Lyse Elnett AS

Utredning av jordkabel Harestad - Nordbø

Teknisk-økonomisk utredning av kabelalternativ

Oppdragsnr.: **5188461** Dokumentnr.: **E-0100** Versjon: **B03** Dato: **2021-05-25**



Norconsult

Oppdragsgiver:	Lyse Elnett AS
Oppdragsgivers kontaktperson:	Inge Lunde
Rådgiver:	Norconsult AS , Vestfjordgaten 4, NO-1338 Sandvika
Oppdragsleder:	Elisabet Aske
Fagansvarlig:	Gro Holmebakken
Andre nøkkelpersoner:	Oda Elise Øverdal, Lars Eivind Jensvoll

Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent
B03	2021-05-25	For gjennomgang hos kunde	LarJen / OdEOv	GroHol	ElAsk
B02	2021-02-25	For gjennomgang hos kunde	LarJen	GroHol	ElAsk
B01	2019-12-13	For gjennomgang hos kunde	LarJen	GroHol	ElAsk

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult AS. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

Sammendrag

Det er vurdert en kabeltrase fra to stasjonsalternativer for Harestad transformatorstasjon. Kabeltraséen for de to stasjonalternativene er sammenfallende fra Torvmyrveien og skiller ca. 500 meter i lengde, og er vist i Figur 1.

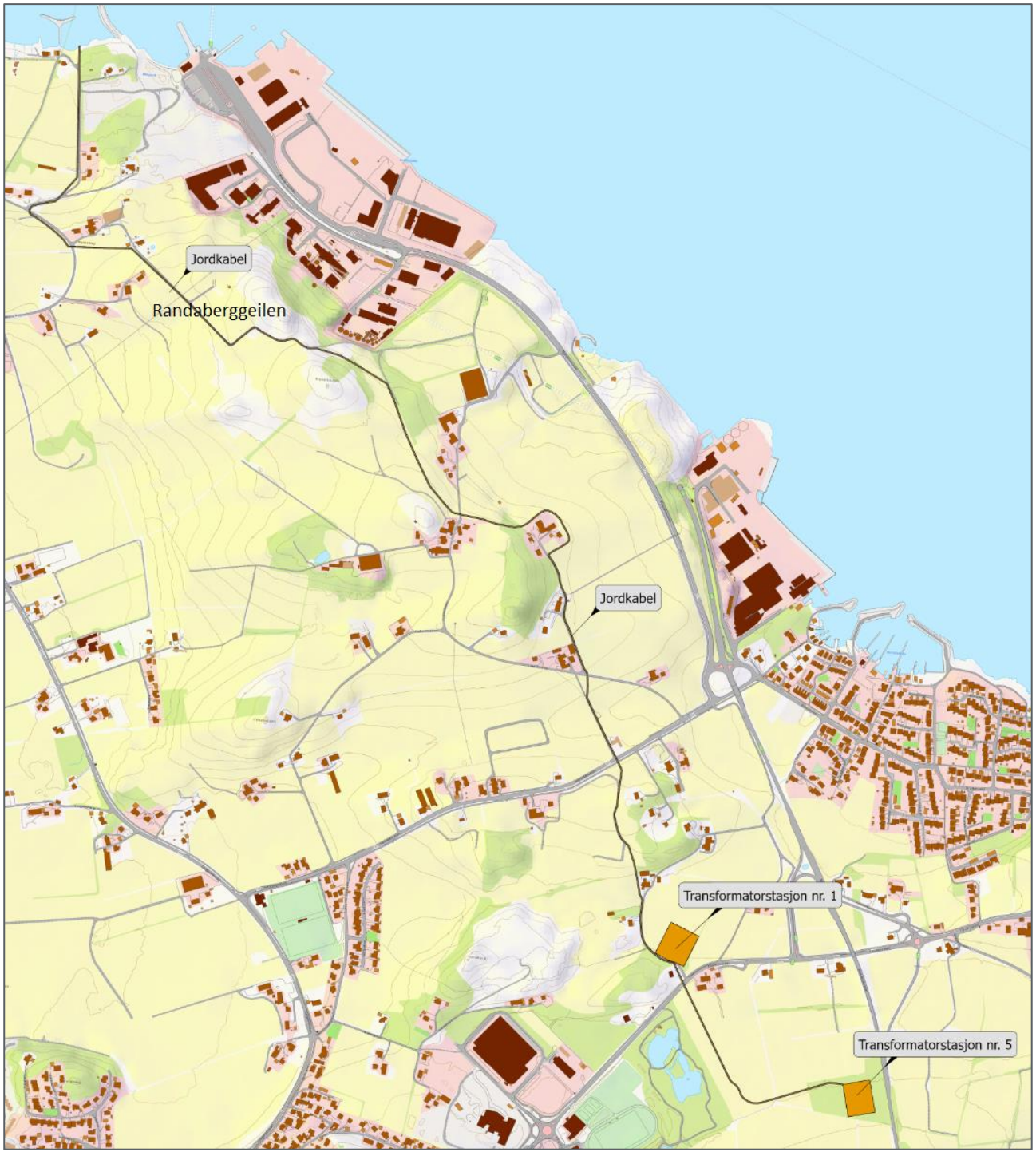
Det er gjort kostnadsestimat for 2 alternativer for kabel:

- Fra stasjonsalternativ 1 til Randaberggeilen (2360 meter), med estimert kostand 22,1 mill. NOK.
- Fra stasjonsalternativ 5 til Randaberggeilen (2860 meter), med estimert kostnad 26,0 mill. NOK.

Det er benyttet TSLF 3x1x1600mm^2 Al Milliken kabel, basert på spesifikasjon *kabelanlegg regionalnett Lyse Elnett*. Kostnadsestimat for de to alternativene er gitt i Tabell 1.

Tabell 1: Kostnadsestimat for kabel mellom stasjonalternativene og Randaberggeilen.

Beskrivelse - hovedelementer	**St.alt. 1 - Randaberggeilen**	**St.alt. 5 - Randaberggeilen**
	Kostnad [NOK]	Kostnad [NOK]
Materialer	7 400 000	8 900 000
Montasje	1 300 000	1 500 000
Grunnarbeider	5 300 000	6 700 000
Delsum	**14 000 000**	**17 100 000**
Prosjektering, (15% St.alt. 1)	2 100 000	2 100 000
Prosjektledelse, anleggsledelse og dokumentasjon, (15% St.alt 1)	2 100 000	2 100 000
Usikkerhet, 20%	2 800 000	3 400 000
Rigg og drift, 20% av grunnarbeider	1 100 000	1 300 000
Sum kostnader	**22 100 000**	**26 000 000**



Figur 1: Utsnitt av kabeltrase mellom stasjonalternativene på Harestad og Mekjarvik.

1 Innledning

1.1 Oppdragsbeskrivelse

Lyse Elnett planlegger en oppgradering av 50 kV nettet fra Stølaheia transformatorstasjon, via ny Harestad transformatorstasjon, til Nordbø transformatorstasjon. Denne rapporten utreder kabel som alternativ til luftlinje fra Harestad transformatorstasjon og frem til Randaberggeilen. Fra Randaberggeilen til landtaket i Randabergbukta er det kun planlagt 1 alternativ med jordkabel da dette anses som mest hensiktsmessig. For Harestad transformatorstasjon er det to plasseringer som er ansett som mest aktuelle, stasjonsalternativ 1 og 5.

Alternative traséer blir vurdert i Teknisk forprosjekt Harestad-Nordbø, samt tilleggsnotat ny innføring til Harestad.

2 Trasévalg

2.1 Beskrivelse

Denne teknisk-økonomiske utredningen fokuserer kun på kabeltrasévalget fra stasjonsalternativ 1 og 5 for Harestad transformatorstasjon, og frem til kryssing av eksisterende 50 kV luftledning til Mekjarvik, på Randaberggeilen. Fra Randaberggeilen til landtaket i Randabergbukta er det planlagt kabel da dette er mest hensiktsmessig på grunn av tett mellom boliger samt kryssing av eksisterende 50 kV luftledning.

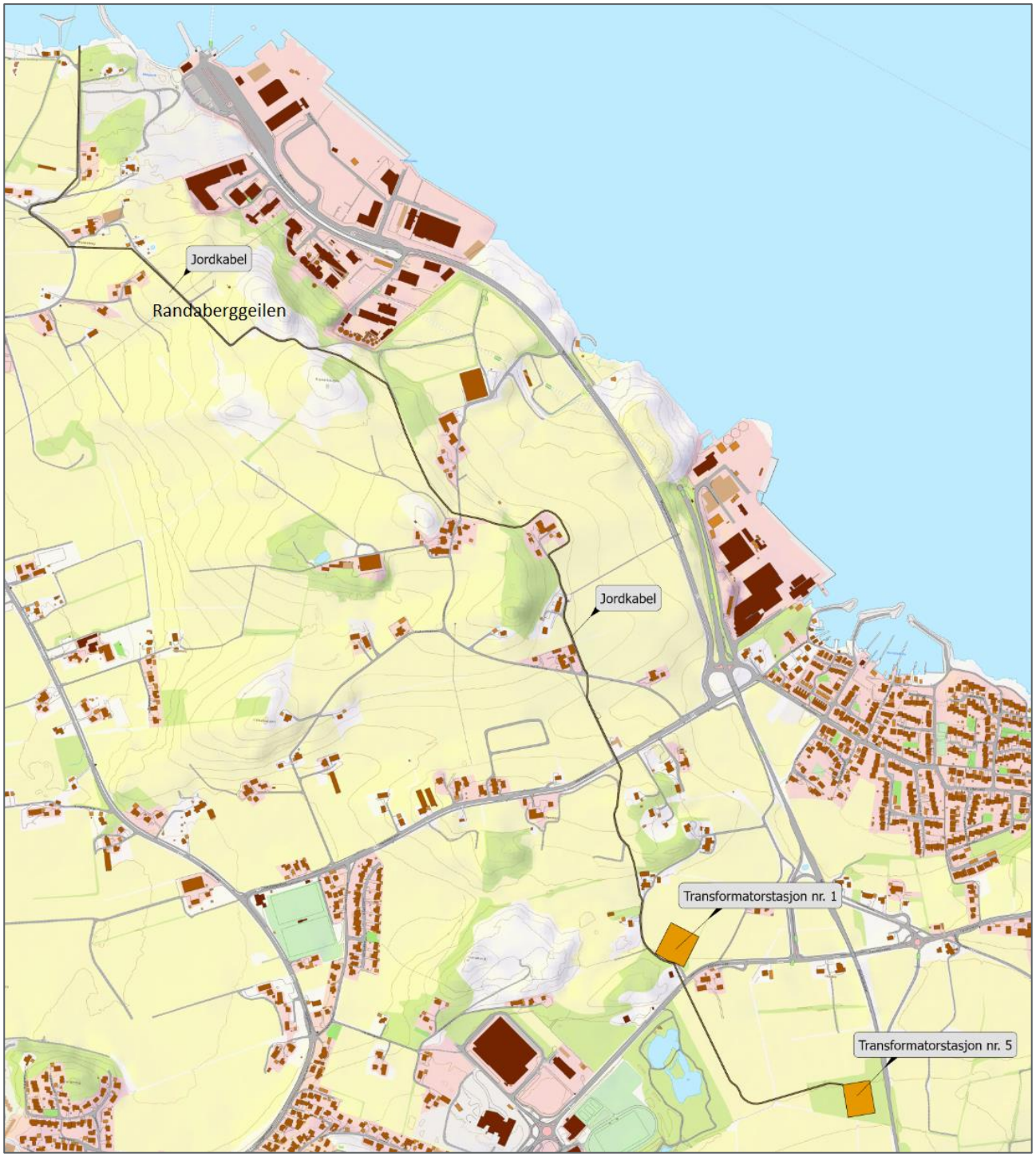
Stasjonsalternativ 1 er rett nord for Torvmyrveien, mens stasjonsalternativ 5 er sør for Torvmyrveien på gnr. 48, bnr. 28 i Randaberg. Et utsnitt av kartet over foreslått kabeltrase er vist i Figur 2. Utdypende kartinformasjon er gitt i vedlegg 1.

Den foreslåtte kabeltraséen fra stasjonsalternativ 5 vil krysse Torvmyrveien vest for Torvmyrveien 25 i Randaberg, og passere området hvor stasjonsalternativ 1 er foreslått. Derifra vil kabeltraséen for stasjonsalternativ 5 være sammenfallende med kabeltraséen fra stasjonsalternativ 1. Lengden på kabeltraséen mellom de to stasjonalternativene er ca. 500 meter.

Det er lagt opp til å legge kabelen i kabelgrøft, og ved behov bruke rør for kryssing av vei. Fra stasjonsalternativ 5 for Harestad transformatorstasjon er det foreslått å legge traseen vestover før den svinger nordover for å kunne krysse Torvmyrveien uten å komme i konflikt med bolighus. Etter kryssing av Torvmyrveien vil kabeltraséen fortsette nordover og krysse Harestadveien og videre krysse Todnemveien. Det foreslåes deretter at traseen følger utkanten av dyrket mark rundt Todnemveien 5 med en slik avstand til driftsbygninger at en holder seg under grenseverdier for utredning av elektromagnetiske felt. Kabeltraséen vil igjen krysse Todnemveien og deretter følge en traktorvei på nordsiden av Signalhaugen frem til eksisterende 50 kV luftledning.

Foreslått kabeltrasé har en lengde på ca. 2900 meter fra stasjonsalternativ 5 til Randaberggeilen.

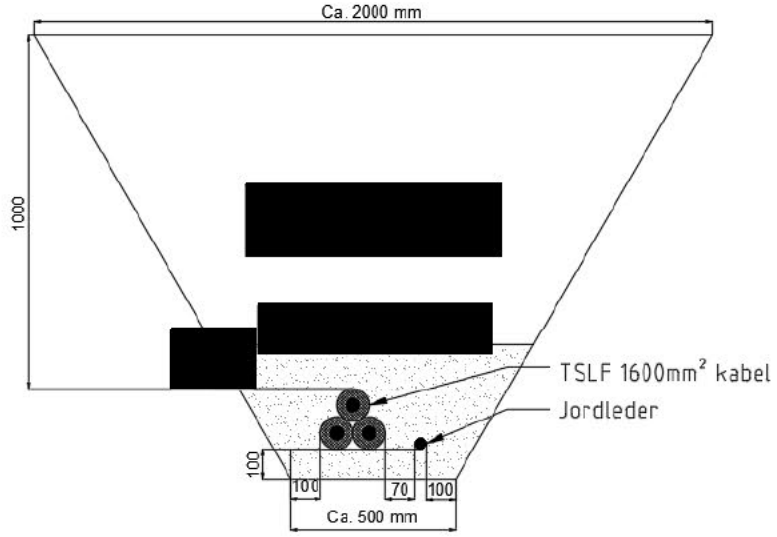
Total grøftedybde vil være ca. 1,15 meter, men også noe dypere ved kryssing av andre kabler og vei. Bredde på grøftebunn vil være ca. 0,5 meter med 1 til 2 meter toppbredde avhengig av hvordan kvaliteten på massene påvirker grøftevinkelen. I grøfta etableres det fundament og ledningssone av egnet kabelsand, som anvist i RENblad 9012 «Ekstra beskyttelse av viktige og utsatte kabler».



Figur 2: Utsnitt av kart for foreslått kabeltrasé mellom Harestad og landtak Randaberggeilen. Et mer detaljer kart er vist i vedlegg 1.

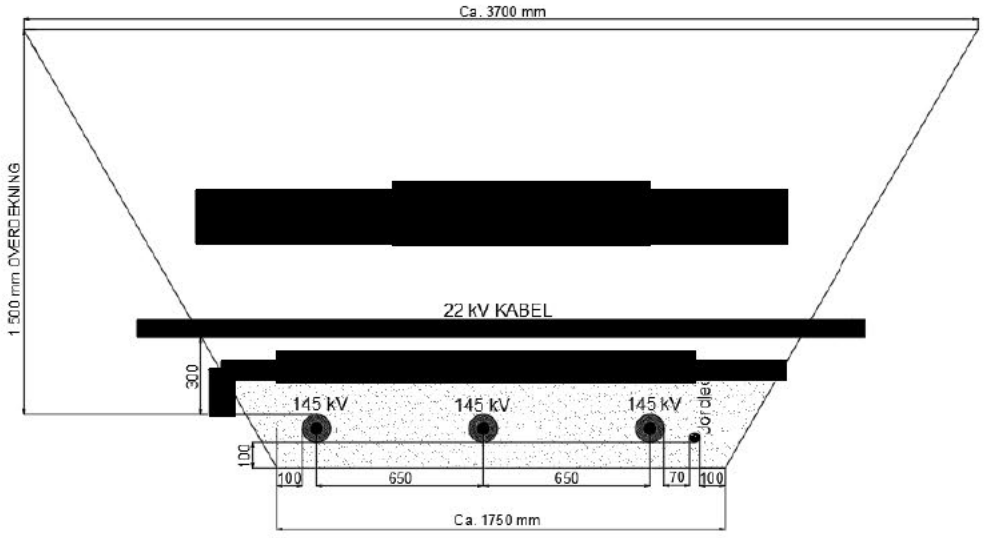
2.2 Grøft i terreng og dyrka mark

Standard forlegningsmåte av 145 kV kabel i terreng er trekantformasjon, direkte i jord. For viktige kabler i regionalnettet benyttes 90 cm overdekning med dekkbord og varselnett. I RENblad 9200 anbefales minimum 1 meter overdekning for kabler som går over fulldyrka eller overflatedyrka område, for å unngå at kablene skal kunne bli skadet av landbruksmaskiner. Figur 3 viser et typisk grøftesnitt for kabler i grøft med 100 cm overdekning, slik det vil bli forlagt i størstedelen av traséen. Ved kryssing av dyrka området vil kabelmarkeringen bli lagt noe dypere enn det som kommer frem av figuren, for å ikke komme i konflikt med landbruksmaskiner.



Figur 3: Illustrasjon av typisk tverrsnitt av grøft med 1 meter overdekning, kabelbeskyttelse og kabelmarkering.

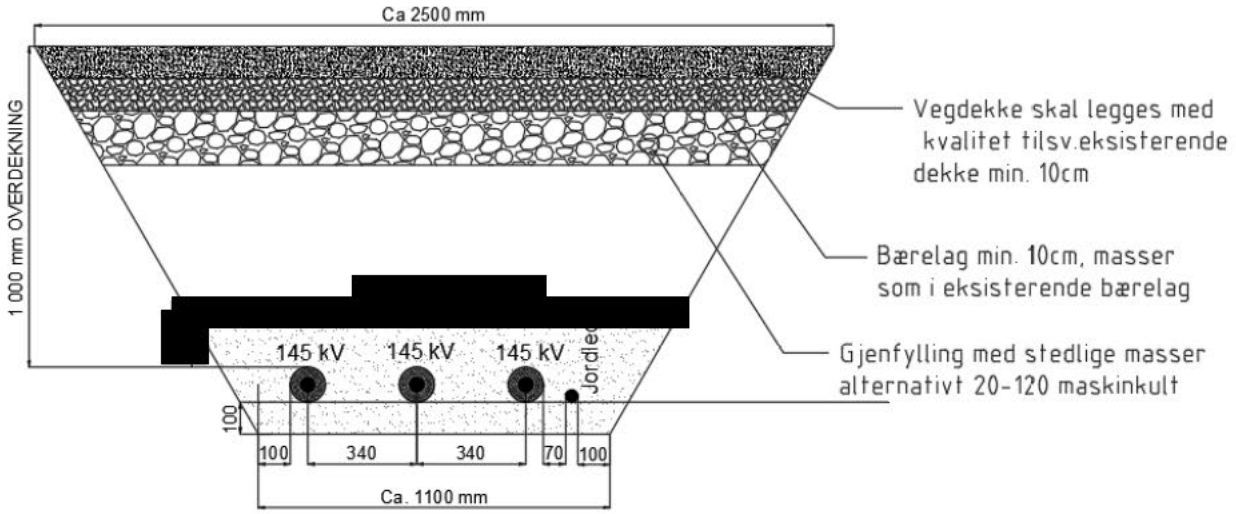
Ved kryssing av høyspenningskabler i terreng og dyrka mark vil 145 kV kablene legges i flat forlegning med 30 cm avstand til kryssende høyspenningskabler for å bevare overføringskapasiteten.



Figur 4: Illustrasjon av tverrsnitt for grøft der 145kV kabler krysser andre høyspenningskabler.

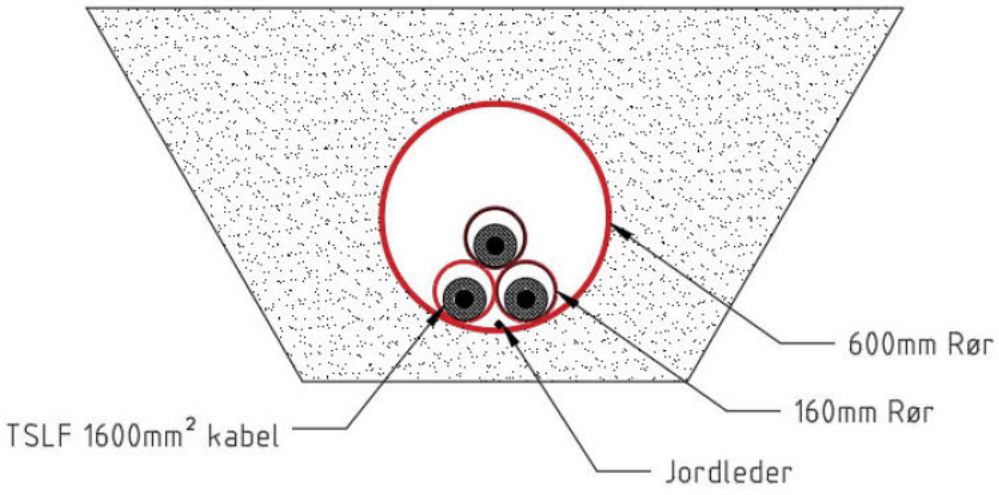
2.3 Kryssing av vei

Fra stasjonsalternativ 1 må kabeltraséen krysse Fylkesvei 521 Harestadveien, i tillegg til mindre lokale veier som Todnemveien. Kabeltraséen fra stasjonsalternativ 5 må i tillegg krysse Fylkesvei 4600, Torvmyrveien. Ved kryssing av veier forutsettes det at grøft graves over veien med typisk grøftesnitt som vist i Grøftesnitt for kryssing av veier der grøft kan graves over veien.



Figur 5: Grøftesnitt for kryssing av veier der grøft kan graves over veien.

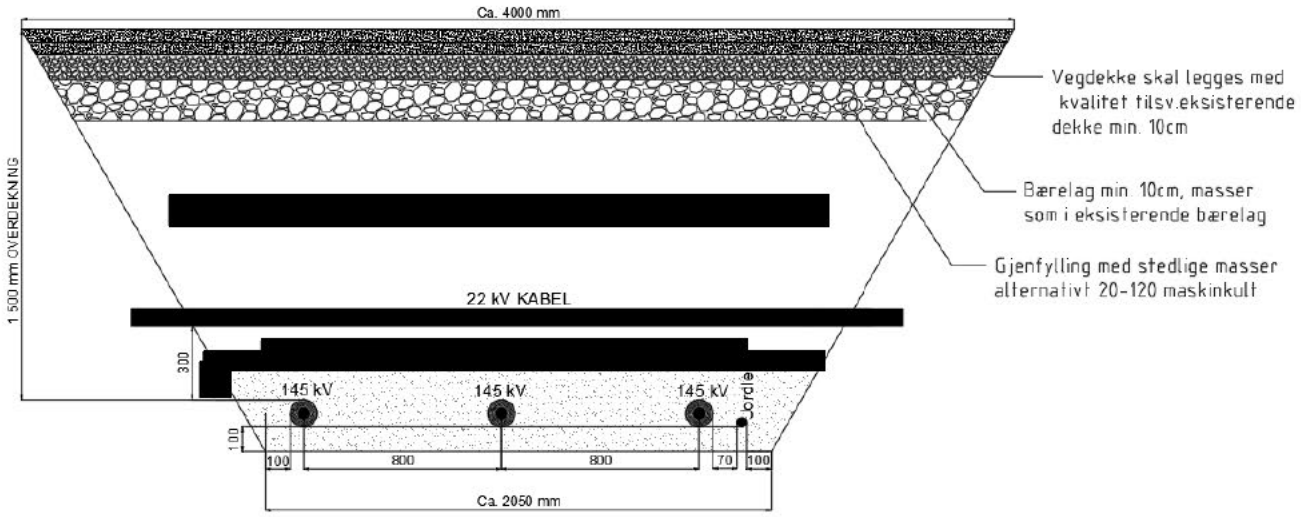
Dersom det ikke lar seg gjøre å krysse veiene Torvmyrveien og Fylkesvei 521 med grøft må det benyttes boring der kablene forlegges i tett trekant, med rør i rør, vist i Figur 6. Et rør presses under veien og kablene legges i hvert sitt rør. I en slik situasjon vil jordlederen trekkes gjennom det ytterste røret.



Figur 6: Grøftesnitt for retningsstyrt boring for kryssing av vei, med varierende overdekning.

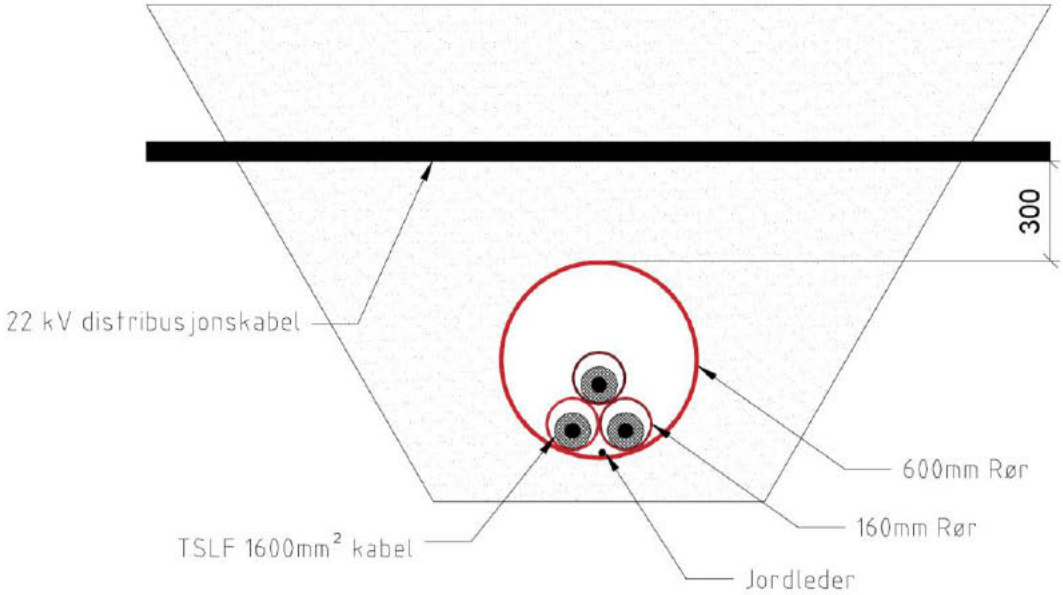
2.4 Kryssing av vei med langsgående 22 kV distribusjonskabler

Det er eksisterende distribusjonskabler langs Harestadveien. I hovedsak ønskes det å grave grøft for å krysse veien og kablene, slik at kryssingen blir som vist i Figur 7.



Figur 7: Grøftesnitt for kryssing av vei og distribusjonskabel, der det kan graves over veien.

Dersom boring viser seg å være eneste alternativ for kryssing av Harestadveien og kablene som går langs den, plasseres borehull utenfor traséene til eksisterende kabler slik at en unngår konfliktområdene. Grøftesnitt med boring for kryssing av vei og distribusjonskabel vises i Figur 8.



Figur 8: Grøftesnitt for retningsstyrt boring for kryssing av vei med langsgående kabel.

3 Estimerte kostnader

Det er beregnet kostnader for jordkabel som følger traséen som vist i Figur 2, fra Harestad transformatorstasjon:

- Fra stasjonsalternativ 1 til Randaberggeilen (2360 meter), 22,1 mill. NOK.
- Fra stasjonsalternativ 5 til Randaberggeilen (2860 meter), 26,0 mill. NOK.

Delposter for kostnader for etablering av jordkabel er vist i Tabell 2. Det er medtatt 500 000 NOK for eventuelle kostnader for §9 Undersøkelsesplikt m.v. i Kulturminneloven på begge alternativ, da det er muligheter for å finne fornminner i traséen. Deler av disse kostnadene er forbundet med saksbehandling og vil være uavhengig av lengden på traséen.

Graving i jordbruksjord vil i hovedsak foregå i dyrket mark, fjell eller i landbruksvei. For kabelgrøfter er det lagt inn en usikkerhet på 20%, og det er antatt at eksisterende veier kan benyttes under anleggsperioden. Det er også tatt med 300 meter med sprenging av grøft i stein på begge alternativene.

Det er medtatt 50 000 NOK for nedtaking og gjenreising av steinmur der kabelen vil passere Todnemveien 21.

Det er ikke medtatt kabel inn stasjonsbygning, ei heller gjort en vurdering på hvor kablene skal føres inn i bygget. Det er tatt med endeavslutning på kabel i stasjonsenden. På Randaberggeilen er det ikke medtatt endeavslutninger da kabelen her vil videreføres i kabel til landtak for sjøkabel fra Rennesøy, men det er tatt med kabelskjøt.

Kostnader er basert på erfaringstall hos Norconsult.

For utregning av antall skjøter er det antatt at kabelen kommer i lengder på ca. 850 meter.

Prosjekteringskostnader og Prosjektledelse, anleggsledelse og dokumentasjon er satt til 15% av delsummen til «Stasjonsalternativ 1 – Randaberggeilen».

Usikkerhet ter satt til 20% av delsummen for de to alternativene, og kostnadene for rigg og drift er 20% av grunnarbeider.

Tabell 2: Kostnadsestimat for kabel mellom stasjonalternativene og Randaberggeilen.

Beskrivelse - hovedelementer	St.alt. 1 - Randaberggeilen	St.alt. 5 - Randaberggeilen
	Kostnad [NOK]	Kostnad [NOK]
Materialer	7 400 000	8 900 000
Montasje	1 300 000	1 500 000
Grunnarbeider	5 300 000	6 700 000
Delsum	**14 000 000**	**17 100 000**
Prosjektering, 15%	2 100 000	2 100 000
Prosjektledelse, anleggsledelse og dokumentasjon, 15%	2 100 000	2 100 000
Usikkerhet, 20%	2 800 000	3 400 000
Rigg og drift, 20% av grunnarbeider	1 100 000	1 300 000
Sum kostnader	**22 100 000**	**26 000 000**

4 Termiske beregninger for jordkabel

4.1 Generelle tekniske krav til jordkabel

Lyse Elnett AS har spesifikke kvalitetskriterier for kabelanlegg i sitt regionalnett [1]. For 132 kV jordkabel utredet i dette dokumentet gjelder derfor følgende generelle forutsetninger:

- Det skal benyttes 145 kV merkespenning på kabler i Lyses regionalnett.
- Prefabrikkerte kabelskjøter benyttes på 145 kV spenningsnivå.
- For 145 kV merkespenning benyttes primært 1600 mm^2 Al-kabler med ledende ytre sjikt og 17 mm PEX isolasjon.
- Skjermtverrsnittet skal være minimum 70 mm^2, men dette må prosjekteres for forventet framtidig kortslutningsytelse i hvert enkelt prosjekt. Skjermen skal være lukket. Krysskobling av skjerm benyttes ikke. Dersom skjermtverrsnittet økes må det utføres nye termiske beregninger, da økt skjermtverrsnitt øker skjermtapet til kabelen.
- Lyse Elnett forespør primært singelmodus fiberkabel med minimum 6 fiberpar, men antall fibrer må vurderes ut fra forventet behov i den enkelte trase. Fiber benyttes både til kommunikasjon og temperaturovervåkning.
- Endemuffer skal ha silikonskjørt og 170 kV merkespenning.

4.2 Termiske begrensninger og strømføringsevne

4.2.1 Forutsetninger

For å unngå flaskehalser i overføringen er det i prosjektet lagt opp til at landkabler og sjøkabler skal ha tilnærmet lik overføringskapasitet. Termiske beregninger viser at overføringskapasiteten til sjøkabel er 869 A. Det er i denne utredningen utført termiske beregninger for kabler i terreng og dyrka mark, og for kabler som krysser vei og andre kabler, for å undersøke om overføringskapasiteten er beholdt.

Beregninger av overføringskapasitet er utført med CYMCAP, som er basert på formler oppgitt i IEC 60287 og IEC 60853. Det er forutsatt at 2,3 km av traseen legges i tett trekantforlegning, mens 60 meter legges i rør eller i flat forlegning, slik at den ekvivalente reaktansen er tilnærmet lik reaktansen til en trasé som kun er i tett trekantforlegning. Termiske beregninger med kryssing av andre kabler og/eller flat forlegning er utført i et Excel-ark basert på formler fra IEC 60287.

Kabeltypene som er modellert er General Cables TSLF 145 kV 1600 mm^2 og Nexans TSLF 24 kV 240 mm^2. 145 kV kabelen overholder kravene til kabeltype oppgitt av Lyse Elnett. Tekniske data som ligger til grunn for modellen er oppsummert i Tabell 3.

Tabell 3: Spesifikasjoner TSLF 145 kV 1600 mm^2 og TSLF 24 kV 240 mm^2

Beskrivelse	TSLF 145 kV 1600 mm^2	TSLF 24 kV 240 mm^2
Kabeltype	TSLF	TSLF
Ledertverrsnitt	1600 mm^2	240 mm^2
Ledermateriale	Aluminium	Aluminium
Ledertype	Milliken	Stranded
Isolasjonsmateriale	PEX	PEX
Skjermtverrsnitt	70 mm^2	35 mm^2
Al-laminat tykkelse	0,2 mm	0,2 mm
Jording	Lukket skjermløsning	Lukket skjermløsning

I størstedelen av traséen ligger kabler direkte i kabelsand, mens ved kryssing av vei vurderes kabler å legges i tett trekant, inni rør med diameter lik 600 mm, som vist i Figur 6, eller i flat forlegning som i Figur 5.D et er i beregningene forutsatt at overdekningen er 1,0 meter for begge grøftesnittene.

Det forutsettes at kabelsanden holder på fuktigheten og har god varmeledningsevne, slik at den termiske resistiviteten er 1,0 Km/W i ledningssonen. I beregningene er forutsatt at omgivelsesjorden har en termisk resistivitet på 1,3 Km/W for kabler i terreng og dyrka mark, og 1,4 Km/W for kabler under vei. Under vei vil det i tillegg være et lag med dreneringsmasser som antas å ha en termisk resistivitet på 2,0 Km/W. Asfalt antas å ha en termisk resistivitet på 1,4 Km/W. Ekvivalente termiske resistiviteter er funnet i REN-Grøft. Omgivelsestemperaturen er satt til 15 °C. Beregninger har benyttet en lastfaktor lik 1,0, slik at den beregnede overføringskapasiteten gjelder for kontinuerlig drift.

Maksimal tillat kontinuerlig temperatur på leder er 90 °C for PEX-isolerte ledere for kortere perioder, da isolasjonsmaterialet degraderes raskere ved høye temperaturer. I de termiske beregningene er det benyttet ledertemperatur lik 90 °C. Generelle og spesifikke forutsetninger er listet opp i Tabell 4.

Det er forutsatt at kryssende 22 kV kabler er belastet med 270 A, kontinuerlig. Der 145 kV kabler krysser 22 kV kabel er forlegningsdybden til 145 kV kabelen 1,5 meter.

Tabell 4: Generelle og spesifikke forutsetninger for beregning av overføringsevne.

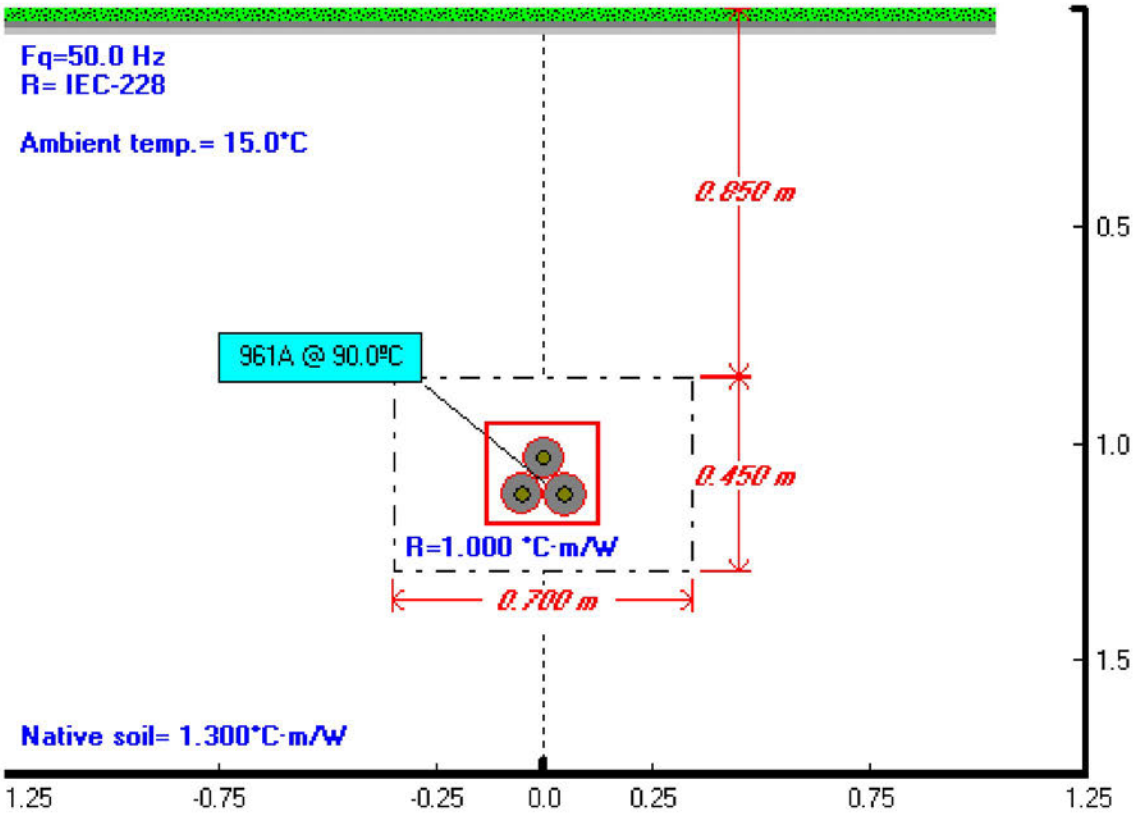
Forutsetninger for beregninger	Verdi
Normal driftsspenning 145 kV kabler	132 kV
Normal driftsspenning 24 kV kabler	22 kV
Belastning 24 kV kabler	270 A
Frekvens	50 Hz
Lastfaktor	1,0
Omgivelsestemperatur	15 °C
Maksimal tillatt ledertemperatur	90 °C
Termisk resistivitet for omliggende jord i landbruksområde	1,3 Km/W
Termisk resistivitet for omliggende jord under vei	1,4 Km/W
Termisk resistivitet for dreneringsmasser under vei	2,0 Km/W
Termisk resistivitet for asfalt	1,4 Km/W
Termisk resistivitet for kabelsand 0-4 mm	1,0 Km/W
Ekvivalent termisk resistivitet for kabler i rør i rør under vei *)	2,2 Km/W
Ekvivalent termisk resistivitet for kabler i løsmasser under vei *)	1,4 Km/W
Minimum forlegningsdybde	1000 mm
Indre og ytre diameter for ytre PVC-rør	580/600 mm
Indre og ytre diameter for indre PVC-rør	150/160 mm

*) Ekvivalent termisk resistivitet er beregnet i REN grøft for bruk i Excel. Beregningen er basert på termisk resistivitet for de ulike massene i de angitte grøftesnittene, inkludert luften mellom indre og ytre rør.

4.2.2 Overføringskapasitet

4.2.2.1 Kabler forlagt direkte i jord i terreng og dyrka mark

Figur 9 viser resulterende overføringskapasitet fra grøftesnittet hvor kabler er forlagt direkte i jord med 1 meter forlegningsdybde. Figuren viser at kabler kan belastes med 961 A.



Figur 9: Maksimal tillatt kontinuerlig belastning for kabler direkte i grøft.

4.2.2.2 Kryssing av 22 kV kabel i terreng og dyrka mark

Følgende beregninger er utført for å vurdere kryssing av 22 kV kabel i terreng og dyrka mark. Det er vurdert å legge 145 kV kabel direkte i løsmasser i flat forlegning. 145 kV kabelen skal krysse 22 kV kabel med lysåpning 0,3 m og ha forlegningsdybde 1,5 meter. Det er funnet at senteravstanden mellom fasene må være minimum 650 mm for å oppnå en overføringskapasitet på minimum 869 A.

Tabell 5: Resultater for 145 kV kabel i løsmasser som krysser 22 kV kabel

Beskrivelse	
Totaltap per enlederkabel	31,1 W/m
Faseavstand (senter-senter)	650 mm
Temperatur 145 kV leder uten kryssing	81 °C
Maksimal tillatt strøm i 145 kV leder	**870 A**
Temperatur i 145 kV leder ved krysningspunkt	90 °C

4.2.2.3 Kryssing av vei med 145 kV kabel forlagt i grøft

Følgende tabell viser resulterende overføringskapasitet for kabelen der den er forlagt i flat forlegning med 1 meter nedgravingsdybde for å krysse vei. Det er forutsatt at veien kan graves over. I beregningene er det benyttet en ekvivalent termisk resistivitet på 1,4 Km/W. Det er funnet at senteravstanden mellom fasene må være minimum 340 mm for å oppnå en overføringskapasitet på minimum 869 A.

Tabell 6: Resultater for 145 kabel i løsmasser som krysser vei

Beskrivelse	
Totaltap per enlederkabel	31,3 W/m
Faseavstand (senter-senter)	340 mm
Maksimal tillatt strøm i 145 kV leder	**870 A**
Temperatur i 145 kV leder	90 °C

4.2.2.4 Kryssing av vei og 22 kV distribusjonskabel med 145 kV kabel forlagt i grøft

Følgende beregninger er utført med å anta at det er mulig å grave over vei og legge kabel direkte i løsmasser i flat forlegning. Kabelen skal også krysse 22 kV kabel med lysåpning 0,3 m og ha forlegningsdybde 1,5 meter. Det er en benyttet en ekvivalent termisk resistivitet på 1,4 Km/W. Det er funnet at senteravstanden mellom fasene må være minimum 800 mm for å oppnå en overføringskapasitet på minimum 869 A.

Tabell 7: Resultater for 145 kV kabel i løsmasser som krysser 22 kV kabel i vei

Beskrivelse	
Totaltap per énlederkabel	31,2 W/m
Faseavstand (senter-senter)	800 mm
Temperatur leder uten kryssing	81 °C
Maks tillatt strøm i 145 kV leder	**870 A**
Temperatur i 145 kV leder ved krysningspunkt	90 °C

4.2.2.5 Kryssing av vei med 145 kV kabel forlagt i rør i rør

Følgende tabell viser resulterende overføringskapasitet fra grøftesnittet hvor kabler er forlagt i rør i rør, ved boring under vei. Beregningen er utført i Excel for å ta hensyn til en ekvivalent reaktans forårsaket av forskjellig forlegning langs traseen. Forlegningsdybden er 1,3 meter og det er benyttet en ekvivalent termisk resistivitet på 2,2 Km/W, som angitt i Tabell 4. Resultatene viser at kabler kan belastes med 695 A.

Tabell 8: Resultater for 145 kV kabel som krysser vei ved boring

Beskrivelse	
Totaltap per enlederkabel	12,7 W/m
Maksimal tillatt strøm i 145 kV leder	**695 A**
Temperatur i 145 kV leder	90 °C

4.2.2.6 Kryssing av vei og 22 kV distribusjonskabel med 145 kV kabel forlagt i rør i rør

Ved kryssing av Harestadveien er det vurdert å presse rør under veien, etter krav fra Statens vegvesen. I Harestadveien må kablene også krysse under høyspenningskabel. 145 kV kabelen har overdekning 1,5 meter. Innbyrdes avstand til kryssende kabelsett (lysåpning) er 300 mm. Beregninger viser at overføringskapasiteten er 635 A.

Tabell 9: Resultater for 145 kV kabel i rør i rør som krysser 22 kV kabel i vei

Beskrivelse	
Totaltap per énlederkabel	16.2 W/m
Temperatur leder uten kryssing	79 °C
Maks tillatt strøm i 145 kV leder	**635 A**
Temperatur i leder ved krysningspunkt	90 °C

4.3 Oppsummering

Tabell 10 oppsummerer resultatene fra de termiske beregningene basert på forutsetningene i 4.2.1. Resultatene viser at flaskehalsen til kabelanlegget er der kabler krysser vei og 22 kV distribusjonskabel, ved bruk av rør i rør.

For å øke overføringskapasiteten til kabelanlegget kan det vurderes å fylle rørene med bentonitt, eller omlegge 22 kV kablene slik at de ikke krysser 145 kV kablene i vei. Bentonitt vil ikke være tilstrekkelig for å øke overføringskapasiteten til 869 A. Gitt Lyse Elnett får tillatelse til å grave over fylkesveiene er det mulig å øke overføringskapasiteten til 869 A ved å legge kabler i løsmasser i flat forlegning.

Tabell 10: Oppsummering av beregninger med maksimal overføringskapasitet.

Trasé	**Overføringskapasitet**
Sjøkabel	869 A
Kabel i trekantforlegning i terreng og dyrka mark	961 A
Kryssing av 22 kV kabel i terreng og dyrka mark	870 A
Kryssing av vei med 145 kV kabel forlagt i grøft	870 A
Kryssing av vei og 22 kV kabel med 145 kV forlagt i grøft	870 A
Kryssing av vei, med 145 kV kabel forlagt i rør i rør	695 A
Kryssing av vei og 22 kV kabel, med 145 kV kabel forlagt i rør i rør	635 A

4.4 Vurdering av termisk resistivitet

De termiske forholdene rundt kabelen er med på å fjerne varmen fra kabelen. Mengde varme en type masse kan transportere bort er målt i termisk resistivitet (Km/W). En type masse med lav termisk resistivitet vil være bedre til å fjerne varme enn en masse med høy termisk resistivitet. I norsk norm NEN 62.75 er spesifikk

termisk motstand i jord forutsatt lik 1 Km/W. Dette er beregningsgrunnlaget som er benyttet for de belastningstabellene som er gitt i samme norm. For at disse kravene skal opprettholdes er det viktig at fyllmassen har en sammensetning som gjør at massen pakker seg godt sammen uten innhold av for mye luft. Massen må inneholde partikler med varierende kornstørrelser for at dette skal tilfredsstilles. Hvis kornfordelingen er riktig vil i tillegg fyllmassen ta opp en viss prosent fuktighet i form av kapillært vann mellom partiklene. Dette vil i vesentlig grad medvirke til å lede varmen fra kablene bort.

En høy kontinuerlig ledertemperatur på 90 °C fører til en forholdsvis høy temperatur på kabelens overflate (ca. 75 °C avhengig av kabelkonstruksjonen). Hvis kablene går kontinuerlig med denne temperaturen, er det fare for at det kapillære vannet i fyllmassen tørker ut, og den termiske motstanden i fyllmassen øker. Dette vil igjen over tid føre til at ledertemperaturen på kablene blir for høy, og at isolasjonen blir raskere termisk nedbrutt. Dette kan igjen føre til kabelhavari.

For de fleste kabelsettene i distribusjons- og regionalnettet, vil kombinasjonen av varierende last og termisk treghet føre til at det er liten risiko for at kabelsanden tørker ut. I kabelanlegg som forsyner sluttbrukere med høy kontinuerlig effekt er risikoen stor for at massene tørker ut. Risikoen øker også dersom det asfalteres over traseen, da det hindrer fuktighet og komme til massene. Ved dimensjonering av slike kabelforbindelser bør det være margin til 90 °C ved maksimal kontinuerlig belastning. Dette for å unngå uttørkede masser, overbelastning og redusert levetid på kabelanlegget.

Kvaliteten på kabelsand varierer. Erfaringer i Norge viser at siktet sand med kornstørrelse 0 – 8 mm tilfredsstiller kravene til termisk motstand. Nexans utførte i 2007 målinger fra kabelsanden i forskjellige kabelanlegg, og fant at den termiske resistiviteten til tørket kabelsand varierte mellom 2,1-2,3 Km/W [4]. I de termiske beregningene presentert i denne rapporten er det forutsatt at kabelsanden ikke tørker ut slik at den termiske resistiviteten er 1,0 Km/W.

Normal siktet sand og leirjord har vanligvis lavere termisk motstand enn 1 Km/W, mens porøs jord, myrjord ol. og fyllmasser som inneholder mye luft har høyere termisk motstand. Hvis fyllmasser med høyere termisk motstand benyttes må kabelens belastningsevne reduseres slik at den ikke får for høy ledertemperatur. I beregningene er det antatt at de stedlige massene og fyllmasser har en termisk motstand på enten 1,3 eller 1,4 Km/W, for henholdsvis med eller uten asfalt.

REN-grøft foreslår å bruke 2,5 Km/W for tørr pukk som benyttes som dreneringsmasser i veier. Denne rapporten har antatt pukken ikke tørkes ut 100% slik at den termiske resistiviteten er 2,0 Km/W for pukk. Gitt tørrere masser vil den ekvivalente termiske resistiviteten øke.

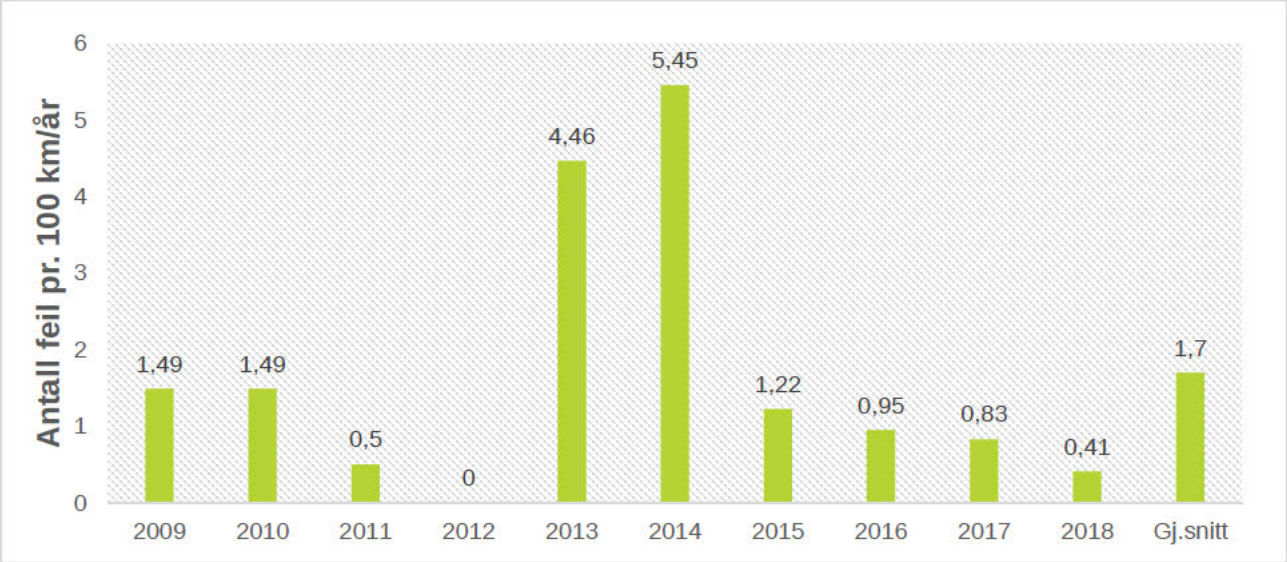
For kabler i flat forlegning kan tørre masser håndteres ved at faseavstanden økes. For kabler i trekantforlegning i rør vil tørre masser føre til redusert overføringskapasitet.

5 Feilstatistikk for kabelanlegg

Feil på kabelanlegg er ofte varige og kan resultere i langvarige utetider i forbindelse med reparasjon. Statnett publiserer årsrapporter for feil, avbrudd og utfall under drift i det norske 1-22 kV og 33-420kV -nettet. Figur 10 og Figur 11 viser et utdrag av feilstatistikk for 132 kV kabler og kraftlinjer fra årsstatistikken i 2018 [2].

Statistikken inkluderer både varige og forbigående feil som utløser eller utvider en driftsforstyrrelse. Med varig feil menes feil hvor korrigerende vedlikehold er nødvendig. Forbigående feil er feil hvor korrigerende vedlikehold ikke er nødvendig. Dette gjelder feil som ikke medfører andre tiltak enn gjeninnkobling av bryter, utskifting av sikringer, kvittering av signal eller resetting av datamaskin.

Antall feil per 100 km for 132 kV kabel per år er vist i Figur 10. Høyest antall feil registrert i siste 10-årsperiode var i 2014, da ca. tre ganger så høyt som gjennomsnittet for perioden. Det er årene 2013 og 2014 som drar opp gjennomsnittet for perioden 2009-2018.



Figur 10: Feilfrekvens for 132 kV kabel fordelt på år [2].

For å få en riktigere fremstilling av trendene er det i Figur 11 vist et glidende gjennomsnitt for 5-årsperioder siden 2005. Figur 11 sammenligner også antall feil per 100 km per år for 132 kV kabel og kraftledning (luftlinje). Figuren viser feilfrekvensene som glidende 5-års gjennomsnitt og man ser at feilraten har vært stabil for 132 kV kraftledninger de siste årene. Gjennomsnittlig feilfrekvensen for 132 kV kabler har variert noe mer, men har nå en fallende trend.



	05-09	06-10	07-11	08-12	09-13	10-14	11-15	12-16	13-17	14-18
Kabel	1,58	1,68	1,78	1,09	1,58	2,38	2,14	2,02	1,92	1,3
Kaftledning	0,91	0,83	0,81	0,71	0,68	0,95	1,08	0,98	1,05	1,03

Figur 11: Feilfrekvens for 132 kV kabel og kraftledning vist som glidende 5-års gjennomsnitt [2].

Ved feil i kabelanlegg må feilen først lokaliseres. Der feil skyldes gravearbeid vil normalt den som graver selv melde fra om skaden. Ved andre feilårsaker må nettselskapet ofte bruke måleutstyr for å lokalisere feilen. NVE skriver at feilen normalt bør være lokalisert innen 1 døgn og kabelen burde være klargjort for reparasjon innen 2 døgn etter at feilen er lokalisert [3]. Videre vil utetiden på kabelen variere med nettselskapets beredskapsnivå på tidspunktet. Dette er vist for en 132 kV kabel i Tabell 11.

Tabell 11: Normtall for utetiden ved jordkabelfeil for ulike beredskapsnivå [3].

Beredskapsnivå	Maksimal	Førhøyet	Normal
Utetid for 132 kV kabel	Under 3 døgn	Under 6 døgn	Under 12 døgn

Om beredskapsnivåene i Tabell 11 skriver NVE i *Kabel som alternativ til luftledning 2004 (notat)* [3] at:

«Slik beredsskapskategoriene er definert i tabellen over, vil nok den norske beredskapen måtte henføres til noe midt mellom "forhøyet" og "normal" beredskap. I [tabellen ovenfor] er maksimal beredskap for et kabelanlegg karakterisert ved: 1) Feilsøking og reparasjon igangsettes umiddelbart etter at en feil har oppstått 2) Komplett reservedelslager forefinnes 3) Løpende overvåkning/tilsyn av kabelanlegget 4) Periodisk diagnostisering ved kappeprøving 5) Beredskapsavtale foreligger for utførelse av kabelreparasjoner. Et slikt beredskapsnivå er det vanskelig å forestille seg at kan etableres per i dag i samtlige nettselskaper som har kabelanlegg på de høyeste spenningene.»

Foreslåtte kabeltrase blir lagt rør under vei, samt i jordbruksområde med ekstra overdekning, slik at kabelen ansees for å ligge trygt og stabilt.

6 Referanser og vedlegg

6.1 Referanser

[1] Lyse Elnett (2017). *Spesifikasjon kabelanlegg regionalnett Lyse Elnett. Beta versjon 1*

[2] Statnett SF (2019, 30. juni). *Årsstatistikk 2018. Driftsforstyrrelser og feil i 33-420 kV nettet.* Hentet 10.12.19 fra: https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/systemansvaret/praktisering-av-systemansvaret/arsrapporter-fra-feilanalyse/

[3] NVE (2004, 16. januar). *Kabel som alternativ til luftledning (notat).* Hentet 11.12.2019 fra: https://www.nve.no/konsesjonssaker/konsesjonsbehandling-av-nettanlegg/fagrapporter-og-lenker/

[4] Nexans – Test rapport – Termisk resistivitet i kabelsand, 2007

6.2 Vedlegg

[1] Jordkabel_Harestad_B04.png