

SBF 2012 A0232 - Åpen

Rapport

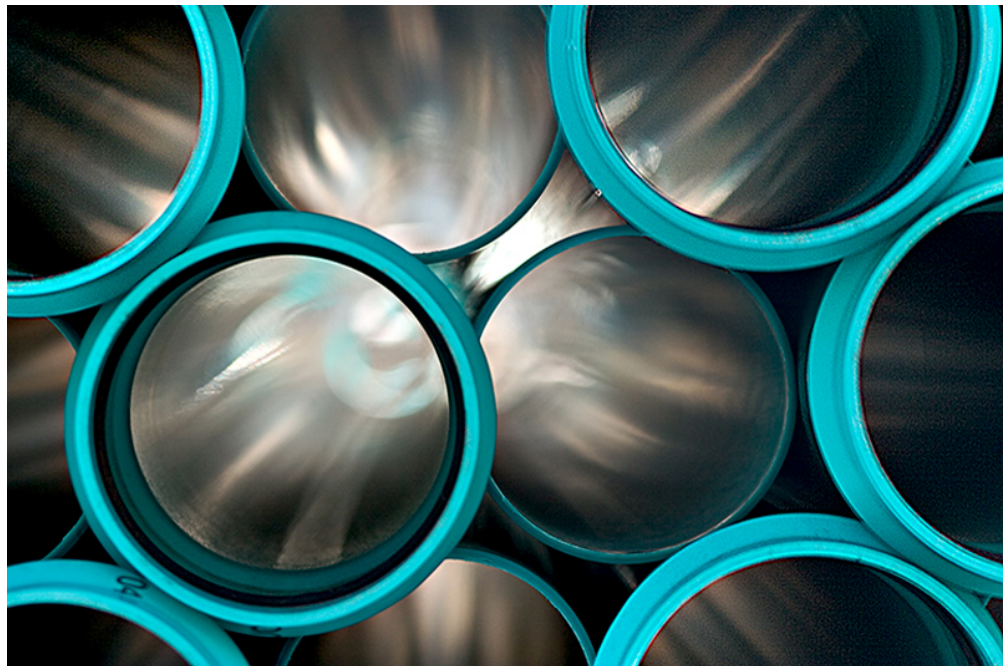
Vurdering av krav til overdekning for kabler og rør langs riksveg

Forfattere

Kjell Arne Skoglund

Erik Tørum

Inge Hoff



SINTEF Byggforsk

Infrastruktur

2012-10-22

SINTEF Byggforsk

Postadresse:
Postboks 4760 Sluppen
7465 TrondheimSentralbord: 73593000
Telefaks:byggforsk@sintef.no
<http://www.sintef.no/Byggforsk/>
Foretaksregister:
NO 948007029 MVA

Rapport

Vurdering av krav til overdekning for kabler og rør langs riksveg

EMNEORD:

Veg
Rør og kabler
Overdekning
Riksveg

VERSJON

1.1

DATO

2012-10-22

FORFATTERE

Kjell Arne Skoglund
Erik Tørum
Inge Hoff

OPPDRAKSGIVER

Samferdselsdepartementet

OPPDRAKSGIVERS REF.

Brita Ottem

PROSJEKTNR

3C0920

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

19 + 2 vedlegg

SAMMENDRAG

Vurdering av retningslinjer

SINTEF har i denne rapporten vurdert to forslag til retningslinjer for legging av kabler og rør langs riksveg fra hhv. Statens vegvesen og ledningsbransjen. De to forslagene har begge sine styrker og svakheter, og de ulike punktene er detaljert kommentert. Det er også gjennomført et par beregningseksempler med en relativt enkel materialmodell for å se om forslagene rent mekanisk er realistiske. Ut over det rent mekaniske, er det også en rekke andre tekniske faktorer som har betydning, som f.eks. dekkelitasje, vedlikehold og pålitelighet til ledningsnettet.

UTARBEIDET AV

Kjell Arne Skoglund

SIGNATUR



KONTROLLERT AV

Inge Hoff

SIGNATUR



GODKJENT AV

Svein Willy Danielsen

SIGNATUR



RAPPORTNR

SBF 2012 A0232

ISBN

978-82-14-05414-9

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBESKRIVELSE
1.0	2012-08-20	Fullstendig utgave, oversendt Samferdselsdepartementet. Mulighet for at ev. kommentarer kan innarbeides i en senere, revidert utgave.
1.1	2012-10-22	Endelig utgave, oversendt Samferdselsdepartementet. Trykkfeil er rettet og noen mindre endringer er gjort.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning og bakgrunn	5
2	Målsetting med prosjektet.....	5
3	Foreslåtte løsninger	5
3.1	Generelt	5
3.2	Forslag fra Statens vegvesen.....	6
3.3	Forslag fra bransjen.....	6
3.4	Sammenligning og vurdering av de alternative forslagene	6
3.4.1	Punkter som er uforenelige	7
3.4.2	Punkter som det er noe uenighet om.....	8
4	Beregningseksempler for ulike rør og overdekningsdybder	9
4.1	Generelt	9
4.2	Beregningsfilosofi.....	10
4.3	Antagelser vegoverbygning.....	11
4.4	Beregningseksempel 1 - 20 mm kabel	11
4.4.1	Modeller og beregninger for bransje- og SVV-løsningene	11
4.4.2	Sammenstilling av resultatene	13
4.5	Beregningseksempel 2 - 110 mm rør	14
5	Diskusjon	16
5.1	Funn fra analysene	16
5.2	Andre forhold som bør ivaretas.....	17
6	Konklusjoner	19
7	Forslag til videre arbeid	19
8	Referanser.....	19
VEDLEGG A	Sammenligning og vurdering av tekniske regler i forslagene til retningslinjer fra Vegvesenet og fra bransjen	1
VEDLEGG B	Beregningseksempler	1
B.1	Beregningseksempel 1 - 20 mm kabel	1
B.1.1	Antagelser	1
B.1.2	Bransjeløsningen	1
B.1.3	Forslag fra SVV	5
B.1.4	Sammenligning av forslag.....	7
B.1.5	Sammenligning med klassiske løsninger	9
B.2	Beregningseksempel 2 - 110 mm rør	10
B.2.1	Antagelser	10

B.2.2	Bransjeløsningen	11
B.2.3	Forslag fra SVV	13
B.2.4	Sammenligning av forslag.....	15
B.2.5	Sammenligning med klassiske løsninger	16

1 Innledning og bakgrunn

Samferdselsdepartementet har engasjert SINTEF Byggforsk til å vurdere to forslag til tekniske retningslinjer for legging av kabler og rør ved riksveger. Det foreligger to utkast til slike retningslinjer - ett fra Statens vegvesen Vegdirektoratet (SVV) og ett fra bransjen. Hovedfokus er å se nærmere på krav til overdekningen siden det er nokså stor uenighet om denne i de to foreliggende forslagene.

Ved legging av kabler og rør under eller på siden av veg er det viktig at disse blir lagt slik at funksjonaliteten til både veg og det som blir installert av kabler og rør blir ivaretatt. Som utgangspunkt er forslagsstillerne enige om at formålet med bestemmelsene er å:

- Sikre at trafikantene ikke påføres unødig ulempe i form av redusert trafiksikkerhet og fremkommelighet, både i graveperioden og etter fullført arbeid.
- Sikre at veg og gategrunn ikke forringes unødvendig.
- Sikre at ledningseier/entreprenør kan gjennomføre prosessen så raskt og kostnadseffektivt som mulig.
- Sikre hensynet til allerede nedlagte ledninger.
- Unngå unødig ulempe for naboer og næringsdrivende.

SINTEF har ingen innvendinger mot disse punktene, og legger dem til grunn i arbeidet.

2 Målsetting med prosjektet

Målsettingene med prosjektet er som følger:

- ✓ Hovedmålsettingen er å komme fram til et hensiktsmessig og godt forslag til tekniske retningslinjer for kabel- og rørføringer under og langsmed riksveg.
- ✓ Delmål 1: Å vurdere de to utkastene til tekniske retningslinjer som foreligger ut fra en teknisk synsvinkel, dvs. hva som er rimelige krav ut fra f.eks. fare for redusert vegkvalitet (deformasjoner, oppsprekking m.v.), mulighet for fortsatt effektiv drift og vedlikehold av vegen, sikkerhet mot skade for nedgravde kabler og rør, hensiktsmessig drift og vedlikehold av kabler og rør. Konklusjonen av denne vurderingen vil være hvilken av de foreliggende retningslinjene som etter SINTEFs vurdering er den beste ut fra en teknisk synsvinkel. I tillegg vil vi vurdere om det foreligger et forbedringspotensial for det beste utkastet.
- ✓ Delmål 2: Dersom SINTEF ser et forbedringspotensial i retningslinjene vil SINTEF utarbeide et nytt alternativ enten som forbedringsforslag til det anbefalte, eksisterende utkastet, eller som et selvstendig tredje forslag.

3 Foreslåtte løsninger

3.1 Generelt

De to forslagene til retningslinjer vil bli gjennomgått og deretter sammenliknet. SINTEF har derfor vurdert de to alternativene detaljert og sammenliknet dem punkt for punkt. Vurderingene som er gjort er basert på kjennskap til vegen som konstruksjon.

Når det gjelder den største forskjellen mellom de to forslagene, nemlig de ulike leggedybene, har SINTEF laget to beregningseksempler for å vurdere den strukturelle integriteten av de to løsningene ut fra antatt dimensjonerende situasjon for å gi kvantifiserbare resultater. Dette er først og fremst utført for å sammenligne de to foreslåtte løsningene og ikke for å utføre en dimensjonering av kabel- og rørkonstruksjoner. Gyldigheten av de numeriske beregningene er vurdert.

Det er en rekke forhold utenom det rent mekaniske som må vurderes. SINTEF har i denne sammenhengen hovedsakelig begrenset seg til andre tekniske forhold som kan ha innflytelse.

3.2 Forslag fra Statens vegvesen

Den tekniske delen av forslaget til retningslinjer fra Statens vegvesen er lagt til grunn. De delene som SINTEF har vurdert er gjengitt i Vedlegg A, med kapittelhenvisning til retningslinjene. Det understrekes at det kun er de delene som er av mer teknisk karakter som er vurdert.

SINTEFs overordnede vurdering er at forslaget er tilpasset både føring langs veg og føring gjennom veg. Det er også gjort grundige vurdering ift. graving i tettbygde strøk – det er mye vekt på fortau, gang-sykkelveg, arealer med heller/belegningsstein/gatestein samt grøntarealer.

Et hovedprinsipp for SVV er at overdekningen normalt skal være 80 cm, og at man skal tilstrebe 3 m avstand ved føring langs veg. Et viktig unntak er at bredbånd/telekabler kan legges grunnere, dvs. 40 cm overdekning. Istandsetting skal gjøres til opprinnelig tilstand eller som ny veg ihht. Håndbok 018.

En detaljert gjennomgang er å finne Vedlegg A, der både SVVs og bransjens forlag er vurdert og dessuten kommentert fra SINTEFs side.

3.3 Forslag fra bransjen

Forslaget til retningslinjer fra bransjen er her lagt til grunn. De delene som SINTEF har vurdert er gjengitt i Vedlegg A, med kapittelhenvisning til retningslinjene. Det understrekes også her at det kun er de delene som er av mer teknisk karakter som er vurdert.

Forslaget til bransjen kategoriserer vegene/gatene etter type og etter ÅDT, og har ulike tiltak basert på dette. SINTEF mener også å kunne se at bransjeforslaget er mest orientert mot gjennomføring under veg, og ikke så mye på føring langs veg. SINTEF har likevel gjort en avgrensing idet det ikke er vurdert krav for atkomstveger og boliggtater med ÅDT (årsdøgnstrafikk) under 1500. Dette er lavtrafikkerte veger som ikke vil omfattes av riksveger. Noen riksveger kan riktignok ha under 1500 i ÅDT, men det vurderes at disse vegene likevel bør behandles som like viktige som veger med over 1500 i ÅDT.

Som et hovedprinsipp foreslår bransjen å ha faste dybder for overdekning på minimum 10 cm, 25 cm og 40 cm for rørdiametre på hhv. inntil 20 mm, 50 mm og 125 mm. Er overdekningen mer enn 80 cm skal alle rørdimensjoner kunne legges (også over 125 mm). På samme måte som for SVV, forutsetter også bransjeforslaget at istandsetting skal gjøres til opprinnelig tilstand eller som ny veg ihht. Håndbok 018.

En detaljert gjennomgang er å finne Vedlegg A, der både bransjens og SVVs forlag er vurdert og dessuten kommentert fra SINTEFs side.

3.4 Sammenligning og vurdering av de alternative forslagene

Siden mye i de to forslagene er likt, vil sammenlikningen ta utgangspunkt i det som skiller dem. Det er gjort en detaljert gjennomgang av begge forslagene i Vedlegg A, der det skilles mellom punkter der det er enighet, noe uenighet samt der man er helt uforenelig. Nedenfor gjennomgås punkter der SVV og bransjen er helt uforenelige samt de det er noe uenighet om. I tillegg finnes SINTEFs vurderinger for hvert enkelt punkt. De delene det er enighet om tas ikke opp her, men kan finnes i Vedlegg A.

3.4.1 Punkter som er uforenelige

Først ser vi på de punktene der de to forslagene vurderes å være uforenelige. Det vises til Tabell 3.1 under.

Tabell 3.1: Punkter i forslagene som er uforenelige. Nr. i cellene referer til avsnittsnr. i forslagene.

Vegvesen	Bransje	SINTEFs vurdering
C 3.2 Avstand fra veg, hovedprinsipp: Lengst ut mot 3 m fra vegkant	4.3 Vag beskrivelse av føring utenfor vegkant: "Ledninger i veg, gang/sykkelveg og fortau, ut til en avstand av 3 m fra vegkant [...] kan ha differensiert overdekning avhengig av veg og ledningstype". Tabellene forutsetter ledning i veg.	Avstand for langsgående føring kan først og fremst begrunnes i at man unngår skader på vegen og er mer trafiksikkert under anlegg (er utenfor vegen). Et alternativt prinsipp er å søke å legge ledninger utenfor grøft. SINTEF kan likevel støtte Vegvesenets hovedprinsipp, men det er likevel behov for gode regler der ledning blir lagt i veg.
Vegvesenet har ikke noe skille på vegtyper og ÅDT	4.3 Ledninger i veg (til 3 m avstand) – skiller m/m. vegtyper og ÅDT.	Kan være fornuftig å skille mellom vegtyper og ÅDT rent generelt, men siden vi ser kun på riksveg er det naturlig at ÅDT ikke legges like stor vekt på (vegen er viktig uansett og har nesten alltid stor ÅDT).
C 3.2 Overdekning: Normalt 80 cm (også ved kryssing)	4.3 Overdekning: 10 cm for inntil 20 mm trekkerør 25 cm for inntil 50 mm trekkerør 40 cm for inntil 125 mm trekkerør (tilstrekkelig ringstivhet) >80 cm for alle dimensjoner (tilstrekkelig ringstivhet)	Dette punktet ses nærmere på i egne beregninger. Men en viss "føre-var"-holdning kan være på sin plass, da blir muligens 10 cm for lite i høytrafikkerte veier. 80 cm virker dypt – må grave mer og større etterkompaktering fra trafikken må påregnes.
C 3.2 Unntak fra overdekningskravet: <ul style="list-style-type: none"> • Tele/bredbånd: Mindre overdekning dersom minst 2,5-3 m fra vegkant, minimum minst 40 cm overdekning (eier tar risikoen). • Ved større avstand enn 3 m: Kan legges med mindre overdekning enn 80 cm (eier tar risikoen) 	4.3 Bransjen har ikke gitt regler for rør og kabler på siden av veg, men ved kryssing kan man gå ned til 10 cm overdekning (frest spor).	Dette punktet ses nærmere på i egne beregninger. Men en viss "føre-var"-holdning kan være på sin plass, da blir muligens 10 cm for lite i høytrafikkerte veier.
Vegvesenet har ikke med denne bestemmelsen	4.3 Tillates fresing for ledning inntil 20 mm langs kantstein	Bør ikke tillates på innsiden av kantstein siden kantsteinen gjerne er festet på innsiden med betong som er armert. Kan gi dårligere feste for kantsteinen.
C 4.4.3 Fortau: Mindre enn 3 m bredt skal reasfalteres i full bredde	Ikke nevnt	Kunne vært en bestemmelse om reasfaltering kun dersom mindre enn 1 m gjenstående bredde også her som for fortau med mer enn 3 m bredde (jf. punkt det er enighet om, se Vedlegg 1, pkt. C 4.4.3/5.4.3). Vil være smidigere, men neppe gi så store konsekvenser i praksis. Kan ev. innføre tallfestede krav til jevnhet.

3.4.2 Punkter som det er noe uenighet om

Punktene der man er noe uenige er gitt i Tabell 3.2 nedenfor.

Tabell 3.2: Punkter i forslagene med noe uenighet. Nr. i cellene referer til avsnittsnr. i forslagene.

Vegvesen	Bransje	SINTEFs vurdering
A 3.6 Normalt ikke gitt gravetillatelse i veg- og gategrunn som har vegdekke nyere enn 3 år. Vegmyndigheten kan fastsette lengre graveforbud. Ved tverrgrøft kreves utkiling og asfaltering i 25 m lengde.	4.2 Samme som SVV, men grøtefrie løsninger velges normalt. Ingen krav om lengde reasfaltering.	25 m reasfaltering virker mye. Anses tilstrekkelig å reasfaltere der asfalt er fjernet (frå stort fortanning). Alternativt kunne man tenkt seg å sette et jevnhetsmål. Å normalt satse på grøtefrie løsninger virker fornuftig.
B 3.1 Vegmyndigheten kan kreve at kryssing av en veg med ledninger eller kabler, skal utføres ved boring eller ved pressing av rør.	4.1 Som SVV, men bare unntaksvis for gang-/sykkelveger og veger med ÅDT < 5000.	Hensynet til lokale forhold (f.eks. teknisk gjennomførbarhet), trafikkikkerhet og trafikkavvikling må veie tungt. Er strengt tatt en teknisk-økonomisk vurdering der alle interne og eksterne kostnader bør hensyntas.
B 3.3.1 Ledningseier skal i forkant av gravearbeidet dokumentere graveområdets tilstand	2.3 Bare hvis betydelig avvik fra krav, og kan da søke dekning for kostnader til standardheving	Enkel dokumentasjon f.eks. i form av bilder kan være greit for ev. avklaring av tvistesaker. SINTEF har ikke vurdert dette nærmere.
C 3.2 Asfaltdekke: Skjæres minimum 50 cm utenfor prosjektert/utført topp grøftekant	4.3 30 cm utenfor prosjektert topp grøftekant, ellers som SVV	Bør være fra prosjektert/utført grøftekant for å sikre at stabilitet er ivaretatt også ved utførelse.
C 3.3.1 Trær: Ikke nærmere enn 5 m eller dryppsoner	4.4 2 m eller dryppsoner	SINTEF har ikke kompetanse på å vurdere dette
C 4.1 Utkiling i fast dekke: <ul style="list-style-type: none"> Kryssende grøft, overdekning større enn 0,5 m: 2 m utkiling, dybde 0,5 m Langsgående, overdekning større enn 0,5 m: 1 m, utkiling, dybde 0,5 m 	5.1 Samme som SVV, men bare utkiling dersom grøft går under forsterkningslag eller forsterkningslag ikke eksisterer. Har ikke kvantifisert dybdekrav for når utkiling skal gjøres.	SVVs forslag virker mest fornuftig her. Forsterkningslaget kan være nokså dypt, så det vil ikke være rimelig å sløyfe utkiling.
C 4.3.1 Forsterkningslag: Samme tykkelse som på stedet	5.3 Som Håndbok 018 (ny veg)	SINTEF anbefaler SVVs løsning, dvs. tykkelse som på stedet, dvs. mest mulig likt nærliggende vegkropp. Unødvendig å grave i undergrunnen for ev. å øke forsterkningslagstykkelsen opp mot Hb 018 sine krav, kan gjøre vondt verre.
C 4.3.2 og C 4.3.3 Bærelag og vegdekke: Samme tykkelse som eksisterende, minimum som for nybygget veg (Hb 018)	5.3 Vegdekke: Samme som SVV, bærelag ikke nevnt eksplisitt, men Hb 018 skal følges.	SINTEF anbefaler SVVs løsning, dvs. tykkelse som på stedet, dvs. mest mulig likt nærliggende vegkropp, eller minimum som for nybygd veg. Et viktig unntak kan være dersom eksisterende asfaltdekke er urimelig tykt – da bør det vurderes tynnere dekke.

Vegvesen	Bransje	SINTEFs vurdering
C 4.4.2 Fortanning (asfalt): Ved tykkelse mer enn 6 cm. 30 cm bredde, dybde 30-50 mm, ikke mer enn halve tykkelsen. Unntak: Ved dårlig tilstøtende dekke sløyfes fortanning etter godkjenning av vegmyndighet.	5.4.2 Som SVV, men kun dersom mer enn 8 cm tykkelse	Det kan være vanskelig rent praktisk å få til fortanning ved kun 6 cm tykkelse; gjenværende asfalt blir tynn og kan sprekke opp, dessuten må største steinstørrelse i asfæltmassen begrenses til 11 mm ved kun 30 mm tykkelse.
C 4.4.2 Skal ikke være kant m/m. sykkelfelt og kjørefelt.	Ikke nevnt eksplisitt, men jevnhet og høydeforskjeller i skjøter skal tilsvare nytt dekke	Kanter og ujevnheter bør unngås.
C 4.4.4 Gang og -sykkelveg: Alltid reasfaltering i full bredde	5.4.4 Kun reasfaltering i full bredde dersom smalere enn 2,5 m	Bransjekravet virker smidigere og gir bedre ressursutnyttelse. Kan ev. innføre tallfestede krav til jevnhet for å sikre god kvalitet.
C 4.5 Midlertidig istandsettelse: Dersom permanent istandsetting ikke kan utføres, legges et midlertidig dekke av varmasfalt med tykkelse avtalt med vegmyndigheten. Kaldasfalt kan benyttes når varmasfalt ikke er å få tak i. Topp vegdekke skal ikke gi fare eller ulempe for ferdsel. Permanent istandsetting gjøres når forholdene gjør dette mulig, eller innenfor frist.	5.5 Som SVV, men tilføy at dersom vegmyndighet har planer for reasfaltering som berører ledningsgrøften, kan ledningseier gi anleggsbidrag til dette og selv avslutte arbeidet med en midlertidig overflate.	Enig i hvordan midlertidig istandsettelse skal skje. Bransjens tilleggsforslag høres fornuftig ut, men slike ting bør muligens avtales på forhånd.
SVV nevner ikke dette	6 Krav til jevnhet for det reparerte dekket er tilsvarende som angitt for nytt dekke og skal følge håndbok 025 Prosesskoden. Ettersetninger skal repareres straks hvis trafikkfare, eller seinest innen neste sommersesong (seinest 1. juli).	Er enig med bransjen i dette. Det er krav som vil sikre god kvalitet på arbeidet, og sikre lang levetid på det reparerte dekket. Trolig er ikke SVV uenig i dette, men har bare ikke sagt dette eksplisitt i sitt forslag.

4 Beregningseksempler for ulike rør og overdekningsdybder

4.1 Generelt

Som nevnt i Tabell 3.1, en vesentlig forskjell mellom de to forslagene til retningslinjer er de ulike overdekningsdybdene. Dette er den mest iøynefallende uenigheten mellom de to forslagene. Hva konsekvensene er av de ulike overdekningsdybdene er vanskelig å vurdere kvalitativt. SINTEF har derfor laget to tenkte tilfeller med ulik overdekning og utført noen beregninger for å sannsynliggjøre ev. forskjeller mellom de ulike løsningene. Forskjeller er så analysert og sammenliknet.

I hovedsak ses det på hvorvidt trekkerørene kan tåle den belastningen de må påregnes å bli utsatt for. Slik sett kan man si at man ser problemstillingen fra ledningens ståsted. Like fullt, dersom rørene skulle vise seg å være for svake, så er det også et problem for selve vegen. Med et kollapset rør vil også deformasjoner og sprekker kunne forplante seg opp til overflaten av vegdekket.

Detaljene i beregningene er vist i Vedlegg B, men hovedtrekkene gjennomgås her.

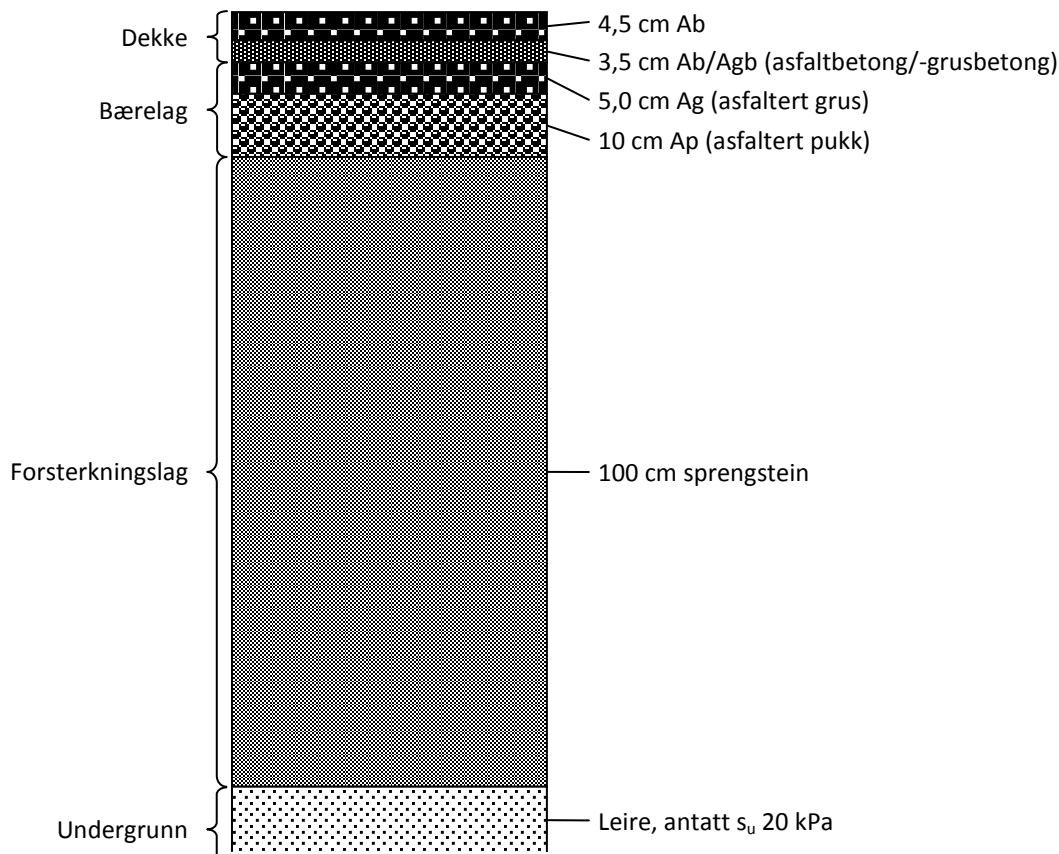
4.2 Beregningsfilosofi

Det er ikke SINTEF bekjent om det allerede ligger noen form for beregninger bak de to foreslåtte løsningene. SINTEF ønsker å angripe denne problemstillingen analytisk, ved å se på krefter og deformasjoner som konstruksjonene i grunnen blir utsatt for. Dvs. kontrollere om typisk brukte kabler og rør har tilfredsstillende ringstivhet for å tåle belastningssituasjonen under en veg. Det er i analysene antatt at det ikke er noe trykk innvendig i kabel-/rørverrsnittene. Dvs. at differansetrykket konstruksjonen utsettes for kun består av spenninger fra vegkroppen samt trafikklasten som virker på vegen.

Hensikten med beregningene som er utført i denne rapporten, er å sammenligne de to løsningene. Dvs. å se på den relative effekten ved de to foreslåtte løsningene. Det er utført beregninger på to typiske kabel- og rørverrsnitt. Både bransjeforslaget og forslaget fra SVV er analysert.

For å kunne vurdere de to foreslåtte løsningene opp mot hverandre er det utført elementmetodeberegninger (FEM) i PLAXIS /6/. Det er tatt utgangspunkt i et vegfundament for en hovedveg på ÅDT > 5000 basert på krav som stilt i SVVs håndbok 018 /2/. Det er antatt et dekke med to lag av varmblandet (Ab) asfalt i dekket, deretter bærelag av Ab og asfaltert puk (Ap). Det er benyttet et forsterkningslag av sprengstein på 100 cm. Oppbygging av vegkroppen som er benyttet i disse analysene er vist i Figur 4.1.

Ellers er det verdt å merke seg at PLAXIS-analysen er i to dimensjoner (2D), dvs. plan tøyningstilstand. Dette innebærer at vi ser på et snitt som blir antatt å strekke seg uendelig inn og ut av planet vi betrakter. Følgelig blir deformasjonene, og dermed tøyningene null ut av planet – vi tar kun hensyn til tøyningene i det planet vi betrakter. Dette er en vanlig forenkling, og fører til en vesentlig enklere modell å regne på.



Figur 4.1 Oppbygging av vegverrsnitt som er benyttet i analysene.

Det er tatt utgangspunkt i en last på vegdekket på 900 kPa. Denne er antatt fordelt på et areal som tilsvarer halvparten av 10 tonns aksellast. Dette tilsvarer omtrent en lastflate på 30 cm i diameter, og i vår 2D-modell benytter vi ei stripelast som er 30 cm bred.

Det bemerkes at analysene ikke er ment å nøyaktig representere den belastningssituasjonen som konstruksjonen utsettes for gjennom levetiden, spesielt med tanke på nedbøyningen. I virkeligheten vil effekter som ikke-lineær materialoppførsel og gjentatte dynamiske belastninger influere på resultatet i form av akkumulerte plastiske deformasjoner og kanskje også krefter som konstruksjonene utsettes for. En slik vurdering vil være mer forskningsrettet og vil kreve en langt større innsats enn dette oppdraget.

4.3 Antagelser vegoverbygning

Det er sett på et idealisert tilfelle der alle delene i vegoverbygningen er modellert med et lineært elastisk materiale. Typiske verdier for elastisitetsmodul (E-modul) for de ulike materialene er hentet fra håndbok 018 /2/ samt ved andre erfaringsparametere. Tverrkontraksjonstallet (ν) av overbygningsmaterialene er antatt å være 0,3. Det er antatt leire med E-modul på 10 MPa i undergrunnen, uten at dette forventes å påvirke resultatene nevneverdig.

Tabell 4.1 Materialparametere i analysen.

Materiale	E [MPa]	ν [-]
Asfalt, Ab, Aqb, Ag	4000	0,3
Asfaltert pukk, Ap	2000	0,3
Sprengstein	250	0,3
Leire	10	0,495

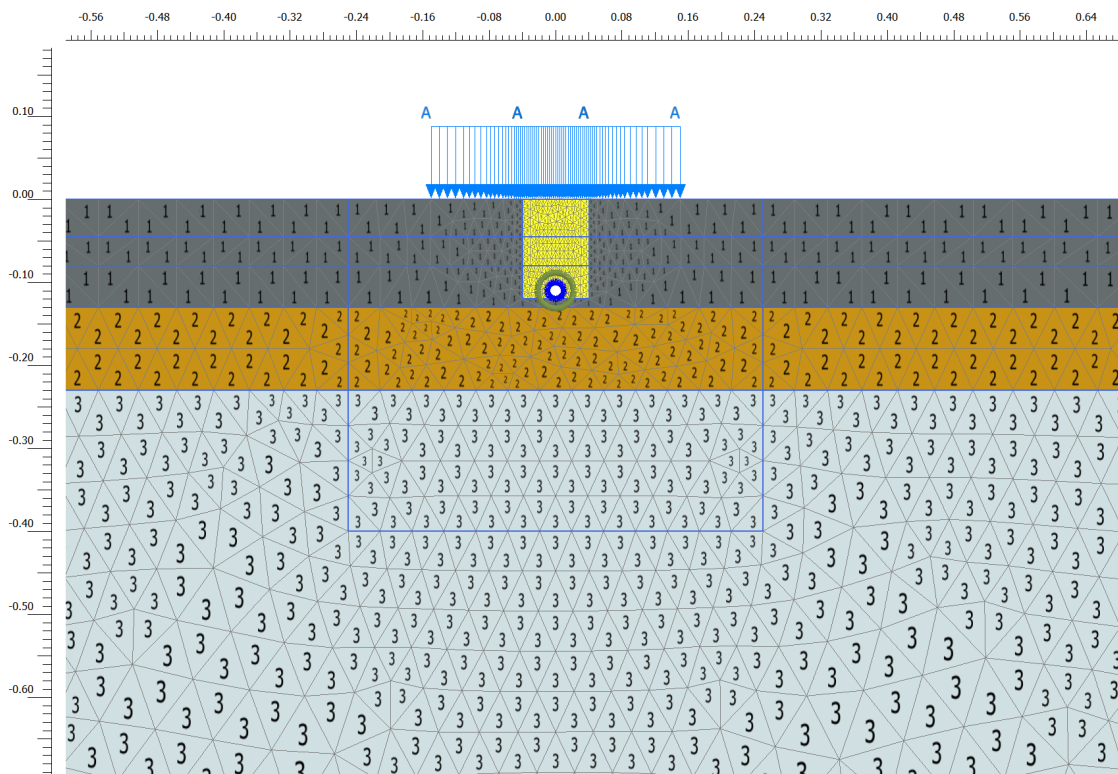
4.4 Beregningseksempel 1 - 20 mm kabel

4.4.1 Modeller og beregninger for bransje- og SVV-løsningene

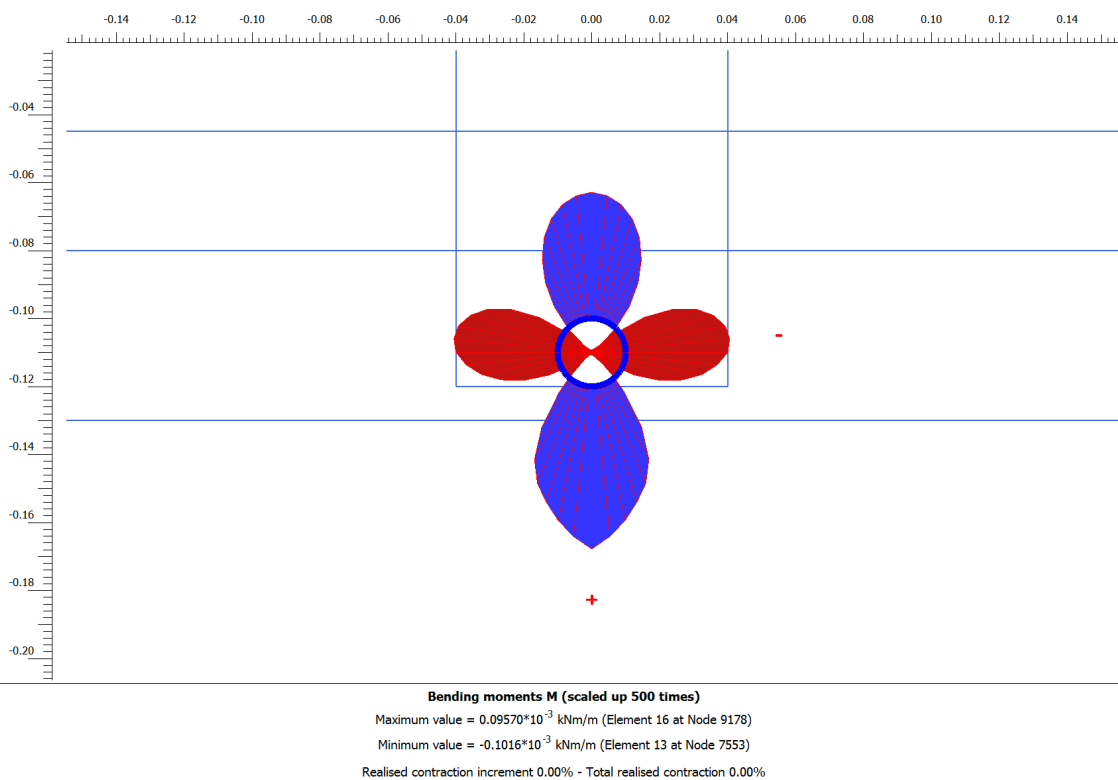
Det vises til Vedlegg B, kap. B.1.1 for materialparametre for trekkerøret.

For bransjeløsningen er det i disse beregningene dessuten antatt at den godkjente spesialmassen for fresesporet har samme stivhetsparametere som den omsluttende asfalten har i analysen. Det er videre antatt en utfresingsbredde på 8 cm i denne modellen. Denne kan i virkeligheten være noe mindre, men det er uansett ikke av betydning i modellen i og med at det er antatt samme stivhetsparametere i spesialmassen som i asfalten.

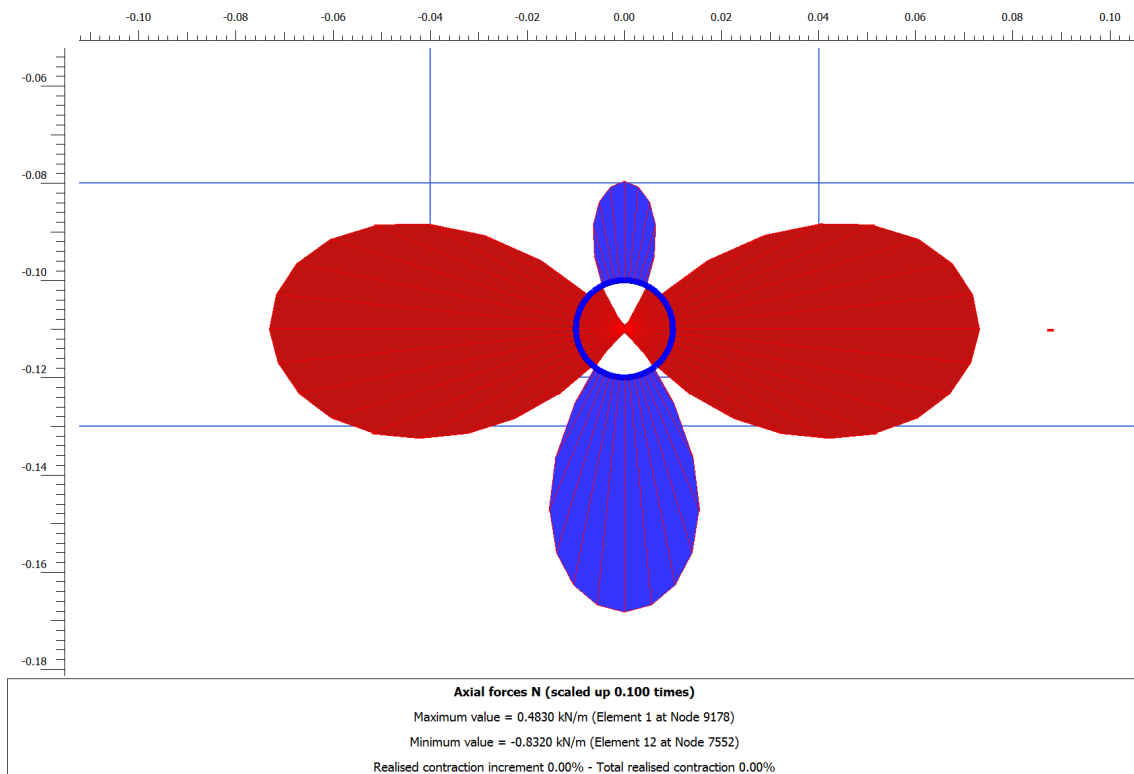
Som eksempel vises her den benyttede FEM-modellen for bransjeløsningen med sentrisk last i Figur 4.2. Figur 4.3 og Figur 4.4 viser hhv. moment- og aksialkraftfordelingen når lasten på 900 kPa er påsatt sentrisk i analysen. For de øvrige eksemplene er figurene å finne i Vedlegg B.



Figur 4.2 Utsnitt av FEM-modell bransjeløsning. Sentrisk last.



Figur 4.3 Momentdiagram ved elastisk kabelverrsnitt - bransjeløsning. Sentrisk last.



Figur 4.4 Aksialkraftdiagram ved elastisk kabelverrsnitt - bransjeløsning. Sentrisk last.

Beregningene over er utført med sentrisk last fra hjulsettet rett over kabelen. Det er imidlertid ikke entydig at dette er den kritiske dimensjoneringssituasjonen for kabler og rør under en trafikklaster. Det er derfor også sett på skjev belastning rett over kabelen. Største påkjenning av kabelen er funnet ved at lasten står inntil senterlinjen, her valgt påsatt til venstre for røret. Kraftene for denne situasjonen er vist i Vedlegg B, Figur B.4 og Figur B.5. Denne lokasjonen av dimensjonerende lastvirkning er i overensstemmelse med det som er diskutert i litteraturen, f.eks. i Watkins & Anderson /9/.

Forslaget fra SVV, som det er sammenlignet med, er modellert med 40 cm overdekning som er minimumskravet ihht. /5/. Det er antatt en bredde på 8 cm i bunn av grøft med graveskrånninger 2:1. Videre er det antatt at tilbakefyllingen består av samme masser som i den eksisterende vegkroppen.

Det er også her sjekket for eksentrisk last. For dette tilfellet med stor overdekning er det imidlertid dimensjonerende med lasten sentrisk plassert over kabelen.

Den benyttede FEM-modellen er vist i Vedlegg B, Figur B.6. Figur B.7 og Figur B.8 viser hhv. moment- og aksialkraftfordelingen i kabelen når lasten på 900 kPa er påsatt i analysen.

4.4.2 Sammenstilling av resultatene

Resultatene fra analysene for dette kabelverrsnittet er sammenstilt i Tabell 4.2 for bransjens og SVVs forslag. Spenningsene i røret er beregnet som vist i Vedlegg B, kap. B.1.4.

Tabell 4.2 Sammenstilling av resultater 20 mm kabel

Materiale		Bransjeløsning	SVVs forslag
Overdekning som er analysert	[cm]	10	40
Maksimalt moment	[kNm/m]	1,26E-4	4,41E-4
Maksimal normalkraft	[kN/m]	0,894	1,395
Tilhørende spenning	[MPa]	0,64	1,36
Tillatt spenning (design faktor 2,5)	[MPa]	8,8	8,8
Tilhørende vertikal sammenstukning av rør (sentrisk belastning)	[mm]	0,010	0,044

Som vist i Vedlegg B, Figur B.9, influeres ikke de elastiske deformasjonene på topp asfaltdekke av de nedgravde rørene for de to alternativene med de rørstivhetene vi har benyttet (kurvene ligger oppå hverandre). Det anses derfor som sannsynlig at det heller ikke vil være stor forskjell på akkumulerte plastiske deformasjoner med gjentatte overførter for de to løsningene – under de forutsetningene som beregningene er gjort.

Beregningen viser vertikal deformasjon på ca. 0,9 mm for dekkeoverflata. Dette er noe i overkant av erfaringsgrunnlaget som finnes fra faktiske målinger av deformasjoner ved gode vegkonstruksjoner (ca. 0,5 mm). Det kan nevnes at det konservativt er benyttet en plan tøyningstilstand i disse analysene samt at det kan være antatt noe konservative stivhetsparametere - som det bør gjøres i en dimensjoneringsanalyse. Dvs. at deformasjonene blir noe overestimert pga. at spredningen av spenningene inn i planet ikke tas hensyn til.

Som en kontroll mot og et supplement til FEM-beregningene er det gjort en vurdering av disse forslagene også basert på klassiske beregningsprinsipper. Det viser seg at klassiske løsninger overestimerer spenningene sammenliknet med vår løsning, dermed vil en klassisk løsning være på trygg side ved dimensjonering. Detaljer rundt dette er beskrevet i Vedlegg B, kap. B.1.5.

4.5 Beregningseksempel 2 - 110 mm rør

Som eksempel nr. to vil det bli sett på et rør med diameter 110 mm. Data for disse beregningene er nærmere beskrevet i Vedlegg B, kap. B.2.1. Bransjeforslaget har her en overdekning på 40 cm, mens SVV foreskriver 80 cm.

Vi nøyer oss her med å gjengi resultatene fra beregningene, se Tabell 4.3. Detaljene i dette er å finne i Vedlegg B, i kap. B.2.

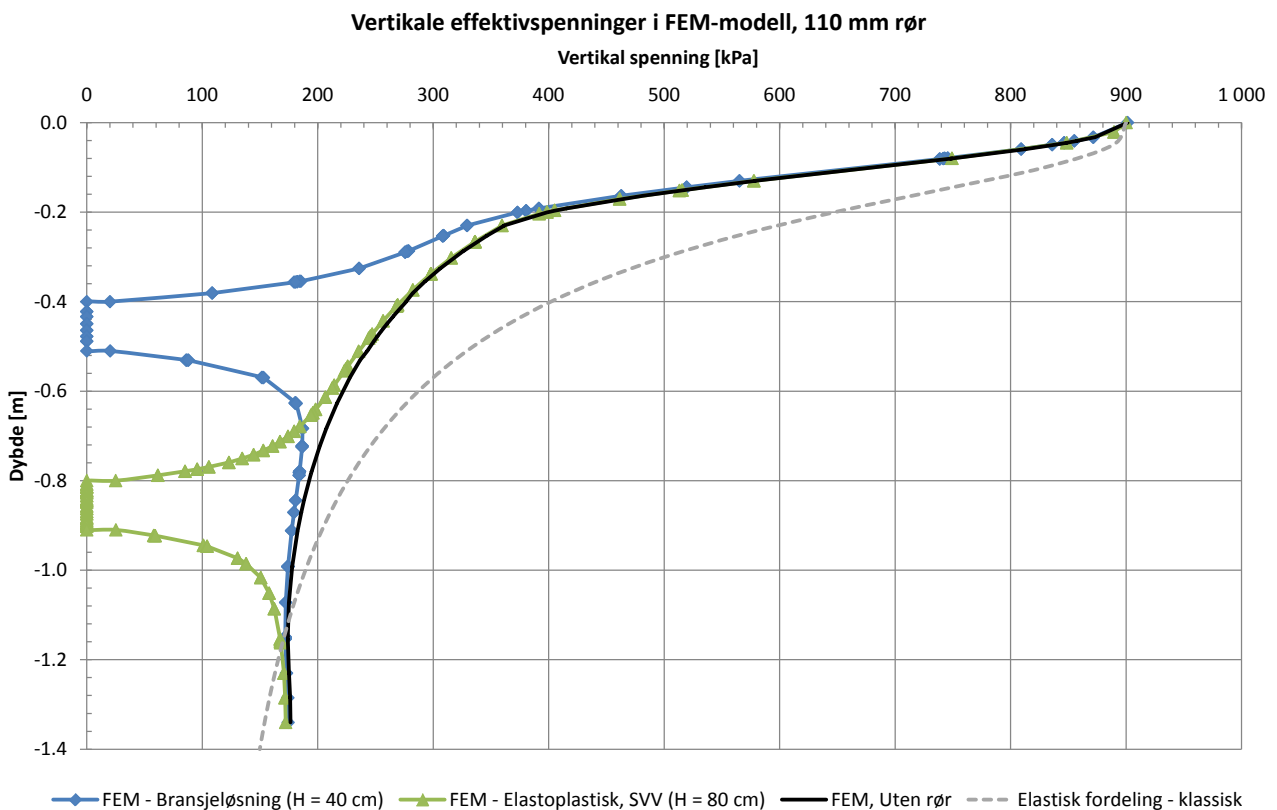
Tabell 4.3 Sammenstilling av resultater 110 mm rør

Materiale		Bransjeløsning	SVVs forslag
Overdekning som er analysert	[cm]	40	80
Maksimalt moment	[kNm/m]	1,104E-3	0,736E-3
Maksimal normalkraft	[kN/m]	9,805	7,169
Tilhørende spenning	[MPa]	3,71	2,67
Tillatt spenning (design faktor 2,5)	[MPa]	10,0	10,0
Tilhørende vertikal sammenstukning av rør	[mm]	0,23	0,16

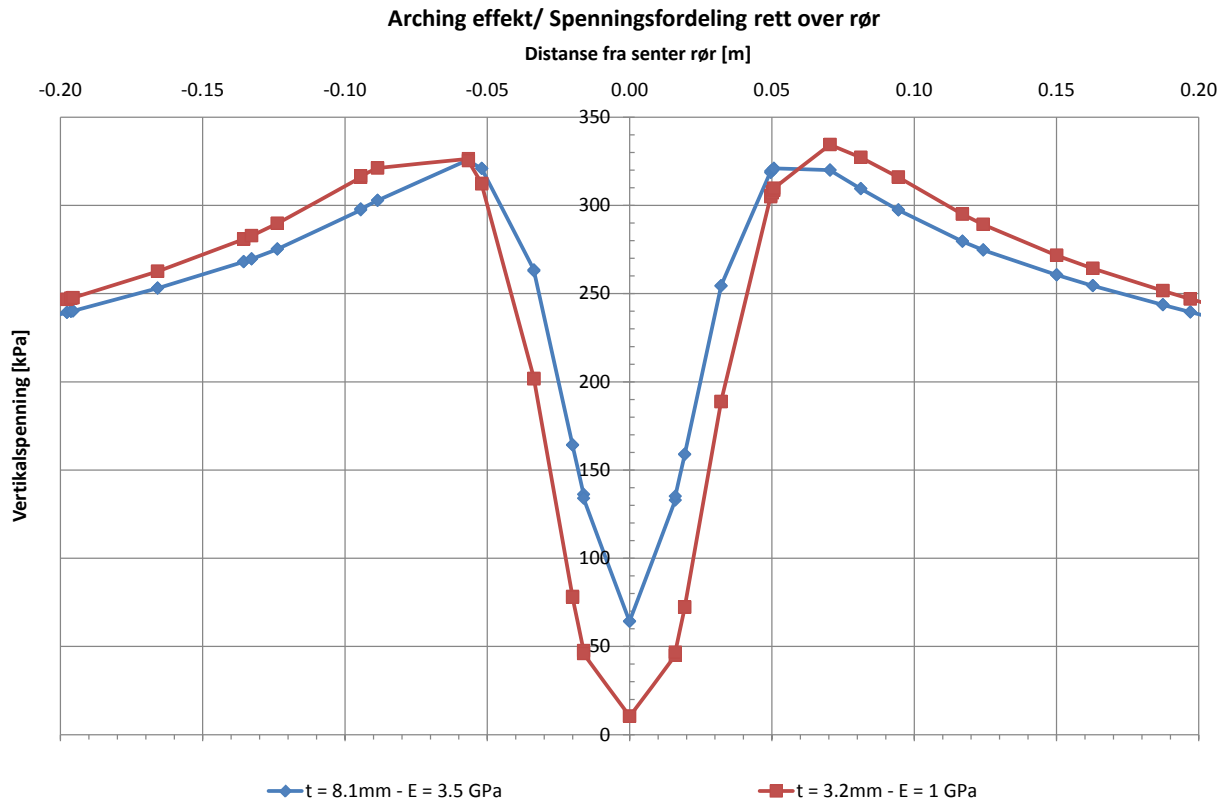
Det er benyttet samme beregning med klassiske løsninger som vist i Vedlegg B, kap. B.2.5 også for dette eksemplet.

Som man ser fra Figur 4.5 avtar vertikalspenningene rett over røret i FEM-beregningene (effekten er også til stede for 20 mm rør, se Vedlegg B). Dette er kjent som 'arching effect' (buevirkning) og viser betydningen av samvirket jord - konstruksjon i en FEM-analyse. Ved at konstruksjonen er fleksibel fordeles spenningene og er med på å påføre konstruksjonen mindre krefter. Dette er illustrert i Figur 4.6 der to 110 mm rørtverrsnitt med ulik veggtykkelse (t) og E-modul (E) er antatt med overdekningen på 0,4 m. Figuren plottes vertikalspenning i 0,4 m dybde og viser at det mer fleksible røret drar på seg vesentlig mindre krefter enn det stivere røret.

Det er også sammenlignet med beregningsmetodikk fra USA, ref. Watkins & Anderson /9/. Denne beregningsmetodikken tar også inn fleksibiliteten av røret. Krittisk trykk er med denne metoden beregnet til 340 kPa rett over røret når det antas en sikkerhetsfaktor på 2,0, som denne referansen anbefaler. Kravet til overdekning for dette tverrsnittet er da ca. 0,5 m dersom det antas elastisk spenningsfordeling, eller ca. 0,3 m om det tas inn spenningsfordeling som følge av lagdelingen (FEM-analysen). Dette er vist i Figur 4.5. Det skal nevnes at også denne beregningsmetoden er konservativ for dette tverrsnittet/overdekningen da det antas at lasten kun fordeles over den ene halvdel av røret. I virkeligheten vil spenningsfordelingen gjennom overdekningen gjøre lastsituasjonen bedre, noe som er eksemplifisert gjennom FEM-beregningene. Denne kontrollberegningen viser imidlertid også at både løsningen fra SVV og den fra bransjen er akseptable ut fra mekaniske dimensjoneringskriterier.



Figur 4.5 Sammenligning av vertikale effektivspenninger.



Figur 4.6 Sammenligning av vertikale effektivspenninger for to rørtverrsnitt med ulik stivhet.

Dette beregningseksempelet viser at klassiske beregningsmetoder etter norsk praksis kan forsvare begge disse løsningene med det gitte røret. Ved å regne med FEM-modeller tas stivheten av konstruksjonen hensyn til, noe som medfører at påkjenningene til røret blir langt lavere enn dersom røret antas helt stivt.

Dette beregningseksemplet viser at løsningen fra SVV vil være en mer robust løsning enn bransjeløsningen sett ut fra mekanisk dimensjonering av røret. Imidlertid kan det konkluderes med at begge løsningene kan forsvares ut fra FEM-beregningene, og at de elastiske deformasjonene varierer med mindre enn 1%.

5 Diskusjon

5.1 Funn fra analysene

Når det gjelder gjennomgangen av de to forslagene punkt for punkt i kap. 3.4, så står vurderingene der på egne ben og trenger antakelig ikke ytterligere diskusjon. Det punktene det er mest uenighet om går på overdekningsdybde, og det fokuseres derfor mest på dette her.

Bransjen har foreslått en overdekning ned til kun 10 cm, dvs. ved fresing av spor ned i asfaltdekket. Våre numeriske analyser tyder på at dette kan gå bra rent mekanisk, gitt de forutsetningene som analysene hviler på.

Beregningseksemplene med 20 mm kabel viser at både bransjens løsning med 10 cm overdekning så vel som SVVs løsning med 40 cm overdekning er vel innenfor det elastiske området til HDPE (materialet i

trekkerøret). Begge løsninger er derfor akseptable ut fra den strukturelle integriteten til kabelen under denne belastningssituasjonen.

Også eksempelet med FEM-beregninger av det tynnveggede 110 mm PVC-røret, med overdekning hhv. 40 og 80 cm, viser at belastningen er lav for begge alternativer.

Sett bare ut fra disse beregningene kan det derfor tenkes at disse løsningene er akseptable. Det er imidlertid også andre forhold som er med i bildet:

- **Gitt modell:** Det er kun regnet for én konstruksjon med gitte materialparametre, dimensjoner og med en lineært elastisk-plastisk beregningsmodell. Med andre konstruksjoner og andre materialmodeller må vi ta det forbehold at resultatet kan bli annerledes. Beregningene må kun ses på som eksempler som innenfor rammen av prosjektet er gjort så realistisk som mulig. Vi har f.eks. ikke gjort beregninger for 25 cm overdekning og 50 mm rørdiameter (fra bransjens forslag).
- **Inhomogeniteter** i skjøter m.v. vil kunne endre de mekaniske påkjenningene vesentlig. Et illustrerende eksempel kan være en veg med 12 cm med bituminøse lag (dekke pluss asfalterte bærelag). Skal man legge en ledning med overdekning 10 cm, vil da bli nødt til å skjære seg gjennom asfaltlagene og legge ledningen i bunnen av dekket. Sett fra undersiden vil det da bli et betydelig innsnitt i det nederste asfalterte laget, noe som er svært uheldig med tanke på spenningskonsentrasjon og sprekker som kan vokse opp gjennom asfalten. Det anses derfor uheldig å gi blankofullmakt til nedfresing med 10 cm overdekning uansett dekketilstand- og tykkelse. Er derimot de asfalterte lagene tykkere, så er det trolig at en slik overdekning kan aksepteres ut fra et rent mekanisk synspunkt. Også en overdekning på 25 cm for inntil 50 mm rør (fra bransjens forslag) kan skape inhomogeniteter nokså nært overflaten – spørsmålet er om gevinsten ved større overdekning blir spist opp av at røret er tykkere. SINTEF har ikke gjort noen beregninger for 25 cm overdekning.
- **Tynne dekker:** For fortau kommer man trolig ned i de granulære lagene ved kun 10 cm overdekning. Pga. relativt tunge vedlikeholdskjøretøy kan det tenkes at ledningen derfor blir betydelig mer pålastet enn hvis den hadde vært i asfalterte lag. Dette kan det ev. regnes mer på.
- **Store inngrep:** Skal man oppnå 80 cm overdekning, så er det et betydelig inngrep i vegkonstruksjonen. Det kan f.eks. tenkes at man ikke får tilstrekkelig kompaktering ved reparasjon – enten for å skåne de nedlagte rørene, eller at det er praktisk vanskelig å få til nede i ei trang grøft. Kanskje må man i slike tilfeller påregne en økt etterkompaktering fra trafikken. Så selv om ledningen muligens er mer beskyttet, så ville det kanskje av hensyn til vegen faktisk lønnet seg å begrense grøftedybden noe.

5.2 Andre forhold som bør ivaretas

Her nevnes noen forhold som ikke behandles av de foreliggende forslagene til retningslinjer. SINTEF mener at også følgende momenter bør ivaretas:

- **Hensynet til slitasje av vegdekket:** Slitasje av vegdekket kan ha betydning for hvor dypt kabler bør legges. Piggdekk og kjettinger er vel det som fører til mest spordannelse. Man kan også ha annen form for slitasje og degradering, som f.eks. skader fra vinterdrift og sprekkdannelser i asfaltdekket. Trolig skal det likevel mye til før en kabel blir direkte skadet, men det kan også tenkes at dersom man har noe slitasje fra før, så kan en grunntliggende kabel i verste fall være med å initiere dekkeskader. Et skadet dekke kan i sin tur være ugunstig for kabelen. Bransjens forslag om 25 cm overdekning for rør inntil 50 mm vil være bedre her.
- **Framtidig vedlikehold:** Det løpende vedlikeholdet av vegen vil noen ganger kunne skape problemer for grunne kabler og rør. To eksempler på det er fresing av asfaltdekket og grøfterensk. Fresing av asfaltdekket for å jevne ut spordannelser vil som regel ikke gå så dypt at det er noe problem for kabler frest ned med 10 cm overdekning (bransjeløsning), selv om risikoen ikke er null. Men dersom

det da er meningen at den freste overflaten skal slites ned på nytt før det blir reasfaltert, kan de nye hjulsporene i verste fall komme ned på kabelen. Ved grøfterensk fjernes en del av massene for åpne opp og bedre forholdene for vannets løp i grøfta. Årsaken til at grøfter siger igjen er gjerne lokal ustabilitet i finstoffholdige jordmasser, eller det kan være sedimentasjon av masser transportert med vannet langs grøfta. I tilfellet jordsig, så kan det være at grunne ledninger følger med og blir en del av de massene som må fjernes for å renovere grøfta. På den annen side kan det være uheldig å grave for dypt under rørlegging i masser som er utsatt for sig. Man bør derfor i noen tilfeller vurdere om kabelen eller røret heller bør legges utenfor grave-/grøfteskråning der terrenget er noe slakere.

- **Ulykkeslaster:** Ved trafikkulykker, kanskje særlig ved utforkjøring av større kjøretøy, kan det bli store laster på områder utenfor vegkanten. Om et hjul graver seg ned, så kan det lett skade kabler og rør som ligger grunt. Dekkeskader kan også tenkes å oppstå, både av mekanisk opphav og på grunn av varmpåkjenning. Trolig er ledningene bedre beskyttet mot ulykkeslaster om de ligger i selve vegbanen enn om de ligger på samme dybde utenfor vegen. En annen type ulykkeslast kan være at vannrør under trykk springer lekk av andre årsaker enn trafikkuhell. Her vil problemet være utvasking, og skaden vil neppe være særlig avhengig av overdekningsdybde. Slike vannskader kan kanskje likevel begrenses noe ved å finne egnede steder for rørkryssing, f.eks. i lavbrekk langs vegen – hvor det kanskje også er et bekkefar e.l. som kan ta unna om det skulle skje lekkasjer.
 - **Robusthet og pålitelighet til ledningsnettet:** En felles faktor både med hensyn til dekkleslitasje og til ulykkeslaster er dette med kabler og rørs robusthet mot skader. Dette er ikke først og fremst et teknisk spørsmål, men noe som ledningseier må vurdere. Ledningseier må ha tenkt gjennom hva som kan aksepteres av avbrudd i tjenesteleveransen sett opp mot kostnadene ved å velge en dyrere installasjonsløsning. Det kan da tenkes at ledningseier vil differensiere sine løsninger etter hvilken viktighet den aktuelle ledningen har. Mer generelt kan kanskje en RAM-tankegang gjøre seg gjeldende. Dvs. man analyserer ledningsinfrastrukturen med tanke på pålitelighet ('reliability'), tilgjengelighet ('availability') og vedlikeholdbarhet ('maintainability'). Dette finnes det metoder for.
 - **Stabilitet og drenering:** Legges ledninger i sideterrenget utenfor vegggrøfta må man være oppmerksom på stabilitetsforhold og på dreneringseffekter. I finkornige jordmasser kan det tenkes at stabiliteten forverres under grøftegraving – både helt lokalt rundt grøfta og for litt større deler av skråninga. Dess dypere grøft, dess mer potensielle stabilitetsproblemer. Den drenerende virkningen ei grøft vil ha, kan være både positiv, f.eks. gi økt stabilitet ved utdrenering av vann, og negativ, f.eks. dersom grøfta mater vann inni ei skråning og skaper mer ustabile forhold. Man bør være bevisst på dette slik at man kan treffe tiltak. Kan også være tilsvarende problemer ved ledningsgrøfter i selve vegen, men gjennomgående er massene bedre slik at dette vanligvis ikke er noe stort problem her.
 - **Hensynet til store rør:** Dersom rørdiameteren er over 30-40 cm (f.eks. vann-, avløps- eller fjernvarmerør) bør man vurdere å gå dypere enn 80 cm, og det anbefales å gjøre en vurdering i hvert enkelt tilfelle, ev. så kan man bruke anvisninger f.eks. i Hb 018 /1/.
 - **Ikke-tekniske forhold:** Selv om denne rapporten har konsentrert seg om tekniske forhold, så vil det være slik at også en rekke ikke-tekniske forhold vil kunne være med å bestemme hvilke løsninger man skal velge. Forslagene til retningslinjer nevner noen av disse:
 - Hensynet til andre installasjoner i samme trasé
 - Landskapsbilde, kulturmiljø, naturmiljø m.v.
 - Trafikkavvikling både for kjørende og gående
 - Varighet og tidspunkt for arbeidet
 - Hensynet til balanserte og forutsigbare rammebetingelser for alle infrastruktureiere
- SINTEF har ikke gått nærmere inn på disse siden det er utenfor mandatet til oppdraget.

6 Konklusjoner

SINTEF trekker følgende konklusjoner ut fra det arbeidet som er gjort:

- De to foreliggende forslagene til retningslinjer har hver sine styrker og svakheter sett fra et teknisk synspunkt. Under noe tvil vil vi si at Statens vegvesen sine retningslinjer er best siden de ut fra en teknisk betraktning ser ut til å ivareta både den lagte ledning og ve-gen.
- Vi vil ikke tilrå på generelt grunnlag å benytte 10 cm overdekning, og er litt i tvil hva gjelder 25 cm overdekning. Våre beregninger tyder likevel på at det rent mekanisk kan være mulig med 10 cm overdekning, men at det er usikkerheter både ved beregningene samt andre usikkerheter som gjør at vi fraråder dette.
- Det er ut fra en teknisk synsvinkel unødvendig å ha 80 cm dype grøfter for rør inntil 125 mm. 40 cm overdekning ser ut til å være tilstrekkelig.
- SINTEFs øvrige forslag til justeringer av de foreliggende retningslinjene er å finne i kap. 3.4, i Tabell 3.1 og Tabell 3.2. Av øvrige forhold det bør tas hensyn til nevnes dekkelitasje, vedlikehold, ulykkeslaster, pålitelighet til ledningsnett, stabilitet, drenering og rør med store diametere (jf. kap. 5.2).

7 Forslag til videre arbeid

For å følge opp dette arbeidet foreslås følgende (noen av punktene er avhengig av at ressurser stilles til rådighet):

- SINTEF-rapporten går ut på høring til berørte parter.
- Det arrangeres et høringsmøte der uklare punkter i rapporten blir tatt opp. Kanskje kommer det opp momenter som krever litt videre utredning, dette kan SINTEF påta seg å gjøre.
- For å avklare om det er mulig å ha en overdekning på kun 10 cm, foreslås å etablere et prøvefelt med ett eller flere nedfreste rør. SINTEF kan være behjelpelig med slike forsøk.
- På samme måte som for 10 cm overdekning, vil det også være mulig å teste ut 25 cm overdekning på et prøvefelt.
- SINTEF kan bidra til å samle inn erfaringer med eksisterende regelverk og eksisterende løsninger på området.
- SINTEF kan gå videre med beregninger, både for flere rørdiametre og overdekningsdybder, men også med mer avanserte beregningsmodeller. Det kan da bli nødvendig med noe materialtesting.
- SINTEF kan uansett bistå i det videre arbeidet med å få på plass retningslinjer som alle er enige om. Vi vil da ta utgangspunkt i våre vurderinger i denne rapporten.

8 Referanser

- /2/ Statens vegvesen håndbok 018 (2005). *Vegbygging*, datert januar 2005.
- /3/ Statens vegvesen håndbok 016 (2010). *Geoteknikk i vegbygging*, datert juni 2010.
- /4/ Bransjeløsningen. Bestemmelser til forskrift etter vegloven §32 om legging og flytting av ledninger over, under og langs offentlig veg.
- /5/ Statens vegvesen (2011). *Veiledning: ledninger i riksveger*, datert 2011-09-20.
- /6/ PLAXIS 2D 2011 (2011). *FEM code for geotechnical engineering*, PLAXIS bv, The Netherlands.
- /7/ PipeLife Norge AS (2007). *Rørhåndboka*. Datert mai 2007.
- /8/ Norsk Vann (2008). *Termoplastrør i Norge – før og nå*. Norsk Vann BA rapport nr. 158-2008. ISBN 978-82-414-0289-0, Datert 2008-04-30.
- /9/ Watkins, R.K. & Anderson L.R. (2000). *Structural mechanics of buried pipes*. CRC Press, USA.

VEDLEGG A Sammenlikning og vurdering av tekniske regler i forslagene til retningslinjer fra Vegvesenet og fra bransjen

Forklaring til tabellen:

A 3.6: Nummeret angir avsnitt i forslagene hvor regelen står beskrevet

Fargekoding:

Like forslag	Mindre uenigheter	Uforenelige forslag	SINTEF har vesentlig(e) tilleggskommentar(er)	Ikke vurdert av SINTEF
--------------	-------------------	---------------------	---	------------------------

Vegvesen	Bransje	SINTEFs vurdering
A 3.6 Normalt ikke gitt gravetillatelse i veg- og gategrunn som har vegdekke nyere enn 3 år. Vegmyndigheten kan fastsette lengre graveforbud. Ved tverrgrøft kreves utkiling og asfaltering i 25 m lengde.	4.2 Samme som SVV, men grøtrefrie løsninger velges normalt. Ingen krav om lengde reasfaltering.	25 m reasfaltering virker mye. Anses tilstrekkelig å reasfaltere der asfalt er fjernet (fra start fortanning). Alternativt kunne man tenkt seg å sette et jevnhetsmål. Å normalt satse på grøtrefrie løsninger virker fornuftig.
B 3.1 Vegmyndigheten kan kreve at kryssing av en veg med ledninger eller kabler, skal utføres ved boring eller ved pressing av rør.	4.1 Som SVV, men bare unntaksvis for gang-/sykkelveger og veger med ÅDT < 5000.	Hensynet til lokale forhold (f.eks. teknisk gjennomførbarhet), trafikkikkerhet og trafikkavvikling må veie tungt. Er strengt tatt en teknisk-økonomisk vurdering der alle interne og eksterne kostnader bør hensyntas.
B 3.3.1 Ledningseier skal i forkant av gravearbeidet dokumentere graveområdets tilstand	2.3 Bare hvis betydelig avvik fra krav, og kan da søke dekning for kostnader til standardheving	Enkel dokumentasjon f.eks. i form av bilder kan være greit for ev. avklaring av tvistesaker. SINTEF har ikke vurdert dette nærmere.
C 3.2 Avstand fra veg, hovedprinsipp: Lengst ut mot 3 m fra vegkant	4.3 Vag beskrivelse av føring utenfor vegkant: "Ledninger i veg, gang/sykkelveg og fortau, ut til en avstand av 3 m fra vegkant [...] kan ha differensiert overdekning avhengig av veg og ledningstype". Tabellene forutsetter ledning i veg.	Avstand for langsgående føring kan først og fremst begrunnes i at man unngår skader på vegen og er mer trafikkikkert under anlegg (er utenfor vegen). Et alternativt prinsipp er å søke å legge ledninger utenfor grøft. SINTEF kan likevel støtte Vegvesenets hovedprinsipp, men det er likevel behov for gode regler der ledning blir lagt i veg.
Vegvesenet har ikke noe skille på vegtyper og ÅDT	4.3 Ledninger i veg (til 3 m avstand) – skiller mlm. vegtyper og ÅDT.	Kan være fornuftig å skille mellom vegtyper og ÅDT rent generelt, men siden vi ser kun på riksveg er det naturlig at ÅDT ikke legges like stor vekt på (vegen er viktig uansett og har nesten alltid stor ÅDT).
C 3.2 Overdekning: Normalt 80 cm (også ved kryssing)	4.3 Overdekning: 10 cm for inntil 20 mm trekkerør 25 cm for inntil 50 mm trekkerør 40 cm for inntil 125 mm trekkerør (tilstrekkelig ringstivhet) >80 cm for alle dimensjoner (tilstrekkelig ringstivhet)	Dette punktet ses nærmere på i egne beregninger. Men en viss "føre-vær"-holdning kan være på sin plass, da blir muligens 10 cm for lite i høytrafikkerte veger. 80 cm virker dypt – må grave mer og større etterkompaktering fra trafikken må påregnes.

Vegvesen	Bransje	SINTEFs vurdering
C 3.2 Unntak fra overdekningskravet: <ul style="list-style-type: none"> • Tele/bredbånd: Mindre overdekning dersom minst 2,5-3 m fra vegkant, minimum minst 40 cm overdekning (eier tar risikoen). • Ved større avstand enn 3 m: Kan legges med mindre overdekning enn 80 cm (eier tar risikoen) 	4.3 Bransjen har ikke gitt regler for rør og kabler på siden av veg, men ved kryssing kan man gå ned til 10 cm overdekning (frest spor).	Dette punktet ses nærmere på i egne beregninger. Men en viss "føre-vår"-holdning kan være på sin plass, da blir muligens 10 cm for lite i høytrafikkerte veger.
C 3.2 Asfaltdekke: Skjæres minimum 50 cm utenfor prosjektert/utført topp grøftekant	4.3 30 cm utenfor prosjektert topp grøftekant, ellers som SVV	Bør være fra prosjektert/utført grøftekant for å sikre at stabilitet er ivarettatt også ved utførelse.
C 3.2 Gate-/belegningsstein: Min. 50 cm fra prosjektert grøftekant	4.3 Som SVV	Bør ev. vurdere å ta med <i>utført</i> i tillegg til <i>prosjektert</i> grøftekant.
C 3.2 Hvis det skal graves nærmere kantstein enn 30 cm, må denne tas opp og settes på nytt.	4.3 Som SVV	Enig
Vegvesenet har ikke med denne bestemmelsen	4.3 Tillates fresing for ledning inntil 20 mm langs kantstein	Bør ikke tillates på innsiden av kantstein siden kantsteinen gjerne er festet på innsiden med betong som er armert. Kan gi dårligere feste for kantsteinen.
C 3.3.1 Trær: Ikke nærmere enn 5 m eller dryppsoner	4.4 2 m eller dryppsoner	SINTEF har ikke kompetanse på å vurdere dette
C 4 Gjenfylling/istandsetting, hovedprinsipp: Samme type og kvalitet som for eksisterende veg	5 Som SVV	Enig
C 4.1 Utkiling i fast dekke: <ul style="list-style-type: none"> • Kryssende grøft, overdekning større enn 0,5 m: 2 m utkiling, dybde 0,5 m • Løngsgående, overdekning større enn 0,5 m: 1 m, utkiling, dybde 0,5 m 	5.1 Samme som SVV, men bare utkiling dersom grøft går under forsterkningslag eller forsterkningslag ikke eksisterer. Har ikke kvantifisert dybdekrav for når utkiling skal gjøres.	SVVs forslag virker mest fornuftig her. Forsterkningslaget kan være nokså dypt, så det vil ikke være rimelig å sløyfe utkiling.
C 4.2 Ved fare for undergraving: Vegelement fjernes og replusseres.	5.2 Som SVV	Enig
C 4.2 Stempling/spunt: Fjernes min. ned til 1 m under ferdig veg.	5.2 Som SVV	Enig
C 4.3.1 Forsterkningslag: Samme tykkelse som på stedet	5.3 Som Håndbok 018 (ny veg)	SINTEF anbefaler SVVs løsning, dvs. tykkelse som på stedet, dvs. mest mulig likt nærliggende vegkropp. Unødvendig å grave i undergrunnen for ev. å øke forsterkningslagstykkelsen opp mot Hb 018 sine krav, kan gjøre vondt verre.
C 4.3.2 og C 4.3.3 Bærelag og vegdekke: Samme tykkelse som eksisterende, minimum som for nybygget veg (Hb 018)	5.3 Vegdekke: Samme som SVV, bærelag ikke nevnt eksplisitt, men Hb 018 skal følges.	SINTEF anbefaler SVVs løsning, dvs. tykkelse som på stedet, dvs. mest mulig likt nærliggende vegkropp, eller minimum som for nybygd veg. Et viktig unntak kan være dersom eksisterende asfaltdekke er urimelig tykt – da bør det vurderes tynnere dekke.
C 4.4.1 Estetikk: Reasfaltering i rette linjer parallelt og vinklerett	5.4.1 Som SVV	Har ikke vurdert dette

Vegvesen	Bransje	SINTEFs vurdering
C 4.4.1 Skjøter skal være tette	5.4.1 Som SVV	Dette er viktig, bra at det er enighet om dette. Burde muligens vært nevnt eksplisitt at skjøtene skal være limte.
C 4.4.2 Asfaltdekke: Skjæres minimum 30 cm utenfor topp utkiling. Langsgående skjøter skal ikke forkomme i kjørefelt, sykkel felt eller skulder. Skjøt skal gå langs kantstein, skille kjørefelt/sykkel felt eller i asfaltkant/skulder. Klebes mot skåret kant og på utfrest fortønning.	5.4.2 Som SVV	Enig
C 4.4.2 Fortønning (asfalt): Ved tykkelse mer enn 6 cm. 30 cm bredde, dybde 30-50 mm, ikke mer enn halve tykkelsen. Unntak: Ved dårlig tilstøtende dekke sløyfes fortønning etter godkjenning av vegmyndighet.	5.4.2 Som SVV, men kun dersom mer enn 8 cm tykkelse	Det kan være vanskelig rent praktisk å få til fortønning ved kun 6 cm tykkelse; gjenværende asfalt blir tynn og kan sprekke opp, dessuten må største steinstørrelse i asfaltmassen begrenses til 11 mm ved kun 30 mm tykkelse.
C 4.4.2 Skål ikke være kant m/m. sykkel felt og kjørefelt.	Ikke nevnt, men krav i neste linje vil vel kunne dekke det	Kanter og ujevnheter bør unngås.
C 4.4.2 Jevnhet og høydeforskjeller i skjøter: Tilsvare nytt dekke	5.4.2 Som SVV	Enig.
C 4.4.3 Fortau: Mindre enn 3 m bredt skal reasfalteres i full bredde	Ikke nevnt	Kunne vært en bestemmelse om reasfaltering kun dersom mindre enn 1 m gjenstående bredde også her som for fortau med mer enn 3 m bredde (jf. neste punkt). Vil være smidigere, men neppe gi så store konsekvenser i praksis. Kan ev. innføre tallfestede krav til jevnhet.
C 4.4.3 Fortau, mer enn 3 m bredt: Reasfaltering etter avtale med vegmyndigheten. Reasfaltering i full bredde dersom mindre enn 1 m gjenstående dekkebredde.	5.4.3 Som SVV	Enig.
C 4.4.4 Gang og -sykkelveg: Alltid reasfaltering i full bredde	5.4.4 Kun reasfaltering i full bredde dersom smalere enn 2,5 m	Bransjekravet virker smidigere og gir bedre ressursutnyttelse. Kan ev. innføre tallfestede krav til jevnhet for å sikre god kvalitet.
C 4.4.5 Renner på fortau reetableres med samme høyde og fall som fortauet	5.4.5 Som SVV	Enig
C 4.4.6 Kantstein: Granitt gjenbrukes normalt, renses for tidl. fugematerialer. Betongkantstein gjenbrukes ikke. Stein og kansteinslinje skal ha samme geometri som tidligere. Spor for fortausrenner hugges i kantsteinen.	5.4.6 Som SVV	Enig

Vegvesen	Bransje	SINTEFs vurdering
C 4.4.7 Gatestein, heller, belegningsstein: Gjenbruk av rengjort og uskadet stein, samme forbånd som før, løsnes inntil uberørt grunn (min. 50 cm). Gatestein settes i knøs (uten fugemellomrom). Kan bli krevd full omlegging i hel bredde. Nye betongheller må ikke avvike for mye – kan kreve omlegging av større område. Jevn overfalte – maks avvik 5 mm mot tilliggende arealer, største svank over 3 m rettholt er 9 mm.	5.4.7 Som SVV	Enig
C 4.4.8 Grøntområder: Rotvennlig masse (5 m / dryppsone)	5.4.8 Som SVV	Ikke vurdert
C 4.4.9 Kummer: Unngås i kjørespor, nivåtilpasses, estetisk god plassering/tilpøsning mot andre kummer.	5.4.9 Som SVV	Enig
C 4.4.10 Polygonpunkter og andre typer kumløkk må ikke fylles ned, og om nødvendig heves før asfaltering. Ved skade skal rette myndighet varsles.	5.4.10 Som SVV	Enig
C 4.5 Midlertidig istandsettelse: Dersom permanent istandsetting ikke kan utføres, legges et midlertidig dekke av varmesfalt med tykkelse avtalt med vegmyndigheten. Kaldasfalt kan benyttes når varmesfalt ikke er å få tak i. Topp vegdekke skal ikke gi fare eller ulempe for ferdsel. Permanent istandsetting gjøres når forholdene gjør dette mulig, eller innenfor frist.	5.5 Som SVV, men tilføyd at dersom vegmyndighet har planer for reasfaltering som berører ledningsgrøften, kan ledningseier gi anleggsbidrag til dette og selv avslutte arbeidet med en midlertidig overflate.	Enig i hvordan midlertidig istandsettelse skal skje. Bransjens tilleggsforslag høres fornuftig ut, men slike ting bør muligens avtales på forhånd.
SVV nevner ikke dette	6 Krav til jevnhet for det reparerte dekket er tilsvarende som angitt for nytt dekke og skal følge håndbok 025 Prosesskoden. Ettersetninger skal repareres straks hvis trafikkfare, eller seinest innen neste sommersesong (seinest 1. juli).	Er enig med bransjen i dette. Det er krav som vil sikre god kvalitet på arbeidet, og sikre lang levetid på det reparerte dekket. Trolig er ikke SVV uenig i dette, men har bare ikke sagt dette eksplisitt i sitt forslag.

VEDLEGG B Beregningseksempler

B.1 Beregningseksempel 1 - 20 mm kabel

B.1.1 Antagelser

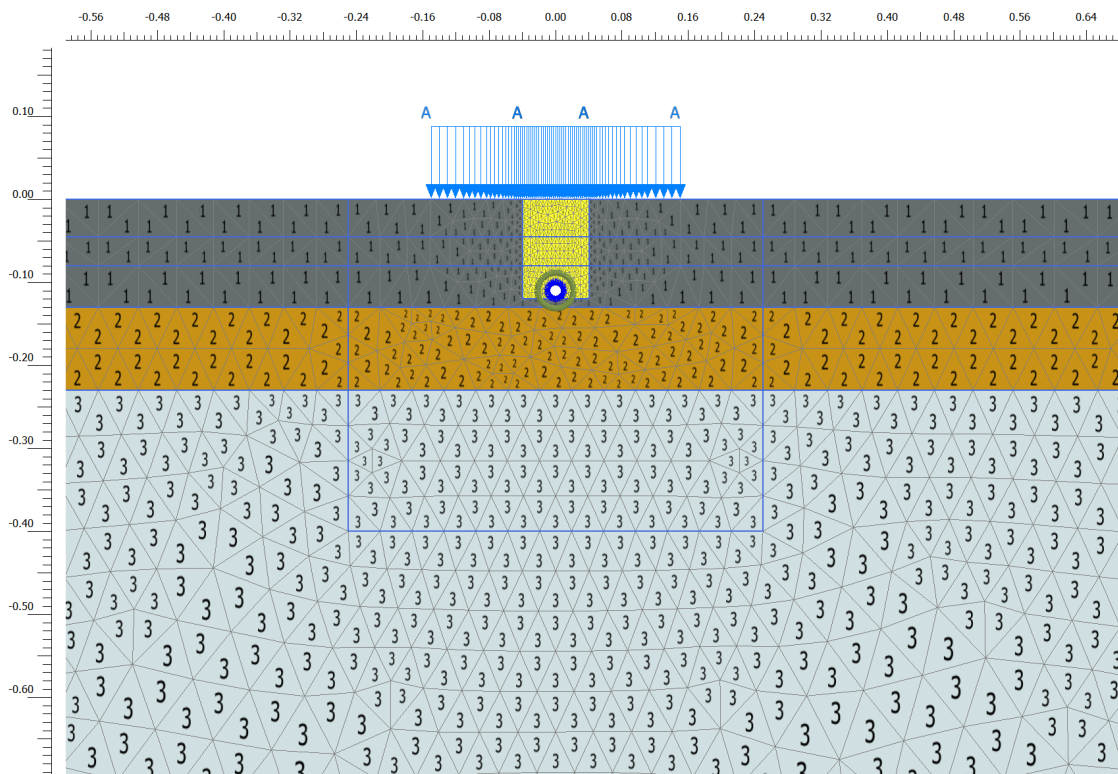
Det er tatt utgangspunkt i et rørtverrsnitt av HDPE (high density polyetylen) med ytre diameter 20 mm, indre diameter 16 mm og glatt rør. Dette er oppgitt å ha flytespenning på $\sigma = 22$ MPa og E-modul på 1000 MPa. Det er antatt et tverrkontraksjonstall på $\nu = 0,40$ for HDPE. Det er ikke hensyntatt eventuelt bidrag fra innvendige føringer i denne analysen. Dvs. at kun selve kabeltverrsnittet er antatt konstruktivt i denne analysen.

Kabeltverrsnittet er i FEM-analysen modellert både med lineært elastisk løsning og elastoplastisk løsning. For den elastoplastiske løsningen er det forenklet antatt en flytespenning på $\sigma = 22$ MPa. Det er benyttet interface-elementer med full heft mellom rørtverrsnitt og jord. Dette har vist seg å være på konservativ side da aksiallasten bli styrende i beregningen av spenninger i røret.

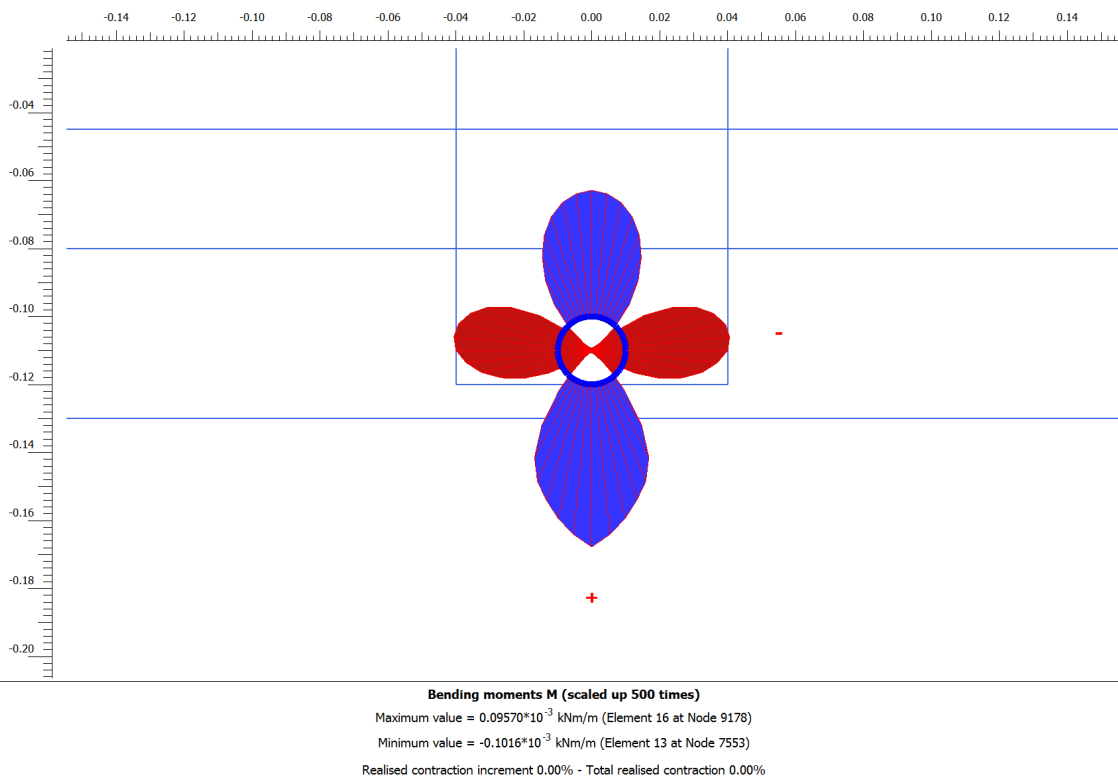
Det er i disse beregningene forøvrig antatt at den godkjente spesialmassen har samme stivhetsparametere som den omsluttende asfalten har i analysen. Det er videre antatt en utfresingsbredde på 8 cm i denne modellen. Denne kan i virkeligheten være noe mindre, men det er uansett ikke av betydning i modellen i og med at det er antatt samme stivhetsparametere i spesialmassen som i asfalten. Lasten på veggen er satt til 900 kPa antatt utbredd over en lengde på 30 cm. Det er antatt en plan tøyningstilstand i disse 2-D analysene.

B.1.2 Bransjeløsningen

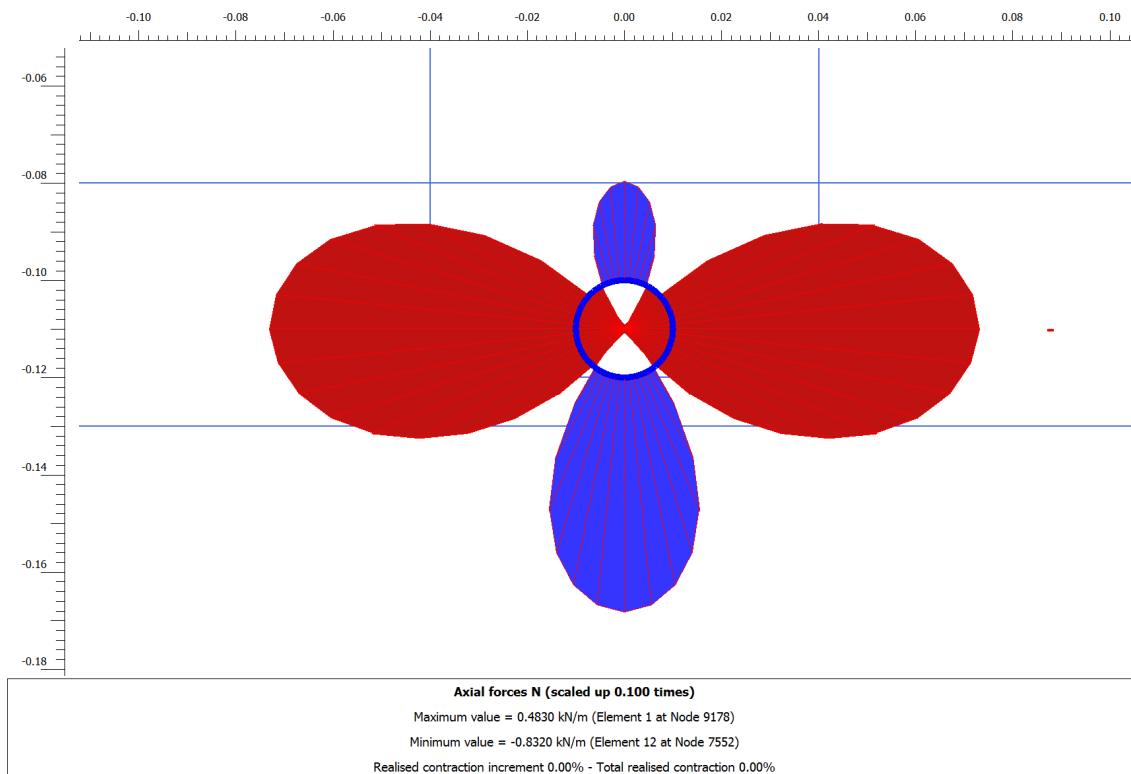
Den benyttede FEM-modellen med sentrisk last er vist i Figur B.1. Figur B.2 og Figur B.3 viser hhv. moment- og aksialkraftfordelingen når lasten på 900 kPa er påsatt sentrisk i analysen.



Figur B.1 Utsnitt av FEM-modell bransjeløsning. Sentrisk last.

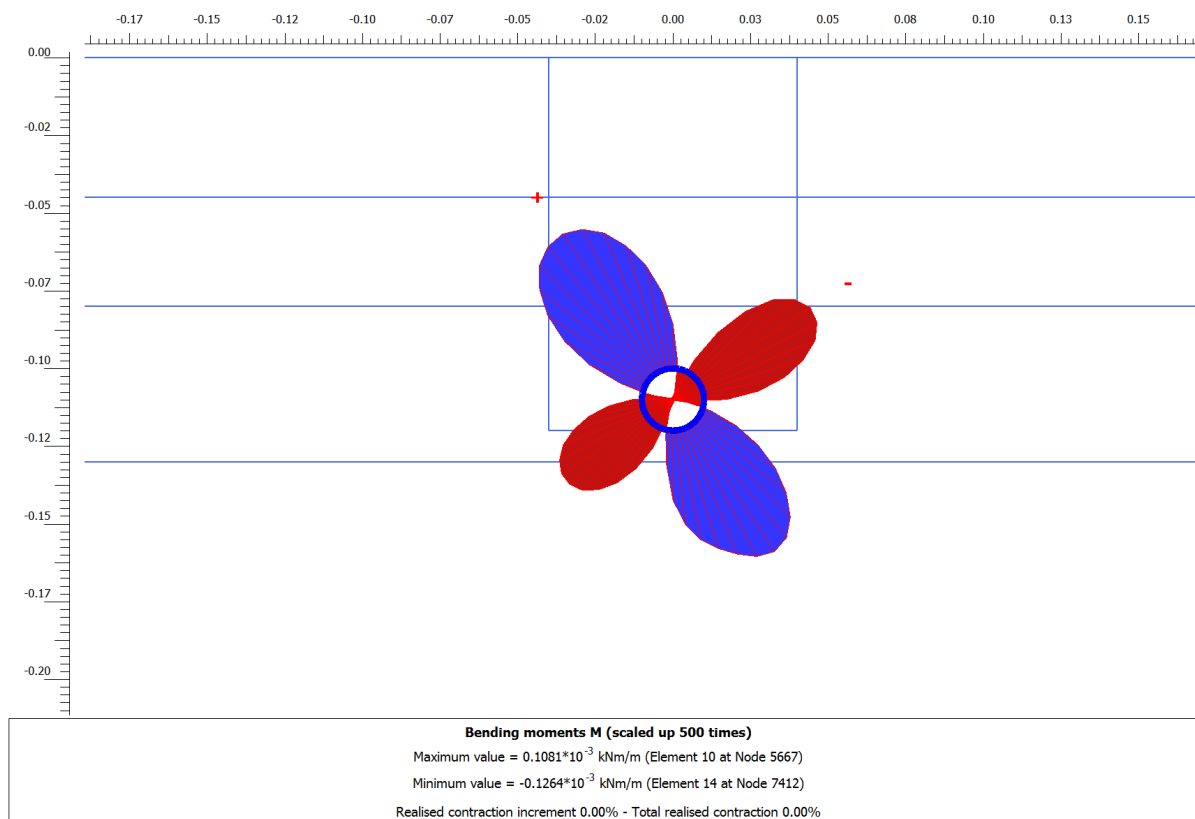


Figur B.2 Momentdiagram ved elastisk kabelverrsnitt - bransjeløsning. Sentrisk last.

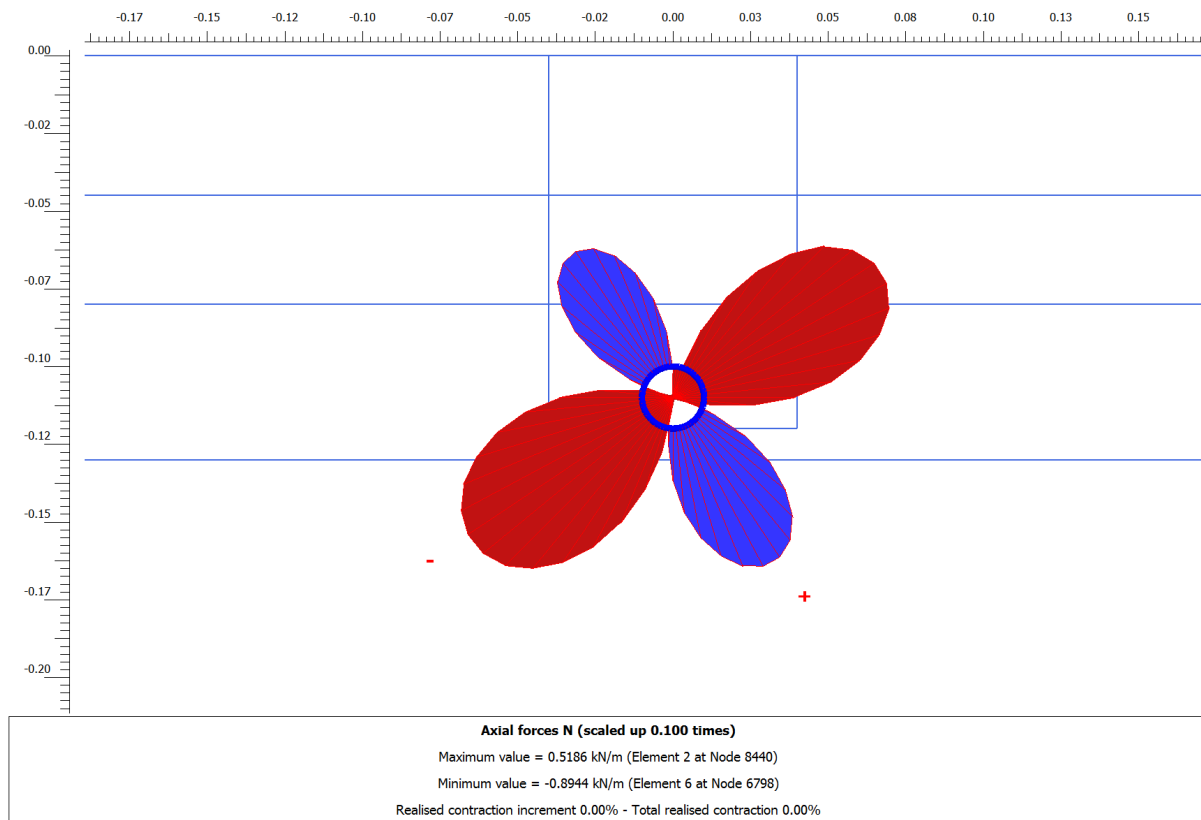


Figur B.3 Aksialkraftdiagram ved elastisk kabelverrsnitt - bransjeløsning. Sentrisk last.

Beregningene over er utført med sentrisk last fra hjulsettet rett over kabelen. Det er imidlertid ikke entydig at dette er den kritiske dimensjonerings situasjonen for kabler og rør under en trafikklast. Det er derfor sett på skjev belastning rett over kabelen i det følgende. Største påkjenning av kabelen er funnet ved at lasten står inntil senterlinjen, i modellen til venstre for røret. Kraftene for denne situasjonen er vist i Figur B.4 og Figur B.5. Denne lokasjonen av dimensjonerende lastvirkning er i overensstemmelse med det som er diskutert i litteraturen, f.eks. i Watkins & Anderson /9/.



Figur B.4 Momentdiagram ved elastisk kabelverrsnitt - bransjeløsning. Skjev last.



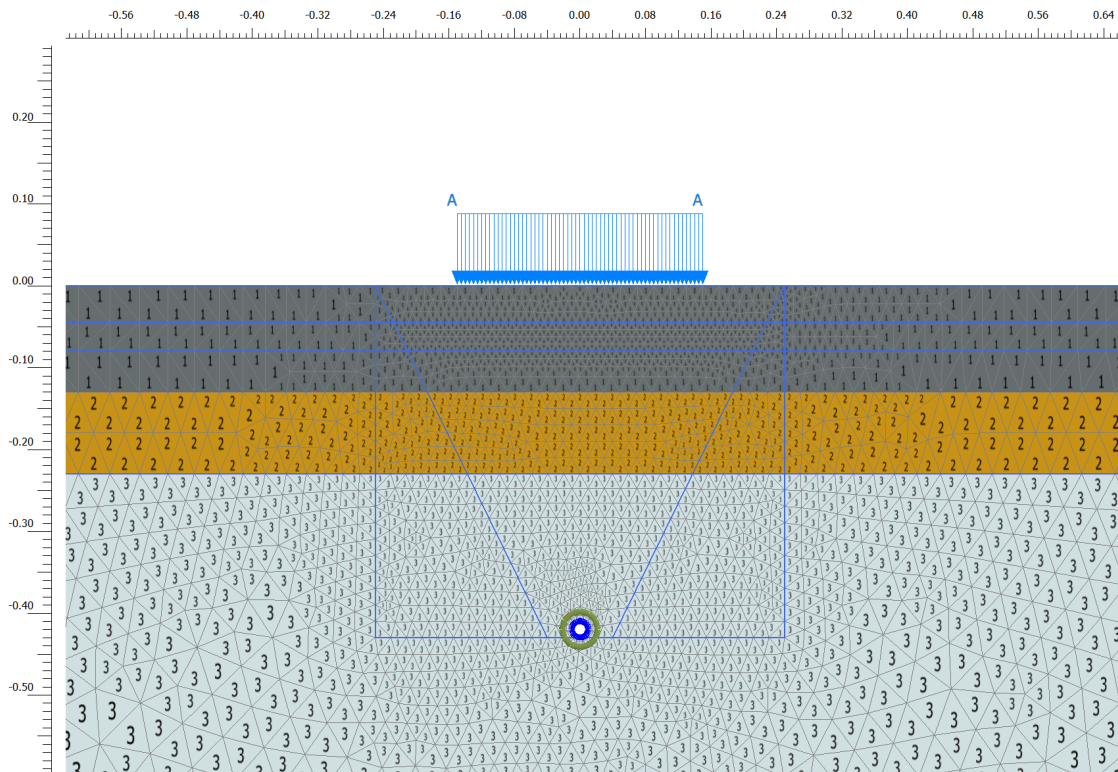
Figur B.5 Aksialkraftdiagram ved elastisk kabelverrsnitt - bransjeløsning. Skjev last.

B.1.3 Forslag fra SVV

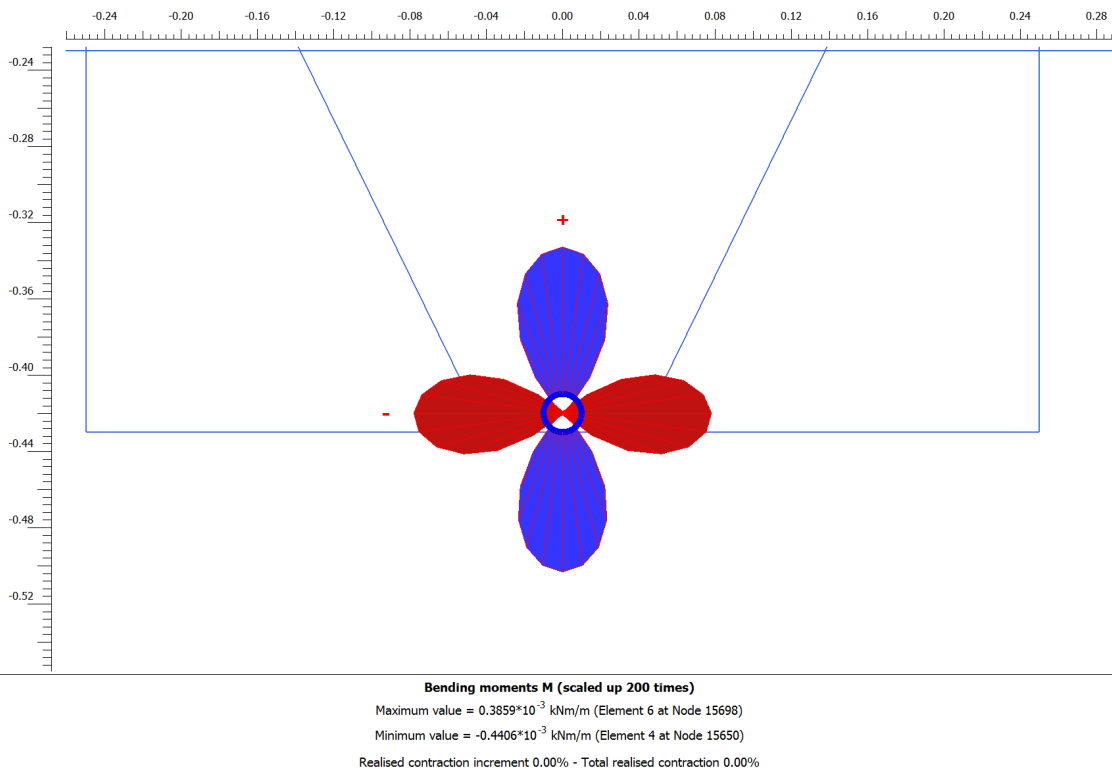
Forslaget fra SVV som det er sammenlignet med er modellert med 40 cm overdekning som er minimumskravet iht. /5/. Det er antatt en bredde på 8cm i bunn av grøft med graveskråninger 2:1. Videre er det antatt at tilbakefyllingen består av samme masser som i den eksisterende vegkroppen.

Det er også her sjekket eksentrisk last. For dette tilfellet med stor overdekning er det imidlertid dimensjonerende med lasten sentrisk plassert over kabelen.

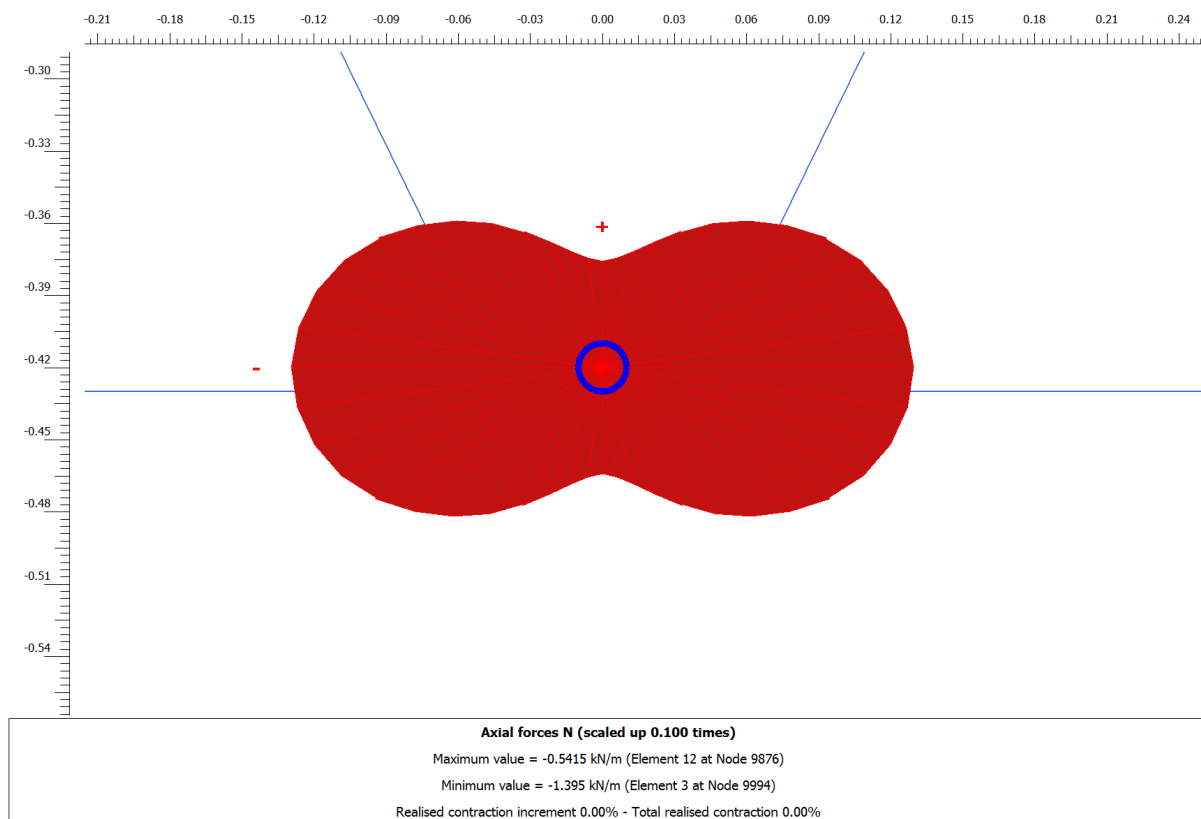
Den benyttede FEM-modellen er vist i Figur B.6. Figur B.7 og Figur B.8 viser hhv. moment- og aksialkraftfordelingen i kabelen når lasten på 900 kPa er påsatt i analysen.



Figur B.6 Utsnitt av FEM-modell forslag fra SVV, 40 cm overdekning.



Figur B.7 Momentdiagram ved elastisk kabelverrsnitt - forslag fra SVV. Sentrisk last.



Figur B.8 Aksialkraftdiagram ved elastisk kabelverrsnitt - forslag fra SVV. Sentrisk last.

B.1.4 Sammenligning av forslag

Resultatene fra analysene for dette kabelverrsnittet er sammenstilt i Tabell 4.2 for SVVs og bransjens forslag. Spenningene i røret er beregnet ut fra både aksiallast og moment som virker ut fra følgende formel:

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W}$$

der, N = aksialkraft

A = areal (veggtykkelse)

M = moment

W = motstandsmoment

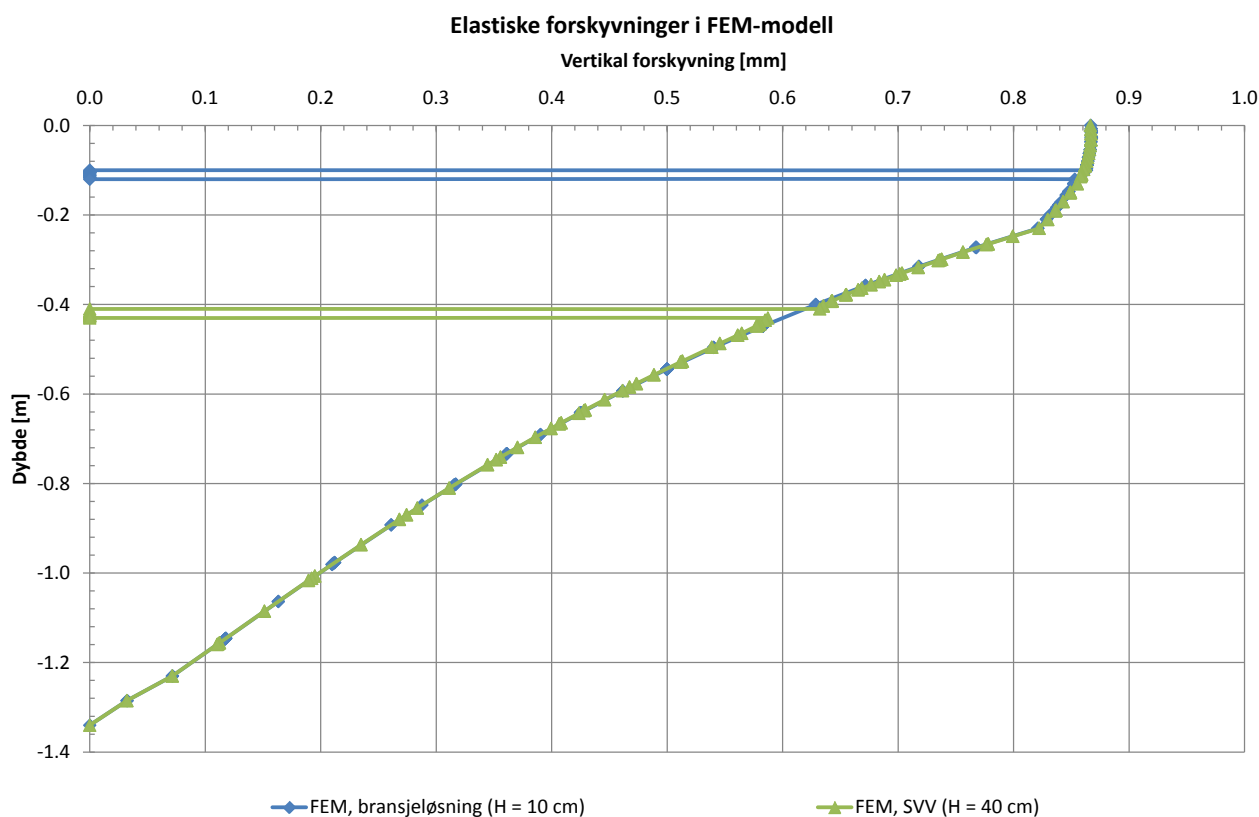
Som en ser så gir begge løsningene momenter i tværsnittet som medfører spenninger vel innenfor elastisk område for HDPE ($\sigma < 22$ MPa). Dersom man konservativt antar sikkerhetsfaktor på 2,5 blir tillatt spenning 8,8 MPa som vist i Tabell B.1.

Tabell B.1 Sammenstilling av resultater 20 mm kabel

Materiale		Bransjeløsning	SVVs forslag
Overdekning som er analysert	[cm]	10	40
Maksimalt moment	[kNm/m]	1,26E-4	4,41E-4
Maksimal normalkraft	[kN/m]	0,894	1,395
Tilhørende spenning	[MPa]	0,64	1,36
Tillatt spenning (design faktor 2,5)	[MPa]	8,8	8,8
Tilhørende vertikal sammensteking av rør (sentrisk belastning)	[mm]	0,010	0,044

Som vist i Figur B.9, influeres ikke de elastiske deformasjonene på topp asfaltdekke av de nedgravde rørene for de to alternativene med de rørstivhetene vi har benyttet (kurvene ligger oppå hverandre). Det anses derfor som sannsynlig at det heller ikke vil være stor forskjell på akkumulerte plastiske deformasjoner med gjentatte overfarer for de to løsningene.

Beregningen viser vertikal deformasjon på ca. 0,9 mm. Dette er noe i overkant av erfaringsgrunnlaget som finnes fra faktiske målinger av deformasjoner ved gode vegkonstruksjoner (ca. 0,5 mm). Det kan nevnes at det konservativt er benyttet en plan tøyningstilstand i disse analysene samt at det kan være antatt noe konservative stivhetsparametere - som det bør gjøres i en dimensjoneringsanalyse. Dvs. at deformasjonene blir noe overestimert pga. at spredningen av spenningene inn i planet ikke tas hensyn til.



Figur B.9 Sammenligning av vertikale deformasjoner.

FEM-analysene som er utført viser at bransjeløsningen er noe bedre sett ut fra rent mekaniske dimensjoneringskriterier av kabelverrsnittet. Dette skyldes at aksiallasten styrer de opptredende kreftene i kabelen. I beregningen med den store overdekningen er det vesentlig større aksialkrefter og dermed også spenninger i tverrsnittet. Ved å studere opptredende spenninger rundt kabelen for de to løsningene er det tydelig å se at det blir relativt sett små vertikalspenninger rett over kabelen samt store horisontalspenninger rundt kabelen for bransjeløsningen. Denne spenningstilstanden fordrer at kabelen ligger i asfalten med høy elastisitetsmodul. Dette forklarer de mindre deformasjonene/ kreftene i forhold til at kabelen ligger lengre ned i vegkroppen i mer elastiske masser.

B.1.5 Sammenligning med klassiske løsninger

Som en kontroll mot og et supplement til FEM-beregningene er det gjort en vurdering av disse forslagene også basert på klassiske beregningsprinsipper for tillatt undertrykk av et rør/ en kabel som følge av det utvendige overtrykket. Dette er blant annet beskrevet i "Rørhåndboka" fra PipeLife Norge AS /7/. Tillatt undertrykk for et rør i en grøft (p_{ill}) kan beregnes som:

$$p_{ill} = \frac{5,63}{\beta} \sqrt{S_R \cdot E'_t}$$

der

E'_t = massenes tangentmodul, $E'_t = 2 E'_s$ i [kPa]. Antatt $E'_s = 1500$ kPa

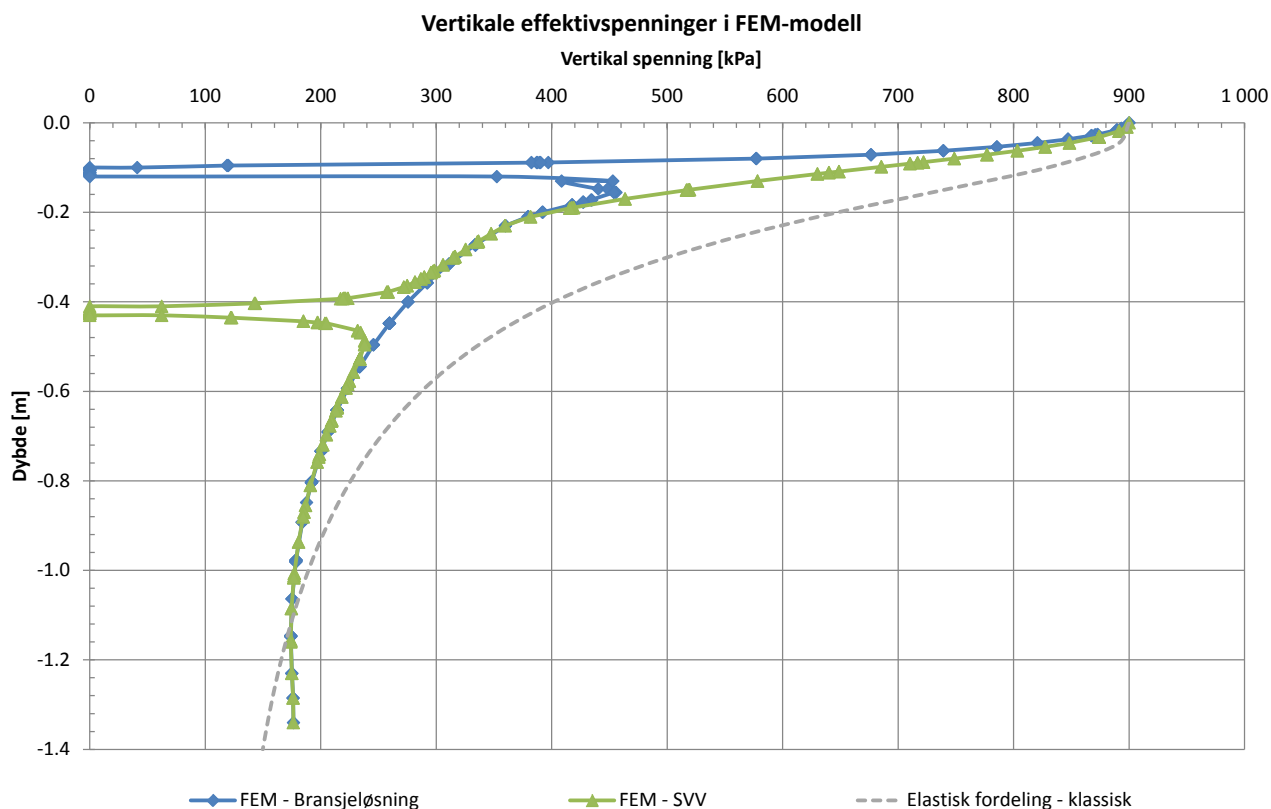
β = sikkerhetsfaktor. Sikkerhetsfaktor på 2,0 benyttet.

S_R = rørets ringstivhet i [kN/m]

Det er i disse beregningene benyttet sekantmodulene som er anbefalt i Rørhåndboka /7/. Disse er ikke i overensstemmelse med det som er benyttet i vegkroppen i FEM-beregningene da denne er modellert relativt stiv. Det er uansett benyttet de andre verdiene da formelgrunnlaget antagelig er utledet ut fra E-moduler av massene som beskrevet i denne håndboka.

Med de benyttede parameterne for denne 20 mm HDPE-kabelen som beskrevet i kapittel B.1.1 er det tillatte undertrykket beregnet til 1,6 MPa.

Spenninger fra FEM-modellene er sammenlignet med klassisk elastisk halvromsløsning etter Boussinesq i Figur B.10. Denne forutsetter et elastisk, homogent og isotropt medium, og fanger derfor ikke opp spenningsfordelingen som følge av ulik stivhetsfordeling i dybden av vegkroppen. Basert på de utførte elementmetodeberegningene og ved spenningsfordeling etter elastiske løsninger er det omsluttende overtrykket vesentlig lavere enn regnet etter Boussinesq. Vertikalspenningen som tatt ut i et vertikalt snitt sentrisk i FEM-modellene er vist i Figur B.10. Dette viser at også klassiske dimensjoneringsmetoder kan forsvare begge alternativene for dette eksempelet idet vi ser at Boussinesq overestimerer spenningene og er dermed på konservativ side.



Figur B.10 Sammenligning av vertikale effektivspenninger.

B.2 Beregningseksempel 2 - 110 mm rør

Som eksempel nr. to vil det bli sett på et rør med diameter 110 mm. Dette kan f.eks. være et drenerør.

B.2.1 Antagelser

Det er tatt utgangspunkt i et PVC-rør med ytre diameter 110 mm og 3,2 mm veggtykkelse. Dette er oppgitt til å tåle 6 bars trykk dersom det benyttes sikkerhetsfaktor (design faktor) på 2,5. Dette er oppgitt å ha flytespenning på $\sigma = 25$ MPa. E-modul av PVC antas som 3500 MPa. Det er antatt et tverrkontraksjonstall på $\nu = 0,40$ også for PVC. Det er ikke hensyntatt bidrag fra eventuelle innvendige føringer i denne analysen. Dvs. at kun selve rørtverrsnittet er antatt konstruktivt i analysen.

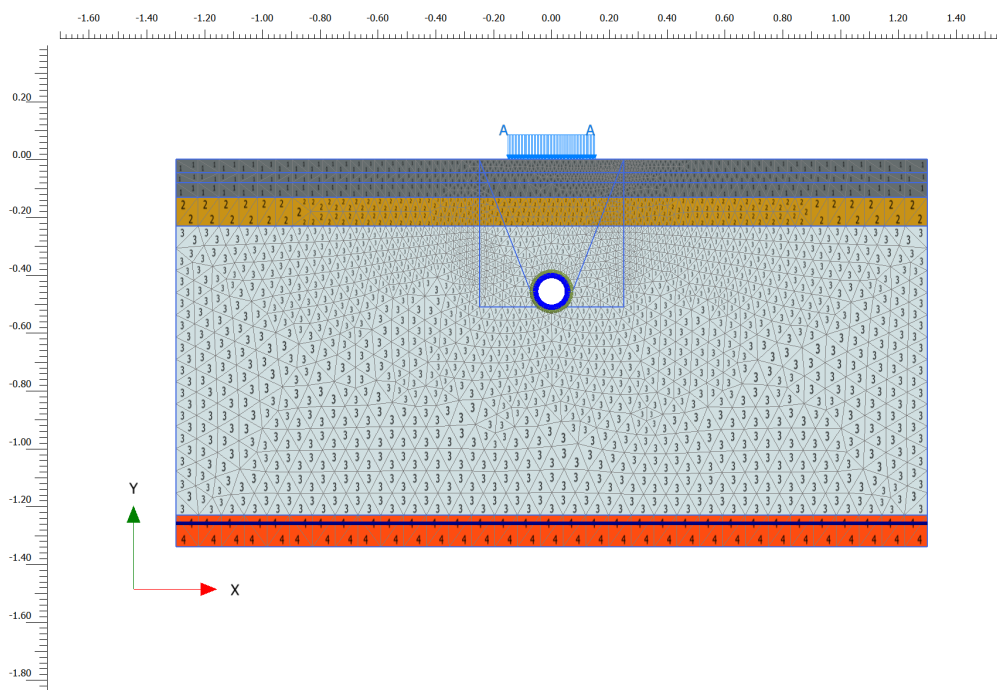
Røret er i FEM-analysen modellert både med lineært elastisk løsning og elastoplastisk løsning. For den elastoplastiske løsningen er det forenklet antatt en flytespenning på 25 MPa.

Det er i disse beregningene også antatt at tilbakefyllingen foregår med de samme massene som vegoverbygningen består av. Dvs. at det antas at det kompakteres i samme grad som det har blitt utført ved byggingen av vegkroppen. Lasten på vegen er også her satt til 900 kPa, og antatt utbredd over en lengde på 30 cm. Det er antatt en plan tøyningstilstand i disse 2-D analysene.

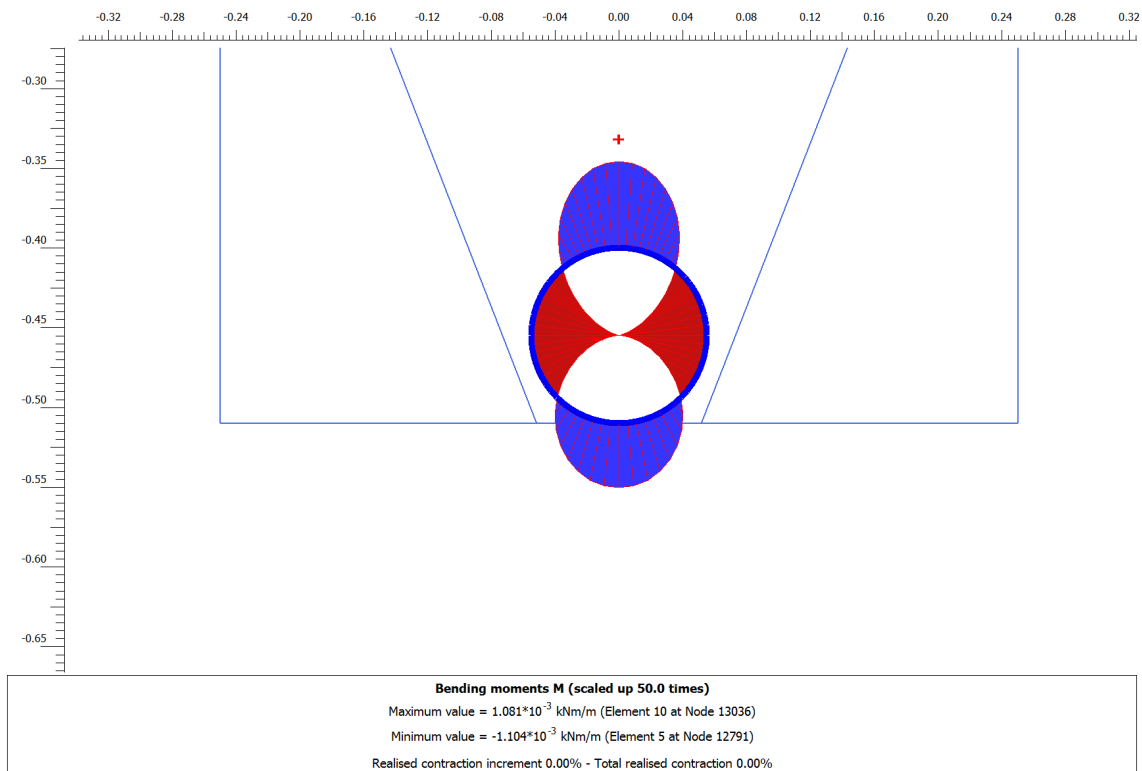
B.2.2 Bransjeløsningen

Figur B.11 viser et FEM-modellen som er benyttet med 40 cm overdekning. Det er funnet at sentrisk belastning er dimensjonerende også for dette røret med 40 cm overdekning.

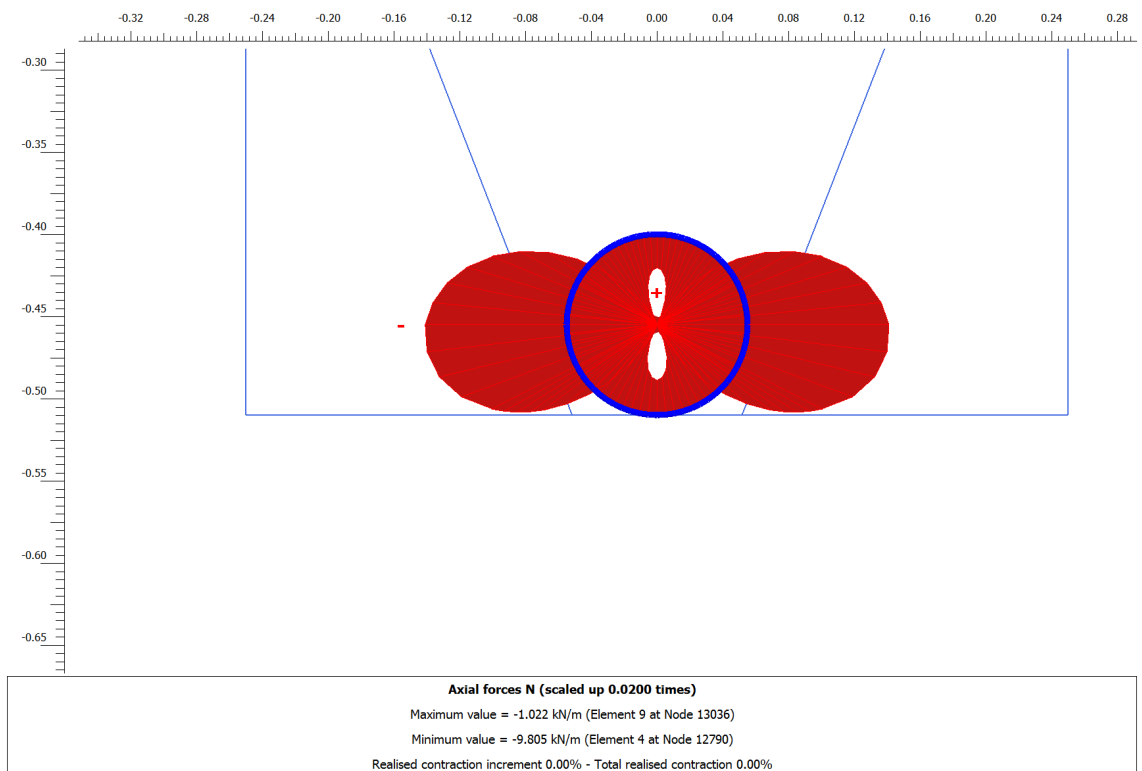
Momentdiagrammet er vist i Figur B.12 mens aksialkreftene er presentert i Figur B.13.



Figur B.11 Utsnitt av FEM-modell bransjeløsning.



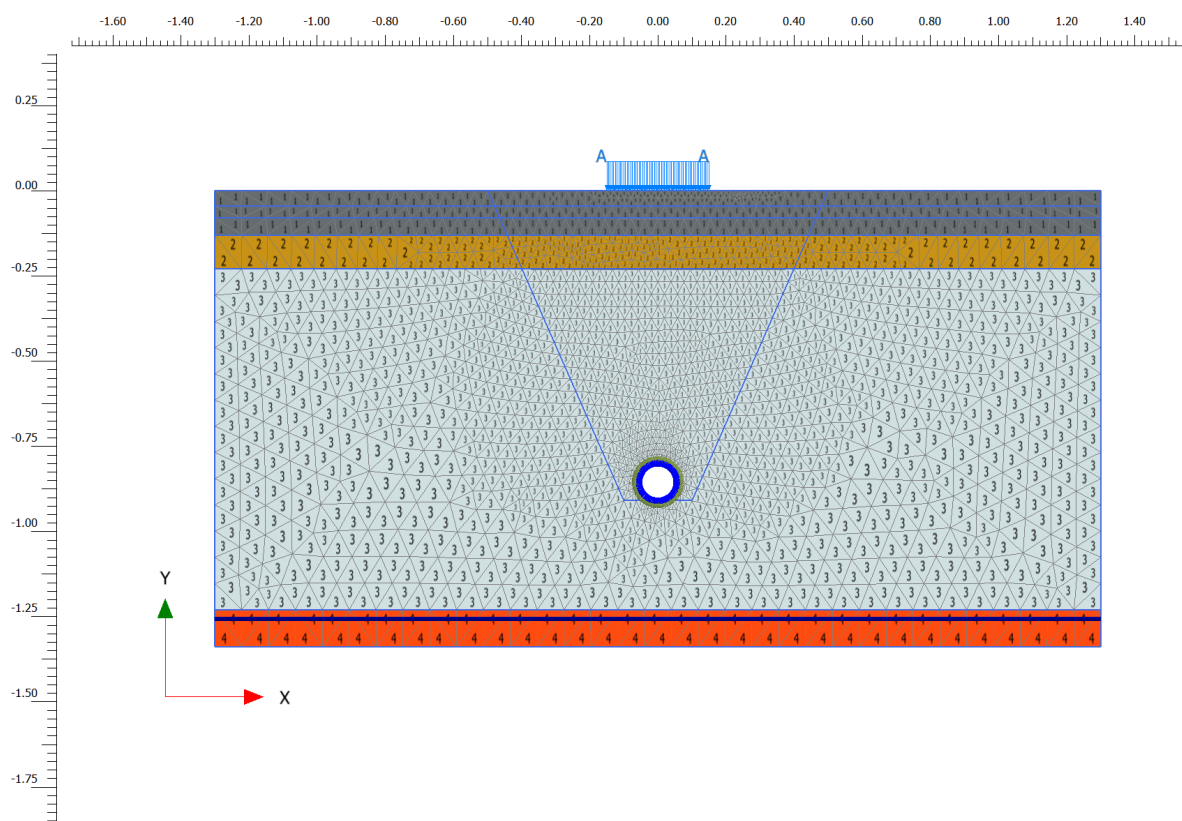
Figur B.12 Momentdiagram ved elastisk rørtverrsnitt - bransjeløsning. Sentrisk last.



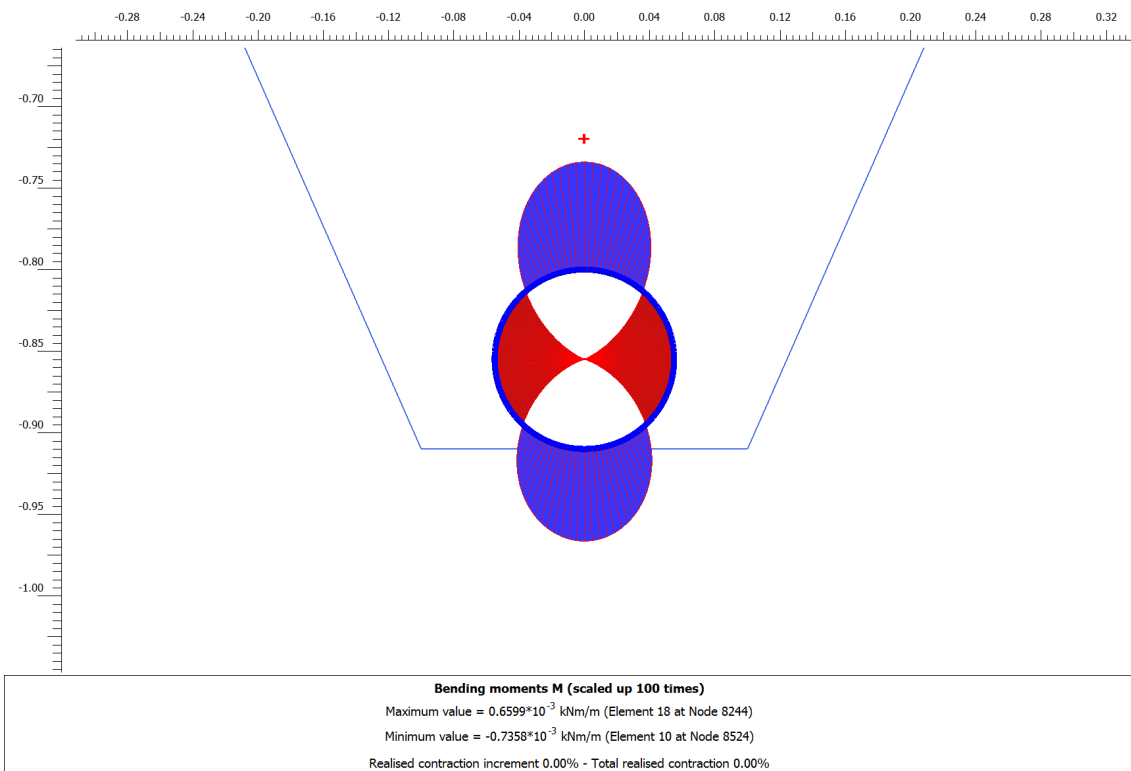
Figur B.13 Aksialkraftdiagram ved elastisk rørtverrsnitt - bransjeløsning. Sentrisk last.

B.2.3 Forslag fra SVV

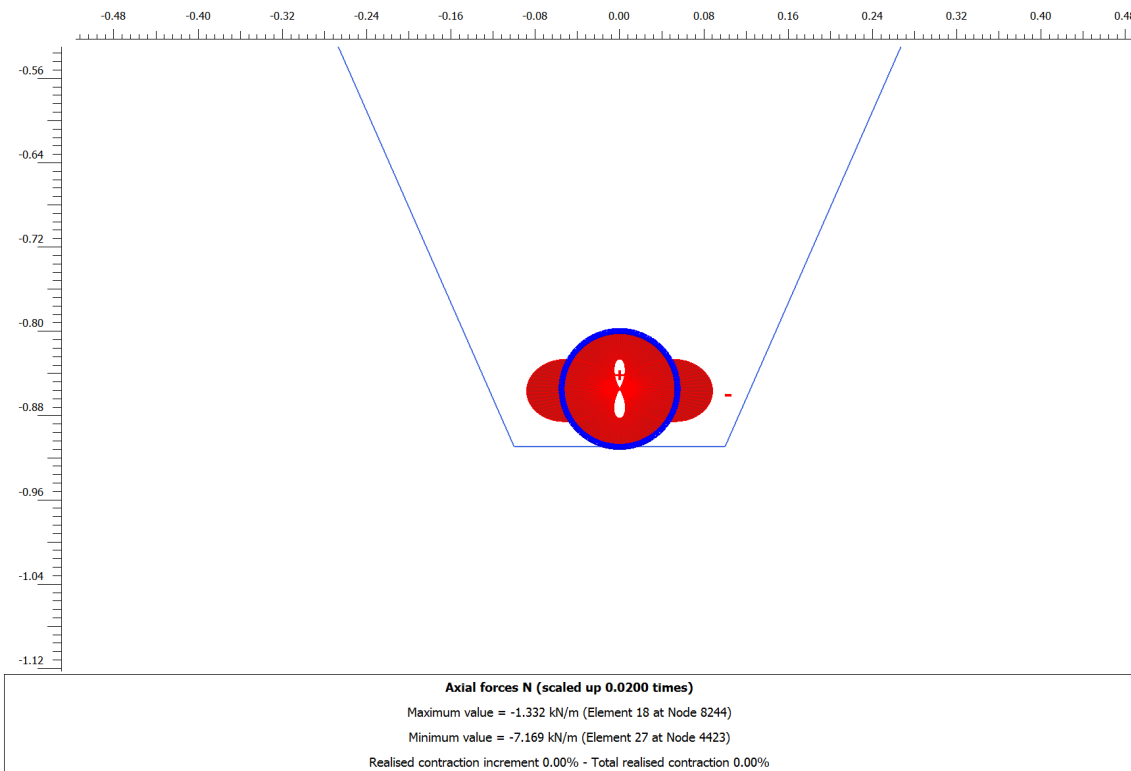
I forslaget fra SVV er beskrevet minimum 80 cm overdekning for denne type rør. Det er benyttet samme modell som for bransjeløsningen, røret er imidlertid flyttet 40 cm ekstra ned i modellen som vist i Figur B.14. Momentdiagrammet er vist i Figur B.15 og aksialkraftdiagrammet i Figur B.16.



Figur B.14 Utsnitt av FEM-modell forslag fra SVV, 40 cm overdekning.



Figur B.15 Momentdiagram ved elastisk rørtverrsnitt - forslag fra SVV. Sentrisk last.



Figur B.16 Aksialkraftdiagram ved elastisk rørtverrsnitt - forslag fra SVV. Sentrisk last.

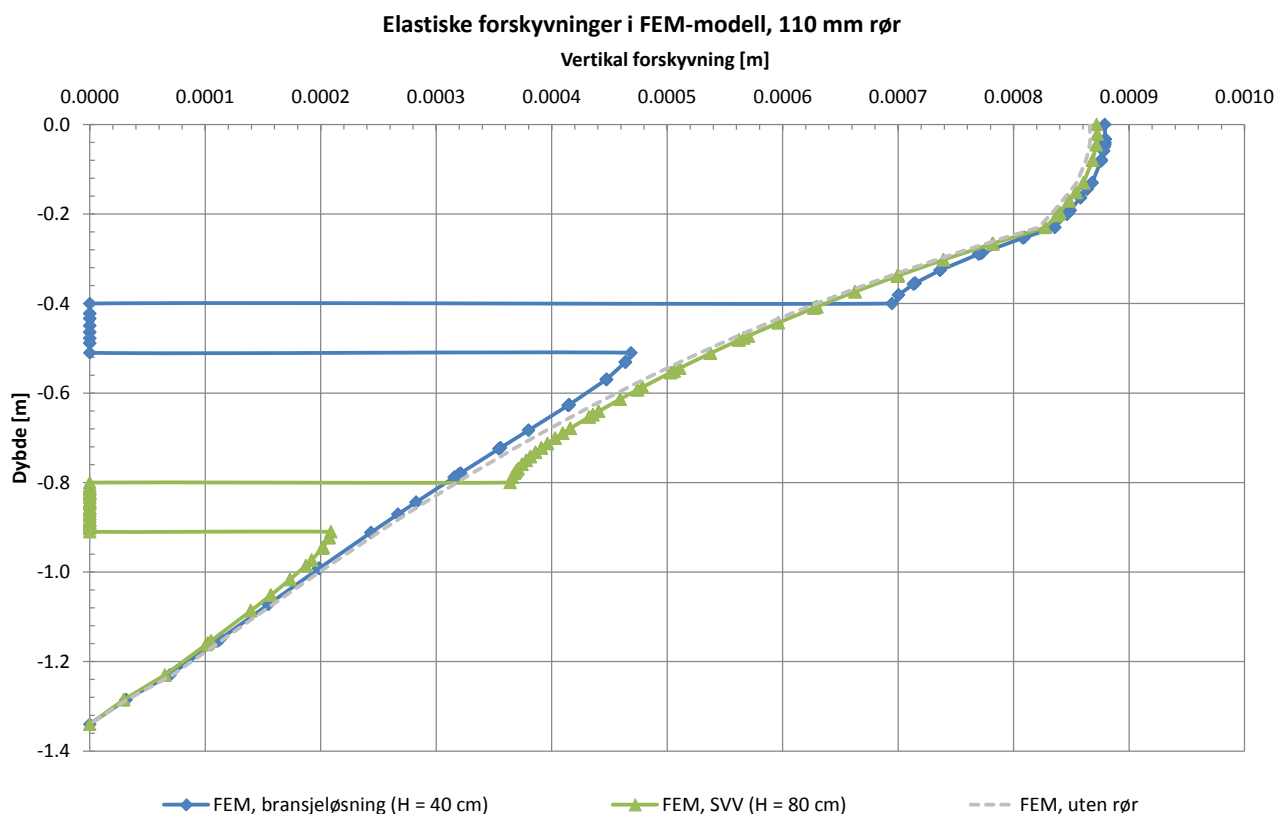
B.2.4 Sammenligning av forslag

Tabell B.2 viser resultatene fra dette beregningseksemplet. Det er for begge løsninger funnet at belastningen fra denne lastsituasjonen er godt innenfor det elastiske spenningsområdet ($\sigma < 25$ MPa) til PVC-røret. Iht. rapport nr. 158-2008 fra Norsk Vann /8/ bør det benyttes en design faktor på 2,5 for dette røret. Tillatt spenning blir da 10 MPa.

Som vist i Figur B.17 er det tilnærmet samme elastiske deformasjon på ca. 0,9 mm i disse to analysene. Bransjeløsningen medfører mindre enn 1 % større elastisk deformasjon enn SVVs løsning. I og med at rørene er påkjent langt fra kapasiteten er det ikke ventet store forskjeller i akkumulerte plastiske deformasjoner etter gjentatte overførter for de to løsningene.

Tabell B.2 Sammenstilling av resultater 110 mm rør

Materiale		Bransjeløsning	SVVs forslag
Overdekning som er analysert	[cm]	40	80
Maksimalt moment	[kNm/m]	1,104E-3	0,736E-3
Maksimal normalkraft	[kN/m]	9,805	7,169
Tilhørende spenning	[MPa]	3,71	2,67
Tillatt spenning (design faktor 2,5)	[MPa]	10,0	10,0
Tilhørende vertikal sammenstukning av rør	[mm]	0,23	0,16



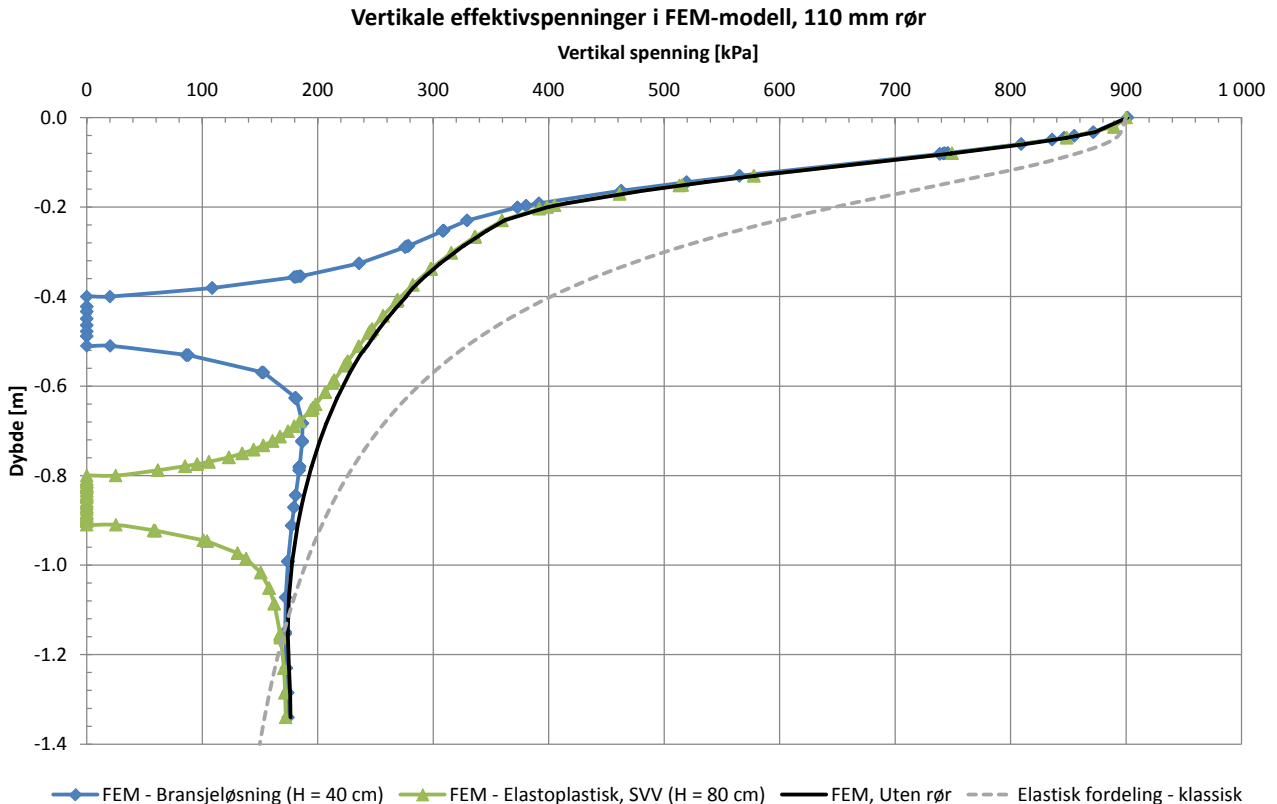
Figur B.17 Sammenligning av vertikale deformasjoner.

B.2.5 Sammenligning med klassiske løsninger

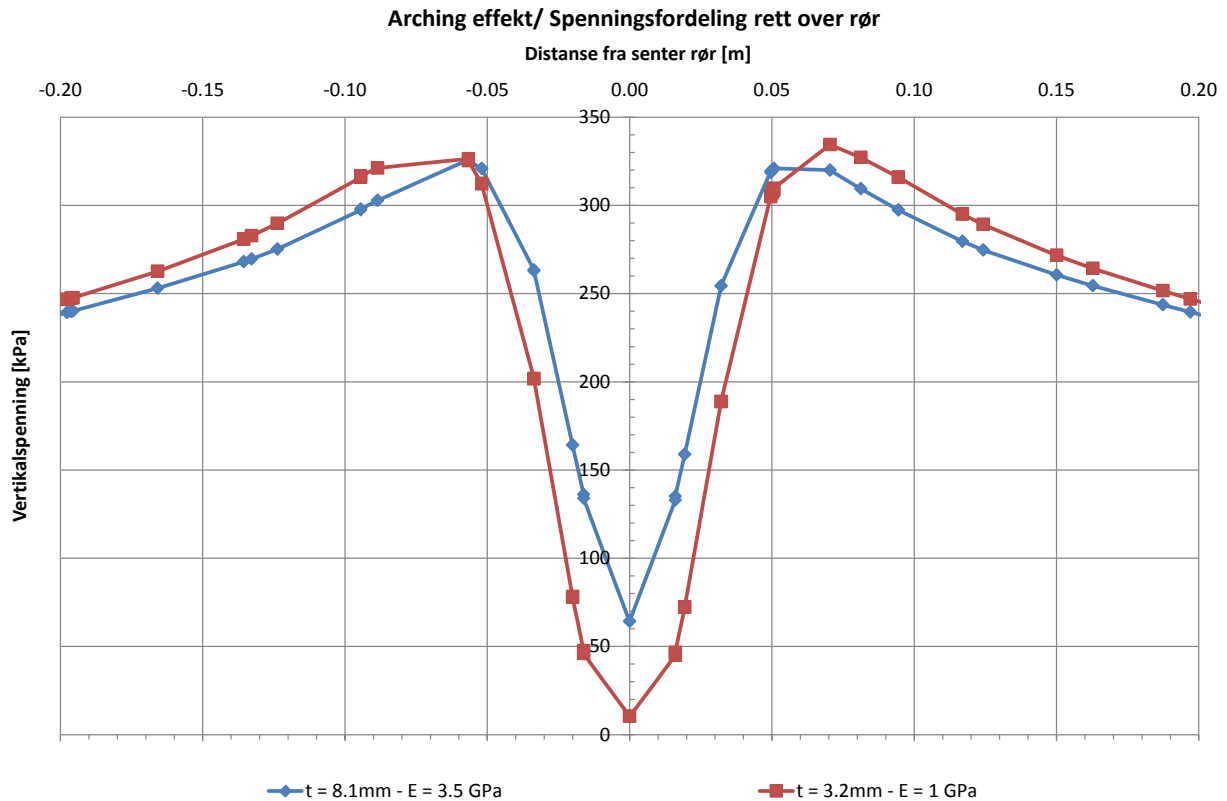
Det er benyttet samme beregning med klassiske løsninger som vist i kap. B.1.5 også for dette eksemplet. Med de benyttede parameterne for dette PVC-røret og sekant E-modul på 1500 kPa er det tillatte undertrykket beregnet til ca. 430 kPa når det benyttes sikkerhetsfaktor på 2,0.

Som man ser fra Figur B.18 avtar vertikalspenningene rett over røret i FEM-beregningene. Dette er kjent som 'arching effect' (buevirkning) og viser betydningen av samvirket jord/konstruksjon i en FEM-analyse. Ved at konstruksjonen er fleksibel fordeles spenningene og er med på å påføre konstruksjonen mindre krefter. Dette er illustrert i Figur B.19 der to 110 mm rørtverrsnitt med ulik veggtykkelse (t) og E-modul (E) er antatt med overdekningen på 0,4 m. Figuren plottes vertikalspenning i 0,4 m dybde og viser at det mer fleksible røret drar på seg mindre krefter enn det stivere røret.

Det er også sammenlignet med beregningsmetodikk fra USA, ref. Watkins & Anderson /9/. Denne beregningsmetodikken tar også inn fleksibiliteten av røret. Krittisk trykk er med denne metoden beregnet til 340 kPa rett over røret når det antas en sikkerhetsfaktor på 2,0, som denne referansen anbefaler. Kravet til overdekning for dette tverrsnittet er da ca. 0,5 m dersom det antas elastisk spenningsfordeling, eller ca. 0,3 m om det tas inn spenningsfordeling som følge av lagdelingen (FEM-analysen). Dette er vist i Figur B.18. Det skal nevnes at også denne beregningsmetoden er konservativ for dette tverrsnittet/ overdekningen da det antas at lasten kun fordeles over den ene halvdel av røret. I virkeligheten vil spenningsfordelingen gjennom overdekningen gjøre lastsituasjonen bedre., noe som er eksemplifisert gjennom FEM-beregningene. Denne kontrollberegningen viser imidlertid også at både løsningen fra SVV og den fra bransjen er akseptable ut fra mekaniske dimensjoneringskriterier.



Figur B.18 Sammenligning av vertikale effektivspenninger.



Figur B.19 Sammenligning av vertikale effektivspenninger for to rørtverrsnitt med ulik stivhet.

Dette beregningseksempelet viser at klassiske beregningsmetoder etter norsk praksis kan forsvare begge disse løsningene med det gitte røret. Ved å regne med FEM-modeller tas stivheten av konstruksjonen hensyn til, noe som medfører at påkjenningene til røret blir langt lavere enn dersom røret antas helt stift.

Dette beregningseksempelet viser at løsningen fra SVV vil være en mer robust løsning enn bransjeløsningen sett ut fra mekanisk dimensjonering av røret. Imidlertid kan det konkluderes med at begge løsninger kan forsvares med slike detaljerte FEM-beregninger og at de elastiske deformasjonene varierer med mindre enn 1%.

Referanser

Referansene i dette bilaget er å finne til slutt i hovedrapporten, dvs. i kap. 8.



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no