



REJLERS

Rapport

Termiske forhold LREP

2022

01	04.02.2022	Publisert	ATLDIL	LINAAS
Rev	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontroll
<p>Det er i denne rapporten fremlagt resultater for termiske forhold i og omkring nytt kabelanlegg mellom Lundevågen og Lista flyplass etter simuleringer av aktuelle last og koblingsbilder.</p>				
<p>Oppdragsgiver:</p> <h2>Lista Renewable Energy Park</h2>				
<p>Tittel</p> <h3>Rapport – termiske forhold ved ulike spenningsnivåer og koblingsbilder for ny kabelforbindelse Lundevågen-Lista flyplass</h3>				
Oppdragsgivers dokumentnummer:			Dokumentnummer:	

Innhold

1. Innledning	4
1.1. Metodikk	4
1.2. Grunnleggende elektroteori	5
1.3. Forutsetninger for grøftesnitt	7
1.4. Spenningsnivåer og lasttilfeller	8
1.5. Beregninger	9
1.3.1 Scenario 1 (Normaldrift 300kV)	10
1.3.2 Scenario 2 (Feil 300kV)	11
1.3.3 Scenario 3 (Normaldrift 132kV)	12
1.3.4 Scenario 4 (Feil 132kV)	13
2. Konklusjon	14
3. Vedlegg	15
3.1. Figurer	15

1. Innledning

Lista Renewable Energy Park (LREP) søkte i 2019 om konsesjon for bygging og drift av nødvendige stasjonsanlegg og to nye 132kV kabler mellom Lundevågen og Lista flyplass i Farsund kommune for uttak av 200MVA effekt på industriområdet på flyplassen. LREP fikk juni 2020 anleggskonsesjon for nevnte anlegg.

Jordkabelanleggets overføringsevne begrenses av den største temperaturen som kan oppstå i ledere. Dagens kabelisolasjon tåler langvarig belastning på inntil 90°C, men driftes normalt langt under denne temperaturen.

En normal dimensjonerende ledertemperatur er gjerne 60°C til 70°C, dette for å få å ha marginer mot kabelens maksimale driftstemperatur.

Kabeltraséen berører i hovedsak dyrket mark og flere interessenter er bekymret for virkninger for landbruksjorda under kabelens driftsfase.

Denne rapporten tar for seg tekniske forutsetninger for nytt kabelanlegg og beskriver termiske verdier som kan oppstå i og rundt anlegget.

1.1. Metodikk

Beregningene er utført i REN-grøft som benytter Comsol Multiphysics som beregningsmotor.

Kabler på 132kV/300kV-spenningsnivå produseres på spesifikasjon fra kunde, elektriske verdier vil derfor ha en litt variasjon fra kabel til kabel. Kabler som er benyttet i beregning til denne rapporten er «generiske» med normale elektriske verdier. Kablene for dette prosjekter er ikke produsert og endelige verdier er derfor ikke kjent. Dette antas å ha mindre betydning på resultatene.

1.2. Grunnleggende elektroteori

Det er i dette kapittelet kort beskrevet de viktigste sammenhengene innen elektroteori

Forholdet strøm/spenning

Effekt er et produkt av strøm og spenning etter formel under:

$$P = I * U$$

P er effekt (watt)

U er spenning (volt)

I er strøm (ampere)

Ved høyere spenninger kan samme effekt overføres med mindre strøm.

To gitte effekter, P1 og P2, kan uttrykkes som:

$$P_1 = I_1 * U_1$$

$$P_2 = I_2 * U_2$$

Dersom effekten P1 er lik effekten P2 kan det vises:

$$U_1 * I_1 = U_2 * I_2 \rightarrow I_2 = I_1 \frac{U_1}{U_2}$$

Fra formelen over fremkommer det at en økning i spenning fra U_1 til U_2 vil redusere strømmen I_2 .

Eksempelvis vil en dobling av spenning føre til halv strøm:

$$U_2 = 2 * U_1 \rightarrow I_2 = I_1 \frac{U_1}{2 * U_1} \rightarrow I_2 = \frac{1}{2} I_1$$

Tap i leder

Alle ledere vil ha elektriske tap, tapet i lederne omgjøres til varme til omgivelsene.

Størrelsen på tapene er avhengig av lederens resistans og strømstyrrelse.

Tapet kan beregnes etter følgende formel:

$$P_{\text{tap}} = I^2 * R$$

P_{tap} er tapets størrelse (watt)

I er strømmen i lederen (ampere)

R er lederens motstand (Ohm)

Videre er lederens motstand avhengig av materialtype, lengde og areal etter følgende formel:

$$R = \rho * \frac{l}{A}$$

R er lederens motstand (Ohm)

ρ er ledematerialets resistivitet (rho). Resistiviteten er en materialkonstant, tidligere kalt spesifikk elektrisk motstand.

l er lederens lengde

A er lederens tverrsnitt

Omskrevet:

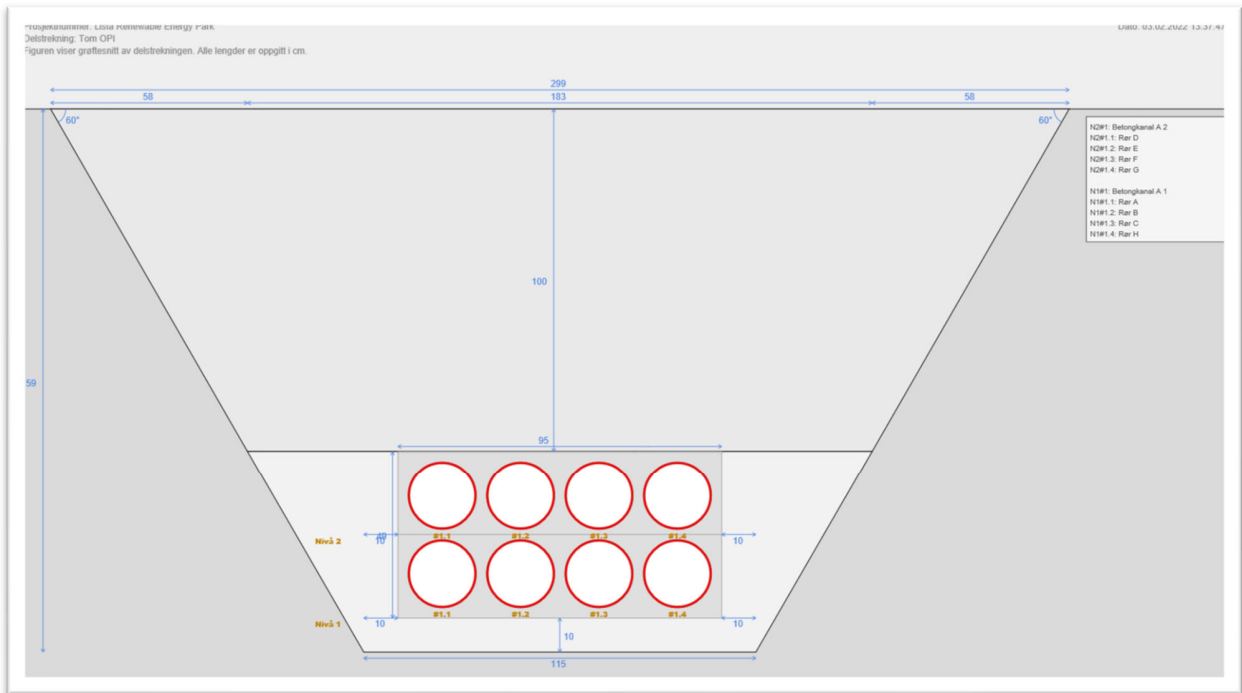
$$P_{\text{tap}} = I^2 * \rho * \frac{l}{A}$$

Formelen viser at tapene kan reduseres ved å redusere strømmen I eller øke ledertverrsnittet A .

1.3. Forutsetninger for grøftesnitt

Planlagte kabelanlegg skal legges i plasstøpt betongkanaler, såkalte OPI-kanaler med 200mm innstøpte rør. Kanalen blir ca. 1m bred og ca. 0,5m høy. Overdekning varierer mellom 0,5-1,2m.

Gjennom dyrket mark vil overdekningen på kanalen minst være 1,0m.



Figur 1: Typisk grøftesnitt i dyrket mark

I beregninger er følgende lagt til grunn:

Overdekning er satt til 100cm (minste overdekning i dyrket mark).

Det er lagt til grunn en døgnkontinuerlig luft- og bakketemperatur på 17°C i hele jordsmonnet.

Termisk motstand i massene rundt OPI-kanalen er satt til 1.2mK/W.

Termisk motstand i betong satt til 0.6mK/W.

1.4. Spenningsnivåer og lasttilfeller

LREP har sommeren 2021 søkt om å endre driftsspenning på kabelanlegget fra 132kV til 300kV. Ved økt spenningsnivå kan samme effekt overføres med mindre strømmer, se 1.2.

Mindre strømmer fører til at det kan benyttes kabler med mindre ledertverrsnitt.

Det er utført beregninger for både 132kV og 300kV-løsning.

For 132kV kabler er det lagt til grunn 2000mm² ledertverrsnitt og for 300kV kabler er det lagt til grunn 1000mm², begge med aluminiumledere.

Prosjekteringen av anlegget per. januar 2022 ser ut til å gå mot enda større tverrsnitt for 132kV løsningen (2500mm²) pga. begrensinger i andre deler av traséen, 2000mm² er allikevel benyttet da dette vil gi konservative verdier.

Elektriske forsyningsanlegg har normalt en belastningskurve som varierer gjennom dagen med én eller flere belastningstopper og mindre last om natten.

Uttaket på flyplassen er industri med antatt høy brukstid, det er derfor i beregningene valgt å legge til grunn et døgnkontinuerlig maksimalt effektuttak på 200MVA.

For 132kV anlegget utgjør dette strøm på ca. 875A og for 300kV ca. 385A.

I normal drift vil ledningene driftes parallelt med halv strøm pr. kabelsett (438A og 193A pr. kabelsett for hhv. 132KV og 300kV).

Det er søkt om to kabelsett for å ha en redundant strømforsyning til industriområdet, det vil si at kabler må dimensjoneres for full last på ett kabelsett dersom det andre skulle falle ut på feil.

Feilfrekvensen på kabelanlegg på 132kV spenningsnivå var i perioden 2009-2018 i snitt 1,70 feil pr. 100km pr. år. Feilstatistikk for 300kV kabelanlegg var i samme periode 0,4 feil pr. 100km pr. år.¹

Det er rimelig å anta feilfrekvensen er noe høyere på eldre kabler med gammel teknologi og på kabler som ligger i vanlig grøft. Planlagte anlegg på Lista skal legges i OPI-kanal hele lengden. Gjennomsnittsverdi på feil på 1,7 benyttes videre men vurderes å være konservativ.

Statistisk sett har derfor én av 132kV kablene feil omtrent hvert tredje år.

Det er i beregningene lagt til grunn at en feil vil være langvarig (>24t) og at jordsmonn i denne perioden oppnår sin høyeste temperatur («Steady state»). Gjenværende kabel er satt til kontinuerlig full last.

Driftstilfelle med drift på kun én kabel vil være termisk dimensjonerende for anlegget.

¹ Feilanalyse årsstatistikk 2018 33-420 kV, figur 3.8 (<https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/systemansvaret/arsrapporter-fra-feilanalyse/>) 03.02.2021

1.5. Beregninger

Det er utført beregninger for fire aktuelle scenarioer:

Scenario 1: 300kV kabler, normal drift (drift på begge kabler)

Scenario 2: 300kV kabler, feilsituasjon (kun drift på én kabel)

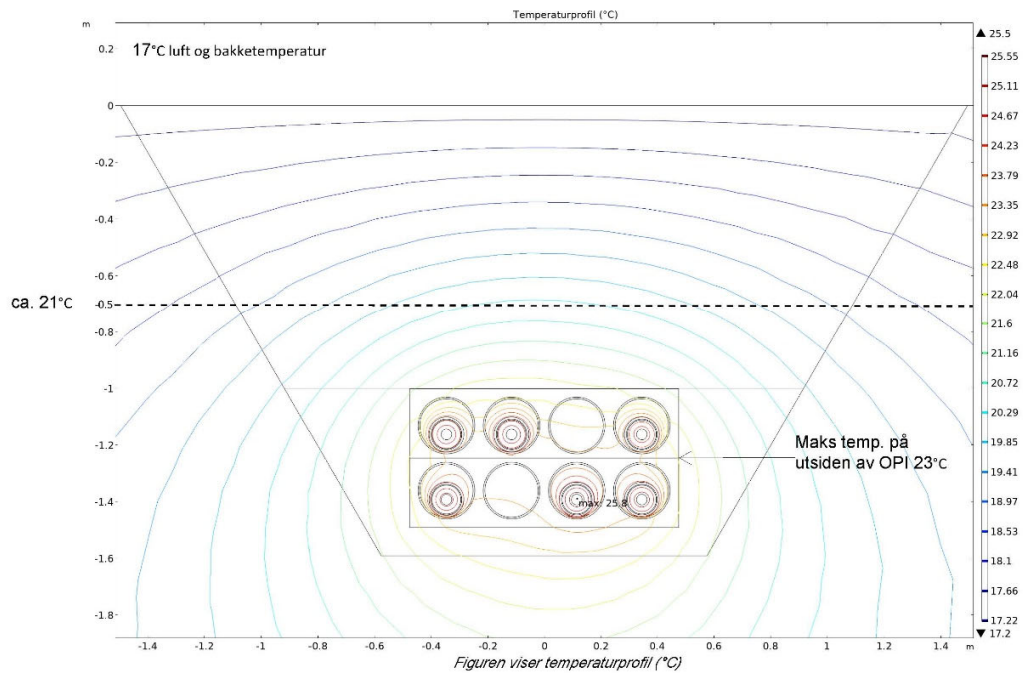
Scenario 3: 132kV kabler, normal drift (drift på begge kabler)

Scenario 4: 132kV kabler, feilsituasjon (kun drift på én kabel)

1.3.1 Scenario 1 (Normaldrift 300kV)

Grøft

Delstrekning "Scenario 1: 300kV kabler, normal drift (drift på begge kabler)"



Side 8 av 34

REN.no | 03.02.2022

Figur 2: Termisk beregning Scenario 1

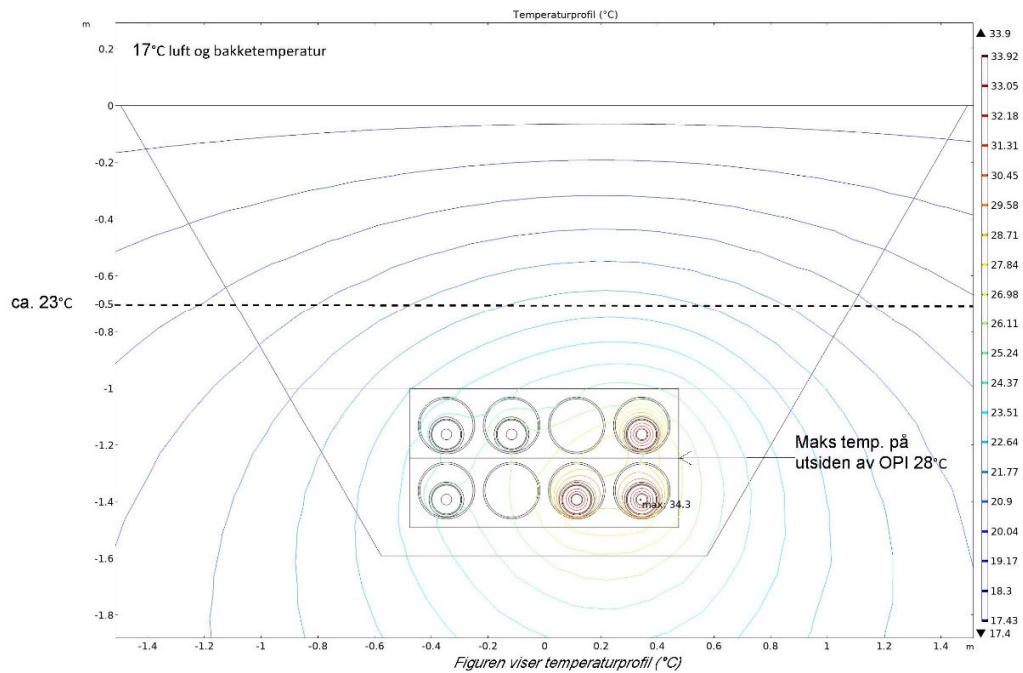
Beregninger viser at i scenario 1 vil største temperatur på utsiden av OPI-kanalen være 23°C.

I bakken vil temperaturen på 0,5m dybde være ca. 21°C.

1.3.2 Scenario 2 (Feil 300kV)

Grøft

Delstrekning "Scenario 2: 300kV kabler, feilsituasjon (kun drift på én kabel)"



Side 16 av 34

REN.no | 03.02.2022

Figur 3: Termisk beregning Scenario 2

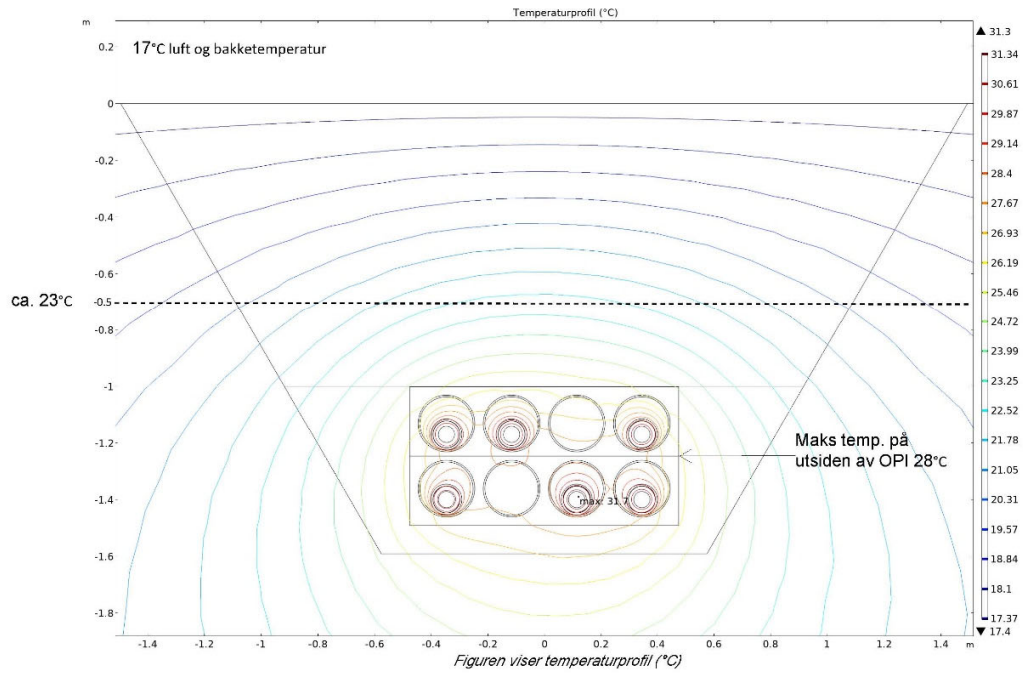
Beregninger viser at i scenario 2 vil største temperatur på utsiden av OPI-kanalen være 28°C.

I bakken vil temperaturen på 0,5m dybde være ca. 23°C.

1.3.3 Scenario 3 (Normaldrift 132kV)

Grøft

Delstrekning "Scenario 3: 132kV kabler, normal drift (drift på begge kabler)"



Side 24 av 34

REN.no | 03.02.2022

Figur 4: Termisk beregning Scenario 3

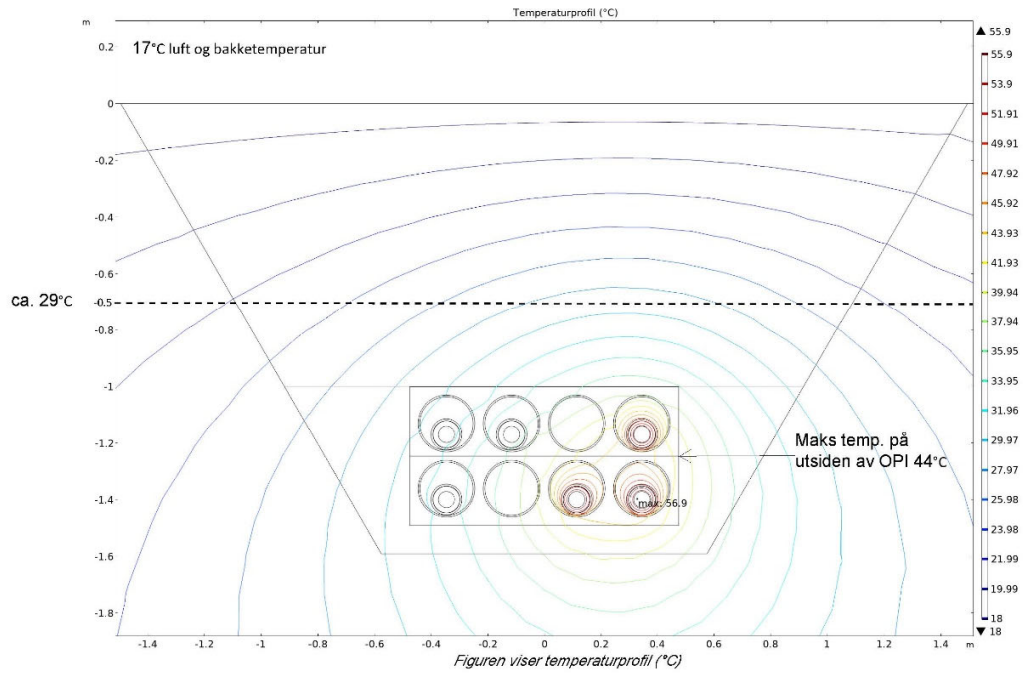
Beregninger viser at i scenario 3 vil største temperatur på utsiden av OPI-kanalen være 28°C.

I bakken vil temperaturen på 0,5m dypde være ca. 23°C.

1.3.4 Scenario 4 (Feil 132kV)

Grøft

Delstrekning "Scenario 4: 132kV kabler, feilsituasjon (kun drift på én kabel)"



Side 32 av 34

REN.no | 03.02.2022

Figur 5: Termisk beregning Scenario 4

Beregninger viser at i scenario 4 vil største temperatur på utsiden av OPI-kanalen være 44°C.

I bakken vil temperaturen på 0,5m dybde være ca. 29°C.

2. Konklusjon

Aktuelle kabler for prosjektet er ikke satt i produksjon i påvente av pågående endringssøknad for 300kV anlegg. Dersom endelige kabler bygges med svært unormale egenskaper, eller at tverrsnitt endres, kan det være aktuelt å utføre nye beregninger av grøftene. Eller antas beregningsresultater på endelige kabeldata å havne svært nært beregningene utført på «generiske» kabler.

I normalt driftstilfelle vil største temperatur utenpå OPI-kanalen være 28°C og temperaturen ved 0,5m dybde være 23°C.

Den største temperaturen i og rundt kabelanlegget kan oppstå i Scenario 4.

I dette scenarioet driftes anlegget på 132kV og det ene kabelsettet ligger ute pga. en langvarig feil. Gjenværende kabel belastes med døgnkontinuerlig maksimal effekt. I Scenario 4 er det beregnet at høyeste temperatur på utsiden av OPI-kanalen kan bli 44°C, temperaturen 0,5m under bakkenivå er beregnet til 29°C.

Norske normer for kraftkabler (NEN 62.75) oppgir en erfaringsverdi for når uttørking av jordsmonnet kan oppstå. Normen beskriver faren for uttørking størst ved kontinuerlig temperatur i jordsmonnet på over 50°C².

Basert på simuleringens resultat vurderes uttørking av matjord som lite sannsynlig i normal drift, da temperaturer i jordsmonnet er langt under erfaringsverdi 50°C i alle normale driftsituasjoner.

Det varmeste scenarioet vil forekomme ved en langvarig feilsituasjon som beskrevet over (Scenario 4) i dette tilfellet vurderes det at lokal uttørking av massene helt inntil kanalens underside og kortside kan forekomme om massene er svært tørkesvake. Temperaturene videre opp i jordsmonnet avtar raskt og vil på eksempelvis 0,5m reduseres til verdier godt under grense fra NEN 62.75.

Det er ikke tilgjengelig statistikk for feilrettingstid for denne typen anlegg, reparasjonstid på kraftledninger (luftledninger) hadde i 2010 en middelvei på 47 timer³. Feilretting på kabelanlegget vil sannsynligvis være lenger og normal feilrettingstid anslås å være innen én uke.

Basert på simuleringens resultater vurderes varme fra kabelanlegget å ikke kunne tørke ut jordsmonnet på en slik måte at det vil ha innvirkning på jordbruket over.

² NEN 62.75 Norske normer for kraftkabler – belastningstabeller, kap 5.3.

³ Planleggingsbok for kraftnettet – Feilstatistikk, Tabell 5. SINTEF 21.06.2013.

Jevnt over antas det at beregningene er konservative og at faktiske oppnådde temperaturer på endelig anlegg blir noe mindre enn simulert. Dette pga. følgende:

- Beregninger er utført med døgkontinuerlig maksimalt effektuttak, det antas at det i praksis vil være noe variasjon i effektuttaket gjennom døgnet.
- Det er valgt noe mer konservative verdier for den termiske motstanden i jordsmonnet enn anbefalt fra NEN 62.75⁴ (verdi fra NEN er 1.0mK/W).
- Valgt tverrsnitt ved 132kV spenningsnivå blir trolig 2500mm².

Den største bidragsyteren for varmeutvikling i og rundt anlegget vil være masser med stor termisk motstand (Glava har for eksempel termisk motstand ~30mK/W). Dersom kabelanlegget forlegges i områder med grus eller andre godt drenerende masser må det vurderes masseutskiftning i grøfta for å opprettholde termiske evner tilsvarende 1.2mK/W.

3. Vedlegg

3.1. Figurer

Figur 1: Typisk grøftesnitt i dyrket mark

Figur 2: Termisk beregning Scenario 1

Figur 3: Termisk beregning Scenario 2

Figur 4: Termisk beregning Scenario 3

Figur 5: Termisk beregning Scenario 4

⁴ NEN 62.75 Norske normer for kraftkabler – belastningstabeller, kap 5.2.