

Intern rapport nr. 1259

SUPER-SPENN KONSTRUKSJONER

**Teoretisk grunnlag og praktisk
utførelse**

Januar 1986

Veglaboratoriet

Intern rapport

nr. 1259

Gruppe: C

SUPER-SPENN KONSTRUKSJONER

Teoretisk grunnlag og praktisk utførelse

Vegdirektoratet
Veglaboratoriet

Gaustadalleen 25, Postboks 8109 Dep., Oslo 1. Tlf. (02) 46 69 60



Veglaboratoriets Interne rapporter omfatter utredninger, forskningsresultater, studiebesøk, forslag til retningslinjer, foredrag og kurskompendier.

Rapportene er delt i to grupper:

- B: For bruk innen Statens Vegvesen
- C: For fri distribusjon

Innholdet eller deler av det må ikke publiseres videre uten tillatelse fra Veglaboratoriet.

prosjekt/oppdrag:	P-338
seksjon:	47 - Geoteknisk
saksbehandler:	Jan Vaslestad /TRO
dato:	Januar 1986



VEGLABORATORIET

rapportsammendrag

INTERN RAPP. NR. / ~~OPPR. NR.~~

111	A	Rapportstatus*) N	Seksjon 47	Prosjekt P-338	Gruppe: C	1259				
1	2	3	4	5	21	31	41	51	61	71

*) 111A: N = ny
O = oppdatert

**) 421A: FoU = forskning og utvikling K = konferansebidrag O = oppdrag A = artikkel
F = forskrifter/normaler

TITTEL	212	A	Super-spenn konstruksjoner Teoretisk grunnlag og praktisk utførelse			
SAKS-BEHANDLER	221	A	Navn Jan Vaslestad		Institusjon Veglaboratoriet	
	B					
	C					
RAPPORT DATA	421	A	Rapporttype**) FoU		Dato Januar 1986	Erstatter intern rapport nr.
	B		Totalt sidetall 30		Språk Norsk	
	C		Antall fotos 7	Ant. figurer 5	Ant. tabeller	Ant. litt.henv. 17
	D		Sammendrag i andre språk Engelsk			UTM ref.
SAMMENDRAG	511	A	<p>De senere år har store, korrugerte stålrør (super-spenn konstruksjoner) vært brukt som alternativ til mindre bruer, kulverter og rasoverbygg i armert betong. Super-spenn konstruksjonene har vist seg som svært økonomisk gunstige løsninger. Amerikanske erfaringer antyder kostnadsbesparelser på rundt 30% sammenlignet med konvensjonelle bruer med tilsvarende spenn. Ved bruk som rasoverbygg er besparelsen anslått til rundt 50% av konvensjonelle rasoverbygg i armert betong.</p> <p>Den største super-spenn i Norge er en liggende ellipse med bredde 10,8 m og høyde 7,1 m.</p> <p>De fleste super-spenn konstruksjoner er bygd i Nord-Amerika, og de er nå blitt så mye brukt at de er innarbeidet med egne seksjoner i bru-forskriftene i: Standard Specifications for Highway Bridges (American Association of State Highway and Transportation Officials) og Ontario Highway Bridge Design Code (Ontario Ministry of Transportations and Communications).</p> <p>I denne rapporten er det gitt en oversikt over bruddmekanismer og dimensjoneringsprinsipper, med spesiell vekt på "Ring - Compression" teorien og "Arching" effekten.</p> <p>Skikkelig kvalitetskontroll er svært viktig under montering og tilbakefylling av super-spenn konstruksjoner. Det finnes mye litteratur om dimensjonering og teoretisk bakgrunn, men lite om konstruksjonskontroll og praktisk gjennomføring av montering og tilbakefylling. Det er derfor i denne rapporten lagt vekt på kapittelet om montering og tilbakefylling. Denne delen er basert på praktisk erfaring fra de super-spenn konstruksjoner som er bygd i Norge, i tillegg til erfaringer basert på de ovennevnte amerikanske bru-forskriftene. Dette kapittelet kan betraktes som norske spesifikasjoner for bygging av super-spenn konstruksjoner.</p>			
FAG-OMR.	611	A	Geoteknikk		42	
	B		Fundamentering		53.1	
	C					
NØKKELOORD	621	A	Kulvert		3360	
	B		Stål		4542	
	C		Deformasjon		5595	
	D		Jordtrykk		5726	
	E		Spenning (Mekanisk)		5575	
	F		Komprimering		3886	
	G		Økonomi		0165	
	H		Korrosjon		4540	

SUMMARY IN ENGLISH

Long-span, corrugated - steel structures.

Design concepts and construction procedures.

In the past years long-span, corrugated - steel structures (super-span) have been used as economic alternatives to small bridges, culverts, grade-separations and snowsheds.

American experience indicates cost savings of about 30% compared to conventional small bridge structures. Used as snowsheds the cost saving is about 50% compared to conventional snowsheds of concrete.

The biggest super-span built in Norway is a horizontal ellipse with span 10,8 m and height 7,7 m.

Most of the super-span structures are built in North America, and have been included in the bridge specifications with own sections in: Standard Specifications for Highway Bridges (American Association of State Highway and Transportation Officials) and Ontario Highway Bridge Design Code (Ontario Ministry of Transportation and Communications).

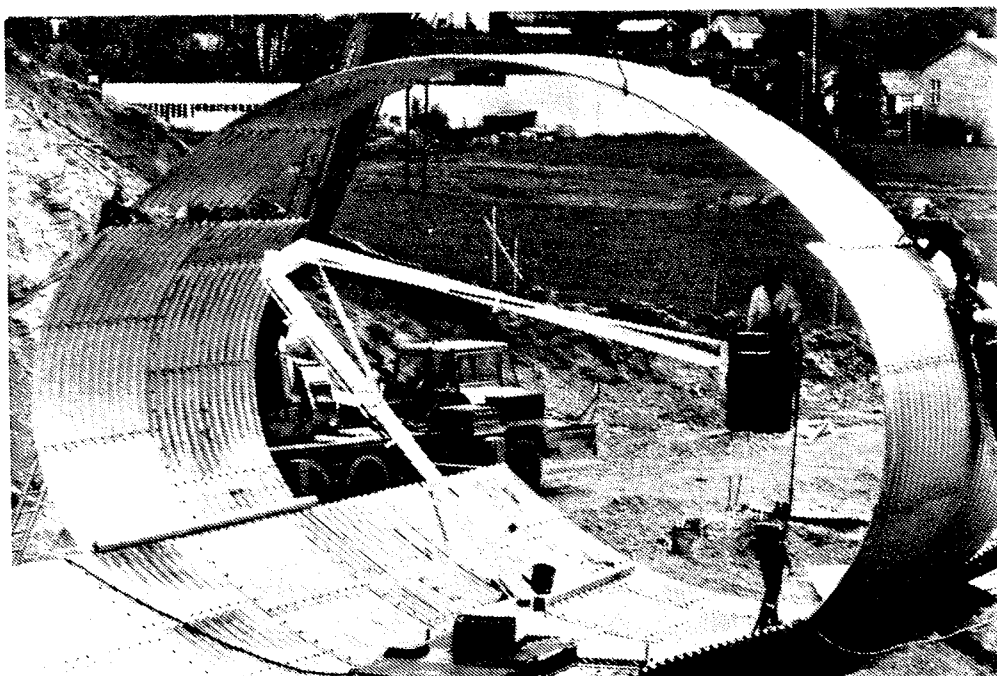
This report gives an overview of design concepts and soil-structure interaction concepts, especially the ring-compression theory and the arching effect.

Construction control is of very great importance during assembling and backfilling super-span structures. There is available good documentation on the design aspects of super-span structures. Unfortunately, the literature lacks a comparable degree of documentation with respect to construction control and practical construction procedures.

The chapter in this report on construction procedures is based on practical experience from the super-span structures built in Norway, with aspects from the American bridge specifications previously mentioned.

This part of the report can be considered as Norwegian specifications for super-span structures.

SUPER-SPENN KONSTRUKSJONER
TEORETISK GRUNNLAG OG PRAKTISK UTFØRELSE



INNHOLD:	side
1. Innledning	1
2. Bruddmekanismer og dimensjonering	2
3. Ring Compression teorien	4
4. Arching (hvelvvirkning)	6
5. Montering og tilbakefylling	8
5.0. Generelt	8
5.1. Klargjøring av fundament	10
5.2. Montering av stålplatene	11
5.3. Tilbakefylling	13
6. Økonomi, levetid, materialer og utstyr	16
REFERANSER	20

FIGURER:

- Fig. 1: Korrugert profil med tverrsnittsdata
- Fig. 2: Terminologi og tilbakefyllingsstadier
- Fig. 3: De mest vanlige tverrsnittsformer
- Fig. 4: Jordtrykksfordeling etter Ring Compression teorien
- Fig. 5: Arching-effekten

1. INNLEDNING

Korrugerte stålrør har vært brukt som vanngjennomløp i Norge i over 40 år. I de senere år også som fotgjengerunderganger, store kulverter og rasoverbygg. Disse konstruksjonene blir bygd ved å bolte sammen korrugerte stålplater. Den mest brukte korrugeringen (200 x 55 mm) er vist på fig. 1.

Størrelsen på konstruksjonene har økt de senere år, og i USA og Canada er det bygd stålrør med største spenn (bredde) opptil 18 m.

De første større stålkulvertene ble bygd i Canada i begynnelsen av 1950-årene. Rundt 1960 utviklet Armco i Canada sin løsning med langsgående trykkbjelker av armert betong, de såkalte "Super-Span". Trykkbjelkene sitter på utsiden av stålrøret og deler det i en toppbue og sidevegger, se fig. 2.

I Nord-Amerika er dette er patentert konsept, og kan følgelig bare brukes av Armco. I Norge er det ikke tatt ut patent og trykkbjelkene kan brukes av alle leverandører. Pr. i dag er det 4 leverandører av store korrugerte stålrør i Norge.

Samtlige store stålrørskulverter i Norge er bygd med trykkbjelker etter "Super-Span" konseptet, herav det norske ordet super-spenn.

Den første super-spenn som ble bygd i Norge var en 106 m lang jernbanegjennomføring utenfor Hønefoss, dette var et flatbunnet rør med spenn 7,8 m og høyde 6,9 m. denne ble bygd i 1981. Siden er det bygd flere.

Den hittil største ble bygd som en gjennomføring for ny E6 utenfor Dovre sentrum i 1985. Denne ble bygd som en miljøtunnel for å bevare terrenget så likt det opprinnelige som mulig. Dette var en horisontal ellipse med spenn 10,8 m og høyde 7,1 m.

I 1983 ble en sirkulær stålrørskulvert med 170 m lengde og 6,1 m i diameter brukt som rasoverbygg ved vegen til Veitstrand i Sogn og Fjordane.

Samtlige av de større stålrørskulvertene som er bygd i Norge har svart etter forventningene og har vist seg som teknisk og økonomisk gunstige løsninger med kort byggetid.

På fig. 3 er angitt de mest vanlige tverrsnittsformer.

I takt med den økende bruk av super-spenn konstruksjoner som økonomiske erstatninger for mindre bruer, er de også blitt innarbeidet i bruforskriftene i Nord-Amerika med egne seksjoner i Standard Speci-

fications for Highway Bridges (American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO, 1977) og Ontario Highway Bridge Design Code OHBDC (Ontario Ministry of Transportation and Communications, 1984).



Foto 1. Rasoverbygg Veitastrand.

2. BRUDDMEKANISMER OG DIMENSJONERING

Den grunnleggende ideen bak å bruke fleksible korrugerte stålplater som hvelv i større kulverter, er at det er hensiktsmessig og økonomisk at jorda rundt er hovedbæreelementet og kraftfordelende element i det statiske system.

En av hensiktene med dimensjoneringen er å bruke så lite stål som mulig for å få jord-stål samvirket til å fungere tilfredsstillende.

Erkjennelsen av at jordmediet er den viktigste bærende delen i det statiske systemet kommer til uttrykk i de amerikanske bruforskriftene hvor kapitlet om stålørskulverter i AASHTO har overskriften: "Soil-Metal Plate Structure Interaction Systems", og i OHBDC: "Soil-Steel Structures".

Denne samvirkeeffekten mellom jord og stål er veldig kompleks å behandle beregningsmessig, og det er opp gjennom årene blitt utviklet en del forenklete

beregningsmodeller som for det meste er basert på erfaring (empiriske beregningsmodeller, f.eks. Ring compression).

Dimensjonering for konstruksjonsfasen (byggefase) er nesten helt og holdent basert på erfaring.

I de senere år har elementmetoden (Finite Element Method) vist seg å være et meget nyttig verktøy for design og analyse av kulverter. Det er det eneste analytiske redskap som har kapasitet nok til å modellere de komplekse mekanismene i konstruksjonsfasen, og jord-stål samvirkeproblemene i bruksfasen.

Likevel har denne relativt nye metoden hittil ikke blitt brukt i så stor utstrekning pga. av at den er relativt tid- og kostnadskrevende. En mangler dessuten feltmålinger (måling av jordtrykk og spenninger i stålhvelvet) for å verifisere resultatene fra elementberegningene. Derfor er det viktig å instrumentere super-spenn konstruksjoner for å kunne evaluere beregningsmodellene med måling av opp-tredende deformasjoner, jordtrykk og spenninger.

Både jernbanetunnelen på Hønefoss og vegtunnelen på Dovre er grundig instrumentert for å kunne sjekke beregningsmodellene mot opp-tredende krefter. I tillegg er det også foretatt jordtrykks- og deformasjonsmålinger på rasoverbygget ved Veitastrand.

Ved dimensjonering av super-spenn konstruksjoner er det to stadier som det må tas hensyn til:

- 1) I konstruksjonsfasen (byggefase), må stålhvelvet være stivt nok til å bære sin egen vekt, og ikke få store deformasjoner under montering. I tillegg må det under tilbakefylling ha styrke nok til å bevare fasongen uten for store deformasjoner fra jordtrykk og komprimering.
- 2) I bruksfasen må jord-stål-konstruksjonen ha styrke nok til å bære de permanente laster (egenvekt av jorda), variable laster (trafikklast) og evt. telekrefter. Konstruksjonen må ha tilfredsstillende sikkerhet mot følgende bruddmekanismer:
 - Minimum overdekning. Overdekningen må være tilstrekkelig til å motvirke innpressing av rørvegger og heving av rørtopp på grunn av jordtrykk mot rørveggene.
 - Knekning. Vertikaldeformasjonen blir så stor at røret bulker innover. Slike brudd kan oppstå i rør med stor fleksibilitet (liten egenstyrke) og jord med liten motstand mot sidetrykk

- Brudd i jorda. Ved konsentrerte nyttelaster og liten overdekning kan det oppstå brudd i jorda i øvre del av røret, med påfølgende kollaps av rørveggen.
- Flytning i stålplatene på grunn av store aksialspenninger i platene. Slike brudd kan oppstå i rør med liten fleksibilitet (stor egenstyrke) og jord med høy motstand mot sidetrykk.
- Boltebrudd. Brudd i bolteforbindelser på grunn av høye aksialspenninger. I praksis vil bolteforbindelsene være det svake punkt, slik at dimensjonering mot flytning i stålplatene er ivaretatt ved dimensjonering mot brudd i bolteforbindelser.

I tillegg må det tas hensyn til generelle geotekniske problemstillinger som stabilitet av fyllinger, setninger under fyllinger og stålrør, erosjonsproblemer etc.

Av de forskjellige bruddmekanismer fremgår det også at geotekniske vurderinger er helt essensielle og oftest avgjørende ved dimensjonering av super-spennkonstruksjoner.

3. RING COMPRESSION TEORIEN

White og Layer (1960) foreslo at stålrøret kunne betraktes som en ring med jevnt fordelt jordtrykk normalt (radielt) mot rørveggen.

Det jevnt fordelte trykket p blir regnet som summen av overlagingstrykket over toppen på stålrøret pluss evt. trafikklast:

$$p = \gamma H + q \text{ (kPa)}$$

$$\gamma = \text{egentyngheden av jorda (kN/m}^3\text{)}$$

$$H = \text{fyllingshøyden over toppen av røret (m)}$$

$$q = \text{trafikklast (kPa)}$$

Trykkraften (aksialkraften) i stålrøret er lik det jevnt fordelte trykket som virker på rørveggen multiplisert med radien R på røret. denne trykkraften T er det som blir kalt "Ring compression" (ringtrykket), se fig. 4a.

For ikke sirkulære rør blir radien satt lik halve spennet.

$$T = p \frac{S}{2} \quad (\text{kN/m})$$

der p = jevnt fordelt trykk normalt mot røret
(kPa)

S = spennet på røret (m)

For ikke sirkulære rør er det regnet at trykk-kraften T er konstant rundt periferien, slik at

$$p = \frac{T}{R} \quad (\text{kPa})$$

der p og R er henholdsvis trykket og radien på røret i det punktet som blir betraktet.

Det vil si at jordtrykket, som er omvendt proporsjonalt med radien i røret, har maksimumverdi f.eks. på spissen av en horisontal ellipse.

Jordtrykket på tre forskjellige tverrsnittsformer etter "Ring compression" metoden er vist på fig. 4.

Ring-compression teorien gjelder bare når fyllingshøyden over toppen av røret er større enn 1/8 av spennet. I praksis er fyllingshøyden svært sjelden mindre enn 1/8 av spennet, slik at ring-compression teorien kan brukes som et overslag i de fleste tilfelle.

Ring-compression teoreien innebærer at momenter i røret blir neglisjert, når fyllingshøyden over røret er som angitt.

Bakgrunnen for å ikke ta med momenter i dimensjoneringen er at kontakt-trykket mellom stålveggen og de omliggende jordmasser forandrer seg med bevegelsene i det fleksible røret.

Selv om momenter oppstår og forårsaker flyting lokalt, vil de resulterende bevegelser av stålveggen medføre en økning i kontaktrykket, forårsaket av de omliggende jordmasser. Denne økning i trykket vil motvirke ytterligere bevegelser i røret.

Modell-forsøk som ble utført av Meyerhof og Baikie (1963) for å verifisere Ring-compression teorien, konkluderte med at rør med stor fleksibilitet (liten egenstyrke) i jord med liten motstand mot sidetrykk, vil brudd oppstå ved knekning.

For rør med liten fleksibilitet (stor egenstyrke) og i jord med stor motstand mot sidetrykk, vil brudd oppstå ved flyting i stålplatene.

Ring-compression teorien danner grunnlaget for dimensjoneringen av stålrør både i Standard Specifications for Highway Bridges (AASHTO 1977) og Ontario Highway Bridge Design Code OHBDC (Ontario Ministry of Transportation and Communications 1984).

I tillegg danner Ring-compression metoden dimensjoneringsgrunnlaget i Handbook of Steel Drainage and Highway Construction Products (American Iron and Steel Institute AISI 1984).

I de 3 nevnte spesifikasjoner (AASHTO, OHBDC og AISI) blir følgende bruddmekanismer kontrollert:

- Flyting i stålplatene
- Knekning
- Boltebrudd

I tillegg er det krav om minste overdekning over toppen av røret. Dette kravet tar hensyn til brudd i jorda.

4. ARCHING (HVELVVIRKNING)

Lastkapasiteten til et nedgravd rør overstiger langt kapasiteten til røret når det ikke er nedgravd.

Samvirket mellom jorda og røret er årsaken til dette. Til tross for at dette er en av de klassiske problemene i geoteknikk, er denne samvirkeeffekten lite forstått.

En av teoriene som er brukt for å forsøke å forklare noe av samvirkeproblemene er arching-effekten.

I 1943 skrev Terzaghi følgende i "Theoretical Soil Mechanics":

"Arching is one of the most universal phenomena encountered in soils both in the field and in the laboratory."

I geoteknikk kan arching-effekten forklares som en overføring av vekten av jord over en ettergivende konstruksjon til de omliggende jordmasser.

Luscher og Høeg (1965) forklarte arching-effekten som en trykkbue (hvelv) av jord rundt en åpning i jorda. Ut fra dette er arching forsøkt oversatt til "hvelvvirkning".

Et forsøk på å illustrere arching-effekten er gjort i figur 5.

I figur 5a er det vist positiv arching, som opptrer når en del av overlagingstrykket over røret blir overført til de omliggende masser ved hjelp av en trykkbue av jord. I figuren er det illustrert som at trykkraften T i røret (ring compression) er mindre enn tyngden W av jordlegemet over røret. Dette er vanligvis situasjonen ved bruk av fleksible rør.

I figur 5c er det vist negativ arching som innebærer at røret "trekker" last til seg, slik at trykkraften T i røret blir større enn vekten W av jordlegemet over røret. Denne situasjonen kan inntreffe når massene rundt røret får større setninger enn selve røret.

Dette kan inntreffe ved bruk av stive rør (f.eks. armert betong).

For å oppnå positiv arching over stive rør kan det legges inn en sone med setningsgivende materiale (f.eks. løst lagret sand eller organisk materiale) over røret. Denne metoden ble foreslått av Spangler i 1930-årene og er siden mye brukt i Amerika for å oppnå positiv arching over betongrør og kulverter under høye fyllinger.

En annen metode for å oppnå samme effekten kan være å legge et "mykt" materiale rundt betongrøret, f.eks. skumplast.

Nøytral arching opptrer når trykkraften i røret er lik vekten av jordlegemet over røret.

En forenklet formelmessig beskrivelse av arching er gjort på følgende måte (Selig, 1977):

$$A = 1 - \frac{\sigma_r}{\sigma_v}$$

der σ_r = opptredende vertikaltrykk målt over røret (kPa)

σ_v = overlagingstrykket (γH) over røret (kPa)

Denne definisjonen gir $A = 0$ ved nøytral arching, en positiv verdi av A mindre enn 1 ved positiv arching, og en negativ verdi av A ved negativ arching.

I Canada ble det i 1976 instrumentert en fleksibel, korrugert stålbue med 15,5 m spenn og 13,4 m overfylling over toppen av buen. (Lefebvre et.al., 1976.)

Instrumenteringen bestod av jordtrykksceller (Gløtzlceller tilsvarende de som er brukt på Tolpinrud og Dovre) i massene rundt røret og

strekkklapper innvendig i røret.

Etter oppfylling ble det målt opptredende vertikalltrykk over taket på røret, på 25% av overlagringstrykket.

Dette gir følgende arching:

$$A = 1 - 0,25 = \underline{0,75}$$

Arch-ing-effekten og jordtrykksfordelingen er her målt like etter bygging. I denne artikkelen etterlyses det jordtrykksmålinger over lang tid. Dette er gjort på super-spenn konstruksjonen på Tolpinrud (Knutson 1984).

Målingene herfra viser at det horisontale jordtrykket i posisjon 3 og 9 (etter urviseren) er økt med opptil 100% ett år etter bygging.

Målingene fra Tolpinrud viser at jordtrykket over lang tid overstiger jordtrykket beregnet etter ring-compression teorien.

Super-spenn konstruksjonen på Dovre er instrumentert med henblikk på langtidsmåling av jordtrykk rundt røret. I tillegg er det lagt inn jordtrykksceller over røret for å måle evt. arching.

Denne konstruksjonen er også instrumentert med strekkklapper innvendig i røret for å måle tøyninger og spenninger i stålet under konstruksjon og over tid. Disse målingene kan gi et bidrag til forståelse av samvirke-effekten mellom jord og stål i konstruksjons- og bruksfasen.

Ved dimensjonering etter OHBDC og AISI er det tatt hensyn til arching-effekten.

5. MONTERING OG TILBAKEFYLLING

5.0. Generelt

Skikkelig kvalitetskontroll er helt nødvendig for at super-spenn konstruksjonene skal fungere tilfredsstillende. Det fleksible stålskallet er dimensjonert for å fordele en del av lasten til bakfyllmassene. Flexibiliteten tillater en viss grad av bevegelse under montering og tilbakefylling. Tilsvarende bevegelser i en stiv konstruksjon (f.eks. armert betong) ville forårsake brudd.

Disse bevegelsene må kontrolleres nøye under montering og tilbakefylling.

Komprimeringsutstyr og anleggsmaskiner må ikke forårsake for store deformasjoner i stålhvelvet under tilbakefylling. Tungt utstyr må derfor ikke operere for nær stålhvelvet.

En rekke forskjellige teknikker kan brukes for å kontrollere deformasjoner og form på stålhvelvet etter montering. Av disse kan nevnes: Måling av spenn og høyde med målebånd, nivellering av høyder, lodd som henges i taket innvendig etter montering.

Metoden med å henge lodd i taket har vist seg som en enkel og grei metode for å måle heving av toppen under tilbakefylling. Samtidig måles enkelt evt. sideveis bevegelse.

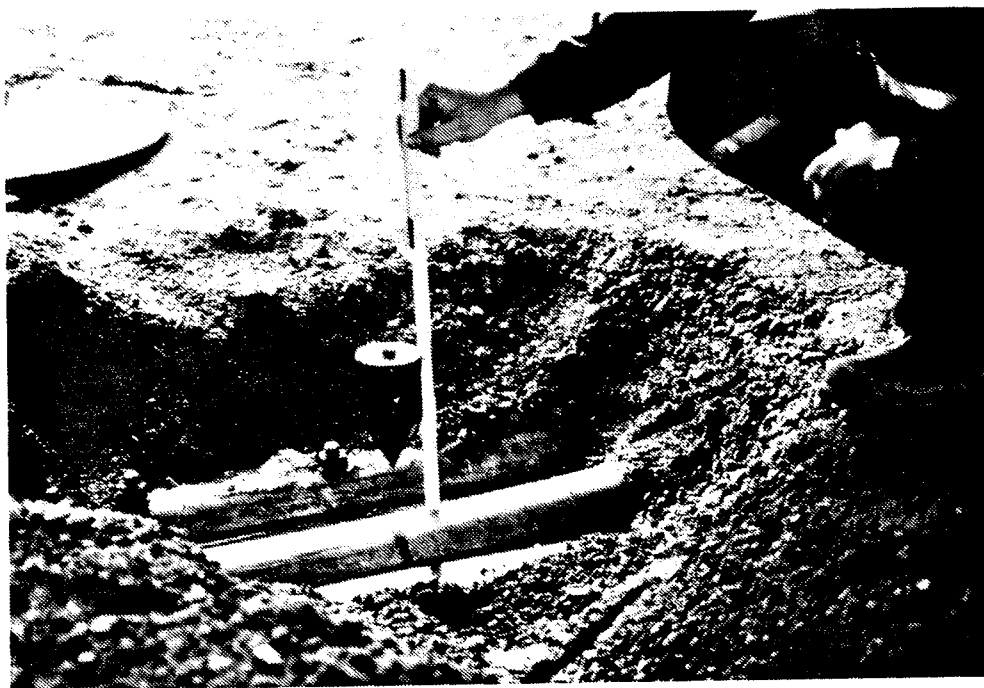


Foto 2. Lodd hengende i taket for rask og enkel kontroll av bevegelser under tilbakefylling.

Variasjon i dimensjonene før og etter tilbakefylling skal ikke overstige 2% av spennet eller høyden (den som er størst), eller som spesifisert av leverandør.

Deformasjonskontroll er enda mere kritisk på lave buer hvor forholdet mellom topp- og side-radius er 3 eller mer. Her er maksimal tillatt deformasjon 1% av spennet.

Leverandøren av super-spenn konstruksjoner skal ha en kvalifisert kontrollør med erfaring fra tilsvarende arbeider, tilstede under montering og tilbakefylling. Denne kontrolløren bør ha full myndighet til å stoppe arbeidet, hvis det avvikes fra de oppsatte spesifikasjoner.

5.1. Klargjøring av fundament

Grunnundersøkelser må være foretatt, inkludert geotekniske vurderinger som evt. forkonsolidering, langtidssetninger, stabilitet etc.

Evt. dårlig grunn i topplaget under fundamentet må masseutskiftes og erstattes med sand eller grus.

Avhengig av om det er en bue eller et lukket tverrsnitt, må det klargjøres for støping av langsgående betongfundamenter eller montering av bunnplater. Byggegrova må være tørrlagt og det må evt. legges drenering.

Ved montering av bunnplater med radius større enn 4 m (horisontal ellipse, flatbunnet rør) skal fundamentet på forhånd formes etter radien på bunnplatene, se fig. 2. Dette kan gjøres ved å bruke en mal med samme radius som bunnplatene.

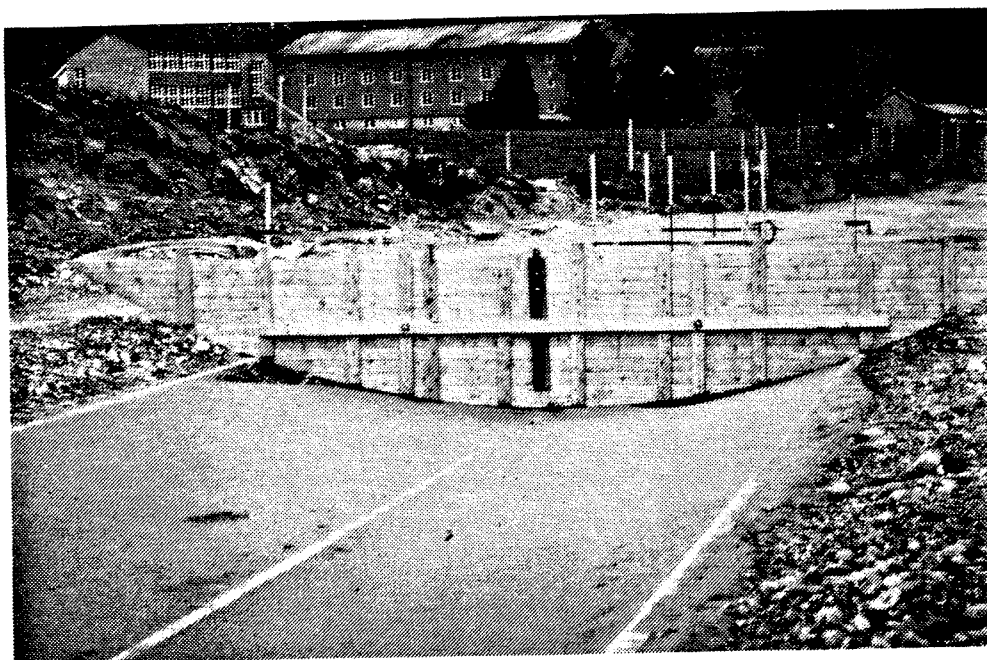


Foto 3. Preformet fundament med mal.

Bredden på det preformete fundamentet skal være min. 3 m eller halve bunnradien, den største av disse.

De øvre 200 mm av fundamentet som er i direkte kontakt med stålplatene, skal bestå av ukomprimert fin grus eller sand. På denne måten kommer det masse inn i korrugeringene. Det er meget viktig at hele bunnen er i kontakt med fundamentet.

5.2. Montering av stålplatene

Platene blir montert sammen med 20 mm diameter bolter i hull med 25 mm diameter. Dette gir fleksibilitet i stålplatene under montering. Boltene blir vanligvis levert i to lengder. De korteste for sammenbolting i skjøter med to plater og de lengste for hjørner med 3 eller 4 plater som overlapper hverandre.

Avhengig av normalkraften i stålplatene brukes 2,3 eller 4 bolter pr. korrugering.

Boltene blir skrudd til med trykkluftdrevne mutter-trekkere.

Boltene skal trekkes til min. moment 200 Nm og max. 340 Nm.

Etter montering og før tilbakefylling skal en viss prosentandel av boltene kontrolleres at de har det foreskrevne moment:

- a) Radielle skjøter: 5% av boltene
- b) Langsgående skjøter: 5% av boltene

90% av de kontrollerte boltene skal ligge innenfor de angitte verdier (mellom 200 og 340 Nm).

Det er flere måter å montere sammen stålplatene. Platene kan monteres plate for plate, eller platene kan formonteres flere stykker, f.eks. bunnplater, sideplater og topplater, som etter formontering heises på plass.

Platene kan også monteres sammen i hele ringer og skrus sammen i radielle skjøter.

Fullstendig sammenmontering av rør kan også utføres, før det løftes på plass.

Den vanligste metoden er formontering av bunnplater, sideplater og topplater. Platene monteres sammen i maler med samme radius som platene. Hovedfordelene med denne metoden er at den tillater parallelt

arbeide flere steder på anleggsstedet, f.eks. kan preparering av fundamentet foregå samtidig med formontering av platene.



Foto 4. Formonterte plater heises på plass.



Foto 5. Mal til formontering av plater.

Det er viktig at ståltverrsnittet får riktig fasong under montering. En nøyaktig preforming av fundamentet er viktig for et vellykket resultat. Ved å måle korder og beregnede avstander under montering av bunnplater og sideplater, vil topplatene falle på plass uten at en trenger å bruke makt for å holde sideplatene i stilling.

5.3. Tilbakefylling

Granulære tilbakefyllingsmasser må brukes i en spesifisert sone rundt konstruksjonen. Størrelsen på sonen av tilbakefyllingsmaterialer er avhengig av kvaliteten på in-situ massene under og ved siden av super-spenn konstruksjonen, overfyllingshøyden, om det er fylling eller skjæring etc.

Generelt kan det sies at bredden på sonen med tilbakefyllingsmasser kan variere fra 2 m til spennvidden av konstruksjonen, avhengig av grunnforhold og beliggenhet.

Egnete tilbakefyllingsmaterialer kan klassifiseres på følgende måte etter graden av brukbarhet:

- I Velgradert grus eller sandig grus
- II Velgradert sand eller grusig sand
- III Ensgradert grus eller sandig grus
- IV Ensgradert sand eller grusig sand

Tilbakefyllingsmasser med innhold av leire eller silt må ikke brukes.

Granulære masser har ikke tidsavhengige deformasjonsegenskaper, og holder seg stabile over lang tid.

Ikke-granulære masser (silt eller leire) har tidsavhengige deformasjonsegenskaper, slik at de kan være akseptable over kort tid, men i langtidsstilstanden vil de få deformasjoner (kryp).

Tilbakefyllingsmassene må legges ut lagvis i lag med tykkelse maksimum 300 mm etter komprimering. Forskjellen i tilbakefyllingsnivået på hver side av konstruksjonen skal ikke overstige 600 mm.

Stein større enn 80 mm skal ikke ligge nærmere stålplatene enn 300 mm.

Tilbakefyllingsmassene skal komprimeres til minimum 97% Standard Proctor.

Det er viktig å få tilbakefyllingsmassene godt innunder nedre del av røret, se fig. 2. Dette krever en del manuelt arbeid, og det kan brukes f.eks. planker og mindre håndholdt komprimeringsutstyr for å få massene godt innunder røret og inn i korrugeringene.

Ved store bunnradier hvor det er vanskelig å komme til, kan massene spyles innunder ved hjelp av vanntrykk. Dette krever god drenering og drenerende masser. Vanntrykket må ikke være for stort.

Komprimeringsutstyret skal alltid arbeide parallelt med røraksen. Dette gir en mer homogen komprimering, enn om utstyret brukes vinkelrett på røret, og sjansen er mindre for å skade røret.



Foto 6. Komprimering langsetter røret.

Kontinuerlig observasjon av bevegelsene i stålrøret er nødvendig under hele tilbakefyllingsprosessen. Ved for store deformasjoner må tungt komprimeringsutstyr (1000-2000 kg vibrovalse) trekkes lenger unna rørveggen og lagtykkelsen må evt. minskes. Lettere komprimeringsutstyr (100-200 kg vibroplate) brukes nærmest rørveggen for å unngå for store deformasjoner.

Når tilbakefyllingsnivået har nådd oppunder underkant trykkbjelke, kan disse forskales, armeres og støpes. Støpingen bør foregå etappevis for å unngå for stort trykk på røret.

Trykksbjelkene gir en vertikal vegg som gjør det lett å oppnå en effektiv komprimering på dette kritiske nivået, som ville vært vanskelig å komprimere.

Trykksbjelkene deler konstruksjonen i en toppbue og sidevegger, se fig. 2, og gir stor knekningsstivhet i denne overgangen.

Dessuten gir trykksbjelken en langsgående avstiving av røret, og medfører at det blir lett å oppnå homogen komprimering langs røret.

Komprimering inntil trykksbjelkene medfører heving av rørtaket. Dette er ønskelig fordi det gir en slags forspenning før massene over taket plasseres og presser rørtoppen noe ned. Dette medfører igjen at sideveggene presses inn mot jorda og mobiliserer passivt jordtrykk. Denne prosessen er viktig for å oppnå godt samvirke mellom jord og stål.

Ved for stor heving av rørtaket under tilbakefylling, kan dette reguleres ved å plassere masser på røret for å motvirke dette.



Foto 7. Masser lagt ut på rørtaket for å hindre for stor heving av toppen under tilbakefylling og komprimering inntil trykksbjelkene.

Neste viktige trinn i tilbakefyllingsprosessen starter når nivået har nådd overkant trykksbjelke.

Massen legges ut på rørtaket fra begge sider ved hjelp av hjullaster eller gravemaskin. Massene skyves forsiktig mot senter av røret uten at anleggs-maskinene kjører ut på rørtaket. Evt. kan det brukes en lett dozer for å skyve massene ut mot senter av røret. På denne måten legges det ut et lag på 40-60 cm over rørtaket.

Etter at dette laget er ferdig utlagt, komprimeres det med vibrovalse som skal kjøre over vinkelrett på rørraksen. Ved komprimering av det første laget over toppen brukes ikke vibrering.

Deretter legges det ut 30 cm lag til minimum overdekning er nådd. Først nå kan det tillates at tyngre anleggsmaskiner passerer over røret.

6. ØKONOMI, LEVETID, MATERIALER OG UTSTYR

Økonomi

Det er tre generelle forhold som i stor grad innvirker på kostnadene ved bygging av super-spenn konstruksjoner:

- Størrelsen på prosjektet
- Beliggenheten av prosjektet
- Spesielle forhold på stedet

Størrelsen på prosjektet, det vil si spenn og lengde på kulverten og mengden av jordarbeid, vil sterkt innvirke både på total- og enhetskostnader.

Beliggenheten av prosjektet påvirker kostnadene på flere måter. En viktig faktor her er tilgjengeligheten til hovedmaterialet i konstruksjonen, tilbakefyllingsmassene. Bruk av stedlige masser kontra lang transportavstand på massene, slår ut sterkt på kostnadene. Lokale priser på evt. innleide maskiner og arbeidskraft spiller også inn. Avstanden til transportlinjer har også innvirkning.

Den tredje generelle faktoren er spesielle forhold på stedet. Dette kan være f.eks. masseutskifting av bløte topplag, midlertidig omlegging av elvetrasé ved bruk som vanngjennomløp, midlertidig omlegging av veg for eksisterende trafikk. Evt. behov for endemurer vil også slå ut på kostnadene.

Selv om disse tre forholdene gjelder generelt for flere byggeprosjekter, slår de sterkt ut på kostnadene for super-spenn konstruksjoner.

En rapport fra Federal Highway Administration i USA (Selig, 1977) antyder kostnadsbesparelser på rundt 30 % sammenlignet med konvensjonelle bruer med tilsvarende spenn. Tilsvarende besparelse er rapportert i Canada.

På Tolpinrud ble besparelser anslått til ca. 25 % framfor konvensjonell bru eller betongkulvert. Her er det ikke tatt med besparelser pga. kortere byggetid.

Ved bruk som rasoverbygg er besparelse anslått til rundt 50 % av konvensjonelle rasoverbygg i armert betong.

De generelle forhold nevnt innledningsvis vil føre til at kostnadene vil variere i betydelig grad.

Materialer

En av de store fordelene ved super-spenn konstruksjoner er enkelheten i utførelsen, og de få materialer som trengs. Nødvendige materialer er:

- Granulære tilbakefyllingsmasser. Mengden av disse avhenger av grunnforhold og størrelse på konstruksjonen
- Korrugerte stålplater
- Bolter og muttere
- Betong til trykkbjelker og evt. fundament for buer, og evt. endemurer
- Armering

Maskiner og utstyr

- Vanlige anleggsmaskiner til masseflytting, f.eks. gravemaskin og hjullaster.
- Komprimeringsutstyr såsom vibrovalse og vibroplate. I tillegg lettere håndholdt utstyr for komprimering under nedre del av røret.
- Kompressor og muttertrekkere for tiltrekking av bolter.
- Kran til løfting og montering av plater
- Bevegelig stillas eller løfte-kurv for skruing og montering av side- og topp-plater.
- Vibrator til betong-arbeid.

Fordeler sammenlignet med konvensjonelle bruer og kulverter

Mange eksisterende super-spenn konstruksjoner er bygd som alternativer til konvensjonelle bruer og kulverter, og det finnes flere momenter som gjør at disse kan være tekniske og økonomisk gunstige. Blant disse er:

1. Kort byggetid. Konstruksjonene er raske å bygge i forhold til andre konstruksjoner med samme spenn. I rasoverbygget på Veitastand ble 170 m stålør montert på 5 uker. Dette innebærer god økonomi og må tas med i vurdering av alternativer.
2. Konvensjonell overbygning kan brukes når veg går over stålørret. I forhold til konvensjonell bru unngås da problemer med vedlikehold av brudekket, og vegen får jevn overbygning.
3. Super-spenn konstruksjoner med tilstrekkelig overdekning kan bære meget store trafikkklaster, og er mye brukt under flyplasser og i gruveindustrien i Amerika og Australia.
4. Bueformen på konstruksjonene kan i mange tilfelle gi estetisk gode løsninger, særlig hvor det er viktig å ta vare på eksisterende terreng ved beplantning etc.
5. Konstruksjonene kan være alternative løsninger på steder hvor grunnforholdene og bæreevnen er for dårlig til økonomiske brufundamenter.
6. Ved bruk som rasoverbygg er fleksibiliteten i konstruksjonene gunstig for opptak av trykkstøt fra snøras. Ved bruk som rasoverbygg har stålør også vist seg som en økonomisk meget gunstig løsning.

Holdbarhet og levetid

Korrosjon har vært et problem for stålør brukt som vanngjennomløp. Dette har ført til intensiv forskning på korrosjon av stålør.

I Amerika har totalt 47000 stålør undergått feltobservasjoner og laboratorieforsøk (AISI, 1984).

Denne enorme massen med forsøk har gjort det mulig å evaluere korrosjon og levetid i forskjellige områder og miljøer.

Korrugerte stålplater og alle rørdetaljer som blir brukt i super-spenn konstruksjoner er varmforsinket med min. 60 μm sinktykkelse.

I spesielt aggressive miljøer bør stålplatene belegges med bitumen eller epoxy.

Epoxy-behandling av stålplatene fra fabrikk medfører en ekstra kostnad på ca. 20%, og er et effektivt virkemiddel for å motvirke korrosjon i aggressive omgivelser.

Det bør forlanges at rørene fyller sin funksjon i min. 50 år uten at det er nødvendig med utskifting eller større reparasjoner.

Korrosjon på stålrør som ikke brukes som vann-gjennomløp har ikke vært noe problem ved bruk av granulære tilbakefyllingsmasser med høy resistivitet og lavt oksygen-innhold.

Super-spenn konstruksjoner som er dimensjonert etter etter AASHTO, OHBDC eller AISI er beregnet å ha en levetid på min. 50 år.

REFERANSER:

- Abdel-Sayed G. and Bakht. B., 1981, "Soil-Steel Structure Design by the Ontario Code: Part 2. Structural Considerations", Canadian Journal of Civ.Eng., Vol. 8, No. 3, pp. 331-341.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 1977, "Standard Specifications for Highway Bridges".
- American Iron and Steel Institute (AISI), 1984, "Handbook of Steel Drainage and Highway Construction Products".
- Demmin, J., 1966, "Field Verification of Ring Compression Conduit Design", Highway Research Record No. 116, Highway Research Board.
- Handy, R.S, 1985, "The Arch in Soil Arching", Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 111, No. 3, pp. 302-318.
- Knutson, A. 1984, "Superspankulvert ved Tolpinrud, E68, Ringerike", Intern rapport nr. 1155, Veglaboratoriet.
- Lefebvre et.al., 1976, "Measurement of soil Arching above a Large diameter Flexible Culvert", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 13, No. 1, pp. 58-71.
- Luscher, U. and Høeg, K., 1965, "The Action of Soil around Buried Tubes", Proc. 6th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Eng., Montreal, Vol II, pp. 396-400.
- Meyerhof, G.G. and Baikie, L.P., 1963, "Strength of Steel Culvert Sheets Against Compacted Sand Backfill", Highway Research Record No. 30, Transportation Research Board.
- Mirza, C. and Bakht. B., 1981, "Soil-Steel Structure Design by the Ontario Code: Part 1. General and Geotechnical Considerations" Canadian Journal of Civ.Eng., Vol. 8, No. 3, pp. 317-330.
- Mirza, C. and Porter W.A., 1981, "Construction Considerations and Controls for Soil-Steel Bridge Structures", Canadian Journal of Civ.Eng., Vol. 8, No. 4, pp. 519-534.
- Ontario Ministry of Transportation and Communications, 1983, "Ontario Highway Bridge Design Code" (OHBDC).
- Selig, E.T. et. al., 1977, "Review of the Design and Construction of Long-Span, Corrugated-Metal, Buried Conduits", Federal Highway Administration,

Offices of Research and Development,
Washington D.C.

Selig E.T., 1985, "Review of Specifications for Buried Corrugated Metal Conduit Installations", Transportation Research Board.

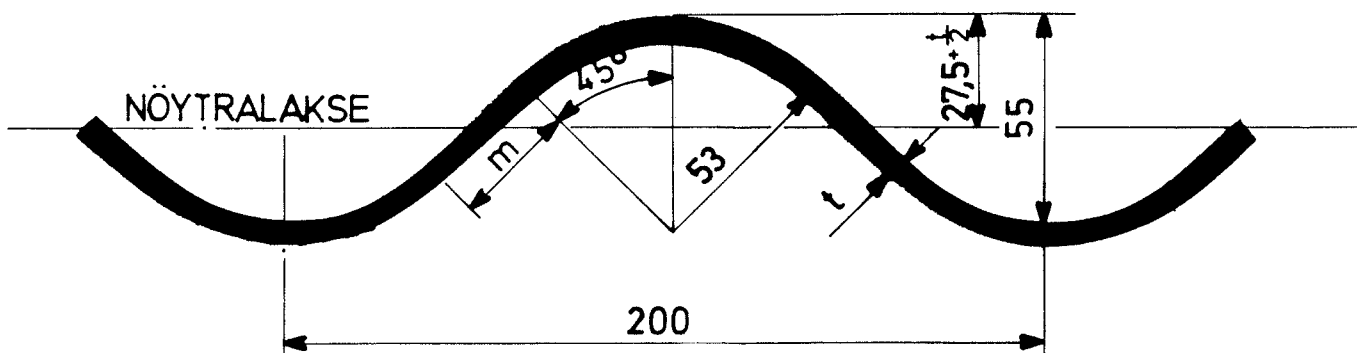
Terzaghi, K, 1936, "Stress Distribution in Dry and Saturated Sand Above a Yielding Trap-Door." Proc. 1st Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Eng., Cambridge, Mass., Vol. I, pp. 307-311.

Terzaghi, K, 1943, "Theoretical Soil Mechanics", John Wiley and Sons, Inc.

White H.L. and Layer J.P., 1960, "The Corrugated Metal Conduit as a Compression Ring". Proceedings of the Highway Research Board, Vol. 39, pp. 389-397.

JV/BN

KORRUGERING 200 x 55
M = 1 : 2



TVERRSNITTDATA

Platetykkelse (mm)	Tverrsnitt A (mm ² /m)	Tregghetsmoment I (mm ⁴ /mm)	Motstandsmoment W (mm ³ /mm)	Tregghetsradius i (mm)
4.00	4730	1811	61.4	19.6
4.75	5620	2157	72.2	19.6
5.50	6510	2506	82.8	19.6
6.25	7400	2856	93.3	19.7
7.00	8293	3208	103.5	19.7
8.00	9472	3687	117.1	19.7

FIG. 1 KORRUGERT PROFIL MED TVERRSNITTDATA

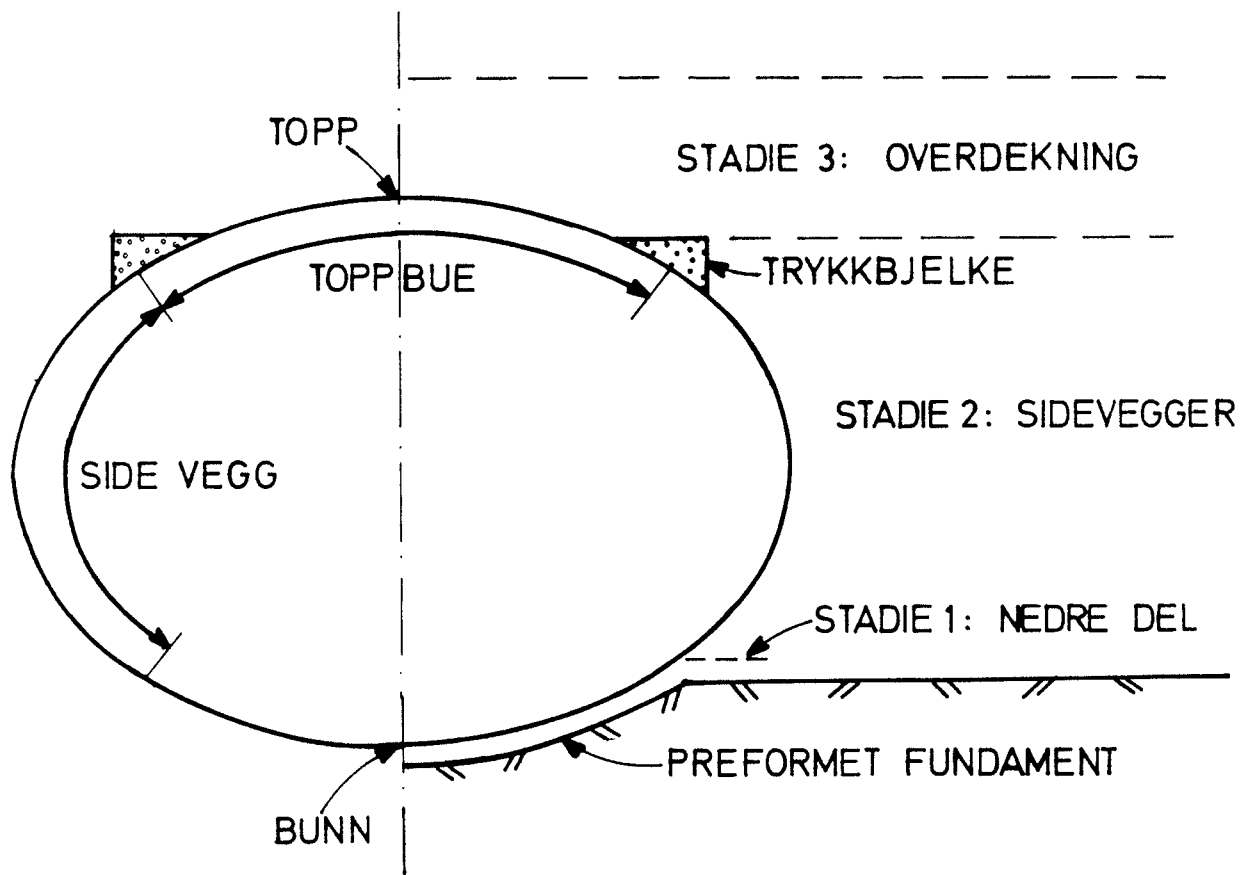


FIG. 2 TERMINOLOGI OG TILBAKEFYLLINGSSTADIER

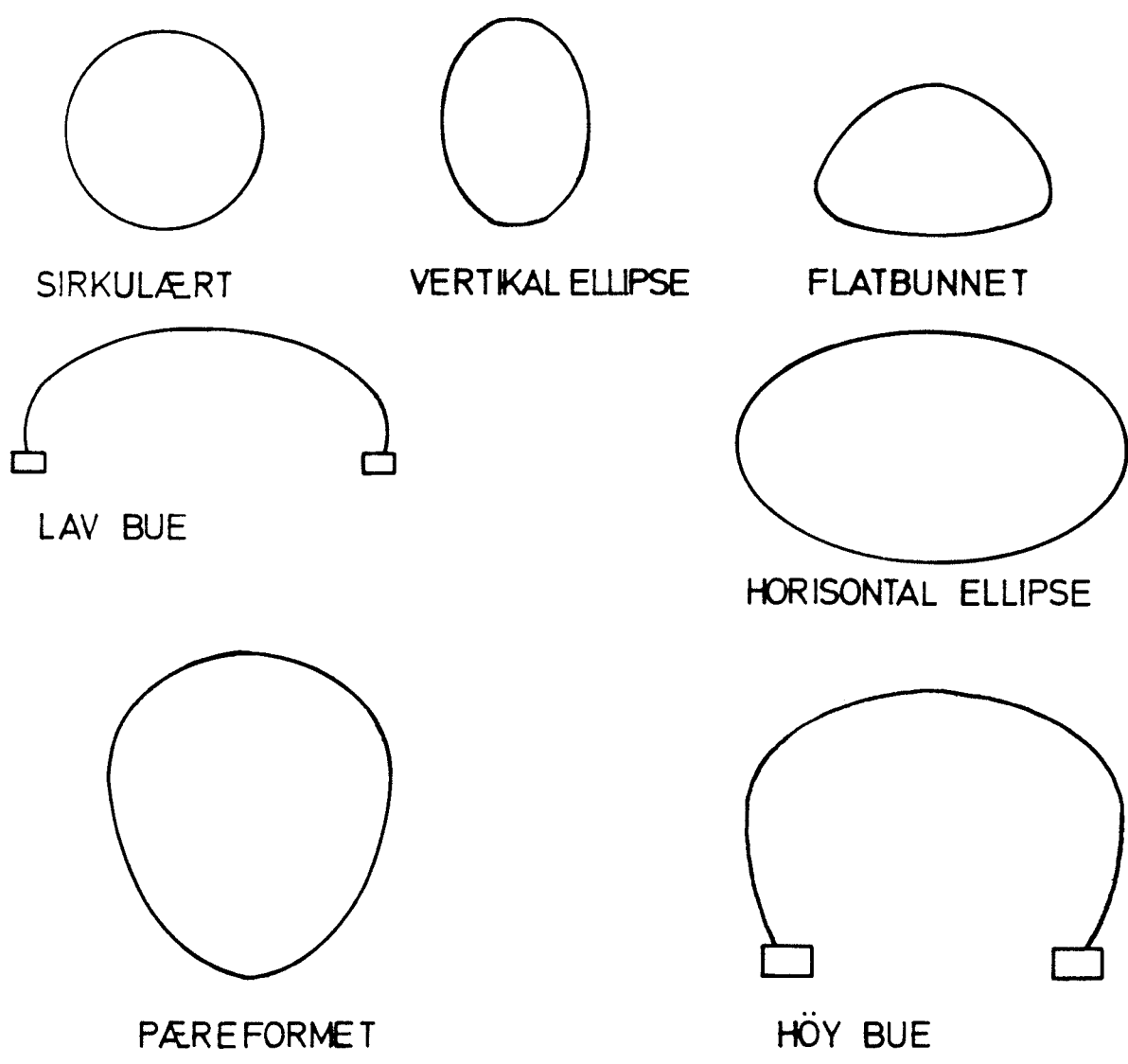


FIG. 3 DE MEST VANLIGE TVERRSNITTSFORMER

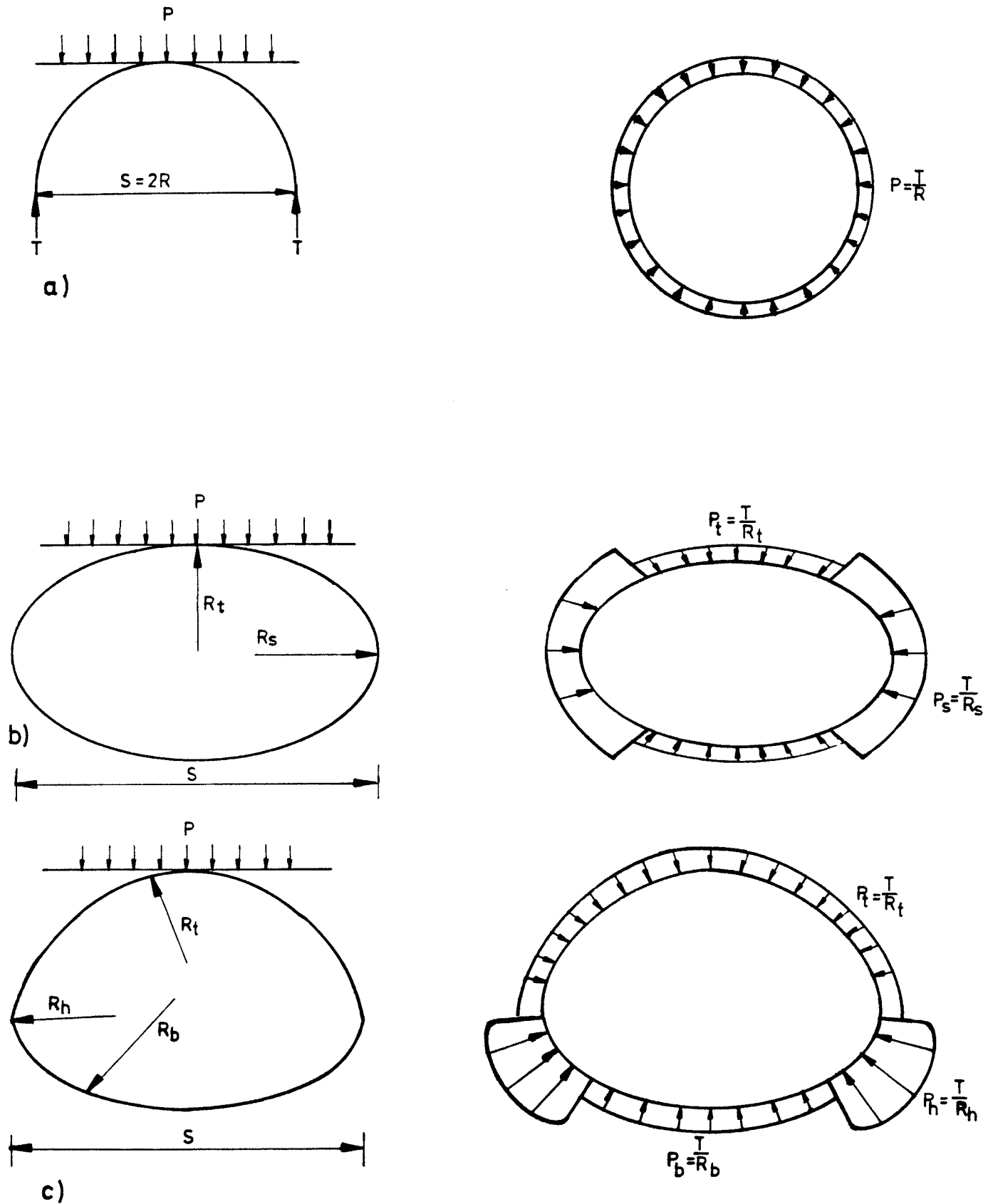
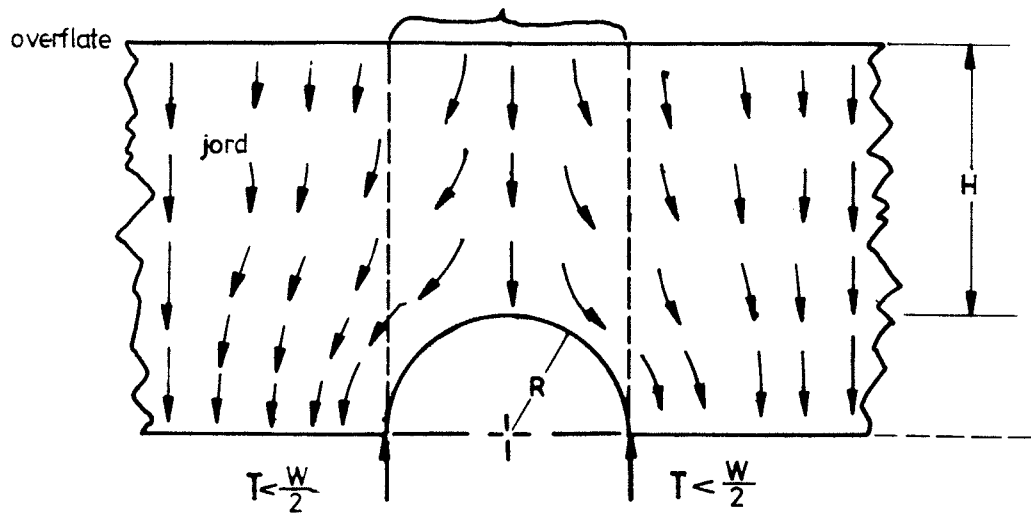
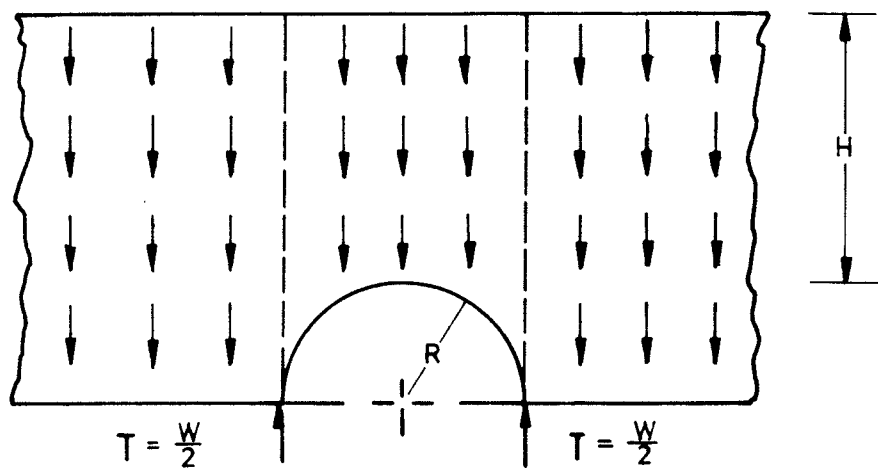


FIG. 4 JORDTRYKKSFORDELING ETTER "RING COMPRESSION" TEORIEN.
 a) SIRKULÆRT TVERRSNITT b) HORIZONTAL ELLIPSE
 c) FLATBUNNET

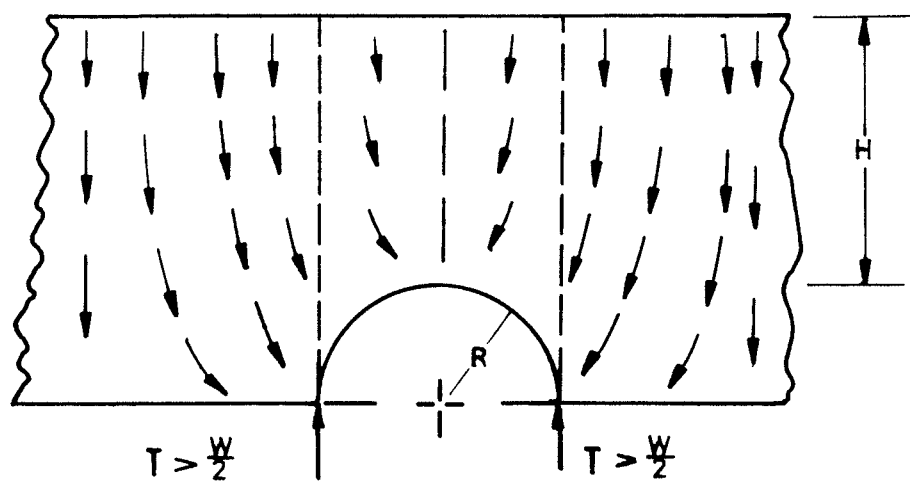
$$W = \gamma H^2 R$$



Figur 5a. Positiv arching



Figur 5b. Nøytral arching



Figur 5c. Negativ arching

FIG. 5 ARCHING - EFFEKTER