

Tromsø kommune - Vann og Avløp

Nordtromsøya Høydebasseng

Overføringsledning - lekkasje

Oppsummering



Oppdragsnr.: 5161800 Dokumentnr.: 4 Versjon: J03
2017-03-14

Kunde: Tromsø kommune - Vann og Avløp
Kundes kontaktperson: Arne Tøssem
Rådgiver: Norconsult AS, Vestfjordgaten 4, NO-1338 Sandvika
Oppdragsleder: Yngve Johansen
Fagansvarlig: Jonas Jessen Ruud
Andre nøkkelpersoner: Hans Olav Nyland

J03	2017-03-14	Klar til bruk	Jonas Jessen Ruud	Hans Olav Nyland	Yngve Johansen
C02	2017-03-08	For oppdragsgivers kommentar	Jonas Jessen Ruud	Hans Olav Nyland	Yngve Johansen
A01	2017-03-06	For intern fagkontroll	Jonas Jessen Ruud	Hans Olav Nyland	Yngve Johansen
Version	Dato	Beskrivelse	Udarbeidet	Fagkontroll	Godkjent

Dette dokument er utarbeidet av Norconsult AS som en del av det oppdrag som dokumentet omhandler. Opphavretten tilhører Norconsult. Dokumentet må kun benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte, eller benyttes til andre formål.

Sammendrag

Inledning

Tromsø kommune er byggherre (tiltaksøver) for nye ventilnummer, overføringsledning, adkomstvei og høydebasseng nord på Tromsøya. Prosjektet er delt opp i tre entrepriser, denne rapporten omhandler kun overføringsledningen i entreprisen «G2 – VA-anlegg og adkomstvei»

For entrepris G2 er overføringsledningen montert i løpet av 2014 og 2015. Overføringsledningen består av fire separate nedgravede trykkrør, lagt i parallell (rør øst og vest), med ventilikum G2 omtrent midt på strekningen. Overføringsledningen består av

- Fra havet ved ventilhus «G1» og opp til ventilikum «G2» ligger det to parallelle DN600 duktile støpejernrør
- Fra G2 og opp til høydebasseng ligger det et DN600 og et DN700 dukkitt støpejernrør i parallell, i tillegg til et DN500 PE tømmerør.
- Det er lagt over 2000 m nye trykkrør.

Tiltakshaver er Tromsø kommune, ansvarlig søker og prosjekterende er COWI as, og ansvarlig utførende er Einar Sørensen Maskinentreprenør AS.

Alle de fire delstrekningene av trykkrøret lekker vann ved prøvetrykket under trykktesting.

Lekkasjemengden er estimert ved trykk- og lekkasjemålinger til å være:

• fra G1 til G2 rør vest	DN600	128 l/time
• fra G1 til G2 rør øst	DN600	432 l/time
• fra G2 til høydebasseng	DN600	57 l/time
• fra G2 til høydebasseng	DN700	150 l/time

Det er i dag stilstand i arbeidene med å fullføre prosjektet, i påvente av en omforent enighet om sluttføring. Norconsult (NO) er engasjert av Tromsø kommune, Vann og Avløp, som en uavhengig tredjepart for å vurdere overføringsledningen, mulige årsaker til lekkasjene, og hva som kan gjøres for å slutføre prosjektet.

Tromsø kommune initierte destruktiv test av to muffekoblinger med synlig lekkasje, som en uavhengig kontroll av årsaker til lekkasjene.

Dokumentasjon er gjennomgått av NO, tre befaringer til anleggsstedet er utført, og destruktiv test av to utvalgte muffekoblinger i verksted er utført. Ytterligere opplysninger er framkommet i samtaler, møter og via e-post underveis. Denne rapporten oppsummerer funn av betydning for lekkasjene.

Strekkrast rørsystem

Et strekkrast rørsystem forutsetter forankring av krefter ved retningsendringer ved hjelp av friksjon mellom strekkraste rør og omfyllingsmasser. Riktig utført er dette en løsning som ivaretar trykkrørenes stabilitet, og er omtalt i relevante VA miljøblad.

Trykkrørene er i utgangspunktet montert av entreprenøren uten å aktivere muffekoblingene særskilt, i strid med forutsetningene for et strekkrast rørsystem uten forankringsfundamenter ved bend og høybrykk. Aktivering av strekkraste koblinger er ikke et tema i VA-miljøblad da det er underforstått at de strekkraste muffekoblingene i et strekkrast rørsystem skal aktiveres for å unngå bevegelse i mellom rørene, for å holde trykkrørene stabile ved bend og høybrykk.

Manglende aktivisering av de strekkfaste koblingene kan ha:

- påvirket muffekoblingens tettefunksjon ved avvinkling
- gitt utfordringer med ustabile delstrekninger av trykkrørene, spesielt ved høybrykk

Utsatte høybrykk er nå stabilisert ved bruk av forankringsfundamenter. Manglende aktivisering av strekkfaste muffekoblinger er generelt sett ikke ansett som en vesentlig årsak til for store avvinklinger i muffekoblingene. Årsaken til dette er at muffekoblingenes avvinkling allerede ved montasje stedvis er høyere enn leverandørens maksimalt tillatte avvinkling i muffekoblingene.

Entreprenørens egne oppmålinger viser at anslagsvis halvparten av rørene er lagt med avvinkling i muffekoblingene ut over leverandørens tillatte avvinkling på 1,5° (for DN700) og 2° (for DN600). Entreprenøren har underveis i montasjen ikke hatt tilstrekkelig internkontroll på nøkkelparametere som avvinkling, i kombinasjon med ovalitet, rørlengder, saksing etc., i hver muffekobling, og at disse parametere holdes innenfor tillatte verdier.

Prosjekterende har utarbeidet arbeidstegninger som detaljerer delstrekninger av trykkrør med avvinklinger ved retningsendringer som vil gi for stor avvinkling i muffekoblingene, dersom tegningene følger direkte. Det vil si at trykkrørene er prosjektert på en slik måte at entreprenøren ikke kunne legge trykkrørene i henhold til arbeidstegningene, uten å komme i konflikt med de oppgitte toleransekravene for avvinkling i de strekkfaste muffekoblingene. Når store avvinklinger ved retningsendringer som angitt på arbeidstegningene i virkeligheten skal tas opp som mindre vinkleendringer i muffekoblingene over flere enkeltør må tegningen reflektere dette, ettersom grøfta graves og rør legges fortløpende ved hjelp av gravemaskinens GPS. Entreprenøren har fravirket arbeidstegningene for å redusere avvinklinger i muffekoblingene, og selv vurdert hvordan den prosjekterte linjen skal kunne følges. Uten et tegningsunderlag som reflekterer faktisk rørtrasé ble det krevende for entreprenøren å unngå å legge mange rør over 2° avvinkling i muffekoblingene.

NO vurderer at store deler av vannveien ikke vil være avhengig av et strekkfast rørsystem for å være stabilt. Hvilke øvrige større bend (som ikke allerede er forankret) som kan være ustabile, må klargjøres med omforente stabilitetsvurderinger.

Lekkasjeårsak

To muffekoblinger med observert lekkasje fra tidligere trykktester ble kappet ut av røret i grøften, for grundigere inspeksjon på stedet og i verksted. Formålet med de destruktive testene var om mulig å finne årsaker til lekkasjene. Muffekoblingene ble åpnet med vinkelsliper, slik at tilstanden i muffekoblingen kunne inspiseres uten å påvirke tetningssystemet. De destruktive testene påviste uheldige deformasjoner i muffekoblingene.

Sannsynlig hovedårsak til lekkasjene i de to inspiserte strekkfaste muffekoblingene er en kombinasjon av følgende faktorer, som er gjensidig avhengig av hverandre:

- avvinkling i muffekoblingene ut over leverandørens maksimalt tillatte avvinkling
- avvinkling utført med spissenden helt inne i muffekoblingen (ikke aktivert strekkfast muffekobling ved å trekke røret ut etter montasje)
- rørenes lave PFA (tillatt arbeidstrykk) gir en relativt svak spissende som bidrar til deformasjonene

Avvinklingen har gitt skjevkrefter og lokal deformasjon av muffekoblingen. Sveiselarven har presset seg helt inn under støttingen for pakningen i muffekoblingens «innersving», og dermed fortrengt muffeenden. Slik er muffekoblingenes designede tette- og låsefunksjon ikke oppnådd, på grunn av liten eller ingen forspenning på pakningen. Lekkasjen har oppstått der forspenningen på pakningen er minst.

Skadene på de inpsiserte muffekoblingene er sannsynligvis påført av gravemaskin, ved avvinkling under montasje. I henhold til typetesten av strekkaste duktile støpejernrør (beskrevet i NS-EN 545, kapittel 5.3 og 7.2), skal rørene utsettes for fullt endebunnstrykk ved maksimal tillatt avvinkling, uten å ha synlig lekkasje. Krefter fra innvendig trykk i røret tas opp som interne spenninger i muffekoblingen med låsesegmenter, og denne skal være dimensjonert til å tåle de aksielle og radielle krefter som da oppstår. Dette er et viktig moment for trykkrørene til Nordtromsøya. Det betyr at skadene på rørene sannsynligvis har oppstått da trykkrørene ble montert med avvinkling større enn leverandørens tillatte avvinkling, eller ved senere justering av deler av trykkrørene.

Det kan være flere muffekoblinger med lignende skader og lekkasjesårsak spredt utover blant trykkrørene, der avvinklingene i muffekoblingene overstiger maksimalt tillatt avvinkling.

Rørleverandør har levert rør som ikke tilfredsstiller krav i entreprenørens kontrakt (mengdebeskrivelsen). De leverte rørene har følgende tekniske data dokumentert av rørleverandør:

- trykkklasse PFA mellom 16-25 bar for DN600, mens kravet er PFA=30 bar
- trykkklasse PFA mellom 10-16 bar for DN700, mens kravet er PFA=27 bar
- statisk trykk i overføringsledningen kan bli 21 bar, og testtrykket er 32 bar.
- tillatt avvinkling for DN700 rør er 1,5°, mens kravet er 2°.
- tillatt avvinkling er i henhold til kravet for DN600 rør.

Lekkasjefordringer over tid

Påvist lekkasje i trykkrørene gjør at rørene ikke kan overtas av byggherren. Ufordringene består blant annet av:

- Gjennomføring av prøvetid
- Overtakelse av trykkrørene
- Leverandørens garantier
- Eventuelle langtidsvirkninger av kontinuerlig lekkasje

Angående eventuelle negative langtidsvirkninger ved lekkasje i trykkrør, er muligheter for økt lekkasje og utvasking av omfyllingsmasser de mest sentrale.

- Det ble under destruktive tester observert korrosjon i muffekoblingens pakningsområde. Korrosjon oppstår med tilgang på luft og vann. Det er grunn til å anta at korrosjonen vil utvikle seg og øke i omfang over tid, og vil kunne øke lekkasjene.
- Vannstrålen fra lekkasjen kan, med eventuell innblanding av skitt i vannet, gi siltasje på pakningen, med økt lekkasje som resultat.
- Vann og eventuell vannstrålen fra lekkasjene kan forårsake utvasking av omfyllingsmassene rundt trykkrørene over tid, noe som vil kunne påvirke rørenes stabilitet og muliggjøre rørbrudd.

Innhold

1	Nordtromsøya Høydebasseng - trykkrør	9
1.1	Innledning	9
1.2	Prosjektorganisasjon	10
1.3	Anleggets hoveddata	11
1.4	Utførte tiltak etter montasje	11
2	Trykkprøving	13
2.1	Spesifisert i mengdebeskrivelsen	13
2.2	Utført	13
2.2.1	Trykkprøving 2015	13
2.2.2	Trykkprøving 2016/2017	14
2.3	Konklusjon	14
3	Prosjekteringsunderlag	15
3.1	Prosjekterende	15
3.2	Arbeidstegninger	15
3.3	Strekkfast rørsystem for stabilitet	17
3.4	Ikke-strekkfast rørsystem	17
3.5	Konklusjon	18
4	Rørproduzentens produktkatalog og leggeanvisning	19
5	Prosjekteringsunderlag og rørleveranse	20
5.1	Dokumentasjon	20
5.2	Allowable operating pressure – PFA	21
5.2.1	Spesifisert i mengdebeskrivelsen	21
5.2.2	Leverert	21
5.2.3	Konklusjon	22
5.3	Avvinkling i strekkfaste muffe	23
5.3.1	Spesifisert i mengdebeskrivelsen	23
5.3.2	Leverert	23
5.3.3	Konklusjon	23
5.4	Pakning	24
5.4.1	Spesifisert i mengdebeskrivelsen	24
5.4.2	Leverert	24
5.4.3	Konklusjon	24

6	Prosjekteringsunderlag og utførelse	25
6.1	Strekktaste muffekoblinger	25
6.1.1	Spesifisert i mengdebeskrivelsen	25
6.1.2	Utført	26
6.1.3	Konklusjon	27
6.2	Avvinkling	27
6.2.1	Spesifisert i mengdebeskrivelsen	27
6.2.2	Utført montasje	27
6.2.3	Utført innmåling av rørene	28
6.2.4	Konklusjon	28
6.3	Komprimering og omfyllingsmasser	29
6.3.1	Spesifisert i mengdebeskrivelsen	29
6.3.2	Utført	29
6.3.3	Konklusjon	29
7	Destruktiv testing og inspeksjon	30
7.1	Bakgrunn og formål	30
7.2	Deltakere	30
7.3	Forberedende arbeider	31
7.4	Inspeksjoner i verksted	31
7.4.1	Muffekobling 1	32
7.4.2	Muffekobling 2	33
7.4.3	Antatt årsak til lekkasje for de inspiserte muffekoblingene	34
7.4.4	Lekkasjeutfordringer over tid	35
7.5	Mulige lekkasjeårsaker for resterende trykkrør	36
7.6	Konklusjon	36
8	Hovedkonklusjon	37
8.1	Strekktast rørsystem	37
8.2	Lekkasjeårsak	38
8.3	Lekkasjeutfordringer over tid	39
9	Videre arbeider	40
9.1	Undersøkelser	40
9.1.1	Stabilitetsvurdering av trykkrørene	40
9.1.2	Trykktørberegning	40
9.1.3	Vurdering av innmålte koordinater for rørene	41
9.1.4	Innvendig videoinspeksjon	41
9.1.5	Avvinklingstest på nye rør	42

10 Vedlegg	43
10.1 Tillatt avvinkling, utdrag fra SMS produktkatalog	43
10.2 Innmåling av avvinkling	44
10.3 Bilder fra verkstedsinspeksjonen	46
10.3.1 Muffekobling 1	46
10.3.2 Muffekobling 2	49

1 Nordtromsøya Høydebasseng - trykkrør

1.1 Innledning

Tromsø kommune er byggherre (tiltakshaver) for nye ventilnummer, overføringsledning, adkomstvei og høydebasseng nord på Tromsøya. Prosjektet er delt opp i tre entrepriser, denne rapporten omhandler kun overføringsledningen i entreprisen «G2 – VA-anlegg og adkomstvei»

For entreprise G2 er overføringsledningen montert i løpet av 2014 og 2015. Overføringsledningen består av fire separate nedgravde trykkrør, lagt i parallell (rør øst og vest), med ventilikum G2 omtrent midt på strekningen. Overføringsledningen består av

- Fra havet ved ventilhus «G1» og opp til ventilikum «G2» ligger det to parallelle DN600 duktille støpejernrør
- Fra G2 og opp til høydebassenget ligger det et DN600 og et DN700 duktilt støpejernrør i parallell, i tillegg til et DN500 PE tømmerør.
- Det er lagt over 2000 m nye trykkrør.

Før overlevering fra entreprenør til kommunen skal det dokumenteres at trykkrørene er tette, i henhold til NS-EN 805. Alle de fire delstrekningene av trykkrøret lekker for mye. Det er i dag stillstand i arbeidene med å fullføre prosjektet, i påvente av en omforent enighet om sluttføring.

Norconsult er engasjert av Tromsø kommune - Vann og Avløp som en uavhengig tredjepart for å vurdere overføringsledningen, vurdere mulige årsaker til lekkasjene, og vurdere hva som eventuelt kan gjøres for å slutføre prosjektet. Rapporten er basert på kunnskap fra VA-anlegg og vannkraftanlegg med tilsvarende rørtipe og trykk, samtaler og e-post-korrespondanse med kommunen, entreprenøren, rørleverandøren, byggelederen og andre ressurspersoner, tre befaringer til anlegget, møter med involverte parter, og en gjennomgang av vesentlige deler av prosjektunderlaget. Rapporten omhandler hovedsakelig delen av trykkrør vest mellom ventilikum G1 og G2, men innholdet er like aktuelt for hele overføringsledningen.

Denne rapporten er en oppsummering av de fakta og funn som er fremkommet. Rapporten er delt opp med en del med prosjekteringsunderlag sammenholdt med hva som er levert av trykkrør, og hvordan trykkrøret er montert. Deretter følger en gjennomgang av de destruktive testene av to muffekoblinger i verksted, før lekkasjeårsaken konkluderes. Til slutt kommer en oversikt over et forslag til et minimum av videre undersøkelser.

Rapporten er skrevet med forbehold om at NO ikke nødvendigvis har hatt tilgang til komplett underlag eller siste versjon av underlag, og heller ikke de formelle kontraktene partene imellom.

Pelnummere er benevnt i hele 1000-tall, for å skille de forskjellige delstrekningene fra hverandre. Eksempelvis pel 1200 er pel 200 for rør 1 (rør vest mellom G1 og G2).

1.2 Prosjektorganisasjon

Følgende foretak er involvert i prosjektet:

- **Tiltakshaver** Tromsø kommune, Vann og Avløp (TK)
- **Ansvarlig søker** Rådgivende ingeniør COWI AS, Fredrikstad (COWI)
Innehar sentral godkjenning som ansvarlig søker for alle typer tiltak i tiltaksklasse 3.
- **Ansvarlig prosjekterende** Rådgivende ingeniør COWI AS, Fredrikstad (COWI)
Innehar sentral godkjenning som prosjekterende for vannforsyningsanlegg i tiltaksklasse 3
- **Ansvarlig utførende** Einar Sørensen Maskinentreprenør AS (ESM)
Innehar sentral godkjenning som utførende for grunnarbeid og landskapsutforming i tiltaksklasse 3

NO har ikke vurdert foretakenes formelle kvalifikasjoner, eller tiltaksklasse ved oppstart av arbeidene.

Mengdebeskrivelsen beskriver at arbeidene er klassifisert i tiltaksklasse 3 iht. Plan og bygningsloven (side D-85 post nr. 2.29.00.01.3 Øvrige bestemmelser), og krever at ansvarlig utførende er godkjent i tiltaksklasse 3 for overordnet ansvar for utførelse (side B-6 post nr. B.2.4 Tekniske og faglige kvalifikasjoner).

Øvrige foretak/aktører

- Byggeleder Nordnorsk Byggekontroll AS (NNBK)
- Rørprodusent Samsun Makina Sanayi (Tyrkia) (SMS)
- Rørleverandør Encono AS (Encono)
- Rørgrossist Heidenreich AS
- Uavhengig tredjepart Norconsult AS (NO)
- Verktøed for destruktiv test Båt og byggestål AS (BB)
- Konkurrerende rørleverandør Saint Gobain PAM (PAM)

1.3 Anleggets hoveddata

Anleggets hoveddata er listet opp i Tabell 1. Informasjonen er overlevert fra byggherre.

Tabell 1 Anleggets hoveddata

	Verdi	Enhet	Kommentar
Maksimal vannføring	0,33	m ³ /s	Per i dag
Kote Høydebasseng	140	kote	Prosjektert
Kote kum V6170 (G2)	72	kote	
Kote kum V6169 (G1)	7	kote	
Rørlengde vest DN600	1100	m	Fra G1 til høydebasseng
Rørlengde øst DN600	480	m	Fra G1 til G2
Rørlengde øst DN700	620	m	Fra G2 til høydebasseng
Rørtype / -leverandør	Duktille støpejernrør med strekkfaste muffertype SL / Samsun Makina Sanayi (Tyrkia)		
Statisk trykk	Ca. 21	bar	Statisk trykk fra Simavika
Testtrykk (som for 25-bar anlegg)	Ca.32	bar	I G1
	Ca. 27	bar	Ved avdekt bønd pel 1200
	Ca. 23,7	bar	I G2

1.4 Utførte tiltak etter montasje

I løpet av 2016 ble flere større høybrykk i trykkrøret forankret med betongfundament og klemmer over rørene på hver side av bendene. Høybrykkene var 11,25° strekkfast bønd med avvinkling av rørene inn og ut av bøndet. Det var antatt at høybrykkene var mest utsatt for ustabilitet, på grunn av manglende aktivisering av de strekkfaste koblingene. Utførelsen av forankringene ble gjort omtrent likt for rør øst og vest. COWI sto for prosjekteringen, og ESM for utførelsen.

ESM sa i fellesmøte ved befaringen i november 2016 at de flere steder har gravd fram rørene, spesielt over myra ned mot G1 og ved noen bønd. Rørene ble avgravd for å inspisere, lete etter lekkasjer, og eventuelt justere plasseringen til trykkrørene, og for å komprimere massene rundt trykkrørene (spesielt over myra).

Ved justering av plasseringen for noen av trykkrørenes muffekoblinger, for å stoppe observert lekkasje, beskriver ESM at de opplevde at lekkasjene flyttet seg til nærliggende muffekoblinger istedenfor. Justeringer og forsøk på utbedringer er utført etter at ESM har utført trykktester, og de har målt seg fram til hvor lekkasjene kunne være. Det er uklart for NO hvordan dette arbeidet er utført og dokumentert.



Bilde 1 Oversikt over den avgravede strekningen over bend på ca. 1200, sett nordover mot havet. Rør vest til venstre i bildet

2 Trykkprøving

2.1 Spesifisert i mengdebeskrivelsen

Mengdebeskrivelsen beskriver standard for utførelse av trykkprøving (NS-EN 805), og spesifikke krav til trykkprøvingen. Det spesifiseres trykkprøving for trykkklasse PN25, og blant annet også at « Tilfredsstilles ikke kravet til tetthet skal entreprenøren foreta nødvendige utbedringer av anlegget, og trykkprøve på nytt. Kostnader for ny trykkprøving dekkes av entreprenøren. Kopi av tetthetsprøvningsrapport overleveres til tilaksnaver snarest etter prøvingen.» (Side D-202 post nr. UB8.123A Trykkprøving av vann- og avløpsledninger – trykkledninger).

- NS-EN 805 gir i kapittel 3.1.2 en definisjon på tillatt driftstrykk (PFA), "Største hydrostatiske trykk som en komponent kan motstå under kontinuerlig drift".
- Kapittel 3.1.3 gir definisjon på tillatt prøvingsstrykk på byggeplassen (PEA): "Største hydrostatiske driftstrykk som en nylig installert komponent kan motstå i relativt korte tidsrom, for å kontrollere at rørledningen er uskadd og tett".

Kapittel 11.3 tar for seg trykkprøving, hvordan dette utføres, varsles og dokumenteres. Kapittel 11.3.3.4.2 Lekkasjemetoden beskriver hvordan lekkasjemåling utføres.

2.2 Utført

2.2.1 Trykkprøving 2015

Etter entreprenørens egen forklaring, ble det etter at hele overføringsledningen var ferdig montert og nedgravd utført trykktesting av vannveien i november 2015. Ved trykktesting av rør vest mellom G1 og G2 til ca. 20 bar økte ikke trykket ytterligere, og det ble antatt at det var lekkasjer i røret. Maksimalt prøvetrykk er 32 bar. For å påvise lekkasjesteder ble det benyttet vann, trykkluft og manometre. Det ble påvist lekkasjesteder, i flere omganger, blant annet ved høybrykk pel 1050, ved myra oppstrøms høybrykket ca. pel 1050-1100, og ved høybrykk ved ca. pel 1200.

Ved høybrykk ved pel 1050 er røret gravd fram og plasseringen justert. Rør over myra er gravd fram og plasseringen justert på nytt. Det er gravd ned til stabile masser ved myra, men sideveis er det myr fortsatt. Per dags dato er det antatt at lekkasje ved høybrykk pel 1200 er mest prekært. Bendet (11,25° strekkt fast bend, med avvikling på rørene inn og ut av bendet) ble gravd fram, og under trykktesting observerte entreprenøren at røret beveget seg, og lekkasje i muffekoblinger ved bendet ble observert. Entreprenøren selv anslår at røret beveget seg ca. 20 cm vertikalt, ved trykktestingen på ca 20 bar, lekkasjemengde ble ikke dokumentert. Trykktesten ble avsluttet umiddelbart. Ved trykksetting opp mot ca. 20 bar lå røret angivelig i ro, og det var ingen tegn til lekkasje. Etter avsluttet trykktesting ble ca. 2 rørlengder på hver side av bendet gravd fram, og rørene er nå lagt tilbake til opprinnelig prosjektert posisjon. Bendet er nå forankret i en betongforankring fundamentert på fjell, med klammer over røret opp- og nedstrøms bendet. Ca. 7 rør overfor bendet er avgravd.

Tromsø kommune har ikke vært med på de tidligere trykkestene. Entreprenøren har holdt på siden november 2015 med å forsøke å utbedre lekkasjer påvist ved trykkprøvinger. Kommunen er ikke informert om omfang av tester og tiltak som er utført i den forbindelse, og har ikke blitt involvert på anlegget.

2.2.2 Trykkprøving 2016/2017

Tirsdag 22. november 2016 ble det gjennomført en felles befarings til anlegget, med trykk- og lekkasjemålinger. NO var også deltaker på denne befaringsen. Det var i forkant av denne befaringsen visuelt observert lekkasjer på avdekte rør vest i grøften. TK initierte prøvene, mens Høytrykksvakta AS utførte målingene. Trykkør vest ble satt under prøvetrykk i 15 minutter under befaringsen. Dette tilsvarer et trykk på 23,7 bar ved G2, og ca. 27 bar ved avgravd bend ved pel 1200, og ca. 30 bar i G1. Det ble etterfylt ca 50 liter vann. Dette tilsvarer ca. 0,55 dl/s (200 l/time) lekkasje for hele rør vest mellom G1 og G2.

- Ved muffekobling 2 oppstrøms bend på den avgravde delen av rør vest var det hørbar lekkasje og synlig drypp fra koblingen.
- For muffekobling 5 oppstrøms bend på den avgravde delen av rør vest var det en noe større lekkasje der vann rant jevnt fra koblingen i en liten stråle. Denne lekkasjen er anslagsvis ca 90 % større enn for muffekobling 2

Under trykkestingene lå trykkørret tilsynelatende stabilt, med sidefylling mot de horisontale kreflene og forankret bend mot de vertikale kreflene. For målt avvinkling i muffekoblingene, se Vedlegg 10.2.

I slutten av november 2016 ble rør vest mellom ventilkum G1 og G2 ble satt under testtrykk i to døgn, for å se om trykket endret seg. Etter to døgn hadde lekkasjen stabilisert seg. Målt lekkasje etter to døgn med trykkssetting er som følger:

- 25.11.2016 fra G1 til G2 rør vest DN600 128 l/time

For rør øst mellom ventilkum G1 og G2, uten to døgn trykkssetting, ble lekkasjen målt til:

- 23.11.2016 fra G1 til G2 rør øst DN600 432 l/time

I februar 2017 utførte Høytrykksvakta AS trykk-/lekkasjemålinger for trykkørrets øvre delstrekninger. Disse delstrekningene stod ikke under trykk i to døgn, slik som rør vest fra G1 til G2. Resultatene er som følger:

- 08.02.2017 fra G2 til høydebasseng DN600 57 l/time
- 07.02.2017 fra G2 til høydebasseng DN700 150 l/time

2.3 Konklusjon

Trykkprøvene viser at alle de fire delstrekningene i overføringsledningen har lekkasjer større enn tillatt.

Entreprenøren har ikke tatt tilstrekkelig ansvar for å utføre offisielle trykkprøver med byggherre til stede.

3 Prosjekteringsunderlag

NO har gjort en gjennomgang av mengdebeskrivelsen og arbeidstegninger utarbeidet av prosjekterende.

3.1 Prosjekterende

Prosjekterende har i sin prosjektering forutsatt bruk av strekkfaste duktile støpejernrør i hele trykkrørenes lengde. I sin beregningsrapport for stabilitet datert 08.04.2016 beskrives bakgrunnen for valget; (sitat) «Valg av strekkfaste rør ble gjort ut fra 3 hovedgrunner:

1. Unngå bygging av forankringsklosser ved bend
2. Unngå bevegelse av rørene ved bend og kurver
3. Sikre stabilitet i skrånende terreng
4. Sikre stabilitet i myrområde med lite mobiliserbart jordtrykk»

Forutsetningene for valg av strekkfaste duktile støpejernrør framkommer ikke eksplisitt i mengdebeskrivelsen eller arbeidstegningene.

I innledende kapitler i mengdebeskrivelsen er det henvist til at rørene skal legges i henhold til rørleverandørens anvisninger, kommunens VA normer, og VA Miljøblad. Det å hen vise til disse generelle kildene legger ansvar over på entreprenør i forhold til å vurdere omstendigheter ved legging av rørene. NO vurderer at det blir for lett vint å hen vise til disse generelle dokumentene når man har å gjøre med et såpass påkjent rørsystem som i dette tilfellet, med parallelle rør lagt i grøft og prøvetrykk på 32 bar. Fastholdelse og tetthet av et slikt rørsystem sikres i liten grad kun av generelle standard- og miljøbladhenvisninger, uten spesifisering av kritiske forutsetninger for dette.

Et ytterligere kompliserende moment er at to og tre rør ligger ved siden av hverandre i grøft, med stedvis mye kurvatur, noe som gjør vurdering av vinkelpunkter, avvinkling i hver enkelt muffekobling, sentravsstand mellom rør, rørlengder, krefter fra trykkrør mot PE-rør i kurvaturers yttersving, forskyvningsstabilitet og overdekning betydelig mer komplisert enn om en bare hadde hatt ett enkelt rør nedgravd. Kraftbildets kompleksitet synes å være tatt noe lett på, og rørsystemets sikkerhetsmarginer mot over-avvinkling i muffekoblingene er ikke tilstrekkelig hensyntatt.

3.2 Arbeidstegninger

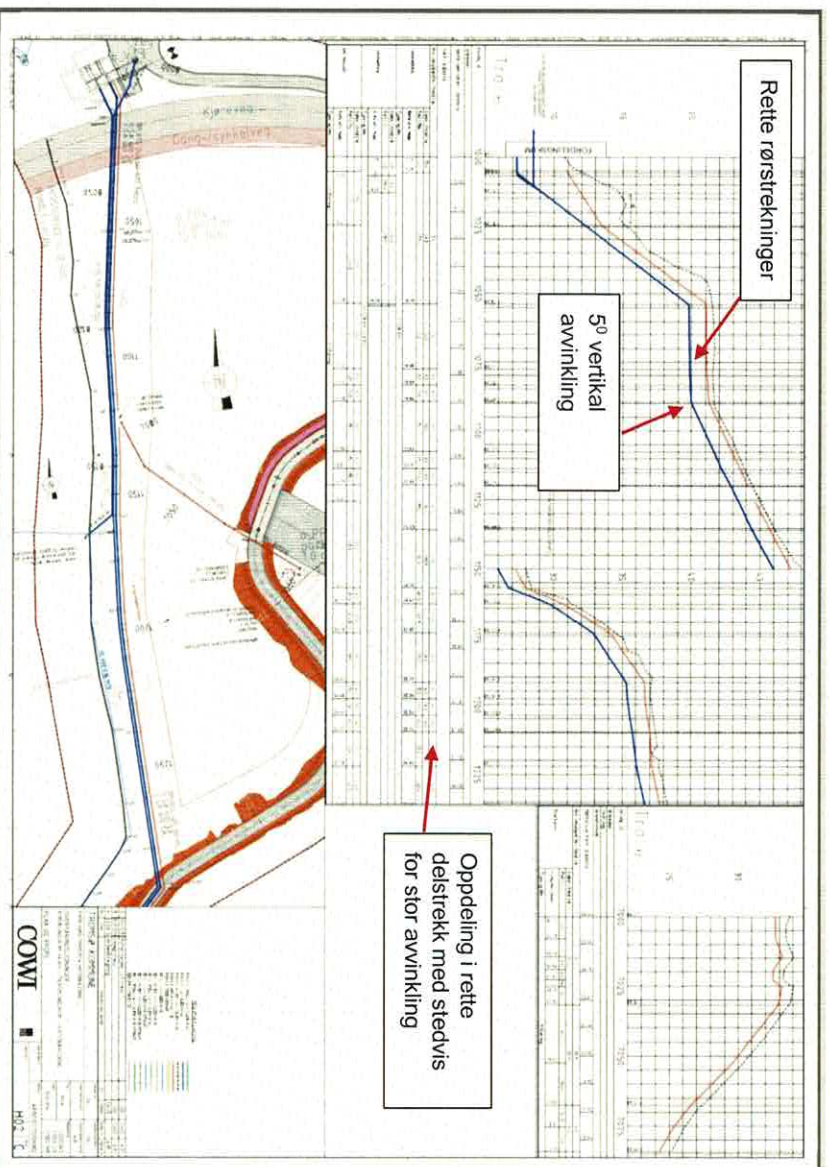
Ansvarlig prosjekterende har ansvar for å utarbeide et tilstrekkelig grunnlag for utførelsen, i dette tilfellet i form av arbeidstegninger. NO har undersøkt noen av arbeidstegningene. Eksempelvis arbeidstegning H02 rev C, dette er siste revisjon av en plan- og profiltegning av nedre del av trykkrør øst og vest ned mot G1.

Tegningen viser prosjektert linje for de to trykkrørene i parallell, og er oversendt med stikningsdata og 3D modeller til entreprenør. Rørenes prosjekterte linje er på tegningen detaljert med

- kumavstand i meter
- fall i promille
- kote utvendig topp
- type og dimensjon.

Fall (høining) for prosjektert linje er tegnet inn for alle større og mindre delstrekk, delstrekk ned til 6 meters lengder (ett helt rør). Horisontal lengde til de rette delstrekkene varierer eksempelvis mellom 6 m, 16, 1 m, 21, 6 m og 14, 9 m. Tegnningene krever kapping av uforholdsmessig mange rør. Det er ikke ønskelig å kappe rør, da røret da må tas til verksted for kapping og påføring av ny sveiselarve for strekkfasthet. Dette er arbeidsomt og kostbart. Det er ikke medtatt prisbærende post for kapping av rør i mengdebeskrivelsen.

I mellom de rette delstrekkene er det detaljert avvinklinger i enkelt-punkter, som framkommer ved å beregne vertikal høining og horisontal vinkel opp- og nedstrøms vinkelpunktet. Dette må beregnes separat. Avvinklingene mellom de rette delstrekkene varierer stort, fra ca. 0° og opp til eksempelvis ca. 5°, 7°, 9°, 15° og 20° i vertikalplanet (resulterende vinkel framkommer ikke entydig i tegningen). Kurveradius er kun benyttet for et kortere rørstrekk i området ved pel ca. 1250.



Figur 1 Eksempel på arbeidstegning med plan og snitt for trykkør med mot G1

Eksempelvis vinkelpunkt ved pel 89, 7 (pel 1089, 7), der er det 5° avvinkling i vertikalplanet og 4° avvinkling i horisontalplanet, resulterende vinkel blir da ca. 6, 4°. Det er ikke mulig å montere muffekoblinger med en slik avvinkling, da maksimal tillatt avvinkling er 2°. Det er flere slike eksempler for den prosjekterte linjen for trykkørrene. Det betyr at entreprenøren stedvis ikke kan montere trykkørrene i henhold til arbeidstegningene direkte, uten å komme i konflikt med toleransekrav for maksimal avvinkling i de strekkfaste muffekoblingene. Når retningsendringer større enn tillatt avvinkling i muffekoblingene som angitt på arbeidstegningen i virkeligheten skal tas opp som mindre vinkleendringer i muffekoblingene over lengre rørstrekk må tegningen reflektere dette, ettersom grøfta graves og rør legges fortløpende ved hjelp av gravemaskinens GPS.

Entreprenøren har fravæket arbeidstegningene for å redusere avvinklinger i muffekoblingene, og selv vurdert hvordan den prosjekterte linjen skal kunne følges. Uten et tegningsunderlag som reflekterer faktisk rørtrasé ble det krevende for entreprenøren å unngå å legge mange rør over 2° avvinkling i muffekoblingene. Dette er spesielt utfordrende med prosjektets høye trykk og relativt store

rørdiameter, parallelle rør i grøften, avvinklinger i både horisontal- og vertikalkanalen, og ønske om å redusere antall kappede rør.

Flere avvinklinger er tegnet inn med ca. 15° avvinkling i ett punkt. Det vil si at et standard bend på 11,25° må monteres, med 2° avvinkling i muffekoblingen inn og ut av bendet. 2° avvinkling i muffene er den samme som den spesifiserte leverandørens (PAM) maksimalt tillatte avvinkling, uten fradrag for montasjeavvik som sikkerhetsmargin. VA miljøblad dokumenterer at det er tillatt å utnytte leverandørens tillatte avvinkling fullt ut. Dette gir ikke entreprenøren noen feilmargin for legging av rørene i grøften. God praksis er å legge inn en viss toleranse mellom tillatt avvinkling og prosjektert avvinkling. Dette for å gjøre det mulig å legge rørene innenfor tillatt avvinkling ved småjusteringer ved montasje i grøften, slik at entreprenøren har sikkerhetsmargin. Stabiliteten til nedgravde trykkrør for vannkraft beregnes for eksempel alltid med minst 0,5° montasjeavvik; dette er nedfelt i Damsikkerhetsforskriftens retningslinjer.

3.3 Strekkfast rørsystem for stabilitet

Prosjekterende har forutsatt et strekkfast rørsystem for forankring av krefter ved retningsendringer ved hjelp av friksjon mellom strekkfaste rør og omfyllingsmasser. Riktig utført er dette en løsning som ivaretar trykkrørens stabilitet, og er omtalt i relevante VA miljøblad. Rørene må monteres med aktiverte strekkfaste muffekoblinger i kurvene slik at rørsystemet faktisk er strekkfast der hvor bendkrefter opptrer, samt at krav til maksimal avvinkling i muffekoblingene overholdes.

Et strekkfast rørsystem kan være besparende fordi det ikke vil være behov for dyre forankringsklosser ved større retningsendringer.

3.4 Ikke-strekkfast rørsystem

Trykkrørene er i utgangspunktet montert av entreprenøren uten å aktivere muffekoblingene særskilt.

Sweco har på vegne av entreprenøren skrevet et notat datert 07.02.2016 som tilsvar til en av COWI's beregningsrapporter for stabiliteten til rørene slik de er montert, altså uten aktiverte strekkfaste muffekoblinger. I konklusjonen skriver Sweco blant annet at «... () røret vil flytte på seg i vinkelpunkter inntil strekk i koblingen blir aktivisert.»

NO har utført overslagsberegninger av delstrekninger av trykkrørene ved noen utvalgte høybrekk, og er enig i at eksempelvis høybrekkene med inntil 15° avvinkling i trøkkrørets nedre ende beregningsmessig ikke har tilfredsstillende stabilitet. Trykkrøret kan stedvis i høybrekk ha beveget på seg ved første gangs trykksetting, inntil tilstrekkelig antall muffekoblinger ble aktivert på hver side av bendene. Bendkraften kan ha medført at noen få muffekoblinger på over- og nedsiden av bendet kan ha blitt aktivert, og kan dermed ha blitt strukket ut og avvinklingen i muffekoblingene redusert. Avvinklingen til rørene inn i bendet kan derimot ha økt noe. Disse høybrekkene er nå forankret spesielt, med forankringsfundamenter, og er dermed ikke ansett som en stabilitetsutfordring lenger.

Muffekoblinger med opp mot 2° avvinkling kan ha brukt opp dødgangen i koblingen, og kan være tilnærmet strekkfast, da spissendens sveiseløse vil være helt i anslag med låsesegmentet i ytersving og i anslag med støtteren for pakningen i innersving. Muligheten for aksial forskyvning ved bend vil i slike tilfeller være vesentlig redusert. Det er derfor antatt at eventuelle bevegelser i trykkrørene ved tidligere ustabile høybrekk ikke kan ha vært nevneverdig.

Overslagsberegninger utført av NO viser at ikke-strekkfaste dukkile støpejernrør med 2° avvinkling i hver muffekobling (avvinkling 2° både horisontalt og vertikalt), ligger stabilt i grøften med tilstrekkelig sikkerhetsmargin. Dette er beregnet med forutsetning om parallelle rør, slik at halvparten av bidraget fra overdekningen er tatt bort, dårlig komprimerte masser, og 6 meters rørlengder.

Det vil si at relativt slake og rette rørstrekninger uten høybrekk, lagt i fjellgrøft med tilstrekkelig overdekning, vil kunne være stabile selv uten aktiverte koblinger (slik det i praksis er monter). Stabiliteten til rørene besørges da av friksjon mot overliggende masser. NO vurderer derfor at store deler av vannveien ikke vil være avhengig av et strekkfast rørsystem for å være stabilt. Hvilke øvrige større bend (som ikke allerede er forankret) som kan være stabile, må klargjøres med omforente stabilitetsvurderinger.

3.5 Konklusjon

Et strekkfast rørsystem forutsetter forankring av krefter ved retningsendringer ved hjelp av friksjon mellom strekkfaste rør og omfyllingsmasser. Riktig utført er dette en løsning som ivaretar trykkrørenes stabilitet, og er omtalt i relevante VA miljøblad.

Prosjekterte avvinklinger mellom delstrekninger av trykkrørene gjør at entreprenøren stedvis ikke kan montere trykkrørene i henhold til arbeidstegningene direkte, uten å komme i konflikt med toleransekrav for maksimal avvinkling i de strekkfaste muffekoblingene.

Trykkrørene er i utgangspunktet montert av entreprenøren uten å aktivere muffekoblingene særskilt. Dette kan gi utfordringer med ustabile delstrekninger av trykkrørene, spesielt ved høybrekk. Utsatte høybrekk er nå stabilisert ved bruk av støpte forankringsfundament på fjell.

NO vurderer at store deler av vannveien ikke vil være avhengig av et strekkfast rørsystem for å være stabilt. Hvilke øvrige større bend (som ikke allerede er forankret) som kan være stabile, må klargjøres med omforente stabilitetsvurderinger.

Manglende aktivering av strekkfaste muffekoblinger er generelt sett ikke ansett som en vesentlig årsak til for store avvinklinger i muffekoblingene. Årsaken til dette er at muffekoblingenes avvinkling allerede ved montasje stedvis er høyere enn leverandørens maksimalt tillatte avvinkling i muffekoblingene.

4 Rørprodusentens produktkatalog og leggeanvisning

Rørleverandøren (Encono) har overlevert rørprodusentens (SMS) produktkatalog i forbindelse med rørleveransen. Det er uklart når ESM fikk produktkatalogen.

Produktkatalogen er utarbeidet av SMS og heter «Ductile iron pipes and fittings», og er datert. Den inneholder hovedmål for rørtypen som er levert i prosjektet, men ikke for de strekkfaste bend. Så langt NO kan se er det levert strekkfaste duktile støpejernrør av typen «Self anchored joint with segments-SK-type», og strekkfaste bend av typen «Anchored», i henhold til produktkatalogen.

Av tekniske data framkommer det at tillatt avvinkling for de strekkfaste muffekoblingene er 2° for DN600 og 1,5° for DN700, og hovedmål for rørene er spesifisert. Noen leggeanvisninger er inkludert, stort sett for vanlige ikke-strekkfaste muffekoblinger.

For øvrig mangler dokumentasjonen blant annet, så langt NO kan se, minst følgende informasjon:

- spesifisering av tillatt PFA for rørene med strekkfaste muffekoblinger
- beskrivelse av låsesegmentene, montering av dem, og antall låsesegmenter som skal benyttes ved hver muffe. Låsesegmentene er levert med noe variasjon i tykkelse. Det er ikke forklart hensikten med dette, om det er noen.
- leggeanvisning for den aktuelle rørtypen og bend med strekkfaste muffekoblinger
- beskrivelse av de leverte strekkfaste bend, med tekniske data (PFA og avvinkling), tegninger og angitt tiltrekningsmoment for skruene
- forankring av bend med rør med strekkfaste muffekoblinger i hver ende

De påpekte manglene er delvis løst ved munting og praktisk informasjon ved leggekurset som ble avholdt, og med oversendelse av generelle sertifikater for typetester for rørene med strekkfaste koblinger.

Leggekurset ble avholdt over en dag, med mange personer tilstede. En representant fra fabrikkens ledet kurset, men han hadde begrenset beherskelse av engelsk.

Det er imidlertid fortsatt en utfordring at det tilsynelatende ikke finnes tilstrekkelige skriftlige leggeanvisninger for de leverte rørene og bendene, og mer detaljert dokumentasjon og tekniske data fra rørleverandøren mangler. Dette gjør at entreprenøren ikke har kunnet kontrollere leveransens egnethet tilstrekkelig ved bestilling av rørene, og har hatt lite å støtte seg til under montasjen når det gjelder «Legging etter leverandørens anvisninger» jfr. mengdebeskrivelsen.

5 Prosjekteringsunderlag og rørleveranse

Mengdebeskrivelsen og arbeidstegningene danner grunnlaget for kontrakten med utførende entreprenør, og beskriver temaer slik som gjeldende underlag, tegninger for utførelsen, spesifikasjoner og krav til rør og deler, krav til montering av rør og deler, og henvisninger til relevante standarder, VA-blad og rørleverandørens leggeanvisning.

Entreprenør har ansvar for å kontrahere trykkør som er i henhold til spesifikasjonene i de prisbærende postene i mengdebeskrivelsen.

Rørleverandøren er relativt ny på det norske markedet. Per e-post fra rørleverandøren 24. 11.2016 er NO opplyst om at rørleverandøren ikke har referanser for tilsvarende dimensjon strekkfaste rør til VA-sektoren i Norge.

5.1 Dokumentasjon

Så langt NO erfarer, har ikke entreprenøren oversendt tilstrekkelig underlag til rørleverandør for bestilling av rørene. Rørleverandøren forklarer i e-post til NO 3. januar 2017 «Den delen av beskrivelsen Encono har (sidene D-82 – D-95) gir ingen informasjon som beskriver utførelsen av «rørinstallasjonen». De sidene rørleverandøren henviser til i mengdebeskrivelsen er generelle innledende poster, men inneholder ingen prisbærende poster for rørleveransen. Spesifikke krav til eksempelvis PFA og avvinkling framkommer ikke. Det vil si at rørleverandør har levert rør til entreprenøren, uten å få tilgang til den komplette mengdebeskrivelsen, de prisbærende postene fra prosjekterende, eller forutsetningene i prosjektet. Prisbærende poster i mengdebeskrivelsen beskriver kravene som stilles til leveransen.

Entreprenøren har ansvar for at trykkørørene oppfyller kravene i kontrakten med byggherre. Entreprenør har selv valgt rørleverandør, antakelig basert på pris.

Rørleverandør har sendt over til entreprenør og prosjekterende generell FDV-dokumentasjon i en tidlig fase av prosjektet. Den oversendte FDV-dokumentasjonen inneholdt ingen opplysninger om typegodkjent PFA eller tillatt avvinkling, dette har framkommet i november 2016 etter spørsmål fra NO (PFA), og i produktkatalogen (tillatt avvinkling).

Det er rørleverandørens ansvar å overlevere dokumentasjon for leveransen i henhold til kontrakt, som i dette tilfellet betyr typester i henhold til EN-545, som mengdebeskrivelsen referer til.

5.2 Allowable operating pressure – PFA

PFA beskriver det største hydrostatiske trykk som en komponent kan motstå under kontinuerlig drift.

5.2.1 Spesifisert i mengdebeskrivelsen

Mengdebeskrivelsens post 2.29.00.02.9 beskriver at de duktile støpejernrørene skal tilfredsstille NS-EN 545. "Rør, rørdeler og tilbehør av duktilt støpejern samt deres sammenføyninger for vannledninger. Krav og prøvingsmetoder". Standarden stiller krav til typetest av rør, og inneholder detaljerte toleranser for blant annet mål, rørtykkelser og ovalitet, og krav til prøvingsmetoder.

Iht. mengdebeskrivelsens prisbærende post 2.29.02.01.3 UB1.11521212A Vannledning – komplett (for DN600), og post 2.29.02.01.4 UB1.11521212A Vannledning – komplett (for DN700), skal trykktrør og deler leveres i minimum trykkklasse PN25 bar (for eventuelle boringer), og med tillatt aksjell strekkfastehet på 30 bar (for DN600) og 27 bar (for DN700) for de strekkfaste koblingene, med strekkfast innstikk muffeskiøt type Universal Standard Ve eller tilsvarende. I den gamle utgaven av NS 3420 var det ikke tilrettelagt for post-beskrivelse for PFA, derfor ble «tillatt aksjell strekkfastehet» benyttet av prosjekterende. Dette betyr i praksis det samme.

Til informasjon; Universal Standard Ve er en strekkfast muffekobling fra den dominerende rørleverandøren av duktile støpejernrør Saint Gobain (PAM). Denne er i henhold til PAMS produktkatalog dimensjonert for PFA = 30 bar for DN600 C40, og PFA = 27 bar for DN700 C30. De tekniske data sammentraller med kravene i mengdebeskrivelsen.

5.2.2 Levert

I rørleverandørens produktkatalog er det beskrevet duktile støpejernrør med strekkfast muffe og SK låsesegmenter, som samsvarer med de leverte rør. Leverte bænd i duktilt støpejern med skrueforbindelse og låsering er ikke beskrevet.

I november 2016 oversendte rørleverandøren, etter anmodning fra NO, generelle sertifikater for type tester for strekkfaste duktile støpejernrør («Product Certification») utstedt av ICIM. I henhold til sertifikatene for type testene er de strekkfaste duktile støpejernrørene (Restrained flexible joint type "Anchored") testet iht. korrekt standard NS-EN 545. Sertifikatet var markert med «current issue» datert 29/01/2014, mens vedlegget er datert 3/3/2014.

I januar 2017 ble nok et generelt sertifikat for type test oversendt, med «current issue» datert 6/6/2016. NO har sammenlignet de to sertifikatene. Sertifikatene gjelder for («trade name») restrained flexible joint type «anchored», og gjelder for rør og deler, og pakningstype «T-Type» og «STD-type». T-type pakning benyttes iht. rørleverandørens produktkatalog for koblingstypen «anchored» (skrueforbindelse), og STD-type for strekkfast muffe med SK-låsesegmenter. Sertifikatene har samme sertifikatnummer og er i det store og hele identiske, bortsett fra dato og signatur, henvisning til ICIM normativt dokument, og forskjellig oppgitt PFA.

Første utgave av sertifikatet henviser til normativt dokument ICIM 70R050-8, dette dokumentet er det henviset til på ICIM's nettsider for testing etter EN-545. Andre utgave av sertifikatet henviser til normativt dokument ICIM 0080CS, dette dokumentet finner vi ingen referanser til på ICIMs hjemmeside (ei heller andre steder). Det er for NO uklært hvordan de forskjellige PFA for de to sertifikatene kan forklares og dokumenteres.

Se Tabell 2 for detaljer angående krav til PFA spesifisert i mengdebeskrivelsen, og det rørleverandøren har dokumentert av PFA for de leverte rør.

Tabell 2 Oppsummering av tekniske krav for PFA, og hva som er levert

	Spesifisert i mengdebeskrivelse	Levert av rørleverandør	Kommentar
DN600			
Trykkklasse	Rør C40, med strekkfast mufte med PFA 30 bar	Rør C40, med strekkfast mufte med PFA 16 bar	Iht. sertifikat typetester datert 3/3/2014*
Trykkklasse	Rør C40, med strekkfast mufte med PFA 30 bar	Rør C40, med strekkfast mufte med PFA 25 bar	Iht. sertifikat typetester datert 6/6/2016**
DN700			
Trykkklasse	Rør C30, med strekkfast mufte med PFA 27 bar	Rør C30, med strekkfast mufte med PFA 10 bar	Iht. sertifikat typetester datert 3/3/2014*
Trykkklasse	Rør C30, med strekkfast mufte med PFA 27 bar	Rør C30, med strekkfast mufte med PFA 16 bar	Iht. sertifikat typetester datert 6/6/2016**

*Første sertifikat for generell typetest av duktile støpejernrør med strekkfast muffekobling, oversendt etter forespørsel fra NO november 2016

** Andre sertifikat for generell typetest av duktile støpejernrør med strekkfast muffekobling, oversendt januar 2017

For muffekoblingene som ble inspisert i verkstedet ble spissendens veggtykkelse målt med skyvelær til i underkant av 10 mm for muffekobling 2, og omtrent 9 mm for muffekobling 1. NS-EN 545 krever godstykkelse 8,9 mm for DN600 C40 rør uten strekkfast mufte.

NS-EN 545 påpeker at strekkfast mufte reduserer PFA for røret, og derfor må PFA oppgis spesielt av rørleverandør for strekkfaste rør. Konkurrerende rørleverandører PAM og Duktus har, i henhold til deres produktkataloger, økt godstykkelsen til 10,9 mm for sine strekkfaste rør, for å kunne øke tilatt PFA for muffekoblingen.

I produktkatalogen fra rørleverandøren er ikke PFA for duktile støpejernrør med strekkfast mufte oppgitt. Materialsertifikater eller annen spesifikk dokumentasjon for rørleveransen er ikke overlevert. Låsesegmentene er levert i korrosjonsutsatt stål.

5.2.3 Konklusjon

I følge overlevert dokumentasjon for rørene har rørleverandøren levert rør som ikke tilfredsstiller kravene i entreprenørens kontrakt med utbygger (mengdebeskrivelsen) hva gjelder PFA, og har ikke i tilbudsfasen oversendt tilstrekkelig relevant informasjon om rørenes kapasitet og tydelige avvik fra prisbærende poster.

Rørleverandørens oversendte FDV-dokumentasjon inneholder ingen tekniske data for rørleveransen slik som tillatt PFA.

5.3 Avvinkling i strekkfaste muffer

5.3.1 Spesifisert i mengdebeskrivelsen

I mengdebeskrivelsens prisbærende post 2.29.02.01.3 UB1.111521212A Vannledning – komplett (for DN600), og post 2.29.02.01.4 UB1.111521212A Vannledning – komplett (for DN700) presiseres det at «Rørleverandørens krav til maks avvinkling i rørskjøt på 2 gr. ved strekkfaste muffer skal tilfredsstilles».

For strekkfaste bend gjelder samme forutsetninger som for rørene.

Til informasjon; Universal Standard Ve er en strekkfast muffekobling fra PAM. Denne har i henhold til PAMs produktkatalog for DN600 C40 og DN700 C30 en tillatt avvinkling i muffekoblingen på 2°.

Tilhørende strekkfaste bend har også en tillatt avvinkling i muffekoblingen på 2°.

5.3.2 Levert

I rørleverandørens produktkatalog er det beskrevet duktile støpejernrør med strekkfast muffekobling og SK låsesegmenter, som samsvarer med de leverte rør. Bend i duktilt støpejern med skruforbindelse og låsering er ikke beskrevet.

Se Tabell 3 for detaljer angående krav til avvinkling spesifisert i mengdebeskrivelsen, og det rørleverandøren har dokumentert av tillatt avvinkling for de leverte rør.

Tabell 3 Oppsummering av tekniske krav for avvinkling, og hva som er levert

DN	Spesifisert i mengdebeskrivelse	Leveret av rørleverandør	Kommentar
DN600			
Tillatt avvinkling rør	Max avvinkling 2°	Max avvinkling 2°	Iht. SMS produktkatalog
Tillatt avvinkling bend	Max avvinkling 2°	Ukjent	Ikke oppgitt
DN700			
Tillatt avvinkling rør	Max avvinkling 2°	Max avvinkling 1,5°	Iht. SMS produktkatalog
Tillatt avvinkling bend	Max avvinkling 2°	Ukjent	Ikke oppgitt

Se Vedlegg 10.1 Tillatt avvinkling, utdrag fra SMS produktkatalog, for detaljer angående avvinkling.

5.3.3 Konklusjon

I følge overlevert dokumentasjon for rørene har rørleverandøren levert DN700 rør som ikke tilfredsstiller kravene i spesifikasjonen fra prosjekterende hva gjelder tillatt avvinkling, og har ikke i tilbudstfasen oversendt tilstrekkelig relevant informasjon om rørenes kapasitet og tydelige avvik fra prisbærende poster. Tillatt avvinkling for strekkfaste muffer med skruforbindelse og låsering er ikke dokumentert.

Rørleverandørens oversendte FDV-dokumentasjon inneholder ingen tekniske data for rørleveransen slik som tillatt avvinkling.

5.4 Pakning

5.4.1 Spesifisert i mengdebeskrivelsen

Mengdebeskrivelsens post 2.29.00.02.9 beskriver at de duktile støpejernrørene skal tilfredsstillende NS-EN 545. "Rør, rørdeler og tilbehør av dukkitt støpejern samt deres sammenføyninger for vannledninger. Krav og prøvingsmetoder". I NS-EN 545 kapittel 7.2.1 er det referert til at pakningene skal være i henhold til EN 681-1, type WA.

5.4.2 Levert

Begge sertifikatene for typetestene dokumenterer at pakningen skal leveres i henhold til EN681-1 type WA, dette er korrekt standard. Det er levert pakning av type «standard», dette er samme pakning som brukes i ikke-strekkaste muffekoblinger også.

Tre pakninger ble av anleggseier sendt til KIWA Teknologisk Institutt for hardhetstester. Testene viser en hardhet på pakningene på gjennomsnittlig 67-70 Shore, som er innenfor toleransekravene for hardhet for pakninger iht. standarden EN681.

Pakningene er påstemplet produsentens navn (SMS), EPDM, og EN681.

Spissendens tetteflate mot pakningen er noe nuppete, fordi overflatebehandlingen med sink lager et nuppete spor. Det ble bekreftet av ESM under verkstedsinspeksjonen i februar 2017 at de normalt sett pusset over eventuelle ujevnheter på tetteflaten før montasje av rørene.

Det samme nuppenmønsteret finner en på konkurrentenes spissender også, om mulig med ikke så store nupper. Det er antatt at ved normal forspenning på pakningen, så vil pakningen legge seg helt inntil nuppene på tetteflaten, og tette etter hensikten.

Entreprenøren har ikke kontrollert pakningens plassering i muffen etter montasje, før påføring av låsesegmentene. Dette er en god praksis som sørger for at en har kontroll med pakningens plassering ved montasje, og som entreprenøren burde utført og dokumentert for hvert rør.

5.4.3 Konklusjon

Med den informasjonen som er oppdrevet virker pakningene å tilfredsstillende kravene satt i spesifikasjonen i mengdebeskrivelsen og relevante standarder.

Entreprenøren har ikke kontrollert pakningens plassering i muffen etter montasje. Dermed er det ikke kontrollert at pakningene er riktig plassert. Det er en liten fare for at pakningen kan bli presset ut av setet ved montering.

6 Prosjekteringsunderlag og utførelse

Mengdebeskrivelsen og arbeidstegningene danner grunnlaget for kontrakten med utførende entreprenør, og beskriver temaer slik som gjeldende underlag, tegninger for utførelsen, spesifikasjoner og krav til rør og deler, krav til montering av rør og deler, og henvisninger til relevante standarder, VA-blad og rørleverandørens leggearvisning.

Entreprenør har ansvar for å montere trykkrør som er i henhold til spesifikasjonene i de prisbærende postene i mengdebeskrivelsen, og etter arbeidsunderlaget fra prosjekterende.

ESM har ikke referanser for legging av rør med kombinasjonen av så stor dimensjon eller trykk som her er tilfelle. Entreprenør har lagt arbeidstegninger fra prosjekterende til grunn for arbeidene i grøften, og har forholdt seg til dette. Jon Egil Sørensen i ESM sa under betringen i mars 2016 at de generelle henvisningene i anbudsgrunnlaget til relevante leggearvisninger og VA datablad ikke er hensyntatt under montasje av rørene og tilbakefylling av masser i grøften. Entreprenøren har brukt tid og ressurser på å tilstrebe montasje av rør i den prosjekterte linjen, men har ikke selv vurdert henvisningen i mengdebeskrivelsen med hensyn på rørenes stabilitet med et strekkfast rørsystem.

6.1 Strekkfaste muffekoblinger

6.1.1 Spesifisert i mengdebeskrivelsen

Iht. mengdebeskrivelsens prisbærende post 2.29.02.01.3 UB1.111521212A Vannledning – komplett (for DN600), og post 2.29.02.01.4 UB1.111521212A Vannledning – komplett (for DN700), skal trykkør og deler leveres med strekkfast innstikk muffeskjøt type Universal Standard Ve eller tilsvarende.

Universal Standard Ve er en strekkfast muffekobling fra den dominerende leverandøren av duktile støpejernrør Saint Gobain (PAM). Denne har en hel låsering i muffekammeret, istedenfor løse låsesegmenter slik SMS har levert. PAM begrunner valget av hel låsering med at faren for bruker- og installasjonsfeil minker.

Mengdebeskrivelsens post 2.29.02.0.1 Rør og deler side D-183 beskriver at «Skjøtemetode er muffeskjøter med strekkfaste muffen», og rørmaterialer skal installeres i samsvar med leverandørens anvisning, kommunens VA-norm og VA-miljøblad.

VA miljøblad

VA Miljøblad nr. 96, 2010, heter «Forankring av trykkledningene». I kapittel 4 Løsninger står det «Utførende entreprenør har hovedansvaret for at utførelsen av forankringer for trykkledninger blir tilfredsstillende utført og dokumentert.»

I kapittel 4.7 «Strekkfaste løsninger» forklares bruk av, og løsninger for, strekkfaste duktile støpejernrør. Krefter fra bend kan overføres til friksjonskrefter langs røret. Det viktige momentet med at de strekkfaste muffekoblingene må aktiveres er ikke nevnt, fordi det er underforstått at et strekkfast rør må aktiveres for å oppnå en strekkfast løsning.

Konkurrerende leverandørers leggeanvisninger

Leggeanvisning for duktilte støpejernrør med strekkfaste muffe fra to velkjente leverandører i det europeiske markedet, henholdsvis PAM og Duktus, er undersøkt nærmere av NO. Muffekoblingen fra PAM er den som er spesifisert i mengdebeskrivelsen. Muffekoblingen fra Duktus er den som er mest lik den leverte muffekoblingen med SK låsesegmenter. Disse leggeanvisningene fra konkurrerende rørleverandører er undersøkt, fordi SMS ikke har overlevert tilstrekkelige leggeanvisninger for sine strekkfaste rør.

PAM:

PAM har en produktkatalog «Water supply & distribution» Edition 2010 Version 2. Produktkatalogen beskriver, i likhet med VA-miljøblad 96, strekkfaste systemer, og hvordan krefter fra bend kan tas opp ved friksjon mellom rør og omfyllingsmasser. Aktivering av de strekkfaste muffekoblingene er i likhet med VA-miljøblad ikke noe tema, siden det er underforstått at for å oppnå en strekkfast løsning må muffekoblingene være aktiverte. I PAMs spesifiserte leggeanvisning for den aktuelle koblingen, et laminert dokument ment for bruk i grøften, framkommer det imidlertid at den spesifiserte strekkfaste koblingen skal aktiveres ved montering, før avvikling av rørene finner sted.

Duktus:

Rørleverandøren Duktus (tidligere Buderus) har en løsning med strekkfast mufte med låsesegmenter for duktile støpejernrør som likner det som er levert til Nordtromsøya, kalt BLS.

Duktus produktkatalog fra år 2010 og Håndbok fra 2013 spesifiserer at tillatt PFA for den strekkfaste koblingen BLS DN600 er 32 bar (for K9-rør), og tillatt avvikling er 2°. Tilsvarende er PFA for den strekkfaste koblingen BLS DN700 25 bar (for K9-rør), og tillatt avvikling er 1,5°.

I produktkatalogen til Duktus framkommer det at den strekkfaste koblingen (BLS) aktiveres ved montering, før avvikling av rørene finner sted. I tillegg benyttes det strammebånd over låsesegmentene for å holde de på plass før avvikling.

6.1.2 Utført

Rørleverandøren holdt en dags leggekurs for entreprenøren før arbeidets start. Rørleverandøren og entreprenøren har fortalt NO at aktivering av de strekkfaste koblingene ikke ble diskutert.

Entreprenøren fortalte til NO under befaringen i november 2016 at ingen av rørenes strekkfaste muffekoblinger i utgangspunktet ble aktivert under opprinnelig montering av trykkørørene.

God funksjon av strekkfaste bend krever korrekt montering, noe som blant annet innebærer aktivering av de strekkfaste muffekoblingene ved å trekke røret helt ut etter montering av låsering. I tillegg må det være rene tettestflater på pakninger og rørvegg, og tilfremming av skruer med et på forhånd bestemt moment spesifisert av koblingsleverandør. Dette krever aktsomhet hos entreprenør. De strekkfaste bendene aktiveres ved å montere en låsering med skruer. Entreprenøren har ikke oversikt over tilfremmingsmomentene som er brukt ved skrueene ved de strekkfaste bendene. Det ble fortalt at noen av skrueene var dratt av, da det ble forsøkt å stoppe lekkasje i muffekoblingen under trykktesting ved å stramme skrueene ekstra hardt. Bendet ved pel ca. 1200 fikk brudd i noen skruer, og bendet åpnet seg under en tidligere trykktest, hvilket medførte vann ut i grøften og undertrykk i røret.

Det er antatt at det er plass til 8 låsesegmenter i låsekammeret i muffen. De muffekoblingene som ble inspisert hadde 7 låsesegmenter installert. I så fall kan det antas at aksjell strekk-kapasitet er redusert med 1/8 eller 12,5 % i hver muffekobling.

Entreprenøren har tilpasset lengden på noen av rørene, for å klare å montere rørene i de prosjekterte kurvene og avviklingene. De ansår selv at ca. 20 rør er kappet, og deretter påsveisst ny sveiselarve ved spissenden for strekkfasthet. Dette er utført på lokalt verksted, med bistand fra rørleverandøren ift. prosedyrer. Det er levert kun 5 tilpasningsrør, som har dokumentert ytre diameter i henhold til

rørleverandørens toleranser. Øvrige standardrør som er kappet kan ha en ytterdiameter som er utenfor muffekoblingenes toleranser. Dette kan påvirke muffekoblingens tettefunksjon.

Entreprenøren påpekte at ingen av de monterte rørene har hatt ovaliserte spissender som krevde spesielle tiltak.

6.1.3 Konklusjon

En strekkfast muffekobling er ikke strekkfast før den er aktivert. Aktivering av strekkfaste koblinger er ikke et tema i VA-miljøblad da det er underforstått at de strekkfaste muffekoblingene i et strekkfast rørsystem skal aktiveres for å unngå bevegelse i mellom rørene, for å holde trykkrørene stabile ved bend og høybrekk.

Entreprenøren har lagt de duktile støpejernrørene uten å aktivt aktivere de strekkfaste koblingene, i strid med forutsetningen for et strekkfast rørsystem med rør Inn mot bend og høybrekk som ikke er innstøpt i forankringsfundament. Dette kan gi utfordringer med ustabile delstrekinger av trykkrørene. Utsatte høybrekk er nå stabilisert ved bruk av støpte forankringsfundament på fjell.

6.2 Avvinkling

6.2.1 Spesifisert i mengdebeskrivelsen

I mengdebeskrivelsens priskbærende post 2.29.02.01.3 UB1.111521212A Vannledning – komplett (for DN600), og post 2.29.02.01.4 UB1.111521212A Vannledning – komplett (for DN700) presiseres det at «Rørleverandørens krav til maks avvinkling i rørskjøt på 2 gr. ved strekkfaste muffe skal tilfredsstilles».

I generell del av mengdebeskrivelsen står det at entreprenøren er ansvarlig for forsvarlig håndtering av rørene i grøften.

6.2.2 Utført montasje

Rørene er lagt med muffen oppover i retning høydebassenget. Rørene ble løftet ned i grøften med gravemaskin, og stropper rundt røret. Entreprenøren har forklart at rørets spissende ble entret helt inn i muffen, etter at pakning var montert, eventuelle nupper på spissenden jevnet over med vinkelsliper, og glidemiddel påført. Deretter ble låsekiler montert, med de to tilstøtende rørene helt rett i forhold til hverandre. Røret ble så avvinklet, mens spissenden var så langt inne i muffen som mulig.

Avvinklingen antas utført ved hjelp av gravemaskin, og røret montert slik at retningen til det monterte røret passet med retningen til grøften.

Avvinkling av strekkfaste koblinger med røret helt inne i muffen (ikke aktivert) er i strid med konkurrerende rørleverandørens leggeanvisning. Ved avvinkling av muffekoblingene med spissenden helt innpresset i muffen, vil spissendens sveiselarve kunne påvirke pakningens støttering negativt, selv ved en avvinkling til leverandørens tillatte avvinkling. Dette fordi sveiselarven allerede ved begynnende avvinkling ligger helt i anslag mot støttingen, og friksjon i muffekoblingen og låsesegmentene kan bidra til at sveiselarven i «yttersving» ikke går helt i anslag mot låseringen og låsesegmentene, men heller påvirker støttingen i «innersving» av muffekoblingen (se Figur 3). Dette gir mulighet for at sveiselarven presses innunder støttingen til pakningen, og presser bort muffen. Dette kan gi tap av pakningsforspenning og medfølgende lekkasje, slik det ble funnet i destruktiv test av de to muffekoblingene.

Arbeidstegningene beskriver stedvis avvikling i muffekoblinger langt over 2°. Denne utfordringen sier entreprenøren de har løst ved å legge flere rør med (forsøksvis) 2° avvikling, og dermed noe kurveradius på aktuell rørstrekning. Minste standard bend har en avvikling på 11,25°.

Etter opprinnelig montasje har flere delstrekninger av trykkrørene blitt justert av entreprenøren, etter oppgraving. Under befaringen i februar 2017 ble NO fortalt av entreprenøren at de ved justering av trykkrørene har brukt gravemaskin og stopper rundt rørene, for så å dra rørene sideveis. Dette er en kjent metode for justering av rør i grøft, men det er veldig viktig å ikke dra rørene så mye at tillatt avvikling overstiges.

6.2.3 Utført innmåling av rørene

Entreprenøren har målt inn koordinater for rørene i grøften etter montasje, med landmålerutstyr. Det er uklart for NO med hvilket tidsintervall rørene er innmålt, men koordinatene må ha vært målt før rørene i grøften ble tilbakefylt siden koordinatene til alle rørenes muffer tilsynelatende er målt inn. Det er også uklart for NO med hvilket utstyr og presisjon innmålingene av koordinatene er utført. Innmålingene representerer xyz-koordinater for toppen av muffeenden for hvert rør.

Det er for NO uklart hvordan entreprenøren selv har vurdert avviklingen i hver muffekobling underveis i monteringen av rørene, og hvordan avvik fra kravet om 2° maksimal avvikling i muffekoblingene har blitt håndtert underveis. NO har ikke blitt forevist noen dokumentasjon fra entreprenøren på innmålte avviklinger for monterte rør.

De innmålte koordinatene for de monterte rørene ble oversendt til Tromsø kommune (TK). TK har satt opp et excel-ark datert 15.02.2016 med alle de innmålte koordinatene i xyz-planet, og en beregning av tilhørende avvikling horisontalt og vertikalt i hver enkelt muffekobling.

Måledataene tyder klart på at mange av muffekoblingene er lagt med alt for stor avvikling, i forhold til leverandørens maksimalt tillatte avvikling, og viser at mange av muffekoblingene for de nedgravede rørene har mellom 3° og 5° avvikling. Anslagsvis mer enn halvparten av alle innmålte muffekoblinger har avvikling større enn leverandørens maksimalt tillatte avvikling, og dette er spesielt alvorlig for DN700-røret der leverandørens maksimalt tillatte avvikling kun er 1,5° (altså mindre enn 2° spesifisert i mengdebeskrivelsen).

Avviklinger i muffekoblinger ut over tillatt avvikling understøttes av byggherrens egne innmålinger for delstrekninger av trykkrøret, og innvendig videoinspeksjon.

6.2.4 Konklusjon

Manglende aktivisering av de strekkfaste koblignene kan ha påvirket muffekoblingens tetterfunksjon ved avvikling.

Under montering av rørene, og ved justering av delstrekninger av røret etter oppgraving, har entreprenøren ikke hatt oversikt over avviklingen i hver enkelt muffekobling. Innmålinger utført av entreprenøren etter montasje av trykkrørene i grøften viser at anslagsvis halvparten av alle muffekoblingene har en avvikling over 2°, en avvikling som er over leverandørens maksimalt tillatte avvikling i muffekoblingene.

Det skal bare 10 cm avvik til på rørets frie ende for å endre vinkelen fra 2° til 3° i muffekoblingen.

6.3 Komprimering og omfyllingsmasser

6.3.1 Spesifisert i mengdebeskrivelsen

I mengdebeskrivelsens post 2.29.01.03.21 FS3. 1119259225A Utlegging av løsmasser i grøft – lengde, er det spesifisert "Normal komprimering" og «Normal kontroll» for utlegging av løsmassene rundt rørene. «Normal komprimering» er også spesifisert under de prispåberende postene for rørleveransen. NS 3420 er en beskrivelsesstandard, og henviser til alle andre relevante standarder som trengs for å utføre oppdraget. "Normal komprimering" beskrives i standard NS 3458 Komprimering – krav og utførelse. Normal komprimering er den strengeste spesifisering av komprimering, unntatt «Spesiell komprimering». «Normal komprimering» definerer krav for utførelse med lag på lag med komprimerte masser, og «normal kontroll» beskriver krav til dokumentasjon av utførelsen.

Den generelle posten 2.29.02.0. 1 Rør og deler beskriver at det skal komprimeres spesielt godt inn til siden og i underkant av rørene som vist på tegninger av grøftesnitt. Tegning av grøftesnitt markerer områder som skal komprimeres spesielt nøye, og områder for «normal komprimering» og øvrig overdekning med stedlige masser.

Arbeids tegning for grøftetværsnitt, som er vedlagt mengdebeskrivelsen, viser hvilke områder som skal komprimeres under, rundt og over rørene, men har ingen forklarende tekst eller henvisninger.

I eksempelvis mengdebeskrivelsens post 2.29.01.03.43 FS3. 1315332220 Utlegging av løsmasser i grøft, er det spesifisert masser med sortering 1/1/22.

6.3.2 Utført

Entreprenøren bekreftet til NO under befaringen i november 2016, og muntlig til byggeleder 05.12.2016, at for trykkrørene til Nordtromsøya er kun grøttefundamentet komprimert. Det er ikke utført komprimering av løsmassene for sidedylingen eller omfyllingen av rørene, eller imellom rørene. Byggeleder bekrefter på telefon til NO 05.12.2016 at entreprenør har komprimert kun grøttefundamentet i hele traséen, og at komprimering av løsmasser rundt rørene ikke er utført.

Med to og tre parallelle rør i grøften, som kan påvirke hverandre ved retningsendringer, er det ekstra viktig at det utføres «normal komprimering», spesielt mellom rørene, for å kunne holde rørene stabilt i grøften.

Omfyllingsmassene rundt rørene er definert i prosjekteringen til 11-22 mm, dette bekrefter entreprenøren å ha brukt i hele grøften rundt rørene. Massene er godt egnet til formålet, og er relativt selvkomprimerende.

6.3.3 Konklusjon

Store deler av omfyllingsmassene rundt trykkrørene i grøften er ikke komprimert etter krav gitt i mengdebeskrivelsen og tegning av grøftesnitt. NO har ikke blitt forevist dokumentasjon for utførelse av komprimeringen (kontrollskjema). Manglende komprimering kan ha bidratt til ustabile rør i utsatte deler av overføringsledningen.

Omfyllingsmassene er levert i henhold til mengdebeskrivelsen.

7 Destruktiv testing og inspeksjon

20-21. februar 2017 ble det gjennomført destruktiv testing og inspeksjon av to muffekoblinger på rør vest mellom G1 og G2.

7.1 Bakgrunn og formål

Tromsø kommune initierte destruktiv test av to muffekoblinger med synlig lekkasje, som en uavhengig kontroll av årsaker til lekkasjene. De to muffekoblingene med observert lekkasje under fellesbefaringen i november 2016 ble kappet ut av røret i grøften, for grundigere inspeksjon på stedet og i verksted. De aktuelle muffekoblingene er:

1. Muffekobling 2 mellom rør 2 og 3 ovenfor bend ca. pel 1200 (videre kalt muffekobling 1). Denne muffekoblingen lekker vesentlig mindre enn den andre.
2. Muffekobling 5 mellom rør 5 og 6 ovenfor bend ca. pel 1200 (videre kalt muffekobling 2). Denne muffekoblingen lekker mest av de to.

Formålet med den destruktive testen og inspeksjonen var å undersøke muffekoblingene mer utfyllende enn det som er mulig med utvendig inspeksjon i grøften, for om mulig å avdekke årsaken(e) til lekkasjene. Formålet med å kappe muffekoblingene i verksted var for å få lengdesnitt av muffekoblingene, for å kunne vurdere eventuelle skader og lekkasjeårsaker så detaljert som mulig, uten å påvirke muffekoblingens tettesystem utilbørlig.

7.2 Deltakere

Tester og visuelle observasjoner ble dokumentert med tekst og bilder, og resultatene av gjennomførte undersøkelser er sammensatt i denne rapporten. Det var viktig at impliserte parter deltok på inspeksjonene for de destruktive testene, slik at funnene ikke bestrides i etterkant.

Deltakere i rørgrøften mandag 20 februar og i verkstedet tirsdag 21. februar:

- | | |
|----------------------|---|
| • Arne Tessen | Tromsø kommune |
| • Jan Stenersen | Tromsø kommune (delvis tilstede) |
| • John Egil Ottosen | Nordnorsk Byggekontroll AS |
| • Nils Olav Midtlien | Encono AS |
| • Jon Egil Sørensen | Einar Sørensen Maskinentreprenør AS (delvis tilstede) |
| • Jon Simon Laaby | COWI AS (kun tirsdag) |
| • Jonas Jessen Ruud | Norconsult AS (referent) |

I tillegg var representant fra Heidenreich innom begge dagene, og entreprenørens advokat var innom i verkstedet.

7.3 Forberedende arbeider

I grøften ble rørene avgravd for masser. Rørene ble inspisert og dokumentert med oppmålinger og bilder slik de lå før videre arbeid tok til. Fire aksjelle avstiverer per muffekobling ble sveist på, med lik innbyrdes avstand. Avstivningens formål var å låse muffekoblingene i posisjon, slik de lå i grøften, etter at muffekoblingene ble kappet ut og fraktet til verksted. Rørene ble kappet ut med vinkelsliper, og løftet på lastebilplan av en gravemaskin med stropper rundt koblingene. Dette arbeidet ble utført mandag 20. februar. De to muffekoblingene lå i verkstedet til Båt og Byggestål AS over natten, før inspeksjoner og videre demontering av muffekoblingene ble utført tirsdag 21. februar.

7.4 Inspeksjoner i verksted

I verksted ble muffekoblingenes deler målt opp og dokumentert så langt det lot seg gjøre. Rørtykkelse, låsekleenes plassering, avvinkling, ovalitet og spissendens avstand til muffen ble målt opp og registrert. Det ble foretatt en visuell inspeksjon av muffekoblingene inn- og utvendig, dokumentert med tekst og bilder.

Muffekoblingen ble åpnet opp ved å kappe ut et stykke av muffen med vinkelsliper, se Bilde 2. Kuttene ble rene og fine, og ga to snitt gjennom koblingen for hver åpning. Det ble laget en tilsvarende åpning på diametralt motsatt side også, før toppstykket av muffen ble kappet av. Til slutt kunne spissenden løftes ut av koblingen. Alle delene ble inspisert før neste steg i prosessen. Samme framgangsmåte ble benyttet for begge muffekoblingene.



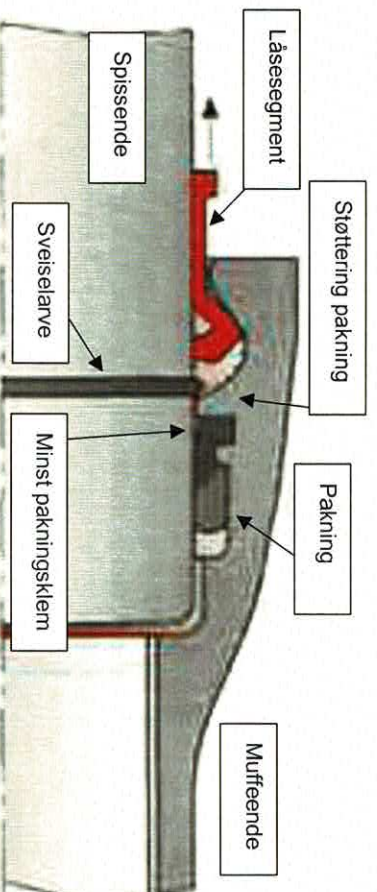
Bilde 2 Åpnet muffekobling, muffekobling 1 (Innersving). Sot på spissendens vannside er fra kappingen

Se 10.3 Bilder fra verkstedsinspeksjonen for flere detaljerte bilder med forklarende tekst til de omtalte delene og skadene.

7.4.1 Muffekobling 1

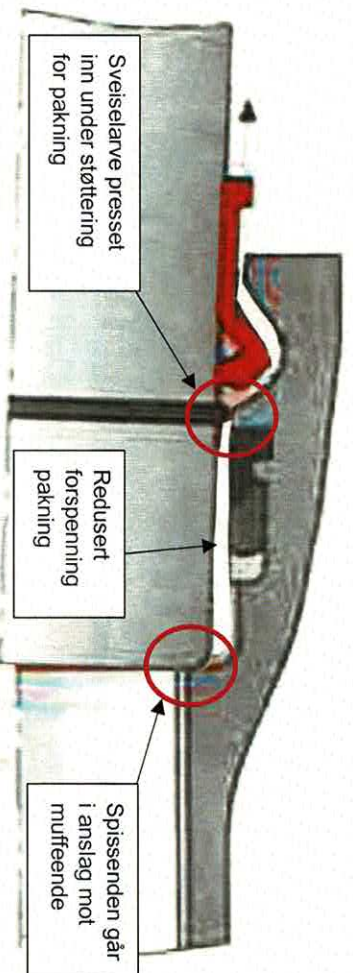
Muffekobling 1 ble innspisert først. Se Figur 2 for en snitt-tegning gjennom en strekkfast muffekobling med låsesegmenter, tilsvarende muffekoblingen til SMS med SK-segmenter.

Muffekobling 1 har minst lekkasje av de to innsperste muffekoblingene. Spissenden sakser i koblingen med ca. 3 mm (senterlinjeavvik). Første åpning ble laget i muffekoblingens «inner-sving». Pakningen lå riktig i sporet. Sveiselarven som var synlig i åpningen som ble laget hadde tydelige spor etter mekanisk skade, avskalling av overflatebehandlingen, og begynnende korrosjon på siden som vender mot muffeenden. Motstående del av muffen hadde også tydelige spor etter mekanisk skade, med avskallet overflatebehandling, synlig metall, og begynnende korrosjon. Det betyr at det har vært kraftig kontakt mellom delene ved avvinkling, spesielt mellom sveiselarven og støttingen for pakningen.



Figur 2 Snitt gjennom strekkfast muffekobling med låsesegmenter (BLS, fra Buderus/Duktus produktkatalog). Normaltilstand for muffekoblingen. Pakningen er ikke lik den som er levert.

Ved et ca. 10 cm bredt område ved luftsiden av pakningen, under den tykkeste delen av pakningen som har minst pakningsklem, var det tydelig korrosjon på spissenden. Det var kun på dette punktet det var slik korrosjon langs hele pakningens omkrets. Det er tydelig at sveiselarven har påvirket støttingen til pakningen, og antakeligvis fortrenget denne, slik at forspenningen på pakningen har blitt redusert nok til at vann har kunnet lekket forbi, se Figur 3. Det kan virke som at det største avviket har vært akkurat under den delen av muffen som ble kappet ut. Sveiselarven som ble synlig i åpningen har tydelig mekanisk skade midt oppå, noe som tyder på at sveiselarven har vært helt inne under støtte-ringen til pakningen, omtrent der det ble konstatert korrosjon på spissenden.



Figur 3 Snitt gjennom strekkfast muffekobling med låsesegmenter (modifisert av NO). For stor avvinkling reduserer pakningsforspenning i muffekoblingens «inner-sving», på grunn av sveiselarvens plassering

Korrosjon på luftsiden av tetteflaten, under pakningen, er en tydelig indikasjon på at det har vært lekkasje der. Det er antatt at tilgang til luft og vann under pakningen, på grunn av liten forspenning av pakningen og medfølgende lekkasje, har forårsaket korrosjonen.

På motsiående side av muffekoblingen (i «Yttersvingen»), i åpningen som ble laget der, var sveiselarven stedvis i noe kontakt med minst ett låsesegment, slik at det ikke var mer aksjell bevegelse eller avvinkling å gå på totalt for muffekoblingen (dette er normalt). Ellers var det ingen spesielle funn i der. Låsesegment 1, 2, 3 og 7 var noe løse, mens resten satt fast. Det var 7 låsesegmenter totalt, men det bør være 8 stk. som er det maksimale antallet.

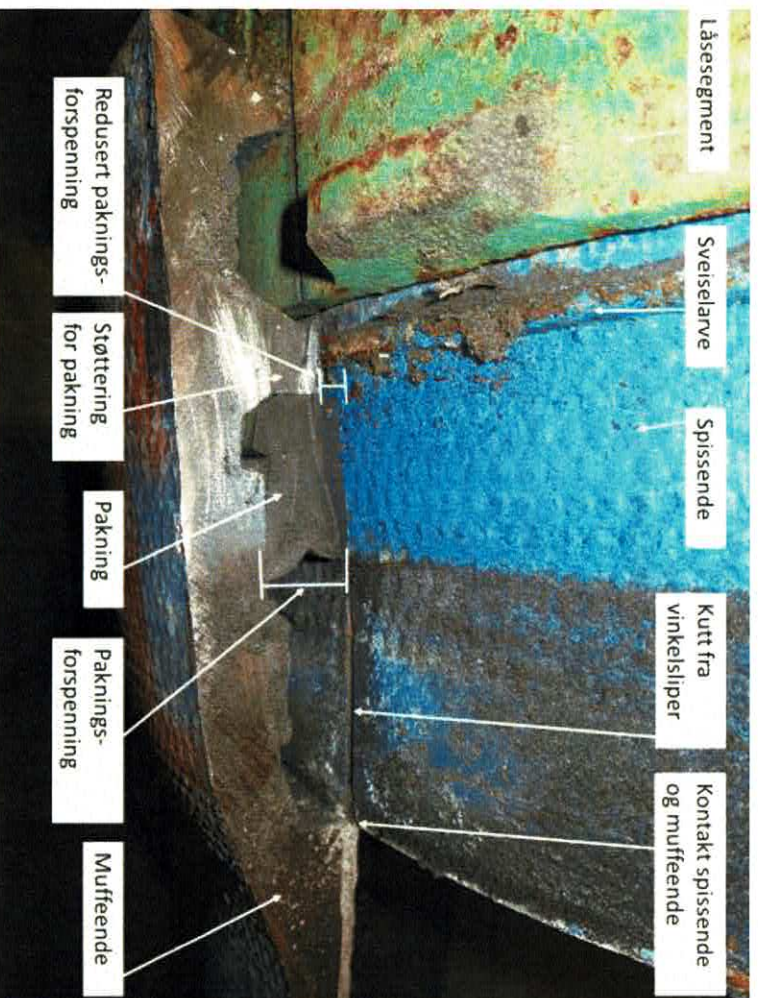
Avvinklingen til muffekoblingen ble målt manuelt med vinkeliskive utenpå muffekoblingen, før demonstasjonen begynte, til ca. 2°

Innvendig i muffekoblingen var det noe avskalling av sementbelegget på muffeenden, omtrent i området for den observerte korrosjonen på spissenden. Dette kan sammenfalle med at spissenden har vært i anslag med muffe-enden, se Figur 3. Ved inspeksjonstidspunktet var det noen millimeter klaring mellom spissende og muffe på punktet med avskallingen.

Det ble ikke funnet spor etter stein eller grus i pakningen.

7.4.2 Muffekobling 2

Muffekobling 2 ble inspisert etter muffekobling 1. Denne muffekoblingen har størst observert lekkasje av de to inspiserte muffekoblingene. Spissenden sakser i koblingen med ca. 1-1,5 cm (senterlinjeavvik). Første åpning ble laget i «Yttersving». Pakningen lå riktig i sporet. Sveiselarven var i kontakt med låsesegmentene, slik at det ikke var mer aksjell bevegelse eller avvinkling å gå på totalt for muffekoblingen (dette er normalt). Ellers var det ingen spesielle funn der.



Figur 4 Muffekobling 2, sett innvendig i muffekoblingen etter fjerning av deler av muffe

Sveiselarven som var synlig i åpningen som ble laget på motstående side (i «innersvingen», se Figur 4) hadde tydelige spor etter mekanisk skade, avskalling av overflatebehandling, og begynnende korrosjon på siden som vender mot muffe-enden. Motstående del av muffen, den delen som ble kuttet bort, hadde også tydelige spor etter mekanisk skade, med avskallet overflatebehandling, synlig metall, og begynnende korrosjon. Det betyr at det har vært kraftig kontakt mellom delene ved avvinkling, spesielt mellom sveiselarven og støttingen for pakningen. Sveiselarven har lagt seg helt inn under støttingen for pakningen, og presset denne unna, slik at forspenningen på pakningen lokalt har blitt redusert nok til at vann har kunnet lekket forbi. Se Figur 3 for en illustrasjon av hendelsen.

Ved et ca. 10 cm bredt område på spissendens tetteflate var det tydelig korrosjonsangrep. Denne korrosjonen var akkurat utenfor åpningen som ble kuttet (litt lavere), men ble observert på spissenden da denne ble demontert til sist. Også på toppen av muffekoblingen ble det observert et ca. 10 cm bredt korrosjonsangrep på luftsiden av tetteflaten, omtrent slik som for muffekobling 1. Det var kun på disse to punktene det var slik korrosjon langs hele pakningens omkrets, bortsett fra i bunn av muffekoblingen. I bunn er det antatt at stående vann i muffen har forårsaket korrosjonen.

Korrosjon under hele tetteflatens bredde, og korrosjon på luftsiden av tetteflaten under pakningen, er en tydelig indikasjon på at det har vært lekkasje på disse stedene. Det er antatt at tilgang til luft og vann under pakningen, på grunn av liten forspenning av pakningen og medfølgende lekkasje, har forårsaket korrosjonen.

Avvinklingen til muffekoblingen ble målt manuelt med vinkelskive utenpå muffekoblingen, før demontasjonen begynte, til ca. 30°

Innvendig i muffekoblingen var det betydelig avskalling av sementbelegget på muffe-enden, der rørets spissende var i anslag mot muffen på siden av muffekoblingen (se Figur 3). I bunn av muffekoblingen var det også betydelig avskalling av sementbelegg på muffeenden. Der var det imidlertid vesentlig klaring ved inspeksjonen, men avskallingen tyder på at det tidligere har vært kontakt der.

Det ble ikke funnet spor etter stein eller grus i pakningen.

7.4.3 Antatt årsak til lekkasje for de inspiserte muffekoblingene

Muffekobling 1

Avvinklingen i muffekoblingen, som har oppstått i forbindelse med montasje av rørene og/eller ved senere justering av trykkrørene, har gjort at sveiselarven antakeligvis har presset seg inn under støttingen for pakningen i muffekoblingens «innersving». Dette medfører lokalt redusert forspenning på pakningen, fordi sveiselarven fortrenger muffeenden og dermed pakningen, og sveiselarven forhindrer da den designede funksjonen til tetningssystemet. Lokalt redusert forspenning på pakningen, kombinert med en nuppete tetteflate på rørets spissende, har ført til lekkasje.

Det er antatt at det lokale korrosjonsangrepet ved pakningen indikerer lekkasjestedet. Avvinklingen mellom rørene ble under inspeksjonen målt til ca. 20°. Dette er leverandørens maksimalt tillatte avvinkling for DN600. Det er antatt at avvinkling med spissenden helt inne i muffen (ikke-aktivert muffekobling) kan ha bidratt til skadene som ble observert. Spissenden er ca. 1 cm mer oval enn muffeenden. Spissenden sakser (senterlinjeavvik) ca. 3 mm i forhold til muffe-enden. Tillatt saksing er vanligvis 5 mm.

Muffekobling 2

Avvinklingen i muffekoblingene, som har oppstått i forbindelse med montasje av rørene og/eller ved senere justering av trykkrørene, har gjort at sveiselarven har presset seg helt inn under støttingen for pakningen i muffekoblingens «innersving». Dette medfører lokalt redusert forspenning på pakningen, fordi sveiselarven fortrenger muffeenden og dermed pakningen, og sveiselarven forhindrer da den designede funksjonen til tetningssystemet. Lokalt redusert forspenning på pakningen, kombinert med en nuppete tetteflate på rørets spissende, har ført til lekkasjer.

Det er antatt at de to lokale korrosjonsangrepene ved pakningen indikerer lekkasjesteder. Avvinklingen mellom rørene ble under inspeksjonen målt til ca. 30°, som er over leverandørens maksimalt tillatte avvinkling på 20° for DN600. Spissenden saksør (senterlinjeavvik) ca. 1-1,5 cm i forhold til muffe-enden. Tillatt saksing i disse strekkfaste koblingene er vanligvis 5 mm.

Felles

Arsakene nevnt under har bidratt til lekkasjen både sammen og hver for seg, i tillegg til avvinkling i muffekoblingene, også med funnene under inspeksjonen av de to muffekoblingene:

Hovedårsaker:

- Systemsvakhet: Rørenes og koblingenes typetester dokumenterer rør og koblinger med tillatt maksimal PFA (arbeidstrykk) på mellom 16-25 bar for DN600 og mellom 10-16 bar for DN700. Mengdebeskrivelsen spesifiserer rør med PFA 30 bar for DN600 og 27 bar for DN700. Testtrykk er opp mot 32 bar. Rørenes relativt lave PFA kan være en medvirkende årsak til lekkasjene, ved at de svakestede delene i koblingene har gitt etter slik at designet tettefunksjon ikke blir oppnådd.
- Ved avvinkling mens spissenden er helt innpresset i muffen, vil spissendens sveiselarve kunne påvirke pakningens støttering negativt.
- Ujevnt monterte og ujevnt forspente låsesegmenter kan ha påvirket spissendens ovalitet og pakningstorspenning, noe som kan ha ført til skjevpåførte krefter i muffekoblingene, med lokal deformasjon enkelte steder og for lite forspenning av pakning enkelte steder, som resultat.

Det er antatt at det er flere muffekoblinger med lignende skader og lekkasjeårsak spredt utover blant trykkrørene, der avvinklingene i muffekoblingene overstiger maksimalt tillatt avvinkling.

7.4.4 Lekkasjeutfordringer over tid

Påvist lekkasje i trykkrørene gjør at rørene ikke kan overtas av byggherren slik tilstanden er. Lekkasje i trykkrør gir ikke en betydelig utfordring for eventuell nåverdi av tapte vann. Utfordringene består blant annet av

- Gjennomføring av prøvetid
- Overtakelse av trykkrørene
- Leverandørens garantier
- Eventuelle langtidsvirkinger av kontinuerlig lekkasje

Angående eventuelle negative langtidsvirkinger ved lekkasje i trykkrør, er muligheter for økt lekkasje og utvasking av omfyllingsmasser de mest sentrale.

- Det ble under destruktive tester observert korrosjon i muffekoblingens pakningsområde. Korrosjon oppstår med tilgang på luft og vann. Det er grunn til å anta at korrosjonen vil utvikle seg og øke i omfang over tid, og vil kunne øke lekkasjene.
- Vannstrålen fra lekkasjen kan, med eventuell innblanding av skitt i vannet, gi siltasje på pakningen, med økt lekkasje som resultat.
- Vannstrålen fra lekkasjene kan forårsake utvasking av omfyllingsmassene rundt trykkrørene over tid, noe som vil kunne påvirke rørenes stabilitet og muliggjøre rørbrudd.

7.5 Mulige lekkasjeårsaker for resterende trykkrør

Sannsynlig årsak til lekkasjer for de to inspiserte muffekoblingene er funnet gjennom inspeksjon og destruktiv testing. I tillegg er det fortsatt andre muligheter for lekkasjer i trykkrørene, som diskutert i det følgende i uprioritert rekkefølge:

- Mulige innebygde feil på rør eller pakninger, eventuelt feil bruk av pakninger (vridde pakninger er rapportert, pakninger lar seg montere feil vei), montasje av feil pakninger (to forskjellige pakningstyper er levert til anlegget, en for bønd og en for rør), eller stuking (vridning) av pakning ved montasje.
- Bruk av standard rør som tilpasningsrør. Ettersom kun tilpasningsrørene har dokumenterte utvendige diametermål kan tilkappede rør ha varierende diametermål på teteflaten
- Det kan ha kommet stein eller grus inn mot pakningsområdet
- Feil montasje av, og ukjent forspenning i skruer ved, strekkfaste bønd
- Andre spesialdelene, mekaniske koblinger, eller overganger kan være installert med for stor avvinkling, feil tiltrekningsmoment på skruer, eller med for lav trykkklasse. NO har ikke oversikt over alle øvrige deler som eventuelt er levert til anlegget.

7.6 Konklusjon

To muffekoblinger er inspisert med destruktive tester. Sannsynlig hovedårsak til lekkasjene i disse to strekkfaste muffekoblingene er for stor avvinkling. For stor avvinkling har gitt skjævrefter og lokal deformasjon av muffekoblingene, slik at muffekoblingenes designede tette- og låsefunksjon ikke oppnås i og med at det blir liten eller ingen forspenning på pakningen.

Det er antatt at rørenes lave PFA gir en relativt svak spissende som bidrar til uheldige deformasjoner, og er en medvirkende årsak til lekkasjene.

Det er antatt at det er flere muffekoblinger med lignende skader og lekkasjeårsak spredt utover blant trykkrørene, der avvinklingene i muffekoblingene overstiger maksimalt tillatt avvinkling.

Det er fortsatt andre muligheter for lekkasjer i trykkrørene.

8 Hovedkonklusjon

Alle de fire delstrekningene av trykkrøret lekker vann ved prøvetrykket under trykktesting.

Lekkasje mengden er estimert ved trykk- og lekkasjemålinger til å være opp mot 432 l/time for en av de fire delstrekningene.

8.1 Strekkfast rørsystem

Et strekkfast rørsystem forutsetter forankring av krefter ved retningsendringer ved hjelp av friksjon mellom strekkfaste rør og omfyllingsmasser. Riktig utført er dette en løsning som ivaretar trykkrørens stabilitet, og er omtalt i relevante VA miljøblad.

Trykkrørene er i utgangspunktet montert av entreprenøren uten å aktivere muffekoblingene særskilt, i strid med forutsetningene for et strekkfast rørsystem uten forankringsfundamenter ved bend og høybrett. Aktivering av strekkfaste koblinger er ikke et tema i VA-miljøblad da det er underforstått at de strekkfaste muffekoblingene i et strekkfast rørsystem skal aktiveres for å unngå bevegelse i mellom rørene, for å holde trykkrørene stabile ved bend og høybrett.

Manglende aktivering av de strekkfaste koblingene kan ha:

- påvirket muffekoblingens tettestruktur ved avvinkling
- gitt utfordringer med ustabile delstrekinger av trykkrørene, spesielt ved høybrett

Utsatte høybrett er nå stabilisert ved bruk av forankringsfundamenter. Manglende aktivering av strekkfaste muffekoblinger er generelt sett ikke ansett som en vesentlig årsak til for store avvinklinger i muffekoblingene. Årsaken til dette er at muffekoblingenes avvinkling allerede ved montasje stedvis er høyere enn leverandørens maksimalt tillatte avvinkling i muffekoblingene.

Entreprenørens egne oppmålinger viser at anslagsvis halvparten av rørene er lagt med avvinkling i muffekoblingene ut over leverandørens tillatte avvinkling på 1,5° (for DN700) og 2° (for DN600).

Entreprenøren har underveis i montasjen ikke hatt tilstrekkelig internkontroll på nøkkelparametere som avvinkling, i kombinasjon med ovalitet, rørlengder, saksing etc., i hver muffekobling, og at disse parametrene holdes innenfor tillatte verdier.

Prosjekterende har utarbeidet arbeidstegninger som detaljerer delstrekinger av trykkrør med avvinklinger ved retningsendringer som vil gi for stor avvinkling i muffekoblingene, dersom tegningene følges direkte. Det vil si at trykkrørene er prosjektert på en slik måte at entreprenøren ikke kunne legge trykkrørene i henhold til arbeidstegningene, uten å komme i konflikt med de oppgitte toleransekravene for avvinkling i de strekkfaste muffekoblingene. Når store avvinklinger ved retningsendringer som angitt på arbeidstegningene i virkeligheten skal tas opp som mindre vinkelendringer i muffekoblingene over flere enkeltør må tegningen reflektere dette, ellersom grøfta graves og rør legges fortløpende ved hjelp av gravemaskinens GPS. Entreprenøren har fraveket arbeidstegningene for å redusere avvinklinger i muffekoblingene, og selv vurdert hvordan den prosjekterte linjen skal kunne følges. Uten et tegningsunderlag som reflekterer faktisk røtrase ble det krevende for entreprenøren å unngå å legge mange rør over 2° avvinkling i muffekoblingene.

NO vurderer at store deler av vannveien ikke vil være avhengig av et strekkfast rørsystem for å være stabil. Hvilke øvrige større bend (som ikke allerede er forankret) som kan være ustabile, må klargjøres med omforente stabilitetsvurderinger.

8.2 Lekkasjeårsak

To muffekoblinger med observert lekkasje fra tidligere trykktester ble kappet ut av røret i grøften, for grundigere inspeksjon på stedet og i verksted. Formålet med de destruktive testene var om mulig å finne årsaker til lekkasjene. Muffekoblingene ble åpnet med vinkelsliper, slik at tilstanden i muffekoblingen kunne inspiseres uten å påvirke tetningssystemet. De destruktive testene påviste uheldige deformasjoner i muffekoblingene.

Sannsynlig hovedårsak til lekkasjene i de to inspiserte strekkfaste muffekoblingene er en kombinasjon av følgende faktorer, som er gjensidig avhengig av hverandre:

- avvinkling i muffekoblingene ut over leverandørens maksimalt tillatte avvinkling
- avvinkling utført med spissenden helt inne i muffekoblingen (ikke aktivert strekkfast muffekobling ved å trekke røret ut etter montasje)
- rørenes lave PFA (tillatt arbeidstrykk) gir en relativt svak spissende som bidrar til deformasjonene

Avvinklingen har gitt skjevkrefter og lokal deformasjon av muffekoblingen. Sveiselarven har presset seg helt inn under støttingen for pakningen i muffekoblingens «innersving», og dermed fortrengt muffeenden. Slik er muffekoblingenes designede tette- og låsefunksjon ikke oppnådd, på grunn av liten eller ingen forspenning på pakningen. Lekkasjen har oppstått der forspenningen på pakningen er minst.

Skadene på de inspiserte muffekoblingene er sannsynligvis påført av gravemaskin, ved avvinkling under montasje. I henhold til typetester av strekkfaste duktile støpejernrør (beskrevet i NS-EN 545, kapittel 5.3 og 7.2), skal rørene utsettes for fullt endebunnstrykk ved maksimal tillatt avvinkling, uten å ha synlig lekkasje. Krefter fra innvendig trykk i røret tas opp som interne spenninger i muffekoblingen med låsesegmenter, og denne skal være dimensjonert til å tåle de aksielle og radiale krefter som da oppstår. Dette er et viktig moment for trykkrørene til Nordtromsøya. Det betyr at skadene på rørene sannsynligvis har oppstått da trykkrørene ble montert med avvinkling større enn leverandørens tillatte avvinkling, eller ved senere justering av deler av trykkrørene.

Det kan være flere muffekoblinger med lignende skader og lekkasjeårsak spredt utover blant trykkrørene, der avvinklingene i muffekoblingene overstiger maksimalt tillatt avvinkling.

Rørleverandør har levert rør som ikke tilfredsstiller krav i entreprenørens kontrakt (mengdebeskrivelsen). De leverte rørene har følgende tekniske data dokumentert av rørleverandør:

- trykkklasse PFA mellom 16-25 bar for DN600, mens kravet er PFA=30 bar
- trykkklasse PFA mellom 10-16 bar for DN700, mens kravet er PFA=27 bar
- statisk trykk i overføringsledningen kan bli 21 bar, og testtrykket er 32 bar.
- tillatt avvinkling for DN700 rør er 1,5º, mens kravet er 2º.
- tillatt avvinkling er i henhold til kravet for DN600 rør.

8.3 Lekkasjeutfordringer over tid

Påvist lekkasje i trykkrørene gjør at rørene ikke kan overtas av byggherren. Utfordringene består blant annet av

- Gjennomføring av prøvetid
- Overtakelse av trykkrørene
- Leverandørens garantier
- Eventuelle langtidsvirkninger av kontinuerlig lekkasje

Angående eventuelle negative langtidsvirkninger ved lekkasje i trykkrør, er muligheter for økt lekkasje og utvasking av omtylingsmasser de mest sentrale.

- Det ble under destruktive tester observert korrosjon i muffekoblingens pakningsområde. Korrosjon oppstår med tilgang på luft og vann. Det er grunn til å anta at korrosjonen vil utvikle seg og øke i omfang over tid, og vil kunne øke lekkasjene.
- Vannstrålen fra lekkasjen kan, med eventuell innblanding av skitt i vannet, gi siltasje på pakningen, med økt lekkasje som resultat.
- Vannstrålen fra lekkasjene kan forårsake utvasking av omtylingsmassene rundt trykkrørene over tid, noe som vil kunne påvirke rørenes stabilitet og muliggjøre rørbrudd.

9 Videre arbeider

En sammensynlig årsak til noen av lekkasjene i trykkrørene ble funnet ved destruktiv testing og inspeksjon. Anbefalinger for videre arbeid er som følger:

1. Stabilitetsvurdering av hele trykkrøret, slik det er lagt i dag
2. Identifikasjon av muffekoblinger med synlige innvendige skader, eller større avvinklinger
3. Eventuell utbedring av deler av eller hele vannveien.

Det presiseres at den eneste fullverdige utbedringen av trykkrørene vil være å legge alle trykkrør på nytt, med riktig komprimering, samtlige avvinklinger under leverandørens maksimalt tillatte avvinkling, og nye rør som tilfredsstiller prosjekteringsforutsetningene spesielt med tanke på tillatt PFA og maksimal avvinkling, samt saksing, ovalitet, rørlengder og andre parametere. Videre må alt dokumenteres tilstrekkelig i henhold til kontrakt og standarder.

9.1 Undersøkelser

9.1.1 Stabilitetsvurdering av trykkrørene

Ansvarlig prosjekterende COWI forutsatte i sin prosjektering bruk av strekkfaste duktile støpejernrør. Ved korrekt montering, av strekkfaste rør med tilstrekkelig PFA, var det i utgangspunktet ikke nødvendig med detaljerte beregninger av trykkrørens stabilitet i avvinklinger, fordi kreftene fra bend og avvinklinger ville blitt tatt opp som friksjon mellom aktive strekkfaste rør og omfyllingsmasser.

Når rørene ikke er montert som forutsatt, vil det være nødvendig med en grundig gjennomgang av stabiliteten til hele rørsystemet og hver enkelt av trykkrørene, hvis rørene skal beholdes. En komplett og omforent stabilitetsvurdering av rørene må derfor utarbeides, slik trykkrørene er montert i dag i grøften. Stabilitetsvurderingen må som minimum innbefatte innmålinger og vurderinger av faktisk

- avvinkling i muffekoblingene
- rørlengder
- overdekning
- densitet av overliggende masser
- friksjonsvinkel fylling
- friksjon mellom masser og rør
- tillatt aksialkraft i strekkfaste muffekoblinger

i tillegg til opptredende trykk og vurdering av implikasjoner for parallelle rør i grøften. Parallelle rør i grøften endrer stabilitetsbidrag fra overdekningen i forhold til om røret hadde ligget alene.

9.1.2 Trykkstøtberegning

Det er avtalt utarbeidelse av trykkstøtberegninger av trykkrørene og omkringliggende systemer, for å kartlegge hvilke trykk som kan oppstå i trykkrørene under drift.

9.1.3 Vurdering av innmålte koordinater for rørene

Entreprenøren har målt inn alle trykkrørenes muffeplassering med xyz-koordinater (se kapittel 6.2.3), antakeligvis ved opprinnelig montasje av rørene. ESM sier at innmålingsdataene ikke er nøyaktige nok til å kunne beregne eksakt avvinkling i muffekoblingene. Data fra innmåling av hver muffe er overlevert til anleggseier.

Anleggseier har satt opp de målte koordinatene i xyz-planet, og beregnet resulterende avvinkling ved hver muffe. Innmålingene viser at nær halvparten av alle muffekoblingene har en avvinkling over leverandørens krav på 2° for DN600 rør og 1,5° for DN700. De muffekoblingene som har avvinkling ut over 2° (for DN600) og 1,5° (for DN700) bør inspiseres spesielt, for om mulig å avdekke muffekoblinger med liten eller ingen klaring i aksjell retning mellom spissende og muffe, og mulig avskalling av sementbelegg på grunn av kontakt mellom spissende og muffe. Slike muffekoblinger kan ha lekkasje

I tillegg burde de innmålte muffekordinatene tegnes opp sammen med den prosjekterte linjen for trykkrøret, for om mulig å finne avvik mellom prosjektert linje og faktisk lagt trykkrør. Dette kan være en tilnærming for å kunne vurdere sannsynlig avvinkling i hver muffe. I tillegg vil dette være nyttig input for en stabilitetsvurdering av trykkrøret, i forhold til å beregne stabiliteten for rørene i grøften, spesielt for kortere (tilpassede) rør.

9.1.4 Innvendig videoinspeksjon

Da trykkrøret for det meste er gravet ned i grøften, vil det være utfordrende å måle opp avvinklingen i muffekoblingene nå i ettertid. Innvendig er det mest naturlig å benytte videoinspeksjon.

Byggherre filmet i 2016 deler av trykkrørene innvendig med fjernstyrt videokamera. Kameraets oppløsning var ikke god nok, og formålet med inspeksjonen noe annet enn det som nå er påvist som lekkasjeårsak. Inspeksjonen viser allikevel at flere muffekoblinger kan være skadet av at spissenden på røret har hatt kontakt med sementbelegget i muffen, og at noen av avstandene målt opp mellom muffe og spissende er store. Dette kan være indikasjon på muffekoblinger med for stor avvinkling, og kan dermed være muffekoblinger med størst sannsynlighet for lekkasje.

En komplett innvendig videoinspeksjon av hele trykkrøret anbefales, med høyoppløst kamera. Fokus bør være inspeksjon av eventuelle skader i sementbelegget. I tillegg må inspeksjonen kompletteres med innvendig oppmåling av avvinkling i muffekoblingene, ved å måle aksjelle avstander mellom spissende og muffe. Inspeksjonen må minimum avdekke muffekoblinger med tegn til eller tydelige skader på innvendig sementlag ved muffen, og liten eller ingen klaring i aksjell retning mellom rørets spissende og muffe.

9.1.5 Avvinklingstest på nye rør

For å kunne vurdere lekkasjeårsak i forhold til rørkvalitet, vil det være nyttig å montere sammen to nye rør fra rørlager, komplett med pakning og låsesegmenter. Deretter avvinkles rørene forsiktig, til full avvinkling oppnås uten å legge på mer kraft. Så måles avvinklingen opp, både utvendig med vinkelskive og innvendig med oppmåling av aksialt avvik i muffen.

Testen bør utføres med to typer montasje:

1. en muffekobling der en begynner avvinklingen med rørene helt sammenklemt (ikke-aktivert kobling)
2. en muffekobling der en begynner avvinklingen med rørene helt utstrakt (aktivert kobling)

Deretter kan det forsøkes å tvinge avvinklingen større, ved å øke kreftene. Interessante spørsmål er blant annet:

1. Hvor stor kraft skal til for å tvinge spissendens sveiselarve inn bak støttingen til pakningen?
2. Hvor mye krefter skal til for å tvinge muffekoblingene over i større avvinkling?
3. Hvor stor avvinkling skal til før rørets spissende går i anslag mot muffen?

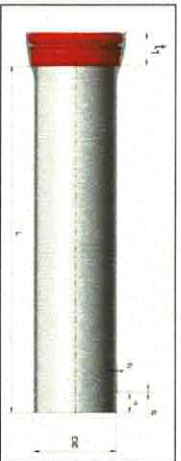
Det vil være viktig å finne ut av hva den praktisk mulige maksimale avvinklingen for muffekoblingene er uten at muffekoblingen deformeres. Dette kan deretter sammenlignes med leverandørens oppgitte maksimale avvinkling, og mot avvinklingene som er dokumentert på trykkrørene i grøfta.

Testen burde utføres på flere rør-par, for å få et bedre statistisk underlag for resultatene.

10 Vedlegg

10.1 Tillatt avvikling, utdrag fra SMS produktkatalog

SEGMENTU KLITTLI BORU. SK-TIP / SELF ANCHORED JOINT WITH SEGMENTS - SK-TYPE



DN	L	t ₁	a	b	h	Dønne Aqisi Spin Angle
80	6000	138	83	8	6	2.5°
100	6000	144	89	8	6	
125	6000	147	93	8	6	
150	6000	160	95	8	6	
200	6000	165	101	8	6	
250	6000	165	101	8	6	
300	6000	167	102	8	6	
350	6000	170	105	8	6	
400	6000	170	105	8	6	
450	6000	170	105	8	6	
500	6000	182	112	8	6	
600	6000	185	115	8	6	
700	6000	217	142	8	6	
800	6000	225	152	8	6	
900	6000	225	152	8	6	
1000	6000	232	152	8	6	
1100	6000	232	152	8	6	
1200	6000	242	160	8	6	
1400	6000	325	240	8	6	
1500	6000	335	250	8	6	
1600	6000	350	260	8	6	
1800	6000	375	270	8	6	
2000	6000	400	284	8	6	
2200	6000	420	320	8	6	
						1°

Ogú birrni "mm", aqirlik birrni "kg/dr", / Dimensions "mm", weights "kg"

10.2 Innmåling av avvikling

Den 30. november 2016 ble avviklingen mellom rørene på den avgravede delen av rør vest over bend pel ca. 1200 målt inn av kommunens landmåler, med nøyaktig utstyr. Målingene er gjengitt i tabellen under.

Tabell 4 Innmålt avvikling mellom avdekte rør oppstrøms bend ca pel 1200

Beskrivelse	Vertikal avvikling		Horisontal avvikling	
ror1 - nederst				
ror2	-0,61298		1,15188	
ror3	0,41622		1,46937	
ror4	0,25308		1,50942	
ror5	-0,67800		1,20929	
ror6	-1,47055		2,55793	
ror7	-1,21740		0,59163	
ror8	-2,63279		xx	

Punkt «ror1 – nederst» er målt på topp rør (spissende) like ved forankret bend. Alle øvrige punkter er målt på topp muffe helt ytterst på muffen. Ved ror3 er det observert en liten lekkasje, og ved ror6 er det observert en noe større lekkasje. Innmålingene viser at ror6 har en avvikling på ca. 3°, maksimal tillatt avvikling iht. rørleverandørens produktkatalog er 2° for DN600.

Koblingen ved ror 3 er «muffekobling 1» i de destruktive testene, og rør 6 er «muffekobling 2».

Tabell 5 Koordinater for muffer, og tilhørende avvikling

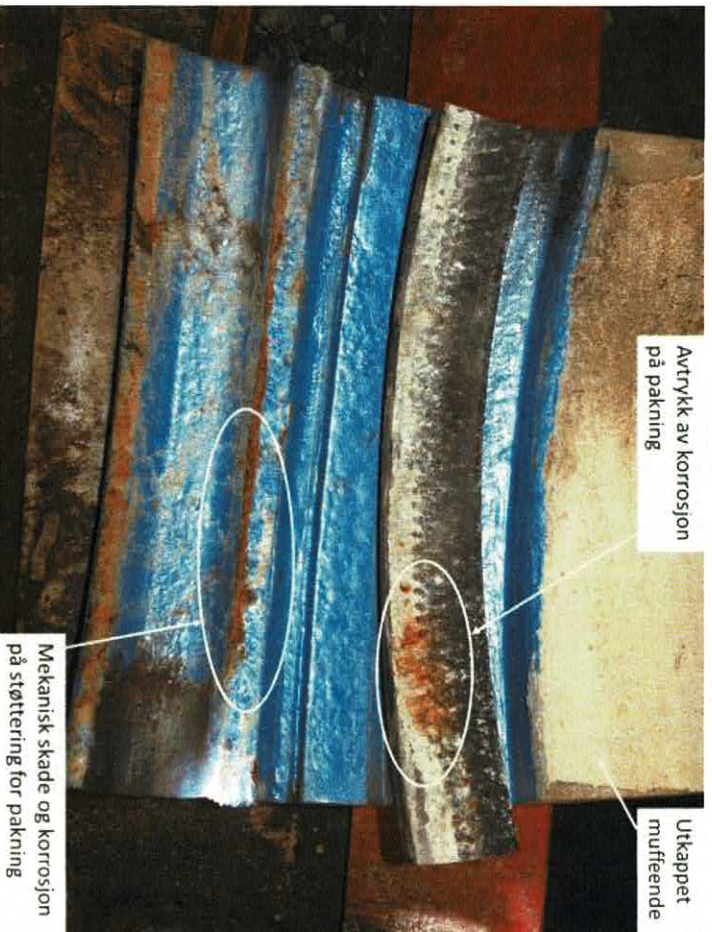
Vann DN600H del 1.kof				P9038 Nord Tromsøya - ledning vest - strekning fra V6169 til V6170			15.02.2016			
Beskrivelse	SOSI-kode	X-koordinat	Y-koordinat	Z-koordinat	Avstand mellom nabo punkter (m) (2D)	Avstand fra Kum V6169 (m) (2D)	Avstand mellom nabo punkter (m) (3D) (Rør)	Vertikal avvikling	Horizontal avvikling	61
R	8201	655009,358	7739073,761	7,362		0				
R1	8201	655011,277	7739067,758	7,571	6,302267052	6,302267052	6,305731599	11,60424	0,80203	Må sjekkes
R4	8201	655013,221	7739061,958	9,04	6,117118277	12,41938533	6,291033064	4,84555	22,69668	Må sjekkes
R6	8201	655012,787	7739056,001	11,021	5,972788712	18,39217404	6,292739149	-1,98694	2,80034	Må sjekkes
R9	8201	655012,071	7739050,142	12,754	5,902587314	24,29476135	6,151733577	-2,60395	0,23491	Må sjekkes
R10	8201	655011,39	7739044,753	14,084	5,431858062	29,72661942	5,592314548	0,48425	0,91237	
R20	8201	655010,743	7739038,883	15,583	5,905549	35,63216842	6,092824467	-0,68554	0,13339	
R23	8201	655010,061	7739032,825	17,053	6,096268367	41,72843678	6,270995774	-0,17059	0,19184	
R25	8201	655009,474	7739027,449	18,34	5,407952015	47,1363888	5,558984979	-1,50141	0,79324	
R30	8201	655008,885	7739021,262	19,648	6,214973049	53,35136185	6,351122263	-11,39283	1,55169	Må sjekkes
	1	8201	655008,29	19,69	4,88933881	58,24070066	4,889519199	0,18580	4,95543	Må sjekkes
R34	8201	655008,026	7739008,977	19,778	7,436687435	65,67738809	7,437208078	0,67021	2,53288	Må sjekkes
R40	8201	655007,532	7739002,793	19,924	6,203699864	71,88108796	6,205417633	-2,61227	2,08769	Må sjekkes
R42	8201	655007,283	7738997,043	19,797	5,755388866	77,63647682	5,756789904	1,36092	0,19403	
R45	8201	655007,047	7738991,13	19,807	5,917707748	83,55418457	5,917716198	0,16734	0,43614	
R48	8201	655006,851	7738985,06	19,835	6,073163591	89,62734816	6,073228137	2,54343	1,43316	Må sjekkes
R52	8201	655006,807	7738979,004	20,132	6,056159839	95,683508	6,063438051	1,66496	0,59554	
R51	8201	655006,825	7738973,251	20,582	5,753028159	101,4365362	5,770600748	2,08598	0,40045	Må sjekkes
R57	8201	655006,802	7738967,293	21,267	5,958044394	107,3945806	5,997292556	4,64797	0,52376	Må sjekkes
	25	8201	655006,833	22,43	5,870081856	113,2646624	5,984181648	-7,35437	4,17311	Må sjekkes
R58	8201	655006,432	7738955,496	22,83	5,940549638	119,205212	5,954001176	3,96255	0,35956	Må sjekkes
R62	8201	655006,067	7738949,547	23,648	5,960186742	125,1653988	6,016057679	-0,96926	2,17030	Må sjekkes
R67	8201	655005,451	7738943,355	24,395	6,222565387	131,3879642	6,267242535	0,31186	0,38015	
R68	8201	655004,859	7738937,78	25,099	5,606343639	136,9943078	5,650372112	-1,07070	0,88038	
R70	8201	655004,137	7738931,85	25,736	5,973791427	142,9680992	6,007657864	-0,23475	2,51871	Må sjekkes
R72	8201	655003,279	7738926,701	26,271	5,219996647	148,1880959	5,247341231	-0,08685	1,56623	
R75	8201	655002,004	7738920,158	26,944	6,666068857	154,8541647	6,699955448	11,35509	1,40585	Må sjekkes
R77	8201	655000,683	7738914,166	28,834	6,135886651	160,9900514	6,42037421	0,83109	0,56471	
R80	8201	654999,515	7738908,608	30,674	5,679400321	166,6694517	5,970024121	-0,92093	0,62670	
R81	8201	654998,4	7738902,998	32,426	5,7197312	172,3891829	5,98204221	1,37276	6,69556	Må sjekkes
R84	8201	654998,288	7738902,652	32,547	0,36367568	172,7528586	0,383276662	-13,36353	11,54573	Må sjekkes
R86	8201	654997,595	7738896,465	33,096	6,225690162	178,9785488	6,249849518	0,06422	0,07194	
R88	8201	654996,922	7738890,524	33,63	5,978997407	184,9575462	6,002796515	0,93054	1,67428	
R89	8201	654996,43	7738884,651	34,253	5,893572177	190,8511183	5,926408863	-0,44633	2,52943	Må sjekkes
R92	8201	654995,961	7738872,763	35,417	11,89724779	202,7483661	11,95405375	-2,07903	2,79009	Må sjekkes
R94	8201	654996,016	7738866,827	35,781	5,936254796	208,6846209	5,947404224	-0,82388	1,05841	
R95	8201	654996,181	7738860,88	36,06	5,949288529	214,6339095	5,955826978	-0,26803	1,17433	
R98	8201	654996,47	7738854,893	36,313	5,993971137	220,6278806	5,99930821	-0,37169	1,34178	
R99	8201	654996,899	7738848,916	36,527	5,992375989	226,6202566	5,996195961	-0,05234	0,25878	
R102	8201	654997,3	7738842,952	36,735	5,977465768	232,5977224	5,981083598	-1,38385	0,07764	
R103	8201	654997,712	7738836,946	36,799	6,020114616	238,617837	6,020454799	2,80864	0,51982	Må sjekkes
R106	8201	654998,17	7738831,053	37,152	5,910770931	244,5286079	5,921302391	1,77998	1,07077	
R108	8201	654998,518	7738825,149	37,69	5,914247205	250,4428551	5,938666854	1,36105	1,46576	
R109	8201	654998,714	7738819,264	38,367	5,888262986	256,3311181	5,927054074	0,94745	0,11159	
R112	8201	654998,9	7738813,332	39,149	5,934915332	262,2660334	5,986212826	-0,38013	6,00738	Må sjekkes
R113	8201	654999,001	7738812,595	39,242	0,743888433	263,0099219	0,749679265	3,10190	7,16211	Må sjekkes
R114	8201	654999,058	7738807,502	40,161	5,093318957	268,1032408	5,17556364	0,21361	1,71116	
R118	8201	654999,303	7738801,538	41,261	5,969030156	274,072721	6,069540428	-0,20333	0,06294	
R120	8201	654999,537	7738795,685	42,319	5,857675734	279,9299467	5,952455712	1,29648	12,03308	Må sjekkes
R122	8201	654999,503	7738795,487	42,36	0,200897984	280,1308447	0,205039021	8,37869	9,46847	Må sjekkes
R124	8201	654999,475	7738789,657	44,472	5,830067238	285,9609119	6,200824784	0,83344	0,66810	
R126	8201	654999,513	7738784,116	46,571	5,541130299	291,5020422	5,925362942	-6,89312	4,51153	Må sjekkes
R127	8201	654999,539	7738783,813	46,646	0,304113466	291,8061557	0,313225159	-0,41952	33,58538	Må sjekkes
R128	8201	654999,103	7738783,016	46,863	0,908462988	292,7146187	0,934020343	-3,81433	18,01234	Må sjekkes
R132	8201	654999,063	7738779,208	47,804	5,551798267	298,2664169	5,630980821	-0,43945	1,75530	

10.3 Bilder fra verkstedsinspeksjonen

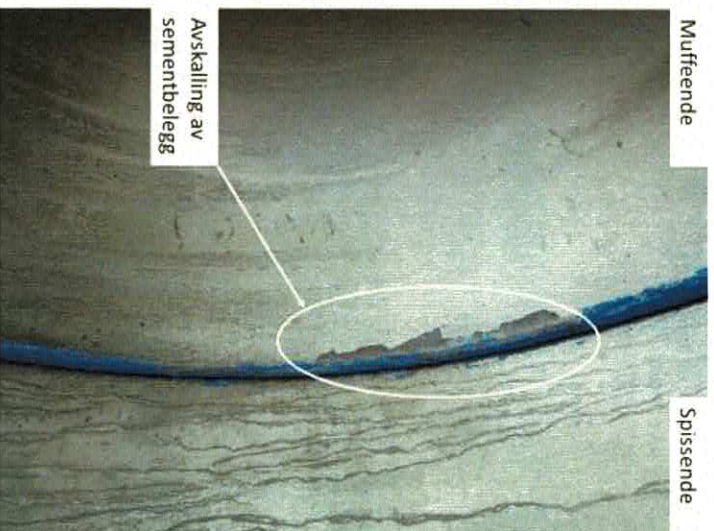
10.3.1 Muffekobling 1



Figur 5 Muffekobling 1, sett innvendig i muffekoblingen, muffe delvis fjernet

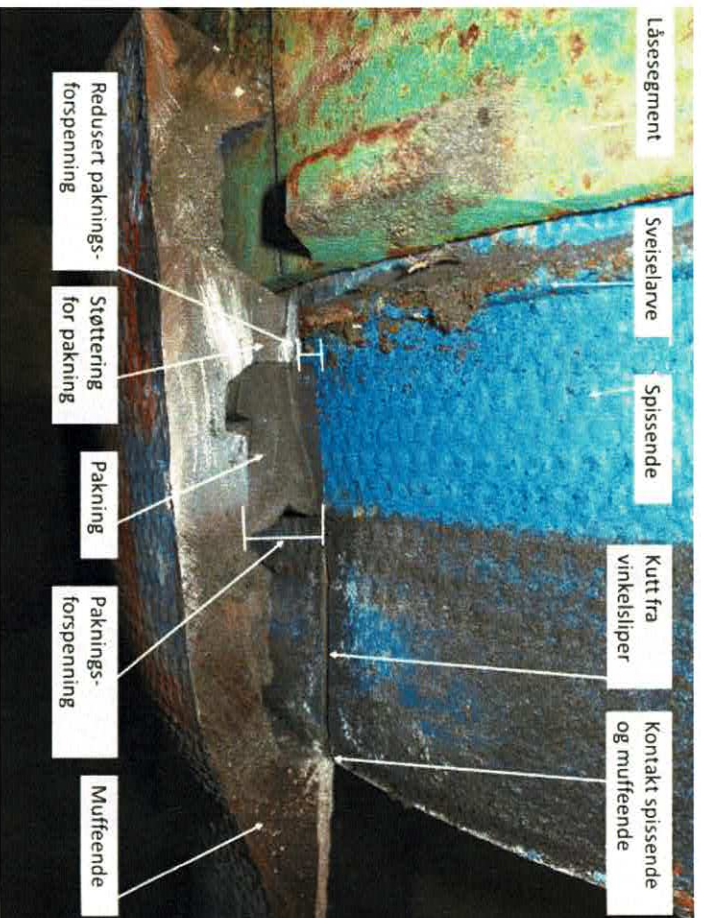


Figur 6 Multifekobling 1, motsiende side av mufsen og pakning. Det er usst hva del hvite belegget på pakningen er, det kan være sementstøv fra innvendig overflatebehandling, storknet gliemiddel, eller finstoff fra omfyllingsmassene.

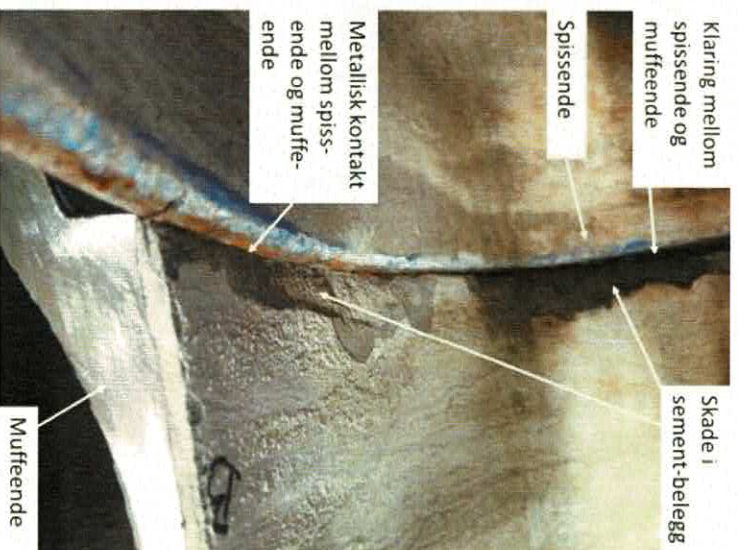


Figur 7 Muffekobling 1 sett innvendig

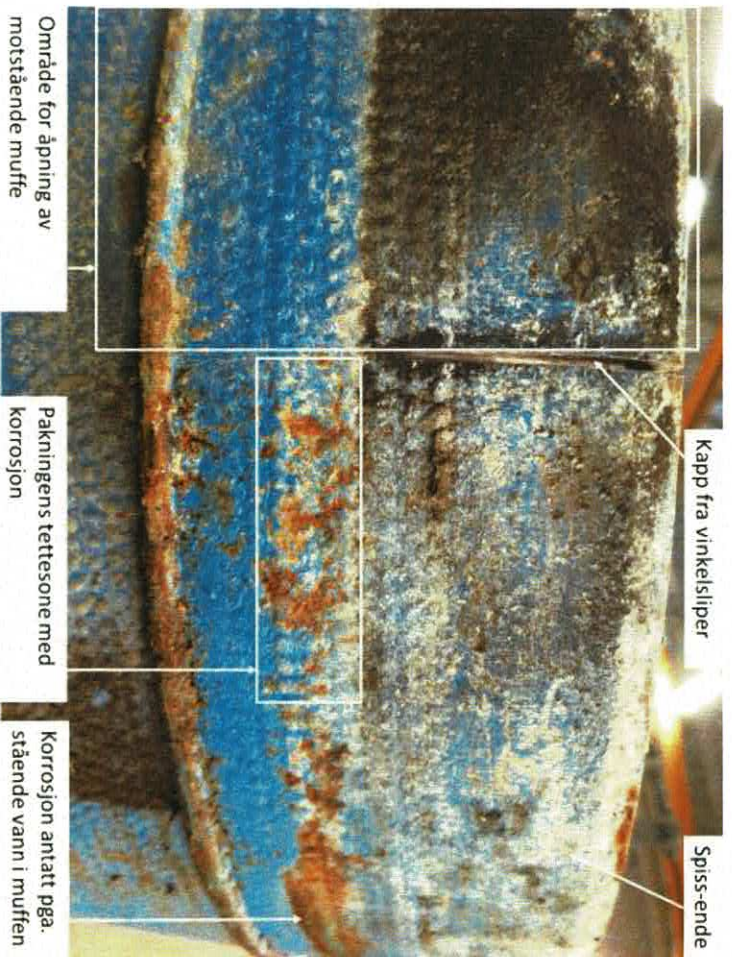
10.3.2 Muffekobling 2



Figur 8 Muffekobling 2, muffe delvis fjernet



Figur 9 Muffekobling 2 sett innvendig



Figur 10 Muffekobling 2, spissende sett fra siden

