

# Kost-/nytteanalyse av strømkabler gravet ned i jord som alternativ til luftledninger.

**Dag Myrmo Hellum**

Master i energi og miljø

Innlevert: juni 2015

Hovedveileder: Jan Andor Foosnæs, ELKRAFT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for elkraftteknikk



## **Sammendrag**

Dette arbeidet har dreid seg om kost-/nytteanalyser av kabel gravet ned i jord som alternativ til luftnett i master. Arbeidet har vært delt i to deler. I første del ble det konstruert et enkelt nett på 22 kV med en 5 km lang linje eller kabel som skulle forsyne en last på 2 MW. Viktige deler av arbeidet var beregning av KILE-kostnader, tapskostnader, investeringskostnader, lastflytanalyse, skogryddingskostnader og feilstatistikk. Viktige verktøy i arbeidet var NetBas, Excel og RENs prosjektsystem.

En viktig del av problemstillingen var å se på følsomheten for økning i ekstremvær i fremtiden. Det ble laget tre prognoser for feilstatistikk, basert på de siste ca. 5 år med statistikk fra NTEs nett. Prognose 1 var som feilstatistikken NTE bruker, basert på feilhistorikk fra de siste ca. 5 årene og korrigert for ekstremvær. Det vil si at dataene fra månedene med ekstremværene Dagmar, Hilde og Ivar, ble byttet ut med data fra tilsvarende måneder uten ekstremvær fra andre år i perioden. Prognose 2 fulgte samme prinsipp, men dataene fra måneden med Dagmar ble ikke byttet ut. Prognose 3 brukte den faktiske feilstatistikken fra de siste ca. fem årene, uten å korrigere for ekstremvær.

Resultatene viste at kabel under mange forhold kan konkurrere med luftnett om å være mest lønnsomt. De gangene man har mulighet til å dele gravekostnader med andre som for eksempel kommunen, vil det som regel være lønnsomt å velge kabel. Under ”normale” graveforhold kom også kabel godt ut. I resultatene kunne opp til 600 meter av den totale traséen på 5 km på landsbygd være fjell man må sprengre seg gjennom før kabel blir dyrere per meter enn luftlinje.

I denne første delen av arbeidet viste det seg at KILE-kostnadene var veldig viktige, og dermed lot optimal løsning seg påvirke veldig av hvilken prognose man så på. Bygger man i et værutsatt område, og tror at en av de mer negative prognosene vil representere fremtiden, vil kabel være det beste valget. Tapskostnadene var så like i dette testnettet at de ikke hadde mye å si for optimal løsning. Tapskostnadene for kabel var noe lavere enn de for luftnett.

I andre del av arbeidet ble det jobbet med et reelt case. Det var et prosjekt i Malmia i Verran kommune. Der var det et eksisterende nett som begynte på bli modent for utskiftning. Valget sto mellom å fornye det eksisterende luftnettet, eller å bygge et nytt kabelnett med 400 V TN-S.

KILE-kostnadene var lave i dette tilfellet, uansett hvilken prognose man så på. Tapskostnadene var derimot høye på grunn av den totale lengden på nettet og på grunn av mye nett med lavt spenningsnivå. Tapskostnadene var også ganske forskjellige siden det ene alternativet var å bygge nett med høyere spenning. Det viste seg at kabelnettalternativet førte til at traséen ble noe lengre. Dette på tross av at delene som var kabel fra før kunne legges på nytt på en mye mer effektiv måte etter som man gikk ned fra 4 til 2 nettstasjoner. Dette førte til at kabelalternativet totalt sett ble dyrere selv om det var billigere per meter. Andre faktorer som gjorde ombygging til kabelnett dyrere enn vanlig fornying var at man kunne utsette fornying av nettkioskene og en del kabler som var ganske nye, om man gikk for forslaget med luftnett.

Selv om ombyggingen til kabelnett totalt sett ble beregnet til å være litt under 7 % dyrere, konkluderte arbeidet med at det var et godt valg, siden en del av de ubestemte faktorene for total pris kunne se ut til å veie i kabelnettets favør. En del fordeler som det er vanskelig å sette tall på, veide også opp for kabelnett. Disse var blant annet:

- Frigjøring av areal ved å fjerne master som kunne stå i veien for bygging av garasjer og lignende.
- TN-S nett som blant annet gir lavere brannfare.
- Mange kunder setter pris på at strømmettet er skjult, da de synes det kan være sjenerende for det visuelle miljøet.
- At det i kabelen er et rør for etterblåsing av fiber slik at man slipper gravekostnader om man vil legge fiber i området.
- Mye høyere maksimal effekt slik at man har mulighet til å ha veldig effektkrevende apparater som hurtiglader til elbil, gjennomstrømningsvannvarmer og induksjonsovn. Man slipper også å bekymre seg så mye om ”Varmepumpeeffekten” som gjør at behovet for

elektrisk effekt kan øke i tunglasttiden selv om man installerer den energibesparende varmepumpen.

Arbeidet konkluderte med at det i høyspent og lavspent distribusjonsnett absolutt kan være økonomisk gunstig med kabel gravet ned i jord. Dette gjaldt både i fordelingsnettet, og i 22 kV nettet.

## **Abstract**

The main focus of this master thesis work has been the cost/benefit analysis of underground cables as an alternative to overhead lines. The work was divided into two parts, where the first part dealt with the construction of a simple network with a 5 km line or cable, which would supply a demand of 2 MW. Key areas of work were calculating “KILE costs”, costs of losses, investment costs, load flow analysis, forest clearance costs and fault statistics.

An important part of the research was to look at the sensitivity of a potential increase in extreme weather in the future. Three forecasts for fault statistics were made, based on approximately the last 5 years of statistics from NTE’s network. Forecast 1 was, like the fault statistics that NTE use, based on the registered faults of approximately the past five years, and adjusted for extreme weather. This means that the data from the months with the extreme weathers Dagmar, Hilde and Ivar were replaced with data from the corresponding months, without extreme weather from other years in the period. Forecast 3 used all the relevant registered faults from approximately the past five years, without correcting for extreme weathers.

The results showed that, in many circumstances, cables could compete with overhead networks and be more profitable. If there is an opportunity to share excavation costs with others, such as the municipality, it will usually be profitable to choose underground cables. In the results for the countryside, up to 600 meters of the total 5 km pipeline route could consist of solid rock, which had to be blasted away to create a path, before cables became more expensive per meter than overhead lines.

The KILE costs turned out to be very high, and tended to vary rather a lot in the first part of the work. Which of the 3 forecasts that was used, therefore influenced the optimal solution heavily.

If a network company want to build a network in an area that is, to a great degree, exposed to bad weather, and they believe that one of the more negative forecasts will represent the future, then underground cables might be the best choice. The losses were all very similar in this test network, so they didn’t have a large impact on the

optimal solution. The losses of the cables were somewhat lower than the losses of the overhead lines.

The second part of the work dealt with a real case; a project in Malmliia in Verran. The existing network in Malmliia was due for replacement, and the options were to rebuild the existing overhead lines, or to build a new underground cable network with 400 V TN-S.

In this case, the KILE costs were low, whichever forecast was used. However, the losses were high due to the total length of the network, and furthermore because a lot of the network had a low voltage. The losses were also quite different for the two alternatives, since one option was to build a new network with higher voltage than the other. The option with the underground cable network caused a slightly longer pipeline route. This happened despite the fact that the parts, which were all ready cable today, could be changed to a more effective route because of the choice of reducing the amount of substations from 4 to 2. This led to the conclusion that the option of underground cables would become the more expensive overall, even though it had a lower cost per meter. Other factors that made conversion to an underground cable network more expensive than regular renewal of the network, was that one could postpone the renewal of network kiosks and some cables that were quite new, if one went for the proposal with overhead lines.

Although the total price for the alternative of converting the network to underground cables was estimated to be slightly below 7% more expensive, this work concluded that it was the superior choice. Part of the undetermined factors for the total price could appear to weigh in the favour of underground cables. Some advantages that were difficult to estimate, also favoured underground cables. These included:

- The availability of more space, by removal of the poles of the overhead lines, for the residents to build garages, new entrances to their properties etc.
- TN-S network, known for its lower risk of fire.
- A hidden power grid that doesn't disturb the visual environment, which is appreciated by many customers.

- The fact that there is a pipe in the cable with space for optical fibre so that you avoid excavation costs if you want to add fibre in the area.
- Much higher maximum power, which makes it possible to have very high-powered appliances such as rapid chargers for electric vehicles, instantaneous water heaters (tankless water heaters) and induction ovens. This reduces the challenge of the "heat pump effect" that makes the need for electrical power increase in heavy load hours, even though the heat pumps are an energy-saving device.

In this work, it was concluded that it in high-voltage and low-voltage distribution networks, certainly could be financially beneficial with underground cables. This was true for both low voltage networks, and the 22 kV level networks.



## **Forord**

Dette arbeidet er en fortsettelse av en prosjektoppgave som ble skrevet ved Norges Teknisk- Naturvitenskaplige Universitet høsten 2014. Arbeidet er en besvarelse på en masteroppgave ved samme universitet.

Formålet med oppgaven er å få en oppdatert gjennomgang av når man bør bruke kabel og når man bør bruke luftnett, med spesielt fokus på kostnader forbundet med økningen av ekstremvær man forventer med klimaendringene. Dette gjøres ved å utføre lastflytberegninger og nåverdiberegninger. Viktige deler av arbeidet har vært KILE-kostnader, tapskostnader, investeringskostnader, skogryddingskostnader og feilstatistikk.

Arbeidet har gitt studenten en god innføring i hvilke kostnadselementer som ligger i prosjekter i distribusjonsnettet, og en god innføring i en del av verktøyene som brukes. Det har også gitt mye lærdom om hvordan kabler er oppbygget, og hvordan man går frem i planlegging av utbygginger i nettet. Viktige verktøy har vært NetBas, REN.no og Excel.

Jeg vil takke Jan Andor Foosnæs og Erling Tønne for veiledningen i dette arbeidet.

En stor takk rettes også til de ansatte ved avdelingen Analyse og Strategi på kontoret til NTE på Grillstad, for deres hjelp og hyggelige arbeidsmiljø mens jeg satt hos dem og arbeidet. Spesielt takkes Bernhard Bolsøy for hans veiledning med feilstatistikk.

Takk til Thorbjørn Aasheim for innføringen og veiledningen med prosjektet i Malmlia.

Jeg vil også takke Lars Krøke for hjelp med å finne kostnader for reparasjoner etter feil i nettet, og Einar Martin Finstad for hjelp med kostnader for skogrydding.

Trondheim, 17. juni

Dag Myrmo Hellum

## Innholdsfortegnelse

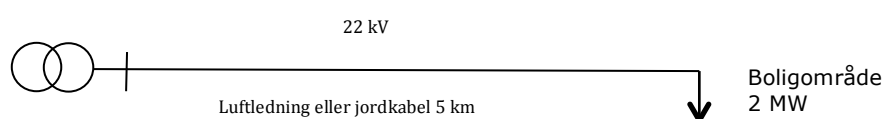
<b>1</b>	<b>Problemstilling</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Begrunnelse for valg av problemstilling</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Innføring i tema</b>	<b>3</b>
<b>3.1</b>	<b>Naturpåvirkning</b>	<b>3</b>
3.1.1	Jordkabler	3
3.1.2	Luftlinjer	3
3.1.3	Arealbruk og skogbruk	4
<b>3.2</b>	<b>Sikkerhet</b>	<b>4</b>
<b>3.3</b>	<b>Felter</b>	<b>5</b>
<b>3.4</b>	<b>Helse</b>	<b>5</b>
<b>3.5</b>	<b>Feil på jordkabler og luftlinjer</b>	<b>6</b>
3.5.1	Feilårsaker	6
3.5.2	Feilstatistikk	7
3.5.3	Reparasjon av feil	8
3.5.4	Forskjell på feilomfang mellom jordkabler og luftlinjer	9
<b>3.6</b>	<b>Driftskostnader</b>	<b>10</b>
3.6.1	Vedlikehold	10
3.6.2	Avbruddskostnader	10
3.6.3	Tap	10
3.6.4	Levetid	11
<b>3.7</b>	<b>Belastning</b>	<b>11</b>
<b>3.8</b>	<b>Fremkommelighet</b>	<b>11</b>
<b>3.9</b>	<b>Lastutvikling</b>	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>Teori</b>	<b>15</b>
<b>4.1</b>	<b>Tap</b>	<b>15</b>
<b>4.2</b>	<b>Brukstid for tap</b>	<b>15</b>
<b>4.3</b>	<b>Tapskostnader</b>	<b>15</b>
<b>4.4</b>	<b>KILE-kostnader</b>	<b>16</b>
<b>4.5</b>	<b>Økonomisk optimalt tverrsnitt</b>	<b>18</b>
<b>5</b>	<b>Tidligere arbeid</b>	<b>21</b>
<b>6</b>	<b>Metode</b>	<b>23</b>
<b>6.1</b>	<b>Del 1 - studie av et enkelt 22 kV nett</b>	<b>23</b>
6.1.1	Tapskostnader	24
6.1.2	Investeringskostnader	24
6.1.3	Skogrydding	25
6.1.4	KILE-kostnader	25
6.1.5	Feilstatistikk	26
6.1.6	Reparasjonskostnader	27
<b>6.2</b>	<b>Del 2 - Valg av nedgravet kabel eller luftlinje i Malmlia</b>	<b>27</b>
6.2.1	Dimensjonering	29
6.2.2	Lavspent distribusjonsnett	30
6.2.3	Høyspentkablene	31
6.2.4	Nettstasjonene	32
6.2.5	Kabelgrøfter	33
6.2.6	Tapskostnader	33

6.2.7	KILE-kostnader .....	33
6.2.8	Vedlikeholdskostnader .....	33
<b>7</b>	<b>Resultater.....</b>	<b>34</b>
<b>7.1</b>	<b>DEL 1.....</b>	<b>34</b>
7.1.1	Tapskostnader .....	34
7.1.2	Investeringskostnader.....	34
7.1.3	Skogrydding beregning.....	35
7.1.4	Skogrydding kapitalisert 50 år 4,5 % rente med 2 % årlig prisstigning. ....	35
7.1.5	Feilstatistikk.....	36
7.1.6	KILE-kostnader.....	36
7.1.7	Reparasjonskostnader.....	38
7.1.8	Feilhistorikk.....	38
7.1.9	Totale kostnader .....	39
<b>7.2</b>	<b>Del 2 .....</b>	<b>40</b>
7.2.1	Optimalt tverrsnitt.....	40
7.2.2	Investeringskostnader.....	41
7.2.3	KILE-kostnader.....	45
7.2.4	Tapskostnader .....	45
7.2.5	Totale kostnader for de forskjellige alternativene.....	45
<b>8</b>	<b>Redegjørelse for styrke og svakheter i arbeidet.....</b>	<b>46</b>
<b>8.1</b>	<b>Lastutvikling .....</b>	<b>46</b>
<b>8.2</b>	<b>Investeringskostnader del 2.....</b>	<b>46</b>
<b>8.3</b>	<b>Antall kabler .....</b>	<b>46</b>
<b>8.4</b>	<b>Vedlikeholdskostnader .....</b>	<b>47</b>
<b>8.5</b>	<b>Feilhistorikk.....</b>	<b>47</b>
<b>8.6</b>	<b>Reparasjonskostnader .....</b>	<b>48</b>
<b>8.7</b>	<b>Investeringskostnader luftlinje.....</b>	<b>48</b>
<b>8.8</b>	<b>KILE-kostnader .....</b>	<b>48</b>
<b>9</b>	<b>Drøfting av resultatene.....</b>	<b>49</b>
<b>9.1</b>	<b>Del 1 .....</b>	<b>49</b>
9.1.1	Tapskostnader .....	49
9.1.2	Skogrydding .....	49
9.1.3	Feilstatistikk.....	49
9.1.4	Reparasjonstid.....	50
9.1.5	KILE-kostnader.....	50
9.1.6	Reparasjonskostnader.....	52
9.1.7	Totale kostnader .....	52
<b>9.2</b>	<b>Del 2 .....</b>	<b>54</b>
9.2.1	Optimalt tverrsnitt.....	54
9.2.2	Totale kostnader .....	55
9.2.3	Bedriftsøkonomi og samfunnsøkonomi.....	56
9.2.4	Relevans for andre prosjekter.....	56
9.2.5	Forskjell på total lengde.....	56
<b>10</b>	<b>Konklusjon .....</b>	<b>57</b>
<b>10.1</b>	<b>Del 1.....</b>	<b>57</b>
<b>10.2</b>	<b>Del 2.....</b>	<b>58</b>
<b>11</b>	<b>Forslag til videre arbeid .....</b>	<b>60</b>
<b>11.1</b>	<b>Reparasjonskostnader.....</b>	<b>60</b>
<b>11.2</b>	<b>KILE-kostnader.....</b>	<b>60</b>
<b>12</b>	<b>Kilder.....</b>	<b>61</b>

<b>13</b>	<b>Vedlegg</b> .....	<b>i</b>
<b>13.1</b>	<b>Tapskostnader enkelt nett del 1</b> .....	<b>i</b>
<b>13.2</b>	<b>KILE-beregninger</b> .....	<b>ii</b>
13.2.1	Korreksjonsfaktor for KILE-beregning.....	ii
13.2.2	Formler for beregning av KILE.....	ii
13.2.3	Kapitaliseringsfaktorer.....	iii
<b>13.3</b>	<b>Totale kostnader del 1, november</b> .....	<b>iv</b>
<b>13.4</b>	<b>Totale kostnader del 1, desember</b> .....	<b>vi</b>
<b>13.5</b>	<b>Tapskostnader del 1</b> .....	<b>viii</b>
<b>13.6</b>	<b>Tapskostnader del 2</b> .....	<b>xiii</b>

# 1 Problemstilling

Det skal utføres lastflytberegninger og økonomiske beregninger på forskjellige konkrete nett. I første del av arbeidet skal et fiktivt nett med spenningsnivå på 22 kV undersøkes for forskjeller mellom jordkabel og luftlinjer. Fokuset i beregningene skal ligge i feilstatistikk, KILE-beregninger (kvalitetsjusterte inntektsrammer ved ikke levert energi), tapkostnader, vedlikeholdskostnader og investeringskostnader. Eksempelet vil bestå av et boligområde med en last på 2 MW som skal forsynes av en 5 km lang luftledning eller jordkabel.



I andre del av arbeidet blir det sett på et nett som eksisterer i dag i NTEs område. Området ligger i Malm i Verran kommune. Nettet i et boligområde med ca. 150 boliger skal renoveres. Det skal utføres kost-/nytteanalyser av forskjellige aktuelle utforminger av det nye nettet. I dag er det luftnett på 230 V i området. Nettet kan fornyes med lignende komponenter som det har i dag, eller det kan bygges om til jordkabelnett på 400 V TN-S med et mer effektivt design med færre nettstasjoner. Det skal beregnes totale kostnader for begge alternativer, der det vil legges vekt på investeringskostnader, tapkostnader, KILE-kostnader og vedlikeholdskostnader. I tillegg vil praktiske forhold vurderes.

## **2 Begrunnelse for valg av problemstilling**

Arbeidet vil gi kandidaten en god innføring i mange av de arbeidsoppgaver man har i et nettselskap ved planlegging av prosjekter, og erfaring med digitale verktøy som er i bruk i bransjen.

Teknologi og kostnader utvikler seg, og det som gjaldt for noen år siden trenger ikke å gjelde i dag. Det er kandidatens inntrykk at man i valget mellom kabel og luftlinje i dag baserer valgene på tommelfingerregler bygget på gamle økonomiske beregninger som ikke nødvendigvis er gyldige i dag. Det er mange forhold å ta hensyn til om man skal gjøre et velbegrunnet valg. Det er ikke hensiktsmessig å gå like grundig til verks i de økonomiske analysene hver gang man gjør valget. Går man grundig gjennom de økonomiske forholdene en gang i blant, vil man kunne oppdatere tommelfingerreglene man benytter om nødvendig. Dette har blitt gjort tidligere, men det ser ut til å være en stund siden sist, og forholdene kan ha forandret seg. Kabler har blitt billigere og mer robuste med årene. Folks forventninger til fokus på estetikk og ”visuelt miljø” kan se ut til å ha økt med årene. Luftledninger i nabolag sees av enkelte på som gammeldags og rotete. Spesielt på høyere spenningsnivåer har det vist seg å være stort engasjement for å få nytt nett som jordkabel av estetiske hensyn. Nye elektriske apparater kan gi nye lastkurver i fremtiden, noe som kan gi nye utfordringer i nettet, og nye optimale løsninger.

Man frykter at været skal bli mer ekstremt i fremtiden på grunn av klimaendringer. Følsomhet for endringer i feilstatistikk som følge av dette kan være interessant når man gjør vurderinger rundt valget mellom jordkabel eller luftlinje. Det ser ikke ut som at det har vært mye fokus på dette i de tidligere arbeidene om valg mellom jordkabel og luftlinje. For NTE har ødeleggelse under ekstremvær stått for store økonomiske utgifter de siste årene. Følsomhet for økning i uvær har derfor fått en viktig plass i beregningene i dette arbeidet.

### **3 Innføring i tema**

Det er mange forhold som må tas hensyn til når man gjør utbygginger i kraftnettet. Nettselskapene skal sørge for å levere elektrisitet av tilfredsstillende kvalitet og leveringssikkerhet, men samtidig holde kostnadene lave. Strømnettet er en av de viktigste infrastrukturene i samfunnet, men å bygge strømnett er også å gjøre inngrep i naturen. Et av valgene som man gjør i nybyggingsprosjekter som er mest tydelig for befolkningen, er valget mellom kabel gravet ned i jord og luftlinjer. Luftlinjer kan virke sjenerende estetisk, mens jordkabler krever at man graver grøft som gir større ulemper under byggingen. Mye av beregningene i dette arbeidet vil fokusere på de økonomiske forskjellene mellom jordkabel og luftlinje, men her vil også andre praktiske forskjeller belyses.

*I prosjektoppgaven som innledet dette arbeidet ble det diskutert fordeler og ulemper med valg av jordkabel og luftlinjer [1]. I kapittel 3 er mye av informasjonen hentet fra dette forarbeidet. Hvis det har blitt skrevet at det er "sitat [1]" i overskriften, er det følgende avsnitt/delkapittelet tatt direkte fra prosjektoppgaven. I noen avsnitt er det redigerte sitater, da er det skrevet i overskriften. Noen avsnitt har brukt prosjektoppgaven som kilde, men innholdet kan være skrevet til dette arbeidet, eller er kraftig redigert for å passe til dette arbeidet. Da står det bare "[1]" i overskriften.*

#### **3.1 Naturpåvirkning**

##### **3.1.1 Jordkabler [1]**

Når kabler på de høyeste spenningsnivåene skal graves ned, trengs det gater på opp til 15 meters bredde. På lave spenningsnivåer er kravet til bredde mye lavere. Man gjør store inngrep i naturen, og må for eksempel sprengje gjennom fjell. Dette kan virke skremmende for dyrelivet i området. Når arbeidene er ferdige, er kabelen lite til sjenanse, og ofte vil sporene etter arbeidene kunne skjules godt. Varmen kabelen generer kan imidlertid tørke ut jorda rundt, og i løsmassefattige områder kan arbeidene etterlate varige sår. I tettbebygde strøk kan byggefasen være til ulempe for folk ved at man må omdirigere trafikk når det gjøres gravearbeider.

##### **3.1.2 Luftlinjer [1]**

Luftlinjer gir mer voldsomme visuelle inngrep i naturen, men de er i større grad reversible. For fugl er det forbundet fare i form av kollisjonsfare og fare for

elektrosjokk. Elektrosjokk skjer som regel når en fugl er nær en line og en travers. Det har vært flere alvorlige ulykker under inspeksjon og arbeider med luftnett fra helikopter, der helikopteret har truffet mast eller leder og styrtet. Det har også vært helikopterulykker i tilfeller hvor kraftnett har vært dårlig merket. Vinteren 2015 styrtet for eksempel et ambulanshelikopter på Sollihøgda, der to mennesker omkom [2]. Master som står langs veier medfører kollisjonsfare for trafikanter, selv om nye master er laget for å gi etter om man kolliderer med dem. Byggeperioden for luftlinjer er ofte mye kortere. I stedet for å bygge en gate i naturen, kan man, spesielt for de høyeste spenningsnivåene, benytte helikopter for å frakte utstyr. Det kreves imidlertid at trær hugges ned i en viss avstand fra linjene avhengig av spenningsnivå. På de høyeste spenningsnivåene vil man ha litt støy fra korona. Lyden kan gi psykisk ubehag hvor man får en følelse av at man er i sterke elektromagnetiske felter. På grunn av de audiovisuelle ulempene, kan boligpriser falle om høyspentlinjer bygges i nærheten av for eksempel fritidseiendom.

### **3.1.3 Arealbruk og skogbruk [1]**

Mastefester krever fritt areal, noe som ikke alltid er lett å finne i tettbebygde strøk. I naturen vil man kunne være avhengig av å ha vei langs kabelen på høyere spenningsnivåer. Kabler kan legges så dypt at jordbruk kan foregå over. Det kan imidlertid ikke vokse trær over kablene med tanke på skadelige røtter. Det kan ikke bygges bygninger over kabeltraséer. For luftlinjer kan mastene være litt til hinder for jordbruk, men dette løses som regel ved å sette dem i tomtegrenser. Det er ikke like strenge krav i forhold til gjenvekst under luftlinjer, og bare større trær må kuttes.

## **3.2 Sikkerhet (Deler er sitat[1])**

Jordkabler sees på som gode med tanke på mange typer sikkerhet. Siden de er isolerte, og ofte ligger utilgjengelige nede i bakken, er det liten fare for berøringsskader som elektrosjokk og brannskader som man kan få når vegetasjon faller over blanke luftlinjer.

I lavspent distribusjonsnett benyttes ofte TN-S-nett i motsetning til IT-nett som er vanlig i distribusjonsnett i luft. Denne teknologien er også forbundet med lavere brannfare.



### 3.3 Felter (For det meste direkte sitat fra [1])

Man har både elektriske og magnetiske felter i elektriske ledere når det går strøm gjennom dem. I kabler har man gjerne et lag med en jordet metallskjerm som stopper de elektriske feltene, slik at det bare er de magnetiske feltene som er betydelige rundt kablet.

### 3.4 Helse (For det meste direkte sitat fra [1])

Det er ikke mye som tyder på at det er noen helserisiko ved magnetfelt fra høyspentkabler og linjer. Noen gamle kliniske studier som antyder en veldig liten risiko, har fått mye medieoppmerksomhet, og dermed har det oppstått en del bekymring hos befolkningen. WHO og Statens strålevern sier begge at det er gjort veldig mye forskning på dette området, uten at man har klart å finne noen fare for mennesker for å være i lavfrekvente magnetfelt på under  $200\mu\text{T}$ . I Norge har man valgt å gjøre det slik at nybygg ikke skal bygges i nærhet til høyspentlinjer som har over  $0,4\mu\text{T}$ .

Kabler har veldig høye magnetfelt for korte avstander, men de avtar veldig fort, og feltene i nærområdene er derfor typisk mye lavere enn for luftlinjer. Kabler med metallskjerm har ingen elektriske felter rundt seg. Nye typer linjeoppheng med flere linjer per fase har mye lavere magnetisk feltstyrke enn vanlige luftlinjer. De har fortsatt litt høyere felt enn kabler på lang avstand, men feltet på kort avstand er til gjengjeld mye lavere. [3]

Av føre var prinsippet ble det bestemt i NOU 1995:20 S.66 og 67:

- 1: Nærføring av høyspenninglinjer til boliger, barnehager og skoler bør unngås hvis det bare medfører små ekstrakostnader og ingen ulemper av betydning.
- 2: Skoler, barnehager og boliger bør ikke bygges ved kraftledninger. Det ble imidlertid skrevet i utredningen at: «usikkert om tiltak over hodet har noen positiv helseeffekt». (sitat gjaldt flytting av eksisterende nett med nærhet til boliger o.l.) Det var her kun snakk om valg av alternativ trasé, ikke jordkabel som alternativ til luftlinje.

NVE får ofte krav om kabling på høringer med estetikk som vanligste begrunnelse. Stortingsprotokoll nummer 19 (2000-2001) sier at det ikke tilrådes å legge jordkabel

istedenfor luftlinje av helsehensyn. Pålegg om å legge jordkabel på de høyeste spenningsnivåer er kun aktuelt på korte strekk i helt spesielle unntakstilfeller med særdeles sterke miljøhensyn. For spenningsnivåer på 66 kV – 132 kV kan det være aktuelt ved sterke verneinteresser, store estetiske ulemper, spesielt viktige fuglebiotoper eller sjeldne fuglearter blir berørt. NVE hadde aldri pålagt kabling ved 300-420 kV da denne kilden ble produsert, men det hadde blitt gjort på spenningsnivå 66 kV-132 kV av hensyn til naturverdier og friluftsliv [4].

### **3.5 Feil på jordkabler og luftlinjer**

#### **3.5.1 Feilårsaker (Direkte sitat [1])**

##### ***3.5.1.1 Gravearbeider***

Feil som følge av gravearbeider er den vanligste formen for feil på jordkabler [5]. En av de praktiske tingene med disse feilene når uhellet først er ute er at lokalisering av feilen ofte går lett og fort etter som at de som skadet kablet ofte kan melde i fra.

##### ***3.5.1.2 Produksjonsfeil***

Disse feilene oppdages som regel ved testing før legging av kablene.

Kabelprodusenter tester også kompatibilitet mellom ekstruderte kabler, skjøtestykker og endemuffer. På store kabelprosjekter ved høye spenningsnivåer kan slike tester ta måneder å sette opp. Produsenter tester også kabler for mekaniske, dimensjons- og elektriske egenskaper.

##### ***3.5.1.3 Montasjefeil***

Montasjefeil er som regel feil i skjøter og endeavslutninger. Denne typen feil avhenger mye av erfaring og dyktighet til montørene. På grunn av faren for montasjefeil, testes kabler også etter montasje.

##### ***3.5.1.4 Aldring og slitasje av kabler***

Det er flere mekanismer som kan bidra til aldring av kabler:

###### **3.5.1.4.1 Termisk (kjemisk)**

Oksidering av polymer ved høye temperaturer. Kobber kan virke som katalysator om det kommer i direkte kontakt med isolasjonen. De høye temperaturene finner man i såkalte hot-spots. Disse kan for eksempel være ved krysning av fjernvarmerør.

#### 3.5.1.4.2 Partielle utladninger

Kan oppstå om det er bobler med gass i isolasjonen eller mellom isolasjon og skjermene.

#### 3.5.1.4.3 Elektriske trær

Elektriske trær kan oppstå i isolasjonen når det påsettes veldig høy spenning. Får de vokse igjennom, får man gjennomslag.

#### 3.5.1.4.4 Vanntær

Vanntær er en av de viktigste aldringsmekanismene til jordkabler. De kan oppstå når polymerisolerte kabler påsettes alternerende spenning, og det er fuktighet til stede. Det skilles mellom ventilerte trær, og sløyfetrær. Ventilerte trær starter å vokse i grensesjiktet mellom indre og ytre halvleder, mens sløyfetrærne begynner å vokse fra urenheter inne i isolasjonen. Ventilerte trær vokser med ganske konstant hastighet når de først har begynt å vokse, mens sløyfetrær vokser veldig raskt i starten før farten brått synker veldig. Innenfor disse kategoriene kan man flere underkategorier for hvordan vanntærne vokser. De kan vokse i treformasjon, som busker eller brokkoli osv. Vanntær kan ikke observeres utenifra som partielle utladninger, men om de får vokse langt nok, kan elektriske trær vokse videre og man kan ende opp med overslag. [3,6]

Siden vanntær er en av de viktigste aldringsmekanismene til jordkabler, har det vært gjort mye forskning på dette siden 1960-tallet, da de ble oppdaget. Nyere kabler skal være mye mer motstandsdyktige mot vanntær enn eldre kabler [4].

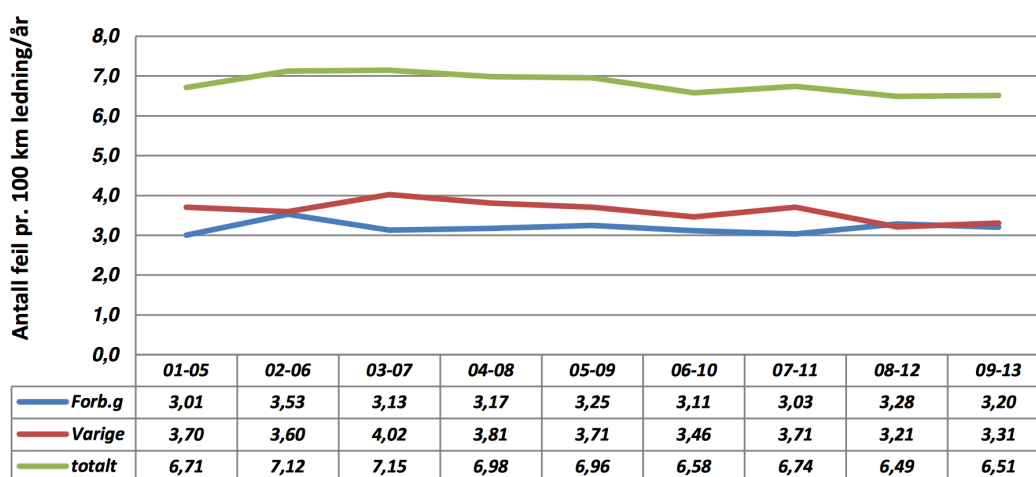
#### 3.5.1.4.5 Temperaturrelatert mekanisk stress

Når kabler opphetes, vokser de både radielt og i lengden. Når de vokser radielt, skaper det problemer for festemekanismen mellom lederne, og mot evt. feste i vegg eller lignende. Når de vokser i lengden fører det til at man enten må ha så kort avstand mellom festepunktene mellom lederne at ledningene ikke får bøye seg, ellers må man ha så lang avstand mellom festepunktene at bøyingsradiusen ikke blir for lav.

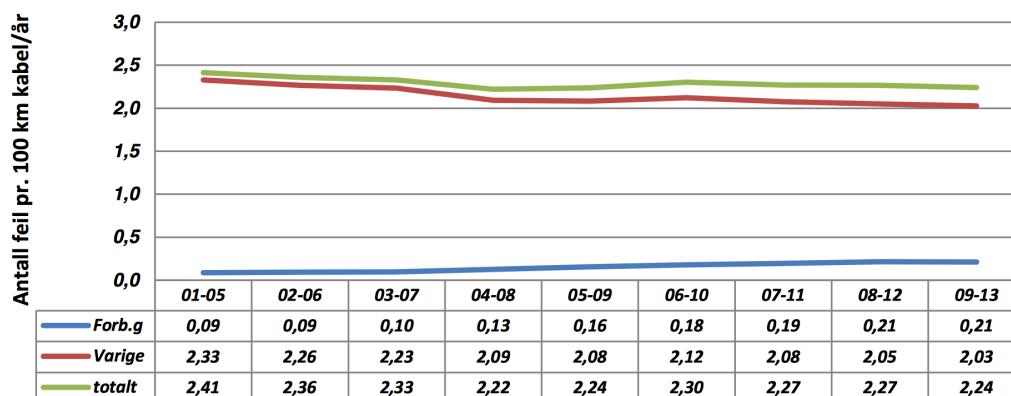
### 3.5.2 Feilstatistikk [1]

Feilraten for kabler har gått ned med årene. På 70- og 80-tallet var feilraten på høyspentkabler og høyspentlinjer ganske like, men på 90-tallet begynte feilraten for kabler å synke betydelig [7]. Mye av dette kommer av teknologiutvikling på PEX-

kabler. PEX-kabler er stort sett vedlikeholdsfrie, mens oljekabler, som var vanligst før, krever noe vedlikehold. I de siste årene har det også vært en del forbedring på PEX-kabler som gjør at de er enda mindre utsatt for vanntrær, og har enda lengre forventet levetid. Figur 1 og figur 2 viser Statnetts statistikk for feil på kabler på 1-22 kV. Det er ikke tall fra deres nett, men tall de har fått rapportert fra andre norske nettselskaper. Tallene er gitt som 5 års glidende gjennomsnitt. Figurene viser at feilraten for kortvarige feil er ekstremt mye høyere for luftnett enn for kabel gravet ned i jord. Feilraten for langvarige feil er også noe høyere for luftnett.



Figur 1 - Feilfrekvens for kraftledninger vist som glidende 5 års gjennomsnitt, 1-22 kV [8]



Figur 2 - Feilfrekvens for jordkabel vist som glidende 5 års gjennomsnitt, 1-22 kV [8]

### 3.5.3 Reparasjon av feil (Noe redigert sitat fra [1])

Nedetiden for en jordkabelfeil er ofte betydelig høyere enn for feil på luftlinjer. For 11 kV til 22 kV er feilen normalt funnet innen en time for luftlinje, og fikset innen ytterligere 5 timer har gått [7]. Feilsøking på kabler kan være vanskelig og kan kreve spesialister. For kabler på det samme spenningsnivået, er gjerne tiden fra feilen

oppstår til den er fikset rundt 16 timer, og mer om feilen skjer om natten når det er mørkt [7]. For 66 kV -132 kV regionalnett er nedetiden som regel en del lengre: ca. 1 døgn for luftlinjer, og 1-2 uker for kabler. Forskjellen i nedetid mellom jordkabel og luftlinje øker kraftig med økende spenningsnivå [7].

De lange utetidene til kabler gjør at det kan medføre krav om ekstra kabler eller luftlinjer for å bedre forsyningssikkerheten på viktige deler av nettet. Feilraten til nye kabler som kommer de neste tiårene, forventes ikke å synke spesielt mye sammenlignet med de man bruker i dag, da hovedårsaken til feil på kablene som produseres i dag, er graveskader. Nye kabler som legges i dag, er imidlertid mer motstandsdyktige mot vanntrær enn kabler som ble lagt da PEX-kabelteknologien var ferskere. Dermed vil trolig feilraten på kabler i nettet synke videre fremover etter som de gamle kablene etter hvert erstattes av nye [4].

#### **3.5.4 Forskjell på feilomfang mellom jordkabler og luftlinjer (Noe redigert sitat fra [1]).**

Jordkabler har som nevnt lavere feilrate, men lengre nedetid for hver feil. Fordelingen av hvor og når feilene skjer på kabler er ganske tilfeldig, og feil skjer ofte uavhengig av hverandre. Stormer og lignende kan føre til at store deler av luftlinjene til et nettselskap blir skadet samtidig. Dermed ser man en ganske annerledes karakteristikk på feil for de to alternativene. En fordel med kabel vil være at feilene som regel fordeler seg slik at det er lett å ha nok bemanning, med forholdsvis jevn arbeidsbelastning. Om man har masket nett, vil dessuten nettet fortsatt kunne driftes med én feil. Jordkabler er imidlertid utsatt for flom, så man bør være forsiktig med bruk av dette i flomutsatte områder. For luftspenn vil det i perioder med uvær være et behov for veldig høy bemanning i forhold til hva som kreves ellers. En fordel med sistnevnte er at man med værvarsler kan forbedre beredskapen når det er meldt uvær. Det kan imidlertid bli så mange feil at det blir vanskelig å håndtere. Det kan oppstå kaos, og arbeid kan bli utført av dårligere kvalitet når man er stresset. Det er ikke uvanlig at en del regler, retningslinjer og sikkerhetsregler glemmes i slike situasjoner.

Man kan tenke seg at aksepten hos kundene for at strømmen forsvinner under en storm, men fikses relativt raskt, kan være høyere enn at en gravefeil fører til langvarige strømbrudd. Dette kan man for eksempel se antydninger til etter stormene Hilde og Ivar. Spørreundersøkelser viste at omdømmet til NTE hadde blitt bedre etter

uværet enn det var før. Folk så ut til å ha forståelse for at de hadde mistet strømmen under uværet, da andre deler av samfunnet også hadde tatt store skader. Folk var også imponert over hvor raskt ting ble fikset. For gravefeil kan man kanskje tro at det vil være omvendt: Feilårsaken oppleves som unødvendig og klønete, og siden den tar lang tid å fikse, blir man heller ikke imponert over reparasjonstiden.

### **3.6 Driftskostnader (Sitater fra [1], 3.6.3 er redigert)**

#### **3.6.1 Vedlikehold**

Oljekabler krever regelmessig kontroll og evt. etterfylling av olje og søking etter lekkasjer. Utjevningsforbindelser sjekkes for rust. PEX-kabler er greiere å ha med å gjøre, og det er ikke vanlig å drive forebyggende vedlikehold på disse. I driftsfasen av luftlinjer trengs befaringer som ofte gjøres med helikopter med kamera. Skogrydding er viktig for å unngå at trær kommer for nært linjene.

Vedlikehold er som regel en liten del av de totale kostnadene for både jordkabler og luftlinjer.

#### **3.6.2 Avbruddskostnader**

Det kan bli mye nedetid per feil for kabler i forhold til luft. På spenningsnivå 132 kV og høyere er reparasjonene gjerne veldig omfattende.

#### **3.6.3 Tap**

Som regel er tapene høyere for linje, men det er fordi man for luftlinjer velger tynnere ledere med høyere tap fordi det er mest optimalt økonomisk. Man velger som regel linjetykkelsen slik at tapskostnadene blir maks 10-20 % av investeringskostnadene [4].

For kabler velger man ofte høyere tverrsnitt enn det økonomisk optimale. Grunnen til dette er at kjøleegenskapene i jorda er dårligere over lang tid. At det er tungvint å oppgradere om lasten skulle øke, gjør også at det kan være fordelaktig å velge et høyere tverrsnitt enn det økonomisk optimale. Kabler opereres veldig mye på under 50 % av nominell kapasitet [5]. Dette gjør at tapene blir mye lavere enn for nominell belastning (25 % av nominell som følge av  $P_{\text{tap}} = I^2 \cdot R$ ), og at temperaturen blir mye lavere (30-35 °C istedenfor 80-90 °C).

Dielektriske tap er betydelige for oljekabler, men de er svært små (ubetydelige) for PEX-kabler.

### **3.6.4 Levetid**

Kabelteknologien er blitt forbedret de siste årene slik at man bør kunne forvente en gjennomsnittlig levetid på 30-40 år for nye kabler. Luftlinjene har en forventet levetid på 60 år, mens tremaster som brukes en del til luftlinjer bør byttes etter 40-50 år.

### **3.7 Belastning (Redigert sitat [1])**

Luftlinjer har kort tidskonstant for temperaturforandring, men de tåler å operere på ganske mye høyere temperaturer enn det som er den forventede temperaturen når de blir 100 % belastet [3]. Luften rundt skiftes ut siden den stiger når den varmes opp. Det betyr at luftlinjer gjerne kan gå i lang tid på moderate overbelastninger uten at det er andre problemer enn høyere tap. De tåler imidlertid sterke overbelastninger dårlig selv i korte perioder, siden tidskonstanten for temperaturforandring er så kort. Det finnes en type luftlinjer som kalles ”Low sag”-linjer. Disse kan operere på høyere temperaturer enn vanlige linjer, og kan dermed overbelastes mer. Dette fører til høye tap, men kan være en billig løsning for oppgradering av eksisterende nett.

Etter som at kabler er gravet ned i jord eller kanskje til og med i spesiell termisk sand, har den en høy tidskonstant for temperatur, 30-100 timer [9]. Kabler tåler dårlig å operere på temperaturer høyere enn det som er forventet temperatur ved kontinuerlig 100 % belastning [3]. Mange kabler belastes normalt langt under det som er maksimal belastning, og de har derfor en mye lavere temperatur enn maksimal temperatur. Disse kablene kan derfor overbelastes ganske kraftig i kortere perioder, men når temperaturen til massen rundt til slutt har blitt høy, vil varmetapet til kabelen være lavt, og den kan ikke lenger belastes høyt uten å ta skade av det.

På sommerdager hvor det blåser, eller om vinteren, når det er kaldt ute, kan luftlinjer belastes mer enn vanlig på grunn av de forbedrede kjøleegenskapene de da får. Dette kan komme godt med i Norge hvor det er høye effektopper om vinteren grunnet elektrisk oppvarming.

### **3.8 Fremkommelighet (Sitat [1])**

Noen ganger er man nødt til å bruke kabel. Dette kan gjelde kryssing av fjorder, tilknytning til innendørs nettstasjon og i tettbebygde strøk. Det kan fort oppstå tvister

når stolper til luftlinjer står i veien når folk ønsker å bygge for eksempel boliger. I tettbebygde områder kan det være en nærmest umulig oppgave å finne plasser å ha mastene. Kabler kan for eksempel ligge under fortau, og blir dermed ikke i veien for folk og bygninger. Kabling av luftlinjer kan dermed frigjøre areal som kan brukes til andre ting. Ellers er luftlinje ganske lettvinnt siden de kommer lett over hindre. De trenger bare et mastepunkt her og der, og linjene går gjennom luft. Kabler krever sammenhengende vei, og må gjennom alle hindre. Dette kan bety at det må gjennom fjell, vann og det som er.

Formelle sider ved ervervelse av trasé er som regel enklere og raskere om man velger å legge kabel i jord. Spart tid kan bety sparte penger. Det må imidlertid ofte legges i samarbeid med legging av andre rør og kabler. Det kan være upraktisk å måtte vente eller legge før man ønsker, men det er fordeler som at gravekostnadene kan deles mellom flere aktører, og at den totale gravearbeidsperioden som er sjenerende for trafikk og andre, kan bli kortere enn om det skulle graves flere ganger. Om det i forbindelse med annet gravearbeid legges rør for etterlegging av kabler, trenger ikke kablene å trekkes gjennom rørene før senere, når det passer nettselskapet eller entreprenøren best.

### **3.9 Lastutvikling**

De siste årene har energieffektiviteten til forbrukerelektronikk blitt bedre. Dette kommer blant annet av strengere regler fra EU som setter strenge regler for energieffektivitet, og blant annet har ført til en stor nedgang i energiforbruk når utstyr står i stand-by mode [10]. Energimerking av produkter som hvitevarer og brunevarer har hjulpet forbrukere å se hvilke aktører som har gjort en god jobb når det gjelder energieffektivisering. Hovedsakelig fører det til lavere varmeutvikling, noe som gir lavere kjølebehov der det er aktuelt, og generelt gir lavere energiforbruk dersom man ikke uansett har behov for oppvarming. Om oppvarmingsbehovet ikke dekkes av elektriske apparater, vil energieffektiv forbrukerelektronikk føre til lavere elektrisk energiforbruk.

En annen trend man ser ellers i Europa er at det settes solceller på hustak, og at disse kobles til strømmettet slik at man kan få omvendt strømretning når forbruket er lavt og produksjonen fra solcellene er høy. Dette kan gi nye utfordringer for nettselskapene,



men det er lite trolig at mange vil installere så mye effekt at det skal bli dimensjonerende for tverrsnitt på leder til kabler og linjer.

Det har også kommet en del nye typer produkter for energisparing som bør nevnes. Viktige kjennetegn ved disse er at de enten gjør oppgaver som tidligere brukte fossile brenslere og lignende med elektrisitet isteden, eller de har funnet en ny smart måte å bruke elektrisitet på for å senke energiforbruket. Noen gode eksempler på dette er: gjennomstrømningsvannvarmere, elbiler, induksjonsovner og varmepumper.

Gjennomstrømningsvannvarmere er energieffektive fordi de kan varme opp vannet det øyeblikket det er behov for varmtvann. Man kan derfor slippe varmetapet fra varmtvannstanker slik man har i dag.

Elbiler er energieffektive sammenlignet med tradisjonelle biler, og siden de henter energi fra strømmettet, kan energien komme fra mer miljøvennlige energikilder.

Induksjonsovner gir mer av varmen direkte til det man ønsker å varme opp. De leveres også med svært høy maksimaleffekt, noe som gjør at maten varmes opp raskt.

Varmepumper har høy virkningsgrad. En blanding av lønnsomhet og pålegg fra myndigheter, har gjort at mange har gått vekk fra forbrenning av fossile brenslere for oppvarming, og erstattet det med varmepumper. Varmepumper har også blitt installert i mange hjem der man ellers brukte alternative energikilder som biobrensel. Mange som baserte seg på elektrisk oppvarming med panelovner, har også installert varmepumper. Det er verdt å merke seg at mange øker innetemperaturen når de får seg varmepumpe, og at nedgangen i energiforbruk derfor ikke blir like stor som man kanskje ville forvente.

Alle disse nye produktene skal altså hjelpe oss å få ned det totale energiforbruket. Noen av dem gir imidlertid høyere elektrisitetsforbruk, siden de erstatter produkter som tidligere hentet energi fra alternative energikilder. Det som er enda viktigere å merke seg for nettselskapene, er at alle disse produktene har høye effektbehov i korte perioder. De tre første sier seg selv, de skal levere mye energi over så kort som mulig tid.

Det siste produktet, varmepumper, har to viktige utfordringer for nettselskaper. For det første gir de spenningsdropp i nettet når kompressoren starter. Det andre er at de, selv om de i teorien er mer energieffektive enn panelovner, i praksis kan medføre at effektbehovet de kaldeste dagene øker. De har veldig lav virkningsgrad når det er veldig kaldt ute. Dette fører til at forbrukere må supplere oppvarmingen med annet utstyr når det er på det kaldeste. I praksis ser det ut til at mange forbrukere har kjøpt billige oljeovner som bruker elektrisitet som energikilde for disse dagene. Det betyr at energibehovet de kaldeste dagene der forbruket er høyest, i større grad enn tidligere dekkes av elektrisitet, med virkningsgrad på ca. 1. Dette er fordi mange av de som har installert varmepumpe, ikke brukte elektrisitet til oppvarming tidligere. Denne problematikken kalles ”varmepumpeeffekten”.

Samfunnet har mange muligheter til å bli mer energieffektivt i fremtiden, men som vist i dette delkapittelet så er det stor mulighet for at effektbehovet for elektrisitet vil øke.

## 4 Teori

### 4.1 Tap [11]

Tapene i et strekk med strømnnett i trefase kan skrives som:

$$P_{tap} = 3 \cdot I^2 \cdot R [W] \quad \text{Formel 4-1}$$

Om motstanden R gis i ohm per kilometer, vil svaret være gitt i watt per kilometer. Multipliseres uttrykket med  $10^{-3}$  får man uttrykket gitt i kW/km.

$$\Delta P = 3 \cdot I^2 \cdot r \cdot 10^{-3} [kW/km] \quad \text{Formel 4-2}$$

### 4.2 Brukstid for tap [12]

Brukstid for tap er en viktig parameter for å beregne tapskostnader. Den er definert som:

$$T_t = \frac{\Delta W}{\Delta P_{maks}} [timer] \quad \text{Formel 4-3}$$

Der:

$\Delta W$  er energitapene i perioden [kWh]

$P_{maks}$  er det høyeste effekttapet i perioden [kW]

For eneboliger ligger brukstiden for tap gjerne på ca. 2500 timer. Når man regner med sammenlagringseffekten for mange boliger, blir den høynet til 3950 timer.

### 4.3 Tapskostnader [13]

Tap i nettet kan sies å ha to hovedulempner for samfunnet. Energien som går med til tap, må produseres, og det koster penger å produsere den energien. Det andre er at tapene beslaglegger kapasitet på nettet og hos kraftprodusentene. Denne kapasiteten kunne ellers vært brukt til å transportere mer energi i nettet. Man er også avhengig av å ha høyere maksimal produksjon i tunglasttimen for å kunne dekke både makslasten i systemet og tapene i denne perioden. Tapene i det norske nettet utgjør ca. 8 % av energien produsert, og ca. 15 % av maks effekt.  $K_{pekv}$  er en konstant som tar for seg begge disse kostnadene for tap. Den har ett ledd for kostnad av tapt effekt i tunglasttimen, og ett ledd for kost av energitap. Det siste leddet multipliseres med brukstid for tap. For å finne tapskostnadene, multipliserer man effekttapet i tunglasttimen med  $K_{pekv}$ . Matematisk kan dette skrives:

$$K_{Tap} = k_p \cdot \Delta P_{maks} + \int k_w(t) \cdot \Delta P(t) dt \quad \text{Formel 4-4}$$

Der

- $K_{Tap}$  = Kostnader av tap [kr/år]  
 $k_w(t)$  = Energikostnad ved tidspunkt t [kr/kWh]  
 $k_p$  = Kostnad av maksimale effekttap (tunglast) [kr/kW år]  
 $\Delta P_{maks}$  = Maksimale effekttap (tunglast) [kW]  
 $\Delta P(t)$  = Effekttap tidspunkt t [kW]

Omformer likningen over som følger:

$$K_{Tap} = k_p \cdot \Delta P_{maks} + \Delta P_{maks} \cdot k_{wekv} \int \frac{\Delta P(t)}{\Delta P_{maks}} dt \quad \text{Formel 4-5}$$

$$K_{Tap} = k_p \cdot \Delta P_{maks} + \Delta P_{maks} \cdot k_{wekv} \cdot T_t \quad \text{Formel 4-6}$$

$$K_{Tap} = (k_p + k_{wekv} \cdot T_t) \cdot \Delta P_{maks} \quad \text{Formel 4-7}$$

$$K_{Tap} = k_{pekv} \cdot \Delta P_{maks} \quad \text{Formel 4-8}$$

Der

- $k_{wekv}$  = Ekvivalent årskostnad av energitap [kr/kWh]  
 $k_{pekv}$  = Ekvivalent tapskostnad referert tapenes årsmaksimum [kr/kW år]  
 $T_t$  = Brukstil for tap [timer/år]

$$k_{pekv} = k_p + k_{wekv} \cdot T_t \quad \text{Formel 4-9}$$

Har man  $\Delta P_{maks}$  og en konstant  $k_{pekv}$  som passer med det systemet man vil undersøke, kan man altså finne tapskostnadene i systemet.

#### 4.4 KILE-kostnader [14, 15]

KILE står for kvalitetsjusterte inntektsrammer ved ikke levert energi. Det er en insentivregulering som skal motivere nettselskaper til å ha et mer pålitelig nett med god leveringssikkerhet. Kontrollforskriftens § 9 beskriver hvordan man skal beregne kostnader av avbrudd.

Kostnaden for et avbrudd gis av formelen:

$$K_j = k_{p,ref} \cdot f_{K,m} \cdot f_{K,d} \cdot f_{K,h} \cdot P_{ref} \quad \text{Formel 4-10}$$

der

- $K_j$  = kostnad i kr for avbrudd på tidspunkt j  
 $P_{ref}$  = avbrutt effekt i rapporteringspunktet dersom tilsvarende avbrudd hadde skjedd på referansetidspunktet (kWh/h)

$k_{P,ref}$  = spesifikk avbruddskostnad (i kr/kW) på referansetidspunktet for en gitt varighet

$f_{K,m}$  = korreksjonsfaktor for avbruddskostnad (i kr) i måned m

$f_{K,d}$  = korreksjonsfaktor for avbruddskostnad (i kr) på dag d

$f_{K,h}$  = korreksjonsfaktor for avbruddskostnad (i kr) i time h

$k_{P,ref}$  er gitt i:

Kundegruppe	Kostnadsfunksjon for $k_{P,ref}$ (r = avbruddsvarighet angitt i timer)				
	< 1 min	≥ 1 min og < 1 timer	≥ 1 timer og < 4 timer	≥ 4 timer og < 8 timer	≥ 8 timer
Jordbruk	$5+14,3*t$	$5+14,3*t$	$19+15,6*(t-1)$	$66+14,3*(t-4)$	$66+14,3*(t-4)$
Husholdning	$1,1+9,8*t$	$1,1+9,8*t$	$1,1+9,8*t$	$1,1+9,8*t$	$1,1+9,8*t$
Industri	34	$34+84,7 * t$	$118+82,3*(t-1)$	$365+55,6*(t-4)$	$588+36,5*(t-8)$
Handel og tjenester	16	$28 + 168,3*t$	$196+91,1*(t-1)$	$469+141,3*(t-4)$	$1034+102,4*(t-8)$
Offentlig virksomhet	7	$60+113,2*t$	$173+27,9*(t-1)$	$257+51,8*(t-4)$	$464+17,6*(t-8)$
Industri med el-drevne prosesser	$49+2,8*t$	$49+2,8*t$	$49+2,8*t$	$91+2,8*t$	$91+2,8*t$

$f_{K,m}$  er gitt i tabell 1:

Måned	Jordbruk	Husholdning	Industri	Handel og tjenester	Offentlig virksomhet	Industri med el-drevne prosesser
Januar	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Februar	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Mars	1,10	0,90	0,87	1,00	0,67	1,00
April	1,10	0,90	0,87	1,00	0,67	1,00
Mai	0,90	0,90	0,87	1,00	0,67	1,00
Juni	0,90	0,80	0,86	1,02	0,51	1,00
Juli	0,90	0,80	0,86	1,02	0,51	1,00
August	0,90	0,80	0,86	1,02	0,51	1,00
September	1,00	1,00	0,88	1,06	0,58	1,00
Oktober	1,00	1,00	0,88	1,06	0,58	1,00
November	1,10	1,00	0,88	1,06	0,58	1,00
Desember	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Tabell 1

$f_{K,d}$  er gitt i tabell 2:

Ukedag	Jordbruk	Husholdning	Industri	Handel og tjenester	Offentlig virksomhet	Industri med el-drevne prosesser
Hverdag	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Lørdag	1,10	1,10	0,13	0,45	0,30	1,00
Søn-/helligdager	1,10	1,10	0,14	0,11	0,29	1,00

Tabell 2

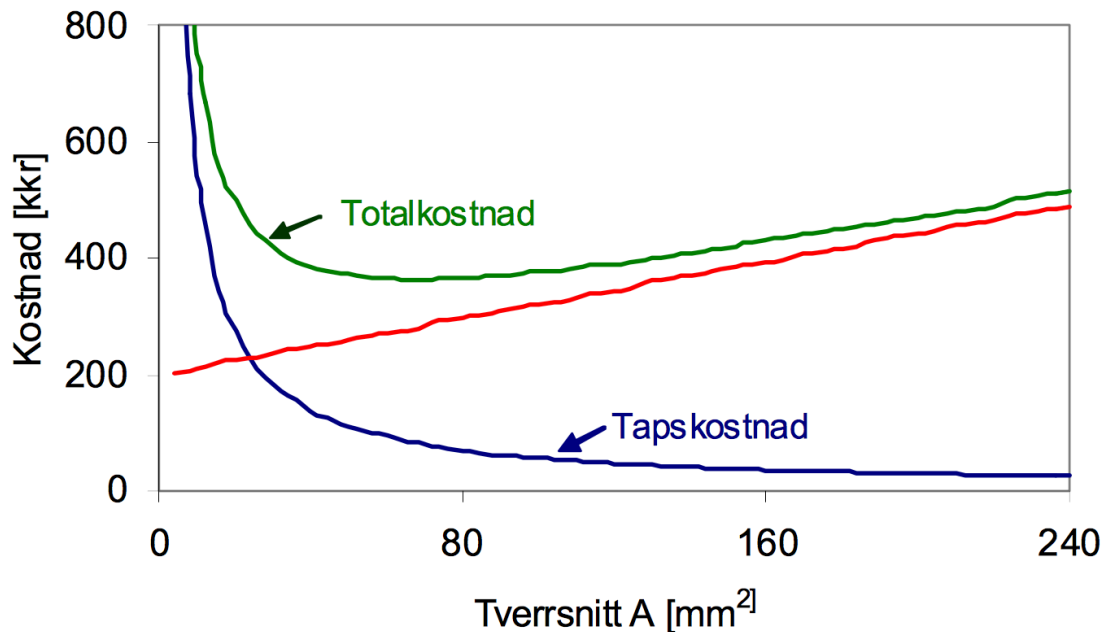
$f_{k,h}$  er gitt i tabell 3:

Klokkeslett	Jordbruk	Husholdning	Industri	Handel og tjenester	Offentlig virksomhet	Industri med el-drevne prosesser
0000–0600	0,80	0,90	0,12	0,11	0,43	1,00
0600–0800	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0800–1200	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1200–1600	0,70	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1600–1800	1,00	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00
1800–2000	1,00	1,10	0,14	0,30	0,31	1,00
2000–2400	0,80	1,10	0,14	0,29	0,31	1,00

Tabell 3

#### 4.5 Økonomisk optimalt tverrsnitt [11]

Investeringskostnader for kabler og ledninger avhenger av tverrsnittet til ledningen. Større tverrsnitt gir høyere investeringskostnader. Samtidig vil taperskostnadene bli mindre med høyere tverrsnitt.



Figur 3 – Illustrasjon av totalkostnadens avhengighet av tverrsnitt. Verdiene er bare illustrerende. Investeringskostnad i rødt, tapskostnad i blått, totalkostnad i grønt.

Figur 3 viser at kombinasjonen av tapskostnader og investeringskostnader vil gjøre at de totale kostnadene blir høye for veldig små og store tverrsnitt. Et sted i mellom får man optimalt tverrsnitt der totalkostnaden er lavest. Ledere kommer i standardtverrsnitt, så man vil som regel måtte velge å gå opp eller ned til nærmeste standard fra det optimale tverrsnittet. Grafen viser at totalkostnaden øker fortere om man går ned i tverrsnitt fra optimal løsning enn om man går opp. Siden det å gå opp også gir rom for utvidelse av last senere, velger man ofte å gå opp til nærmeste standardtverrsnitt.

Investeringskostnaden  $K_0$  kan skrives som:

$$K_0 = (k_0 + k_{tv} \cdot A) \cdot l \quad \text{Formel 4-11}$$

der

$k_0$  = tverrsnittuavhengig kostnad [kr/km]

$k_{tv}$  = tverrsnittavhengig kostnad [kr/km,mm<sup>2</sup>]

$A$  = tverrsnitt [mm<sup>2</sup>]

$l$  = lengde [km]

For å finne tapskostnadene må man først regne ut tapene som beskrevet i formel 4-2. Disse multipliseres med en konstant,  $k_{pgi}$ , som gir de gjennomsnittlige kostnadene av

tapene, og en kapitaliseringsfaktor  $\lambda_{r,N}$  gitt ved renta  $r$  og perioden  $N$  gitt i antall år.

Ved å innføre  $\rho = R \cdot \frac{A}{l} \left[ \frac{\Omega \cdot mm^2}{km} \right]$ , får man formelen:

$$K_{\Delta P} = 3 \cdot I^2 \cdot \rho \cdot \frac{l}{A} \cdot 10^{-3} \cdot k_{pgj} \cdot \lambda_{r,N} \quad \text{Formel 4-12}$$

Formel 4-11 og formel 4-12 kan kombineres til å gi totale kostnader:

$$K_{Tot} = (k_0 + k_{tv} \cdot A) \cdot l \cdot 3 \cdot I^2 \cdot \rho \cdot \frac{l}{A} \cdot 10^{-3} \cdot k_{pgj} \cdot \lambda_{r,N} [kr] \quad \text{Formel 4-13}$$

Ved å derivere uttrykket og sette det lik 0, får man:

$$A_{optimal} = \sqrt{\frac{3 \cdot I^2 \cdot \rho \cdot 10^{-3} \cdot k_{pgj} \cdot \lambda_{r,N}}{k_{tv}}} \quad \text{Formel 4-14}$$

$\lambda_{r,N}$  kan til slutt erstattes med  $\lambda_{r,P,N}$  som tar med en fast prosentvis økning i last i perioden.



## 5 Tidligere arbeid

NVE publiserte et notat [4] i 2003 som diskuterte jordkabel som alternativ til luftledning. Notatet så på alle spenningsnivåer, men en del av fokuset lå på de høyere spenningsnivåene. Noe av bakgrunnen for at notatet ble skrevet var at kabelprisene på de høyeste spenningsnivåene hadde falt mye siden 1995. Man kom frem til at kostnadsforholdet mellom jordkabel og luftlinje ikke hadde forandret seg noe særlig. Dette var fordi etablering av luftledning også hadde blitt billigere, og siden det var mange andre kostnadselementer ved ervervelse av kabel, som graving av grøft, som ikke hadde blitt billigere. Notatet poengterte at den totale trasélengden blir vesentlig lengre ved valg av kabel, og at kostnadskomponenter for de to alternativene derfor ikke uten videre kan sammenlignes.

Notatet forteller at kunder den gangen var misfornøyd med høye kostnader for nettleie. NVE fryktet at omlegging til kabel, siden det er kundene som i stor grad må ta kostnadene for det, kunne vekke store reaksjoner.

NVE fryktet at økt bruk av kabel i regionalnettet og sentralnettet kunne gjøre at nettet ble mer sårbart, etter som at kabelfeil tar lang tid å reparere sammenlignet med luftnett. NVE ønsket derfor at det burde være masket nett om man skulle bruke kabel på disse nettnivåene, slik at kunder ikke blir strømløse i lang tid.

NVE skrev at ”kostnadsforholdet for kabelanlegg tilsier at det er mest å oppnå i forhold til estetikk, nærmiljø og arealbruk ved at kabling prioriteres i distribusjonsnettet” [4]. Dette er interessant for dette arbeidet, siden store deler av NTEs nett er distribusjonsnett.

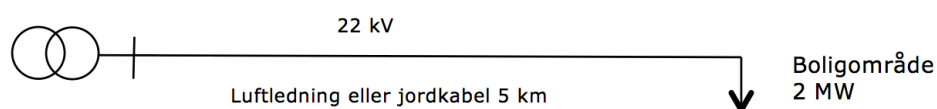
I Planboka på REN.no er det et kapittel som heter ”Kort om kabelnett” [7]. Dette kapittelet beskriver en del fordeler og ulemper med jordkabel kontra luftnett. Det påstås at kunder er villige til å betale en del ekstra for å få nett under bakken, spesielt i hytteområder. På reparasjonstider er det oppsiktsvekkende hvor høye reparasjonstidene kan bli for kabler på spenningsnivå 66 kV og høyere. 1-2 uker for kabel, mens det i snitt er ett døgn for luftnett i følge Planboka. Kapittelet påpeker at det er mange fordeler for kabel med tanke på hvor lett vint det er med de formelle

sidene av ervervelse av trasé for jordkabel. Kapitlet runder av med å si at valget mellom jordkabel og luftnett kan sees på som en funksjon av belastningstettheten i området, der kabel er mest gunstig ved høy belastningstetthet.

## 6 Metode

### 6.1 Del 1 – studie av et enkelt 22 kV nett

I første del av arbeidet ble det gjort økonomiske analyser for et case. Priser varierer veldig fra prosjekt til prosjekt i nettbransjen, det var derfor ønskelig å undersøke hvordan forskjellige forhold påvirket prisene. I dette arbeidet var det ikke tilgjengelig faktiske tall på kostnader på komponenter. REN har kostnadslister på komponenter som viser ”typiske” priser. Disse ble brukt til å lage forskjellige caser. For å undersøke hvordan priser varierer, ble det laget et hovedcase med en 5 km lang kabel/linje som skulle mate en 2 MW last.



Figur 4

Formel 4-14 ble brukt til å finne optimalt tverrsnitt. Man vil ofte være nødt til å velge høyere tverrsnitt enn det økonomisk optimale tverrsnittet for kabler som graves ned. Grunnen til dette er at omgivelsene til kablene blir varmet opp av kablene, og at dette kan føre til overopphetning om man har for lite tverrsnitt. Høyere tverrsnitt gir lavere tap, og dermed produseres det mindre varme. På grunn av de store kostnadene forbundet med å oppgradere nedgravde kabler, kan det lønne seg å velge høyere tverrsnitt enn økonomisk optimalt for å kunne ha fleksibilitet til å legge til mer last uten at man må oppgradere kabelen. Det minste tverrsnittet NTE bruker på kabler og linje på 22 kV nettet er henholdsvis  $95 \text{ mm}^2$  og  $50 \text{ mm}^2$ . Om det økonomiske optimale tverrsnittet skulle beregnes til å være lavere enn dette, måtte altså disse verdiene brukes.

Et slikt nett som i figur 4 ble modellert i NetBas med forskjellige løsninger for overføringsbiten. Én last var tilkoblet med kabel, og én var last tilkoblet med luftlinje. Det ble gjort forsøk med å legge inn både tre enlederkabler og én trelederkabel. Det viste seg at forskjellen var veldig liten mellom disse, og siden statistikkgrunlaget gjorde det vanskelig å skille mellom disse variantene, ble det valgt å bare bruke tre enlederkabler.

Det ble antatt en økonomisk levetid på 50 år for både kabler, luftlinjer og master i dette arbeidet.

### **6.1.1 Tapskostnader**

NetBas har en innebygget funksjon der man kan beregne tap i nettet hvert år i en gitt tidsperiode. En tidsperiode på 50 år ble brukt, og lasten ble satt til å øke årlig med den hastigheten som NetBas har satt som standard. NetBas ble stilt inn til å beregne tapene i tunglastperioden. I det konstruerte nettet i NetBas var begge nettene tilkoblet en nettstasjon mellom 66 kV og 22 kV. Resten av nettet som var tilkoblet samleskinnen på lavspentsiden til transformatoren, ble koblet fra, og trafoen ble trinnert til å tilpasse det nye nettet som var koblet til. Tap ble beregnet med alt det nye nettet koblet til, bare med kabel og bare med luftnett. Slik kunne differanser mellom de forskjellige beregningene brukes til å ta vekk tap som var i transformatoren og andre komponenter i nettet som ikke hadde noe med linjen eller kablet og gjøre.

I Planboka på REN sine hjemmesider er det et dokument om tapskostnader [13]. Dette dokumentet beskriver hvordan tapskostnader skal beregnes, og inneholder prognoser for hvordan tapskostnadene vil utvikle seg fremover. Disse prognosene sammen med de beregnede tapene og formel 4-8 ble brukt til å beregne totale kostnader for tap hvert år i Excel. Brukstiden for tap ble satt til 2400 timer. Disse kostnadene ble så kapitalisert med en rente på 4,5 % og analyseperiode på 50 år.

### **6.1.2 Investeringskostnader**

I RENs prosjektsystem ble forskjellige investeringskostnader beregnet for forskjellige grunnforhold og investeringsvalg. Det lå inne standardutvalg av komponenter osv. for byområder, landsbygd og forstad for kabelprosjekter per km. For luftnett var det ikke en slik inndeling etter byområde, landsbygd osv., så der ble variasjonene i priser mindre. Det var begrenset med muligheter for å få med ekstrakostnadene for luftnett forbundet med byområder. Sammenligning av investeringskostnader i by for kabel og luftlinjer ble derfor ganske villedende. Det virker imidlertid som at det allerede er fungerende praksis å bruke jordkabel i byområder, og ofte er det pålegg om bruk av jordkabel fra kommunen der. På grunn av det dårlige tallgrunnlaget, og at det ofte ikke er pris som blir avgjørende i disse områdene uansett, ble det ikke lagt mye vekt på å sammenligne investeringskostnader i by for kabel og luftlinje. Det ble imidlertid beregnet en del forskjellige caser i by, og så lenge man bare sammenligner

forskjellige jordkabelcaser og luftlinjecaser isolert fra hverandre, kan man finne nyttig informasjon fra disse beregningene. For å få noen forskjellige investeringskostnader for luftlinje, ble det beregnet noen varianter med grunnerstatning for områder med høy bonitet. For kabel ble det også beregnet investeringskostnader om man deler gravekostnader med andre 50 % hver. Det ble beregnet for legging direkte i grøft, og i rør. Det ble beregnet pris for både trekking i ferdiglagte rør, og for å grave ned rørene.

### **6.1.3 Skogrydding**

Med hjelp fra ansatte i NTE ble det funnet gjennomsnittlige skogryddingskostnader for luftlinjer. Disse ble sammenlignet med de på REN sine sider, og de viste seg å være i samme størrelsesorden. For å gi flere scenarier for kostnader av luftlinje, ble det laget forskjellige varianter med forskjellig andel av strekket med behov for skogrydding.

- 0 km med behov for skogrydding
- 1 km med behov for skogrydding
- 3,5 km med behov for skogrydding
- 5 km med behov for skogrydding

Kostnadene ble kapitalisert med en rente på 4,5 %. Det vil være nærliggende å tro at prisene vil øke i takt med prisstigningen generelt i samfunnet. Prisstigningen generelt i samfunnet ble antatt til å være 2 % årlig.

### **6.1.4 KILE-kostnader**

I NetBas lå det inne feilstatistikk fra NTE for 2009 til halvveis ut i 2014. Det var adskilt mellom jordkabel og luftlinjer, slik at det kunne bli beregnet forskjellige KILE-kostnader for de forskjellige alternativene. Det ble beregnet KILE-kostnader for alle typer kunder som kontrollforskriften [14] deler kundene inn i. KILE-kostnader ble beregnet med gjennomsnittsverdier på konstantene for måned, time og ukedag, og det ble beregnet med verdier for november og desember for å finne følsomhet for forskjellen på disse månedene. Det ble beregnet hvor mye en feil med gjennomsnittsvarighet ga i KILE-kostnad, og dette ble så ganget med antall feil gjennomsnittlig pr år for den lengden kabel eller linje det var i caset. KILE-kostnadene ble kapitalisert med en 50-års analyseperiode og 4,5 % i rente. Verdien for avbrutt effekt ble satt til 2 MW. I virkeligheten vil den avbrutte effekten variere, men det ble gjort en forenkling i arbeidet ved å sette den lik makslasten.

### 6.1.5 Feilstatistikk

Feilstatistikken var fordelt mellom feil på over og under 3 minutters varighet. Snittvarigheten på den siste gruppen var ikke å finne i statistikken. Det viktigste leddet i KILE-kostnadene for kortvarige feil er heldigvis det tidsuavhengige fastleddet, så forskjellen på KILE-kostnader mellom en feil på 3 sekunder og 3 minutter er veldig liten. Det ble gjort en antagelse om at varigheten for alle kortvarige feil var 0 sekunder, slik at kun fastleddet for disse KILE-kostnadene ble gjeldende.

Det viste seg at feilstatistikkgrunnlaget for feil i luftnettet ikke hadde med de månedene som hadde de tre store uværene som hadde vært i perioden: Dagmar, Hilde og Ivar. Dataene i disse månedene var isteden byttet ut med tilsvarende måneder i normalår. Uværene ga store ødeleggelser i strømmettet, og skilte seg ekstremt ut sammenlignet med tilsvarende måneder andre år. I dette arbeidet var det imidlertid interessant å se på følsomheten for en økning i ekstremvær. Det ble laget tre feilstatistikker ut i fra tre prognoser som ble utformet for utviklingen av været fremover.

- Prognose 1 var at været ville være som i feilstatistikken til NTE i perioden 2009 til midten av 2014, altså *uten* de tre store uværene Dagmar, Hilde og Ivar.
- Prognose 2 var at været vil bli som i perioden 2009 til midten av 2014, men uten uværene Hilde og Ivar. Uværet Dagmar var altså med i denne prognosen.
- Prognose 3 var at været fremover vil være helt likt som det var i perioden 2009 til midten av 2014, med alle uværene i denne perioden.

Siden kabelnettet under bakken ble veldig lite påvirket av ekstremværet, var feilstatistikken til NTE for kabelnett basert på hele tidsperioden 2009-midten av 2014 uten unntak. Etter vurdering ble det bestemt at det ikke var nødvendig med forskjellige vær-caser for utregning av KILE for jordkabel i dette arbeidet heller.

De siste årene har været vært verre enn normalt. Scenario 3 kan derfor virke noe ekstremt. Det er imidlertid forventet at mengden ekstremvær vil øke fremover som en konsekvens av global oppvarming. Kanskje vil været slik det har vært de siste årene være en smak av hva som vil være vanlig om 30-40 år?

### **6.1.6 Reparasjonskostnader**

Det var vanskelig å finne statistikk på kostnader for gjenoppbygging av ødelagt nett. Spesielt vanskelig var dette for ødeleggelser etter storm, da dokumentasjonen ofte var begrenset i detaljer på dette området etter stormer.

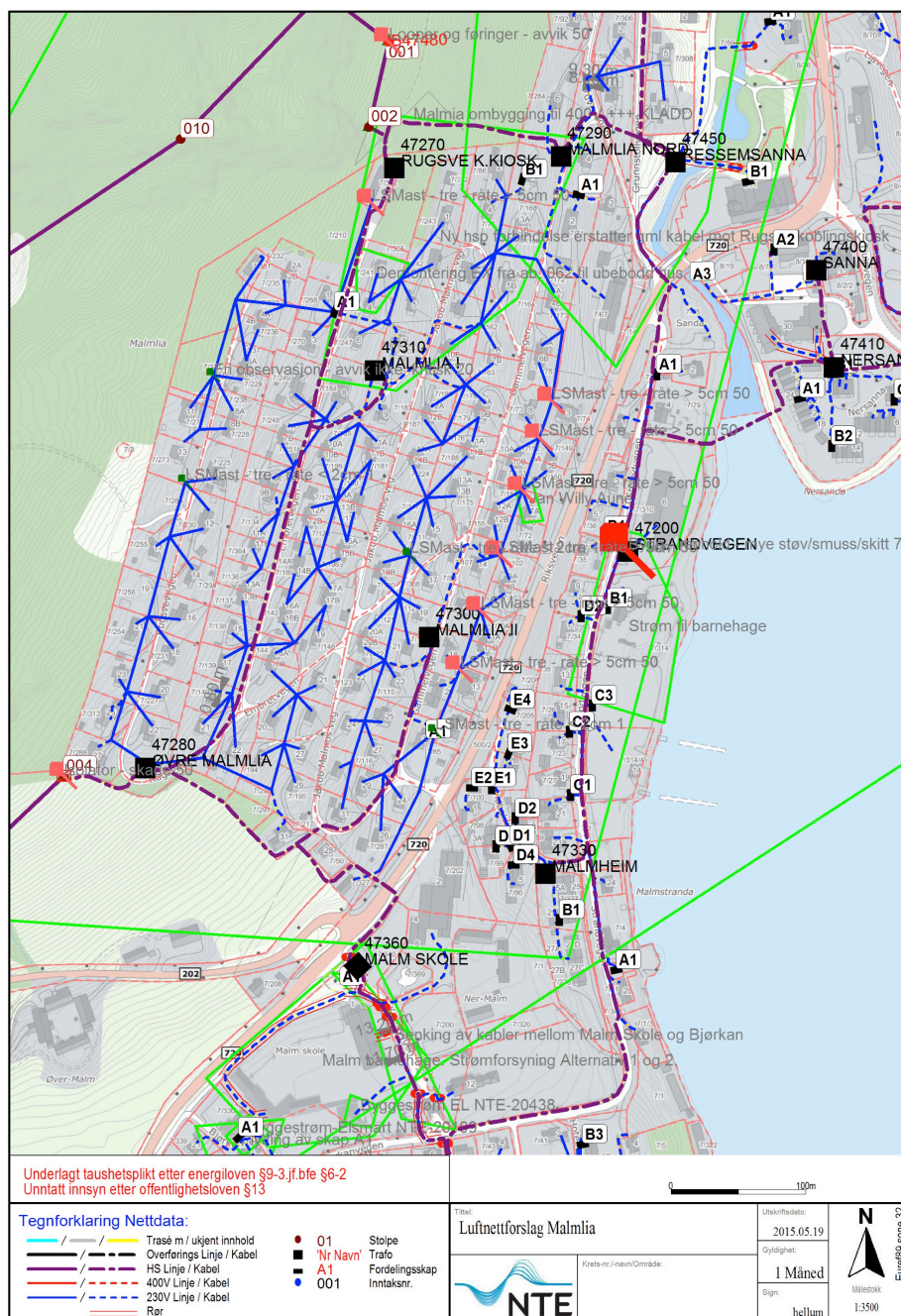
I arbeidet med undersøkelse av reparasjonskostnader, ble det gjort et utvalg av driftsforstyrrelser som lå inne i NTEs system fra 2009 til slutten av 2014. Altså en noe lengre periode enn det feilstatistikken til NTE hadde brukt. Ved å velge ut enkelthendelser som virket interessante, kunne disse sendes til ansatte hos NTE for å finne ut hva reparasjonskostnadene lå på. Det var ikke alltid like lett å finne ut reparasjonskostnader for enkelthendelser. Hvis det for eksempel var storm, kunne større deler av nettet være ødelagt, og regningene som lå inne i systemet kunne da gjelde for mange feil kombinert. Siden arbeidet med å finne kostnadene for reparasjoner måtte gjøres manuelt for hver feil, kunne det ikke brukes store datagrunnlag, da det ville tatt for lang tid.

For å få mer innsikt i feilstatistikken, ble det utformet egne feilstatistikker ved bruk av avbruddshistorikken til NTE. Dette skulle gi innsikt i hva som påvirker feilstatistikken, hvor nøyaktig den er og hvor mye usikkerhet det er i den. Feil i 22 kV nettet ble eksportert fra NetBas til Excel. Her ble det gjort mange forskjellige utvalg. Deriblant ble det funnet gjennomsnittlige avbruddstider for feil der man var sikker på hvor feilen var. Det var mange feil med ukjent anleggsdel med feil, eller at feilen var i en annen anleggsdel, men at feilen kunne skyldes hendelse i luftlinjer. Det ble gjort forsøk på å lage statistikker som tok høyde for dette. Det ble også laget statistikker med og uten ekstremvær. Dette ble også gjort tidligere i arbeidet ved hjelp av NTEs feilstatistikk, men nå ble statistikken laget selv fra bunnen av som en del av arbeidet. Det kunne være verdifullt for å få mer innsikt i hva som var typiske feilårsaker, og hva som påvirker feilstatistikken.

### **6.2 Del 2 – Valg av nedgravet kabel eller luftlinje i Malmlia**

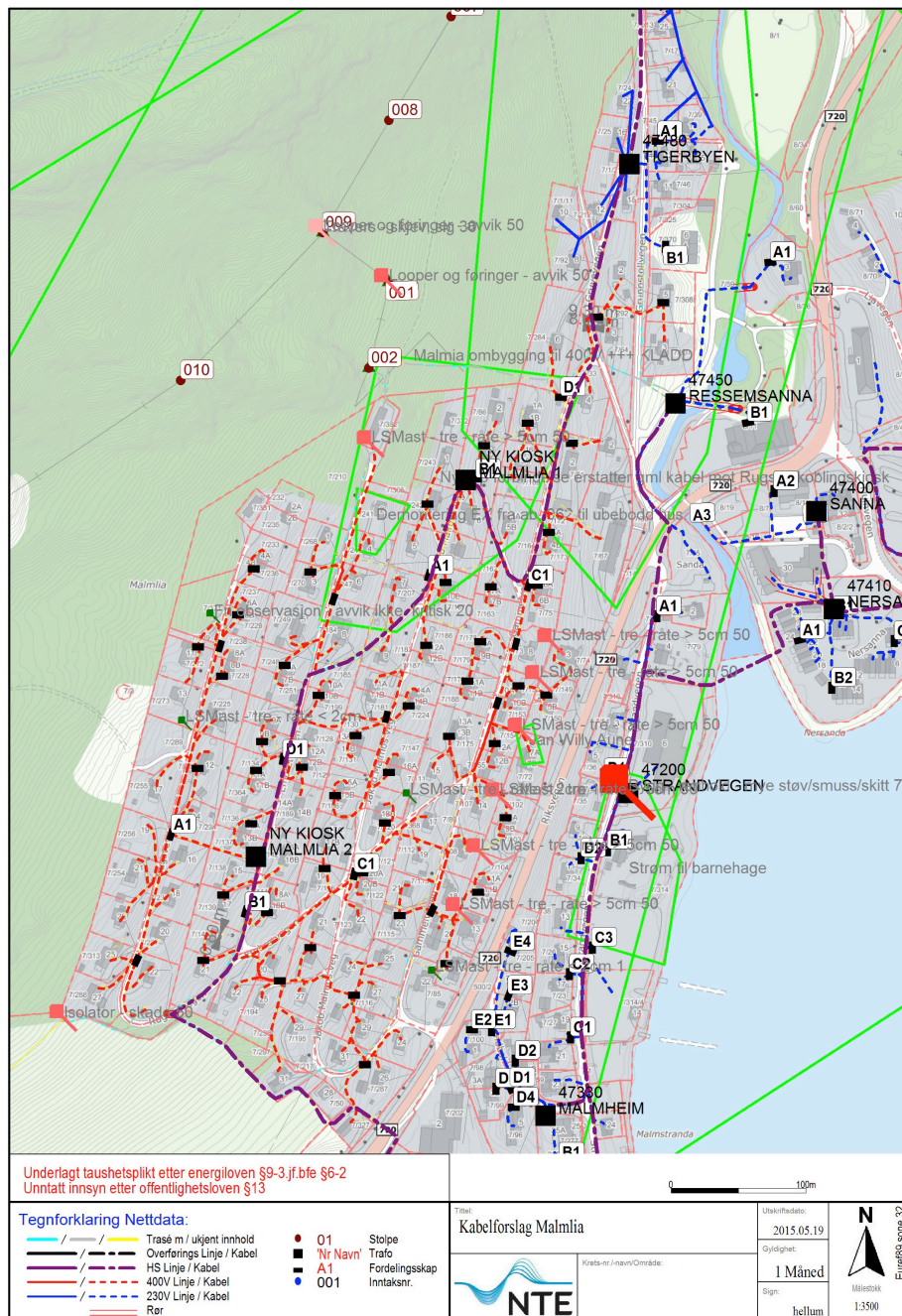
I andre del av arbeidet ble et prosjekt NTE har på Verran brukt som et reelt case. På Verran er det et boligområde med ca. 150 boliger som heter Malmlia. I dag er de fleste av disse tilknyttet strømmettet med luftlinje. Distribusjonsnettet i området er luftlinje. Noen få boliger har nedgravet kabel som stikkledning. Høyspentnettet i

området er nedgravet kabel. Noe av dette kabelstrekking er veldig gammelt. NTE er godt i gang med planlegging, og har også så vidt begynt å bygge om dette nettet til nedgravet kabeldistribusjonsnett. I dette arbeidet vil det gjøres en økonomisk analyse på om dette prosjektet er lønnsomt, eller om man heller burde basert seg på å fornye det eksisterende nettet. Det vil legges vekt på investeringskostnader, tapskostnader og KILE-kostnader. Det vil også legges litt vekt på praktiske forhold ved de to løsningene.



Figur 5 – Kart over nettet slik det er i Malmliia i dag.





Figur 6 - Kart over planlagt ombygging av nettet i Malmia

### 6.2.1 Dimensjonering

Det forventes høyere makseffekt i fremtiden[16], mens gjennomsnittsförbruket trolig vil stige moderat, eller kanskje til og med gå ned på sikt. Dette kan kanskje føre til at valg av leder vil avhenge mindre av tapsekostnader og mer av begrensninger i tunglasttiden. Den maksimale oppgitte ytelsen for noen av de mest vanlige luftledningene er:

- EX 3\*25mm<sup>2</sup>: 120 A
- EX 3\*50mm<sup>2</sup>: 180 A
- EX 3\*95mm<sup>2</sup>: 280 A

EX 3\*25mm<sup>2</sup> er mye brukt i dagens nett i Malmlia. Disse blir derfor valgt i forslaget til fornying av nett i Malmlia ved valg av luftledning. Unntakene vil være der det evt. er økonomisk optimalt med tykkere ledere. Dette vil kunne være aktuelt om det totale energiforbruket er høyt.

I beregningene av optimalt tverrsnitt ble  $k_{tv}$  beregnet til 290 kr/(mm<sup>2</sup>\*km) i området mellom 25 mm<sup>2</sup> og 50 mm<sup>2</sup>, og 400 kr/(mm<sup>2</sup>\*km) i området mellom 50 mm<sup>2</sup> og 95 mm<sup>2</sup>.  $k_{pgj}$  ble beregnet ved å bruke verdier for  $k_{pekv}$  for fremtiden estimert i planboka [13]. Hver verdi ble multiplisert med en tilhørende kapitaliseringsfaktor og en faktor for forventet økt last på linja. Disse ble summert, og på denne måten ble  $k_{pgj}$  og  $\lambda_{r,P,N}$  slått sammen til en konstant.

Kabelforslaget er allerede laget av NTE, så det ble forsøkt kopiert i dette arbeidet. Det var altså ikke behov for å beregne optimale løsninger for dette alternativet. Maksimal strøm i stikkledningene som ble brukt i kabelforslaget, var for øvrig 180 A.

### 6.2.2 Lavspent distribusjonsnett

Det er en del kabler i det eksisterende nettet i dag. Det kan være naturlig å tro at noen av kundene kan ha betalt for å få lagt om stikkledning fra luftledning til nedgravet jordkabel. Det vil være synd å skulle bytte om dette til luftledning igjen i slike tilfeller. Noen av kablene er også ganske nye. Det kan også være andre praktiske grunner til at kabel er valgt. I utregningene blir det derfor valgt kabel i begge casene der dette allerede er valgt. Kabler av sære typer blir imidlertid byttet til standardkabler. Disse standardkablene er: TFXP 4x25Al, TFXP 4x50Al, TFXP 4x95Al, TFXP 4x150Al, og TFXP 4x240Al. De fleste kablene har oppgitt byggeår satt til 1900. Dette er trolig en standardverdi som blir satt om man ikke dokumenterer rett når man bygger nytt. På grunn av det dårlige grunnlaget man har for alder på lavspentnettet, blir det beregnet hva det ville koste å bygge det meste på nytt. Unntaket blir kablene som er oppgitt til å være under 20 år gamle. Disse har fortsatt

mye igjen av levetiden sin. Sistnevnte gjelder imidlertid bare ni kabler, så det meste byttes ut.

For å forenkle arbeidet med investeringskostnadene, ble gjennomsnittslengden på stikkledningene regnet ut og brukt til å finne total pris for alle stikkledningene. Antall master ble telt over slik at det skulle bli riktig, og ikke bare bli regnet ut i fra standardverdier. Det var imidlertid vanskelig å vite hva som trengtes av barduner, og hvor man måtte ha strevere isteden. RENS standardverdier for dette ble brukt. I tillegg ble det lagt til 7 master av ulike slag for å få det til å matche med antall master som står i Malmlia nå.

Demonteringskostnader for master og ledninger ble ikke betraktet, og det antas at de vil være ganske like i begge tilfellene.

Det er verdt å merke seg at total lengde for luftnett og kabler i det eksisterende nettet er kortere enn hva det er for det planlagte nye nettet med nedgravde kabler.

### **6.2.3 Høyspentkablene**

I dagens eksisterende nett ligger det høyspentkabler som er nedgravet. Å skulle bruke høyspentlinje i luft vil i dette eksemplet være ganske tungvint. Da måtte man ha bygget luftlinjer rundt hele området, i skogen, og bygget nye nettstasjoner der. Dette har blitt sett på som en for tungvint løsning. Den ville nok også bli ganske dyr på grunn av den økte lengden man får når man må gå rundt boligområdet, og at man ikke har mulighet for gjenbruk av nettstasjoner. Hensyn til friluftslivet til beboerne blir også bedre tatt i hensyn når man har kablene under jord. Det vil derfor brukes høyspentkabler i begge casene.

I luftlinjeforslaget vil man bytte ut et kort kabelstrekk. Det er kabelen mellom nettstasjonene Rugsve og Malmlia Nord, en gammel oljekabel fra 1954. I prosjektoppgaven som innledet dette arbeidet ble det diskutert noen av ulempene med oljekabler. Denne nærmer seg nok slutten av levetiden, og det vil være naturlig å ha med kostnaden av fornyelse av denne når man beregner kostnad av fornyelse av eksisterende nett kontra å bygge om til jordkabel. Resten av høyspentkablene vil kunne gjenbrukes, og det vil være mye penger å spare på dette. De vil først ha behov

for fornying ca. i år 2048. Kostnadene for fornying av disse er derfor kapitalisert, noe som gir sterk reduksjon i kostnad. I kabelcaset vil det graves nye kabler, med mye kortere total lengde. Dette kommer blant annet av at det skal bygges nye nettkiosker. Det vil bli færre nettkiosker i kabelforslaget enn hva det er i dag.

#### **6.2.4 Nettstasjonene**

I dag er det fire nettstasjoner/nettkiosker i det eksisterende nettet. I forslaget om å bygge om til kabel er det meningen at disse skal rives, og at to nye skal bygges.

De prefabrikkerte nettkioskene som lå inne i RENs prosjektsystem som hadde trafo med ytelse nærmest det som var aktuelt å bruke i Malmlia, hadde 315, 500 og 800 kVA trafoer. For kabelalternativet ble det valgt én på 315 kVA, og én på 500 kVA. Dette gir totalt 125 kVA mindre enn det som er i forslaget, men det ser ut til at forskjellen i investeringskostnad ikke er veldig stor. Kostnader for demontering av nettstasjoner lå i RENs database, og disse ble brukt.

For alternativet med å fornye det eksisterende luftnettet, var det aktuelt å fornye noen av nettstasjonene også. Det ble en vurderingssak hvor mange av dem som måtte fornyes. Nettstasjonen Malmlia I ble bygget i 1958, og transformatoren inni ble bygget i 1977. Denne nærmer seg slutten av levetiden, men den kunne nok levd fint noen år til. Kanskje ville det være naturlig å fornye denne når man først fornyer nettet rundt.

Så har man Malmlia II med byggeår 1953, og trafo fra 1986, og Øvre Malmlia med byggeår 1981 og en trafo fra 1980. Disse er litt mer i grenseland. De har kommet langt ut i levetiden, men det er penger å spare på å ikke fornye oftere enn optimalt. Det er heller ikke noe problem i området at ytelsen på transformatorene er for lav. Denne påstanden begrunnes med at den totale trafoytelsen som skal bygges i kabelalternativet, er mye lavere. Den fjerde nettstasjonen er fra 1991 og har en trafo fra 1991. Det ble antatt en gjennomsnittlig levealder for transformatorer på 45 år. Dermed ble det bestemt at transformatorene hadde 7, 10, 16 og 21 leveår igjen. Investeringskostnadene for nye nettstasjoner ble kapitalisert med faktorer for hvor mange år trafoene hadde igjen av levetiden. Det ble også inkludert kostnad for ny nettkiosk, ikke bare transformatoren inni.

### **6.2.5 Kabelgrøfter**

NTE samarbeider med kommunen som også ønsker å legge rør i området. Man spleiser derfor på grøftekostnadene. Grøftekostnadene ble derfor ikke hentet fra RENs prosjektsystem, de ble isteden beregnet selv. Prisene som ble brukt for NTEs bidrag var 127 kr/meter grøft. Det ble gjort en antagelse at det i rundt år 2048 på nytt ville bli mulighet for å dele grøftekostnader med kommune for legging av nye 22 kV kabler.

De beregnede grøftekostnadene ble lagt inn i RENs prosjektsystem ved at feilaktig grøftelengde som ga riktig pris, ble lagt inn.

### **6.2.6 Tapskostnader**

Tap i nettet ble beregnet i NetBas. Den nye nettkiosken Malmlia 2 ble brukt som svingmaskin. Tapene ble beregnet i perioden 2015 til 2064. Det ble antatt en årlig økning på 0,5 % i last. Med tall fra planboka ble formel 4-8 brukt i Excel for tap hvert år sammen med kapitaliseringsfaktor for tilhørende år.

### **6.2.7 KILE-kostnader**

KILE-kostnadene ble veldig kompliserte å beregne i et så komplisert nett. De vil være forskjellige for hver kabel med feil, ettersom det er forskjellig antall abonnenter som er avhengige av de forskjellige kablene. Det ble derfor beregnet en gjennomsnittlig KILE-kostnad isteden. Det ble gjort ved å anta et omtrentlig gjennomsnitt for antall kunder tilknyttet en kabel, med hensyn til lengden på kabelen. Lasten i tunglasttiden ble brukt. Den ble funnet ved å finne et gjennomsnitt for forbruk pr husstand, og å bruke en brukstid på 2300 timer. Lasten i nettet ble antatt å være 90 % husstander og 10 % handel og tjenester.

### **6.2.8 Vedlikeholdskostnader**

For å beregne vedlikeholdskostnadene ble det brukt en veldig forenklet metode som skal være i bruk hos nettselskaper. Man antar at vedlikeholdskostnadene til luftlinjer i deres levetid vil ligge på ca. 2 % av investeringskostnaden. Tilsvarende vil de gjerne ligge på ca. 1 % av investeringskostnaden for jordkabler. Disse tallene er trolig basert på erfaringer hos nettselskapene.

## 7 Resultater

I noen tabeller i dette kapittelet er det fargeskala på kostnader for å illustrere forskjellen mellom dem. Da er grønn lav pris, gul middels pris, rød høy pris, og blandinger av disse fargene betyr at prisene ligger et sted i mellom prisene til de fargene blandingen består av. Tabell 4 illustrerer fargeskalaen.

Plan	Kostnad [kr]	Forklaring av fargene
Alternativ 1	10 000,00	Billigst
Alternativ 2	20 000,00	Billigere enn sittet
Alternativ 3	30 000,00	Gjennomsnittlig
Alternativ 4	40 000,00	Dyrere enn snittet
Alternativ 5	50 000,00	Dyrest

Tabell 4 – Illustrasjon av fargeskalaen som er brukt i resultatene

### 7.1 DEL 1

#### 7.1.1 Tapskostnader

Alternativ	Totale kapitaliserte tapskostnader
<b>Linje</b>	466 475 kr
<b>Kabel</b>	429 865 kr

Tabell 5

#### 7.1.2 Investeringskostnader

Det ble beregnet en del andre investeringskostnader også, men dette er de som ble brukt i oversikten over totale kostnader. Blant de kostnadene som ikke ble tatt med, var: Legging av kabel i tre rør i betongkanal inkludert kostnader for betongkanalen og rørene, luftnett i områder med høy bonitet og kabler i områder der man må spreng seg gjennom fjell hele veien. Å legge kabler i betongkanal var så dyrt at det ble utkonkurrert av de andre forslagene. Det samme gjaldt når man måtte spreng fjell hele veien. Grunnerstatninger for bonitet var allerede med i luftlinjecasene for normale forhold, så å skru den opp til det maksimale føltes litt unødvendig. Spesielt etter at det ble inkludert kostnader for skogrydding.

Nybygg	Forhold	Typebetegnelse	Investering [kr]
Linje	Standard	FeAL50	3 074 464
Kabel	Normale forhold (100 m sprenging av fjell pr 5 km grøft)		

	Landsbygd	3*1*95	2 469 314
	Forstad	3*1*95	3 066 201
	Byområde	3*1*95	4 342 905
Kabel	Må sprengre fjell halve strekket		
	Landsbygd	3*1*95	3 784 514
	Forstad	3*1*95	4 381 401
Kabel	Sprengre 750 meter fjell, og skifte ut 1350 kubikkmeter løsmasse		
	Landsbygd	3*1*95	3 008 678
	Forstad	3*1*95	3 582 082
Kabel	Sprengre 400 meter fjell, og skifte ut 750 kubikkmeter løsmasse		
	Landsbygd	3*1*95	2 722 948
	Forstad	3*1*95	3 296 352
Kabelnett Legging i rør inkludert kost for legging av rør og graving			
	Landsbygd	3*1*95	2 717 888
	Forstad	3*1*95	3 314 775
Kabel i ferdiggravede rør, ikke inkludert kost for graving av rør og innkjøp av rør			
		3*1*95	1 013 362
Kabel i 4/5 ny grøft og 1/5 ferdiggravede rør (inkludert kost for rør, ikke inkl. graving av dem)			
	Landsbygd	3*1*95	2 219 973
Kabel i rør. Betale alt, men dele gravekostnader 50/50 med noen andre.			
	Landsbygd	3*1*95	1 970 248
	Forstad	3*1*95	2 268 691
	Byområde	3*1*95	2 907 044

Tabell 6

### 7.1.3 Skogrydding beregning

Beskrivelse	Verdi
Pris pr km lavt anslag	8000
Pris pr km høyt anslag	10000
Antall km	5
Antall ryddinger pr år	0,167
Pris pr år snitt av anslagene, 5 km	10833,333
Kapitalisert 50 år 4,5 % rente, 5 km	214088,418
Pris 50 år kapitalisert med 4,5 % rente og 2 % årlig prisøkning, 5 km	307 258 kr

Tabell 7

### 7.1.4 Skogrydding kapitalisert 50 år 4,5 % rente med 2 % årlig prisstigning.

Andel av strekket med behov for skogrydding (5 km totalt)	Kostnad
5 km	307 258 kr
3,5 km	215 081 kr
1 km	61 452 kr

Tabell 8

### 7.1.5 Feilstatistikk

Feilstatistikk	Luftlinje Prognose 1	Luftlinje Prognose 2	Luftlinje Prognose 3	Kabel
Feilrate kortvarige feil [feil/100 km]	4,46	4,81	5,40	0,12
Feilrate langvarige feil [feil/100 km]	4,6	7,59	14,61	1,61
Utetid per langvarig feil i snitt [timer]	2	2,27	3,30	13,23

Tabell 9

Det viste seg å være mye flere kortvarige feil i luftnettet enn i kabelnettet.

### 7.1.6 KILE-kostnader

#### KILE-kostnader, årlige med gjennomsnittskonstanter

Type last	Luftlinje Prognose 1	Luftlinje Prognose 2	Luftlinje Prognose 3	Kabel
Jordbruk	16 046	28 127	73 255	28 159
Husholdning	9 687	17 623	47 820	20 321
Industri	41 284	71 160	179 726	48 265
Handel og tjenester	67 301	117 933	290 550	121 913
Offentlig virksomhet	36 388	61 479	133 418	34 028
Industri med el-drevne prosesser	46 970	65 542	111 542	21 150

Tabell 10

#### KILE-kostnader, årlige med konstanter for november

Type last	Luftlinje Prognose 1	Luftlinje Prognose 2	Luftlinje Prognose 3	Kabel
Jordbruk	17 476	30 634	79 782	30 668
Husholdning	10 416	18 950	51 420	21 851
Industri	40 367	69 579	175 732	47 192
Handel og tjenester	69 941	122 557	301 944	126 694
Offentlig virksomhet	30 587	51 678	112 149	28 603
Industri med el-drevne prosesser	46 970	65 542	111 542	21 150

Tabell 11



**KILE-kostnader, årlige med konstanter for desember**

Type last	Luftlinje Prognose 1	Luftlinje Prognose 2	Luftlinje Prognose 3	Kabel
Jordbruk	17 476	30 634	79 782	30 668
Husholdning	10 416	18 950	51 420	21 851
Industri	45 872	79 067	199 696	53 628
Handel og tjenester	65 982	115 620	284 853	119 523
Offentlig virksomhet	52 736	89 099	193 360	49 315
Industri med el-drevne prosesser	46 970	65 542	111 542	21 150

Tabell 12

**Kapitalisert 50 år 4,5 % rente  
Gjennomsnittlige konstanter**

Type last	Luftlinje Prognose 1	Luftlinje Prognose 2	Luftlinje Prognose 3	Kabel
Jordbruk	317 095	555 853	1 447 661	556 482
Husholdning	191 434	348 270	945 022	401 585
Industri	815 864	1 406 271	3 551 750	953 813
Handel og tjenester	1 330 010	2 330 584	5 741 851	2 409 249
Offentlig virksomhet	719 095	1 214 940	2 636 609	672 455
Industri med el-drevne prosesser	928 222	1 295 247	2 204 299	417 971

Tabell 13

**Kapitalisert 50 år 4,5 % rente  
november**

Type last	Luftlinje Prognose 1	Luftlinje Prognose 2	Luftlinje Prognose 3	Kabel
Jordbruk	345 351	605 385	1 576 661	606 070
Husholdning	205 843	374 484	1 016 153	431 812
Industri	797 733	1 375 020	3 472 823	932 617
Handel og tjenester	1 382 168	2 421 980	5 967 022	2 503 729
Offentlig virksomhet	604 457	1 021 254	2 216 280	565 252
Industri med el-drevne prosesser	928 222	1 295 247	2 204 299	417 971

Tabell 14

**Kapitalisert 50 år 4,5 % rente  
desember**

Type last	Luftlinje	Luftlinje	Luftlinje	Kabel
	Prognose 1	Prognose 2	Prognose 3	
Jordbruk	345 351	605 385	1 576 661	606 070
Husholdning	205 843	374 484	1 016 153	431 812
Industri	906 515	1 562 523	3 946 389	1 059 792
Handel og tjenester	1 303 932	2 284 887	5 629 266	2 362 009
Offentlig virksomhet	1 042 167	1 760 782	3 821 172	974 572
Industri med el-drevne prosesser	928 222	1 295 247	2 204 299	417 971

Tabell 15

Undersøkelser av avbruddshistorikken til NTE viste at trefall over luftlinje var en veldig vanlig avbruddsårsak. Dette skjedde i snitt flere ganger i uken i NTEs nett i perioden som ble undersøkt.

### 7.1.7 Reparasjonskostnader

Datagrunnlaget for reparasjonskostnader var først på 11 feil. Kostnadene varierte veldig. Det ble derfor forespurt pris på 40 nye hendelser. Av disse 40 nye ble det funnet pris for 13. Med de første 11 feilene var snittprisene for reparasjon 35 359 kr for kabel og 21 787 kr for ledning. Med de 13 ekstra var snittprisene 59 445 kr for kabel og 17 227 kr for luftlinje. Det er viktig å merke seg at det bare var 2 de av feilene som ble funnet, som var feil på kabelnett.

### 7.1.8 Feilhistorikk

I det store datagrunnlaget med historikk for alle registrerte driftsforstyrrelser i NTEs nett ble det gjort store utvalg for å finne typiske reparasjonstider og totale avbruddstider. Det viste seg at disse også var ganske like for jordkabel og luftlinje. I hele perioden med stormer og alt i perioden 2009 til slutten av 2014 var gjennomsnittlig total avbruddstid for avbrudd på over 3 minutter ca. 874 minutter for luftledninger, og 760 minutter for kabel. Utelater man de tre største stormene fra datagrunnlaget (Trekker fra alle avbrudd 26.12.2011, 25.12.2011, 18.11.2013, 17.11.2013, 16.11.2013, 15.11.2013, 15.12.2013, 14.12.2013, 13.12.2013 og 12.12.2013) blir gjennomsnittlig total avbruddstid for luftledning redusert til 284 minutter. Utetiden for kabler ble bare redusert til 664 minutter i snitt. Det kommer nok av at det bare var noen få kabelrelaterte avbrudd i stormperiodene. Man kan

merke seg at den gjennomsnittlige avbruddstiden der anleggsdelen ikke var identifisert var 239 minutter for samme utvalg av datoer.

### 7.1.9 Totale kostnader

Totale kostnader ble beregnet for mange forskjellige laster, med november og desember som grunnlag for KILE-kostnader. Tabell 16 viser totale kostnader om lasten er husholdninger. For husholdninger var det samme totale kostnader i november og desember. Resten av resultatene for totale kostnader er vist i tabell 36 og tabell 37.

Nybygg	Forhold	Typebetegnelse	Investering [kr]	Totale kostnader Husholdning
<b>Linje</b>				
Prognose 1	uten skogrydding	FeAL50	3074464	3 746 782
Prognose 2	uten skogrydding			3 915 423
Prognose 3	uten skogrydding			4 557 092
<b>Linje</b>				
Prognose 1	1km skogrydding	FeAL50	3074464	3 808 234
Prognose 2	1km skogrydding			3 976 874
Prognose 3	1km skogrydding			4 618 543
<b>Linje</b>				
Prognose 1	3,5km skogrydding	FeAL50	3074464	3 961 863
Prognose 2	3,5km skogrydding			4 130 504
Prognose 3	3,5km skogrydding			4 772 173
<b>Linje</b>				
Prognose 1	5km skogrydding	FeAL50	3074464	4 054 040
Prognose 2	5km skogrydding			4 222 681
Prognose 3	5km skogrydding			4 864 350
Kabel	Normale forhold (100 m sprenging av fjell pr 5 km grøft)			
	Landsbygd	3*1*95	2469314	3 330 991
	Forstad	3*1*95	3066201	3 927 878
	Byområde	3*1*95	4342905	5 204 582
Kabel	Må sprengte fjell halve strekket			
	Landsbygd	3*1*95	3784514	4 646 191
	Forstad	3*1*95	4381401	5 243 078
Kabel	Sprengte 750 meter fjell, og skifte ut 1350 kubikkmeter løsmasse			
	Landsbygd	3*1*95	3008678	3 870 355
	Forstad	3*1*95	3582082	4 443 759
Kabel	Sprengte 400 meter fjell, og skifte ut 750 kubikkmeter løsmasse			
	Landsbygd	3*1*95	2722948	3 584 625
	Forstad	3*1*95	3296352	4 158 029
<b>Kabelnett Legging i rør inkludert kost for legging av rør og graving</b>				
	Landsbygd	3*1*95	2717888	3 579 565
	Forstad	3*1*95	3314775	4 176 452

Kabel i ferdiggravde rør, ikke inkludert kost for graving av rør og innkjøp av rør			
	3*1*95	1013362	1 875 039
Kabel i 4/5 ny grøft og 1/5 ferdiggravde rør (inkludert kost for rør, ikke inkl. graving av dem)			
Landsbygd	3*1*95	2219973	3 081 650
Kabel i rør. Betale alt, men dele gravekostnader 50/50 med noen andre.			
Landsbygd	3*1*95	1970248	2 831 925
Forstad	3*1*95	2268691	3 130 368
Byområde	3*1*95	2907044	3 768 721

Tabell 16

Prisen for kabel i ferdiggravde rør uten kostnad for graving av rørene og innkjøp av rørene, kr 1 875 039, var så lav at det ble valgt å ikke ha den med i fargeskalaen. Grunnen til det var at den skilte seg så kraftig ut at det ble vanskelig å skille mellom fargen på de andre totalkostnadene.

## 7.2 Del 2

### 7.2.1 Optimalt tverrsnitt

I beregningene av optimalt tverrsnitt ble  $k_{tv}$  beregnet til 290 kr/(mm<sup>2</sup>\*km) i området mellom 25 mm<sup>2</sup> og 50 mm<sup>2</sup>, og 400 kr/(mm<sup>2</sup>\*km) i området mellom 50 mm<sup>2</sup> og 95 mm<sup>2</sup>. Det ble laget en liste over optimale tverrsnitt for husstander etter forbruk. Det ble beregnet fra forbruk på 10000 kWh/år opp til 240000 kWh/år. Det ble beregnet for stikkledning til ett hus, og det ble beregnet for linjer som forsyner mange hus med tilhørende samtidighetsfaktorer. Resultatene av dette ligger i tabell 38.

Det viste seg at de aller fleste husene hadde ganske lave årsforbruk, og at 3x25mm<sup>2</sup> ville holde i massevis for de fleste av dem. Det var ett unntak der optimalt tverrsnitt ville være opp mot 30 mm<sup>2</sup> inn mot en enebolig. En bygning var forretningslokale med mange abonnementer med samlet forbruk som ga høyere optimalt tverrsnitt. Her er det allerede i dag kabel med høyt tverrsnitt. Med tanke på at forretningslokalet sannsynligvis ikke ønsker stikkledning i luft inn til huset, og kanskje til og med har betalt ekstra for at stikkledningen skal være nedgravet kabel, vil begge forslagene bruke kabel her.

I mange tilfeller kunne man kanskje heller gått ned i tverrsnitt hvis man ser på hva som er teoretisk økonomisk optimalt. Med tanke på at 3x25mm<sup>2</sup> er en mye anvendt

standard, vil det sannsynligvis ikke være noen besparelse på å gå ned i tverrsnitt. Å gå ned i tverrsnitt vil nemlig senke maksimaleffekten så mye at det kan bli et problem. Den forventede økningen i makslast sammenlignet med årsforbruk bidrar også til at det ble bestemt at det ikke vil brukes mindre enn 3x25mm<sup>2</sup> som ledere. Det ble også bestemt at å gå ned i tverrsnitt i forhold til det som er i dag ikke skulle være aktuelt. Det kan være ukjente forhold som gjør at tverrsnittet er så høyt i dag.

Stikkledningene slik de er i dag, viste seg å være godt dimensjonert i forhold til beregningene, og i de fleste tilfellene var det bestemmelsen om at man ikke skulle gå under 3x25mm<sup>2</sup> som ble grunnlag for valg av leder.

## 7.2.2 Investeringskostnader

### 7.2.2.1 Fornye eksisterende nett

#### 7.2.2.1.1 Kabler 230 V

I det eksisterende nettet var det en del kabler. Noen kabler skulle beholdes, mens noen ble medberegnet i reinvesteringskostnaden. Oversikt over antall og lengde på kabler av forskjellige tverrsnitt som det skulle investeres i ved 230 V finner man i tabell 17.

230 V Tverrsnitt	Stikkledning		Ikke stikkledning		
	Antall	Lengde	Antall	Lengde	
25	11	0,177			
50	8	0,235	1	0,029	
95	1	0,018	3	0,053	
150			9	0,512	
240	1	0,113	3	0,338	
<b>Totalt</b>	<b>21</b>	<b>0,543</b>	<b>16</b>	<b>0,932</b>	

Tabell 17

#### 7.2.2.1.2 Kabelskap

Typebetegnelse	Pris per stykk [kr]	Bredde [mm]	Antall
KSEÅ 6-50	2360	330	2
KSEÅ 6-72	2849	460	2

Tabell 18

#### 7.2.2.1.3 Kabler 22 kV

Type	Total lengde [km]	Antall
TSLE 3x1x150 AL	0.303	6

Tabell 19

#### 7.2.2.1.4 Kabler 22 kV investeres i 2048

Type	Total lengde [km]	Antall
TSLE 3x1x150 AL	1,021	3

#### 7.2.2.1.5 Luftledninger

230 V Tverrsnitt	Stikkledninger		Ikke stikkledninger	
	Antall	Total lengde beregnet [km]	Antall	Lengde [km]
EX 1X25	106	2,800	11	0,291
EX 1X50	3	0,091	3	0,091
EX 1X95			40	1,714

Tabell 20

#### 7.2.2.1.6 Grøftkostnader

Grøftepris	Lengde [km]	Pris [kr]
127 kr/m	1,78	225790,0

Tabell 21

#### 7.2.2.1.7 Grøftkostnader 2048

Grøftepris	Lengde [km]	Pris [kr]	Kapitalisert for år 2048 med 4,5 % rente [kr]
127 kr/m	1,021	129667,0	30 342,1

Tabell 22

#### 7.2.2.1.8 Nettkiosker

Nettkiosker	Ytelse [kVA]	Byggeår kiosk	Byggeår trafo	Antall år til reinvestering
Malmli II	500	1953	1986	16
Øvre Malmli	315	1981	1980	10
Malmli I	500	1958	1977	7
Rugsve		1993		Reinvesteres ikke
Malmli Nord	250	1991	1991	21

Tabell 23

#### 7.2.2.1.9 Investeringskostnader

Investeringskostnadene til dette alternativet ble delvis beregnet i RENS prosjektsystem og delvis beregnet i Excel. Dette var for å få med at noen av fornyelsene i nettet skulle utsettes, og at disse kostnadene derfor skulle kapitaliseres. Figur 7 og figur 8 viser to utvalg av investeringskostnader som ble brukt i Excel for å beregne de totale investeringskostnadene der deler av kostnadene var kapitalisert.

	Sum	Mengde	Enhet	Slett	Lokasjon
<b>3 508 450</b>					
<input type="checkbox"/> B Oppstarts- og avviklingsarbeid nyanlegg HS luft	0	0	arb.pl	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Oppstarts- og avviklingsarbeid nyanlegg HS kabel	0	0	arb.pl	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Oppstarts- og avviklingsarbeid nyanlegg nettstasjon	0	0	arb.pl	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Oppstarts- og avviklingsarbeid nyanlegg LS luft	23 667	1	arb.pl	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Oppstarts- og avviklingsarbeid nyanlegg LS kabel	0	0	arb.pl	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging EX 2/3/4 x 25 mm²	77 291	0.29	km	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging EX 3 x 50 mm²	19 449	0.0905	km	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging EX 3 x 95 mm²	421 039	1.714	km	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging LS luftnett innstrek	689 994	109	stk	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging grøft BYOMRÅDE for HS kabel	0	0	km	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging grøft FORSTAD for HS kabel	129 564	0.308	km	<input type="checkbox"/>	Feil lengde, riktig pris 12
<input type="checkbox"/> B Nybygging grøft LANDSBYGD for HS kabel	0	0	km	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging grøft FORSTAD for LS kabel	227 158	0.54	km	<input type="checkbox"/>	Feil lengde, riktig pris be
<input type="checkbox"/> B Nybygging LS kabelnett legging av jordtråd	44 425	1.021	km	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging LS kabelnett legging av jordtråd	45 050	1.78	km	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging HS kabel 24 kV TSLE/TSLF 150 Al trekking i rør	74 361	0.303	km	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging HS kabel 24 kV TSLE/TSLF 150 Al trekking i rør	244 805	1.021	km	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging LS kabel TFXP 4x50Al i grøft	1 922	0.029	km	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging LS kabel TFXP 4x95Al i grøft	6 655	0.071	km	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging LS kabel TFXP 4x150Al i grøft	63 500	0.512	km	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging LS kabel TFXP 4x240Al i grøft	71 999	0.45	km	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Fornyelse LS kabelnett stikkledning med grøft.	408 769	21	stk	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging LS kabelnett kabelfordelingskap ca bredde 330 mm	25 299	2	stk	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging LS kabelnett kabelfordelingskap ca bredde 480 mm	0	0	stk	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging LS kabelnett kabelfordelingskap ca bredde 480 mm	31 178	2	stk	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging HS kabelnett legging av kabelrør	20 031	0.303	km	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging Prefabrikert nettstasjon 500 kVA, 24 kV	604 002	2	stk	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging Prefabrikert nettstasjon 315 kVA, 24 kV	243 628	1	stk	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Demontere Nettstasjon- I bygg	16 648	2	stk	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Demontere Nettstasjon - Kiosk	18 019	2	stk	<input type="checkbox"/>	

**Figur 7 - Investeringskostnader for fornyelse av eksisterende nett i Malmlia. Denne oversikten inneholder kostnader for noen av kablene og nettstasjonene som skulle bygges i analyseperioden.**

	Sum	Mengde	Enhet	Slett	Lokasjon
<b>3 180 960</b>					
<input type="checkbox"/> B Oppstarts- og avviklingsarbeid nyanlegg HS luft	0	0	arb.pl	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Oppstarts- og avviklingsarbeid nyanlegg HS kabel	0	0	arb.pl	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Oppstarts- og avviklingsarbeid nyanlegg nettstasjon	0	0	arb.pl	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Oppstarts- og avviklingsarbeid nyanlegg LS luft	23 407	1	arb.pl	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Oppstarts- og avviklingsarbeid nyanlegg LS kabel	0	0	arb.pl	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Oppstarts- og avviklingsarbeid nyanlegg LS kabel	0	0	arb.pl	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging EX 2/3/4 x 25 mm²	74 112	0.29	km	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging EX 3 x 50 mm²	18 613	0.0905	km	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging EX 3 x 95 mm²	408 474	1.714	km	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging LS luftnett innstrek	679 535	109	stk	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging grøft BYOMRÅDE for HS kabel	0	0	km	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging grøft FORSTAD for HS kabel	0	0	km	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging grøft LANDSBYGD for HS kabel	0	0	km	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging grøft FORSTAD for LS kabel	225 954	0.54	km	<input type="checkbox"/>	Riktig pris, feil lengde. P
<input type="checkbox"/> B Nybygging LS kabelnett legging av jordtråd	0	0	km	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging LS kabelnett legging av jordtråd	70 358	1.78	km	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging HS kabel 24 kV TSLE/TSLF 95 Al trekking i rør	0	0	km	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging HS kabel 24 kV TSLE/TSLF 150 Al trekking i rør	73 464	0.303	km	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging LS kabel TFXP 4x50Al i grøft	1 682	0.029	km	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging LS kabel TFXP 4x95Al i grøft	5 990	0.071	km	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging LS kabel TFXP 4x150Al i grøft	55 752	0.512	km	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging LS kabel TFXP 4x240Al i grøft	68 302	0.45	km	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Fornyelse LS kabelnett stikkledning med grøft.	402 611	21	stk	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging LS kabelnett kabelfordelingskap ca bredde 330 mm	24 882	2	stk	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging LS kabelnett kabelfordelingskap ca bredde 480 mm	30 978	2	stk	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging HS kabelnett legging av kabelrør	12 680	0.303	km	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging Prefabrikert nettstasjon 500 kVA, 24 kV	692 636	2	stk	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Nybygging Prefabrikert nettstasjon 315 kVA, 24 kV	277 158	1	stk	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Demontere Nettstasjon- I bygg	16 488	2	stk	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> B Demontere Nettstasjon - Kiosk	17 883	2	stk	<input type="checkbox"/>	

**Figur 8 - Investeringskostnader for fornyelse av eksisterende nett i Malmlia. Denne oversikten inneholder ingen av kostnadene for kabler og nettstasjoner som skulle bygges senere i analyseperioden.**

## 7.2.2.2 Bygge om til 400 V kabelnett

### 7.2.2.2.1 Kabler 400 V

	Kabler	Total lengde [km]	Antall
Stikkledning	TFXP 4x50Al	4,980	136
Ikke stikkledning	TFXP 4x50Al	0,967	22
Ikke stikkledning	TFXP 4x95Al	0,308	6
Ikke stikkledning	TFXP 4x150Al	0,100	1
Ikke stikkledning	TFXP 4x240Al	1,801	19

Tabell 24

### 7.2.2.2.2 Kabelskap

Typebetegnelse	Pris per stykk [kr]	Bredde [mm]	Antall
EF-195	1671		38
KSEÅ 6-50	2360	330	7
KSEÅ 6-72	2849	460	17

Tabell 25

### 7.2.2.2.3 Kabler 22 kV

Type	Total lengde [km]	Antall
TSLE 3x1x150 AL	0,913	3

Tabell 26

### 7.2.2.2.4 Grøftkostnader

Grøftepris	Lengde [km]	Totalpris [kr]
127 kr/m	9,07	1151709,91

Tabell 27

### 7.2.2.2.5 Nettkiosker

Nettkiosk	Ytelse [kVA]	Pris beregnet for ytelse [kVA]
Malmli 2	630	500
Malmli 1	310	315

Tabell 28

### 7.2.2.2.6 Investeringskostnader

Figur 9 viser et skjermbilde fra RENs prosjektsystem der investeringskostnader ble beregnet for kabelalternativet. Hver av punktene inneholder mer informasjon for å justere investeringskostnadene. Denne figuren gir dermed bare et overordnet bilde for hvordan de ble beregnet.



	Sum	Mengde	Enhet	Slett	Lokasjon
<b>3 632 224</b>					
Oppstarts- og avviklingsarbeid nyanlegg HS kabel	0	0	arb.pl	<input type="checkbox"/>	
Oppstarts- og avviklingsarbeid nyanlegg nettstasjon	16 283	1	arb.pl	<input type="checkbox"/>	
Oppstarts- og avviklingsarbeid nyanlegg LS kabel	14 310	1	arb.pl	<input type="checkbox"/>	
Nybygging EX 2/3/4 x 25 mm <sup>2</sup>	0	0	km	<input type="checkbox"/>	
Nybygging EX 3 x 50 mm <sup>2</sup>	0	0	km	<input type="checkbox"/>	
Nybygging EX 3 x 95 mm <sup>2</sup>	0	0	km	<input type="checkbox"/>	
Nybygging grøft BYOMRÅDE for HS kabel	0	0	km	<input type="checkbox"/>	
Nybygging grøft FORSTAD for HS kabel	0	0	km	<input type="checkbox"/>	
Nybygging grøft LANDSBYGD for HS kabel	0	0	km	<input type="checkbox"/>	
Nybygging grøft FORSTAD for LS kabel	1 151 110	2.751	km	<input type="checkbox"/>	Feil lengde, riktig pris 41:
Nybygging LS kabelnett legging av jordtråd	338 692	9.07	km	<input type="checkbox"/>	
Nybygging HS kabel 24 kV TSLE/TSLF 95 Al i grøft	0	0	km	<input type="checkbox"/>	
Nybygging HS kabel 24 kV TSLE/TSLF 150 Al i grøft	0	0	km	<input type="checkbox"/>	
Nybygging HS kabel 24 kV TSLE/TSLF 95 Al trekking i rør	0	0	km	<input type="checkbox"/>	
Nybygging HS kabel 24 kV TSLE/TSLF 150 Al trekking i rør	221 363	0.913	km	<input type="checkbox"/>	
Nybygging LS kabelnett stikkledning fra eksisterende kabel/kabelskap	486 221	136	stk	<input type="checkbox"/>	
Nybygging LS kabel TFXP 4x50Al trekking i rør	66 749	0.9667	km	<input type="checkbox"/>	
Nybygging LS kabel TFXP 4x95Al trekking i rør	26 756	0.308	km	<input type="checkbox"/>	
Nybygging LS kabel TFXP 4x150Al trekking i rør	10 863	0.1	km	<input type="checkbox"/>	
Nybygging LS kabel TFXP 4x240Al trekking i rør	307 169	1.8	km	<input type="checkbox"/>	
Nybygging LS kabelnett kabelfordelingskap ca bredde 330 mm	87 086	7	stk	<input type="checkbox"/>	
Nybygging LS kabelnett kabelfordelingskap ca bredde 480 mm	263 310	17	stk	<input type="checkbox"/>	
Nybygging HS kabelnett legging av kabelrør	0	0	km	<input type="checkbox"/>	
Nybygging Prefabrikkert nettstasjon 500 kVA, 24 kV	331 896	1	stk	<input type="checkbox"/>	
Nybygging Prefabrikkert nettstasjon 315 kVA, 24 kV	276 741	1	stk	<input type="checkbox"/>	
Demontere Nettstasjon- I bygg	24 732	3	stk	<input type="checkbox"/>	
Demontere Nettstasjon - Kiosk	8 942	1	stk	<input type="checkbox"/>	

Figur 9 – Investeringskostnader for 400 V kabel i Malmlia

### 7.2.3 KILE-kostnader

Det ble antatt at gjennomsnittlig antall abonnenter som ble påvirket av en feil, var 5 for begge alternativene. Det ga 26,02 kW brutt effekt per feil i tunglasttiden.

Luftlinje Prognose 1	Luftlinje Prognose 2	Luftlinje Prognose 3	Kabel
7 150 kr	12 799 kr	33 365 kr	14 107 kr

Tabell 29

### 7.2.4 Tapkostnader

Totale tapkostnader for hvert alternativ er vist i tabell 30. Detaljerte resultater er i tabell 39.

Kostnader	Tap
Kabel	kr 330 928
Luft	kr 639 794

Tabell 30

### 7.2.5 Totale kostnader for de forskjellige alternativene

Kabel	Luftlinje	Luftlinje med kun Dagmar	Luftlinje med alle stormer
4 013 581	3 762 995	3 768 644	3 789 210

Tabell 31

## **8 Redegjørelse for styrke og svakheter i arbeidet**

### **8.1 Lastutvikling**

Fremtidens lastutvikling er usikker. Det ble i dette arbeidet antatt en moderat økning, selv om man får mer energieffektive elektriske apparater i boliger fremover. Dette kan stemme siden folk ser ut til å øke innetemperatur når de installerer varmepumpe, og ser ut til å venne seg til høyere og høyere bostandard med flere elektriske apparater. Om antakelsen om lastutviklingen skulle vise seg å være veldig feil, vil det ha lite å si for resultatene i del 1, men en del å si for resultatene i del 2.

### **8.2 Investeringskostnader del 2**

Investeringskostnadene for de to forslagene i del 2 ble hovedsakelig beregnet med RENS prosjektsystem. Prisene der inne skal være gode indikatorer på prisene i bransjen, men de er ikke de faktiske prisene som vil gjelde for NTE. Den største svakheten er nok heller om riktig antall av de forskjellige komponentene, og riktig type komponenter ble valgt. I arbeidet lyktes det ikke å lage gode estimater på hva slags komponenter som skulle være annerledes for luftnett i by og på landsbygd osv.

I RENS prosjektsystem hadde uheldigvis en begrensning. Om man prøvde å ha to prosjekter oppe i to forskjellige faner i nettleseren for å redigerte på dem, ville dette føre til at én av prosjektene ble byttet ut med det andre, og man fikk samme prosjekt. Dette skjedde ikke umiddelbart, men når man gjorde endringer på en av dem. Dette har trolig ført til at prosjektet i figur 7 har blitt redigert de avsluttende dagene av arbeidet. Det har altså skjedd etter at informasjonen har blitt hentet ut og blitt brukt i beregningene, men før det ble tatt skjermbilde. Det ble ikke tid til å finne ut hva som hadde blitt endret, med dette går altså kun ut over figur 7.

### **8.3 Antall kabler**

Deler av nettskjemaet i planen i Malmlia var veldig rotete, og vanskelig å lese. Det viste seg også at det var noen ”feil” i planen. En del kabler var av typen ”samlingsleder”. Dette skulle egentlig være kundens anlegg, og burde ikke være med i beregningene. Etter å ha studert dette litt, virket det som at noen av samlingslederne egentlig var stikkledninger. Det var også en del av samlingslederne som ikke var

tilkoblet noen abonnent eller noe som helst annet i den ene enden. Ved å ikke ta med samlingslederne i beregningene, ble det færre stikkledninger enn det er i dag. Ved å ta med alle, ble det betydelig flere enn det er i dag. I beregningene ble det til slutt bestemt at kostnadene av de fleste av disse skulle tas med, så det skulle bli tilsvarende antall stikkledninger totalt i begge casene. Samlingslederne ble lagt inn med priser tilsvarende 50 mm<sup>2</sup> kabler av samme type som ble brukt til stikkledning ellers.

Antallet stikkledninger som ligger inne i beregningene av kabelforslaget sammenlignet med linjeforslaget er ulikt. Ulikheten kommer av at ikke hele nettet måtte byttes ut i luftalternativet. Noen kabler var nemlig nesten helt nye. Skulle man sammenlignet hva det ville kostet å bygge ut nettet helt fra bunnen av i luftnettforlaget også, ville derfor kostnaden blitt høyere enn i beregningene i dette arbeidet.

#### **8.4 Vedlikeholdskostnader**

Vedlikeholdskostnadene ble veldig grovt estimert. De var imidlertid en svært liten del av de totale kostnadene i del 2 av arbeidet. Dermed vil sannsynligvis usikkerheten i disse kostnadene ha lite å si for det endelige resultatet. Det at man multipliserte investeringskostnadene med 2 % for luftlinje og 1 % for jordkabel passer godt overens med at det som regel er veldig lite vedlikehold forbundet med de nye typene jordkabel. Tallene er valgt ut fra erfaring hos bransjen. Man kan tenke seg at den er noe høy for jordkabel, om disse tallene er fra den tiden hvor oljekabel var vanligere, men det er bare spekulasjon.

#### **8.5 Feilhistorikk**

Det ble gjort arbeider med å utvikle feilstatistikk fra bunnen av ved bruk av feilhistorikk. Selv om det bare ble bedt om komponenter med spenningsnivå på 22 kV i utvalget, viste det seg at en del komponenter allikevel var fra 230 V-nettet. Dette ble det funnet ut av etter at disse arbeidene var avsluttet. Dette betyr at det kan være store avvik fra virkeligheten i resultatene. Disse resultatene ble derfor sett på som ganske ubrukelige, men det var læring i å utarbeide dem. Legg merke til at dette kun gjelder resultatene i kapittel 7.1.8. I andre kapitler der feilhistorikk er brukt har grunnlaget vært NTEs feilstatistikk, som har blitt justert i noen tilfeller for å ha med ekstremværene Dagmar, Hilde og Ivar.

## **8.6 Reparasjonskostnader**

Reparasjonskostnadene varierer veldig mye, og er avhengig av mye annet en hva slags teknologi som er brukt i installasjonen. For eksempel vil avstanden man må kjøre for å komme til feilstedet kunne ha stor påvirkning på nedetid og arbeidstimer som går med til reparasjon. Dette betyr at det lille datagrunnlaget som ble laget sannsynligvis ikke er pålitelig, da enkelthendelser gjør store utslag for snittet. Av kabelfeilene som det ble forsøkt å finne reparasjonskostnadene til, var det bare to som ga et resultat. Den ene var mer en dobbelt så dyr som den andre. Med så høy variasjon i et så lite utvalg, kunne ikke de resultatene brukes videre i beregningene. For linjefeil var utvalget bedre, og det varierte mindre. Det ville imidlertid være feil å bare ha med reparasjonskostnader for en av alternativene. Reparasjonskostnadene ble derfor ikke brukt i de totale kostnadene i noen av utregningene i dette arbeidet.

## **8.7 Investeringskostnader luftlinje**

Det var begrenset hvor godt variasjoner i investeringskostnadene for forskjellige forhold ble beregnet. Det er sannsynligvis store forskjeller mellom kostnadene for å bygge en mast i en handlegate og å bygge den i en veikant langs en veg som går i skogen. Det kom dessverre ikke godt frem i resultatene fra dette arbeidet.

## **8.8 KILE-kostnader**

KILE-kostnadene ble beregnet med last fra tunglast-timen. Det betyr at de beregnede kostnadene er høyere enn reelt, da feil like gjerne kan skje på et tidspunkt med lite last. Dette er gjort likt for både beregninger av kabel og luftnett. Dette har lite å si for resultatene i del 2, mens i del 1 har KILE-kostnadene mye å si for total kostnad. Dette slår dermed ut litt urettferdig for det alternativet med høyest KILE-kostnad i hvert tilfelle.

## **9 Drøfting av resultatene**

### **9.1 Del 1**

#### **9.1.1 Tapskostnader**

Tapskostnadene for luftlinje var ca. 8,5 % høyere enn for jordkabel. Det var forventet at de skulle være høyere, siden man må ha høyere tverrsnitt på lederen på jordkabel på grunn av dårligere kjøling. Forskjellen var ca. 36 000 kr noe som ikke er særlig mye sammenlignet med de totale kostnadene.

#### **9.1.2 Skogrydding**

Kostnadene for skogrydding av 5 km kapitalisert ble beregnet til 307 258 kr. Det er en betydelig sum sammenlignet med resten av kostnadene. Denne kostnaden var beregnet for luftlinjer. Man må imidlertid regne med at det kan være ekstrakostnader forbundet med legging av kabel i de casene der man må ha skogrydding for luftlinje. Enten legges kabelen i den samme traséen, og da må man også ha skogrydding siden røtter kan ødelegge kablene. Eller så velger man en annen trasé, som man ikke kunne velge med luftlinjer, for eksempel langs en vei eller gjennom boligområder. Da kan det komme andre ekstrakostnader som lenger trasé eller gravekostnader gjennom asfalt. Det kan nok være mange tilfeller der dette kan komme positivt ut for kabelvalg, men det kan slå ut begge veier. Her vil man nok måtte se på hvert tilfelle isolert, da spesielle forhold for hvert case vil være av stor betydning.

#### **9.1.3 Feilstatistikk**

Feilstatistikken viste at det var ekstrem forskjell mellom de forskjellige prognosene. Med været slik det hadde vært de siste 5 årene var det over tre ganger så mange langvarige feil som hvis man ikke regner med de tre største uværene. Feil på jordkabel hadde som ventet mye høyere utetid per langvarig feil en luftlinje. Det var 4 til 6,6 ganger så lang tid avhengig av prognose. De forskjellige prognosene viser hvor stor påvirkning noen få ekstra ekstremvær kan ha på feilstatistikken. Et sted mellom prognose 2 og 3 vil total utetid for en kabel og en linje være like stor. Det er vel sannsynligvis allikevel slik at det er bedre med noen få langvarige feil, enn mange kortvarige, så lenge det er masket nett som kan kobles om. Da vil nemlig kundene ikke merke forskjell på utetiden, så lenge tiden det tar å koble om er den avgjørende faktoren for når de får igjen strømmen. Er det ikke masket nett, vil det kunne være en

utfordring å ha så lange nedetider i nettet. Et par timer, slik man venter med luftnett, kan være irriterende og gjøre at man går glipp av spennende tv-programmer, og kanskje må utsette middagen litt. Er utetiden et halvt døgn kan det gi mer alvorlige utfordringer med for eksempel oppvarming av boligen, og man kan ikke lenger bare utsette middagen, men må finne alternative løsninger. Man begynner da også å bevege seg inn i en varighet på strømløshet der produkter som går på oppladbare batterier begynner å gå tom for batteri.

#### **9.1.4 Reparasjonstid**

Kabler er nå mest brukt i byer, mens luftledninger er mye brukt på landsbygda. Dette gjør at kabler ofte har høyere redundans og kortere utrykningstid for reparasjon av feil. Dette er ikke egenskaper ved kabler og ledninger, men et resultat av hvor man har valgt å bruke dem. Hvis man skal vurdere hva man vil benytte seg av i et nytt prosjekt, vil den geografiske plasseringen og redundansen som regel være den samme uansett hva man velger, og da bør man tenke over at statistikken vil kunne gi kabler et ufortjent godt rykte siden de som regel benyttes i andre områder enn linjer. Man bør kunne forvente at enten vil kablene ha lavere redundans og/eller lengre utrykningstid enn vanlig, eller at ledning gir lavere utrykningstid og/eller høyere redundans enn vanlig.

#### **9.1.5 KILE-kostnader**

Sammenligner man KILE-kostnadene beregnet med konstanter for november og desember, ser man at det kun er for industri, handel, tjenester og offentlig virksomhet at det er forskjell. For handel og tjenester er november en viktig måned, der man har høyere KILE-kostnader om det skulle være avbrudd. For Industri og offentlig virksomhet er desember en viktigere måned der man har høyere KILE-kostnader ved avbrudd. Spesielt kan man legge merke til at KILE-kostnadene for offentlige tjenester øker med over 70 % om det er avbrudd i desember sammenlignet med november.

KILE-kostnader for luftnett varierte mye med de tre prognosene. I det mest ekstreme tilfellet skilte det over 4,5 millioner kroner mellom de totale kapitaliserte KILE-kostnader for prognose 1 og 3 for 50 år. For jordbruk ble KILE-kostnadene tilnærmet like for kabel og luftnett med prognose 2. Prognose 1 ga KILE-kostnader i størrelsesorden 250 000 kr lavere, mens prognose 3 ga KILE-kostnader på ca. 900 000 kr mer.

For husholdninger var KILE-kostnadene generelt lave sammenlignet med de for de andre kundegruppene. Snittet lå på ca. 500 000 kr. Dette er den kundegruppen der kabel kommer dårligst ut sammenlignet prosentvis med luftlinjealternativene. KILE-kostnadene for kabel er ca. 50 000 kr høyere de for luftlinje med prognose 2. De er over dobbelt så høye som for luftlinje med prognose 1.

Forholdene er ganske like for husholdninger og handel og tjenester, men for sistnevnte er KILE-kostnadene i gjennomsnitt ca. 3 000 000 kr. Det betyr at forskjellen mellom prognosene er veldig store, ca. 4 500 000 kr skiller dem. Det betyr at det er stor risiko for total kostnader for luftnett som forsyner handel og tjenester. Sammenlignet med å velge kabel kan luftnett gi over 1 million kr besparelser i KILE-kostnader hvis man ikke har noe ekstremvær. Samtidig kan man få over 3 millioner høyere KILE-kostnader enn for kabel om været fortsetter slik det har vært de siste 5 årene.

For industri kommer kabel ganske bra ut av beregningene, med kostnader nærmere prognose 1 enn prognose 2 for luftlinjer. Prognose 2 og 3 gir her veldig store KILE-kostnader for luftnett.

Til slutt kommer offentlige tjenester og industri med el-drevne prosesser. Der kommer kabel klart best ut, med under halvparten av KILE-kostnadene sammenlignet med prognose 1 luftnett for industri med el-drevne prosesser.

Oppsummert var KILE-kostnadene alltid mye høyere for luftlinje enn kabel når man ser på prognose 3. For prognose 2 var KILE-kostnadene ganske like for luftnett og kabel når lasten var jordbruk, husholdning og handel og tjenester. For industri, offentlig virksomhet og industri med el-drevne prosesser var KILE-kostnadene for kabel betydelig lavere enn for luftnett. Til slutt var det prognose 1. Der var KILE-kostnadene betydelig lavere for luftlinje når last var jordbruk, husholdning og handel og tjenester. Den var også mindre for industri. For offentlige tjenester var kostnadene litt høyere for luftnett enn for kabel, og for industri med el-drevne prosesser var kabel betydelig billigere.

### **9.1.6 Reparasjonskostnader**

På grunn av det dårlige tallgrunnlaget for reparasjonskostnader forbundet med feil på kabler, ble det valgt å ikke ha med reparasjonskostnader i beregningene. Det er ikke helt lett å vite hvordan det ville slått ut å ha de med. På en side er feil på kabler dyre å reparere siden de er gravet ned i jorda. På en annen side er det mye flere feil på luftnett. De siste fem årene har det vært over 9 ganger så mange langvarige feil på luftnett som på kabel i NTEs 22 kV nett, om man tar med alle uværene som har vært. Uten de tre største uværene er det fortsatt nesten 3 ganger så mange langvarige feil på luftnett.

For de to reparasjonene det ble funnet kostnad for blant kabelfeilene, var ingen av dem høyere enn 9 ganger snittet til reparasjoner i luftnett. Den ene var imidlertid høyere enn 3 ganger snittet til luftnett. Det vil være behov for et større datagrunnlag for å si noe annet enn gjetning.

### **9.1.7 Totale kostnader**

Disse resultatene viser, i samsvar med det tidligere arbeider har vist, at kostnadene for kabelprosjekter kan variere veldig. Først kan man merke seg at resultatene viser at om det allerede er gravet rør for kabler i et område, vil det i følge disse beregningene alltid lønne seg å gå for et kabelalternativ. Kostnadene for dette var så lave at det ble valgt å ikke ha dem med i fargekoden i resultatene. De forskjøv rett og slett så mye på fargekodene for de andre resultatene at det ble vanskelig å skille en del av dem fra hverandre.

Resultatene viser også at det er mye å spare på å dele gravekostnadene med andre. I de aller fleste tilfellene var det bedre å velge kabel enn luftlinje hvis man slipper unna med halve gravekostnaden. Det største unntaket er hvis man sammenligner det billigste luftlinjealternativet med kabel i byområder. Da må man imidlertid huske på at det viste seg å være vanskelig å legge inn ekstrakostnader forbundet med luftnett i byområder. Det er derfor naturlig å tro at denne sammenligningen ikke blir helt representativ for virkeligheten.

Videre er det her hovedsakelig diskutert totale kostnader for nett som forsyner boliger, med mindre annet er spesifisert.



På landsbygd, under standardforholdene som REN har definert, kommer total pris for et kabelprosjekt bra ut. Totalkostnaden ble beregnet til å være lavere enn alle totalkostnader som ble beregnet for luftlinje. Dette er noe overraskende, siden landsbygd er et område der man som regel ikke velger kabel, men luftlinje.

Resultatene for kabel i forstad med standardforholdene til REN viser at totalkostnaden er ganske lik som for luftnett med prognose 2 for feilstatistikk. Eventuelt kan den sammenlignes med totalkostnader for luftlinje med prognose 1 med litt under 3,5 km skogrydding.

For byområder ble de totale kostnadene for kabel veldig høye, og selv ikke de dyreste luftlinjealternativene med prognose 3 for feilstatistikk ble like dyrt i boligområder. For andre typer abonnenter, bortsett fra jordbruk, ble kabel i by betydelig billigere enn for luftlinjer med prognose 3. Det kommer av at KILE-kostnadene er veldig høye for disse abonnentene med prognose 3. Som nevnt tidligere i arbeidet kan ikke totalkostnadene for kabel i byområder sammenlignes med kostnadene beregnet for luftlinje direkte, siden det ikke er lagt inn ekstrakostnader for luftlinje forbundet med byområder. Sammenlignes totalkostnadene for kabel i byområder med totalkostnader for andre kabelalternativer, tilsvarer det å bygge kabel i forstad der man må sprengre kabel halve strekket.

Hvis man har 750 meter der man må sprengre fjell på landsbygd, og må skifte ut 1350 m<sup>3</sup> løsmasse, og strekket fortsatt totalt er på 5 km, havner de totale kostnadene litt høyere enn det billigste luftnettalternativet. Interpolering mellom totalkostnad for kabel gjennom 400 og 750 meter fjell viste at grensen for når det ble like dyrt var ved sprenging av 600 meter fjell og utskifting av 1080 m<sup>3</sup> løsmasse. Med 750 meter fjell som må sprenges og 1350 kubikkmeter løsmasse som må skiftes ut i et forstadsområde, havner de totale kostnadene nesten på nivå med luftlinjer med prognose 3 med boliger som abonnenter.

Går man ned til 400 meter med fjell som må sprenges og 750 m<sup>3</sup> løsmasse, blir kabelalternativ på landsbygd billigst, mens kabelalternativ i forstad legger seg på nivå med luftnett med 3,5-5 km skogrydding og prognose 2 for feilrate.

### **9.1.7.1 Viktige trekk i totale kostnader i forhold til KILE-kostnader**

Det er veldig mange resultater å se på for totale kostnader. Istedenfor å gå gjennom alle, diskuteres det videre noen observasjoner.

Er lasten i hovedsak industri, handel og tjenester, offentlig virksomhet eller industri med el-drevne prosesser, blir KILE-kostnadene viktige. Hvis man tror prognose 3 er mest sannsynlig, vil kabel nesten alltid være å foretrekke for disse kundene. Prognose 3 er imidlertid en ganske ekstrem prognose. Kanskje kan man heller tenke at man på værutsatte områder der man har slike kunder bør foretrekke kabel?

For offentlig virksomhet og industri med el-drevne prosesser gjør KILE-kostnadene at man ofte bør foretrekke kabel, uansett hvilken av de tre prognosene som stemmer best med virkeligheten.

Er området veldig lite værutsatt, og man hovedsakelig skal forsyne handel og tjenester, kan luftnett ofte være best.

## **9.2 Del 2**

### **9.2.1 Optimalt tverrsnitt**

Som resultatene viste, var det ikke noe økonomisk insentiv til å gå opp i tverrsnitt for boligene i Malmliä, hvis man bare ser på investeringskostnad og tapskostnad. Det som blir det store spørsmålet er da om effekttoppene i ”tunglasttiden” kan være så høye at man burde gått opp i tverrsnitt. Hvis en bolig med stikkledning på  $3 \times 25 \text{ mm}^2$  skulle gå til investering av en 10 kW hurtiglader til elbil og gjennomstrømningsvannvarmer og ønsker å bruke disse samtidig som det er elektrisk oppvarming av huset om vinteren, vil ikke dette holde. Heldigvis er det ganske lett å oppgradere om noen skulle få behov for dette. Verre er det med kabel. De er veldig dyre og tungvinte å oppgradere. Stikkledningene som ble valgt for kabelalternativet var på  $50 \text{ mm}^2$  med maksimal strøm på 180 A. Disse er 400 V TN-S nett, mens luftlinjene er 230 V IT-nett. Kablene kan altså levere en betydelig høyere makseffekt, og er derfor ikke like begrenset med tanke på effektkrevende apparater.

Oppsummert har kabelforslaget fordelene at man kan ha mye høyere økning i makslast før man må oppgradere, mens luftlinje har fordelene at det er mye billigere og mer lett å oppgradere når man først må gjøre det.

### 9.2.2 Totale kostnader

Med de kostnadene som ble inkludert i dette arbeidet, ble det litt dyrere å oppgradere nettet til 400 V jordkabelnett enn å fornye det eksisterende nettet. Slik er det i alle fall så lenge fornying av noen av de nyeste 22 kV kablene og alle nettstasjonene utsettes for alternativet med fornying av eksisterende nett. For nettet i Malmlia ble ikke KILE-kostnadene særlig viktige, men tapskostnadene ble svært viktige. Dette er motsatt av i resultatene fra del 1. At tapene får en viktig rolle i denne delen er naturlig da det er mye nett med lav spenning. At forskjellen er stor gir også mening siden tap er proporsjonalt med kvadratet av strømmen, og forskjellen mellom 230 V og 400 V er ganske stor. (Strømmen er omvendt proporsjonal med spenningen.)

Selv om de totale kostnadene for nettet i Malmlia ble 6-7 % høyere i disse beregningene, er det fortsatt mye som taler for at kabel kan være det beste alternativet. 400 V TN-S nett har den fordelene at det er forbundet med mindre brannfare. Kabelalternativet vil ha rom for store uforutsette økninger i effektbehov i boligene. 50 mm<sup>2</sup>-jordkablene som er brukt som stikkledninger, kan føre hele 180 A, mot 120 A for 25 mm<sup>2</sup>-luftledningene [17,18]. Siden jordkablene driftes med 400 V, mens luftledningene driftes med 230 V, kan altså jordkablene teoretisk sett føre hele 2,6 ganger så mye elektrisk effekt.

Med oppgradering av nettet til kabel velger NTE en type kabler som har et ekstra rør med plass for å blåse gjennom fiber. Dette har også en verdi. Selv om man kanskje ikke får bruk for det alle steder man legger kabel, vil det nok bli brukt en del hvis man ser på mange prosjekter samlet. I dette arbeidet er det ikke satt noen økonomisk verdi for dette, men det bør i alle fall ligge en veldig god samfunnsøkonomisk verdi i at man slipper å grave på nytt om man ønsker å legge fiber i et boligområde.

Kanskje hadde en innføring av reparasjonskostnader i beregningene kunne gitt et annet resultat. Uten bedre tallgrunnlag er det vanskelig å vite hvilken veg det hadde

slått ut om man sammenligner prognose 1 med kabelfeilstatistikk. Det er imidlertid nærliggende å tro at luftnett med prognose 3 hadde blitt veldig mye dyrere totalt.

### **9.2.3 Bedriftsøkonomi og samfunnsøkonomi**

Tapskostnader var noe som slo ut veldig positivt for valg av kabel i dette tilfellet. Å senke tapskostnadene kan være bra samfunnsøkonomisk, men hvis det ikke er økonomiske incentiver for nettselskaper for å senke tapene på 230-400 V, er det dårlig bedriftsøkonomi for nettselskaper å bruke mye penger på å få lavere tap. Nettselskaper er naturlige monopoler, og har i oppgave å oppføre samfunnsøkonomisk, og tapskostnader har derfor vært med som en viktig parameter i beregningene i dette arbeidet.

### **9.2.4 Relevans for andre prosjekter**

Resultatene fra Malmliå kan ikke uten videre videreføres til et hvilket som helst annet boligområde. Det var flere forhold som var spesielle, og påvirket resultatene kraftig. En del av kablene på 22 kV nettnivå var såpass nye at det ikke var hensiktsmessig å bytte dem ut om man ønsket å gå for rehabilitering av eksisterende nett. Dette gjaldt også enkelte kabler på 230 V spenningsnivå. Dette skjøv resultatene i luftlinjes favør. Samtidig ga muligheten til å gå ned fra 4 til 2 nettstasjoner en redusert pris på nybygging av kabelnett i området. Investeringskostnadene for nettkioskene i luftnettcaset ble imidlertid kapitalisert, så nedgangen fra 4 til 2 nettkiosker ga ikke så stor gevinst som man kanskje ville forvente. Totalt kostet det 714 170 kr for fornyelse av de 4 nettkioskene når man kapitaliserte kostnaden, mens de to som skulle bygges i kabelforslaget, fikk en investeringskostnad på 608 610 kr. Besparelsen man fikk i luftforslaget ved å utsette fornyingen av en del høyspentkabler til 2048 var for øvrig 383 288 kr.

### **9.2.5 Forskjell på total lengde**

De to forslagene illustrerte godt hvordan forskjellen på total lengde på nettet som regel blir lenger for jordkabelnett enn for luftlinjenett. Kostnad per meter med leder var faktisk lavere for nedgravet kabel enn for luftlinjer, selv med høyere tverrsnitt for jordkabel. Total lengde for kabelnettet var imidlertid høyere. Hvis man skulle bygge ut nett i et nytt område, og ikke kunne bruke noe på nytt som i dette caset, ville det altså se bra ut for valg av kabel.

## 10 Konklusjon

### 10.1 Del 1

I første del av arbeidet viste resultatene at KILE-kostnadene var viktige for totalkostnaden for 22 kV nett med så mye belastning og så langt strekk med nett som det var i det konstruerte caset. Det var imidlertid stor forskjell på hvor store KILE-kostnadene var etter hvilken type abonnent man skulle forsyne. Siden KILE-kostnadene er en så stor del av totalkostnadene, og siden det var så stor forskjell på de tre prognosene for feilstatistikk, var totalkostnadene også veldig avhengige av hvilken prognose man så på. For den typen nett som ble i sett på i 1. del av arbeidet, har altså mengden ekstremvær veldig mye å si for totalkostnaden, selv om man ikke ser på reparasjonskostnadene.

Resultatene viste at kabel ofte kan være et godt valg for den type nett som er i del 1, under ganske mange forskjellige forhold. Med enkle graveforhold ble det blant annet billigst med kabel. Det ble utarbeidet to tabeller (tabell 36 og tabell 37) med oversikt over beregnet totalkostnad for forskjellige forhold. Tabellene viser også at investeringskostnadene alene også er lavere for kabel i mange tilfeller. De tilfellene der kabel ble dyrest var som ventet når man må gjennom fjell, asfalt osv.

For den belastningen, lengden og det tverrsnittet som ble brukt i beregningene, var tapskostnader en mellomstor del av totalkostnaden. Tapskostnadene var imidlertid så like for de forskjellige casene at de hadde veldig lite å si for forskjellen mellom totalkostnadene. Tapskostnadene var som ventet lavest ved bruk av kabel.

Ved behov for sprenging av fjell opp mot 600 meter vil det i forstad fortsatt være billigere med kabel enn selv den billigste totalkostnaden som ble beregnet for luftnett.

I tilfeller der KILE-kostnadene forventes å kunne bli så høye som i disse beregningene, kan kablet maskenett være et godt alternativ. Da kan man få det beste av to verdener: lav feilrate som på vanlige kabler, og kort nedetid ved feil, siden man kan koble om ved feil i nettet.

I det teoretiske caset i del 1 viste resultatene at kabel ofte kunne være et godt alternativ rent økonomisk. Så man bare på investeringskostnaden per meter, var den lavere på landsbygd, og ganske lik i forstad med RENs standardforhold.

Når man tar slike prosjekter fra et teoretisk case til et praktiske prosjekt, blir ofte total lengde for kabel lenger enn total lengde for luftnett. Hvor stor denne forskjellen er vil kunne avgjøre om det lønner seg å gå for kabel eller luftnett.

Forarbeidene til beregningene konkluderte med at de forskjellene som er mellom kabel og linje som det er vanskelig å verdsette i kroner, i de fleste tilfeller favoriserer valget av kabel. En av de viktigste motargumentene var dårligere leveringssikkerhet om det ikke er masknett, på grunn av de langvarige reparasjonstidene.

## **10.2 Del 2**

I andre del av arbeidet ble det jobbet med et reelt case fra Malmli i Verran. Der var det hovedsakelig lavspentnett, men også en del høyspentnett. Det viste seg at KILE-kostnadene med et slikt nett ble en mye mindre viktig faktor, mens tapskostnadene ble viktige. Dette caset tydeliggjorde hvordan total lengde på trasé blir lenger for kabelnett enn luftnett. Selv om kabelforslaget hadde en ny og mer effektiv utforming av nettet som bare hadde to nettstasjoner, og dermed behov for mye mindre 22 kV nett mellom nettstasjonene, hadde kabelforslaget fortsatt lenger total lengde på nettet. Per meter nett var kabel billigere. Totalkostnaden for kabelnettet ble ca. 250 000 kr (nesten 7 %) høyere enn luftnettforlaget. For disse pengene får man imidlertid fordeler som at alt nettet blir nytt 400 V TN-S-nett. Man får frigjort areal der det sto stolper, noe som for eksempel kan ha vært i veien for folk som har ønsket å bygge garasje eller en ny innkjørsel til hagen. Kablene i kabelforslaget kan også føre mye høyere effekt enn ledningene i luftledningsforlaget. Det kommer godt med om folk ønsker å kjøpe hurtiglader til elbil, gjennomstrømningsvannvarmere eller andre effektkrevende elektriske apparater.

Gjeldende praksis de siste årene har sett ut til å være at man bygger kabelnett på 230-400 V, mens man bruker luftnett på høyere spenningsnivåer så lenge man er utenfor tett bebyggelse eller det er andre særforhold. Resultatene i dette arbeidet viser at man også på 22 kV nettnivå burde kunne bruke mye kabel. Dette gjelder spesielt om

feilstatistikken skulle dreie mot prognose 2 eller 3, men også uavhengig av KILE-kostnader kom kabelnett godt ut i resultatene.

## **11 Forslag til videre arbeid**

### **11.1 Reparasjonskostnader**

I resultatene fra dette arbeidet ble det ikke tatt ordentlig hensyn til reparasjonskostnader etter skader i nettet. Med et stort datagrunnlag kan man, om man justerer for forskjell i reisetid, lage oversikter over gjennomsnittlige reparasjonskostnader for kabler og luftnett. Legges dette inn i kost-/nytteanalysene vil man få bedre grunnlag for vurdering av hvilken løsning man bør gå for og når.

### **11.2 KILE-kostnader**

En svakhet i dette arbeidet er at KILE-kostnadene ble beregnet i tunglasttiden. I del 2 har dette lite å si for resultatene, men hadde det vært tid ville det nok vært best å beregne KILE-kostnader på nytt for del 1 slik at det brukes en mer gjennomsnittlig last i beregningene. Kanskje kunne man brukt prinsippet om brukstid og multiplisert alle KILE-kostnadene med for eksempel  $2400/8760$ , om man antar brukstid for maksimal effekt til å være 2400 timer.



## 12 Kilder

---

- 1 Dag Myrmo Hellum. Desember 2014. Kost-nytte-analyse av strømkabler gravet ned i jord som alternativ til luftlinjer
- 2 Aftenposten. 17. Juni 2015. Derfor styrtet ambulanshelikopteret på Sollihøgda. Tilgjengelig på: <http://www.aftenposten.no/nyheter/iriks/Rapporten-etter-ambulanshelikopterstyrt-klar-8061322.html> (Artikkelen var under kontinuerlig oppdatering da den ble brukt og kan være annerledes når dette arbeidet er levert)
- 3 Kompendium i TET4195: High voltage equipment. Cable technology
- 4 Arne Olsen. NVE. 2003. Kabel som alternativ til luftledning, KTE-notat nr. 42/03
- 5 K. Burges, J. Bömer, C. Nabe, G. Papaefthymiou. Ecofys Germany GmbH. 2008. Study on the comparable merits of overhead electricity transmission lines versus underground cables. Tilgjengelig på: [http://www.dcenr.gov.ie/NR/rdonlyres/4F49D5FA-0386-409A-8E72-6F28FD89EC7C/0/FinalReport\\_StudyonOHLversusUGC\\_June2008.pdf](http://www.dcenr.gov.ie/NR/rdonlyres/4F49D5FA-0386-409A-8E72-6F28FD89EC7C/0/FinalReport_StudyonOHLversusUGC_June2008.pdf)
- 6 Truls Amundsen Lindseth. Norges teknisk- naturvitenskapelige universitet 2011. Vanntrevekst i mekanisk og elektrisk påkjente PEX-kabler
- 7 REN planbok 2001 Bind I Kapittel 14: Kort om kabelnett kontra luftnett
- 8 Statnett. 2013. Årsstatistikk 2013 - Driftsforstyrrelser og feil i det norske distribusjonsnettet 1-22 kV. Tilgjengelig på: [http://www.statnett.no/Global/Bilder/Nyheter%20og%20reportasjer/Årsstatistikk\\_2013\\_1-22.pdf](http://www.statnett.no/Global/Bilder/Nyheter%20og%20reportasjer/Årsstatistikk_2013_1-22.pdf)
- 9 Earle C. (Rusty) Bascom, III Victor D. Antoniello. 2011. Underground Power Cable Considerations: Alternatives to Overhead. Tilgjengelig på: <http://www.cce.umn.edu/documents/cpe-conferences/mipsycon-papers/2011/undergroundpowercableconsiderationsalternativestooverhead.pdf>
- 10 Økodesigndirektiv 2009/125/EF - Tilgjengelig på: <http://europolov.no/rettsakt/okodesign-direktivet-fra-2010-miljokrav-til-energirelaterede-produkter/id-1400>
- 11 Sintef Energi AS. 2014. Planleggingsbok for kraftnett - Økonomisk optimalt tverrsnitt
- 12 Sintef Energi AS. 2014. Planleggingsbok for kraftnett – Bruk tid for tap
- 13 SINTEF Energi AS. 2014. Planleggingsbok for kraftnett – Tapskostnader
- 14 Olje- og energidepartementet. Mars 1999. Forskrift om økonomisk og teknisk rapportering, inntektsramme for nettvirksomheten og tariffer. Tilgjengelig på: <http://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1999-03-11-302>
- 15 Sintef Energi AS. 1993 sist redigert 2010. Planleggingsbok for kraftnett – Avbruddskostnader
- 16 Helge Seljeseth. Sintef Energi AS. 2012. Håndtering av utfordrende elektriske apparater. En utredning utført for ENERGI NORGE.
- 17 Nexans produktbeskrivelse av TFXP1kV4G 50 mm<sup>2</sup>A på produktsidene deres. Tilgjengelig på: [http://www.nexans.no/eservice/Norway-no\\_NO/navigateproduct\\_540185679/TFXP1kV4G\\_50\\_mm\\_A.html#characteristics](http://www.nexans.no/eservice/Norway-no_NO/navigateproduct_540185679/TFXP1kV4G_50_mm_A.html#characteristics)

---

18 Nexans produktbeskrivelse av EX 1kV 3X25A på produksidene deres.  
Tilgjengelig på: [http://www.nexans.no/eservice/Norway-no\\_NO/navigateproduct\\_537262974/EX\\_1kV\\_3X25A.html#characteristics](http://www.nexans.no/eservice/Norway-no_NO/navigateproduct_537262974/EX_1kV_3X25A.html#characteristics)

# 13 Vedlegg

## 13.1 Tapskostnader enkelt nett del 1

### Tapskostnader

Kalkulasjonsrente [%]	4,5
Analyseperiode [år]	50
Brukstid for tap [timer]	2400

#### K\_pekvl [kr/kW\*år] gitt 4,5 % kalkulasjonsrente og brukstid på 2400 timer

år	Luftledning 22 kV	Kabel 22kV	Kapitaliserings faktor	Tap luftlinje [kW]	Tap Kabel [kW]	Tapskostnad Luft	Tapskostnad Kabel
2015	1149	1186	1	16	15	18 384	17 790
2016	1119	1156	0,956937799	16	14	17 133	15 487
2017	1131	1168	0,915729951	16	15	16 571	16 044
2018	1145	1182	0,876296604	17	14	17 057	14 501
2019	1169	1206	0,838561344	17	15	16 665	15 170
2020	1181	1218	0,802451047	16	15	15 163	14 661
2021	1200	1237	0,767895738	17	15	15 665	14 248
2022	1199	1234	0,734828458	17	16	14 978	14 508
2023	1215	1252	0,703185127	18	15	15 379	13 206
2024	1224	1260	0,672904428	17	16	14 002	13 566
2025	1233	1269	0,643927682	17	16	13 497	13 074
2026	1242	1279	0,616198739	18	16	13 776	12 610
2027	1252	1288	0,589663865	18	16	13 289	12 152
2028	1262	1299	0,564271641	18	16	12 818	11 728
2029	1272	1309	0,539972862	18	17	12 363	12 016
2030	1283	1320	0,516720442	19	16	12 596	10 913
2031	1294	1331	0,494469323	19	17	12 157	11 188
2032	1306	1343	0,473176385	19	17	11 741	10 803
2033	1318	1355	0,452800369	19	17	11 339	10 430
2034	1331	1367	0,433301788	20	17	11 534	10 070
2035	1345	1381	0,41464286	19	17	10 596	9 735
2036	1345	1381	0,396787426	19	17	10 140	9 315
2037	1345	1381	0,379700886	19	17	9 703	8 914
2038	1345	1381	0,36335013	19	17	9 285	8 530
2039	1345	1381	0,347703474	19	17	8 886	8 163
2040	1345	1381	0,332730597	19	17	8 503	7 812
2041	1345	1381	0,318402485	19	17	8 137	7 475
2042	1345	1381	0,304691373	19	17	7 786	7 153
2043	1345	1381	0,291570692	19	17	7 451	6 845

2044	1345	1381	0,279015016	19	17	7 130	6 550
2045	1345	1381	0,267000016	19	17	6 823	6 268
2046	1345	1381	0,255502407	19	17	6 529	5 998
2047	1345	1381	0,244499911	19	17	6 248	5 740
2048	1345	1381	0,233971207	19	17	5 979	5 493
2049	1345	1381	0,223895892	19	17	5 722	5 256
2050	1345	1381	0,214254442	19	17	5 475	5 030
2051	1345	1381	0,205028174	19	17	5 239	4 813
2052	1345	1381	0,19619921	19	17	5 014	4 606
2053	1345	1381	0,18775044	19	17	4 798	4 408
2054	1345	1381	0,179665493	19	17	4 591	4 218
2055	1345	1381	0,171928701	19	17	4 394	4 036
2056	1345	1381	0,164525073	19	17	4 204	3 863
2057	1345	1381	0,157440261	19	17	4 023	3 696
2058	1345	1381	0,150660537	19	17	3 850	3 537
2059	1345	1381	0,144172763	19	17	3 684	3 385
2060	1345	1381	0,137964366	19	17	3 526	3 239
2061	1345	1381	0,132023317	19	17	3 374	3 100
2062	1345	1381	0,126338102	19	17	3 229	2 966
2063	1345	1381	0,120897706	19	17	3 090	2 838
2064	1345	1381	0,115691584	19	17	2 956	2 716

Tabell 32

## 13.2 KILE-beregninger

### 13.2.1 Korreksjonsfaktor for KILE-beregning

Gjennomsnittsverdier for korreksjonsfaktorene					
	November	Desember	Måned $f_{k,m}$	Dag $f_{k,d}$	Time $f_{k,h}$
Jordbruk	1,1	1,1	1,01	1,03	0,85
Husholdning	1	1	0,93	1,03	1,01
Industri	0,88	1	0,9	0,75	0,57
Handel og tjenester	1,06	1	1,02	0,79	0,6
Offentlig virksomhet	0,58	1	0,69	0,8	0,69
Industri med el-drevne prosesser	1	1	1	1	1

Tabell 33

### 13.2.2 Formler for beregning av KILE

KILE-formler	<1 min	>=1 min < 1 time	>= 1 time < 4 timer	>=4 timer og < 8 timer	>= 8 timer
Jordbruk	$5+14,3*t$	$5+14,3*t$	$19+15,6*(t-1)$	$66+14,3*(t-4)$	$66+14,3*(t-4)$
Husholdning	$1,1+9,8*t$	$1,1+9,8*t$	$1,1+9,8*t$	$1,1+9,8*t$	$1,1+9,8*t$
Industri	34	$34+84,7*t$	$118+82,3*(t-1)$	$365+55,6*(t-4)$	$588+36,5*(t-8)$
Handel og Tjenester	16	$28+168,3*t$	$196+91,1*(t-1)$	$469+141,3*(t-4)$	$1034+102,4*(t-8)$
Offentlig Virksomhet	7	$60+113,2*t$	$173+27,9*(t-1)$	$257+51,8*(t-4)$	$464+17,6*(t-8)$
Industri med el-drevne prosesser	$49+2,8*t$	$49+2,8*t$	$49+2,8*t$	$91+2,8*t$	$91+2,8*t$

Tabell 34

### 13.2.3 Kapitaliseringsfaktorer

Kapitaliseringsfaktorer	
Rente	0,045
Periode	
40 år	18,40158442
50 år	19,76200778

Tabell 35

### 13.4 Totale kostnader del 1, november

		November						
Nybygg	Forhold	Typebetegnelse [kr]	Investering		Handel og Offentlig virksomhet			Industri med el-drevne prosesser
			Jordbruk	Husholdning	Industri	tjenester	virksomhet	
Linje								
Prognose 1	uten skogrydding	FeAL50	3 886 290	3 746 782	4 338 672	4 923 107	4 145 396	4 469 160
Prognose 2	uten skogrydding		4 146 324	3 915 423	4 915 959	5 962 919	4 562 192	4 836 186
Prognose 3	uten skogrydding		5 117 599	4 557 092	7 013 761	9 507 961	5 757 219	5 745 238
Linje								
Prognose 1	1km skogrydding	FeAL50	3 947 742	3 808 234	4 400 124	4 984 558	4 206 847	4 530 612
Prognose 2	1km skogrydding		4 207 775	3 976 874	4 977 411	6 024 370	4 623 644	4 897 638
Prognose 3	1km skogrydding		5 179 051	4 618 543	7 075 213	9 569 412	5 818 670	5 806 690
Linje								
Prognose 1	3,5km skogrydding	FeAL50	4 101 371	3 961 863	4 553 753	5 138 187	4 360 476	4 684 241
Prognose 2	3,5km skogrydding		4 361 404	4 130 504	5 131 040	6 177 999	4 777 273	5 051 267
Prognose 3	3,5km skogrydding		5 332 680	4 772 173	7 228 842	9 723 041	5 972 300	5 960 319
Linje								
Prognose 1	5km skogrydding	FeAL50	4 193 548	4 054 040	4 645 930	5 230 365	4 452 654	4 776 419
Prognose 2	5km skogrydding		4 453 582	4 222 681	5 223 218	6 270 177	4 869 451	5 143 444
Prognose 3	5km skogrydding		5 424 858	4 864 350	7 321 020	9 815 219	6 064 477	6 052 497
Kabel	Normale forhold (100 m sprenging av fjell pr 5 km grøft)							
	Landsbygd	3*1*95	3 505 249	3 330 991	3 831 796	5 402 908	3 464 431	3 317 150
	Forstad	3*1*95	4 102 136	3 927 878	4 428 683	5 999 795	4 061 318	3 914 037
	Byområde	3*1*95	5 378 840	5 204 582	5 705 387	7 276 499	5 338 022	5 190 741
Kabel	Må sprengre fjell halve strekket							
	Landsbygd	3*1*95	4 820 449	4 646 191	5 146 996	6 718 108	4 779 631	4 632 350
	Forstad	3*1*95	5 417 336	5 243 078	5 743 883	7 314 995	5 376 518	5 229 237
Kabel	Sprengre 750 meter fjell, og skifte ut 1350							

kubikkmeter løsmasse									
Landsbygd	3*1*95	3008678	4 044 613	3 870 355	4 371 160	5 942 272	4 003 795	3 856 514	
Forstad	3*1*95	3582082	4 618 017	4 443 759	4 944 564	6 515 676	4 577 199	4 429 918	
Sprengte 400 meter fjell, og skifte ut 750 kubikkmeter løsmasse									
Landsbygd	3*1*95	2722948	3 758 883	3 584 625	4 085 430	5 656 542	3 718 065	3 570 784	
Forstad	3*1*95	3296352	4 332 287	4 158 029	4 658 834	6 229 946	4 291 469	4 144 188	
Kabelnett Legging i rør inkludert kost for legging av rør og graving									
Landsbygd	3*1*95	2717888	3 753 823	3 579 565	4 080 370	5 651 482	3 713 005	3 565 724	
Forstad	3*1*95	3314775	4 350 710	4 176 452	4 677 257	6 248 369	4 309 892	4 162 611	
Kabel i ferdiggravde rør, ikke inkludert kost for graving av rør og innkjøp av rør									
	3*1*95	1013362	2 049 297	1 875 039	2 375 844	3 946 956	2 008 479	1 861 198	
Kabel i 4/5 ny grøft og 1/5 ferdiggravde rør (inkludert kost for rør, ikke inkl. graving av dem)									
Landsbygd	3*1*95	2219973	3 255 908	3 081 650	3 582 455	5 153 567	3 215 090	3 067 809	
Kabel i rør. Betale alt, men dele gravestnadene 50/50 med noen andre.									
Landsbygd	3*1*95	1970248	3 006 183	2 831 925	3 332 730	4 903 842	2 965 365	2 818 084	
Forstad	3*1*95	2268691	3 304 626	3 130 368	3 631 173	5 202 285	3 263 808	3 116 527	
Byområde	3*1*95	2907044	3 942 979	3 768 721	4 269 526	5 840 638	3 902 161	3 754 880	

**Tabell 1**

### 13.5 Totale kostnader del 1, desember

		Desember							
Nybygg	Forhold	Typebetegnelse [kr]	Investering	Jordbruk	Husholdning	Industri	Handel og tjenester	Offentlig virksomhet	Industri med el-drevne prosesser
Linje									
Prognose 1	uten skogrydding	FeAL50	3074464	3 886 290	3 746 782	4 447 454	4 844 871	4 583 106	4 469 160
Prognose 2	uten skogrydding			4 146 324	3 915 423	5 103 462	5 825 825	5 301 721	4 836 186
Prognose 3	uten skogrydding			5 117 599	4 557 092	7 487 328	9 170 205	7 362 111	5 745 238
Linje									
Prognose 1	1km skogrydding	FeAL50	3074464	3 947 742	3 808 234	4 508 906	4 906 322	4 644 557	4 530 612
Prognose 2	1km skogrydding			4 207 775	3 976 874	5 164 914	5 887 277	5 363 173	4 897 638
Prognose 3	1km skogrydding			5 179 051	4 618 543	7 548 780	9 231 656	7 423 563	5 806 690
Linje									
Prognose 1	3,5km skogrydding	FeAL50	3074464	4 101 371	3 961 863	4 662 535	5 059 952	4 798 186	4 684 241
Prognose 2	3,5km skogrydding			4 361 404	4 130 504	5 318 543	6 040 906	5 516 802	5 051 267
Prognose 3	3,5km skogrydding			5 332 680	4 772 173	7 702 409	9 385 286	7 577 192	5 960 319
Linje									
Prognose 1	5km skogrydding	FeAL50	3074464	4 193 548	4 054 040	4 754 712	5 152 129	4 890 364	4 776 419
Prognose 2	5km skogrydding			4 453 582	4 222 681	5 410 720	6 133 084	5 608 979	5 143 444
Prognose 3	5km skogrydding			5 424 858	4 864 350	7 794 587	9 477 463	7 669 370	6 052 497
Kabel	Normale forhold (100 m sprenging av fjell pr 5 km grøft)								
	Landsbygd	3*1*95	2469314	3 505 249	3 330 991	3 958 971	5 261 188	3 873 752	3 317 150
	Forstad	3*1*95	3066201	4 102 136	3 927 878	4 555 858	5 858 075	4 470 639	3 914 037
	Byområde	3*1*95	4342905	5 378 840	5 204 582	5 832 562	7 134 779	5 747 343	5 190 741
Kabel	Må sprengre fjell halve strekket								
	Landsbygd	3*1*95	3784514	4 820 449	4 646 191	5 274 171	6 576 388	5 188 952	4 632 350
	Forstad	3*1*95	4381401	5 417 336	5 243 078	5 871 058	7 173 275	5 785 839	5 229 237
Kabel	Sprengre 750 meter fjell, og skifte ut 1350								



kubikmeter løsmasse									
Landsbygd	3*1*95	3008678	4 044 613	3 870 355	4 498 335	5 800 552	4 413 116	3 856 514	
Forstad	3*1*95	3582082	4 618 017	4 443 759	5 071 739	6 373 956	4 986 520	4 429 918	
Spreng 400 meter fjell, og skifte ut 750 kubikmeter løsmasse									
Landsbygd	3*1*95	2722948	3 758 883	3 584 625	4 212 605	5 514 822	4 127 386	3 570 784	
Forstad	3*1*95	3296352	4 332 287	4 158 029	4 786 009	6 088 226	4 700 790	4 144 188	
Kabelnett Legging i rør inkludert kost for legging av rør og graving									
Landsbygd	3*1*95	2717888	3 753 823	3 579 565	4 207 545	5 509 762	4 122 326	3 565 724	
Forstad	3*1*95	3314775	4 350 710	4 176 452	4 804 432	6 106 649	4 719 213	4 162 611	
Kabel i ferdiggravde rør, ikke inkludert kost for graving av rør og innkjøp av rør									
	3*1*95	1013362	2 049 297	1 875 039	2 503 019	3 805 236	2 417 800	1 861 198	
Kabel i 4/5 ny grøft og 1/5 ferdiggravde rør (inkludert kost for rør, ikke inkl. graving av dem)									
Landsbygd	3*1*95	2219973	3 255 908	3 081 650	3 709 630	5 011 847	3 624 411	3 067 809	
Kabel i rør. Betale alt, men dele gravekostnader 50/50 med noen andre.									
Landsbygd	3*1*95	1970248	3 006 183	2 831 925	3 459 905	4 762 122	3 374 686	2 818 084	
Forstad	3*1*95	2268691	3 304 626	3 130 368	3 758 348	5 060 565	3 673 129	3 116 527	
Byområde	3*1*95	2907044	3 942 979	3 768 721	4 396 701	5 698 918	4 311 482	3 754 880	

Tabell 2

## 13.5 Tapskostnader del 1

Totalt forbruk [kWh]	Brukstid for tap én bolig	Brukstid for tap flere boliger sammen-lagret	Beregnet maks effekt én bolig [kW]	Beregnet maks effekt flere boliger sammen-lagret [kW]	Maks strøm [A]	Maks strøm flere boliger sammen-lagret	Optimalt tverrsnitt 1 bolig [mm <sup>2</sup> ]	Optimalt tverrsnitt flere boliger sammen-lagret [mm <sup>2</sup> ]
10000	2400	3950	4,2	2,5	6,04	3,67	15,1	9,2
11000	2400	3950	4,6	2,8	6,64	4,04	16,6	10,1
12000	2400	3950	5,0	3,0	7,25	4,40	18,1	11,0
13000	2400	3950	5,4	3,3	7,85	4,77	19,7	11,9
14000	2400	3950	5,8	3,5	8,45	5,14	21,2	12,9
15000	2400	3950	6,3	3,8	9,06	5,50	22,7	13,8
16000	2400	3950	6,7	4,1	9,66	5,87	24,2	14,7
17000	2400	3950	7,1	4,3	10,27	6,24	25,7	15,6
18000	2400	3950	7,5	4,6	10,87	6,60	27,2	16,5
19000	2400	3950	7,9	4,8	11,47	6,97	28,7	17,5
20000	2400	3950	8,3	5,1	12,08	7,34	30,2	18,4
21000	2400	3950	8,8	5,3	12,68	7,71	31,8	19,3
22000	2400	3950	9,2	5,6	13,29	8,07	33,3	20,2
23000	2400	3950	9,6	5,8	13,89	8,44	34,8	21,1
24000	2400	3950	10,0	6,1	14,49	8,81	36,3	22,1
25000	2400	3950	10,4	6,3	15,10	9,17	37,8	23,0
26000	2400	3950	10,8	6,6	15,70	9,54	39,3	23,9
27000	2400	3950	11,3	6,8	16,30	9,91	40,8	24,8
28000	2400	3950	11,7	7,1	16,91	10,27	42,3	25,7
29000	2400	3950	12,1	7,3	17,51	10,64	43,9	26,6
30000	2400	3950	12,5	7,6	18,12	11,01	45,4	27,6
31000	2400	3950	12,9	7,8	18,72	11,37	46,9	28,5
32000	2400	3950	13,3	8,1	19,32	11,74	48,4	29,4
33000	2400	3950	13,8	8,4	19,93	12,11	42,5	30,3
34000	2400	3950	14,2	8,6	20,53	12,47	43,8	31,2
35000	2400	3950	14,6	8,9	21,14	12,84	45,1	32,2
36000	2400	3950	15,0	9,1	21,74	13,21	46,4	33,1
37000	2400	3950	15,4	9,4	22,34	13,58	47,6	34,0
38000	2400	3950	15,8	9,6	22,95	13,94	48,9	34,9
39000	2400	3950	16,3	9,9	23,55	14,31	50,2	35,8
40000	2400	3950	16,7	10,1	24,15	14,68	51,5	36,8
41000	2400	3950	17,1	10,4	24,76	15,04	52,8	37,7
42000	2400	3950	17,5	10,6	25,36	15,41	54,1	38,6
43000	2400	3950	17,9	10,9	25,97	15,78	55,4	39,5
44000	2400	3950	18,3	11,1	26,57	16,14	56,7	40,4
45000	2400	3950	18,8	11,4	27,17	16,51	57,9	41,3
46000	2400	3950	19,2	11,6	27,78	16,88	59,2	42,3
47000	2400	3950	19,6	11,9	28,38	17,24	60,5	43,2

<b>48000</b>	2400	3950	20,0	12,2	28,99	17,61	61,8	44,1
<b>49000</b>	2400	3950	20,4	12,4	29,59	17,98	63,1	45,0
<b>50000</b>	2400	3950	20,8	12,7	30,19	18,35	64,4	45,9
<b>51000</b>	2400	3950	21,3	12,9	30,80	18,71	65,7	46,9
<b>52000</b>	2400	3950	21,7	13,2	31,40	19,08	67,0	47,8
<b>53000</b>	2400	3950	22,1	13,4	32,00	19,45	68,2	48,7
<b>54000</b>	2400	3950	22,5	13,7	32,61	19,81	69,5	49,6
<b>55000</b>	2400	3950	22,9	13,9	33,21	20,18	70,8	43,0
<b>56000</b>	2400	3950	23,3	14,2	33,82	20,55	72,1	43,8
<b>57000</b>	2400	3950	23,8	14,4	34,42	20,91	73,4	44,6
<b>58000</b>	2400	3950	24,2	14,7	35,02	21,28	74,7	45,4
<b>59000</b>	2400	3950	24,6	14,9	35,63	21,65	76,0	46,2
<b>60000</b>	2400	3950	25,0	15,2	36,23	22,01	77,3	46,9
<b>61000</b>	2400	3950	25,4	15,4	36,84	22,38	78,5	47,7
<b>62000</b>	2400	3950	25,8	15,7	37,44	22,75	79,8	48,5
<b>63000</b>	2400	3950	26,3	15,9	38,04	23,12	81,1	49,3
<b>64000</b>	2400	3950	26,7	16,2	38,65	23,48	82,4	50,1
<b>65000</b>	2400	3950	27,1	16,5	39,25	23,85	83,7	50,9
<b>66000</b>	2400	3950	27,5	16,7	39,86	24,22	85,0	51,6
<b>67000</b>	2400	3950	27,9	17,0	40,46	24,58	86,3	52,4
<b>68000</b>	2400	3950	28,3	17,2	41,06	24,95	87,6	53,2
<b>69000</b>	2400	3950	28,8	17,5	41,67	25,32	88,8	54,0
<b>70000</b>	2400	3950	29,2	17,7	42,27	25,68	90,1	54,8
<b>71000</b>	2400	3950	29,6	18,0	42,87	26,05	91,4	55,5
<b>72000</b>	2400	3950	30,0	18,2	43,48	26,42	92,7	56,3
<b>73000</b>	2400	3950	30,4	18,5	44,08	26,78	94,0	57,1
<b>74000</b>	2400	3950	30,8	18,7	44,69	27,15	95,3	57,9
<b>75000</b>	2400	3950	31,3	19,0	45,29	27,52	96,6	58,7
<b>76000</b>	2400	3950	31,7	19,2	45,89	27,88	97,9	59,5
<b>77000</b>	2400	3950	32,1	19,5	46,50	28,25	99,2	60,2
<b>78000</b>	2400	3950	32,5	19,7	47,10	28,62	100,4	61,0
<b>79000</b>	2400	3950	32,9	20,0	47,71	28,99	101,7	61,8
<b>80000</b>	2400	3950	33,3	20,3	48,31	29,35	103,0	62,6
<b>81000</b>	2400	3950	33,8	20,5	48,91	29,72	104,3	63,4
<b>82000</b>	2400	3950	34,2	20,8	49,52	30,09	105,6	64,2
<b>83000</b>	2400	3950	34,6	21,0	50,12	30,45	106,9	64,9
<b>84000</b>	2400	3950	35,0	21,3	50,72	30,82	108,2	65,7
<b>85000</b>	2400	3950	35,4	21,5	51,33	31,19	109,5	66,5
<b>86000</b>	2400	3950	35,8	21,8	51,93	31,55	110,7	67,3
<b>87000</b>	2400	3950	36,3	22,0	52,54	31,92	112,0	68,1
<b>88000</b>	2400	3950	36,7	22,3	53,14	32,29	113,3	68,8
<b>89000</b>	2400	3950	37,1	22,5	53,74	32,65	114,6	69,6
<b>90000</b>	2400	3950	37,5	22,8	54,35	33,02	115,9	70,4
<b>91000</b>	2400	3950	37,9	23,0	54,95	33,39	117,2	71,2
<b>92000</b>	2400	3950	38,3	23,3	55,56	33,76	118,5	72,0
<b>93000</b>	2400	3950	38,8	23,5	56,16	34,12	119,8	72,8

<b>94000</b>	2400	3950	39,2	23,8	56,76	34,49	121,0	73,5
<b>95000</b>	2400	3950	39,6	24,1	57,37	34,86	122,3	74,3
<b>96000</b>	2400	3950	40,0	24,3	57,97	35,22	123,6	75,1
<b>97000</b>	2400	3950	40,4	24,6	58,57	35,59	124,9	75,9
<b>98000</b>	2400	3950	40,8	24,8	59,18	35,96	126,2	76,7
<b>99000</b>	2400	3950	41,3	25,1	59,78	36,32	127,5	77,5
<b>100000</b>	2400	3950	41,7	25,3	60,39	36,69	128,8	78,2
<b>101000</b>	2400	3950	42,1	25,6	60,99	37,06	130,1	79,0
<b>102000</b>	2400	3950	42,5	25,8	61,59	37,42	131,3	79,8
<b>103000</b>	2400	3950	42,9	26,1	62,20	37,79	132,6	80,6
<b>104000</b>	2400	3950	43,3	26,3	62,80	38,16	133,9	81,4
<b>105000</b>	2400	3950	43,8	26,6	63,41	38,53	135,2	82,1
<b>106000</b>	2400	3950	44,2	26,8	64,01	38,89	136,5	82,9
<b>107000</b>	2400	3950	44,6	27,1	64,61	39,26	137,8	83,7
<b>108000</b>	2400	3950	45,0	27,3	65,22	39,63	139,1	84,5
<b>109000</b>	2400	3950	45,4	27,6	65,82	39,99	140,4	85,3
<b>110000</b>	2400	3950	45,8	27,8	66,43	40,36	141,6	86,1
<b>111000</b>	2400	3950	46,3	28,1	67,03	40,73	142,9	86,8
<b>112000</b>	2400	3950	46,7	28,4	67,63	41,09	144,2	87,6
<b>113000</b>	2400	3950	47,1	28,6	68,24	41,46	145,5	88,4
<b>114000</b>	2400	3950	47,5	28,9	68,84	41,83	146,8	89,2
<b>115000</b>	2400	3950	47,9	29,1	69,44	42,19	148,1	90,0
<b>116000</b>	2400	3950	48,3	29,4	70,05	42,56	149,4	90,8
<b>117000</b>	2400	3950	48,8	29,6	70,65	42,93	150,7	91,5
<b>118000</b>	2400	3950	49,2	29,9	71,26	43,29	151,9	92,3
<b>119000</b>	2400	3950	49,6	30,1	71,86	43,66	153,2	93,1
<b>120000</b>	2400	3950	50,0	30,4	72,46	44,03	154,5	93,9
<b>121000</b>	2400	3950	50,4	30,6	73,07	44,40	155,8	94,7
<b>122000</b>	2400	3950	50,8	30,9	73,67	44,76	157,1	95,5
<b>123000</b>	2400	3950	51,3	31,1	74,28	45,13	158,4	96,2
<b>124000</b>	2400	3950	51,7	31,4	74,88	45,50	159,7	97,0
<b>125000</b>	2400	3950	52,1	31,6	75,48	45,86	161,0	97,8
<b>126000</b>	2400	3950	52,5	31,9	76,09	46,23	162,2	98,6
<b>127000</b>	2400	3950	52,9	32,2	76,69	46,60	163,5	99,4
<b>128000</b>	2400	3950	53,3	32,4	77,29	46,96	164,8	100,1
<b>129000</b>	2400	3950	53,8	32,7	77,90	47,33	166,1	100,9
<b>130000</b>	2400	3950	54,2	32,9	78,50	47,70	167,4	101,7
<b>131000</b>	2400	3950	54,6	33,2	79,11	48,06	168,7	102,5
<b>132000</b>	2400	3950	55,0	33,4	79,71	48,43	170,0	103,3
<b>133000</b>	2400	3950	55,4	33,7	80,31	48,80	171,3	104,1
<b>134000</b>	2400	3950	55,8	33,9	80,92	49,17	172,5	104,8
<b>135000</b>	2400	3950	56,3	34,2	81,52	49,53	173,8	105,6
<b>136000</b>	2400	3950	56,7	34,4	82,13	49,90	175,1	106,4
<b>137000</b>	2400	3950	57,1	34,7	82,73	50,27	176,4	107,2
<b>138000</b>	2400	3950	57,5	34,9	83,33	50,63	177,7	108,0
<b>139000</b>	2400	3950	57,9	35,2	83,94	51,00	179,0	108,8

<b>140000</b>	2400	3950	58,3	35,4	84,54	51,37	180,3	109,5
<b>141000</b>	2400	3950	58,8	35,7	85,14	51,73	181,6	110,3
<b>142000</b>	2400	3950	59,2	35,9	85,75	52,10	182,8	111,1
<b>143000</b>	2400	3950	59,6	36,2	86,35	52,47	184,1	111,9
<b>144000</b>	2400	3950	60,0	36,5	86,96	52,83	185,4	112,7
<b>145000</b>	2400	3950	60,4	36,7	87,56	53,20	186,7	113,4
<b>146000</b>	2400	3950	60,8	37,0	88,16	53,57	188,0	114,2
<b>147000</b>	2400	3950	61,3	37,2	88,77	53,94	189,3	115,0
<b>148000</b>	2400	3950	61,7	37,5	89,37	54,30	190,6	115,8
<b>149000</b>	2400	3950	62,1	37,7	89,98	54,67	191,9	116,6
<b>150000</b>	2400	3950	62,5	38,0	90,58	55,04	193,1	117,4
<b>151000</b>	2400	3950	62,9	38,2	91,18	55,40	194,4	118,1
<b>152000</b>	2400	3950	63,3	38,5	91,79	55,77	195,7	118,9
<b>153000</b>	2400	3950	63,8	38,7	92,39	56,14	197,0	119,7
<b>154000</b>	2400	3950	64,2	39,0	93,00	56,50	198,3	120,5
<b>155000</b>	2400	3950	64,6	39,2	93,60	56,87	199,6	121,3
<b>156000</b>	2400	3950	65,0	39,5	94,20	57,24	200,9	122,1
<b>157000</b>	2400	3950	65,4	39,7	94,81	57,60	202,2	122,8
<b>158000</b>	2400	3950	65,8	40,0	95,41	57,97	203,5	123,6
<b>159000</b>	2400	3950	66,3	40,3	96,01	58,34	204,7	124,4
<b>160000</b>	2400	3950	66,7	40,5	96,62	58,70	206,0	125,2
<b>161000</b>	2400	3950	67,1	40,8	97,22	59,07	207,3	126,0
<b>162000</b>	2400	3950	67,5	41,0	97,83	59,44	208,6	126,7
<b>163000</b>	2400	3950	67,9	41,3	98,43	59,81	209,9	127,5
<b>164000</b>	2400	3950	68,3	41,5	99,03	60,17	211,2	128,3
<b>165000</b>	2400	3950	68,8	41,8	99,64	60,54	212,5	129,1
<b>166000</b>	2400	3950	69,2	42,0	100,24	60,91	213,8	129,9
<b>167000</b>	2400	3950	69,6	42,3	100,85	61,27	215,0	130,7
<b>168000</b>	2400	3950	70,0	42,5	101,45	61,64	216,3	131,4
<b>169000</b>	2400	3950	70,4	42,8	102,05	62,01	217,6	132,2
<b>170000</b>	2400	3950	70,8	43,0	102,66	62,37	218,9	133,0
<b>171000</b>	2400	3950	71,3	43,3	103,26	62,74	220,2	133,8
<b>172000</b>	2400	3950	71,7	43,5	103,86	63,11	221,5	134,6
<b>173000</b>	2400	3950	72,1	43,8	104,47	63,47	222,8	135,4
<b>174000</b>	2400	3950	72,5	44,1	105,07	63,84	224,1	136,1
<b>175000</b>	2400	3950	72,9	44,3	105,68	64,21	225,3	136,9
<b>176000</b>	2400	3950	73,3	44,6	106,28	64,58	226,6	137,7
<b>177000</b>	2400	3950	73,8	44,8	106,88	64,94	227,9	138,5
<b>178000</b>	2400	3950	74,2	45,1	107,49	65,31	229,2	139,3
<b>179000</b>	2400	3950	74,6	45,3	108,09	65,68	230,5	140,0
<b>180000</b>	2400	3950	75,0	45,6	108,70	66,04	231,8	140,8
<b>181000</b>	2400	3950	75,4	45,8	109,30	66,41	233,1	141,6
<b>182000</b>	2400	3950	75,8	46,1	109,90	66,78	234,4	142,4
<b>183000</b>	2400	3950	76,3	46,3	110,51	67,14	235,6	143,2
<b>184000</b>	2400	3950	76,7	46,6	111,11	67,51	236,9	144,0
<b>185000</b>	2400	3950	77,1	46,8	111,71	67,88	238,2	144,7

<b>186000</b>	2400	3950	77,5	47,1	112,32	68,24	239,5	145,5
<b>187000</b>	2400	3950	77,9	47,3	112,92	68,61	240,8	146,3
<b>188000</b>	2400	3950	78,3	47,6	113,53	68,98	242,1	147,1
<b>189000</b>	2400	3950	78,8	47,8	114,13	69,35	243,4	147,9
<b>190000</b>	2400	3950	79,2	48,1	114,73	69,71	244,7	148,7
<b>191000</b>	2400	3950	79,6	48,4	115,34	70,08	245,9	149,4
<b>192000</b>	2400	3950	80,0	48,6	115,94	70,45	247,2	150,2
<b>193000</b>	2400	3950	80,4	48,9	116,55	70,81	248,5	151,0
<b>194000</b>	2400	3950	80,8	49,1	117,15	71,18	249,8	151,8
<b>195000</b>	2400	3950	81,3	49,4	117,75	71,55	251,1	152,6
<b>196000</b>	2400	3950	81,7	49,6	118,36	71,91	252,4	153,3
<b>197000</b>	2400	3950	82,1	49,9	118,96	72,28	253,7	154,1
<b>198000</b>	2400	3950	82,5	50,1	119,57	72,65	255,0	154,9
<b>199000</b>	2400	3950	82,9	50,4	120,17	73,01	256,2	155,7
<b>200000</b>	2400	3950	83,3	50,6	120,77	73,38	257,5	156,5
<b>201000</b>	2400	3950	83,8	50,9	121,38	73,75	258,8	157,3
<b>202000</b>	2400	3950	84,2	51,1	121,98	74,11	260,1	158,0
<b>203000</b>	2400	3950	84,6	51,4	122,58	74,48	261,4	158,8
<b>204000</b>	2400	3950	85,0	51,6	123,19	74,85	262,7	159,6
<b>205000</b>	2400	3950	85,4	51,9	123,79	75,22	264,0	160,4
<b>206000</b>	2400	3950	85,8	52,2	124,40	75,58	265,3	161,2
<b>207000</b>	2400	3950	86,3	52,4	125,00	75,95	266,5	162,0
<b>208000</b>	2400	3950	86,7	52,7	125,60	76,32	267,8	162,7
<b>209000</b>	2400	3950	87,1	52,9	126,21	76,68	269,1	163,5
<b>210000</b>	2400	3950	87,5	53,2	126,81	77,05	270,4	164,3
<b>211000</b>	2400	3950	87,9	53,4	127,42	77,42	271,7	165,1
<b>212000</b>	2400	3950	88,3	53,7	128,02	77,78	273,0	165,9
<b>213000</b>	2400	3950	88,8	53,9	128,62	78,15	274,3	166,6
<b>214000</b>	2400	3950	89,2	54,2	129,23	78,52	275,6	167,4
<b>215000</b>	2400	3950	89,6	54,4	129,83	78,88	276,8	168,2
<b>216000</b>	2400	3950	90,0	54,7	130,43	79,25	278,1	169,0
<b>217000</b>	2400	3950	90,4	54,9	131,04	79,62	279,4	169,8
<b>218000</b>	2400	3950	90,8	55,2	131,64	79,99	280,7	170,6
<b>219000</b>	2400	3950	91,3	55,4	132,25	80,35	282,0	171,3
<b>220000</b>	2400	3950	91,7	55,7	132,85	80,72	283,3	172,1
<b>221000</b>	2400	3950	92,1	55,9	133,45	81,09	284,6	172,9
<b>222000</b>	2400	3950	92,5	56,2	134,06	81,45	285,9	173,7
<b>223000</b>	2400	3950	92,9	56,5	134,66	81,82	287,1	174,5
<b>224000</b>	2400	3950	93,3	56,7	135,27	82,19	288,4	175,3
<b>225000</b>	2400	3950	93,8	57,0	135,87	82,55	289,7	176,0
<b>226000</b>	2400	3950	94,2	57,2	136,47	82,92	291,0	176,8
<b>227000</b>	2400	3950	94,6	57,5	137,08	83,29	292,3	177,6
<b>228000</b>	2400	3950	95,0	57,7	137,68	83,65	293,6	178,4
<b>229000</b>	2400	3950	95,4	58,0	138,29	84,02	294,9	179,2
<b>230000</b>	2400	3950	95,8	58,2	138,89	84,39	296,2	179,9
<b>231000</b>	2400	3950	96,3	58,5	139,49	84,76	297,5	180,7

<b>232000</b>	2400	3950	96,7	58,7	140,10	85,12	298,7	181,5
<b>233000</b>	2400	3950	97,1	59,0	140,70	85,49	300,0	182,3
<b>234000</b>	2400	3950	97,5	59,2	141,30	85,86	301,3	183,1
<b>235000</b>	2400	3950	97,9	59,5	141,91	86,22	302,6	183,9
<b>236000</b>	2400	3950	98,3	59,7	142,51	86,59	303,9	184,6
<b>237000</b>	2400	3950	98,8	60,0	143,12	86,96	305,2	185,4
<b>238000</b>	2400	3950	99,2	60,3	143,72	87,32	306,5	186,2
<b>239000</b>	2400	3950	99,6	60,5	144,32	87,69	307,8	187,0
<b>240000</b>	2400	3950	100,0	60,8	144,93	88,06	309,0	187,8

Tabell 1

## 13.6 Tapskostnader del 2

År	Last- økning	Kapital	Tap	Tap	k_pek kabel	k_pek linje	Taps- kostnad kabel	Taps- kostnad linje
		isering sfaktor 4,5 % rente	isering [kW] Kabel Tung- last	isering [kW] Linje Tung- last				
2015	1,000	1,000	10	18	1308	1398	13080	25164
2016	1,005	0,957	10	18	1279	1369	12239	23581
2017	1,010	0,916	10	18	1290	1380	11813	22747
2018	1,015	0,876	10	18	1304	1394	11427	21988
2019	1,020	0,839	10	18	1327	1417	11128	21388
2020	1,025	0,802	10	18	1338	1428	10737	20626
2021	1,030	0,768	10	19	1357	1448	10420	21126
2022	1,036	0,735	10	19	1356	1446	9964	20189
2023	1,041	0,703	10	19	1371	1461	9641	19520
2024	1,046	0,673	10	19	1380	1470	9286	18794
2025	1,051	0,644	11	19	1388	1478	9831	18083
2026	1,056	0,616	11	19	1397	1487	9469	17409
2027	1,062	0,590	11	20	1407	1497	9126	17655
2028	1,067	0,564	11	20	1416	1506	8789	16996
2029	1,072	0,540	11	20	1426	1517	8470	16383
2030	1,078	0,517	11	20	1437	1527	8168	15781
2031	1,083	0,494	11	20	1448	1538	7876	15210
2032	1,088	0,473	11	21	1459	1549	7594	15392
2033	1,094	0,453	11	21	1471	1561	7327	14843
2034	1,099	0,433	11	21	1483	1573	7068	14313
2035	1,105	0,415	12	21	1496	1586	7444	13810
2036	1,110	0,397	12	21	1496	1586	7123	13215
2037	1,116	0,380	12	22	1496	1586	6816	13249
2038	1,122	0,363	12	22	1496	1586	6523	12678
2039	1,127	0,348	12	22	1496	1586	6242	12132
2040	1,133	0,333	12	22	1496	1586	5973	11610

2041	1,138	0,318	12	22	1496	1586	5716	11110
2042	1,144	0,305	12	22	1496	1586	5470	10631
2043	1,150	0,292	12	23	1496	1586	5234	10636
2044	1,156	0,279	12	23	1496	1586	5009	10178
2045	1,161	0,267	13	23	1496	1586	5193	9740
2046	1,167	0,256	13	23	1496	1586	4969	9320
2047	1,173	0,244	13	23	1496	1586	4755	8919
2048	1,179	0,234	13	24	1496	1586	4550	8906
2049	1,185	0,224	13	24	1496	1586	4354	8522
2050	1,191	0,214	14	24	1496	1586	4487	8155
2051	1,197	0,205	14	25	1496	1586	4294	8129
2052	1,203	0,196	14	25	1496	1586	4109	7779
2053	1,209	0,188	14	25	1496	1586	3932	7444
2054	1,215	0,180	14	25	1496	1586	3763	7124
2055	1,221	0,172	14	25	1496	1586	3601	6817
2056	1,227	0,165	14	26	1496	1586	3446	6784
2057	1,233	0,157	14	26	1496	1586	3297	6492
2058	1,239	0,151	15	26	1496	1586	3381	6213
2059	1,245	0,144	15	26	1496	1586	3235	5945
2060	1,252	0,138	15	26	1496	1586	3096	5689
2061	1,258	0,132	15	27	1496	1586	2963	5654
2062	1,264	0,126	15	27	1496	1586	2835	5410
2063	1,270	0,121	16	27	1496	1586	2894	5177
2064	1,277	0,116	16	28	1496	1586	2769	5138
<b>TOTAL</b>							<b>330928</b>	<b>639794</b>

Tabell 2