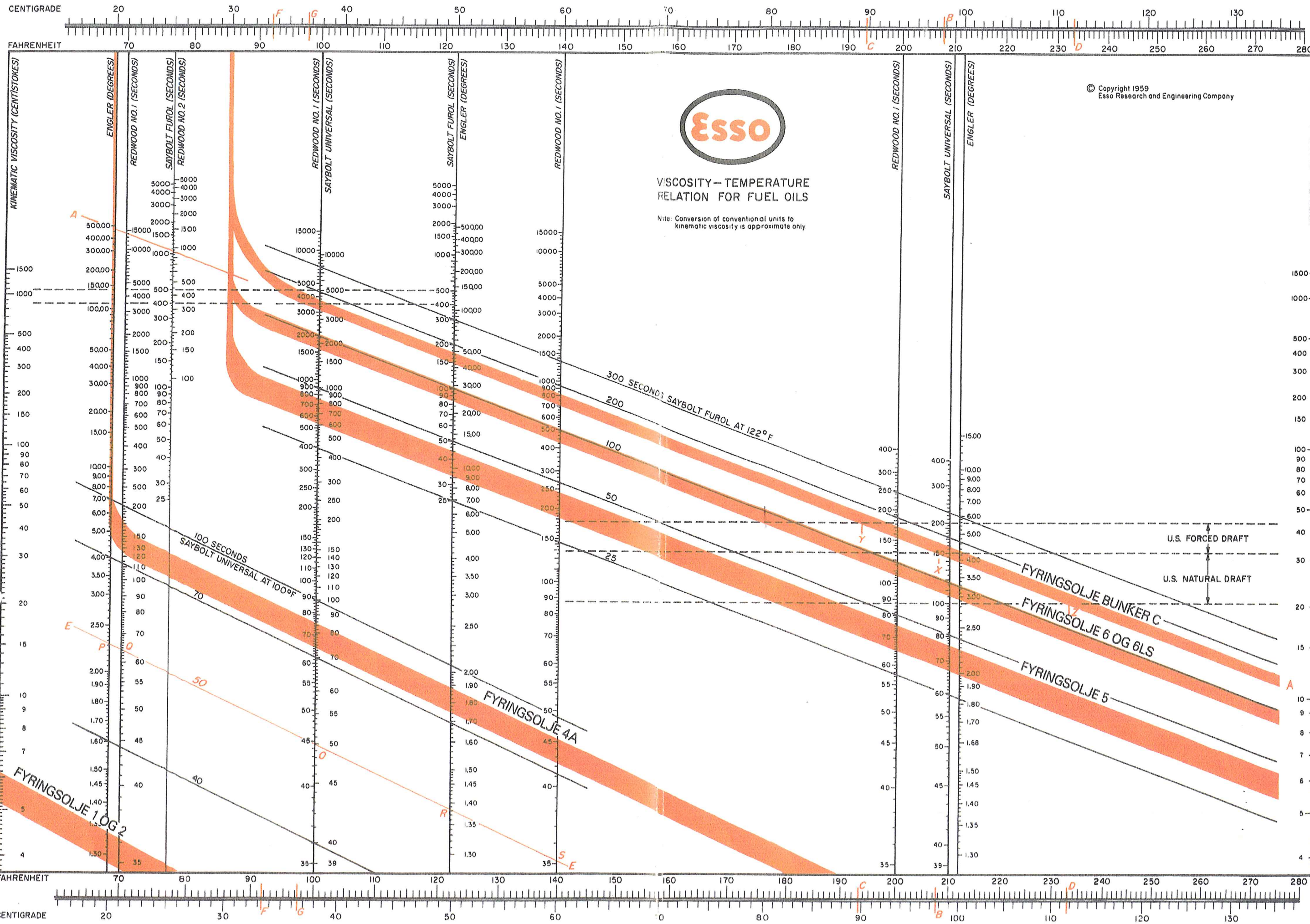
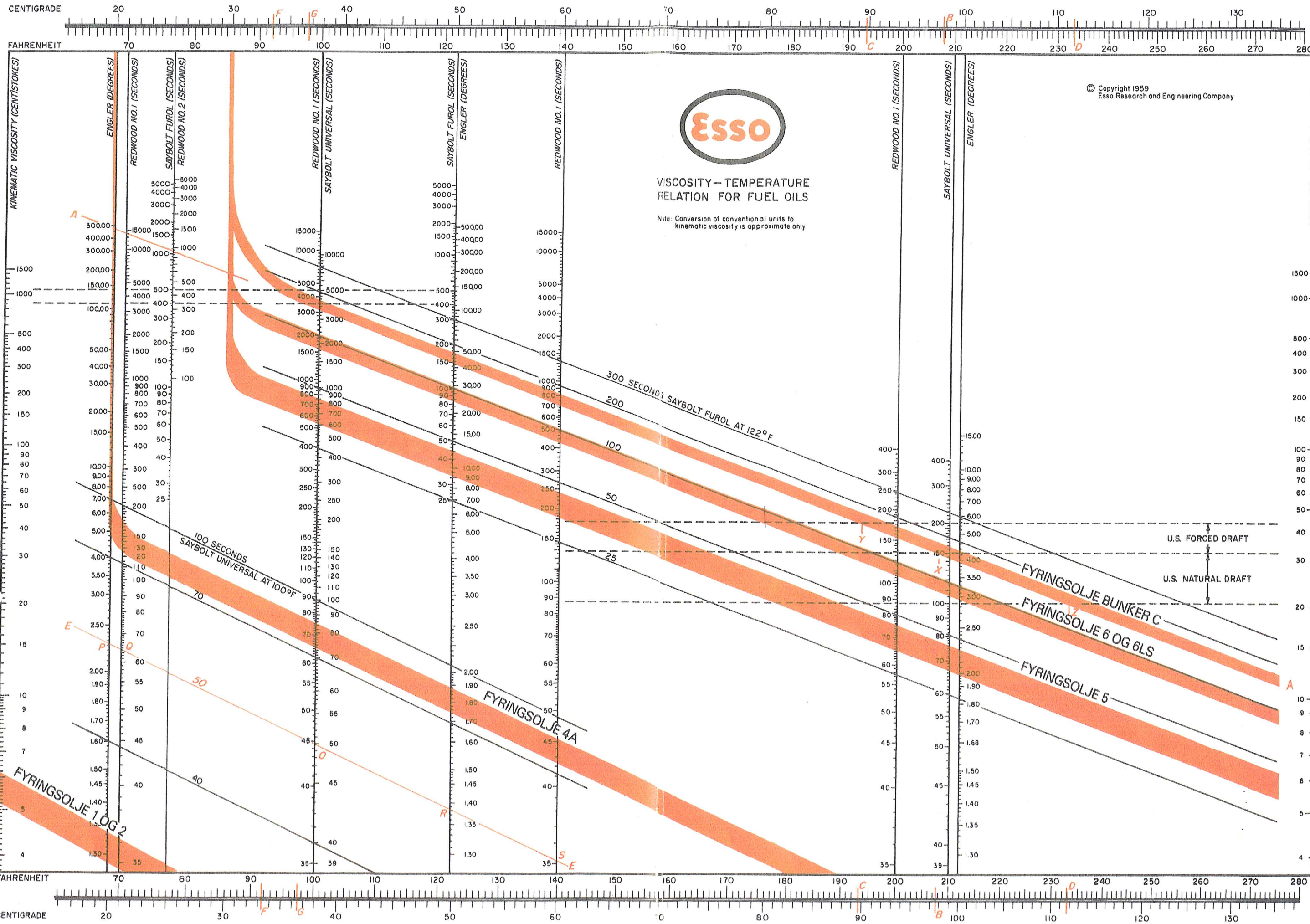
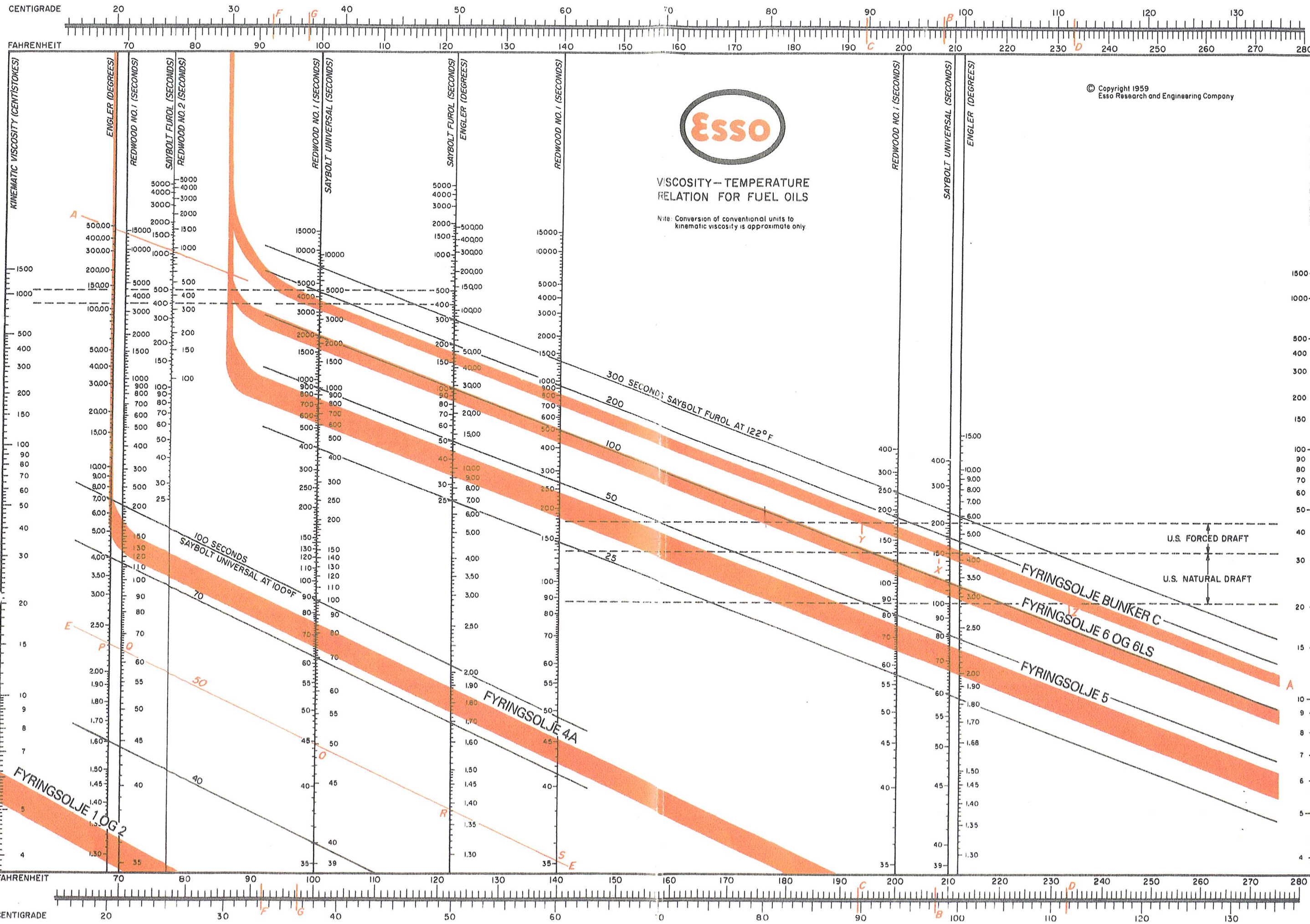




VISCOSITY-TEMPERATURE  
RELATION FOR FUEL OILS

Note: Conversion of conventional units to  
kinematic viscosity is approximate only.

© Copyright 1959  
Esso Research and Engineering Company





Hentet fra samme perm

Porafin/Jetfuel :  $\rho = 0,803$

$cSt = 1,7 (20^\circ)$

Fyringsolje:

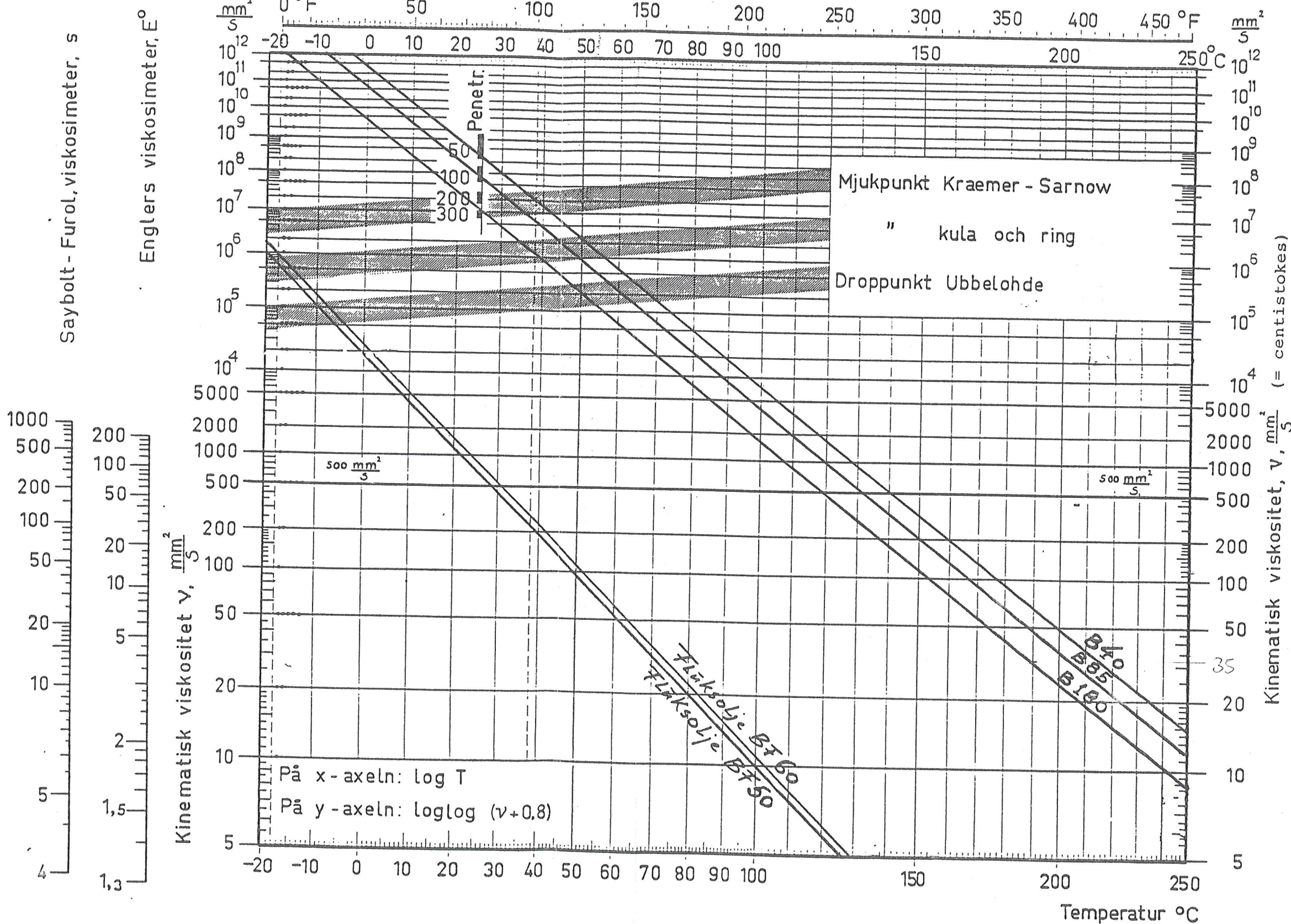
$\rho = 0,970 - 0,980$

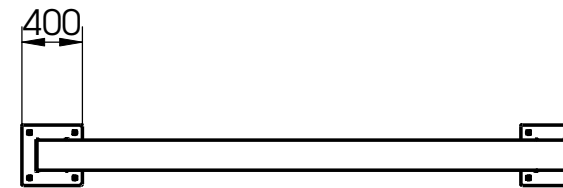
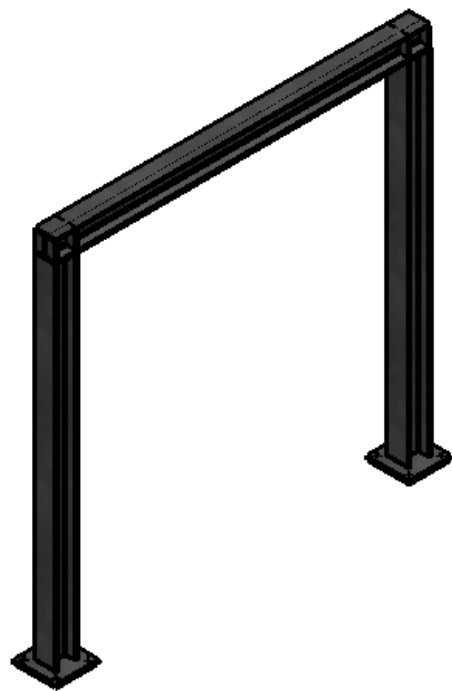
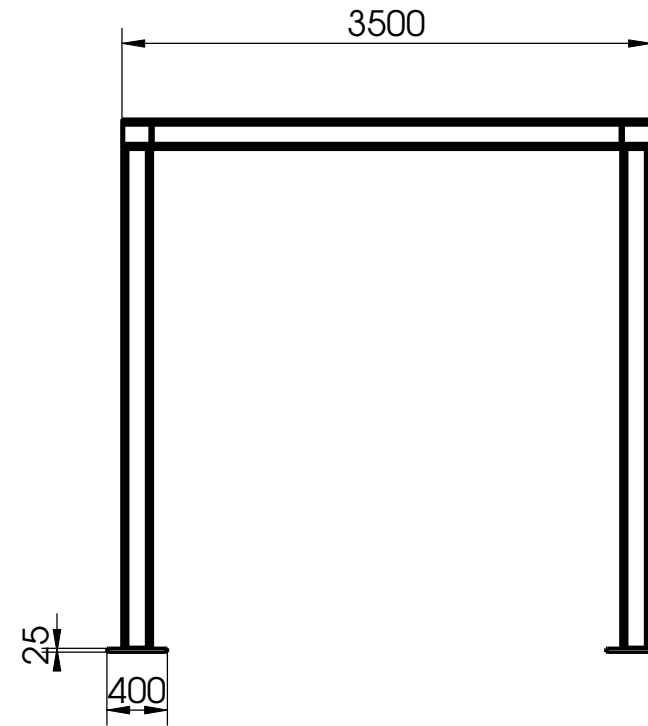
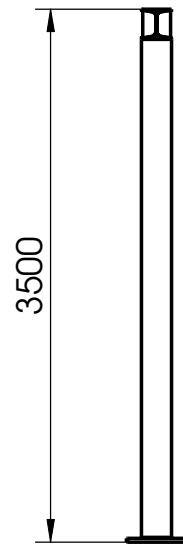
# ASFALT BINDEMIDLER TEMPERATUR-VISKOSITETSDIAGRAM

Beräkning av viskositeten för en blandning av två bindemedel A och B (A mest segflytande). Låt 0-100°F representera 0-100 % av A i blandningen. Avsatt B:s viskositet på vertikalen genom 0°F och A:s viskositet på vertikalen genom 100°F. En rät linje läggs mellan dessa punkter ger viskositeten för en godtycklig halt av A i procent.

Beskrivning i Statens vägintituts meddelande 71.  
Diagram 1: Detta diagram. Her modifierert.  
Diagram 2: A 3 visk 50-10<sup>4</sup> mm<sup>2</sup>/s, temp. -20 - +120°C.  
Skuggade bend resp. brede skalsträck anger ett mjukpunkt och droppunkt resp. penetration har osäkert läge.

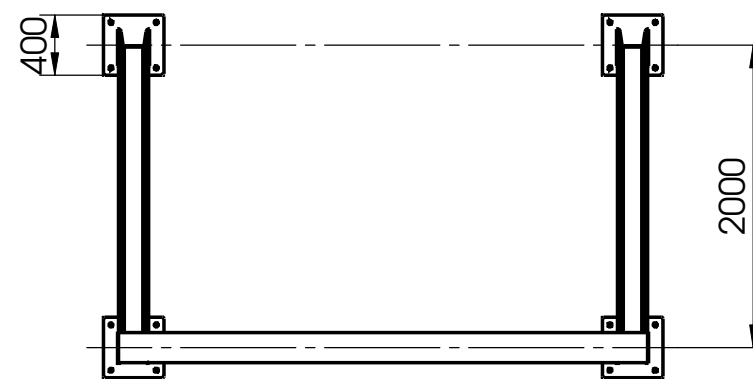
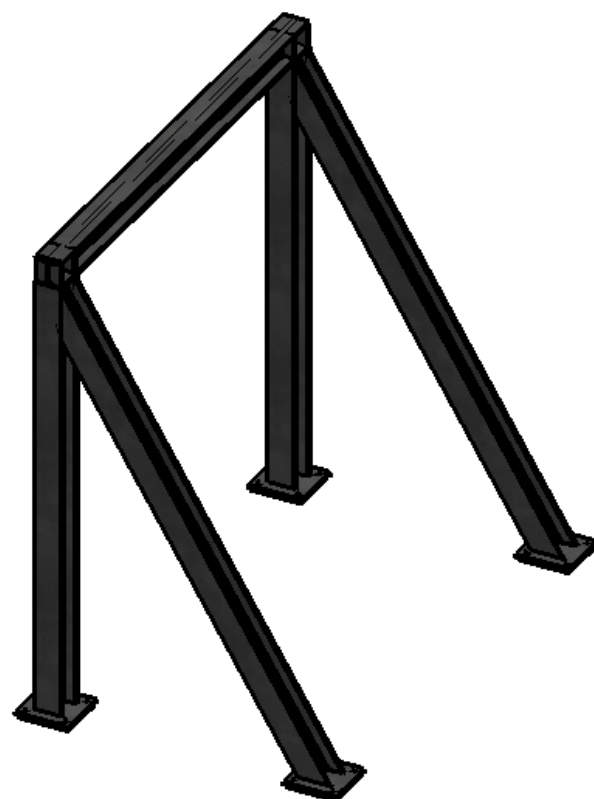
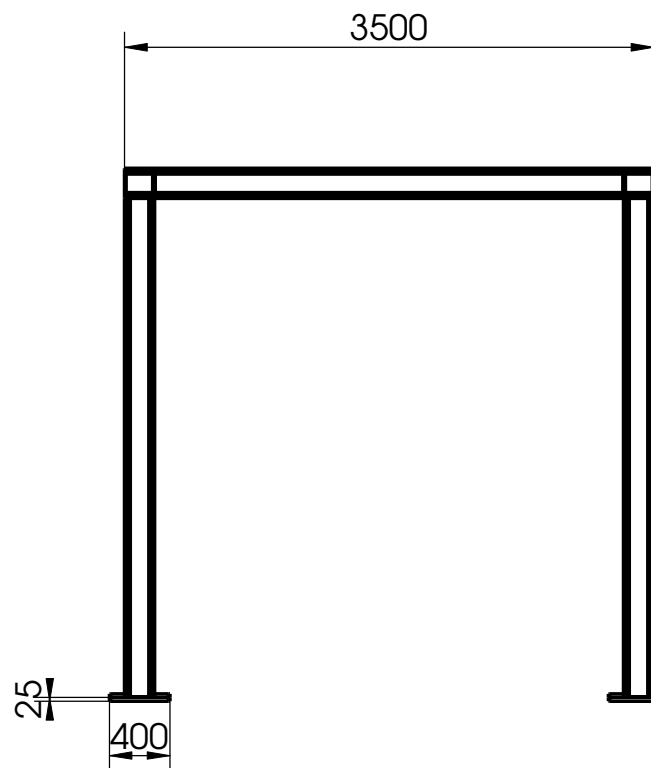
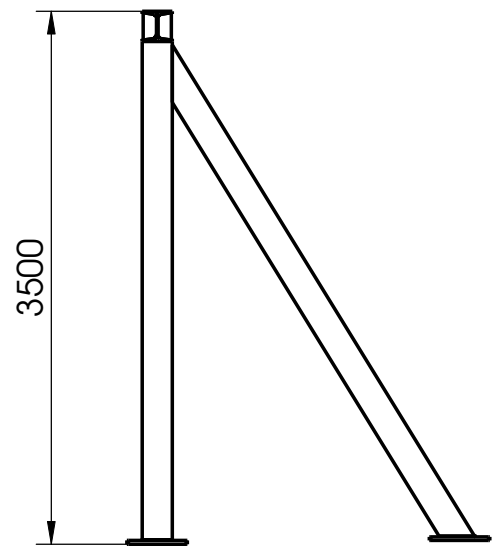
Viskositetslinjens lutning för karakteristiska bindemedel.  
För normale bindemedel är viskositetslinjerna svagt konvexa, sedda från x-axeln. För praktiskt bruk kan dessa ersättas av räta linjer.





Kommentar:  
Hovedmål Standardopplager HE200B

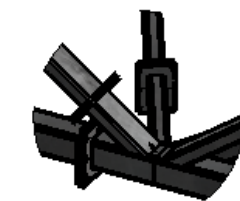
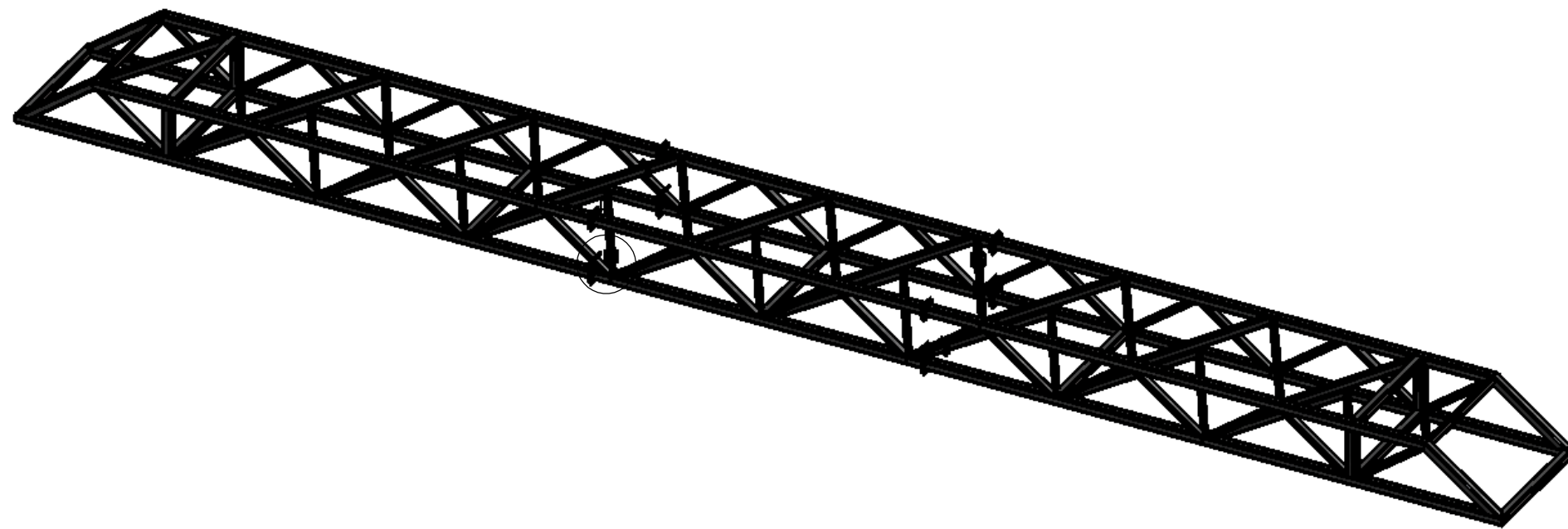
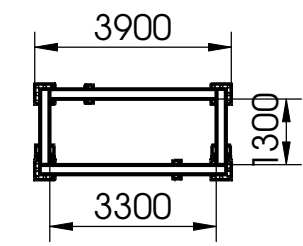
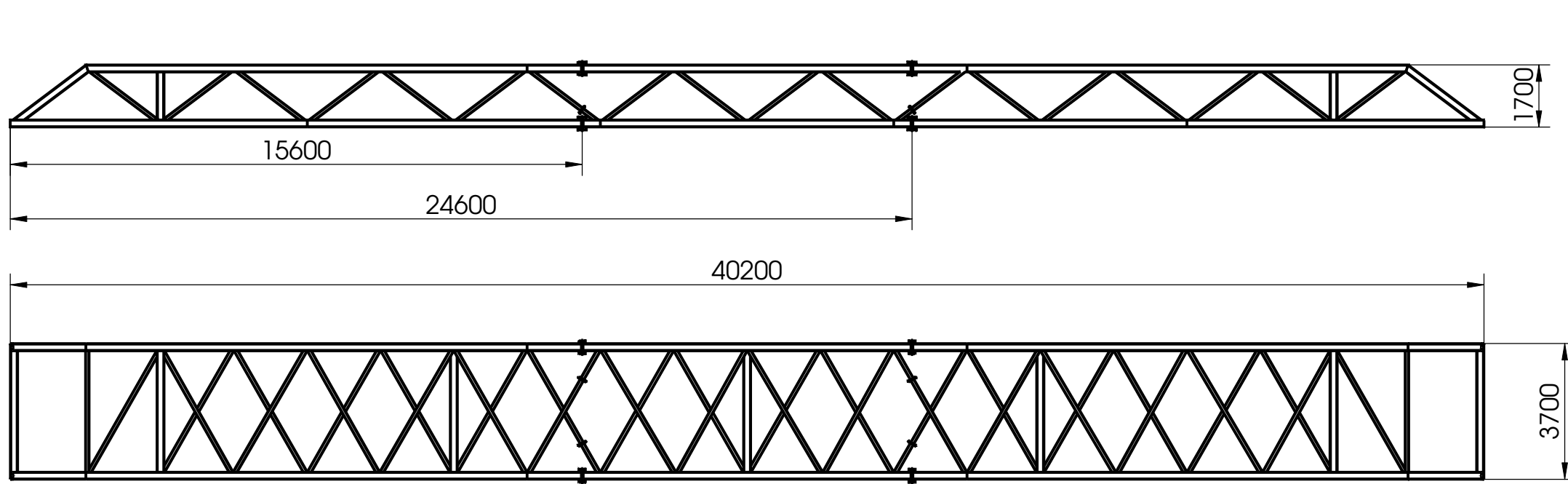
Dato:	Konstr.:	Godkjent:	Målestokk:	<b>UMB/IMT</b>
02.05.11	Fredrik Romsaas		1:50	
Tittel:		Material:		Alle mål er i mm om ikke annet er oppgitt på tegningen
<b>Standardopplager</b>		<b>S355</b>		
Vedlegg: T-01				Tegning nr.: T - 01



Kommentar:  
Hovedmål Ankeropplager HE200B

Dato:	Konstr.:	Godkjent:	Målestokk:	UMB/IMT
02.05.11	Fredrik Romsaas		1:50	
Tittel:		Material:		Alle mål er i mm om ikke annet er oppgitt på tegningen Tegning nr.: T - 02
Ankeropplager		S355		
Vedlegg: T-02				





DETAIL B

Dato:	Konstr.:	Godkjent:	Målestokk:	UMB/IMT
02.05.11	Fredrik Romsaas		1:150	
Tittel:		Material:	Alle mål er i mm om ikke annet er oppgitt på tegningen	
Fagverksbro		S235		
Vedlegg: T-03			Tegning nr.: T - 03	

Kommentar:  
Hovedmål Fagverksbro Hulprofil 200 x 200 x 8 mm  
200 x 100 x 5 mm