

# Förstärkning av rörbroar



**Jonas Lundström**

---

Avdelningen för Konstruktionsteknik  
Lunds Tekniska Högskola  
Lunds Universitet, 2013

Rapport TVBK - 5221

Avdelningen för Konstruktionsteknik  
Lunds Tekniska Högskola  
Box 118  
221 00 LUND

Division of Structural Engineering  
Faculty of Engineering, LTH  
P.O. Box 118  
S-221 00 LUND  
Sweden

## **Förstärkning av rörbroar**

Strengthening of soil steel composite bridges

Jonas Lundström

2013

Rapport TVBK- 5221  
ISSN 0349-4969  
ISRN: LUTVDG/TVBK- 13/5221+143p

Examensarbete  
Handledare: Anders Wiberg, Oskar Larsson  
Mars 2013



## **Förord**

Detta är ett examensarbete som är skrivet för Trafikverket i Stockholm med handledning från Grontmij AB, anläggningsunderhåll. Examensarbetet är utfört som avslutande del vid civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad med inriktning konstruktion.

Till att börja med så skulle jag vilja tacka Trafikverket i Stockholm, främst Johan Sjösten för idén och att ni gjort detta examensarbete möjligt.

Jag vill rikta ett stort tack min handledare Anders Wiberg, Grontmij Anläggningsunderhåll som hjälpt mig genom hela arbetets gång. Även min handledare från Lunds tekniska högskola, Oskar Larsson förtjänar ett tack som bidragit till förbättringar i examensarbetet.

Tack även till professor Lars Pettersson, Skanska Sverige som hjälpt till med sin långa erfarenhet och kunskap om rörbroar.

Slutligen vill jag tacka alla som ställt upp på intervjuer och därmed bidragit till viktig information till detta examensarbete.

Lund, Februari, 2013

Jonas Lundström

Förstärkning av rörbroar

## Sammanfattning

Rörbroar är broar som byggs upp med korrugerade krökta plåtar till rör (trummor) eller valv som i samverkan med omkringliggande packad jord utgör den bärande konstruktionen. Det totala brobestånd av rörbroar av stål som Trafikverket ansvarade för hösten 2012 var 4 100 broar. Många rörbroar är byggda på 50 och 60-talet börjar vara i dåligt skick och behöver repareras eller bytas ut. Det vanligaste problemet med rörbroar är att de rostar av kring vattenlinjen, vilket kan lösas på en rad olika sätt. Om förhållandena tillåter kan det vara billigast att byta bron mot en ny. I annat fall kan rörbroarna ligga under stora överfyllnadshöjder vilket gör att schaktkostnaderna blir orimligt höga och det är då mer fördelaktigt att göra en reparation. I detta examensarbete görs en utvärdering av de vanligaste reparations- och renoveringsmetoderna.

Syftet med detta examensarbete är att undersöka möjligheten om sprutbetong kan fungera som förstärkning för rörbroar. Idag går det inte att tillgodoräkna sig någon lastbärande effekt av sprutbetong utan att det fungerar endast som korrosionsskydd. Ett annat mål har varit en utredning på en befintlig bro, 4-705-1 "Bro över bäck so Hägerås" där hela dimensioneringsprocessen räknas igenom för att kontrollera att bron är korrekt klassad samt vilken reparationsmetod som lämpar sig bäst.

För att öka bärförmågan måste momentkapaciteten i hjässan ökas och en sprutbetonglining hjälper inte där då betongens draghållfasthet inte får utnyttjas. Eftersom en rörbro är flexibel kommer en del av tyngden att fördelas till kringfyllnadsmaterialet och belastningen på själva rörbron minskar. Sprutas bron med betong blir röret styvare och kan inte böja undan på samma sätt som enbart plåten gör och drar då på sig mer last. Beräknas bron med värden för den fiberarmerade betongen från betongentillverkaren Radmix (2009) krävs för att bron ska uppfylla kraven enligt BK1 en tjocklek på den fiberarmerade betongen på 300 mm. Röret beräknas då enbart som ett betongrör och stålet tar inte någon last över huvud taget. Resultatet blir en konstruktion med andra egenskaper än en vanlig rörbro i stål.

Innan godkända dimensionsmetoder för fiberarmerad sprutbetong har tagits fram kan inte denna metod ses som ett lasthöjande alternativ då det alltid kommer att uppstå ett litet moment i hjässan oavsett fyllnadshöjd.

## Förstärkning av rörbroar

Bro 4-705-1 uppfyller inte kraven för att vara klassad som en BK1 bro medan kraven för att vara klassad till BK2 är nästintill uppfyllda. Då korrosionsprocessen är långt gången rekommenderas att bron antingen byts ut helt eller att den repareras med halvsulning. Åtgärden bör göras omedelbart då genomrostning skett. Om ingenting görs riskeras att bakfyllningen spolats bort och bron tappar sin samverkan med jorden, vilket kan få allvarliga konsekvenser som kan leda till kollaps av bron.

## **Abstract**

Soil steel composite (SSC) bridges are bridges that are built with corrugated curved plates to the pipes (culverts) or vault and upon interaction with the surrounding compacted soil form a supporting structure. The total bridge stock of soil steel composite bridges owned by the Swedish Road Administration during the autumn of 2012 was approximately 4,100 bridges. Many of these culverts that were built in the 50's and 60's are in poor condition and need to be repaired or replaced. The most common problem with soil steel composite bridges is corrosion around the waterline, a problem that can be solved in a number of ways. Depending on conditions, it may be cheaper to replace the bridge with a new one. In other conditions when the depth of cover for the culvert is higher the excavation costs become unreasonably high and it is then more beneficial to repair the bridge. In this thesis, an evaluation of the most common repair and renovation methods will be researched.

The goal of this thesis is to analyse if shotcrete can act as reinforcement for SSC bridges. Today, one cannot expect any load-bearing effects when using shotcrete, it works only as protection for corrosion. Another goal was to investigate an existing bridge, 4-705-1, "Bro över back so Hägerås" where the whole structural-design-process has been examined to make sure it is properly classified and also investigate which repair methods are best suited.

To increase the load-bearing capacity the capacity at the crown must be increased and a shotcrete-lining is not sufficient there. Since SSC bridges are flexible, part of the load is distributed to the filling soil material and the load on the steel pipe decreases. If shotcrete is applied the pipe becomes rigid and cannot bend in the same way as before which results in larger load. Due to capacity 1 (BK 1) in SRA standards the thickness of the fibre reinforced concrete has to be at least 300 mm and the pipe is then calculated simply as a



## Förstärkning av rörbroar

concrete pipe and therefore the steel does not carry any load at all. The design become completely different with different properties than a regular SSC bridge.

Before certified dimensional methods for fiber-reinforced shotcrete has been developed this method can't be seen as a strengthening option as it always will be a small moment in the crown.

Bridge 4-705-1 does not qualify to be classified as a Class 1 bridge while the requirements to be rated to the BK2 are essentially met. As the corrosion has progressed very far it is recommended that the bridge either be entirely replaced or that it is repaired with relining of the bottom part of culvert. Action must be taken immediately as rusting holes have occurred, if nothing is done the backfill will be washed away and the bridge loses its interaction with the soil, which may have serious consequences.

## Innehållsförteckning

FÖRORD .....	I
SAMMANFATTNING .....	III
ABSTRACT .....	V
INNEHÅLLSFÖRTECKNING .....	VII
FIGURFÖRTECKNING .....	XI
BETECKNINGAR .....	XV
1.    Inledning .....	1
1.1    Bakgrund .....	1
1.2    Syfte och frågeställning .....	2
1.3    Mål .....	2
1.4    Omfattning och avgränsningar .....	3
1.5    Metod .....	3
1.6    Handledning och examination .....	3
DEL 1 - LITTERATURSTUDIE OCH INTERVJUER .....	5
2.    Rörbroar .....	7
2.1    Beskrivning av rörbroar .....	7
2.2    Brobestånd och renoeringsbehov .....	8
2.3    Forskning om skador på rörbroar .....	8
2.4    Förvaltning (BaTMan) .....	9
2.5    Reparationsalternativ .....	9
2.6    Forskning gällande förstärkning av rörbroar med sprutbetong .....	10
3.    Reparation med sprutbetong .....	15
3.1    Inledning .....	15

## Förstärkning av rörbroar

3.2	Genomförande.....	15	
4.	Reparation med Halvsulning.....	17	
4.1	Inledning .....	17	
4.2	Genomförande.....	17	
5.	Tubus System renovering .....	21	
5.1	Inledning .....	21	
5.2	Genomförande.....	21	
6.	Utbyte av rörbro .....	25	
6.1	Inledning .....	25	
6.2	Genomförande.....	25	
7.	Diskussion renoveringsmetoder.....	27	
<b>DEL 2 - BERÄKNINGAR AV PÅKÄNNINGAR I EN RÖRBRO SAMT</b>			
<b>BÄRIGHETSKLASSNING AV BRO 4-705-1 .....</b>			<b>29</b>
8.	Inledning .....	31	
8.1	Introduktion.....	31	
8.2	Generell klassning.....	31	
8.3	Individuell klassningsberäkning.....	32	
9.	Förutsättningar, bro 4-705-1 .....	33	
9.1	Uppmätning av objektet .....	33	
9.2	Stålprofil.....	33	
9.3	Dragprov .....	34	
9.4	Jord.....	36	
10.	Laster.....	37	
10.1	Trafikbelastning och lastutbredning.....	37	
10.2	Last från militära fordon .....	38	
10.3	Reduktion med hänsyn till hjulens lastutbredning.....	38	
10.4	Säkerhetsklass .....	40	
11.	Beräkning av snittkrafter.....	41	
11.1	Beräkning av normalkraft .....	41	
11.1.1	Jordlast .....	41	
11.1.2	Trafiklast .....	41	
11.1.3	Dimensionerande normalkraft.....	43	
11.2	Beräkning av böjmoment .....	44	
11.2.1	Jordlast .....	45	
11.2.2	Trafiklast .....	45	
11.2.3	Dimensionerande böjmoment .....	45	

11.3	Sammanställning snittkrafter.....	46
12.	Beräkningsmässiga kontroller.....	47
12.1	Kontroller i bruksgränstillstånd.....	47
12.1.1	Säkerhet mot begynnande flytning i bruksgränstillstånd ...	47
12.2	Kontroller av röväggens bärförmåga i brottgränstillstånd	48
12.2.1	Kontroll mot att flytled ej bildas och knäckning av rörets övre del (enligt Eurokod).....	48
12.2.2	Kontroll av att tillräcklig kapacitet finns i rörets nedre del	48
12.2.3	Kontroll mot överskridande av skruvförbandens kapacitet. (enligt Eurokod 3).....	48
12.3	Kontroll mot överskridande av kapaciteten vid utmattningsgränstillstånd (enligt Eurokod).....	50
12.4	Kontroll mot överskridande av kapaciteten i brottgränstillstånd för militära fordon (enligt Eurokod).....	52
13.	Resultat av bärihetsklassning.....	53
DEL 3 - BÄRFÖRMÅGA OCH FÖRSTÄRKNING AV BRON.....		57
14.	Analys och beräkning av förstärkning.....	59
14.1	Erfarenheter från bärihetsklassning.....	59
14.2	Beräkning.....	59
14.3	Slutsatser.....	65
	Diskussion.....	67
	Referenser.....	69
BILAGOR.....		73
	Bilaga A.....	73
	Bilaga B.....	121



## Figurförteckning

Figur 1 En typisk utformning av en rörbro, som beskriver viktiga parametrar såsom spännvidd, $D$ , överfyllnadshöjden, $h_c$ , olika radier av röret samt över- och kringfyllning. (Pettersson & Sundquist, 2010).....	7
Figur 2 Skillnad i styvhet mellan rör förstärkt med PVA betong och samma rör utan betong (Davidson, et al., 2008) .....	11
Figur 3 Sprickor i hjässan hos det förstärkta röret (Davidson, et al., 2008) .....	11
Figur 4 Schematisk finita element modell från (Davidson, et al., 2008) där $D$ är rörets diameter.....	12
Figur 5 Planskiss som visar avledning av vatten med ett litet rör inuti rörbron (Mattsson & Sundquist, 2006) .....	16
Figur 6 Den nya rörhalvan lanseras. Notera löparna på undersidan av det nya röret. (ViaCon, 2010) .....	18
Figur 7 Infästningen mellan det gamla röret och den nya rörhalvan svetsas på plats. (ViaCon, 2010).....	19
Figur 8 Rörbro just innan gjutning av betongen. Träpålarna ska motverka betongens lyftkraft (Lundström, et al., 2012) .....	19
Figur 9 Reparerad rörbro med halvsulning (ViaCon, 2010).....	20
Figur 10 Rengöring av rörbro innan reparation. (Sönksen, 2012).....	22
Figur 11 Objektet värms upp och torkas (Sönksen, 2012).....	22

## Förstärkning av rörbroar

Figur 12 Applicering av polyesterplast (Sönksen, 2012) .....	23
Figur 13 Rörbro efter att applicering av specialplasten gjorts. (Sönksen, 2012) .....	23
Figur 14 Utbyte av rörbro vid Isättravik (Andersson, 2012) .....	26
Figur 15 Korrugeringens tvärsnitt på bron, mått i millimeter.....	33
Figur 16 Provbiten för dragprovet såg ut enligt följande.....	34
Figur 17 Utförandet på dragprovet gick till enligt följande.....	35
Figur 18 Kurvan visar resultatet från dragprovet (flyttöjning).....	35
Figur 19 Typfordon för vägbroar enligt bilaga 2 i VV Publ. 2009:61 där A och B är axel- respektive boggielast. Siffran ovanför lasterna är det minsta avståndet mellan boggielasterna. ....	38
Figur 20 Figuren visar skillnaden när lasten ses som flera punktlaster resp. ses som en punktlast .....	39
Figur 21 Figuren visar beräkning av spänningen enligt Boussinesqs metod som beskrivs i kap 11.1.2 när lasten ses som flera punktlaster resp. en punktlast. ..	39
Figur 22 Partialkoefficienterna som används för objektet, dessa hämtade från Vägverket (2009). ....	40
Figur 23 Visar hur koordinatsystemet för fordonstyp (b) är uppbyggt. Enhet mm. ....	42
Figur 24 Figuren beskriver hur avståndet mellan parallella bultar definieras. ..	50
Figur 25 När förbanden ligger djupare än hjässan får det dimensionerade momentet för utmattning reduceras. (Pettersson & Sundquist, 2010).....	51
Figur 26 Diagrammet visar ett exempel på hur spänningen påverkas i hjässan beroende på överfyllnadshöjden med samma last. ....	54
Figur 27 Diagrammet visar ett exempel på hur spänningen påverkas i hjässan beroende på plåttjockleken med samma last.....	55

Figur 28 Definition av parametrar som används för beräkning av tröghetsmoment.....	60
Figur 29 Moment i rörbro utan sprutbetong respektive med sprutbetong .....	61
Figur 30 Tabell från tillverkaren Radmix som beskriver hur betongens egenskaper förändras beroende på fibermängd. (Radmix, 2009) .....	61
Figur 31 Diagrammet beskriver hur kritiska karaktäristiska bärförmågan för moment och moment i brottgränstillstånd varierar beroende på tjockleken hos den fiberarmerade betongen.....	63
Figur 32 Visar hur momentet i hjässan påverkas av överfyllnadshöjden för bro 4-705-1.....	64



Förstärkning av rörbroar

## Beteckningar

### Latinska versaler

$A_1$	tvärsnittsarea
$A_s$	spänningsarea för skruv
$A_x$	avstånd mellan laster i tvärlid
$B_x$	axelavstånd
$C_{my}$	faktor för ekvivalent konstant moment
$C_{yy}$	korrektionsfaktor enligt EN 1993-1-1
$D$	rörets diameter
$E_{betong}$	elasticitetsmodul för fiberarmerad sprutbetong
$E_k$	elasticitetsmodul för stål
$E_s$	tangentmodul för jordmaterial i kringfyllnaden
$E_{sd}$	dimensionerande tangentmodul för jordmaterial i kringfyllnaden
$F_{t,Ed}$	dimensionerande dragkraft per skruv i brottgränstillståndet
$F_{v,Ed}$	dimensionerande skjuvkraft per skruv i brottgränstillståndet
$F_{b,Rd}$	skruvens dimensionerande kapacitet vid skjuvning vid brott i plåt enligt EN 1993-1-8
$F_r$	den fiberarmerade betongens böjstyvhet efter 28 dagar enligt Radmix
$F_{t,Rd}$	skruvens dimensionerande kapacitet vid dragning enligt EN 1993-1-8
$F_{v,Rd}$	skruvens dimensionerande kapacitet vid skjuvning vid brott i skruv enligt EN 1993-1-8
$F_{St}$	beräknad dragkraft vid dimensionerande last i brottgränstillstånd enligt EN 1993-1-8
$F_{Sv}$	beräknad tvärkraft vid dimensionerande last i brottgränstillstånd
$H_v$	valvhöjd
$I$	tröghetsmoment för röret per längdenhet
$I_{betong}$	tröghetsmoment för fiberarmerad sprutbetong per längdenhet
$L_{best}$	bestämmande längd i m
$M_d$	dimensionerande böjmoment
$M_{s,cover}$	moment av jordlager
$M_{s,surr}$	moment av kringliggande jord
$M_{Rk}$	det kritiska tvärsnittets karakteristiska bärförmåga för moment
$M_s$	böjmoment av jordlast
$M_t$	böjmoment av trafiklast

## Förstärkning av rörbroar

$M_u$	moment vid fullständigt plasticerat tvärsnitt
$N_{Ed}, M_{y_{Ed}}$	Dimensionerande värden för normalkraft och böjmoment enligt EN- 1993-1-1
$N_{cr}$	knäckningslast för rörkonstruktioner i jord
$N_{cr_{el}}$	knäckningslast för rörkonstruktioner i jord vid ideala elastiska förhållanden
$N_d$	dimensionerande normalkraft
$N_{Rk}$	det kritiska tvärsnittets karakteristiska bärförmåga för tryckkraft
$N_{Obs}$	det totala antalet lastbilar per år i det långsamma körfältet enligt EN 1991-2 tabell 4.5
$N_s$	normalkraft från jord
$N_t$	normalkraft från trafik
$N_u$	normalkraft vid fullständigt plasticerat tvärsnitt
$P_x$	punktlast
$Q_0, N_0$	Trafikvärden enligt EN 1993-2
$Q_{m1}$	är bruttovikten i kN för lastbil i i det långsamma körfältet enligt EN 1993-2
$R$	krökningsradie
$R_b$	bottenradie
$R_c$	hörnradie
$R_f$	reduktionsfaktor, används vid små överfyllnadshöjder
$R_{punkt}$	beskriver spänningen när lasten ses som en punktlast
$R_{red}$	beskriver spänningen när lasten ses som en utbredd last
$R_s$	sidoradie
$RP$	relativ packningsgrad
$R_t$	toppradie
$S_{ar}$	reduktionsfaktor för överlast beroende på valvverkan
$S_v$	beräkningsparameter
$W$	böjmotstånd
$W_{betong}$	böjmotstånd för fiberarmerad sprutbetong
$Z$	plastiskt motståndsmoment

### Latinska gemener

$a_{skarv}$	skarvmått
$a, b$	matriser som beskriver hur hjulen placeras ut i koordinatsystemet i x och y-led
$c$	hel våglängd av stålprofilen
$d$	diameter på skruv
$d_0$	håldiameter

$d_s$	diameter på skruv vid anliggning mot gänga
$dx, dy$	mått för kontaktyta från hjultryck
$e_1$	hålcentrum till fri kant i kraftriktningen
$e_2$	hålcentrum till fri kant vinkelrätt kraftriktningen
$f_4'$	beräkningsparameter vid beräkning av jordlast
$f_1, f_2, f_3, f_4$	funktionsuttryck som förenklade syfte används i framställning
$f_{ub}$	karaktäristisk hållfasthet för skruv
$f_{uk}$	karaktäristiskt brottgränsvärde för stålet
$f_{yk}$	karaktäristiskt sträckgränsvärde för stålet
$h$	höjd på rörprofil, mått från botten till toppen på trumman
$h_{corr}$	korrugeringens höjd för rörbro av korrugerad plåt
$h_c$	överfyllnadshöjd
$h_{c\_red}$	effektiv överfyllnadshöjd
$h_f$	vertikalt avstånd från skruvförband till vägbanan
$k$	antal rader skruvar
$k_1$	faktor för skruvar
$k_v$	beräkningsparameter
$k_{yy}$	interaktionsfaktor enligt EN 1993-1-1
$m_t$	tvärsnittsparameter som beskriver tangentlängd
$n$	antal skruvar per meter
$n_{erf}$	antal skruvar som krävs per meter
$n_{pl}$	faktor
$n_t$	antal spänningscykler under konstruktions antagna spänningstid
$p_1$	mellanrum mellan hålcentrum i kraftriktning
$p_2$	mellanrum mellan hålcentrum vinkelrätt kraftriktning
$p_0$	storleken på steg som tas i modellen när lasten modelleras
$p_{trafik}$	ekvivalent trafiklast, linjelast
$q_x$	fördelat tryck från trafik
$r$	krökningsradie på tvärsnittet
$t$	plåttjocklek
$t_{Ld}$	brons avsedda livslängd i antal år enligt EN 1993-2
$w_y$	förhållande mellan plastiskt moståntmoment och böjmotstånd
$x, y$	koordinater
<i>Grekiska bokstäver</i>	
$\alpha$	tvärsnittsparameter som beskriver vinkel
$\alpha_1$	imperfectionsfaktor
$\alpha_b, \alpha_d, \alpha_v$	faktorer för skruvar
$\delta_{hj\dd{a}ssa}$	vertikal förskjutning av rörets hj\dd{a}ssa vid kringfyllnadsarbetet
$\delta_{max}$	maximal teoretisk nedböjning enligt EN 1993-1-1

## Förstärkning av rörbroar

$\varphi_{cv}$	friktionsvinkel för jorden
$\varphi_t$	normalt åtdragen skruv
$\varepsilon$	dynamiskt tillskott
$\gamma$	partialkoefficient
$\gamma_{Mf}, \gamma_{Ff}$	partialkoefficienter för utmattningslaster
$\gamma_{M1}$	partialkoefficient för stålet
$\gamma_{M2}$	partialkoefficient för skruv
$\gamma_n$	partialkoefficient för säkerhetsklass
$\gamma_m$	partialkoefficient för material
$\eta_j$	beräkningsparameter
$\kappa$	beräkningsparameter
$\rho_1$	tunghet för jordmaterial upp till hjässans nivå (kringfyllning)
$\lambda$	Skadeekvivalentfaktor enligt EN 1993-2
$\lambda_f$	styvhetsparameter som anger förhållandet mellan rörets och omgivande jods respektive styvheter (dimensionslös)
$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$	faktorer för utmattningsberäkning enligt EN 1993-2
$\mu$	beräkningsparameter
$\xi$	beräkningsparameter
$\sigma$	spänning
$\sigma_v$	vertikalt tryck i jorden under punktlast
$\phi_2$	den skadeekvivalenta dynamikfaktorn enligt EN 1993-2.
$\psi$	reduktionsfaktor beroende på tid
$\omega$	knäckningskraft/kraft vid plasticering
$\Delta F_{mod}$	Dragkraften i varje skruv i utmattningsstillstånd
$\Delta F_{E2s}$	effektiv spänning
$\Delta \sigma_{mod}$	dragspänning beroende på förbandsklass enligt EN 1993-1-9
$\Delta \sigma_c$	spänning beroende på förbandsklass enligt EN 1993-1-9
$\Delta \sigma_{cp}$	dragspänning per skruv i utmattningsstillstånd
$\Delta \sigma_{E2b}$	dimensionerande värde i utmattningsstillstånd modifierad spänning enligt EN 1993-2
$\Delta \sigma_{E2p}$	dragspänning per skruv i utmattningsstillstånd
$\Delta \sigma_{E2b}$	dimensionerande värde i utmattningsstillstånd modifierad spänning enligt EN 1993-2
$\Delta \sigma_{E2p}$	dragspänning per skruv i utmattningsstillstånd
$\Delta \tau_c$	skjuvspänning beroende på förbandsklass enligt EN 1993-1-9
$\Delta \tau_{E2s}$	skjuvspänning per skruv i utmattningsstillstånd
$\chi$	reduktionsfaktor för relevant instabilitetsmod
$\Phi$	värde som används för att bestämma reduktionsfaktorn $\chi$
<i>Övriga index</i>	

## Beteckningar

<i>A</i>	brottgränstillstånd enligt VV Publ. 2009:61
<i>B: a</i>	bruksgränstillstånd enligt VV Publ. 2009:61
<i>f, C</i>	utmattningsgränstillstånd



# 1. INLEDNING

## 1.1 Bakgrund

En rörbro är en bro som byggs upp med korrugerade krökta plåtar till ett rör (trumma) eller ett valv som i samverkan med omkringliggande packad jord utgör den bärande konstruktionen. Rörbroar byggs idag vanligtvis med 80 års teknisk livslängd enligt TRVK Bro 11 (2011). Fram till 1970-talet var det enda korrosionsskyddet varmförzinkning. Detta medför att många gamla rörbroar är i dåligt skick och behöver repareras eller bytas ut. Det vanligaste problemet med rörbroar är att de rostar av kring vattenlinjen, vilket kan lösas på en rad olika sätt. Om förhållandena tillåter kan det vara billigast att byta bron mot en ny. I annat fall kan rörbroarna ligga under stora jordmassor, vilket gör att schaktkostnaderna blir orimligt höga och det är då mer fördelaktigt att göra en reparation. En av de vanligaste reparationsmetoderna är med hjälp av sprutbetong. Med sprutbetong räknar man idag inte med att kunna tillgodoräkna sig någon lastbärande effekt utan den fungerar endast som korrosionsskydd.

Idén till examensarbetet kom från det dagliga samarbetet mellan Grontmij Anläggningsunderhåll och Trafikverkets organisation i Stockholm, George Chamoun och Johan Sjösten, där frågan hur de normala reparationerna påverkar rörbroarnas bärförmåga flera gånger lyfts. Trafikverket planerar att under 2012/13 var att genomföra 10 stycken reparationer av rörbroar i Södermanlands län. I detta examensarbete studeras ett av dessa objekt, bro över bäck sydost Hägerås i Eskilstuna, Knr 4-705-1. Bron är en typisk rörbro, lågbyggd, samverkanskonstruktion i stål med en spännvidd på 2,8 m. Den är byggd 1967 och tjänar som vägbro i bärighetsklass BK 2. Bron har korrosionsskador i vattenlinjen och Trafikverket planerar reparera denna under det kommande året.



## Förstärkning av rörbroar

För bärighetsklassning användes tidigare publikation ”Bärighetsklassning av rörbroar” författad av Pettersson (1998), som tillämpade den gamla standarden BKR 07 och i dagsläget finns ingen ny beräkningsgång för detta. På KTH håller man på att utveckla ett program där bärighetsklassning görs på det nya sättet som beskrivs i publikationen ”MB802 Bärighetsutredning av byggnadsverk” från Vägverket (2009) att man tillämpar handboken ”Design of soil steel composite bridges” författad av Pettersson & Sundquist (2010) som tillämpar de nya Eurokoderna.

### 1.2 Syfte och frågeställning

Syftet med examensarbetet är att pröva hypotesen att det går att tillgodoräkna en lastbärande effekt vid reparation med sprutbetong. Övriga frågeställningar som behandlas är:

Vilka reparationsmetoder används idag och hur väljer man mellan dessa metoder?

Vilken tidpunkt under en rörbros livslängd är optimal att reparera på och vilka indikationer finns att en sådan tidpunkt är nådd?

### 1.3 Mål

Målet med examensarbetet är att utreda om reparation med sprutbetong på aktuellt objekt kan höja dess lastkapacitet och hur den reparationen i så fall ska utformas.

En utredning genomförs på bro 4-705-1, ”bro över bäck sydost Hägerås” där hela dimensioneringsprocessen går igenom för att kontrollera att den är korrekt klassad. Även redogöra vilken reparationsmetod som lämpar sig bäst samt kontrollera om det är möjligt att klassa upp bron från BK2 till bärighetsklass BK1.

Ett beräkningsdokument tas fram som bygger på de nya standarderna enligt Vägverket (2009) och Pettersson & Sundquist (2010) med tillämpning av Eurokod. Beräkningsdokumentet möjliggör att man för vanliga rörbroar kan mata in dimensioner och egenskaper för att kontrollera bärighetsklass.

## Inledning

### 1.4 **Omfattning och avgränsningar**

Utredningen omfattar rubricerad rörbro även om den även kan indikera mer generella slutsatser. Bärighetsklassningen på bron kommer att följa ”Design of soil steel composite bridges” av Lars Pettersson och Håkan Sundqvist, KTH, 2010 och ”VV Publ. 2009:61”. Reparationsmetoder kommer att kartläggas. En utredning kommer att göras på vilken sorts reparationsmetod lämpar sig bäst vid korrosionsskadade rörbroar vad gäller genomförande och pris. Ett annat problem som ska studeras är vid vilken tidpunkt som man ska reparera korroderade rörbroar.

### 1.5 **Metod**

Arbetet inleds med en litteraturstudie där dimensionering och bärighetsklassning av rörbroar, reparationsmetoder, samverkanskonstruktion samt sprutbetong studeras. Intervjuer med personer som jobbar med dessa typer av reparationer och dimensionering genomförs. Det studerade objektet kontrollräknas där hela dimensioneringsprocessen genomgås för att kartlägga påkänningarna vid dagens laster samt vilka belastningar konstruktionen skulle behöva dimensioneras för om bron tillåts belastas i BK 1. Beräkningen görs i MatCAD 15.0 och finns med som en beräkningsrapport i Bilaga A. Ett platsbesök har gjorts på bro 4-705-1 och bron har mätts in enligt Trafikverkets standardritningar. För att få veta karaktäristiskt värde på det befintliga stålets draghållfasthet så har förstörande provning gjorts på den övre delen av röret. Provet testades på KTH:s avdelning för byggvetenskap.

### 1.6 **Handledning och examination**

Examensarbetet skrevs för Lunds Tekniska Högskola och utfördes på Grontmij Anläggningsunderhåll i Stockholm med Anders Wiberg, Tekn.dr i Betongbyggnad som handledare. Handledare från Lunds Tekniska Högskola var Oskar Larsson Tekn.dr och examinator universitetslektor Miklós Molnár.



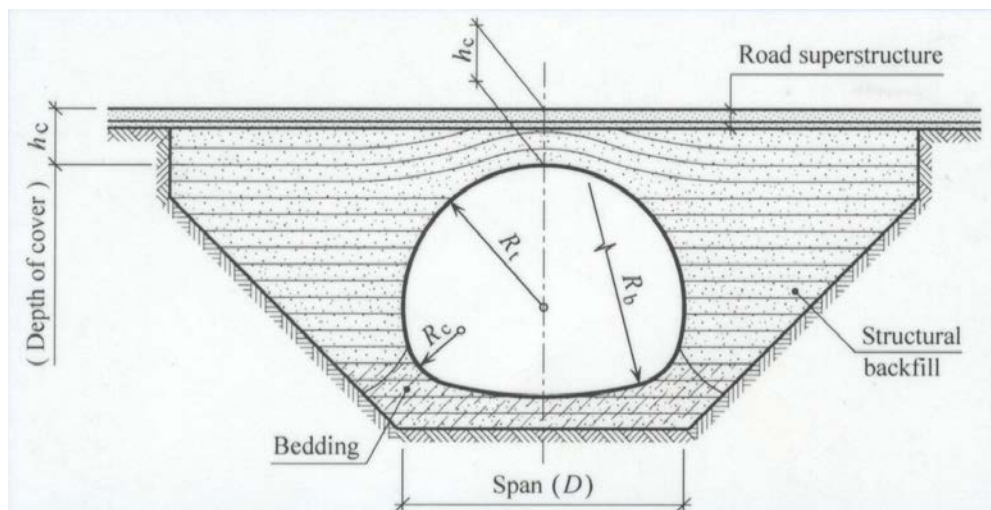
**DEL 1**  
**- LITTERATURSTUDIE OCH**  
**INTERVJUER**

Förstärkning av rörbroar

## 2. RÖRBRUAR

### 2.1 Beskrivning av rörbroar

Med rörbroar menas, enligt Pettersson & Sundquist (2010) broar som byggs upp med korrugerade krökta plåtar till ett rör (trumma) eller ett valv som i samverkan med omkringliggande packad jord utgör den bärande konstruktionen se Figur 1. I och med att plåtröret är flexibelt och böjer undan när last påförs skapar den omkringliggande jorden en valvverkan som kan ta upp stora delar av lasten så mindre last belastar stålkonstruktionen. Detta kan jämföras med traditionella broar där själva brokonstruktionen får ta större del av lasten.



Figur 1 En typisk utformning av en rörbro, som beskriver viktiga parametrar såsom spännvidd,  $D$ , överfyllnadshöjden,  $h_c$ , olika radier av röret samt över- och kringfyllning. (Pettersson & Sundquist, 2010)

Byggtiden är kort i jämförelse med traditionella broar och tunnlar, en normal rörbro byggs vanligtvis en vecka. (ViaCon, 2010)

## 2.2 Brobestånd och renoveringsbehov

Det totala brobestånd som fanns inlagt i BaTMan (se avsnitt 2.4) bestod hösten 2012 av nära 30 000 broar. Av dessa broar så var 4 430 rörbroar med en total konstruktionsyta på 340 000 m<sup>2</sup> varav 4 100 broar gjorda av stål. Många av dessa rörbroar är bryggda på 50- och 60-talet och är i behov av renovering eller utbyte. (Trafikverket, 2010).

Johan Sjösten, Trafikverket, beställare av examensarbetet, ansvarar för totalt 4650 broar varav 620 är rörbroar. Ett bevis på att rörbroar börjar bli dåliga är att under de senaste tre åren har det skett två stycken kollapser av rörbroar i hans brobestånd. (Sjösten, 2012)

Nedan presenteras de vanligaste åtgärder för att reparera korrosionsskador på rörbroar och för att förlänga deras livslängd.

## 2.3 Forskning om skador på rörbroar

I USA har flera trafikmyndigheter gjort liknande studier där man kartlagt skador och reparationsmetoder. Skillnaden är främst att i USA använder man sig generellt av mindre rörbroar än i Sverige med en spännvidd vanligtvis mellan 0,03 – 1,8 m. I Sverige skulle dessa kallas vägtrummor av stål då definitionen för att få kallas bro är att spännvidden minst måste vara 2 m. I Meegoda & Juliano, (2009) refereras till Beaton & Stratfull (1962) där California Division of Highways genomfört en omfattande fältstudie där drygt 7 000 rörbroar/vägtrummor utvärderades. Slutsatsen var att pH och konduktivitet hos jord och vatten var de viktigaste faktorer som påverkar hållbarheten hos broarna. I samma rapport undersöktes också 1 616 rörbroar av Ohio Department of Transportation. Resultatet av studierna var att rörbroar har en livslängd på 10 år till ca 35 år innan skador av stålet inträffar. För att få en längre livslängd lägger man på en beläggning för att skydda stålet efter att stålet varmförzinkats. Den vanligaste beläggningen är bitumen eller asfaltbeläggning och detta kan ge en livslängd på 50-75 år för broarna.

Mattsson & Sundquist (2006), refererar till ett examensarbete av Herlevsson & Oldgren (1987) där 16 rörbroar av stål som byggdes i Norrbotten mellan 1958-1963 har undersökts. Alla rörbroarna var vattenförande, flest skador uppkom på de rörbroar som låg i anslutning till saltvatten och mindre antal skador noterades för broar som låg i skogs- och bergsområden. Mest korrosion uppkom på insidan av röret, nära vattenlinjen. Man fann också att det var mer

korrosion i utkanterna av röret jämfört med mitten. Slutligen konstaterades att livslängden var mindre än 15 år för varmgalvaniseringen på rörbroarna.

#### 2.4 Förvaltning (BaTMan)

Bro och tunnelförvaltningssystemet BaTMan används idag i hela Sverige för att förvalta, inspektera och kontrollera broar och andra konstruktioner. Förvaltare, konsulter, entreprenörer och många andra får genom systemet dagligen stöd och uppdaterad information om tiotusentals konstruktioner.

BaTMan innehåller en sökbar databas med de konstruktioner som finns inlagda, där användare kan föra in nya uppgifter och även kontrollera tidigare åtgärder. Systemet hjälper också ansvariga med arbetet från inspektion till upphandling och åtgärd.

Trafikverket har som förhoppning att systemet ska bli branschgemensamt för alla broförvaltare och har idag redan kommit en bra bit på vägen. 2012 var 80 kommuner anslutna till systemet. (Sjösten, 2012)

#### 2.5 Reparationsalternativ

När en rörbro som behöver åtgärder har identifierats tar Trafikverket beslut i samråd med en konsult om vad som ska göras. Konstruktionen kan bytas ut helt eller så finns det några olika reparationsmetoder att välja mellan, det finns många faktorer som påverkar detta beslut. Bland annat omfattningen på skadorna, konsekvensen av att vägen stängs av, jordens överfyllnadshöjd och uppskattning av återstående livslängd på rörbron beroende på om reparation görs eller inte. (Sjösten, 2012)

En annan aspekt man måste ta med är hur vattenflödet i vattendraget varierar över året. Detta både för att planera när det är mest optimalt att genomföra reparationen och även kontrollera hur reparationen kommer att påverka vattenströmningen. Vid vissa reparationer minskas rörets diameter, vilket medför att kapaciteten för vattenflödet minskar. (El Sheriff, 2012)

Har Trafikverket beslutat att reparera, finns flera vanliga metoder att välja bland. I avsnitt 3-5 beskrivs de tre vanligaste reparationsmetoderna. Även en kort sammanfattning av hur genomförandet går till med utbyte av en rörbro beskrivs i avsnitt 6.



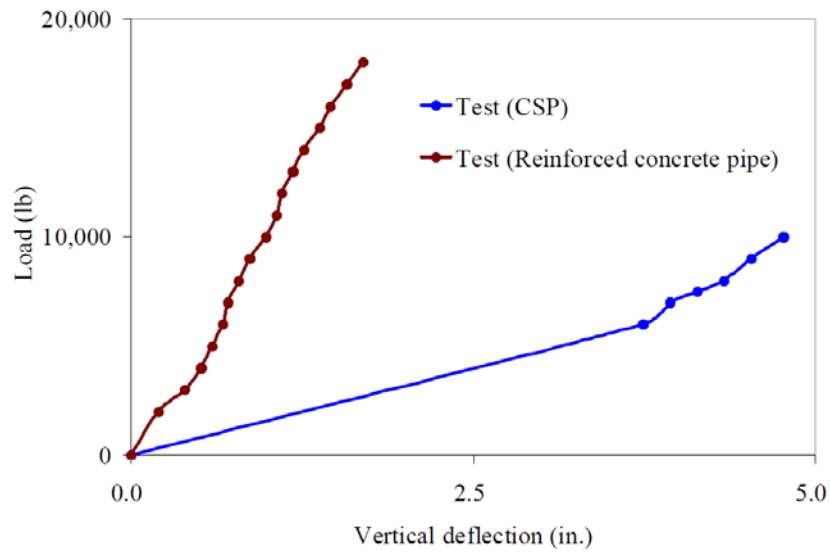
## 2.6 Forskning gällande förstärkning av rörbroar med sprutbetong

Sprutbetong har länge varit den vanligaste metoden för reparation av rörbroar i Sverige. Dock anses denna reparation endast ge en ytbehandlingseffekt som skyddar mot korrosion och inte någon effekt på bärigheten hos bron. Det finns intresse från Trafikverket att veta hur de normala reparationerna påverkar rörbroars bärförmåga och om det är möjligt att med hjälp av sprutbetong förstärka bron. Idag finns det inte några generella riktlinjer för hur utförandet ska gå till annat än de som Trafikverket (2012) beskriver i AMA anläggning 10, där det endast beskrivs hur arbetet ska genomföras och att ytor som ska sprutas med betong ska blästras till en renhetsgrad SA 2 enligt SS-EN ISO 8501-1. Inga krav på vidhäftning eller betongkvalitet finns, detta kan anges i varje enskilt fall. Många entreprenörer som har intervjuats är övertygade om att sprutbetong höjer bärförmågan. Sprutbetong används frekvent i reparationsarbete med broar, tunnlar, vattenkraftverksdammar och som bergförstärkning, där den i de flesta fall bedöms öka bärförmågan. I detta examensarbete undersöks om det med sprutbetong är möjligt att höja bärförmågan hos rörbroar samt hur en sådan reparation i praktiken ska utföras.

Vid litteratursökning har två stycken utredningsrapporter hittats. En rapport beställd av Alabama Department of Transportation där ett liknande problem presenterades och undersöktes och en av Auburn University som jobbat vidare i samma ämne, båda med inblandning av samma professor, J.S Davidsson. Målet med det först nämnda projektet var att undersöka möjligheterna att använda PVA (polyvinylalkohol) fiberförstärkt sprutbetong för renovering och förebyggande underhåll av åldrande rörbroar av stål. Drivkraften för denna undersökning var också här behovet av en ny kostnadsbesparande teknik för renovering av rörbroar.

I rapporten av Davidson, et al., (2008) undersöks först vilken betongblandning som är optimal för att utföra reparationen. Främst olika blandningar med PVA (polyvinylalkohol) fiberförstärkt sprutbetong undersöks, för att få bäst resultat vad gäller vidhäftning och hållfasthet. Detta är inget som behandlas i detta examensarbete. Davidson undersöker också hur tjockt lager sprutbetong som behövs för att förstärkningen ska fungera optimalt. Fullskaleförsök då rörbroar belastas har gjorts med två olika rör. Ett rör utan någon sprutbetong och sedan ett rör med ca 4 mm fiberförstärkt PVA sprutbetong. Lasten las på direkt på rörets ovansida och hade därför ingen kringfyllning. Resultaten från försöken visas i Figur 2. Brottet karakteriserades av långsgående sprickor i hjässan. Övrig betong satt på plats utan någon betydande spjälkning se Figur 3. Det rör

som inte sprutats aldrig till brott. För det sprutade röret så uppstod ett brott i hjässan, se Figur 3.



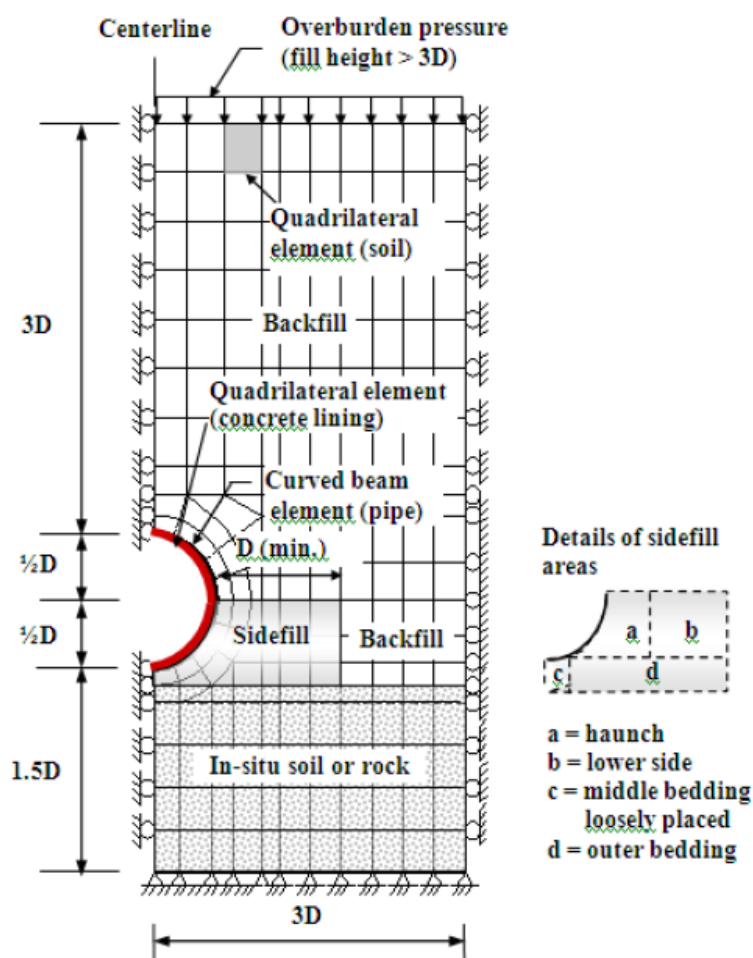
Figur 2 Skillnad i styvhet mellan rör förstärkt med PVA betong och samma rör utan betong (Davidson, et al., 2008)



Figur 3 Sprickor i hjässan hos det förstärkta röret (Davidson, et al., 2008)

## Förstärkning av rörbroar

Davidson, et al., (2008) gjorde också en finita element modell för att beräkna spänningarna i betongen och stålet, se Figur 4. Denna modell är dock inte lämplig i vårt fall då de allra flesta rörbroar ligger under betydligt mindre fyllnadshöjd. Eftersom fyllnadshöjden är så stor medför detta att det bara kommer att uppkomma normalkraft i röret och att momentet som annars finns i hjässan försvinner.



Figur 4 Schematisk finita element modell från (Davidson, et al., 2008) där  $D$  är rörets diameter.

I rapporten drogs slutsatsen att tillvägagångssättet med fiberarmerad PVA sprutbetong ger stora möjligheter att förstärka skadade rörbroar. Att det finns en samverkan mellan stålröret och betongen är känt men det är viktigt att beräkna hur mycket av lasten som upptas av betongen. Det är också okänt om samverkan mellan materialen är fysiskt, kemiskt eller en kombination. Fiberarmering med PVA-ECC ger egenskaper som kan minimera tjockleken på sprutbetongen då hållfasthet, styvhet och duktilitet förbättras för betongen. Det rekommenderas att göra mer forskning inom området, utveckla riktlinjer för konstruktion och kontrollera hur konstruktionen klarar sig under en längre period.

I den andra rapporten (Davidson & Kang, 2013) som byggde på samma modell som föregående så finns följande slutsatser.

- Den högsta dragspänningen i betongen uppstod i hjässan.
- Den faktor som styr bärförmågan hos rör med sprutbetong är draghållfastheten för sprutbetongen.
- Fler studier kan krävas för att fastställa maximala överfyllnadshöjder för sprutade rörbroar, då omfördelning av lasten som verkar på konstruktionen tenderar att leda till dragbrott i betongen på hjässan.
- Utböjningen av de testade sprutade rörbroarna med betonglining ansågs vara mindre än 3 %. Detta kan ses som bevis för att den styrande faktorn är just draghållfastheten hos betongen. Dragpåkänningar upplevs öka även när fyllningshöjden ökar. Konstruktörer måste därför ta hänsyn till dragspänningen för betongliningen.

Förstärkning av rörbroar

### **3. REPARATION MED SPRUTBETONG**

#### **3.1 Inledning**

Den vanligaste och mest traditionella metoden att reparera rörbroar av stål i Sverige är med sprutbetong. (Mattsson & Sundquist, 2006) Nästan alla sprutbetonglagningar görs med torrsprutning. Beroende på förutsättningarna så sprutas antingen drygt halva röret eller så sprutas hela. (El Sheriff, 2012)

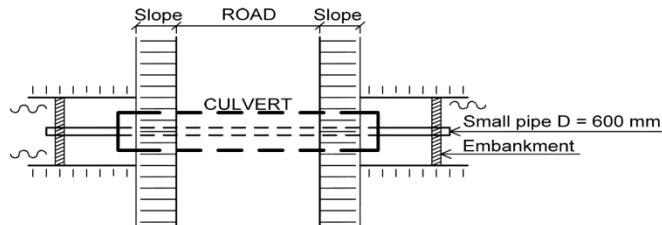
(Trafikverket, 2012)

#### **3.2 Genomförande**

För att kunna reparera en rörbro som är vattenförande måste det finnas möjlighet att torrlägga bron invändigt. I vissa fall har entreprenörer provat att gjuta i vatten men det ger inget bra resultat samt att arbetsförhållandena blir dåliga. (El Sheriff, 2012) Torrläggning kan göras genom att dämna uppströms bron och därifrån antingen pumpa vattnet eller leda förbi det i en tillfällig trumma, se exempel i Figur 5. En tillfällig trumma kan antingen grävas ner eller tryckas genom vägbanken, ofta är tvärsnittytan av den kulverten mindre än ursprungliga. Ibland kan man tvingas dämna både upp- och nedströms så att inte vatten rinner tillbaka. (El Sheriff, 2012)

Nästa steg är en omfattande rengöringsfas där sten och slam avlägsnas, därefter följer en inspektion för att bedöma i vilket skick bron befinner sig i. Det är viktigt att se till att omgivningen är torr och ren så att det inte kommer in vatten. (Fjellström, 2012)

## Förstärkning av rörbroar



Figur 5 Planskiss som visar avledning av vatten med ett litet rör inuti rörbron  
(Mattsson & Sundquist, 2006)

Efter rengöringen blåstras kulverten för att ta bort alla korroderade ytor. Ytor som ska sprutas med betong ska blåstras till renhetsgrad SA 2 enligt AMA Anläggning 10 från Trafikverket (2012). Eftersom de flesta trummorna är varmförzinkade blir det farligt avfall från blåstringen. För att städa upp detta så används en sugbil, som sedan lämnar avfallet på deponi eller på övrig plats, beroende på vilka förordningar som gäller för materialet. (Fjellström, 2012)

Normalt gjuts botten först; beroende på vad som föreskrivs används antingen stålfiberarmerad betong eller en bottengjutning med nätarmerad betong. Enligt Fjellström, (2012) är det smidigare för entreprenörerna att jobba med stålfiberbetong och gjutningen går snabbare. Den stålfiberarmerade betongen i botten måste vara minst 100-150 mm tjock. (Mattsson & Sundquist, 2006) Efter detta sprutas väggarna med fiberarmerad sprutbetong. Antingen sprutas hela röret eller bara väggarna, beroende på hur omfattade skadan är. När bara väggarna sprutas används epoxi i gränsen mellan stål och sprutbetong. Det är viktigt att få epoxifogen tät annars finns risk att vatten kommer in mellan betongen och stålet, då kan frostsprängning ske.

Ingen impregnering av betongen behövs vid sprutbetonglagning då konstruktionen är utsatt för vatten hela tiden, normalt sätt så används eftervattning. (Fjellström, 2012)

## **4. REPARATION MED HALVSULNING**

### **4.1 Inledning**

Ett annat reparationsalternativ som har blivit allt vanligare på senare år är halvsulning. Halvsulning innebär att en ny rörhalva sätts in innanför det gamla röret. Efter att det nya röret har fixerats och svetsats fast med hjälp av fästelement gjuts betong in i mellanrummet mellan det gamla röret och den nya rörhalvan. Mellanrummet är vanligtvis runt 10 cm. Denna typ av reparation ger både en konstruktiv effekt då den återställer rörets ursprungsläge och ger en förnyad livslängd på 80 år enligt tillverkaren. Nedanstående är information är baserad på en artikel från Lundström, et al. (2012) och från tillverkaren ViaCon (2010).

### **4.2 Genomförande**

Även vid denna typ av reparation så behövs en total torrläggning av röret om röret är vattenförande. Torrläggningen görs på samma sätt som beskrivet ovan för reparation med sprutbetong. Även rengöringsfasen och efterföljande inspektion görs på likadant vis.

Den nya underdelen av röret med nya brosektioner på ungefär sex meter monteras samman. Den nya rörhalvan kan sedan lanseras, dvs. föras in i den befintliga rörbron, se Figur 6. En grävmaskin fungerar bra som draganordning. För att underlätta lanseringen kan ”löpare” installeras antingen på golvet i den gamla kulverten eller på den nya rörhalvan, se Figur 6. Löparna kommer också att fungera som det avstånd som kommer att skapa det önskade utrymmet för betongen mellan det gamla och det nya röret. En normal lansering är gjord på några timmar.



## Förstärkning av rörbroar



*Figur 6 Den nya rörhalvan lanseras. Notera löparna på undersidan av det nya röret. (ViaCon, 2010)*

Efter lansering ska den nya rörhalvan fixeras i rätt läge och speciella fästelement ska svetsas på plats. Fästelementen har till uppgift att föra över normalkrafter från den befintliga rörbronns överdel till den nya underdelen. Avståndet mellan fästelementen beror på hur stor kraft som ska överföras; Elementen bultas till den nya rörhalvan och svetsas sedan in i den befintliga rörbron, se Figur 7. När alla fästelement är på plats fylls utrymmet mellan den nya rörhalvan och den befintliga bron med betong. Betongen fungerar dels som korrosionsskydd och dels som stöd för den nya konstruktionen.



*Figur 7 Infästningen mellan det gamla röret och den nya rörhalvan svetsas på plats. (ViaCon, 2010)*

I rörbroar där nedre delen har en stor area måste lyftkraften i betongen beräknas så att nödvändiga avståndet mellan pålar kan bestämmas, se Figur 8.



*Figur 8 Rörbro just innan gjutning av betongen. Träpålarna ska motverka betongens lyftkraft (Lundström, et al., 2012)*

När betongen pumpas in mellan rörhalvan och bron måste den vara flytande nog för att fylla alla håligheter. I fall där det gamla röret är i dåligt skick och

## Förstärkning av rörbroar

även delar av bakfyllningen försvunnit, kommer betongen också att fylla hålrum utanför gamla kulverten. En ytterligare volym av betong kan behövas i dessa fall. Om grundvatten läcker in från bakfyllningen måste betongen vara anpassad för att kunna härda i vatten. Resultatet kan man se i figur Figur 9



*Figur 9 Reparerad rörbro med halvsulning (ViaCon, 2010)*

När anslutningarna ska svetsas fast i den gamla delen av rörbron uppkommer skador som kommer att påskynda korrosion på utsidan av den delen. Mätningar har visat att ca 50 % av zinkbeläggningen finns kvar efter svetsning.

## **5. TUBUS SYSTEM RENOVERING**

### **5.1 Inledning**

Metoden är utvecklad av företaget Tubus System, idén för att reparera på detta sätt utvecklades först för spillvatten och VA-system. Flera lager korrosionsbeständig specialplast appliceras på insidan av den befintliga konstruktionen som därmed blir helt tät och motståndskraftig mot såväl kemisk som mekanisk nötning. Tester utförda av Statens Provningsanstalt visar att materialet har en livslängd på över 50 år.

### **5.2 Genomförande**

Förarbetet i denna reparationsmetod ser ut på samma sätt som i de två föregående metoderna. D.v.s. vattnet dämms upp och bron torrläggs. När detta är klart kommer en rengöringsfas, där allt slam tas bort, se Figur 10.

Efter blästring inspekteras bron och eventuella skador repareras. Hur skadorna repareras är oklart, då tillverkaren endast varit kontaktbar via mail och inte kunnat svara på frågan. Nästa steg i processen är att värma och torka röret, se Figur 11.

## Förstärkning av rörbroar



*Figur 10 Rengöring av rörbro innan reparation. (Sönksen, 2012)*



*Figur 11 Objektet värms upp och torkas (Sönksen, 2012)*

Flera lager av en glasfiberförstärkt polyesterplast appliceras på insidan av den befintliga konstruktionen, se Figur 12. Polyesterplasten som används är en styrenfri glasförstärkt polyester som används på stål i allmänhet och i synnerhet på stålkonstruktioner som utsätts för extremt slitage t.ex. oljeplattformar och broar.



*Figur 12 Applicering av polyesterplast (Sönksen, 2012)*

Ungefär en timme efter att det sista skiktet lagts på kan vattnet släppas på igen. Med denna metod behålls tvärsnittsarean samtidigt som metoden genom den låga friktionen i väggytan ger en ökad flödeskapacitet. Enligt tillverkaren så återställs objektets livslängd och vattengenomströmningen ökas samtidigt som packningsgrund och jordförhållanden förblir oförändrade. Metoden går att arbeta med året runt och slutresultatet visas i Figur 13.



*Figur 13 Rörbro efter att applicering av specialplasten gjorts. (Sönksen, 2012)*

Tillverkaren lämnar garanti på utförda arbeten och 10 års funktionsgaranti på sitt material.

Förstärkning av rörbroar

## **6. UTBYTE AV RÖRBRO**

### **6.1 Inledning**

En vanlig åtgärd när korrosionsprocessen gått långt är att helt enkelt byta ut röret till ett nytt. Detta går oftast snabbare än att reparera med någon av de ovanstående reparationsmetoderna, då röret monteras enkelt och snabbt av en relativt liten arbetsstyrka. Sektioner sammanfogas på plats med vanliga skruvförband. Dock är nackdelen att vägen måste stängas av och att trafiken måste ledas om. (Sjösten, 2012)

### **6.2 Genomförande**

Första steget är att entreprenören tar fram en arbetsberedning för schaktplan. Material av typ restprodukter, återvunna material och dylikt som påträffas i jordschakt skall anmälas till beställaren. Entreprenören ansvarar för stabiliteten av alla temporära schakter och erforderlig länshållning.

Ett exempel på arbetsgång för schaktning redovisas nedan (Sjösten, 2012)

- Broläge vallas in och vattnet i bäcken pumpas förbi bron.
- Avstängning av vägen.
- Rivning av befintlig bro.
- Schakt för ny bro och byggande.
- Vattnet leds i ny bäckfåra.



## Förstärkning av rörbroar

Innan schaktningsarbetet utförs ska arbetsplatsen vallas in uppströms och nedströms på liknande sätt som beskrivs ovan nämnda reparationsmetoder. Arbetena ska utföras på sådant sätt att grumling minimeras. Med detta avses att grumling endast får ske i samband med att vallarna uppströms och nedströms anläggs och rivs. Därutöver ska vatten pumpas förbi arbetsplatsen. Vid grumlande arbeten skall sedimentskärmar finnas tvärs vattendraget. (El Sheriff, 2012)

I det fall tjällyftande material återfinns på grundläggningsnivån och ner till 1 m djup under denna skall detta material utskiftas och ersättas med tjälskydd enligt Trafikverket (2011). Kontroll av förekomst av tjälfarligt material ska utföras på 4 ställen utmed trummans längd. Hela eller delar av bron lyfts på plats med hjälp av en lyftkran se Figur 14 och monteras därefter.

Rörbron ska förses med korrosionsskydd enligt Trafikverket (2011). För omfattning av invändigt korrosionsskydd ska förutsättas att medelvattenytan är belägen 1,0 m från trummans inre underkant.

Befintligt räcke ska nedmonteras och återanvändas efter återställning av vägbank över rörbron.



*Figur 14 Utbyte av rörbro vid Isättravik (Andersson, 2012)*

## 7. DISKUSSION RENOVERINGSMETODER

Den största samhällskostnaden som Trafikverket vill undvika är att trafiken står stilla och att människor inte kan ta sig hem. Fördelen med samtliga reparationsmetoder som beskrivs i detta examensarbete är att allt arbete kan göras utan att det blir ett kostsamt schakt som stör trafiken. Även packningsgrad och jordförhållande blir oförändrade.

Enligt entreprenörer som intervjuats är det mest kritiska skedet vid samtliga reparationsmetoder och också vid utbyte att dämna vattnet. Då detta är större delen av arbetet så gör detta att reparationerna inte skiljer sig så mycket i kostnad då dessa arbeten är de samma för reparationsmetoderna.

Om bron är i väldigt dåligt skick, har rostet igenom på flera ställen och om man inte väljer att byta ut den så är halvsulning det bästa reparationsalternativet. Halvsulning är den enda reparationsmetoden i dagsläget som återställer rörbrons ursprungliga kapacitet och ger mest robust resultat, dock visas i den sista delen att en sprutbetonglining runt hela röret möjligtvis också kan återställa brons kapacitet.

En viktig aspekt att ta med i beräkningen är hur vattenflödet i vattendraget varierar över året och hur stor diameter som krävs för att klara vattenflödet. Vid både halvsulning och reparation med sprutbetong minskas rörets diameter, vilket gör att mindre vattenmängder kan transporteras genom röret. Vill man behålla eller öka kapaciteten för genomströmning är Tubus-metoden eller utbyte av rörbron de enda alternativen.

Frågeställningen som ställdes i början av examensarbetet, vilken metod som lämpar sig bäst för bro 4-705-1 besvaras i slutet av kap 13, Resultat av bärighetsklassning. Detta för att få mer information om det specifika objektet, t.ex. hur viktig plåttjockleken på nedre delen av röret är.

Förstärkning av rörbroar

**DEL 2**  
**- BERÄKNINGAR AV**  
**PÅKÄNNINGAR I EN RÖRBRO**  
**SAMT BÄRIGHETSKLASSNING**  
**AV BRO 4-705-1**

Förstärkning av rörbroar

## 8. INLEDNING

### 8.1 Introduktion

”Bro över bäck so Hägerås” i Eskilstuna, Knr 4-705-1 är en typisk rörbro, en lågbyggd samverkanskonstruktion i stål med en spännvidd på 2,8 m. Den är byggd 1967 och tjänar som vägbro i bärighetsklass, BK 2.

Objektet valdes ut därför att bron var bärighetsklassat till BK2. Detta för att eventuellt kunna klassa upp objektet eller på något sätt hitta en förstärkning. Under examensarbetets gång har Trafikverket klassat upp bron till BK1 med hjälp av en Generell klassning. Samtidigt har Vectura i uppdrag att göra en individuell bärighetsklassning enligt den gamla metoden som beskrivs i Bärighetsklassning av rörbroar av Pettersson (1998). I detta examensarbete kommer en bärighetsklassning att göras på det nya sättet som beskrivs MB802 bärighetsutredning av byggnadsverk av Vägverket (2009) där handboken ”Design of soil steel composite bridges” författad av Pettersson & Sundquist (2010) och de nya Eurokoderna används.

### 8.2 Generell klassning

Enligt BaTMan handbok (Trafikverket, 2010) görs en generell klassning enligt följande: ”Det finns två varianter av den generella klassningen. I båda fallen utgör metoden ett sätt att, i avvaktan på en klassningsberäkning” ge bron bärighetsuppgifter.

## Förstärkning av rörbroar

Den andra varianten är mest relevant för detta examensarbete då aktuell bro har en spännvidd på 2,8 meter. Varianten som används är för de broar, med en spännvidd av 2-3 meter, som i mitten på 1990-talet togs in i Vägverkets broförvaltningssystem. ”Den generella klassningen innebär i det här fallet att bron får en tillåten trafiklast lika med den trafiklast som vägen är upplåten för. I SAFEBRO (det gamla broförvaltningssystemet) angavs här klassningsdatumet till 1995-01-01. I BaTMan ska klassningsdatumet sättas till det datum då klassningen av konstruktionen gjordes.”

### 8.3 Individuell klassningsberäkning

Från (Trafikverket, 2010): ”Metoden används alltid vid klassningsberäkning av broar dimensionerade för icke ekvivalent trafiklast, det vill säga för broar dimensionerade enligt 1938 års belastningsbestämmelser och tidigare. Den används också ofta vid klassningsberäkning av broar dimensionerade för ekvivalent trafiklast enligt 1947 till och med 1960 års belastningsbestämmelser. Vid den individuella klassningsberäkningen bestäms axel- och boggitrycken samt framkomligheten för militära fordon genom att snittkrafterna av klassningsfordonen i VV Publ 2009:61 jämförs mot tvärsnittskapaciteterna i bron.” Det är en sådan klassningsberäkning som görs nedan i examensarbetet då det är den bäst lämpade beräkningen av äldre broar enligt Trafikverket (2010).

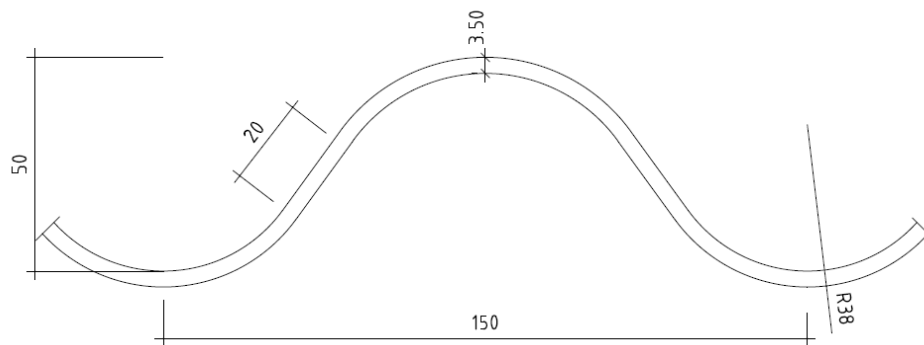
## 9. FÖRUTSÄTTNINGAR, BRO 4-705-1

### 9.1 Uppmätning av objektet

Då Trafikverket ej hade några ritningar av objektet gjordes i samband med ett platsbesök också en uppmätning av rörbron. Uppmätningsritningen finns i Bilaga B.

### 9.2 Stålprofil

Stålprofilen för objektet har dimensioner enligt Figur 15 nedan.



Figur 15 Korrugeringens tvärsnitt på bron, mått i millimeter.

Dimensionerna är uppmätta, radier och en del andra parametrar är tagna från gamla standardritningar för rörbroar. Efter detta kan tvärsnittsparametrarna  $\alpha$  och  $m_t$  beräknas enligt tabell B1.1 i Pettersson & Sundquist (2010). Dessa beror på vilken typ av korrugerad plåt som används samt plättjockleken betecknas som  $t$ . Ekvationerna ser ut enligt följande för en korrugering med dimensionerna 150x50.

$$\alpha := 0.856 + 0.015 \cdot \frac{t}{\text{mm}} \quad m_t := 34.2\text{mm} - 1.88t$$

Sedan beräknas tvärsnittsarea ( $A_1$ ), tröghetsmoment ( $I$ ) plastiskt böjmotstånd ( $Z$ ) och elastiskt böjmotstånd ( $W$ ) enligt Appendix 1 (Pettersson & Sundquist, 2010). Beteckningarna till höger om ekvationerna kommer från Pettersson &



## Förstärkning av rörbroar

Sundquist (2010). Plåtens krökningsradie betecknas som  $r$  och höjden på korrigeringen som  $h_{corr}$ .

$$A_1 := \frac{(4\alpha \cdot r \cdot t + 2m_t \cdot t)}{c} \quad (b1.c)$$

$$I_{ww} := \frac{\left[ r^3 \cdot t \left[ \alpha + \frac{\sin(2\alpha)}{2} - \frac{(2 \sin(\alpha)^2)}{\alpha} \right] + 4\alpha \cdot r \cdot t \cdot \left( \frac{h_{corr}}{2} - e_1 \right)^2 + \frac{2}{12} \frac{t}{\sin(\alpha)} (m_t \cdot \sin(\alpha))^3 \right]}{c} \quad (b1.e)$$

$$Z := \frac{\left[ 4\alpha \cdot r \cdot t \cdot \left( \frac{h_{corr}}{2} - e_1 \right) + \frac{1}{2} \frac{t}{\sin(\alpha)} (m_t \cdot \sin(\alpha))^2 \right]}{c} \quad (b1.f)$$

$$W_{ww} := \frac{2 \cdot I}{h_{corr} + t} \quad (b1.g)$$

Dessa ekvationer gäller för samtliga rörsektioner.

### 9.3 Dragprov

Eftersom det inte finns några gamla konstruktionshandlingar och rörbron är närmare 55 år gammal så går det inte att veta vilken stålqualität som ska antas. Enligt Janing (1980) är det tillåtna värdet för draghållfastheten 147 MPa för broar byggda efter 1946. Då det inte finns något annat värde att använda vid beräkningar så har ett dragprov utförts på en provbit från referensobjektet. Se Figur 16 och Figur 17.

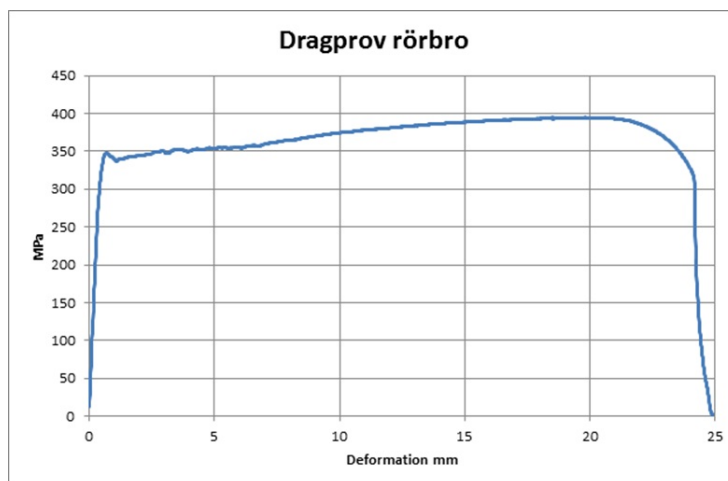


Figur 16 Provbiten för dragprovet såg ut enligt följande.

Dragprovet utfördes av Stefan Trillkott, laborationsingenjör på KTH.



*Figur 17 Utförandet på dragprovet gick till enligt följande.*



*Figur 18 Kurvan visar resultatet från dragprovet (flyttöjning)*

## Förstärkning av rörbroar

Värdet för draghållfastheten som erhöles, 339 MPa, går att avläsa i Figur 18. Egentligen så ger ett prov ger inte ett tillfredställande underlag för beräkning då det helst bör vara minst fyra prov från olika delar av bron enligt Eurokod. I SS-EN 1993-1-3:2006 så finns dock en godkänd metod för att bestämma karaktäristiskt värde baserat på ett litet antal provningar.

$$R_k = 0,9\eta_k R_{adj} \quad (\text{A.13})$$

där  $\eta_k = 0,9$  för flytning och  $R_{adj}$  är provningsresultatet. Sätts dessa värden in erhålls den karaktäristiska hållfastheten,  $R_k = 275$  MPa

### 9.4 Jord

Då det inte finns några geotekniska mätningar och parametrarna i jorden är inte helt kända finns en metod i Pettersson & Sundquist (2010) Appendix 7 hur man ska beräkna detta. De rekommenderade värdena på parametrarna i jorden enligt publikationen "Bärighetsklassning av rörbroar" ser ut enligt Tabell 1:

*Tabell 1 Egenskaper hos jorden som anges vid bärighetsklassning när inga tidigare uppgifter finns (Pettersson, 1998)*

#### **Förutsättningar fyllnadsmaterial**

Typ	Sand
Friktionsvinkel	38°
Tunghet över grundvattenytan	19 kN/m <sup>3</sup>
Packningsgrad (RP)	93%

Den rekommenderade dimensionerande elasticitetsmodulen beräknas enligt Metod A i Appendix 2 där ekvationen ser ut enligt följande

$$E_{sd} = 1,17^{(RP-95)} [0,82 \ln(h_c + H/2) + 3,65] \quad (\text{b7.a})$$

## 10. LASTER

### 10.1 Trafikbelastning och lastutbredning

Vid bärighetsklassberäkningar används typlasterna beskrivna i bilaga 2 i Vägverkets publikation VV 2009:61. Spännvidden på broarna motsvarar rörets diameter. Med hänsyn till de vanligaste spännvidderna (mindre än 5m) hos gamla rörbroar måste samtliga typfordon (a)-(f) studeras vid beräkning av den mest ogynnsamma trafiklasten. Typfordonen representerar teoretiska värden för axel- och boggielaster, som kallas A och B, se Figur 19. Jämförelsen görs för att veta vilken last som kan accepteras för verkliga fordon som kan passera över bron.

För bärighetsklass 1 på vägnätet sätts A/B till 12/18 ton, detta är den minsta last som bron ska uppfylla för att få betraktas som BK1. För bärighetsklass 2 sätts A/B till 10/16 ton

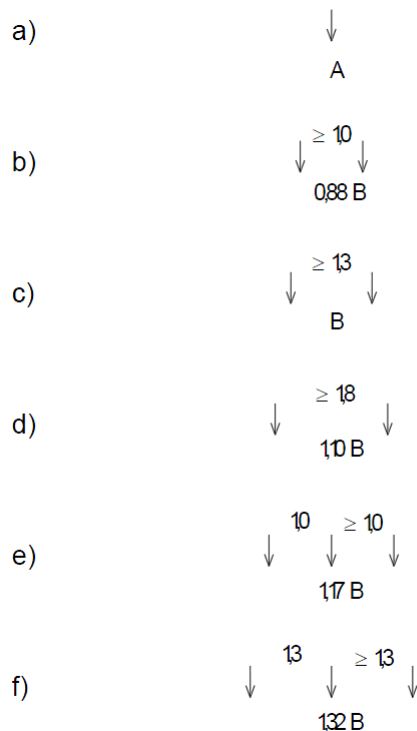
Dynamiskt tillskott  $\varepsilon$  enligt nedan ska läggas till samtliga punktlaster enligt 2.3.2.2.1 i VV Publ. 2009:61 vid beräkning i längs- och tvärled.  $L_{best}$  är effektiv längd och för rörbroar beräknas den enligt Pettersson och Sundquist (2010) som dubbla spännvidden.

$$\varepsilon = \frac{740}{20 + L_{best}} [\%]$$

Om överfyllnadshöjden är större än 1,2 m får det dynamiska tillskottet reduceras, detta är inte aktuellt i detta arbete då överfyllnadshöjden är betydligt mindre.

Hjullastens utbredning i tvärled är 0,3 m och i längsled 0,2 m. Centrumavståndet mellan hjullasterna förutsätts vara 2 m. (VV 2009:61)

## Förstärkning av rörbroar



Figur 19 Typfordon för vägbroar enligt bilaga 2 i VV Publ. 2009:61 där A och B är axel- respektive boggielast. Siffran ovanför lasterna är det minsta avståndet mellan boggielasterna.

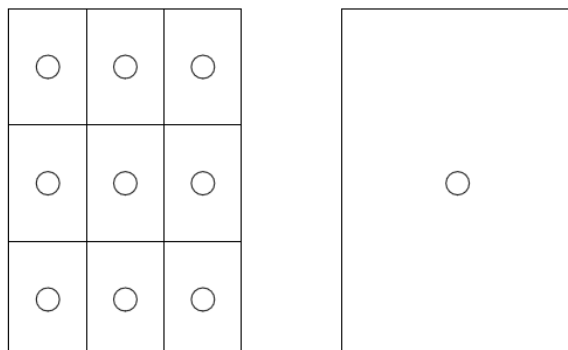
### 10.2 Last från militära fordon

De militära fordonens utseende framgår av bilaga 3 i VV Publ. 2009:61. För varje klass finns en bestämd maximal axellast, denna last används sedan i beräkningen.

### 10.3 Reduktion med hänsyn till hjulens lastutbredning

Enligt normen ska hjullasterna fördelas ut som utbredda laster på en yta av  $0,2 \times 0,3 \text{ m}^2$  men vid beräkning betraktas hjullasterna som punktlaster. Avvikelsen reduceras med ett värde som beror på överfyllnad, om överfyllnaden blir mindre blir avvikelsen större.

Faktorn beräknas genom att (Pettersson, 1998) jämföra spänningen då lasten delas upp i nio stycken punktlaster som ska symbolisera en utbredd last och då lasten ses som en enda punktlast. Figur 20 visar hur det ser ut i teorin och Figur 21 visar hur dessa spänningar beräknas för att sedan kunna jämföras.



Figur 20 Figuren visar skillnaden när lasten ses som flera punktlaster resp. ses som en punktlast

$$\begin{array}{l}
 R_{\text{red}} := \text{maxt} \leftarrow \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \\
 \text{for } x \in 0, \text{po} \dots 0.2\text{-m} \\
 \begin{array}{l} x - 0.033\text{-m} \\ x - 0.1\text{-m} \\ x - 0.167\text{-m} \\ x - 0.033\text{-m} \\ x - 0.1\text{-m} \\ x - 0.167\text{-m} \\ x - 0.033\text{-m} \\ x - 0.1\text{-m} \\ x - 0.167\text{-m} \end{array} \\
 a \leftarrow \begin{pmatrix} x - 0.033\text{-m} \\ x - 0.1\text{-m} \\ x - 0.167\text{-m} \\ x - 0.033\text{-m} \\ x - 0.1\text{-m} \\ x - 0.167\text{-m} \\ x - 0.033\text{-m} \\ x - 0.1\text{-m} \\ x - 0.167\text{-m} \end{pmatrix} \\
 \text{for } y \in 0\text{m}, \text{po} \dots 0.3\text{-m} \\
 \begin{array}{l} y - 0.05\text{-m} \\ y - 0.05\text{-m} \\ y - 0.05\text{-m} \\ y - 0.15\text{-m} \\ y - 0.15\text{-m} \\ y - 0.15\text{-m} \\ y - 0.25\text{-m} \\ y - 0.25\text{-m} \\ y - 0.25\text{-m} \end{array} \\
 b \leftarrow \begin{pmatrix} y - 0.05\text{-m} \\ y - 0.05\text{-m} \\ y - 0.05\text{-m} \\ y - 0.15\text{-m} \\ y - 0.15\text{-m} \\ y - 0.15\text{-m} \\ y - 0.25\text{-m} \\ y - 0.25\text{-m} \\ y - 0.25\text{-m} \end{pmatrix} \\
 \sigma \leftarrow \frac{P_{A\_BK1}}{9} \cdot \frac{3}{2\pi} \cdot h_c^3 \left[ \sum_{n=0}^8 \frac{1}{\sqrt{[(a_n)^2 + (b_n)^2 + h_c^2]^5}} \right] \\
 \text{maxt} \leftarrow \begin{pmatrix} x \cdot \frac{N}{m^3} \\ y \cdot \frac{N}{m^3} \\ \sigma \end{pmatrix} \text{ if } \sigma > \text{maxt}_2 \\
 \text{maxt}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 R_{\text{punkt}} := \text{maxt} \leftarrow \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \\
 \text{for } x \in 0, \text{po} \dots 0.2\text{m} \\
 a \leftarrow (x - 0.1\text{m}) \\
 \text{for } y \in 0, \text{po} \dots 0.3\text{m} \\
 b \leftarrow (y - 0.15\text{m}) \\
 \sigma \leftarrow P_{A\_BK1} \cdot \frac{3}{2\pi} \cdot h_c^3 \left[ \sum_{n=0}^0 \frac{1}{\sqrt{[(a)^2 + (b)^2 + h_c^2]^5}} \right] \\
 \text{maxt} \leftarrow \begin{pmatrix} x \cdot \frac{N}{m^3} \\ y \cdot \frac{N}{m^3} \\ \sigma \end{pmatrix} \text{ if } \sigma > \text{maxt}_2 \\
 \text{maxt}
 \end{array}$$

Figur 21 Figuren visar beräkning av spänningen enligt Boussinesqs metod som beskrivs i kap 11.1.2 när lasten ses som flera punktlaster resp. en punktlast.

## Förstärkning av rörbroar

Vid dimensionering av nya broar används en större dimension av hjulen 0,2x0,6m. Det hjultryck som används vid klassning av broar gör att reduktionsfaktorn blir större och det ställer till det för rörbroar då det hjulet blir betydligt mer ogynnsamt. I verkligheten har ett lastbilshjul en kontaktarea på 0,2x0,3m<sup>2</sup> men på de axlar där man har 12 tons tryck krävs två hjul för att däcken inte ska explodera, vilket medför att hjullasten fördelas på en yta av 0,2x0,6m<sup>2</sup>. En ändring i standarden med hänsyn till rörbroar bör göras åt hjultrycken. (Pettersson, 2012)

### 10.4 Säkerhetsklass

Lastkoefficienterna vid bärlighetsklassning anges i Vägverket (2009) tabell 2-7. De lastkombinationer som ska användas är lastkombination A (brottgränstillstånd), lastkombination B:a (bruksgränstillstånd), lastkombination C (utmattningskontroll) och lastkombination E för militära fordon.

Lastkomb.	A Brottgränstill.	B:a Bruksgränstill.	C Uttmattningstill.	E Brottgrän, militär
Trafik	$\psi\gamma_{\text{trafik}_A} := \begin{pmatrix} 0.7 \\ 1.3 \end{pmatrix}$	$\psi\gamma_{\text{trafik}_{Ba}} := 1$	$\psi\gamma_{\text{trafik}_C} := 1$	$\psi\gamma_{\text{trafik}_E} := 1.3$
Jord egentyngd	$\psi\gamma_{\text{Jord}_A} := 1$	$\psi\gamma_{\text{Jord}_{Ba}} := 1$	$\psi\gamma_{\text{Jord}_C} := 1.0$	$\psi\gamma_{\text{Jord}_E} := 1.0$
Partialkoefficienter enligt VV Publ. 2009:61 avsnitt 1.3.4.1				
Säkerhet				
Stål	$\gamma_{M1} := 1.0$	$\gamma_n := 1.0$		
Bult	$\gamma_{M2} := 1.2$			

Figur 22 Partialkoefficienterna som används för objektet, dessa hämtade från Vägverket (2009).

## 11. BERÄKNING AV SNITTKRAFTER

### 11.1 Beräkning av normalkraft

I denna del så beräknas den maximala normalkraften från både jordlast och trafiklast. Beräkningarna som följs nedan görs enligt kapitel fyra i Pettersson & Sundquist (2010) och är baserade på den så kallade SCI-metoden vilken är baserad på omfattande finita element beräkningar.

#### 11.1.1 Jordlast

Karakteristiskt värde av normalkraft orsakad av jordlast i permanent tillstånd bestäms av ekvationen.

$$N_s := 0.2 \frac{H_v}{D} \rho_1 D^2 + S_{ar} \cdot \left( 0.9 \cdot \frac{h_{c\_red}}{D} - 0.5 \cdot \frac{h_{c\_red}}{D} \frac{H_v}{D} \right) \rho_{cv} \cdot D^2 \quad (4.c)$$

Där  $h_c$  reduceras med  $\delta_{hj\dd{a}ssa}$ , som är förskjutning på grund av att rörets hjässa höjs då kringfyllningen trycker mot rörets sidor och blir  $h_{c\_red}$ , effektiv överfyllnadshöjd.  $\rho_1$  och  $\rho_{cv}$  är densitet för jordmassorna,  $S_{ar}$  är reduktionsfaktor för överlast beroende på valvverkan,  $D$  är brons spännvidd enligt Figur 1 och  $H_v$  är höjden på röret.

#### 11.1.2 Trafiklast

För att beräkna lastfördelningen från axellasterna används Boussinesqs metod. Anledningen till detta beror på att 2:1 metoden anses vara för konservativ medan 1:1 metoden som beskrivs i Vägverket (2009) ger icke konservativa

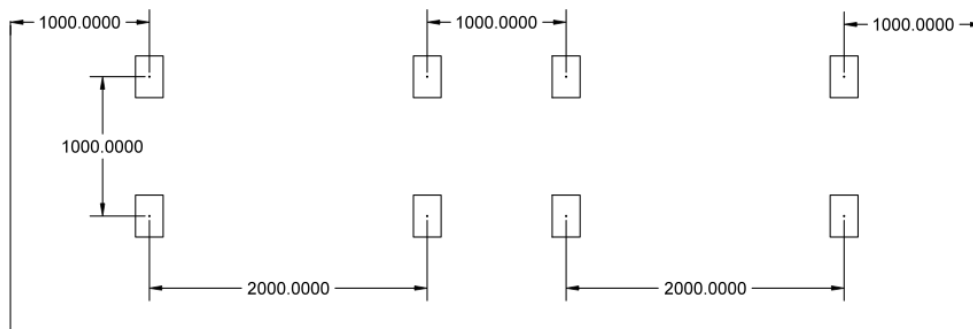


## Förstärkning av rörbroar

värden. Dessutom ger dessa förenklade värden diskontinuiteter i det vertikala trycket från trafiklasten då denna uttrycks som funktion av överfyllnadshöjden. (Pettersson & Sundquist, 2010)

Lastfältens antal och placering ska varje enskilt fall väljas så att ogynnsammaste inverkan erhålls. Antalet lastfält med typfordon är högst två. Ena lastfältets typfordon multipliceras med faktorn 1,0 och det andra lastfältets typfordon med faktorn 0,8. Övriga lastfält har en jämnt fördelad last  $q$ . Denna kan vara 0 alternativt 5 kN/m och är jämnt fördelad över lastfältets bredd. (VV 2009:61)

Den tänkta vägbanan läggs ut i ett koordinatsystem med punktlasterna  $P/2$  och  $0,8P/2$  som symboliserar hjultrycken. Följande dimensioner gäller för typfordon  $b$ , jämför fordonstyp (b) i Figur 19 med Figur 23 nedan.



Figur 23 Visar hur koordinatsystemet för fordonstyp (b) är uppbyggt. Enhet mm.

Genom att låta punktlasterna i koordinatsystemet variera längs med vägbanan i ett bestämt intervall som baseras på spännvidden av bron kan den maximala spänningen som uppkommer i hjässan beräknas med hjälp av ekvation (b4.c) i Pettersson & Sundquist (2010). Denna ekvation är dock baserad på ett fordon med tre axlar så den behöver modifieras så den passar fordonstyp (b) med två axlar. Ekvationen ser ut enligt följande:

$$\sigma_{vb} := \frac{P_b}{2} \cdot \frac{3}{2\pi} \cdot h_c^3 \left[ \sum_{n=0}^3 \frac{1}{(s)^5} \right] + \frac{0,8P_b}{2} \cdot \frac{3}{2\pi} \cdot h_c^3 \left[ \sum_{n=4}^7 \frac{1}{(s)^5} \right] \quad (b4.c)$$

Där  $s$  beräknas som det lutande avståndet mellan den punkt där det vertikala trycket i hjässan uppstår och mittpunkten av respektive punktlasterna.  $P_b$  är

enstaka punktlaster för fordonstyp (b) och  $h_c$  är överfyllnadshöjden. För fordonstyp (b) ser ekvationen ut enligt följande:

$$\sigma_{vb} := \frac{P_b}{2} \cdot \frac{3}{2\pi} \cdot h_c^3 \left[ \sum_{n=0}^3 \frac{1}{\left[ \sqrt{(x - a_n)^2 + (y - b_n)^2 + h_c^2} \right]^5} \right] + \frac{0.8P}{2} \cdot \frac{3}{2\pi} \cdot h_c^3 \left[ \sum_{n=4}^7 \frac{1}{\left[ \sqrt{(x - a_n)^2 + (y - b_n)^2 + h_c^2} \right]^5} \right]$$

Matriserna a och b beskriver hur hjullasterna placeras ut i koordinatsystemet som beskrivs i Figur 23 medans x och y varierar över koordinatsystemet, där varje steg är 0,005m. Beräkningen ska simulera att fordonen förflyttas över bron för att hitta den maximala vertikala spänningen som uppkommer vid de olika lastfallen och i vilken punkt denna spänning förekommer.

Det vertikala trycket omräknas sedan till en ekvivalent linjelast,  $p_{trafik}$  enligt ekvation (4.k) i Pettersson & Sundquist (2010), och i samband med det reduceras lasten ( $R_f$ ) på grund av att hjultrycket är beräknade som punkter och  $\sigma_{vmb}$  är den maximalt beräknade spänningen som uppkommer i hjässan vid fordonstyp (b).

$$p_{trafik\_b} := \frac{R_f \cdot \sigma_{vmb} \cdot \pi \cdot h_{c\_red}}{2} \quad (4.k)$$

Efter detta kan normalkraften i väggarna av röret,  $N_{t\_b}$ , beräknas enligt följande ekvationer i handboken (4.1',4.1'',4.1'''). Variablerna som används vid beräkningen beskrivs i Figur 1, och  $q_b$  är utbredd last för fordonstyp (b), dock finns ingen utbredd last i Figur 19 så  $q_b$  sätts till noll.

$$N_{t\_b} := \begin{cases} N_{t\_b} \leftarrow p_{trafik\_b} + \left(\frac{D}{2}\right) \cdot q_b & \text{if } \left(\frac{h_{c\_red}}{D}\right) \leq 0.25 \\ N_{t\_b} \leftarrow \left(1.25 - \frac{h_{c\_red}}{D}\right) p_{trafik\_b} + \left(\frac{D}{2}\right) \cdot q_b & \text{if } 0.25 < \frac{h_{c\_red}}{D} \leq 0.75 \\ N_{t\_b} \leftarrow 0.5 \cdot p_{trafik\_b} + \left(\frac{D}{2}\right) \cdot q_b & \text{if } 0.75 < \frac{h_{c\_red}}{D} \end{cases}$$

### 11.1.3 Dimensionerande normalkraft

Lastkombinationerna kombineras enligt Vägverket (2009) kap 2.5.2.2.1 och med hjälp av ekvationerna i (Pettersson & Sundquist, 2010).

Förstärkning av rörbroar

Dimensionerande normalkraft bestäms i brottgränstillstånd (Lastkombination A)

$$\begin{aligned} N_{d\_A\_1} &:= \max(\psi\gamma_{Jord\_A}) \cdot N_s + \max(\psi\gamma_{trafik\_A}) \cdot N_t \\ N_{d\_A\_2} &:= \max(\psi\gamma_{Jord\_A}) \cdot N_s + \min(\psi\gamma_{trafik\_A}) \cdot N_t \\ N_{d\_A\_3} &:= \min(\psi\gamma_{Jord\_A}) \cdot N_s + \max(\psi\gamma_{trafik\_A}) \cdot N_t \\ N_{d\_A\_4} &:= \min(\psi\gamma_{Jord\_A}) \cdot N_s + \min(\psi\gamma_{trafik\_A}) \cdot N_t \end{aligned} \quad (4.m)$$

och i bruksgränstillstånd (Lastkombination B:a)

$$\begin{aligned} N_{d\_Ba\_1} &:= \max(\psi\gamma_{Jord\_Ba}) \cdot N_s + \max(\psi\gamma_{trafik\_Ba}) \cdot N_t \\ N_{d\_Ba\_2} &:= \max(\psi\gamma_{Jord\_Ba}) \cdot N_s + \min(\psi\gamma_{trafik\_Ba}) \cdot N_t \\ N_{d\_Ba\_3} &:= \min(\psi\gamma_{Jord\_Ba}) \cdot N_s + \max(\psi\gamma_{trafik\_Ba}) \cdot N_t \\ N_{d\_Ba\_4} &:= \min(\psi\gamma_{Jord\_Ba}) \cdot N_s + \min(\psi\gamma_{trafik\_Ba}) \cdot N_t \end{aligned} \quad (4.n)$$

och i utmattningstillstånd (Lastkombination C)

$$N_{d\_f} := \psi\gamma_{trafik\_C} \cdot N_t \quad (4.o)$$

För militära fordon (Lastkombination E) gäller samma ekvation som för dimensionerande normalkraft i brottgränstillstånd men med säkerhetsfaktorer från lastkombination E.

## 11.2 Beräkning av böjmoment

Böjmomentet i rörväggens övre del är beroende av förhållandet mellan jordmateriallets och rörets styvheter. Förhållandet betecknas som

$$\lambda_f := \frac{E_{sd} \cdot D^3}{E_k \cdot I} = 2.61 \times 10^3 \quad (4.p)$$

När det gäller beräkning av böjmoment är det också här intressant att veta böjmomenten från jorden omkring och även momentet från trafiklasten. Även de olika jordmaterialen (kringfyllnadsmaterialet och överfyllnadsmaterialet) betraktas var och en för sig vid bestämning av dimensionerande böjmoment av jordlast. (Trafikverket, 2010)

### 11.2.1 Jordlast

Böjmomentet från omkringliggande jordmassor,  $M_{s\_surr}$  ger upphov till ett negativt moment i hjässan i och med att dessa vill pressa hjässan uppåt. Från överliggande jordmassor  $M_{s\_cover}$  ger upphov till ett positivt moment då det vill trycka hjässan nedåt. Dessa moment kan för både bruksgränstillstånd och brottgränstillstånd uttryckas enligt ekv 4.q. f-parametrarna beror på brons geometri samt  $\lambda_f$  och övriga parametrar är beskrivna tidigare.

$$M_{s\_surr} := \rho_1 \cdot D^3 \cdot (-f_1) \cdot f_3 \cdot f_{2\_surr} \quad (4.q)$$

$$M_{s\_cover} := D^3 \cdot S_{ar} \cdot \rho_{cv} \cdot \frac{h_c}{D} \cdot \left( \frac{R_t}{R_s} \right)^{0.75} \cdot f_1 \cdot f_{2\_cover} \quad (4.q)$$

### 11.2.2 Trafiklast

Momentet från trafiklasten beräknas enligt ekv. 4.t med hjälp av den ekvivalenta linjelasten  $p_{trafik}$ . Termen  $q$ , utbredd last är noll för de lastfall som beräknas i denna rapport. De olika  $f_4$ -parametrarna beror till stor del av  $\lambda_f$  och andra förhållanden mellan dimensioner på rörbron, dessa beräknas enligt kapitel 4.4.3 i Pettersson och Sundquist (2010).

$$M_t := f_4 \cdot f'_4 \cdot f''_4 \cdot f'''_4 \cdot D \cdot p_{trafik} + S_{ar} \cdot \left( \frac{R_t}{R_s} \right)^{0.75} \cdot f_1 \cdot f_{2\_cover} \cdot q \cdot D^2 \quad (4.t)$$

### 11.2.3 Dimensionerande böjmoment

Momenten av jord och trafik har olika riktning i olika punkter och kontroll utförs enligt nedanstående formler.

Dimensionerande böjmoment bestäms i brottgränstillstånd (Lastkombination A)

$$M_{du\_A} := \max(\psi \gamma_{trafik\_A} \cdot M_{s\_surr} + \psi \gamma_{trafik\_A} \cdot M_{s\_cover} + \psi \gamma_{trafik\_A} \cdot M_t) \quad (4.aa)$$

och i bruksgränstillstånd (Lastkombination B:a)

Förstärkning av rörbroar

$$M_{ds\_Ba} := \begin{pmatrix} \max(\psi\gamma_{\text{trafik\_Ba}} \cdot M_{s\_surr} + \psi\gamma_{\text{trafik\_Ba}} \cdot M_{s\_cover} + \psi\gamma_{\text{trafik\_Ba}} \cdot M_t) \\ \min(\psi\gamma_{\text{trafik\_Ba}} \cdot M_{s\_surr} + \psi\gamma_{\text{trafik\_Ba}} \cdot M_{s\_cover} - \psi\gamma_{\text{trafik\_Ba}} \cdot \frac{M_t}{2}) \end{pmatrix} \quad (4.w', 4w'')$$

och i utmattningstillstånd (Lastkombination C)

$$M_{df} := \psi\gamma_{\text{trafik\_C}} \cdot M_t \cdot 1.5 \quad (4.ab)$$

För militära fordon (Lastkombination E) gäller samma ekvation som för dimensionerande normalkraft i brottgränstillstånd men med säkerhetsfaktorer från lastkombination E.

### 11.3 Sammanställning snittkrafter

Tabell 2 visar en sammanställning av de beräknade snittkrafterna i bron. Momenten uppkommer endast på övre delen av röret medans normalkraften anses vara konstant över hela röret.

*Tabell 2 Sammanställning av dimensionerande normalkraft och moment som uppkommer för bro 4-705-1*

Lastmodell	BK1		BK2	
	Nd (kN/m)	Md (kNm/m)	Nd (kN/m)	Md (kNm/m)
Brottgränstillstånd (A)	157	11	135	9
Bruksgränstillstånd (Ba)	127	9	110	7
Utmattningstillstånd (C)	98	13	81	11

## 12. BERÄKNINGSMÄSSIGA KONTROLLER

Den största skillnaden med att bärighetsklassa rörbroar med ”Design of Soil Steel Composite Bridges” av Pettersson & Sundquist (2010) från det gamla sättet med hjälp av ”Bärighetsklassning av rörbroar” av Pettersson (1998) är att fler kontroller görs. Utmattningskontrolleras, någonting som inte förekom tidigare. En annan viktig skillnad är att kontrollerna i denna rapport görs enligt Eurokod 3, SS-EN 1993-1 från SIS (2003) och inte enligt den gamla svenska normen BKR från Boverket (2003).

Kontrollerna delas upp i olika delar i handboken och på samma sätt beskrivs de i denna rapport.

### 12.1 Kontroller i bruksgränstillstånd

#### 12.1.1 Säkerhet mot begynnande flytning i bruksgränstillstånd

Här kontrolleras att den maximala spänningen i rörväggen i bruksgränstillståndet (Ba) inte överstiger det dimensionerande värdet på stålets flytspänning, detta med hjälp av Naviers formel. Den punkt som kontrolleras är högst upp i rörets hjässa, där det både förekommer normalkraft och böjmoment

$$\sigma := \frac{N_{d\_Ba}}{A_1} + \frac{M_{ds\_Ba}}{W} < f_{yd} \quad (5.a)$$

## 12.2 Kontroller av rörväggs bärförmåga i brottgränstillstånd

### 12.2.1 Kontroll mot att flytled ej bildas och knäckning av rörets övre del (enligt Eurokod)

I brottgränstillstånd görs en kontroll för att verifiera att ingen flytled bildas i hjässan av rörbron. Detta görs med ekvationen 5.b' enligt handboken som är förenklad från EN 1993-1-1 (ekvation 6.61).

Plåten antas inte böja sig i sidled (z-led). Dessutom är tvärsnittsklassen för rörbroar vanligtvis i klass 1 eller 2, vilket innebär att tilläggsmoment på grund av neutralaxlarna inte existerar. Risken för knäckning behandlas genom att reducera momentkapaciteten av stålet då det behövs. Man reducerar också kapaciteten på grund av andra ordningens teori, dessutom krävs att man kontrollerar kapaciteten med avseende på maximal uppträdande normalkraft. För en tydligare och mer ingående förklaring hänvisas till bilaga B.

$$\frac{N_{Ed}}{\left( \frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}} \right)} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1 \quad (5.b')$$

### 12.2.2 Kontroll av att tillräcklig kapacitet finns i rörets nedre del

I den nedre delen förekommer endast normalkraft. Normalkraften anses vara den samma runt om profilen och vara lika med det största dimensionerade värdet enligt sektion 4.3.6 i Pettersson & Sundquist (2010). Kontrollen som görs ser ut enligt nedan

$$N_d \leq N_{cr} \quad (5.d)$$

### 12.2.3 Kontroll mot överskridande av skruvförbandens kapacitet. (enligt Eurokod 3)

Kontroller av skruvförbanden mellan rörets plåtar i rörets övre del ska göras. En särskild kontroll av skruvförbandens utformning måste göras innan

kapaciteten kan bestämmas. Ibland kan nämligen skruvförbanden ha en utformning så att böjande moment i princip inte kan överföras över skruvförbandet utan istället påverkar förbandets anslutande plåtar lokalt. I dessa fall måste en speciell utredning göras av förbandets kapacitet. (Pettersson, 1998)

### Kontroll av att skruvarnas kapacitet är tillräcklig mot skjuvbrott

Med hänsyn till skjuvning så kontrolleras att både bärförmågan för skjuvning per skjuvplan för skruvarna och bärförmågan för hållkanttryck klarar av den dimensionerande normalkraft som beräknats fram av jord- och trafiklasten. Ekvationerna kommer ursprungligen från SS-EN 1993-1-8 tabell 3.4 men vissa värden är insatta i Pettersson & Sundquist (2010) och uttrycken ser då ut enligt följande.

$$F_{v\_Rd} := 0.6 \cdot A_s \cdot \frac{f_{ub}}{1.05 \gamma_{M2}} \quad (5f)$$

$$F_{b\_Rd} := \frac{2.5 \cdot f_{uk} \cdot d \cdot t}{1.05 \cdot \gamma_n} = 65 \cdot \text{kN} \quad (5.g'')$$

$$\text{kontroll\_skruv\_skjuv} := \text{if}(N_{d\_A} < \min(n \cdot F_{v\_Rd}, n \cdot F_{b\_Rd}), \text{"OK!"}, \text{"EJ OK!"}) \quad (5.e')$$

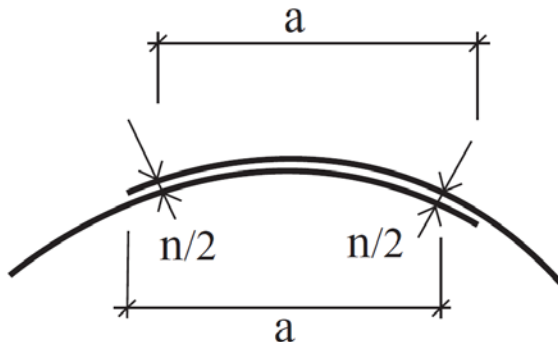
Där  $f_{ub}$  är karaktäristisk hållfasthet för skruv,  $\gamma_{M2}$  är partialkoefficient för skruv och  $d$  är skruvens diameter.  $F_{v\_Rd}$  och  $F_{b\_Rd}$  är skruvens dimensionerande kapacitet vid skjuvning vid brott i skruv respektive brott i plåt enligt EN 1993-1-8

### Kontroll av att skruvarnas kapacitet är tillräcklig mot normalkraft

Avståndet mellan parallella rader av bultar för att få den önskade momentkapacitet (när antalet bultar,  $n$ , är kända) i förbandet bestäms med Figur 24



## Förstärkning av rörbroar



Figur 24 Figuren beskriver hur avståndet mellan parallella bultar definieras.

$$F_{t\_Rd} := \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{1.05\gamma_{M2}} \quad (5.i')$$

$$a \cdot \frac{n}{2} \cdot F_{t\_Rd} \geq W \cdot f_{yd} \quad (5.h')$$

### Kontroll mot överskridande av skruvförbandens kapacitet vid kombinerad dragning och skjuvning

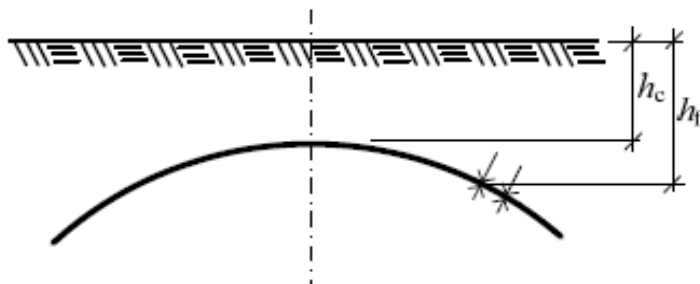
$$\left( \frac{F_{v\_Ed}}{F_{v\_Rd}} \right) + \left( \frac{F_{t\_Ed}}{1.4F_{t\_Rd}} \right) \leq 1 \quad (5.j')$$

### 12.3 Kontroll mot överskridande av kapaciteten vid utmattningsgränstillstånd (enligt Eurokod)

I denna rapport görs utmattningskontroller enligt kapitel 8 i EN 1993-1-9 tillsammans med kriterier från handboken. För att kunna göra utmattningskontrollen för röret krävs en del antaganden. Följande antaganden görs för EN 1993-1-8 och EN 1993-2.

- Den dimensionerade spänningen utvärderas under förutsättning att det minsta värdet för momentet är lika med halva maximala värdet för momentet enligt (Pettersson, 2007)
- Trafikkategori 4 (Lokalvägar med liten andel lastfordon) väljs med avseende på EN 1991-2 tabell 4.5

- Förbandsklassen för plåten antas vara enligt konstruktionsdetalj 5 i tabell 8.1 i EN 1993-1-9
- Lindrig konsekvens för brott antas i tabell 3.1 i EN 1993-1-9
- När överfyllningen ovan förbanden är större än  $h_c$  kan det dimensionerade momentet reduceras med en faktor  $h_c/h_f$ , för dessa beräkningar så har ett värde 0.85 antagits som ett rimligt värde för detta, se Figur 25.



Figur 25 När förbanden ligger djupare än hjässan får det dimensionerade momentet för utmattning reduceras. (Pettersson & Sundquist, 2010)

- Det dimensionerade värdet för den modifierade spänningsspannet kan beräknas enligt kapitel 9.4.1 i EN-1993-2 och det beräknas med  $2 \times 10^6$  cykler och baseras på Lambda  $\lambda$  -metoden.
- Övriga antaganden och mer ingående om hur beräkningarna görs beskrivs i beräkningarna inden Bilaga A.

Nedan följer vilka kontroller som görs i utmattningstillstånd.

Kontroll av utmattning av plåten görs enligt kapitel 8 i SS-EN 1993-1-9

$$\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E2}}{\gamma_{Mf} \cdot \Delta\sigma_{cp}} \leq 1 \quad (\text{SS-EN 1993-1-9 (ekv. 8.2)})$$

## Förstärkning av rörbroar

Kontroll av utmattning av kapaciteten med ren skjuvning görs enligt kapitel 8 i SS-EN 1993-1-9

$$\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau \cdot E_{2s}}{\frac{\Delta\tau_c}{\gamma_{Mf}}} = 0.345 \quad (\text{SS-EN 1993-1-9 (ekv. 8.2)})$$

Kontroll mot överskridande av kapaciteten vid ren normalkraft för skruvförbandet i utmattningsgränstillstånd.

$$\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma \cdot E_{2s}}{\frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}}} \leq 1 \quad (\text{SS-EN 1993-1-9 (ekv. 8.2)})$$

Kontroll mot överskridande av kapaciteten vid kombinerad skjuvning och normalkraft i utmattningsgränstillstånd.

$$\text{utmattning}_{\text{komb}} := \left( \frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma \cdot E_{2s}}{\frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}}} \right)^3 + \left( \frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau \cdot E_{2s}}{\frac{\Delta\tau_c}{\gamma_{Mf}}} \right)^5 \quad (\text{SS-EN 1993-1-9 (ekv. 8.3)})$$

### 12.4 Kontroll mot överskridande av kapaciteten i brottgränstillstånd för militära fordon (enligt Eurokod)

Samma kontroll som vid kontroll 12.2.1 görs, skillnaden är att här används normalkrafter och böjmoment beräknade laster från militära fordon. Även säkerhetsfaktorer för militära fordon används.

$$\frac{N_{d\_m50}}{\left( \frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}} \right)} + k_{yy} \cdot \frac{M_{d\_m50}}{\frac{M_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1.0 \quad (5.b')$$

Flera olika typer av militära fordon testas och beräkningens syfte är att för bron bestämma den högsta MLC-klassen för hjulfordon respektive bandfordon.

### **13. RESULTAT AV BÄRIGHETSKLASSNING**

Bron uppfyller inte kraven för att vara klassad som en BK1 bro. De kontroller som inte uppfylls är kontroll 12.2.1 där man kontrollerar att flytled ej bildas och knäckning av rörets övre del och 12.3, kontroll av utmattning i plåten.

Bron uppfyller kraven enligt BK2 om  $f_{yk}$  är minst 282 MPa, detta värde är väldigt nära det karaktäristiska värdet som erhöles vid provningen. Dragprovet visade att plåten hade ett  $f_{yk}$  på 275 MPa, dock är detta värde kraftigt reducerat främst på grund av att endast ett prov gjordes. Då Vectura bärighetsklassar användes  $f_{yk}$  235 MPa för plåten på okända broar, så hade inte ett dragprov gjorts hade bron absolut inte uppfyllt kraven för BK2.

Den kontroll som är mest kritisk är kontroll 12.2.1, där det kontrolleras att flytled ej bildas och knäckning av rörets övre del.

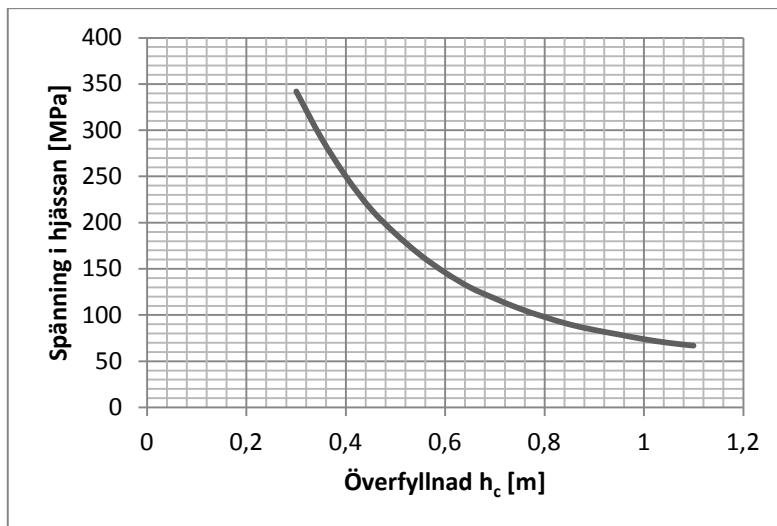
I beräkningsdokumentet, Bilaga A genomfördes ett test av hur tjock plåt som krävdes för att klara normalkraften i rörets nedre del. Detta kan besvara frågan hur mycket korrosion som tillåts innan åtgärd måste vidtas. Det visade sig att det endast krävs en 0.5 mm tjock plåt för att klara kraften som uppkommer vid en bro som är klassad till BK 2. Detta medför att det skulle kunna vara möjligt att ha en tillåten rostmän på 3 mm på objektet i fråga. Objektet klarar sig alltså med 15% av tjockleken på plåten i nedre delen av röret jämfört med den övre delen. För att svara på frågan om när det är som mest fördelaktigt att genomföra en reparation så är det just innan hål bildas. Hål resulterar i att bakfyllningen spolats ur, valverkan från jorden försvinner och detta måste tas på allvar.

## Förstärkning av rörbroar

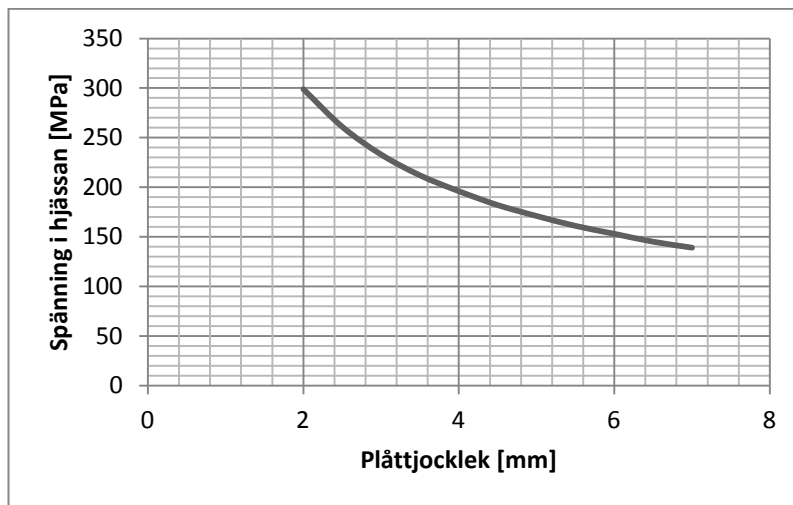
Ett krav som numera finns vid ny tillverkning av rörbroar är att överfyllnadshöjden,  $h_c$ , minst ska vara 0,6 m. Detta krav uppfylls ej då överfyllnadshöjden endast är 0,4 m.

Den högsta klassen för militära fordon är MLC-klass 20 vilket innebär att bandfordon max får väga 18,14 ton och hjulfordon 21,77 ton.

I beräkningsdokumentet gjordes ett test för att se hur mycket olika parametrar påverkar kapaciteten hos rörbroar. Hur överfyllnadshöjden påverkar spänningen i hjässan av rörbron visas i Figur 26 och hur plåtens tjocklek påverkar spänningen i hjässan visas i Figur 27.



Figur 26 Diagrammet visar ett exempel på hur spänningen påverkas i hjässan beroende på överfyllnadshöjden med samma last.



Figur 27 Diagrammet visar ett exempel på hur spänningen påverkas i hjässan beroende på plåttjockleken med samma last.

Frågeställningen vilken reparationsmetod som lämpar sig bäst för bro 4-705-1, bro över so Hägerås kan nu besvaras. Då korrosionsprocessen har gått väldigt långt med genomrostning på vissa ställen, rekommenderas att om bron ska repareras bör detta göras med halvsulning, se kap 7 Diskussion renoveringsmetoder. Det bästa alternativet hade dock varit att byta ut bron, då den ligger under för låg överfyllnadshöjd och inte uppfyller kraven för BK1. Med tanke på att den ligger under så pass låg fyllnadshöjd är det också smidigare att byta ut den, lite material behöver schaktas bort. Vägen är dessutom inte särskilt trafikerad så en avstängning hade inte stört trafikanter nämnvärt mycket. Då genomrostning uppstått måste bron åtgärdas omedelbart då bakfyllningen riskerar att spolats bort och bron tappar därmed samverkan med jorden. Görs ingenting kan detta ge allvarliga konsekvenser.

Förstärkning av rörbroar

**DEL 3**  
**- BÄRFÖRMÅGA OCH**  
**FÖRSTÄRKNING AV BRON**



Förstärkning av rörbroar

## **14. ANALYS OCH BERÄKNING AV FÖRSTÄRKNING**

### **14.1 Erfarenheter från bärighetsklassning**

För att höja kapaciteten hos rörbron krävs kunskap om hur spänningarna ser ut vid belastning. I avsnitt 12 beskrivs beräkningsgången och vilka kontroller som är nödvändiga. Den mest kritiska punkten är i rörets hjässan där det både förekommer böjmoment och normalkraft. I den nedre delen av röret förekommer endast normalkraft. Normalkraften anses vara lika stor runt om profilen och lika med det största dimensionerade värdet enligt 12.2.2. Beräkning av referensobjektet visar att spänningen nästan är sju gånger så stor i hjässan som i nedre delen av röret. Om man vill öka kapaciteten måste fokus ligga på att göra rörbron starkare vid hjässan.

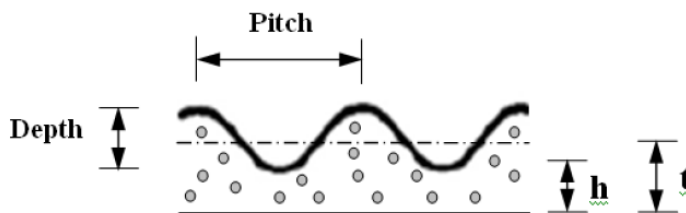
### **14.2 Beräkning**

I och med att FEM-modellen som Davidson, et al. (2008) använde sig av inte passar svenska rörbroar då de allra flesta broar i Sverige ligger under betydligt mindre fyllnadshöjd vad som beskrivs i Figur 4. Eftersom fyllnadshöjden är så stor medför detta att det bara kommer att uppkomma normalkraft i röret och att momentet som annars finns i hjässan förminskas kraftigt eller försvinner helt.

Om beräkningsgången i handboken från Pettersson & Sundquist (2010) används kommer man fram till ett annorlunda svar.

## Förstärkning av rörbroar

Om Figur 2 granskas kan man säga att dessa två kurvor representerar EI dvs. styvheten hos röret. När röret sprutas med betong medför detta att röret blir styvare. Då EI ökas påverkar detta  $\lambda_f$ , förhållandet mellan jordmaterialets och rörets styvheter. Elasticitetsmodulen i denna beräkning är antagen vara samma som Davidson, et al., 2008 använde. Se beräkning nedan:



Figur 28 Definition av parametrar som används för beräkning av tröghetsmoment.

Vid beräkning av tröghetsmomentet har  $h$  antagits vara 100 mm och  $t$  vara 150 mm enligt Figur 28, vilket i rådfrågan med entreprenörer anses rimligt. (Fjellström, 2012)

Vid beräkning är böjmomentet i rörväggen betecknas beroende av förhållandet mellan jordmaterialets och rörets styvheter. Förhållandet betecknas som  $\lambda_f$  och vid applicering av sprutbetong medför detta att denna parameter minskas, jämför med  $\lambda_f$  i kapitel 11.2.  $I_{betong}$  är beräknad enligt kapitel 5.5.2 i Davidson, et al., (2008),  $E_{betong}$  enligt Figur 30 medan de andra parametrarna är kända sedan tidigare. Exempel på beräkning visas nedan

$$\lambda_f := \frac{E_{sd} \cdot D^3}{E_k \cdot I + E_{betong} \cdot I_{betong}} = 2.042$$

Detta bidrar senare till enligt 11.2.2 att momentet i hjässan blir ungefär tre gånger så stort i detta fall enligt Figur 29. Nedan betecknas  $B_a$  som bruksgränstillstånd,  $A$  som brottgränstillstånd och  $f$  som utmattningstillstånd.

$$M_{d\_} := \begin{pmatrix} \max(M_{ds\_Ba}) \\ \min(M_{ds\_Ba}) \\ M_{du\_A} \\ M_{df} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 8.277 \\ -5.327 \\ 10.76 \\ 13.604 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{kN}\cdot\text{m}}{\text{m}} \quad M_{d\_} := \begin{pmatrix} \max(M_{ds\_Ba}) \\ \min(M_{ds\_Ba}) \\ M_{du\_A} \\ M_{df} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 25.445 \\ -13.588 \\ 33.079 \\ 39.034 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{kN}\cdot\text{m}}{\text{m}}$$

Figur 29 Moment i rörbro utan sprutbetong respektive med sprutbetong

Dessutom kommer betongen att tvingas ta lasten i ovankant då plåten inte nämnvärt hjälper betongen eftersom stålet bara böjer undan.

Eftersom det inte finns någon dimensioneringsmetod i Eurokod för stålfiberarmerad betong får ett rimligt antagande om bärförmågan göras. Enligt tillverkaren Sika som samarbetar med Radmix har deras fiberarmerade betong Sika Fiber en böjdragshållfasthet mellan 5,4 och 7,7MPa beroende på hur stor del fiber som används, se Figur 30 nedan.

TABLE 3.2 - COMPARISON OF SFRC PROPERTIES FOR INCREASING FIBRE CONTENT					
FIBRE CONTENT		F <sub>c</sub> (MPa)	E <sub>c</sub> (kPa)	Pulse Velocity (m/s)	Fr (MPa)
% of volume	Dosage kg per cu. m				
Plain Concrete	0	48.5	24.55	4,462	4.27
0.5%	40	47.1	24.41	4,426	5.34
1.0%	80	41.9	23.30	4,302	5.65
1.5%	120	38.8	20.13	4,195	7.34
2.0%	160	38.1	21.02	4,231	7.72

Legend: F<sub>c</sub> -Characteristic Compressive Strength at 28 days  
 E<sub>c</sub> -Static Modulus of Elasticity at 28 days  
 Fr -Modulus of Rupture [Static Flexural Strength] for controlled deflection rate at 28 days.

Figur 30 Tabell från tillverkaren Radmix som beskriver hur betongens egenskaper förändras beroende på fibermängd. (Radmix, 2009)

Vid beräkning användes det största värdet på böjdragshållfasthet, F<sub>r</sub>, 7,72 MPa för att se om detta räcker för att klara momentet som uppstår. Nedan beräknas vilken momentkapacitet betongen har, detta kan för fiberarmerad betong göras på samma sätt som enligt handboken från Pettersson & Sundquist (2010).

## Förstärkning av rörbroar

$$M_{Rk} := F_r \cdot W_{\text{betong}} \quad (5.b')$$

$$M_{Rk} = 12.9 \frac{\text{kN}\cdot\text{m}}{\text{m}}$$

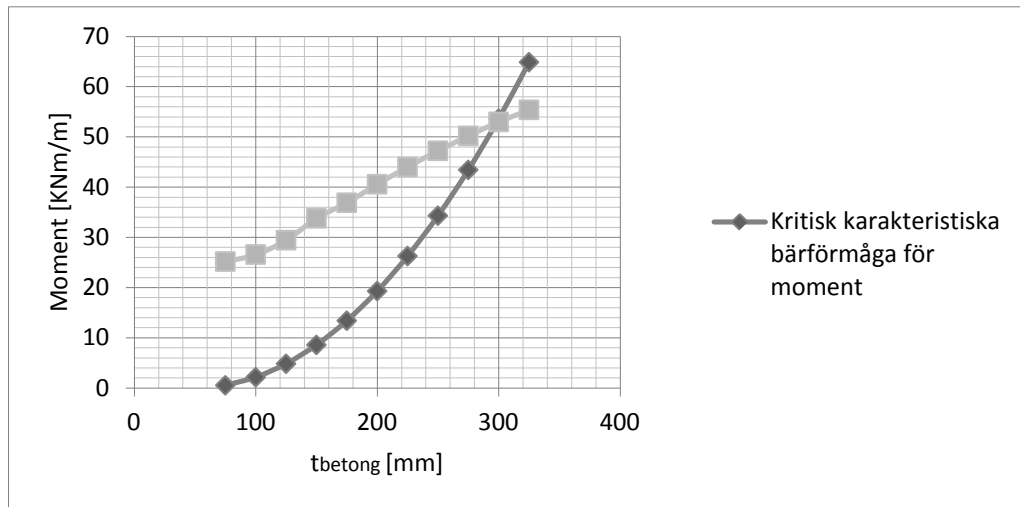
Momentkapaciteten blir då betydligt mindre än vad momentet som uppstår med typlasterna är vilket medför att när Kontroll mot att flytled ej bildas och knäckning av rörets övre del (enligt Eurokod) görs överskrids kapaciteten nästan tre gånger, se ekv 5b'. Följande värden har beräknats tidigare vid beräkningen:

$$N_{d\_A} = 155.966 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad N_{Rk} = 1.211 \times 10^3 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad k_{yy} = 0.812$$

$$\chi_y = 0.229 \quad \gamma_{Cw} = 1.5 \quad M_{du\_A} = 32.357 \frac{\text{kN}\cdot\text{m}}{\text{m}}$$

$$\frac{N_{d\_A}}{\left( \frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_C} \right)} + k_{yy} \cdot \frac{M_{du\_A}}{\frac{M_{Rk}}{\gamma_C}} = 3.9 \quad (5.b')$$

Enligt samma metod för att beräkna momenten i betongen enligt ovan beräknades också hur momentet varierade beroende på tjockleken hos den fiberarmerade betongen, se Figur 31. Enligt denna beräkning krävs att den fiberarmerade betongen måste vara 300 mm tjock för att klara momentlasten som bron utsätts för i BK2. Detta när den bästa kvalitén på fiberarmerad betong användes.

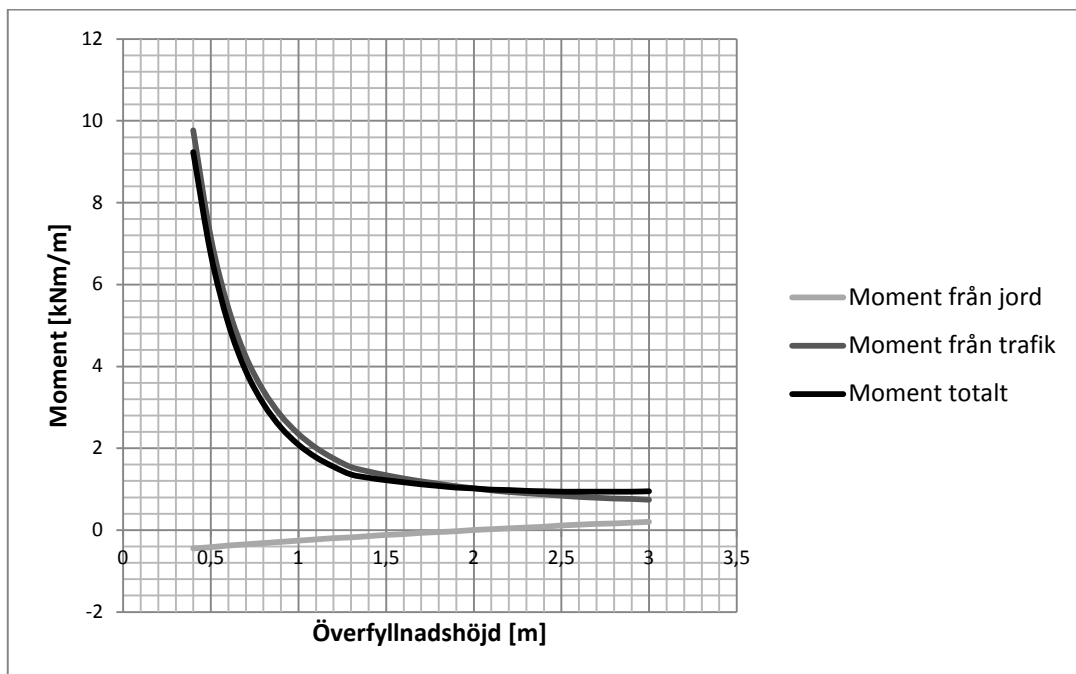


*Figur 31 Diagrammet beskriver hur kritiska karakteristiska bärförmågan för moment och moment i brottgränstillstånd varierar beroende på tjockleken hos den fiberarmerade betongen.*

## Förstärkning av rörbroar

Betongs draghållfasthet får i dagsläget inte tillgodoräknas i brottngränstillståndet. Det finns i dagsläget inga svenska standarder på hur dimensionering av fiberarmerad betong ska utföras. Dock trots att flera tekniska kommittéer har tagit fram förslag på dimensioneringsmetoder men dessa har inte nått ut på marknaden än. Enligt tillverkaren Radmix (2009) så har deras fiberarmerade betong en draghållfasthet som maximalt 7,7 MPa.

Om inte draghållfastheten inte får tillgodoräknas krävs att det momentet i hjässan försvinner. För att detta ska kunna ske så krävs att överfyllnadshöjderna blir större, detta förhållande visas i Figur 32.



Figur 32 Visar hur momentet i hjässan påverkas av överfyllnadshöjden för bro 4-705-1.

Även vid höga överfyllnadshöjder kommer det att uppstå ett litet moment i hjässan som är ca 1 kNm/m och detta medför att med dagens dimensioneringsmetoder så får man inte tillgodoräkna sig någon draghållfasthet för betongen, detta medför att det idag inte skulle vara möjligt för sprutbetong att höja lastkapaciteten.

### 14.3 Slutsatser

#### **Kan sprutbetong kan höja kapaciteten hos en rörbro?**

För att öka bärförmågan måste kapaciteten i hjässan ökas och en sprutbetonglining hjälper inte i den delen av röret då betongen inte kan ta någon dragspänning. (Pettersson, 2012). I experimentet som presenterades av Davidson, et al., (2008) kom det rör som inte sprutats aldrig till brott. För det sprutade röret uppstod ett brott i hjässan, se Figur 3. En rörbro i korrugerad plåt är en flexibel konstruktion, vilket innebär att det korrugerade röret samverkar med kringfyllnadsmaterialet när det tar upp belastningen. Eftersom rörbron är flexibel kommer en del av tyngden att fördelas till kringfyllnadsmaterialet och belastningen på själva röret minskar. Då röret förstärks med sprutbetong blir det styvare och kan inte böja undan på samma sätt som enbart plåten. Momentet blir i det beräknade fallet nästan tre gånger så stort som om röret inte hade sprutats och detta medför att momentkapaciteten blir mycket mindre än det moment som uppkommer. Röret går mer mot att bli ett betongrör och drar på sig mer last när det sprutas och konstruktionen kommer då inte att fungera på samma sätt som tidigare.

I dag finns inga dimensioneringsmetoder för fiberarmerad sprutbetong men tillverkaren Radmix (2009) uppger att deras betong har en böjdraghållfasthet upp till 7,7 MPa. Används detta värde så krävs minst en tjocklek på den fiberarmerade betongen på 300 mm för att bron ska klara momentlasten. Röret beräknas då enbart som ett betongrör utan att stålet tar någon last, det blir då en helt annan konstruktion med andra egenskaper än en vanlig rörbro i stål. Dock så vittnar Davidsons, et al., (2008) rapport att om rörbroarna ligger under stora överfyllnadshöjder behövs en betydligt mindre mängd sprutbetong för att höja bärförmågan.

Då det i dagsläget inte finns några dimensioneringsmetoder för fiberarmerad betong måste sådana tas fram för att säkerhetsställa att kraven uppfylls. Framförallt kontrollera om det går att tillgodoräkna draghållfasthet i brottgränstillstånd. Innan detta är gjort så kan inte sprutbetong ses som ett lasthöjande alternativ då det alltid kommer att uppstå ett litet moment i hjässan enligt Figur 32.

Det faktum att övrig betong satt på plats utan någon betydande spjälkning vid testet som utfördes av Davidson, et al., (2008) vittnar om att vidhäftningen är bra och att normalkraften eventuellt skulle kunna föras över från stålet till betongen.



Förstärkning av rörbroar

## DISKUSSION

I dagsläget finns det inga andra reparationsmetoder på marknaden än sprutbetong som har potential att höja lastkapaciteten då det är den enda metoden som kan användas i rörets hjässa. I och med att det är sprutbetongens styvhet som gör att bron drar på sig mer spänningar skulle det möjligtvis gå att låta den fiberarmerade sprutbetongen spricka och beräkna lastbärande kapacitet i delvis uppsprucket tillstånd. Vid detta tillstånd skulle det möjligen kunna ske en samverkan mellan den spruckna betongen och plåten, hur detta ska gå till har inte undersökts i detta arbete.

Att Davidson & Kang, (2013) och Davidson, et al., (2008) kommer fram till ett annat resultat, nämligen att det är möjligt med hjälp av en liten sprutbetonglining att höja bärförmågan beror på flera faktorer som beskrivs tidigare i arbetet. En av dessa beror på att broarna räknas ligga betydligt djupare under marken än vad som beräknas i denna rapport och detta medför att endast normalkraft kommer att verka på rörets hjässa och momentet försvinner. En annan faktor är att de flesta av dessa broar är mindre än det som vi i Sverige betraktar som rörbroar, vilket medför att nedböjningen för de mindre rören blir mindre och betyder att betongen inte spricker lika lätt som vid en större diameter på röret.

En gemensam slutsats med Davidson & Kang, (2013) är att den faktor som styr bärförmågan hos rör med sprutbetong är draghållfastheten för sprutbetongen. Mer forskning om hur denna faktor ska bestämmas måste genomföras. Många parametrar påverkar denna såsom fibermängd och betongens sammansättning.

Sprutbetong skulle möjligen kunna hjälpa till att ta upp en viss del av normalkraften i den nedre delen av röret. Om röret är kraftigt korrosionsskadat så skulle det finnas en möjlighet att föra över normalkraften från plåten till betongen och på så vis återställa funktionen av original konstruktionen. För att kunna överföra hela kraften så är det fördelaktigt att spruta hela röret alternativt att man försöker sig på en liknande lösning som Reparation med Halvsulning där fästelement för över kraften från röret till betongen. (Pettersson, 2012)

Förstärkning av rörbroar

## REFERENSER

Andersson, M., 2012. *Åsätra Mark AB*. [Online]

Available at: <http://asatramark.se/>

[Använd 20 01 2013].

Beaton, J. & Stratfull, R., 1962. "Field Test for Estimating Service Life of Corrugated Metal Culverts," *Proceedings of Transportation Research Board 41*:. Vol 41 red. Washington, DC: Highway Research Board.

Boverket, 2003. *Boverkets konstruktionsregler, BFS 1993:58, byggnadsverklagen och byggnadsförordningen*, Karlskrona: Boverket.

Davidson, J. S. & Kang, J., 2013. Structural effects of concrete lining for concrete-lined corrugated steel pipes. *Structure and Infrastructure Engineering* , 9(2), pp. 130-140.

Davidson, J. S., Vaidya, U. K., Kang, J. & Pillay, B., 2008. *PVA Fiber Reinforced Shotcrete for Rehabilitation and Preventative Maintenance of Aging Culverts*, Alabama: Alabama Department of Transportation.

El Sheriff, M., 2012. *Bygglédare Infra Konsult* [Intervju] (16 Oktober 2012).

Fjellström, P., 2012. *Platschef BESAB* [Intervju] (1 November 2012).

Herlevsson, K. & Oldgren, E., 1987. *The durability of large road culverts made of corrugated steel. An investigation*, Stockholm: Dept. of Highway Engineering, Royal Institute of Technology (KTH).

Janing, H., 1980. *Äldre järn och stål - hållfasthet och tillåtna spänningar*. 68 red. Stockholm: Stålbyggnadsinstitutet.

Kang, J. & Davidson, J., 2010. Structural effects of concrete lining for concrete-lined corrugated steel pipes. *Structure and Infrastructure Engineering: Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance*, 23 November, pp. 130-140.

Kulleskog, E., 2012. *Skanska* [Intervju] (15 Oktober 2012).

## Förstärkning av rörbroar

Lundström, K.-G., Lager, S.-E. & Hansing, L., 2012. Relining of old steel culverts damaged by corrosion. *Archives of Institute of Civil Engineering*, pp. 125-130.

Mattsson, H.-Å. & Sundquist, H., 2006. *Degradation, repair methods and real service life of Soil Steel*. Stockholm, Department of Civil and Architectural Engineering, Royal Institute of Technology (KTH).

Meegoda, J. N. & Juliano, T. M., 2009. *Corrugated steel culvert pipe deterioration*, Newark: New Jersey Institute of Technology .

Pettersson, L., 1998. *Bärighetsklassning av rörbroar*, Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan, inst. för byggkonstruktion.

Pettersson, L., 2012. *Professor, Skanska Stora Projekt* [Intervju] (20 November 2012).

Pettersson, L. & Sundquist, H., 2010. *Design of soil steel composite bridges*. 4th edition red. Stockholm: Structural Design and Bridges, KTH.

Radmix, 2009. *Technical Manual Radmix*, Carabooda: Radmix.

Sjösten, J., 2012. *Förvaltningsledare Trafikverket* [Intervju] (01 November 2012).

Sönksen, H., 2012. *Tubus System International AB* [Intervju] (08 Oktober 2012).

Swedish Standards Institute (SIS), 2005. *Eurokod 3: Dimensionering av stålkonstruktioner, SS-EN 1993*, Stockholm: SIS Förlag AB.

Trafikverket, 2010. *BaTMan Handbok*. [Online]

Available at:

[https://batmanhandbok.vv.se/\\_layouts/BaTManPrint/BaTManPrint.aspx?print=all&path=https://batmanhandbok.vv.se/Wiki-sidor/Genomf%C3%B6rande\\_B.aspx](https://batmanhandbok.vv.se/_layouts/BaTManPrint/BaTManPrint.aspx?print=all&path=https://batmanhandbok.vv.se/Wiki-sidor/Genomf%C3%B6rande_B.aspx)

[Använd 05 12 2012].

Trafikverket, 2012. *AMA Anläggning 10*, Stockholm: Svensk Byggtjänst.

Trafikverket, 2012. *BaTMan*. [Online]  
Available at: <https://batman.vv.se/>  
[Använd 05 10 2012].

Vägverket, 2009. *MB 802 Bärighetsutredning av Byggnadsverk*. 2009:61 red.  
Borlänge: Vägverket.

ViaCon, 2010. *Reparation av rörbroar*. [Online]  
Available at: <http://www.viacon.se/default.aspx?pg=c1c10e75-b3e4-4f64-b77c-128ba3d05f26>  
[Använd 04 Oktober 2012].

Förstärkning av rörbroar

**Bilagor**

**BILAGA A**



## Förstärkning av rörbroar

### Innehållsförteckning

1. Förutsättningar, handlingar
2. Egenskaper för objektet
  - 2.1 Över- och kringfyllning
  - 2.2 Data rörbro
    - 2.2.2 Tvärsnittsmått
    - 2.2.3 Sammanfogning
    - 2.2.4 Profilvariabler
    - 2.2.5 Tvärsnittsdata rörbro
3. Belastning
  - 3.1 Typlaster
  - 3.2 Dynamiskt tillskott
  - 3.3 Säkerhetsklass
    - 3.3.1 Säkerhetsklass rörbro
    - 3.3.2 Säkerhetsklass geoteknik
4. Snittkrafter
  - 4.1 Bestämning av effektiv överfyllnadstjocklek, hc-red
  - 4.2 Bestämning av normalkraft
    - 4.2.1 Normalkraft av jordlast, Nj
    - 4.2.2 Reduktion med hänsyn till hjulens lastutbredning av den ekvivalenta linjelasten vid små överfyllnadshöjder, reduktionsfaktorn Rf.
    - 4.2.3 Beräkning av linjelast, ptrafik och normalkraft av trafiklast, Nt för de olika lastfallen
      - 4.2.3.1 Lasttyp a
      - 4.2.3.2 Lasttyp b
      - 4.2.3.3 Lasttyp c
      - 4.2.3.4 Lasttyp d
      - 4.2.3.5 Lasttyp e
      - 4.2.3.6 Lasttyp f
      - 4.2.3.7 Militära fordon last
      - 4.2.3.8 Sammanställning normalkraft, Nt
    - 4.2.4 Dimensionerande normalkraft, Nd
  - 4.3 Bestämning av dimensionerande böjmoment
    - 4.3.1 Böjmoment av jordlast, Ms
    - 4.3.2 Böjmoment av trafiklast, Mt
    - 4.3.3 Dimensionerande böjmoment
5. Dimensioneringskontroller
  - 5.1 Beräkningsmässiga kontroller i bruksgränstillstånd
    - 5.1.1 Säkerhet mot begynnande flytning i bruksgränstillstånd
  - 5.2 Verifiering av rörväggens bärförmåga i brottningsgränstillstånd
    - 5.2.1 Kontroll mot att ej flytled bildas och att knäckning i rörets övre del sker (Eurokod)
      - 5.2.1b Kontroll av kapacitet med avseende på uppträdande maximal normalkraft
    - 5.2.2 Kontroll av att tillräcklig kapacitet finns i rörets nedre del
      - 5.2.3 Kontroll mot överskridande av skruvförbandens kapacitet.
        - 5.2.3.1 Kontroll av att skruvarnas kapacitet är tillräcklig mot skjuvbrott i skruven
        - 5.2.3.2 Kontroll av att skruvarnas kapacitet är tillräcklig mot hålkantbrott i plåten
        - 5.2.3.3 Kontroll av att skruvarnas kapacitet är tillräcklig mot normalkraft
        - 5.2.3.4 Kontroll mot överskridande av skruvförbandens kapaciteten vid kombinerad dragning och skjuvning
    - 5.3 Kontroll mot överskridande av kapaciteten vid utmattningsgränstillstånd
      - 5.3.1 Kontroll mot överskridande av kapaciteten plåten i utmattningstillstånd
      - 5.3.2 Kontroll mot överskridande av kapaciteten vid ren normalkraft för skruvförbandet  $\tau_{rd}$  i utmattningsgränstillstånd
      - 5.3.3 Kontroll mot överskridande av kapaciteten vid ren skjuvning  $\tau_{rd}$  i Utmattningsgränstillstånd
      - 5.3.4 Kontroll mot överskridande av kapaciteten vid kombinerad skjuvning och normalkraft i utmattningsgränstillstånd
    - 5.4 Kontroll av militära fordon
    - 5.5 Övriga kontroller
  6. Sammanställning kontroller

## 1. Förutsättningar, handlingar

Övergripande handlingar:

Design of soil steel composite bridges, Lars Pettersson och Håkan Sundquist, Brobyggnad 2010, KTH, Stockholm. (Denna refereras som handboken i beräkningen nedan).  
 MB 802 Bärighetsutredning av byggnadsverk, Vägverket publikation 2009:61  
 Bärighetsklassning av rörbroar, Lars Pettersson, Stockholm: KTH, inst. för byggkonstruktion.

## 2. Egenskaper för objektet

Då det inte finns några geotekniska mätningar så detaljerad information om parametrarna i jorden saknas finns rekommenderade värden på säkra sidan i publikationen "Bärighetsklassning av rörbroar"

Nedan beskrivs dessa parametrar (Överfyllnadshöjden är uppmätt).

### 2.1 Över- och kringfyllning

### Indata för beräkning

Jordtyp

Förstärkningslager

Friktionsvinkel (grader)

$$\varphi_{cv} := 38\text{deg}$$

Överfyllnadshöjd (m)

$$h_c := 0.4\text{m}$$

Tunghet över grundvattenytan (kN/m<sup>3</sup>)

$$\rho_1 := 19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Relativ packningsgrad  $RP := 93$

Förstärkning av rörbroar

## 2.2 Data rörbro

### 2.2.1 Plåtkoefficienter

Plåtkvalitet, sträckgränsvärde (MPa)  $f_{yk} := 282\text{MPa}$

Brottgänsvärde (MPa)  $f_{uk} := 390\text{MPa}$

Elasticitetsmodul (GPa)  $E_k := 210\text{GPa}$

### 2.2.2 Tvärsnittsmått

Följande mått är uppmätta, och de olika radierna är tagna från standardritningar av lågbyggd rörbro.

Höjd (m)  $h := 2.02\text{m}$

Diameter (m)  $D := 2.8\text{m}$

Valvhöjd (m)  $H_v := 1.50\text{m}$

Toppradie (m)  $R_t := 1.5\text{m}$

Vid lågbyggd profil gäller  $R_t = R_s$

Sidoradie (m)  $R_s := 1.5\text{m}$

Vid cirkulär profil gälle  $R_t = R_s = R_c = R_b$

Bottenradie (m)  $R_b := 4.5\text{m}$

Hörnradie (m)  $R_c := 0.46\text{m}$

### 2.2.3 Sammanfogning

Mått på skruvar samt antal skruvar är tagna frånuppmätning och de som inte hittats från standardritningar.

Antal skruvar per meter	$n := 13 \frac{1}{m}$
Antal rader vilketskruvarna monteras i	$k := 2$
Hållfasthet för skruv (MPa)	$f_{ub} := 800\text{MPa}$
Bults spänningsarea $A_s$	$A_s := 245\text{mm}^2$
Bultens diameter:	$d := 20\text{mm}$
Håldiameter	$d_0 := 20\text{mm}$
Vid anliggning mot gänga	$d_s := \sqrt{4 \cdot \frac{A_s}{\pi}} = 0.018\text{m}$

Nedanstående variabler är ej uppmätta och istället tagna från standardritningar

Hålcentrum till fri kant i kraftrikt.	$e_{1\_} := 40\text{mm}$
Hålcentrum till fri kant vinkelrätt kraftrikt.	$e_{2\_} := 40\text{mm}$
Mellanrum mellan hålcentrum i kraftrikt.	$p_1 := 60\text{mm}$
Mellanrum mellan hålcentrum vinkelrätt kraftrikt.	$p_2 := 150\text{mm}$
Mått på avstånd mellan bultar enligt	$a_{skarv} := 75\text{mm}$

Förstärkning av rörbroar

### 2.2.4 Profilvariabler

Plåttjocklek (mm)	$t := 3.5\text{mm}$
Korrugering (mm)	150x50
Profilhöjd (mm)	$h_{\text{corr}} := 50\text{mm}$
Hel våglängd (mm)	$\lambda := 150\text{mm}$
Krökningsradie (mm)	$R := 38\text{mm}$
Antal spänningscykler under konstruktionens antagna användningstid	$n_t := 10^5$ ådt < 10000

### 2.2.5 Tvärsnittsdata rörbro

Tvärsnittsparametrarna beräknas enligt tabell B1.1 i handboken. Nedanstående ekvationer baseras på stålprofil på 150x50mm.

Tvärsnittsparametrarna:  $\alpha := 0.856 + 0.015 \cdot \frac{t}{\text{mm}}$   $m_t := 34.2\text{mm} - 1.88t$

Krökningsradien  $r := R + \frac{t}{2}$

$$A_1 := \frac{(4\alpha \cdot r \cdot t + 2m_t \cdot t)}{c} \quad (\text{b1.c})$$

$$e_1 := r \cdot \left(1 - \frac{\sin(\alpha)}{\alpha}\right) = 5.247 \cdot \text{mm}$$

$$I := \frac{\left[ r^3 \cdot t \left[ \alpha + \frac{\sin(2\alpha)}{2} - \frac{(2\sin(\alpha)^2)}{\alpha} \right] + 4\alpha \cdot r \cdot t \cdot \left( \frac{h_{\text{corr}}}{2} - e_1 \right)^2 + \frac{2}{12} \frac{t}{\sin(\alpha)} (m_t \cdot \sin(\alpha))^3 \right]}{c} \quad (\text{b1.e})$$

$$Z := \frac{\left[ 4\alpha \cdot r \cdot t \cdot \left( \frac{h_{\text{corr}}}{2} - e_1 \right) + \frac{1}{2} \frac{t}{\sin(\alpha)} \left( m_t \cdot \sin(\alpha) \right)^2 \right]}{c} \quad (\text{b1.f})$$

$$W := \frac{2 \cdot I}{h_{\text{corr}} + t} \quad (\text{b1.g})$$

$$A_1 = 4.659 \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}} \quad (\text{b1.c})$$

$$I = 1.402 \times 10^3 \cdot \frac{\text{mm}^4}{\text{mm}} \quad (\text{b1.e})$$

$$Z = 73.597 \cdot \frac{\text{mm}^3}{\text{mm}} \quad (\text{b1.f})$$

$$W = 52.408 \cdot \frac{\text{mm}^3}{\text{mm}} \quad (\text{b1.g})$$

### 3. Belastning

#### 3.1 Typlaster

Enligt VV Publ. 2009:61 avsnitt 2.3.2.2.3 så beräknas hjullastens utbredning i tvärlid 0,3 m och i längsled 0,2 m. Centrumavståndet mellan hjullasterna förutsätts variera godtyckligt mellan 1,7 m och 2,3 m. Vid kontroll av framkomligheten i vägbanemitt får centrumavståndet mellan hjullasterna förutsttas till 2,0 m.

$$dx := 0.2\text{m}$$

$$dy := 0.3\text{m}$$

$$P_{A\_BK1} := 120\text{kN}$$

$$P_{A\_BK2} := 100\text{kN}$$

$$P_{B\_BK1} := 180\text{kN}$$

$$P_{B\_BK2} := 160\text{kN}$$

## Förstärkning av rörbroar

### Typfordon

Enligt bilaga 2 i VV Publ. 2009:61 så finns följande typfordon for vägbroar. g), h), j), k), l), m) och n) anses inte behövas kontrolleras då bron endast sträcker sig i 2,8 m

a

$$P_a := 1 \cdot P_{A\_BK2}$$

$$B_a := 0$$

b

$$P_b := 0.88 \cdot \frac{P_{B\_BK2}}{2}$$

$$B_b := 1.0\text{m}$$

c

$$P_c := 1 \cdot \frac{P_{B\_BK2}}{2}$$

$$B_c := 1.3\text{m}$$

d

$$P_d := 1.1 \cdot \frac{P_{B\_BK2}}{2}$$

$$B_d := 1.8\text{m}$$

e

$$P_e := 1.10 \cdot \frac{P_{B\_BK2}}{3}$$

$$B_e := 1.0\text{m}$$

f

$$P_f := 1.32 \cdot \frac{P_{B\_BK2}}{3}$$

$$B_f := 1.3\text{m}$$

### Militära fordon

Klass

12

16

20

Enstaka axellast

$$P_{m12} := 72.6\text{kN}$$

$$P_{m16} := 86.2\text{kN}$$

$$P_{m20} := 99.8\text{kN}$$

Klass

24

30

40

Enstaka axellast

$$P_{m24} := 108.9\text{kN}$$

$$P_{m30} := 131.5\text{kN}$$

$$P_{m40} := 154.2\text{kN}$$

Klass

50

60

70

Enstaka axellast

$$P_{m50} := 181.4\text{kN}$$

$$P_{m60} := 208.6\text{kN}$$

$$P_{m70} := 231.3\text{kN}$$

$$P_m := P_{m20}$$

### 3.2 Dynamiskt tillskott

Dynamiskt tillskott  $\varepsilon$  ska läggas till samtliga punktlaster vid beräkning i längs- och tvärlägg. Detta eftersom de i typlasterna inte inkluderar dynamisk effekt. Detta görs genom ekvationen

$$\varepsilon := \frac{740}{20 + L_{\text{best}}} \quad (2-1, \text{ i VV Publ. 2009:61})$$

$L_{\text{best}}$  är enligt sid 72 i handboken =  $D \cdot 2$

$$\varepsilon_{\text{MW}} := \frac{740}{20 + \frac{D \cdot 2}{m}} = 28.906$$

Om  $h_c$  är större än 1,2m får det dynamiska tillskottet reduceras enligt sid 72 i handboken.

$$\varepsilon_{\text{MW}} := \begin{cases} \varepsilon - \left[ 0.1 \cdot \left( \frac{h_c}{m} - 1.2 \right) - 1 \right] \cdot 100 & \text{if } h_c \geq 1.2\text{m} \\ \varepsilon & \text{otherwise} \end{cases}$$

Det dynamiska tillskottet blir då

$$\varepsilon_{\text{till}} := 1 + \frac{\varepsilon}{100} = 1.289$$



Förstärkning av rörbroar  
**3.3 Säkerhetsklass**

**3.3.1 Säkerhetsklass rörbro**

VV Publ. 2009:61 MB 802, Bärighetsutredning av byggnadsverk.  
Lastförutsättningar, Tabell 2-7

Säkerhetsklass	SK2 (Brolängd<15m)			
Lastkomb.	A	B:a	C	E
	Brottgränstill.	Brukgränstill.	Uttmattningstill.	Brottgräns,militär
Trafik	$\Psi\gamma_{\text{trafik}_A} := \begin{pmatrix} 0.7 \\ 1.3 \end{pmatrix}$	$\Psi\gamma_{\text{trafik}_{Ba}} := 1$	$\Psi\gamma_{\text{trafik}_C} := 1$	$\Psi\gamma_{\text{trafik}_E} := 1.3$
Jord egentyngd	$\Psi\gamma_{\text{Jord}_A} := 1$	$\Psi\gamma_{\text{Jord}_{Ba}} := 1$	$\Psi\gamma_{\text{Jord}_C} := 1.0$	$\Psi\gamma_{\text{Jord}_E} := 1.0$

Partialkoefficienter enligt VV Publ. 2009:61 avsnitt 1.3.4.1

Säkerhet

Stål  $\gamma_{M1} := 1.0$   $\gamma_n := 1.0$

Skruv  $\gamma_{M2} := 1.2$

**3.3.2 Säkerhetsklass geoteknik**

Enligt MB 802 vid spännvidd mindre än 15m, SK 2 ger  $\gamma_{n\_geo} = 1,1$   
Övriga koefficienter är antagna enligt Bärighetsklassning av rörbroar

Geoteknik

Säkerhet  $\gamma_{n\_geo} := 1.1$   
Kringfyllnad  $\gamma_{m\_krf} := 1.15$   
Överfyllnad  $\gamma_{m\_cv} := 1.15$   
Tangentmodul  $\gamma_{mE} := 1.6$

## 4. Snittkrafter

### 4.1 Bestämning av effektiv överfyllnadstjocklek, *hc-red*

Handboken sid 15, 33

Beräkning av höjning av rörets hjässa under återfyllnadsarbetet, som vid återfyllning kan komma att höjas på grund av trycket som uppstår mot rörets sidor.

Den dimensionerade tangentmodulen  $E_{sd}$ , enligt metod A i handboken. Därefter kan  $\lambda_f$  beräknas.  $\lambda_f$  är en styvhetsparameter som anger förhållandet mellan röret och omgivande jords respektive styvheter.

$$E_s = 6 \times 10^7 \text{ Pa} \quad D = 2.8 \text{ m} \quad E_k = 2.1 \times 10^{11} \text{ Pa} \quad \rho_1 = 1.9 \times 10^4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}^2}$$

$$H_v = 1.5 \text{ m} \quad I = 1.402 \times 10^3 \cdot \frac{\text{mm}^4}{\text{mm}} \quad \text{RP} = 93$$

$$E_{sd} := 1.17^{(\text{RP}-95)} \left( 0.82 \cdot \ln \left( \frac{h_c}{m} + \frac{H_v}{2m} \right) + 3.65 \right) \cdot 10^7 \text{ Pa} \quad (\text{b7.a})$$

$$E_{sd} = 2.75 \times 10^7 \text{ Pa}$$

Böjmomentet i väggen beror på förhållandet mellan styvheten hos jorden och styvheten hos röret. Detta förhållande beräknas med hjälp av  $\lambda_f$  och ges av:

$$\lambda_f := \frac{E_{sd} \cdot D^3}{E_k \cdot I} = 2.051 \times 10^3 \quad (4.p)$$

Ekvation (b3.b) nedan, gäller endast för slutna profiler, profiler där rörets sidoplåtar samtidigt kan tryckas samman när hjässan reser sig.

4.2.2 Reduktion med hänsyn till hjulens lastutbredning av den ekvivalenta linjelasten vid små överfyllnadshöjder, reduktionsfaktorn  $R_f$ . Innan krafter och spänningar kan beräknas så beräknas en reduktionsfaktor fram för att man beräknar lasterna som punktlaster. Beräkningar för att hitta värdet på det vertikala trycket under ett hjul, hjullasten uppdelad i fyra delar:  
 $p_0 := 0.00 \text{ ln}$  (storleken steg som lasten flyttas )

$$\begin{aligned}
 R_{\text{red}} := & \text{maxt} \leftarrow \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \\
 & \text{for } x \in 0, p_0 .. 0.2\text{-m} \\
 & \quad \text{a} \leftarrow \begin{pmatrix} x - 0.033\text{m} \\ x - 0.1\text{-m} \\ x - 0.167\text{m} \\ x - 0.033\text{m} \\ x - 0.1\text{-m} \\ x - 0.167\text{m} \\ x - 0.033\text{m} \\ x - 0.1\text{-m} \\ x - 0.167\text{m} \end{pmatrix} \\
 & \quad \text{for } y \in 0\text{m}, p_0 .. 0.3\text{-m} \\
 & \quad \quad \text{b} \leftarrow \begin{pmatrix} y - 0.05\text{m} \\ y - 0.05\text{m} \\ y - 0.05\text{m} \\ y - 0.15\text{m} \\ y - 0.15\text{m} \\ y - 0.15\text{m} \\ y - 0.25\text{m} \\ y - 0.25\text{m} \\ y - 0.25\text{m} \end{pmatrix} \\
 & \quad \quad \sigma \leftarrow \frac{P_{A\_BK1}}{9} \cdot \frac{3}{2\pi} \cdot h_c^3 \left[ \sum_{n=0}^8 \frac{1}{\left[ \sqrt{(a_n)^2 + (b_n)^2 + h_c^2} \right]^5} \right] \\
 & \quad \quad \text{maxt} \leftarrow \begin{pmatrix} x \cdot \frac{N}{m^3} \\ y \cdot \frac{N}{m^3} \\ \sigma \end{pmatrix} \text{ if } \sigma > \text{maxt}_2 \\
 & \text{maxt}
 \end{aligned}$$

Förstärkning av rörbroar

$$\delta_{hj\ddot{a}ssa} := D \cdot \left[ 0.013 \cdot \frac{\rho_1 \cdot D}{E_s} \cdot \left[ \left( \frac{H_v}{D} \right)^{2.8} \cdot \lambda_f \right]^{0.56 - 0.2 \ln \left( \frac{H_v}{D} \right)} \right] \quad (\text{b3.b})$$

$$\delta_{hj\ddot{a}ssa} = 1.808 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$h_{c\_red} := h_c - \delta_{hj\ddot{a}ssa}$$

$$h_{c\_red} = 0.398 \text{ m}$$

## 4.2 Bestämning av normalkraft

### 4.2.1 Normalkraft av jordlast, N<sub>j</sub>

Design of soil steel composite bridges sid 18-20.

$$H_v = 1.5 \text{ m} \quad D = 2.8 \text{ m} \quad \rho_1 = 1.9 \times 10^4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}^2}$$

$$\varphi_{cv\_d} := \text{atan} \left[ \frac{\tan(\varphi_{cv})}{(\gamma_{n\_geo} \cdot \gamma_{m\_cv})} \right]$$

$$S_v := \frac{0.8 \cdot \tan(\varphi_{cv\_d})}{\left( \sqrt{1 + \tan^2(\varphi_{cv\_d})} + 0.45 \cdot \tan(\varphi_{cv\_d}) \right)^2} = 0.234 \quad (4.e)$$

$$\kappa := 2 \cdot S_v \cdot \frac{h_{c\_red}}{D} = 0.067 \quad (4.f)$$

$$S_{ar} := \frac{1 - e^{-\kappa}}{\kappa} = 0.967 \quad (4.g)$$

$$N_s := 0.2 \frac{H_v}{D} \rho_1 D^2 + S_{ar} \cdot \left( 0.9 \cdot \frac{h_{c\_red}}{D} - 0.5 \cdot \frac{h_{c\_red}}{D} \frac{H_v}{D} \right) \rho_1 \cdot D^2 \quad (4.c)$$

$$N_s = 28.915 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

## Förstärkning av rörbroar

Beräkningar för att hitta värdet på det vertikala trycket under ett hjul, hjullasten ses som punktlast:

$$\begin{array}{l}
 R_{\text{punkt}} := \left| \begin{array}{l}
 \text{maxt} \leftarrow \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \\
 \text{for } x \in 0, \text{po}.. 0.2\text{m} \\
 \quad \left| \begin{array}{l}
 \text{a} \leftarrow (x - 0.1\text{m}) \\
 \text{for } y \in 0, \text{po}.. 0.3\text{m} \\
 \quad \left| \begin{array}{l}
 \text{b} \leftarrow (y - 0.15\text{m}) \\
 \sigma \leftarrow P_{A\_BK1} \cdot \frac{3}{2\pi} \cdot h_c^3 \left[ \sum_{n=0}^0 \frac{1}{\left[ \sqrt{(a)^2 + (b)^2 + h_c^2} \right]^5} \right] \\
 \text{maxt} \leftarrow \begin{pmatrix} x \cdot \frac{N}{m^3} \\ y \cdot \frac{N}{m^3} \\ \sigma \end{pmatrix} \text{ if } \sigma > \text{maxt}_2
 \end{array} \right. \\
 \text{maxt}
 \end{array} \right.
 \end{array}
 \end{array}$$

$$t = 3.5 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$R_{\text{red}} = \begin{pmatrix} 0.1 \\ 0.15 \\ 3.106 \times 10^5 \end{pmatrix} \text{ Pa}$$

$$R_{\text{punkt}} = \begin{pmatrix} 0.1 \\ 0.15 \\ 3.581 \times 10^5 \end{pmatrix} \text{ Pa}$$

$$R_f := \frac{R_{\text{red}_2}}{R_{\text{punkt}_2}} = 0.867 \quad (\text{Reduktionsfaktor})$$

### 4.2.3 Beräkning av linjelast, $p_{\text{trafik}}$ och normalkraft av trafiklast, $N_t$ för de olika lastfallen

Beräkning av de olika lastfallen

Beräkning av lastspridning enligt Boussinesq, sid 60 i Design of soil steel composite bridges, samt linjelast och normalkraft enligt modell sid 42 i handboken

För att hitta det största vertikala trycket ( $\sigma_v$ ) i jorden under punktlasterna (hjullasterna) används ekvationen

$$\sigma_v := \frac{P}{2} \cdot \frac{3}{2\pi} \cdot h_c^3 \left( \sum_i \frac{1}{s_i^5} \right) \quad (\text{b4.c})$$

enligt handboken bilaga 4. Genom att kombinera hjultrycken och låta dessa variera över vägbanan med ett bestämt intervall hittas det största vertikala trycket för varje lastfall för sig. Med reduktionsfaktorn,  $R_f$ , reduceras sedan resultatet för  $\sigma_v$  så att det simulerade värdet för hjultrycken minskas då dessa i verkligheten inte utgörs av punktlaster utan utbredda hjullaster.

Vägbanan läggs i ett koordinatsystem där punktlaster symboliserar hjultrycken ( $dx$ ,  $dy$ ) utifrån ekvationen:

$$\sigma_v := \frac{P_a}{2} \cdot \frac{3}{2\pi} \cdot h_c^3 \left( \sum_{i=0}^2 \frac{1}{s_i^5} \right)$$

genom  $a$  och  $b$  placeras hjultrycken symboliskt ut i koordinatsystemet och genom beräkning utefter ekvationen hittas de varierande vertikala trycken under punktlasterna, utifrån dessa hittas sedan det största vertikala trycket,  $\sigma_v$

$$\varepsilon_1 := \frac{4}{8 + 2 \cdot \frac{D}{m}} = 0.294$$

#### 4.2.3.1 Lasttyp a

Lasttyp a beskrivs enligt MB802

$$x_a := 0\text{m} \quad y_a := 0\text{m}$$

$$a := \begin{pmatrix} 2\text{m} \\ 2\text{m} \\ 2\text{m} \\ 2\text{m} \end{pmatrix} \quad q_a := 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad b := \begin{pmatrix} 6\text{m} \\ 4\text{m} \\ 3\text{m} \\ 1\text{m} \end{pmatrix}$$

## Förstärkning av rörbroar

$$P_a = 1 \times 10^5 \text{ N} \quad h_c = 0.4 \text{ m} \quad y_{\text{slut}} := b_0 \cdot \frac{100.2}{\text{m}} \quad x_{\text{slut}} := a_0 \cdot \frac{100.2}{\text{m}}$$

$$\text{boussinesqa}(a, b, P, x, y, h_c, x_{\text{sl}}, y_{\text{sl}}) := \begin{array}{l} \sigma_{\text{vMAX}} \leftarrow 0 \\ x_{\text{MAX}} \leftarrow 0 \\ y_{\text{MAX}} \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 0..y_{\text{sl}} \\ \quad y \leftarrow \frac{i}{100.2} \text{ m} \\ \quad \text{for } j \in 0..x_{\text{sl}} \\ \quad \quad x \leftarrow \frac{j}{100.2} \text{ m} \\ \quad \quad \sigma_{\text{v}} \leftarrow \frac{P}{2} \cdot \frac{3}{2\pi} \cdot h_c^3 \left[ \sum_{n=0}^1 \frac{1}{\left[ \sqrt{(x-a_n)^2 + (y-b_n)^2 + h_c^2} \right]^5} \right] + \frac{0.8P}{2} \cdot \frac{3}{2\pi} \cdot h_c^3 \left[ \sum_{n=2}^3 \frac{1}{\left[ \sqrt{(x-a_n)^2 + (y-b_n)^2 + h_c^2} \right]^5} \right] \\ \quad \quad x_{\text{MAX}} \leftarrow x \text{ if } \max(\sigma_{\text{v}}) > \sigma_{\text{vMAX}} \\ \quad \quad y_{\text{MAX}} \leftarrow y \text{ if } \max(\sigma_{\text{v}}) > \sigma_{\text{vMAX}} \\ \quad \quad \sigma_{\text{vMAX}} \leftarrow \max(\sigma_{\text{v}}) \text{ if } \max(\sigma_{\text{v}}) > \sigma_{\text{vMAX}} \\ \text{return} \begin{pmatrix} \frac{x_{\text{MAX}}}{\text{m}} \\ \frac{y_{\text{MAX}}}{\text{m}} \\ \frac{\sigma_{\text{vMAX}}}{\text{Pa}} \end{pmatrix} \end{array}$$

$$\begin{pmatrix} x_{\text{ma}} \\ y_{\text{ma}} \\ \sigma_{\text{vma}} \end{pmatrix} := \text{boussinesqa}(a, b, P_a, x_a, y_a, h_c, x_{\text{slut}}, y_{\text{slut}}) = \begin{pmatrix} 2 \\ 4 \\ 1.501 \times 10^5 \end{pmatrix}$$

Vertikalt tryck i jorden under punktlast

$$\sigma_{vma} := \sigma_{vma} \cdot \text{Pa} \quad \sigma_{vma} = 150.099 \cdot \text{kPa}$$

Linjelast,  $p_{\text{trafik}}$ 

$$p_{\text{trafik}_a} := \frac{R_f \cdot \sigma_{vma} \cdot \pi \cdot h_{c\_red}}{2} \quad p_{\text{trafik}_a} = 81.425 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Normalkraft,  $N_t$ 

$$N_{t\_a} := \begin{cases} N_{t\_a} \leftarrow p_{\text{trafik}_a} + \left(\frac{D}{2}\right) \cdot q_a & \text{if } \left(\frac{h_{c\_red}}{D}\right) \leq 0.25 \\ N_{t\_a} \leftarrow \left(1.25 - \frac{h_{c\_red}}{D}\right) p_{\text{trafik}_a} + \left(\frac{D}{2}\right) \cdot q_a & \text{if } 0.25 < \frac{h_{c\_red}}{D} \leq 0.75 \\ N_{t\_a} \leftarrow 0.5 \cdot p_{\text{trafik}_a} + \left(\frac{D}{2}\right) \cdot q_a & \text{if } 0.75 < \frac{h_{c\_red}}{D} \end{cases} \quad (4.1', 4.1'', 4.1''')$$

$$N_{t\_a} = 81.425 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

#### 4.2.3.2 Lasttyp b

$$x_b := 0 \text{ m} \quad y_b := 0 \text{ m} \quad a_b := \begin{pmatrix} 1 \text{ m} \\ 1 \text{ m} \\ 2 \text{ m} \\ 2 \text{ m} \\ 1 \text{ m} \\ 1 \text{ m} \\ 2 \text{ m} \\ 2 \text{ m} \end{pmatrix} \quad b_b := \begin{pmatrix} 6 \text{ m} \\ 4 \text{ m} \\ 6 \text{ m} \\ 4 \text{ m} \\ 3 \text{ m} \\ 1 \text{ m} \\ 3 \text{ m} \\ 1 \text{ m} \end{pmatrix}$$

$$P_b = 70.4 \cdot \text{kN} \quad h_c = 0.4 \text{ m} \quad q_b := 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad y_{slutb} := b_{b1} \cdot \frac{100}{\text{m}} \cdot 2 \quad x_{slutb} := a_{b1} \cdot \frac{100}{\text{m}} \cdot 2$$

$$\sigma_{vb} := \frac{P_b}{2} \cdot \frac{3}{2\pi} \cdot h_c^3 \left[ \sum_{n=0}^3 \frac{1}{(s)^5} \right] + \frac{0.8P_b}{2} \cdot \frac{3}{2\pi} \cdot h_c^3 \left[ \sum_{n=4}^7 \frac{1}{(s)^5} \right] \quad (\text{b4.c})$$



## Förstärkning av rörbroar

$$\text{boussinesqb}(a, b, P, x, y, h_c, x_{s1}, y_{s1}) := \begin{array}{l} \sigma_{vMAX} \leftarrow 0 \\ x_{MAX} \leftarrow 0 \\ y_{MAX} \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 0..y_{s1} \\ \quad y \leftarrow \frac{i}{100 \cdot 2} m \\ \quad \text{for } j \in 0..x_{s1} \\ \quad \quad x \leftarrow \frac{j}{100 \cdot 2} m \\ \quad \quad \sigma_v \leftarrow \frac{P}{2} \cdot \frac{3}{2\pi} \cdot h_c^3 \left[ \sum_{n=0}^3 \frac{1}{\left[ \sqrt{(x-a_n)^2 + (y-b_n)^2 + h_c^2} \right]^5} \right] + \frac{0.8P}{2} \cdot \frac{3}{2\pi} \cdot h_c^3 \left[ \sum_{n=4}^7 \frac{1}{\left[ \sqrt{(x-a_n)^2 + (y-b_n)^2 + h_c^2} \right]^5} \right] \\ \quad \quad x_{MAX} \leftarrow x \text{ if } \max(\sigma_v) \geq \sigma_{vMAX} \\ \quad \quad y_{MAX} \leftarrow y \text{ if } \max(\sigma_v) \geq \sigma_{vMAX} \\ \quad \quad \sigma_{vMAX} \leftarrow \max(\sigma_v) \text{ if } \max(\sigma_v) \geq \sigma_{vMAX} \\ \text{return} \begin{pmatrix} \frac{x_{MAX}}{m} \\ \frac{y_{MAX}}{m} \\ \frac{\sigma_{vMAX}}{\text{Pa}} \end{pmatrix} \end{array}$$

$$\begin{pmatrix} x_{mb} \\ y_{mb} \\ \sigma_{vmb} \end{pmatrix} := \text{boussinesqb}(a_b, b_b, P_b, x_b, y_b, h_c, x_{slutb}, y_{slutb}) = \begin{pmatrix} 1 \\ 4 \\ 1.066 \times 10^5 \end{pmatrix}$$

Vertikalt tryck i jorden under punktlast

$$\sigma_{vmb} := \sigma_{vmb} \cdot \text{Pa} \quad \sigma_{vmb} = 106.558 \cdot \text{kPa}$$

Linjelast,

$$P_{\text{trafik\_b}} := \frac{R_f \cdot \sigma_{\text{vmb}} \cdot \pi \cdot h_{\text{c\_red}}}{2} \quad P_{\text{trafik\_b}} = 57.805 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Normalkraft, Nt

$$N_{\text{t\_b}} := \begin{cases} N_{\text{t\_b}} \leftarrow P_{\text{trafik\_b}} + \left(\frac{D}{2}\right) \cdot q_b & \text{if } \left(\frac{h_{\text{c\_red}}}{D}\right) \leq 0.25 \\ N_{\text{t\_b}} \leftarrow \left(1.25 - \frac{h_{\text{c\_red}}}{D}\right) P_{\text{trafik\_b}} + \left(\frac{D}{2}\right) \cdot q_b & \text{if } 0.25 < \frac{h_{\text{c\_red}}}{D} \leq 0.75 \\ N_{\text{t\_b}} \leftarrow 0.5 \cdot P_{\text{trafik\_b}} + \left(\frac{D}{2}\right) \cdot q_b & \text{if } 0.75 < \frac{h_{\text{c\_red}}}{D} \end{cases} \quad (4.1', 4.1'', 4.1''')$$

$$N_{\text{t\_b}} = 57.805 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

#### 4.2.3.3 Lasttyp c

$$x_c := 0\text{m} \quad y_c := 0\text{m} \quad a_c := \begin{pmatrix} 1.5\text{m} \\ 1.5\text{m} \\ 2.8\text{m} \\ 2.8\text{m} \\ 1.5\text{m} \\ 1.5\text{m} \\ 2.8\text{m} \\ 2.8\text{m} \end{pmatrix} \quad b_c := \begin{pmatrix} 4\text{m} \\ 6\text{m} \\ 4\text{m} \\ 6\text{m} \\ 1\text{m} \\ 3\text{m} \\ 1\text{m} \\ 3\text{m} \end{pmatrix}$$

$$P_c = 8 \times 10^4 \text{N} \quad h_c = 0.4\text{m} \quad q_c := 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad y_{\text{slutc}} := b_{c3} \frac{100}{\text{m}} \cdot 2 \quad x_{\text{slutc}} := a_{c3} \cdot \frac{100}{\text{m}} \cdot 2$$

$$\begin{pmatrix} x_{\text{mc}} \\ y_{\text{mc}} \\ \sigma_{\text{vmc}} \end{pmatrix} := \text{boussinesqb}(a_c, b_c, P_c, x_c, y_c, h_c, x_{\text{slutc}}, y_{\text{slutc}}) = \begin{pmatrix} 2.8 \\ 4 \\ 1.204 \times 10^5 \end{pmatrix}$$

Vertikalt tryck i jorden under punktlast

$$\sigma_{\text{vmc}} := \sigma_{\text{vmc}} \cdot \text{Pa} \quad \sigma_{\text{vmc}} = 120.431 \cdot \text{kPa}$$

## Förstärkning av rörbroar

Linjelast,  $p_{\text{trafik}}$

$$p_{\text{trafik}_c} := \frac{R_f \cdot \sigma_{\text{vmc}} \cdot \pi \cdot h_{c\_red}}{2} \quad p_{\text{trafik}_c} = 65.331 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Normalkraften,  $N_t$

$$N_{t\_c} := \begin{cases} N_{t\_c} \leftarrow p_{\text{trafik}_c} + \left(\frac{D}{2}\right) \cdot q_c & \text{if } \left(\frac{h_{c\_red}}{D}\right) \leq 0.25 \\ N_{t\_c} \leftarrow \left(1.25 - \frac{h_{c\_red}}{D}\right) p_{\text{trafik}_c} + \left(\frac{D}{2}\right) \cdot q_c & \text{if } 0.25 < \frac{h_{c\_red}}{D} \leq 0.75 \\ N_{t\_c} \leftarrow 0.5 \cdot p_{\text{trafik}_c} + \left(\frac{D}{2}\right) \cdot q_c & \text{if } 0.75 < \frac{h_{c\_red}}{D} \end{cases} \quad (4.1', 4.1'', 4.1''')$$

$$N_{t\_c} = 65.331 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

### 4.2.3.4 Lasttyp d

$$x_d := 0\text{m} \quad y_d := 0\text{m} \quad a_d := \begin{pmatrix} 1.5\text{m} \\ 1.5\text{m} \\ 3.3\text{m} \\ 3.3\text{m} \\ 1.5\text{m} \\ 1.5\text{m} \\ 3.3\text{m} \\ 3.3\text{m} \end{pmatrix} \quad b_d := \begin{pmatrix} 4\text{m} \\ 6\text{m} \\ 4\text{m} \\ 6\text{m} \\ 1\text{m} \\ 3\text{m} \\ 1\text{m} \\ 3\text{m} \end{pmatrix}$$

$$P_d = 8.8 \times 10^4 \text{N} \quad h_c = 0.4\text{m} \quad q_d := 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad y_{\text{slutd}} := b_d \frac{100}{\text{m}} \cdot 2 \quad x_{\text{slutd}} := a_d \frac{100}{\text{m}} \cdot 2$$

$$\begin{pmatrix} x_{\text{md}} \\ y_{\text{md}} \\ \sigma_{\text{vmd}} \end{pmatrix} := \text{boussinesqb}(a_d, b_d, P_d, x_d, y_d, h_c, x_{\text{slutd}}, y_{\text{slutd}}) = \begin{pmatrix} 3.3 \\ 4 \\ 1.322 \times 10^5 \end{pmatrix}$$

Vertikalt tryck i jorden under punktlast

$$\sigma_{\text{vmd}} := \sigma_{\text{vmd}} \cdot \text{Pa} \quad \sigma_{\text{vmd}} = 132.188 \cdot \text{kPa}$$

Linjelast,  $p_{\text{trafik}}$

$$p_{\text{trafik}_d} := \frac{R_f \cdot \sigma_{\text{vmd}} \cdot \pi \cdot h_{c\_red}}{2} \quad p_{\text{trafik}_d} = 71.709 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Normalkraften,  $N_t$

$$N_{t\_d} := \begin{cases} N_{t\_d} \leftarrow p_{\text{trafik}_d} + \left(\frac{D}{2}\right) \cdot q_d & \text{if } \left(\frac{h_{c\_red}}{D}\right) \leq 0.25 \\ N_{t\_d} \leftarrow \left(1.25 - \frac{h_{c\_red}}{D}\right) p_{\text{trafik}_d} + \left(\frac{D}{2}\right) \cdot q_d & \text{if } 0.25 < \frac{h_{c\_red}}{D} \leq 0.75 \\ N_{t\_d} \leftarrow 0.5 \cdot p_{\text{trafik}_d} + \left(\frac{D}{2}\right) \cdot q_d & \text{if } 0.75 < \frac{h_{c\_red}}{D} \end{cases} \quad (4.1', 4.1'', 4.1''')$$

$$N_{t\_d} = 71.709 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

#### 4.2.3.5 Lasttyp e

$$x_e := 0\text{m} \quad y_e := 0\text{m} \quad a_e := \begin{pmatrix} 1\text{m} \\ 1\text{m} \\ 2\text{m} \\ 2\text{m} \\ 3\text{m} \\ 3\text{m} \\ 3\text{m} \\ 1\text{m} \\ 1\text{m} \\ 2\text{m} \\ 2\text{m} \\ 3\text{m} \\ 3\text{m} \end{pmatrix} \quad b_e := \begin{pmatrix} 4\text{m} \\ 6\text{m} \\ 4\text{m} \\ 6\text{m} \\ 4\text{m} \\ 6\text{m} \\ 1\text{m} \\ 3\text{m} \\ 1\text{m} \\ 3\text{m} \\ 1\text{m} \\ 3\text{m} \end{pmatrix}$$

$$P_e = 5.867 \times 10^4 \text{N} \quad h_c = 0.4\text{m} \quad q_e := 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad y_{\text{slute}} := b_{e_3} \frac{100}{\text{m}} \cdot 2 \quad x_{\text{slute}} := a_{e_5} \cdot \frac{100}{\text{m}} \cdot 2$$

## Förstärkning av rörbroar

$$\text{boussinesq}(a, b, P, x, y, h_c, x_{sl}, y_{sl}) := \left( \begin{array}{l} \sigma_{vMAX} \leftarrow 0 \\ x_{MAX} \leftarrow 0 \\ y_{MAX} \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 0..y_{sl} \\ \quad y \leftarrow \frac{i}{100.2}m \\ \quad \text{for } j \in 0..x_{sl} \\ \quad \quad x \leftarrow \frac{j}{100.2}m \\ \quad \quad \sigma_v \leftarrow \frac{P}{2} \cdot \frac{3}{2\pi} \cdot h_c^3 \left[ \sum_{n=0}^5 \frac{1}{\left[ \sqrt{(x-a_n)^2 + (y-b_n)^2 + h_c^2} \right]^5} \right] + \frac{0.8P}{2} \cdot \frac{3}{2\pi} \cdot h_c^3 \left[ \sum_{n=6}^{11} \frac{1}{\left[ \sqrt{(x-a_n)^2 + (y-b_n)^2 + h_c^2} \right]^5} \right] \\ \quad \quad x_{MAX} \leftarrow x \text{ if } \max(\sigma_v) \geq \sigma_{vMAX} \\ \quad \quad y_{MAX} \leftarrow y \text{ if } \max(\sigma_v) \geq \sigma_{vMAX} \\ \quad \quad \sigma_{vMAX} \leftarrow \max(\sigma_v) \text{ if } \max(\sigma_v) \geq \sigma_{vMAX} \\ \text{return} \left( \begin{array}{c} \frac{x_{MAX}}{m} \\ \frac{y_{MAX}}{m} \\ \frac{\sigma_{vMAX}}{\text{Pa}} \end{array} \right) \end{array} \right)$$

$$\left( \begin{array}{c} x_{me} \\ y_{me} \\ \sigma_{vme} \end{array} \right) := \text{boussinesq}(a_e, b_e, P_e, x_e, y_e, h_c, x_{slute}, y_{slute}) = \left( \begin{array}{c} 2 \\ 4 \\ 8.954 \times 10^4 \end{array} \right)$$

Vertikalt tryck i jorden under punktlast

$$\sigma_{vmax} := \sigma_{vme} \cdot \text{Pa} \quad \sigma_{vme} = 89.538 \cdot \text{kPa}$$

Linjelast,  $p_{\text{trafik}}$

$$p_{\text{trafik}_e} := \frac{R_f \cdot \sigma_{\text{vme}} \cdot \pi \cdot h_{c\_red}}{2} \quad p_{\text{trafik}_e} = 48.572 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Normalkraft,  $N_t$

$$N_{t\_e} := \begin{cases} N_{t\_e} \leftarrow p_{\text{trafik}_e} + \left(\frac{D}{2}\right) \cdot q_e & \text{if } \left(\frac{h_{c\_red}}{D}\right) \leq 0.25 \\ N_{t\_e} \leftarrow \left(1.25 - \frac{h_{c\_red}}{D}\right) p_{\text{trafik}_e} + \left(\frac{D}{2}\right) \cdot q_e & \text{if } 0.25 < \frac{h_{c\_red}}{D} \leq 0.75 \\ N_{t\_e} \leftarrow 0.5 \cdot p_{\text{trafik}_e} + \left(\frac{D}{2}\right) \cdot q_e & \text{if } 0.75 < \frac{h_{c\_red}}{D} \end{cases} \quad (4.1', 4.1'', 4.1''')$$

$$N_{t\_e} = 48.572 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

#### 4.2.3.6 Lasttyp f

$$x_f := 0\text{m} \quad y_f := 0\text{m} \quad a_f := \begin{pmatrix} 1\text{m} \\ 1\text{m} \\ 2.6\text{m} \\ 2.6\text{m} \\ 4.2\text{m} \\ 4.2\text{m} \\ 1\text{m} \\ 1\text{m} \\ 2.6\text{m} \\ 2.6\text{m} \\ 4.2\text{m} \\ 4.2\text{m} \end{pmatrix} \quad b_f := \begin{pmatrix} 4\text{m} \\ 6\text{m} \\ 4\text{m} \\ 6\text{m} \\ 4\text{m} \\ 6\text{m} \\ 1\text{m} \\ 3\text{m} \\ 1\text{m} \\ 3\text{m} \\ 1\text{m} \\ 3\text{m} \end{pmatrix}$$

$$P_f = 7.04 \times 10^4 \text{ N} \quad h_c = 0.4\text{ m} \quad q_f := 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad y_{\text{slutf}} := b_{f_3} \frac{100}{\text{m}} \cdot 2 \quad x_{\text{slutf}} := a_{f_5} \cdot \frac{100}{\text{m}} \cdot 2$$

$$\begin{pmatrix} x_{\text{mf}} \\ y_{\text{mf}} \\ \sigma_{\text{vmf}} \end{pmatrix} := \text{boussinesqe}(a_f, b_f, P_f, x_f, y_f, h_c, x_{\text{slutf}}, y_{\text{slutf}}) = \begin{pmatrix} 2.6 \\ 4 \\ 1.059 \times 10^5 \end{pmatrix}$$

Förstärkning av rörbroar

Vertikalt tryck i jorden under punktlast

$$\sigma_{vmf} := \sigma_{vmf} \cdot Pa \quad \sigma_{vmf} = 105.933 \cdot kPa$$

Linjelast,  $\rho$  trafik

$$p_{trafik\_f} := \frac{R_f \cdot \sigma_{vmf} \cdot \pi \cdot h_{c\_red}}{2} \quad p_{trafik\_f} = 57.466 \cdot \frac{kN}{m}$$

$$\frac{h_{c\_red}}{D} = 0.142$$

Normalkraften,  $N_t$

$$N_{t\_f} := \begin{cases} N_{t\_f} \leftarrow p_{trafik\_f} + \left(\frac{D}{2}\right) \cdot q_f & \text{if } \left(\frac{h_{c\_red}}{D}\right) \leq 0.25 \\ N_{t\_f} \leftarrow \left(1.25 - \frac{h_{c\_red}}{D}\right) p_{trafik\_f} + \left(\frac{D}{2}\right) \cdot q_f & \text{if } 0.25 < \frac{h_{c\_red}}{D} \leq 0.75 \\ N_{t\_f} \leftarrow 0.5 \cdot p_{trafik\_f} + \left(\frac{D}{2}\right) \cdot q_f & \text{if } 0.75 < \frac{h_{c\_red}}{D} \end{cases} \quad (4.1', 4.1'', 4.1''')$$

$$N_{t\_f} = 57.466 \cdot \frac{kN}{m}$$

#### 4.2.3.7 Militära fordon last

Militära fordon klass 50 beskrivs enligt MB802 bilaga 3

$$x_m := 0m \quad y_m := 0m \quad a := \begin{pmatrix} 2m \\ 2m \\ 2m \\ 2m \end{pmatrix} \quad q_m := 0 \frac{kN}{m} \quad b := \begin{pmatrix} 6m \\ 4m \\ 3m \\ 1m \end{pmatrix}$$

$$P_m := 99.8kN \quad h_c = 0.4m \quad x_{slut} := b_0 \cdot \frac{100 \cdot 2}{m} \quad x_{slut} := a_1 \cdot \frac{100 \cdot 2}{m}$$

$$\begin{pmatrix} x_{slut} \\ y_{slut} \\ \sigma_{vm} \end{pmatrix} := \text{boussinesqa}(a, b, P_m, x_m, y_m, h_c, x_{slut}, y_{slut}) = \begin{pmatrix} 2 \\ 4 \\ 1.498 \times 10^5 \end{pmatrix}$$

Vertikalt tryck i jorden under punktlast

$$\sigma_{vma} := \sigma_{vm} \cdot Pa = 1.498 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Linjelast,  $p_{trafik}$

$$p_{trafik\_m} := \frac{R_f \cdot \sigma_{vm} \cdot \pi \cdot h_{c\_red}}{2} \quad p_{trafik\_m} = 81.262 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Normalkraft,  $N_t$

$$N_{t\_m} := \begin{cases} N_{t\_m} \leftarrow p_{trafik\_m} + \left(\frac{D}{2}\right) \cdot q_m & \text{if } \left(\frac{h_{c\_red}}{D}\right) \leq 0.25 \\ N_{t\_m} \leftarrow \left(1.25 - \frac{h_{c\_red}}{D}\right) p_{trafik\_m} + \left(\frac{D}{2}\right) \cdot q_m & \text{if } 0.25 < \frac{h_{c\_red}}{D} \leq 0.75 \\ N_{t\_m} \leftarrow 0.5 \cdot p_{trafik\_m} + \left(\frac{D}{2}\right) \cdot q_m & \text{if } \frac{h_{c\_red}}{D} > 0.75 \end{cases} \quad (4.1', 4.1'', 4.1''')$$

$$N_{t\_m} = 81.262 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

#### 4.2.3.8 Sammanställning normalkraft, $N_t$

Högsta värdet på  $N_t$  kommer att användas för dimensionering.

$$N_{t\_} := \begin{pmatrix} N_{t\_a} \\ N_{t\_b} \\ N_{t\_c} \\ N_{t\_d} \\ N_{t\_e} \\ N_{t\_f} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 81.425 \\ 57.805 \\ 65.331 \\ 71.709 \\ 48.572 \\ 57.466 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad p_{trafik\_} := \begin{pmatrix} p_{trafik\_a} \\ p_{trafik\_b} \\ p_{trafik\_c} \\ p_{trafik\_d} \end{pmatrix} \quad \sigma_{vm\_} := \begin{pmatrix} \sigma_{vma} \\ \sigma_{vmb} \\ \sigma_{vmc} \\ \sigma_{vmd} \end{pmatrix}$$

$$N_t := \max(N_{t\_}) = 81.425 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad p_{trafik} := \max(p_{trafik\_}) \quad q := 0$$



Förstärkning av rörbroar

#### 4.2.4 Dimensionerande normalkraft, $N_d$

Handboken sid 20ff.

$$\psi\gamma_{\text{trafik\_Ba}} = 1$$

Lastkombination A brottgränstillstånd (Enligt VV publ. 2009:61 kap 2.5.2.1)

$$\psi\gamma_{\text{trafik\_A}} = \begin{pmatrix} 0.7 \\ 1.3 \end{pmatrix} \quad \psi\gamma_{\text{Jord\_A}} = 1 \quad N_s = 28.915 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad N_t = 81.425 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$N_{d\_A\_1} := \max(\psi\gamma_{\text{Jord\_A}}) \cdot N_s + \max(\psi\gamma_{\text{trafik\_A}}) \cdot N_t \quad (4.m)$$

$$N_{d\_A\_2} := \max(\psi\gamma_{\text{Jord\_A}}) \cdot N_s + \min(\psi\gamma_{\text{trafik\_A}}) \cdot N_t$$

$$N_{d\_A\_3} := \min(\psi\gamma_{\text{Jord\_A}}) \cdot N_s + \max(\psi\gamma_{\text{trafik\_A}}) \cdot N_t$$

$$N_{d\_A\_4} := \min(\psi\gamma_{\text{Jord\_A}}) \cdot N_s + \min(\psi\gamma_{\text{trafik\_A}}) \cdot N_t$$

$$(N_{d\_A\_}) := \begin{pmatrix} N_{d\_A\_1} \\ N_{d\_A\_2} \\ N_{d\_A\_3} \\ N_{d\_A\_4} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 134.768 \\ 85.913 \\ 134.768 \\ 85.913 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad N_{d\_A} := \max(N_{d\_A\_}) = 134.768 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Lastkombination B:a Brukgränstillstånd (Enligt VV publ. 2009:61 kap 2.5.2.2.1)

$$\psi\gamma_{\text{trafik\_Ba}} = 1 \quad \psi\gamma_{\text{Jord\_Ba}} = 1 \quad N_s = 28.915 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad N_t = 81.425 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$N_{d\_Ba\_1} := \max(\psi\gamma_{\text{Jord\_Ba}}) \cdot N_s + \max(\psi\gamma_{\text{trafik\_Ba}}) \cdot N_t \quad (4.n)$$

$$N_{d\_Ba\_2} := \max(\psi\gamma_{\text{Jord\_Ba}}) \cdot N_s + \min(\psi\gamma_{\text{trafik\_Ba}}) \cdot N_t$$

$$N_{d\_Ba\_3} := \min(\psi\gamma_{\text{Jord\_Ba}}) \cdot N_s + \max(\psi\gamma_{\text{trafik\_Ba}}) \cdot N_t$$

$$N_{d\_Ba\_4} := \min(\psi\gamma_{\text{Jord\_Ba}}) \cdot N_s + \min(\psi\gamma_{\text{trafik\_Ba}}) \cdot N_t$$

$$(N_{d\_Ba\_}) := \begin{pmatrix} N_{d\_Ba\_1} \\ N_{d\_Ba\_2} \\ N_{d\_Ba\_3} \\ N_{d\_Ba\_4} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 110.341 \\ 110.341 \\ 110.341 \\ 110.341 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$N_{d\_Ba} := \max(N_{d\_Ba\_}) = 110.341 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Lastkombination C: Utmattningsstillstånd (Enligt VV publ. 2009:61 kap 2.5.2.3)

$$\psi\gamma_{\text{trafik\_C}} = 1 \quad N_t = 81.425 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad N_{d\_f} := \psi\gamma_{\text{trafik\_C}} \cdot N_t \quad N_{d\_f} = 81.425 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Lastkombination E: Militära fordon

$$\psi\gamma_{\text{trafik\_E}} = 1.3 \quad \psi\gamma_{\text{Jord\_E}} = 1 \quad N_{t\_m} = 81.262 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$N_{d\_m} := \psi\gamma_{\text{trafik\_E}} \cdot N_{t\_m} + \psi\gamma_{\text{Jord\_E}} \cdot N_s = 134.557 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Sammanställning dimensionerande normalkraft

$$N_{d\_} := \begin{pmatrix} N_{d\_A} \\ N_{d\_Ba} \\ N_{d\_f} \\ N_{d\_m} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 134.768 \\ 110.341 \\ 81.425 \\ 134.557 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

### 4.3 Bestämning av dimensionerande böjmoment

$$\lambda_f = 2.051 \times 10^3$$

#### 4.3.1 Böjmoment av jordlast, Ms

Handboken sid 21 ff.

De olika jordmaterialen (kringsfyllnadsmaterialet och överfyllnadsmaterialet) betraktas var och en för sig vid bestämning av dimensionerande böjmoment av jordlast.

$$\rho_1 = 19 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad h_c = 0.4 \text{ m} \quad D = 2.8 \text{ m}$$

## Förstärkning av rörbroar

för funktion f1 gäller:

$$\frac{H_v}{D} = 0.536$$

$$f_1 := \begin{cases} f_1 \leftarrow 0.67 + 0.87 \cdot \left( \frac{H_v}{D} - 0.2 \right) & \text{if } 0.2 < \frac{H_v}{D} \leq 0.35 \\ f_1 \leftarrow 0.8 + 1.33 \cdot \left( \frac{H_v}{D} - 0.35 \right) & \text{if } 0.35 < \frac{H_v}{D} \leq 0.5 \\ f_1 \leftarrow 2 \cdot \left( \frac{H_v}{D} - 0.35 \right) & \text{if } 0.5 < \left( \frac{H_v}{D} \right) \leq 0.6 \end{cases} \quad (4.r', 4.r'', 4.r''')$$

$$f_1 = 0.371$$

För funktionen f2 beräknas enligt följande vid kringfyllnadsfasen:

$$f_{2\_surr} := \begin{cases} f_2 \leftarrow 0.0046 - 0.0010 \cdot \log(\lambda_f) & \text{if } \lambda_f \leq 5000 \\ f_2 \leftarrow 0.0009 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4.s', 4.s'')$$

$$f_{2\_surr} = 1.288 \times 10^{-3}$$

och f3 beräknas enligt följande

$$f_3 := 6.67 \cdot \frac{H_v}{D} - 1.33 \quad (4.s''')$$

$$f_3 = 2.243$$

f2 vid överfyllnadsfasen beräknas enligt följande:

$$f_{2\_cover} := \begin{cases} f_{2\_cv} \leftarrow 0.018 - 0.004 \cdot \log(\lambda_f) & \text{if } \lambda_f \leq 5000 \\ f_{2\_cv} \leftarrow 0.0032 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4.s''', 4.s''''')$$

$$f_{2\_cover} = 4.752 \times 10^{-3}$$

$$\begin{aligned}
 M_{s\_surr} &:= \rho_1 \cdot D^3 \cdot (-f_1) \cdot f_3 \cdot f_{2\_surr} \\
 M_{s\_cover} &:= D^3 \cdot S_{ar} \cdot \rho_1 \cdot \frac{h_c}{D} \cdot \left(\frac{R_t}{R_s}\right)^{0.75} \cdot f_1 \cdot f_{2\_cover} \quad (4.q)
 \end{aligned}$$

### 4.3.2 Böjmoment av trafiklast, $M_t$

$$f_4 := 0.65 \cdot (1 - 0.2 \cdot \log(\lambda_f))$$

$$f_4 = 0.219$$

$$f'_4 := \begin{cases} f_4 \leftarrow [0.120 \cdot (1 - 0.15 \cdot \log(\lambda_f))] & \text{if } \lambda_f \leq 50000 \\ f_4 \leftarrow 0.030 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4.v)$$

$$f'_4 = 0.06$$

$$f''_4 := 4 \cdot 0.01 \frac{h_{c\_red}}{D} + 0.4 \quad f''_4 = 2.478 \quad (4.w)$$

$$f'''_4 := \left(\frac{R_t}{R_s}\right)^{0.25} \quad (4.y)$$

$$M_t := f_4 \cdot f'_4 \cdot f''_4 \cdot f'''_4 \cdot D \cdot p_{trafik} + S_{ar} \cdot \left(\frac{R_t}{R_s}\right)^{0.75} \cdot f_1 \cdot f_{2\_cover} \cdot q \cdot D^2 \quad (4.t)$$

$$M_t = 7.487 \cdot \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}}$$

$$M_{t\_m} := f_4 \cdot f'_4 \cdot f''_4 \cdot f'''_4 \cdot D \cdot p_{trafik\_m} + S_{ar} \cdot \left(\frac{R_t}{R_s}\right)^{0.75} \cdot f_1 \cdot f_{2\_cover} \cdot q \cdot D^2 \quad (4.t)$$

$$M_{t\_m} = 7.472 \cdot \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}}$$

### 4.3.3 Dimensionerande böjmoment

Design of soil steel composite bridges sid 33

Momenten av jord och trafik har olika riktning i olika punkter och kontroll utförs enligt nedanstående formler.

Lastkombination Ba Bruksgränstillstånd

$$\max(\psi\gamma_{\text{trafik\_Ba}}) = 1$$

$$\max(\psi\gamma_{\text{Jord\_Ba}}) = 1$$

$$M_{\text{ds\_Ba}} := \begin{pmatrix} \max(\psi\gamma_{\text{trafik\_Ba}} \cdot M_{\text{s\_surr}} + \psi\gamma_{\text{trafik\_Ba}} \cdot M_{\text{s\_cover}} + \psi\gamma_{\text{trafik\_Ba}} \cdot M_{\text{t}}) \\ \min(\psi\gamma_{\text{trafik\_Ba}} \cdot M_{\text{s\_surr}} + \psi\gamma_{\text{trafik\_Ba}} \cdot M_{\text{s\_cover}} - \psi\gamma_{\text{trafik\_Ba}} \cdot \frac{M_{\text{t}}}{2}) \end{pmatrix} \quad (4.w', 4w'')$$

$$M_{\text{ds\_Ba}} = \begin{pmatrix} 7.141 \\ -4.089 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{kN}\cdot\text{m}}{\text{m}}$$

Lastkombination A Brottgränstillstånd

$$\max(\psi\gamma_{\text{trafik\_A}}) = 1.3 \quad \min(\psi\gamma_{\text{Jord\_A}}) = 1$$

$$M_{\text{du\_A}} := \max(\psi\gamma_{\text{trafik\_A}} \cdot M_{\text{s\_surr}} + \psi\gamma_{\text{trafik\_A}} \cdot M_{\text{s\_cover}} + \psi\gamma_{\text{trafik\_A}} \cdot M_{\text{t}}) \quad (4.aa)$$

$$M_{\text{du\_A}} = 9.283 \cdot \frac{\text{kN}\cdot\text{m}}{\text{m}}$$

Utmattningsstillstånd

$$\psi\gamma_{\text{trafik\_C}} = 1$$

$$M_{\text{df}} := \psi\gamma_{\text{trafik\_C}} \cdot M_{\text{t}} \cdot 1.5 \quad (4.ab)$$

$$M_{\text{df}} = 11.23 \cdot \frac{\text{kN}\cdot\text{m}}{\text{m}}$$

Militära fordon: Brottgräns

$$\Psi\gamma_{\text{trafik}_E} = 1.3$$

$$M_{d\_m} := \begin{pmatrix} \max\left(\Psi\gamma_{\text{trafik}_Ba} \cdot M_{s\_surr} + \Psi\gamma_{\text{trafik}_Ba} \cdot M_{s\_cover} + \Psi\gamma_{\text{trafik}_Ba} \cdot M_{t\_m}\right) \\ \min\left(\Psi\gamma_{\text{trafik}_Ba} \cdot M_{s\_surr} + \Psi\gamma_{\text{trafik}_Ba} \cdot M_{s\_cover} - \Psi\gamma_{\text{trafik}_Ba} \cdot \frac{M_{t\_m}}{2}\right) \end{pmatrix}$$

Sammanställning dimensionerande böjmoment:

$$M_{d\_} := \begin{pmatrix} \max(M_{ds\_Ba}) \\ \min(M_{ds\_Ba}) \\ M_{du\_A} \\ M_{df} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 7.141 \\ -4.089 \\ 9.283 \\ 11.23 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{kN}\cdot\text{m}}{\text{m}}$$

$$M_{d\_m} := \max(|M_{d\_m}|) = 8.212 \cdot \frac{\text{kN}\cdot\text{m}}{\text{m}}$$

## 5. Dimensioneringskontroller

### 5.1 Beräkningsmässiga kontroller i bruksgränstillstånd

#### 5.1.1 Säkerhet mot begynnande flytning i bruksgränstillstånd

Design of soil steel composite bridges s.36

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{1.0 \cdot \gamma_n}$$

$$\sigma := \frac{N_{d\_Ba}}{A_1} + \frac{M_{ds\_Ba}}{W} < f_{yd} \quad (5.a)$$

$$\sigma_w := \begin{pmatrix} \frac{N_{d\_Ba}}{A_1} + \max\left(\frac{M_{ds\_Ba}}{W}\right) \\ \min\left(\frac{N_{d\_Ba}}{A_1}\right) + \min\left(\frac{M_{ds\_Ba}}{W}\right) \end{pmatrix}$$

$$f_{yd} = 282 \cdot \text{MPa} \quad \sigma = \begin{pmatrix} 159.937 \\ -54.347 \end{pmatrix} \cdot \text{MPa}$$

Förstärkning av rörbroar

$$\text{kontroll\_bruk} := \begin{cases} \text{"EJ OK!"} & \text{if } f_{yd} < \max(\sigma) \vee f_{yd} < |\min(\sigma)| \\ \text{"OK!"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

kontroll\_bruk = "OK!"

## 5.2 Verifiering av rörväggens bärförmåga i brottgränstillstånd

5.2.1 Kontroll mot att ej flytled bildas och att knäckning i rörets övre del sker (Eurokod). I handboken så används en lite förenkling från uttrycket 6.61 i EN1993-1-1 och ser ut enligt följande:

$$\frac{N_{Ed}}{\left( \frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}} \right)} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y\_Ed}}{\frac{M_{y\_Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1 \quad (5)$$

$$\gamma_{M1} := 1.0$$

$$N_{Rk} := f_{yd} \cdot A_1 \quad (5.b')$$

$$N_{Rk} = 1.314 \times 10^3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{Rk} := f_{yd} \cdot W \quad (5.b')$$

$$M_{Rk} = 14.779 \cdot \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}}$$

Vid beräkning av  $N_{cr}$  i denna kontroll beräknas denna enligt Bilaga 5, andra ordningens teori, (sid 47) i handboken och  $\xi = \text{roten ur } \kappa$ .

$$\kappa_2 := \frac{h_c}{R_t} \quad \kappa_2 = 0.267 \quad (b5.f)$$

$$\eta_j := 1 - \left( \frac{1}{1 + \kappa_2} \right)^2 \quad \eta_j = 0.377 \quad (b5.c)$$

$$\mu := \left[ 1.22 + 1.95 \left[ \frac{(E_k \cdot I)}{\eta_j \cdot E_{sd} \cdot R_t^3} \right]^{0.25} \right]^2 \cdot \frac{1}{\sqrt{\eta_j}} \quad (b5.d)$$

$$\mu = 5.342$$

$$\xi := \sqrt{\kappa_2} \quad \xi = 0.516$$

(b5.e) Bilaga A

### Beräkning av knäckningslasten för rörkonstruktionen i jord vid ideala elastiska förhållanden, $N_{cr\_el}$

$$E_{sd} = 2.75 \times 10^7 \text{ Pa} \quad E_k = 2.1 \times 10^5 \cdot \text{MPa} \quad R_t = 1.5 \text{ m} \quad R_c = 0.46 \text{ m}$$

$$N_{cr\_el} := \begin{cases} 1.2 \cdot \sqrt{\frac{E_{sd} \cdot (E_k \cdot I)}{R_t}} & \text{if } R_t = R_c \\ \left[ \frac{3 \cdot \xi}{\mu} \cdot \sqrt{\frac{E_{sd} \cdot (E_k \cdot I)}{R_t}} \right] & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{(b5.a)}$$

(b5.b)

$$N_{cr\_el} = 673.804 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$A_1 = 4.659 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$N_u := f_{yd} \cdot A_1 \quad N_u = 1.314 \times 10^3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\omega := \begin{cases} \frac{N_{cr\_el}}{N_u} & \text{if } \frac{N_{cr\_el}}{N_u} \leq 0.5 \\ \left( 1 - \frac{1}{4} \cdot \frac{N_u}{N_{cr\_el}} \right) & \text{if } \frac{N_{cr\_el}}{N_u} > 0.5 \end{cases} \quad \text{(b5.h) (b5.g)}$$

$$\omega = 0.512$$

### Beräkning av den kritiska lasten (knäckningslasten) för rörkonstruktionen, $N_{cr}$

$$N_{cr} := \omega \cdot N_u \quad N_{cr} = 673.384 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\lambda_y := \sqrt{\frac{N_u}{N_{cr}}} \quad \lambda_y = 1.397$$

$\alpha_1$  är en imperfektionsfaktor som är vald för knäckningskurva c

$$\alpha_1 := 0.49$$

(SS-EN 1993-1-1 Tabell 6.1)



## Förstärkning av rörbroar

$$\Phi := 0.5 \times 1 + \alpha_1 \cdot [(\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^2] \quad (\text{SS-EN 1993-1-1 (6.49)})$$

$$\Phi = 2.043$$

$$\chi_y := \begin{cases} \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 + \lambda_y^2}} & \text{if } \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 + \lambda_y^2}} \leq 1 \\ 1 & \text{if } \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 + \lambda_y^2}} > 1 \end{cases} \quad (\text{SS-EN 1993-1-1 (6.49)})$$

$$\chi_y = 0.221$$

$$\delta_{\max} := 0.013 \cdot \frac{\rho_1 \cdot D^2}{E_s} \cdot \left(\frac{H_v}{D}\right)^{2.8} \cdot \lambda_f \left(0.56 - 0.2 \cdot \ln\left(\frac{H_v}{D}\right)\right) = 1.042 \cdot \text{mm} \quad (\text{SS-EN 1993-1-1 (6.49)})$$

$$D = 2.8 \text{ m} \quad E_s = 6 \times 10^7 \text{ Pa} \quad I = 1.402 \times 10^3 \cdot \text{mm}^3 \quad M_{\text{du}_A} = 9.283 \times 10^3 \text{ N}$$

Faktor för ekvivalent konstant moment enligt Eurokod tabell

$$C_{my} := 1 + \left[ \frac{\pi^2 \cdot E_s \cdot I \cdot \delta_{\max}}{(D^2) \cdot M_{\text{du}_A}} - 1 \right] \cdot \frac{N_{d_A}}{N_{\text{cr}}} = 0.8 \quad , \quad w_y := \frac{Z}{W} = 1.404 \quad (\text{SS-EN 1993-1-1(Tabell A.2)})$$

$$n_{\text{pl}} := \frac{N_{d_A}}{\frac{N_{\text{Rk}}}{\gamma_{\text{M1}}}} = 0.103 \quad (\text{SS-EN 1993-1-1(Tabell A.1)})$$

$$C_{yy} := 1 + (w_y - 1) \left[ \left[ 2 - \frac{1.6}{w_y} \cdot C_{my}^2 \cdot \lambda_y \cdot (1 + \lambda_y) \right] \cdot n_{\text{pl}} \right] = 0.982 \quad (5.b''')$$

$$C_{yy} := \begin{cases} C_{yy} & \text{if } C_{yy} \geq \frac{1}{w_y} \\ \frac{1}{w_y} & \text{if } C_{yy} < \frac{1}{w_y} \end{cases} \quad (5.b''')$$

$$C_{yy} = 0.982$$

Bilaga A

$$k_{yy} := \frac{C_{my}}{\left(1 - \chi_y \cdot \frac{N_{d\_A}}{N_{cr}}\right)} \cdot C_{yy} \quad (5.b'')$$

$$k_{yy} = 0.853$$

$$\frac{\frac{N_{d\_A}}{\left(\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}\right)}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{du\_A}}{M_{Rk}}}{\gamma_{M1}} = 0.999 \quad (5.b')$$

$$\text{kontroll\_brott\_ovre\_del} := \begin{cases} \text{"OK!"} & \text{if } \frac{\frac{N_{d\_A}}{\left(\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}\right)}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{du\_A}}{M_{Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1.0 \\ \text{"EJ OK!"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{kontroll\_brott\_ovre\_del} = \text{"OK!"}$$

### 5.2.1b Kontroll av kapacitet med avseende på uppträdande maximal normalkraft (enligt kontroll 5.3 men med $M_{d,u} = 0$ och $\xi$ enligt handboken, Bilaga 5)

$$\xi_2 := \sqrt{\kappa_2} \quad (b5.e)$$

$$\xi_2 = 0.516$$

Beräkning av knäckningslasten för rörkonstruktionen i jord vid ideala elastiska förhållanden, görs i 5.3.1

$$N_{cr\_el} = 673.804 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad A_1 = 4.659 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$N_{u} := f_{yd} \cdot A_1$$

$$N_u = 1.314 \times 10^3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\omega := \begin{cases} \frac{N_{cr\_el}}{N_u} & \text{if } \frac{N_{cr\_el}}{N_u} \leq 0.5 \\ \left(1 - \frac{1}{4} \cdot \frac{N_u}{N_{cr\_el}}\right) & \text{if } \frac{N_{cr\_el}}{N_u} > 0.5 \end{cases} \quad (b5.g) (b5.h)$$

$$\omega = 0.512$$

## Förstärkning av rörbroar

Beräkning av den kritiska lasten (knäckningslasten) för rörkonstruktionen,  
N<sub>cr</sub>

$$N_{cr} := \omega \cdot N_u \quad (b5.h)$$

$$N_{cr} = 673.384 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$N_{d\_A} = 134.768 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad k_{yy} = 0.853$$

$$\frac{N_{d\_A}}{\left( \frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}} \right)} = 0.463 \quad (5.b')$$

$$\text{kontroll\_brott\_max\_N} := \begin{cases} \text{"OK!"} & \text{if } \frac{N_{d\_A}}{\left( \frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}} \right)} \leq 1.0 \\ \text{"EJ OK!"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{kontroll\_brott\_max\_N} = \text{"OK!"}$$

### 5.2.2 Kontroll av att tillräcklig kapacitet finns i rörets nedre del

$$N_d \leq N_{cr}$$

$$N_{cr} = 673.384 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad N_{d\_A} = 134.768 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{kontroll\_brott\_nedre\_del} := \begin{cases} \text{"OK!"} & \text{if } N_{d\_A} \leq N_{cr} \\ \text{"EJ OK!"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{kontroll\_brott\_nedre\_del} = \text{"OK!"}$$

### 5.2.3 Kontroll mot överskridande av skruvförbandens kapacitet

5.2.3.1 Kontroll av att skruvarnas kapacitet är tillräcklig mot skjuvbrott i skruven

$$A_s = 245 \cdot \text{mm}^2 \quad n = 13 \frac{1}{\text{m}} \quad f_{ub} = 8 \times 10^8 \text{ Pa} \quad \gamma_{M2} = 1.2$$

$$\gamma_n = 1 \quad N_{d\_A} = 134.768 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad d = 20 \cdot \text{mm}$$

$$F_{v\_Rd} := 0.6 \cdot A_s \cdot \frac{f_{ub}}{1.05 \gamma_{M2}} \quad (5f)$$

$$F_{v\_Rd} = 93.333 \cdot \text{kN}$$

$$F_{b\_Rd} := \frac{2.5 \cdot f_{uk} \cdot d \cdot t}{1.05 \cdot \gamma_n} = 65 \cdot \text{kN}$$

$$\min(n \cdot F_{v\_Rd}, n \cdot F_{b\_Rd}) = 845 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{kontroll\_skruv\_skjuv} := \text{if}(N_{d\_A} < \min(n \cdot F_{v\_Rd}, n \cdot F_{b\_Rd}), "OK!", "EJ OK!") \quad (5.e')$$

$$\text{kontroll\_skruv\_skjuv} = "OK!"$$

5.2.3.2 Kontroll av att skruvarnas kapacitet är tillräcklig mot hålkantbrott i plåten  
Beräknas enligt Eurokod (SS-EN 1993-1-8:2005 Tabell 3.4)

$$f_{uk} = 390 \cdot \text{MPa} \quad \gamma_{M2} = 1.2 \quad t = 3.5 \times 10^{-3} \cdot \text{m}$$

$$\alpha_{dy} := \frac{e_1}{3 \cdot d_0} \quad \alpha_{di} := \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}$$

$$\alpha_{dy} = 0.667 \quad \alpha_{di} = 0.75$$

$$\alpha_{by} := \min\left(\alpha_{dy}, \frac{f_{ub}}{f_{uk}}, 1\right) = 0.667$$

$$\alpha_{bi} := \min\left(\alpha_{di}, \frac{f_{ub}}{f_{uk}}, 1\right) = 0.75$$

$$k_{1y} := \min\left(2.8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1, 2.5\right)$$

$$k_{1i} := \min\left(1.4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1.7, 2.5\right)$$

$$F_{By\_Rd} := \frac{k_{1y} \cdot \alpha_{by} \cdot f_{uk} \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{Bi\_Rd} := \frac{k_{1i} \cdot \alpha_{bi} \cdot f_{uk} \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b\_Rd} := \max(F_{By\_Rd}, F_{Bi\_Rd})$$

$$\min(n \cdot F_{v\_Rd}, n \cdot F_{b\_Rd}) = 554.531 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$N_{d\_A} = 134.768 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

## Förstärkning av rörbroar

$$\text{kontroll\_skruv\_hk} := \text{if}(N_{d\_A} < \min(n \cdot F_{v\_Rd}, n \cdot F_{b\_Rd}), \text{"OK!"}, \text{"EJ OK!"}) \quad (5.e')$$

$$\text{kontroll\_skruv\_hk} = \text{"OK!"}$$

### 5.2.3.3 Kontroll av att skruvarnas kapacitet är tillräcklig mot normalkraft

$$W = 5.241 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \quad a_{\text{skarv}} = 0.075 \text{ m} \quad f_{yk} = 282 \text{ MPa} \quad \gamma_{M2} = 1.2 \quad k_2 := 0.9 \text{ (ej försänkt skruv)}$$

$$a_{\text{skarv}} \cdot \frac{n}{2} F_{Rtd} \geq W \cdot f_{yd} \quad (5.h')$$

Spänningsarean  $A_s$  används för beräkning, ger resultat på säkra sidan.

$$A_s = 245 \cdot \text{mm}^2$$

$$F_{t\_Rd} := \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{1.05 \gamma_{M2}}$$

$$a \cdot \frac{n}{2} \cdot F_{t\_Rd} \geq W \cdot f_{yd} \quad (5.h')$$

$$n_{\text{erf3}} := \frac{W \cdot f_{yd}}{F_{t\_Rd} \cdot \frac{a_{\text{skarv}}}{2}} \quad (5.h')$$

$$n_{\text{erf3}} = 2.815 \frac{1}{\text{m}}$$

$$\text{kontroll\_skruv\_moment} := \text{if}(n \geq n_{\text{erf3}}, \text{"OK!"}, \text{"EJ OK!"})$$

$$\text{kontroll\_skruv\_moment} = \text{"OK!"}$$

### 5.2.3.4 Kontroll mot överskridande av skruvförbandens kapacitet vid kombinerad dragning och skjivning

$$\left( \frac{F_{v\_Ed}}{F_{v\_Rd}} \right) + \left( \frac{F_{t\_Ed}}{1.4 F_{t\_Rd}} \right) \leq 1$$

$$M_{du\_A} = 9.283 \cdot \frac{\text{kN}\cdot\text{m}}{\text{m}} \quad N_{d\_A} = 134.768 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad a_{\text{skarv}} = 0.075 \text{ m} \quad n = 13 \frac{1}{\text{m}} \quad k = 2 \quad \text{Bilaga A}$$

$$F_{v\_Rd} := 0.6 \cdot A_s \cdot \frac{f_{ub}}{1.05 \gamma_{M2}} \quad (5f)$$

$$F_{v\_Rd} = 93.333 \cdot \text{kN}$$

$$F_{b\_Rd} := \frac{2.5 \cdot f_{uk} \cdot d \cdot t}{1.05 \cdot \gamma_{M2}} \quad (5.g)$$

$$F_{b\_Rd} = 54.167 \cdot \text{kN}$$

$$F_{v\_Ed} := \frac{N_{d\_A}}{n}$$

$$F_{v\_Ed} = 10.367 \cdot \text{kN}$$

$$F_{t\_Ed} := \frac{M_{du\_A}}{a_{\text{skarv}} \cdot \frac{n}{k}} = 19.042 \cdot \text{kN}$$

$$F_{t\_Rd} = 140 \cdot \text{kN}$$

$$\frac{F_{v\_Ed}}{F_{v\_Rd}} + \frac{F_{t\_Ed}}{1.4 \cdot F_{t\_Rd}} = 0.208$$

$$\text{kontroll\_skruv\_komb} := \text{if} \left[ \left( \frac{F_{v\_Ed}}{F_{v\_Rd}} + \frac{F_{t\_Ed}}{1.4 \cdot F_{t\_Rd}} \right) \leq 1, \text{"OK!"}, \text{"EJ OK!"} \right]$$

$$\text{kontroll\_skruv\_komb} = \text{"OK!"}$$

I icke svetsade detaljer eller avspänningsglödgrade svetsade detaljer kan medelspänningens inverkan på utmattningshållfastheten beaktas genom att bestämma en reducerad effektiv spänningsvidd i utmattningsanalysen, när delar av eller hela spänningcykeln består av tryckspänningar.

### 5.3 Kontroll mot överskridande av kapaciteten vid utmattningsgränstillstånd

Tidigare beräknade värden enligt kapitel 4

$$M_{df} = 11.23 \cdot \frac{\text{kN}\cdot\text{m}}{\text{m}} \quad N_{d\_f} = 81.425 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad A_1 = 4.659 \times 10^{-3} \text{ m} \quad W = 5.241 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Anta avståndet mellan bultarna och till marknivån till  $h_f$

$$h_f := \frac{h_c}{0.85}$$

$$h_f = 0.471 \text{ m}$$

## Förstärkning av rörbroar

Partialkoefficienter för utmattningslaster:

$$\gamma_{Mf} := 1.15 \quad (\text{SS-EN 1993-1-9 (Tabell 3.1)})$$

$$\gamma_{Ff} := 1.0 \quad (\text{SS-EN 1993-2 (kapitel 9.3)})$$

Spänningar i plåten under utmattningslast

Enligt handboken kapitel 4.4.5 så kan det minsta böjmomentet antas vara hälften av det maximala momentet.

Spänningar på övre delen:

$$\sigma_1 := \frac{-N_{d\_f}}{A_1} + \frac{-M_{df}}{W} = -231.759 \cdot \text{MPa} \quad (\text{Tryck})$$

$$\sigma_2 := \frac{-N_{d\_f}}{A_1} + \frac{\frac{M_{df}}{2}}{W} = 89.667 \cdot \text{MPa} \quad (\text{Drag})$$

Spänningar på nedre delen:

$$\sigma_3 := \frac{-N_{d\_f}}{A_1} + \frac{M_{df}}{W} = 196.809 \cdot \text{MPa} \quad (\text{Drag})$$

$$\sigma_4 := \frac{-N_{d\_f}}{A_1} + \frac{\frac{-M_{df}}{2}}{W} = -124.617 \cdot \text{MPa} \quad (\text{Tryck})$$

Enligt kapitel 7.2.1 i SS-EN 1993-1-9, kan man modifiera spänningsvidd enligt figur 7.4 genom att lägga till dragspänning till 60% av den tryckta spänningen.

$$\sigma_{\text{upp}} := 0.6 |\sigma_1| + |\sigma_2| = 228.722 \cdot \text{MPa}$$

$$\sigma_{\text{ned}} := |\sigma_3| + 0.6 |\sigma_4| = 271.579 \cdot \text{MPa}$$

Den effektiva spänningen för den givna lasten blir då:

$$\Delta\sigma_{\text{mod}} := \max(\sigma_{\text{upp}}, \sigma_{\text{ned}}) = 271.579 \cdot \text{MPa}$$

Det dimensionerade värdet för den modifierade spänningsspännet kan beräknas enligt kapitel 9.4.1 i EN-1993-2 och det beräknas med  $2 \times 10^6$  cykler och baseras på Lamda  $\lambda$  -metoden.

$$\Delta\sigma_{\text{E2}} := \lambda \cdot \phi_2 \cdot \Delta\sigma_{\text{mod}} \quad (\text{SS-EN 1993-2 (ekv. 9.2)})$$

$$\phi_2 := 1 \quad (\text{SS-EN 1993-2 (kap 9.4.1)})$$

Skadeekvivalensfaktorn  $\lambda$  för vägbroar upp till 80 m spännvidd bör tas som:

$$\lambda := \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 \quad (\text{SS-EN 1993-2 (kap 9.5)})$$

$\lambda_1$  är spännviddsfaktorn för skadepåverkan från trafiken, vilken beror på längden av den kritiska influenslinjen eller -arean.

$$\lambda_1 := \begin{cases} 2.55 & \text{if } D \leq 10\text{m} \\ \left( \left( 2.55 - 0.7 \cdot \frac{D - 10\text{m}}{70\text{m}} \right) \right) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (\text{SS-EN 1993-2 (figur 9.5)})$$

$$\lambda_1 = 2.55$$

$\lambda_2$ , en faktor för trafikvolymen

$$Q_0 := 480\text{kN} \quad N_0 := 0.5 \cdot 10^6 \quad (\text{Givet enligt SS-EN 1993-2 kap 9.5.2})$$

$Q_{m1}$  är medelvärdet på bruttovikten (kN) för lastbilar i det långsamma körfältet. Vid denna beräkning så används typlast (a) där den maximala axellasten uppkommer för det långsamma körfältet.

$$Q_{m1} := P_a$$

$N_{\text{obs}}$  är det totala antalet lastbilar per år i det långsamma körfältet, se SS-EN 1993-2 kap 9.2.2(2).  $N_{\text{obs}}$  för kategori 4 då bron ligger i denna kategori "Lokalvägar med liten andel lastfordon", se SS-EN 1991-2 tabell 4.5.

$$N_{\text{obs}} := 0.05 \cdot 10^6 \quad (\text{SS-EN 1991-2 tabell 4.5})$$

$$\lambda_2 := \frac{Q_{m1}}{Q_0} \cdot \left( \frac{N_{\text{obs}}}{N_0} \right)^{\frac{1}{5}} = 0.131 \quad (\text{SS-EN 1993-2 (ekv. 9.10)})$$



## Förstärkning av rörbroar

$\lambda_3$  beror på konstruktionens livslängd, beräknas enligt följande:

$t_{Ld} := 80$  antagen, brons avsedda livslängd i antal år.

$$\lambda_3 := \left( \frac{t_{Ld}}{100} \right)^{\frac{1}{5}} = 0.956 \quad (\text{SS-EN 1993-2 (ekv. 9.11)})$$

$\lambda_4$  är faktorn för trafiken från andra körfält, fås av Trafikverkets föreskrifter.

$\lambda_4 := 1.0$  (VVFS 2009:19 sid 34)

Efter detta så kan skadeekvivalensfaktorn lamda beräknas.

$$\lambda := \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 \quad (\text{SS-EN 1993-2 (kap 9.5)})$$

$$\Delta\sigma_{E2} := \lambda \cdot \phi_2 \cdot \Delta\sigma_{\text{mod}} = 87.059 \cdot \text{MPa}$$

### 5.3.1 Kontroll mot överskridande av kapaciteten plåten i utmattningstillstånd

Kontroll av utmattning görs enligt kapitel 8 i SS-EN 1993-1-9

Plåtens förbandsklass väljs som detalj 5 i tabell 8.1

$$\Delta\sigma_{cp} := 125 \text{MPa}$$

kontroll av plåten görs enligt SS-EN 1993-1-9:

$$\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E2}}{\frac{\Delta\sigma_{cp}}{\gamma_{Mf}}} = 0.801 \quad (\text{SS-EN 1993-1-9 (ekv. 8.2)})$$

$$\Delta\sigma_{E2} = 87.059 \cdot \text{MPa} \quad 1.5f_{yk} = 423 \cdot \text{MPa} \quad (\text{SS-EN 1993-1-9 (ekv. 8.1)})$$

$$\text{kontroll\_utmattning\_plåt} := \begin{cases} \text{"OK!"} & \text{if } \frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E2}}{\left( \frac{\Delta\sigma_{cp}}{\gamma_{Mf}} \right)} \leq 1 \wedge \Delta\sigma_{E2} \leq 1.5f_{yk} \\ \text{"Ej OK!"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

kontroll\_utmattning\_plåt = "OK!"

### 5.3.2 Kontroll mot överskridande av kapaciteten vid ren normalkraft för skruvförbandet $\sigma_{rd}$ i utmattningsgränstillstånd

Dragkraften för varje skruv i förbandet blir:

$$\Delta F_{E2s} := \frac{2 \cdot \frac{h_c}{h_f} \cdot \frac{M_{df}}{a_{skarv} \cdot \gamma_{Mf}}}{n} = 17.027 \cdot \text{kN}$$

Normalkraften för varje skruv blir då:

$$\Delta\sigma_{E2s} := \lambda \cdot \phi_2 \cdot \frac{\Delta F_{E2s}}{A_s} = 2.228 \times 10^7 \text{ Pa} \quad (\text{SS-EN 1993-2 ekv 9.2})$$

Förbandsklassen beräknas som detalj 14 i tabell 8.1

$$\Delta\sigma_c := 50 \text{ MPa} \quad (\text{SS-EN 1993-1-9 (tabell 8.1)})$$

$$\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E2s}}{\frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}}} = 0.512$$

$$\text{kontroll\_utmattning\_normal} := \begin{cases} \text{"OK!"} & \text{if } \frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E2s}}{\frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}}} \leq 1 \\ \text{"EJ OK!"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

kontroll\_utmattning\_normal = "OK!"

### 5.3.3 Kontroll mot överskridande av kapaciteten vid ren skjuvning $\tau_{rd}$ i utmattningsgränstillstånd

Skjuvkraften för varje skruv i förbanden blir:

$$\Delta F_{dv} := \frac{N_{d_f}}{n} = 6.263 \cdot \text{kN}$$

Förstärkning av rörbroar

Skjuvspänningen i skruven blir då:

$$\Delta\tau_{E2s} := \lambda \cdot \phi_2 \cdot \frac{\Delta F_{dv}}{A_s} = 8.195 \times 10^6 \text{ Pa} \quad (\text{SS-EN 1993-2 ekv 9.2})$$

Förbandsklassen beräknas som detalj 15 i tabell 8.1

$$\Delta\tau_c := 100 \text{ MPa} \quad (\text{SS-EN 1993-1-9 (tabell 8.1)})$$

$$\frac{\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E2s}}{\Delta\tau_c}}{\gamma_{Mf}} = 0.094 \quad (\text{SS-EN 1993-1-9 (ekv. 8.2)})$$

$$\text{kontroll\_utmattning\_skjuv} := \begin{cases} \text{"OK!"} & \text{if } \frac{\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E2s}}{\Delta\tau_c}}{\gamma_{Mf}} \leq 1 \\ \text{"Ej OK!"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{kontroll\_utmattning\_skjuv} = \text{"OK!"}$$

### 5.3.4 Kontroll mot överskridande av kapaciteten vid kombinerad skjuvning och normalkraft i utmattningsgränstillstånd

$$\text{utmattning}_{\text{komb}} := \left( \frac{\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E2s}}{\Delta\sigma_c}}{\gamma_{Mf}} \right)^3 + \left( \frac{\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E2s}}{\Delta\tau_c}}{\gamma_{Mf}} \right)^5 \quad (\text{SS-EN 1993-1-9 (ekv. 8.3)})$$

$$\text{kontroll\_utmattning\_komb} := \begin{cases} \text{"OK!"} & \text{if } \text{utmattning}_{\text{komb}} \leq 1 \\ \text{"EJ OK!"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{kontroll\_utmattning\_komb} = \text{"OK!"}$$

### 5.4 Kontroll av militära fordon

Kontroll mot att ej flytled bildas och att knäckning i rörets övre del sker (Eurokod)

$$\frac{\frac{N_{d\_m}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{d\_m}}{M_{Rk}}}{\gamma_{M1}} = 0.936 \quad (5.b')$$

$$\text{kontroll\_militar\_ovre\_del} := \begin{cases} \text{"OK!"} & \text{if } \frac{N_{d\_m}}{\left( \frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}} \right)} + k_{yy} \cdot \frac{M_{d\_m}}{\frac{M_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1.0 \\ \text{"EJ OK!"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

kontroll\_militar\_ovre\_del = "OK!"

## 5.5 Övriga kontroller

### 5.5.1 Kontroll av tillåten överfyllnad

$$0,6 < h_c$$

$$h_c = 0.4 \text{ m}$$

$$\text{tillräcklig\_överfyllnad} := \begin{cases} \text{"EJ OK!"} & \text{if } 0.6 > \frac{h_c}{m} \\ \text{"OK! " } & \text{otherwise} \end{cases}$$

tillräcklig\_överfyllnad = "EJ OK!"

### 5.5.2 Kontroll av böjmoment av trafiklast

Villkor enligt Design of soil steel composite bridges sid 29

$$f'_4 \cdot f''_4 = 0.544$$

$$f'_4 \cdot f''_4 < 1$$

$$\text{kontroll\_bojmoment} := \begin{cases} \text{"EJ OK!"} & \text{if } 1 < f'_4 \cdot f''_4 \\ \text{"OK! " } & \text{otherwise} \end{cases}$$

kontroll\_bojmoment = "OK! "

## 6. Sammanställning kontroller

### 5.1.1 Säkerhet mot begynnande flytning i bruksgränstillstånd

Villkor

### 5.2.1 Kontroll av att flytled ej bildas i rörbrons övre del

$$\text{kontroll\_brott\_ovre\_del} = \text{"OK!"} \quad \text{Villkor: } \frac{N_{d\_A}}{\left( \frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}} \right)} + k_{yy} \cdot \frac{M_{du\_A}}{\frac{M_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1.0$$

### 5.2.1b Kontroll av kapacitet med avseende på uppträdande maximal normalkraft

$$\text{kontroll\_brott\_max\_N} = \text{"OK!"} \quad \text{Villkor: } \frac{N_{d\_A}}{\left( \frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}} \right)} \leq 1.0$$

### 5.2.2 Kontroll av att tillräcklig kapacitet finns i rörbrons nedre del

$$\text{kontroll\_brott\_nedre\_del} = \text{"OK!"} \quad \text{Villkor: } N_d \leq N_{cr} \left( \frac{N_{d\_A}}{N_{cr}} \right) = \left( \frac{134.768}{673.384} \right) \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

### 5.2.3.1 Kontroll av att skruvarnas kapacitet är tillräcklig mot skjuvbrott i skruven; $F_{v\_Rd}$

$$\text{kontroll\_skruv\_skjuv} = \text{"OK!"} \quad \text{Villkor: } N_{d\_A} < \min(n \cdot F_{v\_Rd}, n \cdot F_{b\_Rd})$$

### 5.2.3.2 Kontroll av att skruvarnas kapacitet är tillräcklig mot hålkantbrott i plåten; $F_{b\_Rd}$

$$\text{kontroll\_skruv\_hk} = \text{"OK!"} \quad \text{Villkor: } N_{d\_A} < \min(n \cdot F_{v\_Rd}, n \cdot F_{b\_Rd})$$

### 5.2.3.3 Kontroll av momentkapacitet i plåtskarv, $F_{t\_Rd}$

$$\text{kontroll\_skruv\_moment} = \text{"OK!"} \quad \text{Villkor: } n \geq n_{\text{erf3}}$$

### 5.2.3.4 Kontroll mot överskridande av skruvförbandens kapaciteten vid kombinerad dragning och skjuvning

$$\text{kontroll\_skruv\_komb} = \text{"OK!"} \quad \text{Villkor: } \left( \frac{F_{V\_Ed}}{F_{Rvd}} \right) + \left( \frac{F_{st}}{1.4F_{t\_Rd}} \right) \leq 1$$

### 5.4.1 Kontroll av utmattning i plåt

$$\text{kontroll\_utmattning\_plåt} = \text{"OK!"} \quad \text{Villkor: } \frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma \cdot E2}{\left( \frac{\Delta\sigma_{cp}}{\gamma_{Mf}} \right)} \leq 1$$

### 5.4.2 Kontroll mot överskridande av kapaciteten vid ren dragning $\sigma_{rd}$ i utmattningsgränstillstånd

$$\text{kontroll\_utmattning\_normal} = \text{"OK!"} \quad \text{Villkor: } \frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma \cdot E2s}{\frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}}} \leq 1$$

### 5.4.3 Kontroll mot överskridande av kapaciteten vid ren skjuvning $\tau_{rd}$ i utmattningsgränstillstånd

$$\text{kontroll\_utmattning\_skjuv} = \text{"OK!"} \quad \text{Villkor: } \frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau \cdot E2s}{\frac{\Delta\tau_c}{\gamma_{Mf}}} \leq 1$$

### 5.4.3 Kontroll mot överskridande av kapaciteten vid kombinerad dragning $\sigma_{rd}$ och skjuvning $\tau_{rd}$ i utmattningsgränstillstånd

$$\text{kontroll\_utmattning\_komb} = \text{"OK!"} \quad \text{Villkor: } \left( \frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma \cdot E2s}{\frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}}} \right)^3 + \left( \frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau \cdot E2s}{\frac{\Delta\tau_c}{\gamma_{Mf}}} \right)^5 \leq 1$$

### 5.5.1 Kontroll av tillåten överfyllnad

$$\text{tillräcklig\_överfyllnad} = \text{"EJ OK!"} \quad \text{Villkor: } 0.6 < h_c \quad \left( \frac{h_c}{0.6 \cdot m} \right) = \left( \frac{0.4}{0.6} \right)_m$$

Förstärkning av rörbroar

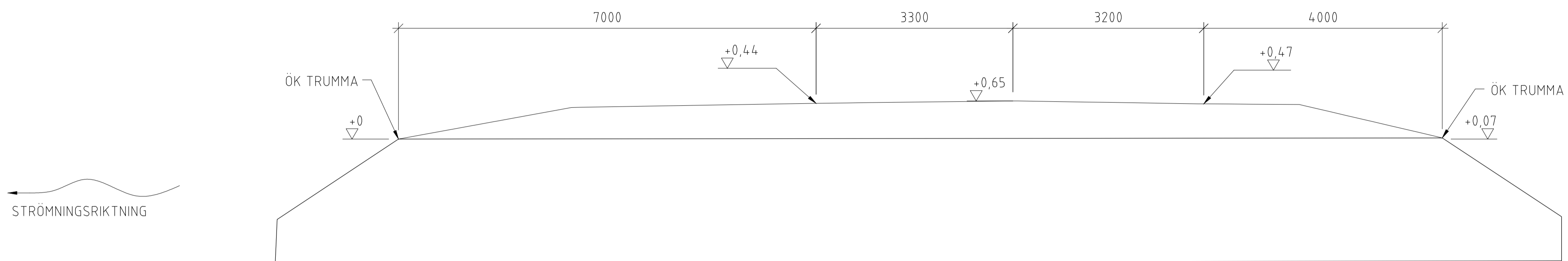
### 5.5.2 Kontroll av böjmoment av trafiklast

kontroll\_bojmoment = "OK! "

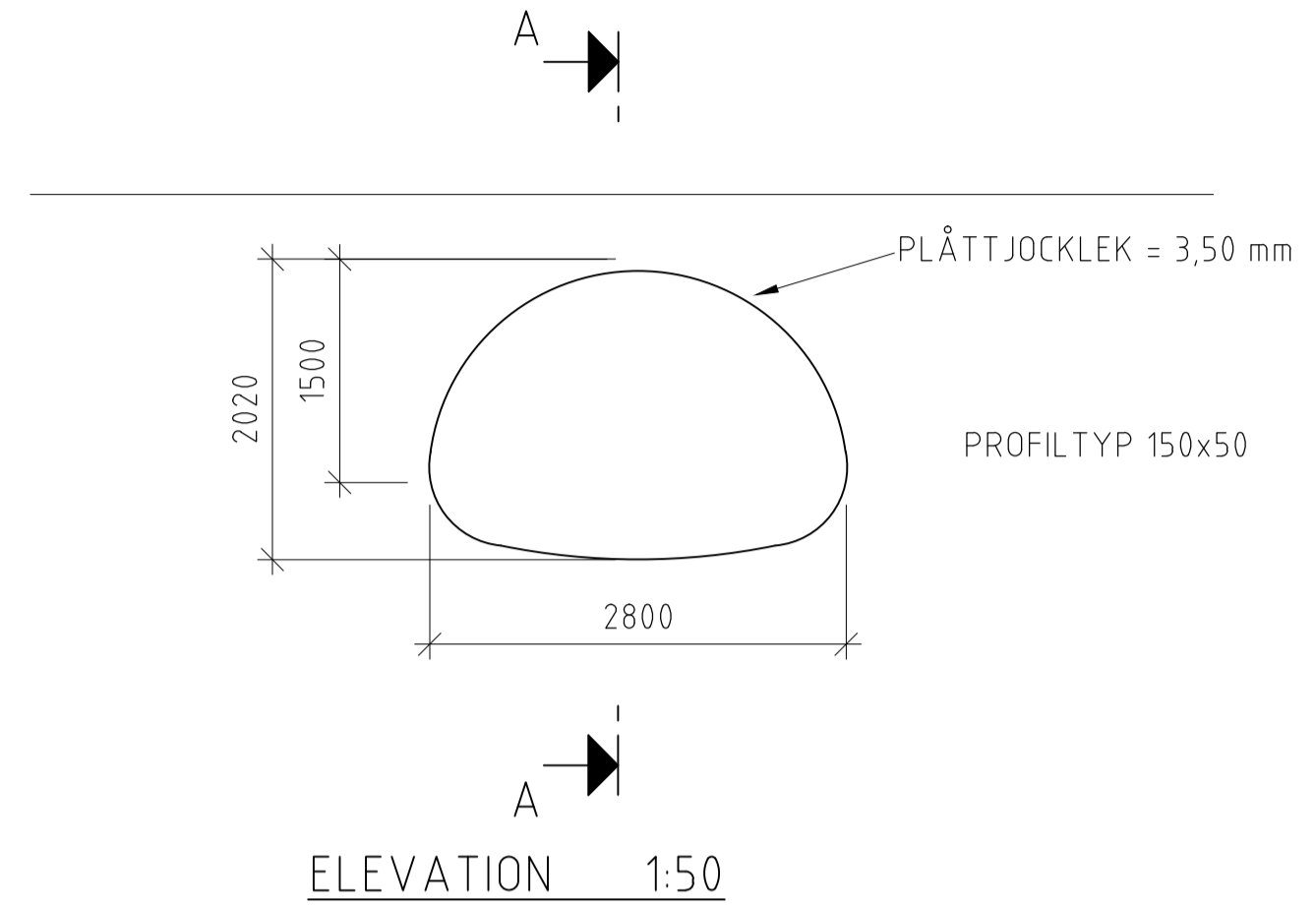
Villkor:  $f_4 \cdot f''_4 < 1$   $f_4 \cdot f''_4 = 0.544$

## **BILAGA B**

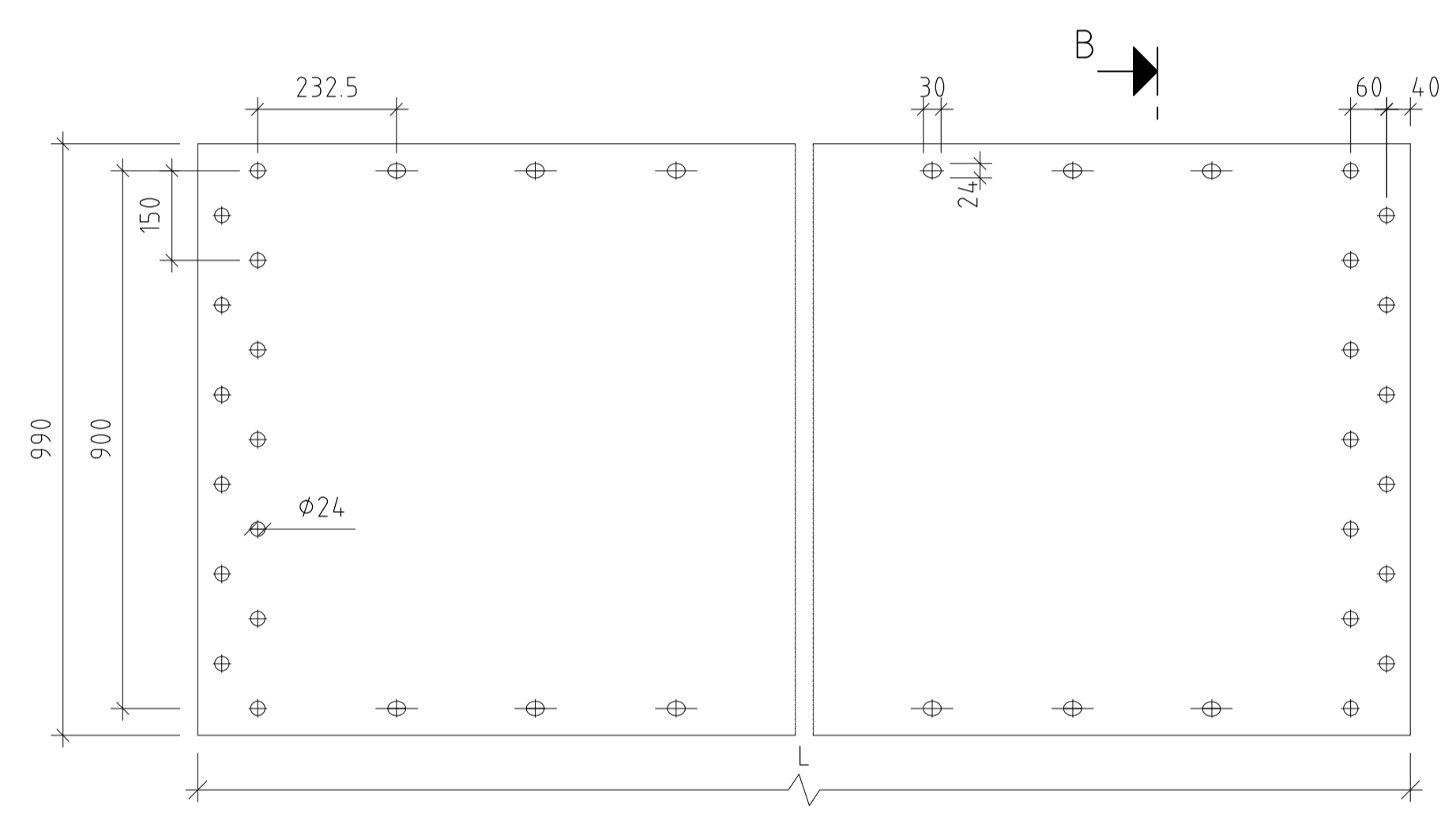




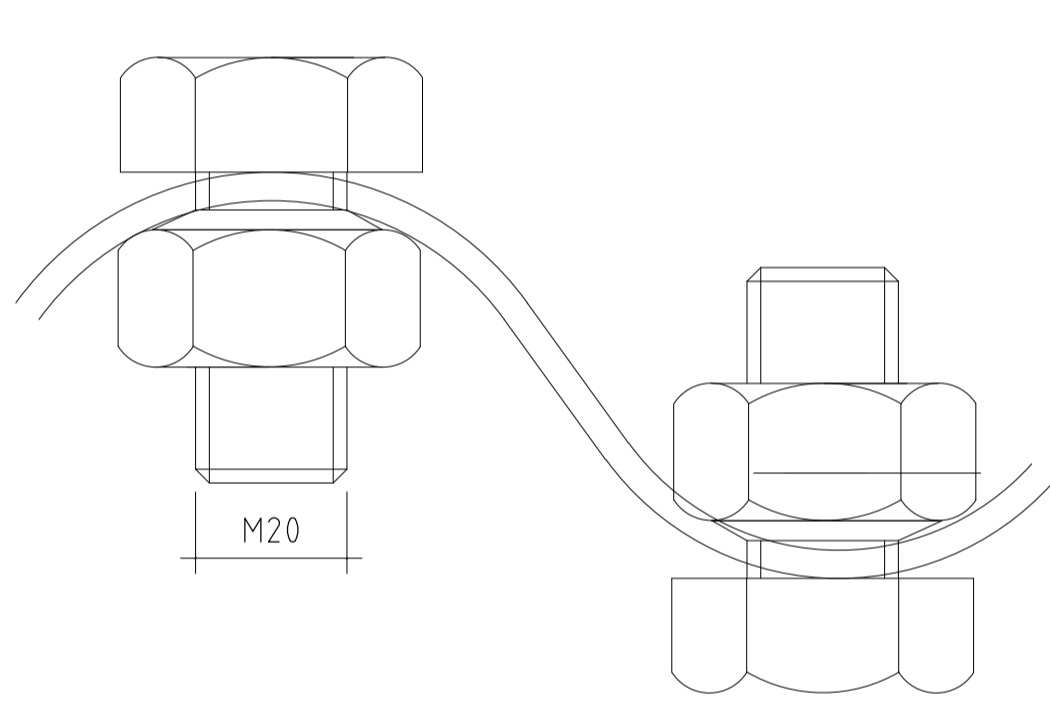
SEKTION A - A 1:50



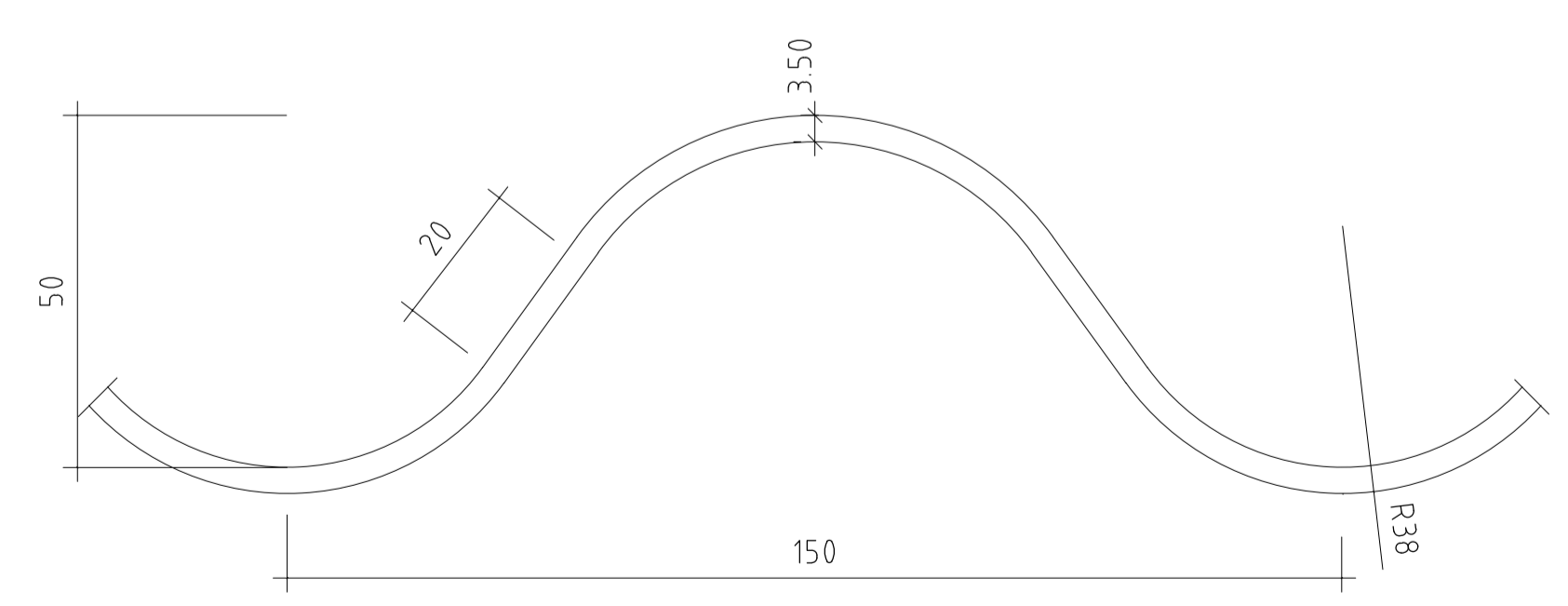
ELEVATION 1:50



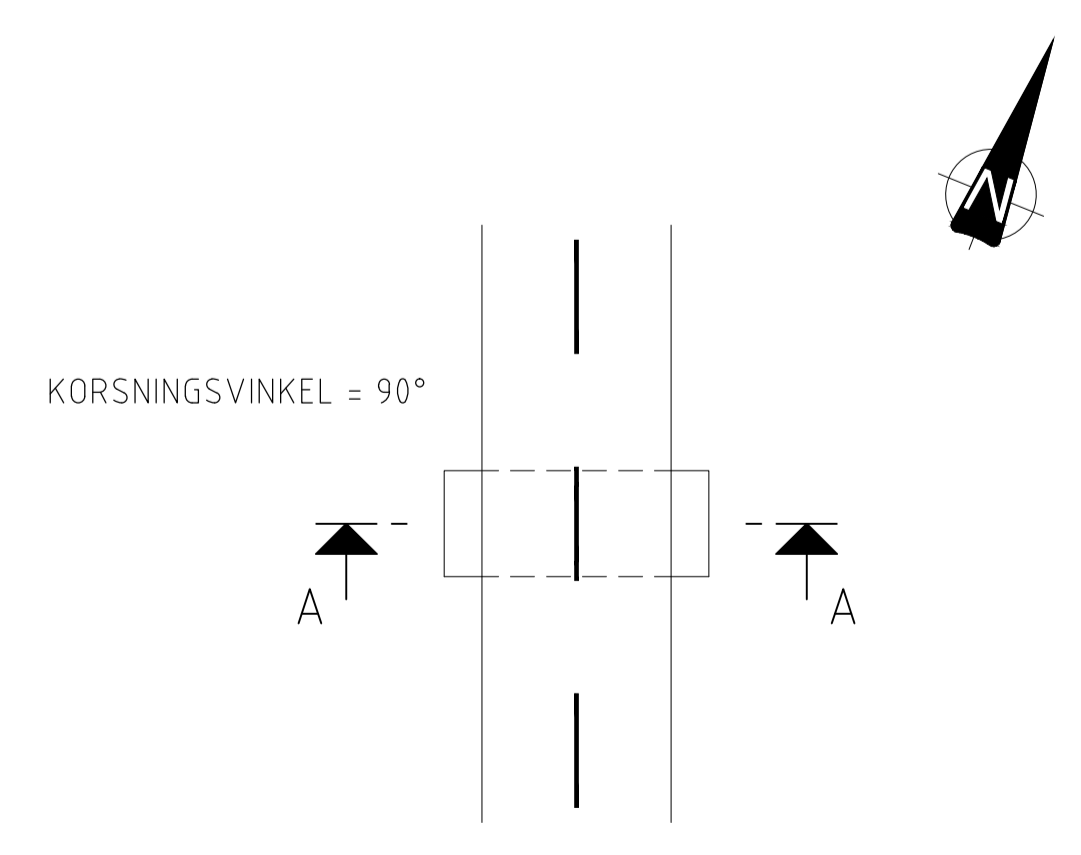
PLÅT  
1:10 OKURVAD



DETALJ AV SKRUVFÖRBAND  
1:1



DETALJ AV PROFIL  
1:1



PLAN - SCHEMATISK

**DIMENSIONER**

AREA	B	H	t	R	R1	R2
4.8	3000	2020	3.75	1500	4500	460

EJ UPPMÄTTA DATA HAR ERHÅLLITS ENLIGT STANDARDRITNING 930 514:3  
RÖRKONSTRUKTION AV PLÅT  
LÅGBYGGD VÄGTRUMMA TYP GG 150L

**PLUSHÖJDER**

ÄR ANGIVNA I ETT LOKALT SYSTEM ENBART TILL FÖR ATT BESTÄMMA ÖVERFYLLNADSHÖJDEN

**BESKRIVNING AV PARAMETRAR**

SPÄNNVIDD B OCH HÖDEN H AVSER INVÄNDIGA MÅTT

**PLÅTTJOCKLEK**

ANGES EXKLUSIVE YTBEHANDLING.

HÄNVISNING	RITN. NR.	BET.	ANT.	ÄNDRINGEN AVSER	DATUM	SIGN.
UPPRÄTTAD FÖR	Trafikverket	STATUS				
		Uppmättningsritning				
		PROJEKT				
		Bro över bäck so Hägerås Bronummer 4-705-1 Region SMN, län D Brotyp VM, rörbro, lågbyggd				
UPPDRAG NR	RITAD/KONSTR. AV					
10005468	JOLU					
DATUM	HANDLÄGGARE					
2012-10-09	ANWI					
ANSVARIG	SKALA	NUMMER	BET.			
Anders Wiberg	1:50	4-705-1				