



Kabel som alternativ til luftledning

På oppdrag for Olje- og energidepartementet

31. januar 2022

Om Oslo Economics

Oslo Economics utreder samfunnsfaglige problemstillinger og gir råd til bedrifter, myndigheter og organisasjoner. Våre analyser kan være et beslutningsgrunnlag for myndighetene, et informasjonsgrunnlag i rettslige prosesser, eller et grunnlag for organisasjoner som ønsker å påvirke sine rammebetingelser. Vi forstår problemstillingene som oppstår i skjæringspunktet mellom marked og politikk.

Oslo Economics er et samfunnsfaglig rådgivningsmiljø med erfarne konsulenter med bakgrunn fra offentlig forvaltning og ulike forsknings- og analysemiljøer. Vi tilbyr innsikt basert på bransjeerfaring, fagkompetanse og et nettverk av samarbeidspartnere.

Om Sweco

Sweco er Europas største rådgiverselskap innen teknikk, miljø og arkitektur med en årlig omsetning på nesten 2 milliarder EUR. Sweco har om lag 17 500 ansatte ingeniører, miljøeksperter og arkitekter i 13 land i Nord-Europa. Sweco Norge har ca. 1700 ansatte fordelt på 28 kontorer fra Mandal i sør til Svalbard i nord. Årlig gjennomfører Sweco Norge ca. 8000 store og små prosjekter for om lag 3500 ulike kunder.

Sweco jobber med prosjekter i alle faser, fra konsept- og mulighetsstudier til drift og avvikling, og innenfor alle miljø- og ingeniørfagområder. Dette gir oss omfattende kunnskaper om hele bredden i prosjektene våre, og gjennom hele livsløpet.

Kabel som alternativ til luftledning/OE-rapport 2022-8

© Oslo Economics, 31. januar 2022

Kontaktperson:

Jostein Skaar / Partner

jsk@osloeconomics.no, Tel. 959 33 827

Foto/illustrasjon: iStock.com/s348138

Innhold

Sammendrag	4
1. Innledning og bakgrunn	7
2. Overførings- og distribusjonsnettet i Norge	9
2.1 Økende behov for overføringsnett	9
2.2 Andelen jordkabel øker i byene	9
3. Bruk av kabler i Norge	10
3.1 Areal- og miljøhensyn har fått større vekt i vurderinger om kabling	10
3.2 I konsesjonsprosessen vektas miljøhensyn mot økonomiske og tekniske hensyn	11
3.3 Kabling vurderes ofte som et avbøtende tiltak	11
3.4 Vurdering av ulike konsekvenser	12
4. Utvikling og teknologi	15
4.1 Ledningskostnaden avhenger av adkomst og topografi	15
4.2 Kabelmarkedet i Norge har vokst over tid	15
4.3 Kabelfeil er mer krevende å rette opp	16
4.4 VSC-anlegg (Voltage Source Converter)	17
4.5 Oppsummering	17
5. Kostnader for luftledning og kabelanlegg	19
5.1 Tekniske forskjeller mellom luftledning og kabel påvirker investeringskostnaden	19
5.2 Investeringskostnader for luftledning varierer med terrenget	20
5.3 Investeringskostnadene for jordkabel kan bli svært høye	21
5.4 Investeringskostnadene for sjøkabel er usikre og varierende	23
5.5 Driftskostnader og -forhold varierer for de ulike teknologiene	23
5.6 Kostnadene for luftledninger har økt mer enn for kabelanlegg	24
5.7 På lavere spenningsnivå og i lett terreng blir kostnadene likere	25
6. Oppsummering og vurdering av kabel som alternativ til luftledning	26
6.1 Investeringskostnader	26
6.2 Driftsmessige forhold	26
6.3 Miljøtiltak og nytteverdi av kabling	27
6.4 Samlet vurdering	27
7. Referanser	28

Sammendrag

Oslo Economics og Sweco har på oppdrag for Olje- og energidepartementet sammenlignet utbygging av strømmettet med kabler eller luftledninger. Sammenligningen rettes mot investerings- og driftskostnader, driftsmessige forskjeller og areal- og miljøvirkninger.

Vår gjennomgang finner at det i hovedsak ikke er grunnlag for å revidere eksisterende retningslinjer for kabling. I distribusjonsnett er forskjellene i investeringskostnader små og det er ikke kommet frem informasjon som tilsier at det helhetlige kostnadsbildet er vesentlig endret. Vi finner derfor ikke grunnlag for å endre på hovedregelen om kabling på lavere spenningsnivå (<22 kV). Det er likevel nødvendig å vurdere luftledninger der naturinngrepet og/eller kostnadene ved kabling er høye.

Hovedregelen i regionalnettet er at det kun skal brukes kabler i byområder eller der miljøkonsekvensene av luftledninger er store. Dette synes fortsatt å være rimelig. I tillegg finner vi at det bør inkluderes et unntak om at jordkabel kan vurderes i lett terreng i regionalnettet der kostnadsforskjellene mellom luftledning og jordkabel er små. En betydelig kostnadsøkning for luftledninger de seneste årene har gjort at det i lett terreng i regionalnettet er betydelig mindre kostnadsforskjeller mellom jordkabel og luftledning. I transmisjonsnettet er kostnaden fortsatt høy for kabling sammenlignet med luftledninger og hovedregelen om luftledning bør videreføres.

Regjeringen har oppnevnt et offentlig utvalg som skal vurdere utviklingen av strømmettet, Strømmettutvalget. Strømmettutvalget skal blant annet vurdere om det er behov for endringer i gjeldende retningslinjer for kabling av kraftledninger. Denne rapporten inngår som en del av kunnskapsunderlaget til utvalget.

Gjeldende retningslinjer for bruk av kabel ble vedtatt i Stortinget i forbindelse med behandling av Nettmeldingen, Meld. St. 14 (2011-2012). Retningslinjene angir at bruken av kabel skal økes på lavere spenningsnivå, men være gradvis mer restriktiv med økende spenningsnivå. Dette innebærer en økende kabelbruk i distribusjonsnettet (1-22 kV), mens det i regionalnettet (33-132 kV) kun skal brukes kabler i byområder eller der miljøkonsekvensene av ledninger er store. Overføringsanlegg i transmisjonsnettet (300 og 420 kV) skal kun bygges som kabel i unntakstilfeller der luftledning er teknisk vanskelig eller umulig.

Hovedhensikten med rapporten er å utarbeide en sammenligning av sjø-, jordkabel og luftledning for utvalgte spenningsnivå. Sammenligningen rettes mot investerings- og driftskostnader, driftsmessige forskjeller og areal- og miljøvirkninger.

Investeringskostnader

Jordkabelanlegg har generelt en høyere kostnad per km, sammenlignet med bygging av luftledninger. Dette gjelder for alle spenningsnivå og alle vanskelighetsgrader. De siste 15-20 årene har det generelt vært en økning i kostnadene for både luftledninger og kabelanlegg, spesielt relatert til råvarekostnader. Entreprenørkostnadene for luftledninger har imidlertid økt mer enn for kabelanlegg, og kostnadsforskjellene har blitt mindre enn de var. På lavere spenningsnivå (<22 kV) er det små forskjeller i kostnader per km mellom jordkabler og luftledninger. Det samme gjelder for regionalnettet i lett terreng.

I distribusjonsnettet er kostnadene for ett kabelsett jordkabel omtrent tilsvarende som for luftledninger i alle terreng, mens kostnaden er noe høyere dersom det er behov for to kabelsett. Jordkabler vil ofte kreve en noe lengre trasé enn luftledninger, og dersom kabeltraseen er 25 prosent lenger vil investeringskostnadene ved kabling være omtrent 50 prosent høyere enn for luftledninger.

I regionalnettet er kostnadsforskjellen liten mellom jordkabelanlegg og luftledninger i lett terreng, mens forskjellen fortsatt er stor i krevende terreng. Kostnadsforskjellen på spenningsnivåene i regionalnettet vil avhenge av mange faktorer og variere mye mellom prosjekter. Overføringsbehov, terreng og trasé er faktorer som vil gi store utslag. Jordkabelanlegg er fortsatt vesentlig dyrere enn luftledninger dersom det for eksempel er et større overføringsbehov, krevende terreng eller utilgjengelig trasé.

I transmisjonsnettet er kostnadsforskjellen mellom luftledninger og jordkabler fortsatt store. Kostnadene er ofte den utløsende årsaken i vurderinger der luftledninger blir valgt til fordel for kabler.

Sjøkabel kan i enkelte tilfeller være et alternativ til luftledning. Normalt velges sjøkabel dersom luftledning ikke er mulig, men i enkelte tilfeller gjøres det også avveininger mellom disse to fremføringsvalgene, spesielt av estetiske hensyn. Sjøkabel er langt mer kostbart enn luftledning per km, og sjøkabelen må gi en betydelig kortere trasé for at sjøkabel gir lavere samlet investeringskostnad enn luftledning.

Driftsmessige forhold

Det vil være flere faktorer enn investeringskostnadene som vil være avgjørende i vurderingen av jord- og sjøkabler som alternativ til luftledning. Normalt vil de driftsmessige forholdene tilsi at jord- og sjøkabelanlegg gir høyere kostnader for samfunnet sammenlignet med luftledning, særlig i regional- og transmisjonsnettet.

I vurderinger mellom jord- og sjøkabler og luftledninger er spesielt feilhendelser og reparasjonstid viktige driftsmessige forhold. I distribusjonsnettet forekommer feil på kabel sjeldnere enn for luftledninger og feilene som oppstår kan ofte rettes innen relativt kort tid. I regional- og transmisjonsnettet oppstår det derimot hyppigere feil på kabelanlegg enn luftledninger, samtidig som feilen tar lenger tid å rette. I transmisjonsnettet kan feil på jordkabelanlegg ta opptil uker å rette opp. Feil på sjøkabelanlegg kan ta opptil seks måneder å rette. Denne kombinasjonen av flere feil og lengre reparasjonstid øker sårbarheten i nettet.

I regional- og transmisjonsnettet har luftledninger lenger levetid enn jord- og sjøkabler. Ved legging av kabler vil anlegget ha behov for fornying tidligere enn for luftledninger. Dette gjør at kostbare reinvesteringer vil komme tidligere, og bidrar til økte kostnader for samfunnet.

De elektriske egenskapene til jord- og sjøkabelanlegg skiller seg fra luftledninger, hvilket medfører virkninger i kabelanlegg som det må kompenseres for. For et nettområde som helhet, vil en større andel kabler forårsake en ekstra kostnad i form av ulike kompenseringanlegg som må vedlikeholdes og fornyes på sikt, samt bidra til økt systemkompleksitet.

Jord- og sjøkabler bidrar riktignok til mindre tap i nettet sammenlignet med luftledninger. Det er ved høy overføringskapasitet at forskjellene i elektriske tap blir merkbare. Dette taler isolert til fordel for kabler. Når overføringskapasiteten er høy blir imidlertid også kostnadsforskjellene mellom kabler og luftledninger høyere, ettersom det blir nødvendig med flere kabelsett og dermed en ekstra høy investeringskostnad for jord- og sjøkabel.

Samfunnets sårbarhet relatert til feil i kraftsystemet øker, og konsekvensene ved langvarige feil kan derfor bli større og større. Dette er og vil være et viktig hensyn å ivareta når jord- og sjøkabler vurderes og det kan være behov for kostbare reservemuligheter i nettet dersom kabling vurderes i regional- og transmisjonsnettet.

Miljøtiltak og nytteverdi av kabel

I kraftledningssaker vil miljø- og arealulempene kunne reduseres med bruk av jord- eller sjøkabler som avbøtende tiltak. Selv om jord- og sjøkabler ofte vurderes som avbøtende tiltak kan det også være tilfeller der konsekvensene ved kabling er større enn ved luftledningene. De ulike vurderingene varierer for eksempel med hensyn til spenningsnivå og hvilket terreng og topografi som skal forseres. Det er derfor flere hensyn som må vektas mot hverandre – og ses i sammenheng med kostnadene.

Jord- og sjøkabler kan på enkelte områder redusere negative virkninger som oppstår ved bruk av luftledninger. Dette gjelder for eksempel områder som estetikk, friluftsliv, landskap og fugleliv. Samtidig kan bruk av kabel redusere det biologiske mangfoldet og påvirke vannmiljø i nærheten negativt.

Størrelsen på de ulike konsekvensene vil variere mye mellom prosjekter, og det er ikke mulig å si noe som vil gjelde for alle prosjekter. Dette er hensynene som krever saksspesifikk vurdering i hvert enkelt tilfelle. Ved kryssing av friluftsområder i nærhet til bebygde områder kan jordkabel være et relevant alternativ for å frigi areal som friluftsområder. Samtidig kan dette argumentet være svakere for åpne fjellkryssninger der de negative effektene knyttet til biologisk mangfold kan veie tyngre.

Krav om jord- eller sjøkabel som avbøtende tiltak har blitt løftet fram i en stor andel av konsesjonsprosessene de siste 10 årene. Likevel blir ofte de negative natur- og miljøkonsekvensene ved luftledninger vurdert som akseptable, sammenlignet med kostnaden ved kabling. Dette gjelder spesielt i regional- og transmisjonsnettet.

Samlet vurdering

Vår gjennomgang finner at det i hovedsak ikke er grunnlag for å revidere gjeldende retningslinjer for kabling:

- I distribusjonsnettet er forskjellene i investeringskostnader små og det er ikke kommet frem informasjon som tilsier at det helhetlige kostnadsbildet er vesentlig endret. Vi finner derfor ikke grunnlag for å endre på hovedregelen om kabling på lavere spenningsnivå. Det er likevel nødvendig å vurdere luftledninger der naturinngrepet og/eller kostnadene ved kabling er høye.
- Hovedregelen i regionalnettet er at det kun skal brukes kabler i byområder eller der miljøkonsekvensene av luftledninger er store. Dette synes fortsatt å være rimelig. I tillegg finner vi at det bør inkluderes et unntak om at jordkabel kan vurderes i lett terreng i regionalnettet der det ikke er behov for flere kabelsett og/eller kostnadsforskjellene mellom luftledning og jordkabel er små.
- I transmisjonsnettet er kostnaden fortsatt høy for jord- og sjøkabel sammenlignet med luftledninger og hovedregelen om luftledning bør videreføres.

1. Innledning og bakgrunn

Denne rapporten er utarbeidet av Oslo Economics og Sweco på oppdrag for Olje- og energidepartementet og Strømnettutvalget. Hovedhensikten med rapporten er å utarbeide en sammenligning av luftledning, sjø- og jordkabel for utvalgte spenningsnivå. Sammenligningen rettes mot investerings- og driftskostnader, driftsmessige forskjeller og areal- og miljøvirkninger.

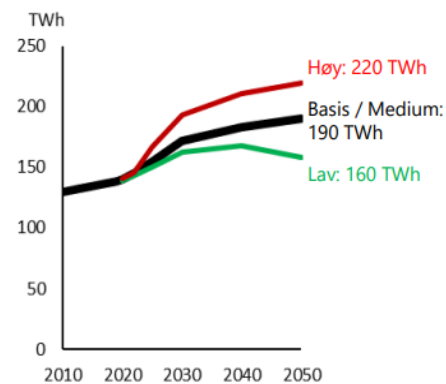
Regjeringen har oppnevnt et offentlig utvalg som skal vurdere utviklingen av strømmettet, Strømnettutvalget. Strømnettutvalget skal blant annet vurdere om det er behov for endringer i gjeldende retningslinjer for kabling av kraftledninger. Det oppdaterte underlaget fra denne rapporten inngår som en del av kunnskapsunderlaget til utvalget. Et tilsvarende eldre underlag ble utarbeidet av NVE i 2004 (NVE, 2004).

Gjeldende retningslinjer for bruk av kabel ble vedtatt i Stortinget i forbindelse med behandling av Nettmeldingen, Meld. St. 14 (2011-2012). Retningslinjene angir at bruken av kabel skal økes på lavere spenningsnivå, men være gradvis mer restriktiv med økende spenningsnivå. Dette innebærer en økende kabelbruk i distribusjonsnettet (1-22 kV), mens det i regionalnettet (33-132 kV) kun skal brukes kabler i byområder eller der miljøkonsekvensene av ledninger er store. Overføringsanlegg i transmisjonsnettet (300 og 420 kV) skal kun bygges som kabel i unntakstilfeller der luftledning er teknisk vanskelig eller umulig.

Elektrifisering og økt investeringsbehov i strømmettet

Norge, sammen med resten av verden, står i dag ovenfor et skifte for å begrense global oppvarming og nå nasjonale og internasjonale klimamål. Dette reflekteres blant annet gjennom regjeringens klimaplan for 2021–2030 og EU's Green Deal, en strategi fra Europakommisjonen som sikter mot et klimanøytralt EU innen 2050, blant annet gjennom omlegging av verdens energisystemer, fra fossil til fornybar energi, og mot mer bærekraftig industri og næringsliv.

Figur 1-1: Scenario for norsk forbruksutvikling



Kilde: Statnett (2021)

Elektrifisering er et sentralt bidrag i omstillingen til lavutslippssamfunnet, ved at det erstatter fossile brenslere med ren elektrisk energi. Statnetts langsiktige markedsanalyse viser at strømforbruket i Norge kan øke fra dagens nivå på 140 TWh til 220 TWh i 2050 (Statnett, 2020), vist i Figur 1-1. Den fremtidige forbruksveksten er dermed ventet å bli betydelig høyere enn hva vi har sett historisk. Samtidig har overføringsnettet et stort fornyelsesbehov i løpet av de neste 20-30 årene (Statnett, 2021).

Økt forbruksutvikling og et betydelig fornyelsesbehov tilsier at vi kan forvente betydelige investeringer i strømmettet i tiden fremover.

Avveininger mellom kabling og luftledninger

En problemstilling som ofte oppstår i forbindelse med utvidelse av nettet er om forbindelsene bør bygges som kabel (jord- eller sjøkabel) eller luftlinje. Kabling som alternativ til luftledning har blitt mer aktuelt med et økende fokus på miljørelaterte forhold. Dette gjelder både ved etablering av nye overføringsanlegg, ved konsesjonspliktig oppgradering/reinvestering og ved konsesjonsfornyelser. Hensyn som spesielt vurderes i forbindelse med denne avveiningen i konsesjonsbehandlingen er:

- Miljøvirkninger – påvirkning på dyreliv, verneområder osv.
- Landskap og estetikk – påvirkning av landskapet; nær- og fjernvirkning

Med denne rapporten ønsker vi blant annet å fokusere på investeringskostnadene forbundet med bruk av jord- og sjøkabel som alternativ til luftledning. Vi har sett nærmere på hvilke kostnadskomponenter som gjør seg gjeldende ved etablering av kabel-

anlegg og luftledninger, og drøftet hvordan disse kan variere.

Økte investeringskostnader betyr økt nettleie

Nettselskapene er regulert på en slik måte at nettselskapene overfører sine kostnader til strømkundene gjennom nettleien. Strømkundene betaler kraftpris for strømmen de kjøper fra sin kraftleverandør, og nettleie til det lokale nettselskapet for overføring av strømmen.

Nettleien skal dekke nettselskapenes kostnader, og en stor økning i investeringskostnadene vil gi økt nettleie. Dette betyr at økende bruk av kabling framfor luftledninger vil gi økte kostnader for strømkundene. Den økte kostnaden for strømkunder må vurderes i avveiningen mot miljø- og arealvirkninger av kabler og luftledninger.

I denne rapporten vurderer vi ikke konkret hvordan eventuelle endringer i retningslinjer for kabling vil slå ut for nettleien.

Datagrunnlag

Datagrunnlaget er basert på erfaringstall fra nettselskaper og gjennomførte prosjekter. I arbeidet med denne rapporten har vi gjennomført intervjuer med 7 nettselskaper:

- Arva
- Tensio
- Lnett

- Glitre Energi Nett
- Agder Energi Nett
- Elvia
- Statnett

Nettselskapene har også bidratt med erfaringstall knyttet til investeringskostnader for luftledning, jord- og sjøkabelanlegg på de ulike spenningsnivåene og i ulikt terreng. Vi er svært takknemlig for bidragene og underlagene vi har fått nettselskapene.

En samlet vurdering basert på tilsendte erfaringstall og erfaringer fra Sweco danner grunnlaget for kostnadsestimater presentert i denne rapporten.

Leseveiledning

Før vi går inn på kostnadene vil vi i kapittel 2 gi en kort introduksjon til overførings- og distribusjonsnettet i Norge. I kapittel 3 gir vi et historisk bilde av kabelbruk i Norge, og nyttevirkninger av dette. Kapittel 4 gir en introduksjon til teknologier innenfor både kabel og luftledning, samt utviklingen innenfor teknologivalg. I kapittel 5 tar vi for oss kostnadsbildet med en hovedvekt på investeringskostnader ved luftledning, jord- og sjøkabler. Kapittel 6 oppsummerer rapporten og gir en vurdering av kabel som alternativ til luftledning knyttet til tre hovedområder:

- Kostnader
- Driftsmessige forhold
- Miljøtiltak og nytteverdi av kabel

2. Overførings- og distribusjonsnett i Norge

Utstrekningen av strømmettet har økt i løpet av de siste 15 årene. Totalt har det økt med om lag 15 000 km (12 prosent økning fra 2003).

Elektrifisering og fornyelsesbehov vil gi et økende investeringsbehov også de neste årene. Andelen jordkabler øker i bynære strøk, mens det på høyere spenningsnivå i all hovedsak bygges luftledninger.

2.1 Økende behov for overføringsnett

Hensikten med overføringsanlegg er å få frem elektrisk kraft som møter kundenes behov, både knyttet til mengde og tidspunkt. Kraftforbruket varierer betydelig gjennom hvert døgn og over hele året. Kraftledningene må derfor ha tilstrekkelig kapasitet til å kunne overføre nødvendig energimengde, også i de timene hvor forbruket er størst. Dette kan for eksempel være i morgentimene en sprengkald vinterdag.

Kraftledningsnettene bør i tillegg ha tilstrekkelig reservekapasitet til å tåle feil og reparasjoner på enkeltkomponenter uten at dette betyr strømbrytning eller utkoblinger for store kundegrupper. Av hensyn til leveringspålidelighet og -kvalitet er kraftledningsnettene mer omfattende enn dersom det kun var kapasitets-hensyn som skulle legges til grunn ved utforming av nettet.

De vanligste grunnene til at vi trenger nye eller større kraftledninger er at forbruket øker, ny produksjon skal kobles til eller at det er behov for å fornye eldre anlegg. I tillegg har kundenes forventning til kraftsystemets leveringspålidelighet økt de siste årene. I vår elektroniske hverdag, blir selv korte avbrudd og/eller spenningsvariasjoner stadig mindre akseptabelt. Nettselskapenes viktigste tiltak for å sikre samfunnets og kundenes krav om en tilstrekkelig og sikker strømforsyning er nye og oppgraderte overføringsanlegg. Det er med andre ord ikke nettselskapene selv som er drivkraften bak nye overføringsanlegg, men endringer i kundenes forbruk og økende behov for tilfredsstillende leveringspålidelighet.

2.2 Andelen jordkabel øker i byene

Overføringsnettene berører alle typer områder; fjellvidder, skogslier, dyrket mark, urbane strøk, vernede naturområder, osv.

Utstrekningen av overføringsnett i Norge med høy spenning (>1 kV) er vist i Tabell 2-1. Den totale lengden på overføringsnettene tilsvarer nesten 3,5 ganger rundt ekvator, og har økt med 12 prosent siden 2003. I tillegg kommer forsyningsanlegg med lav spenning (< 1 kV) som har en samlet lengde på 215 000 km (NVE, 2021a).

Tabell 2-1: Overføringsnettets utstrekning i 2020 fordelt på nettnivå.

Nettnivå	Spenningsnivå (kV)	Total lengde (km)
Distribusjonsnett	1-22	105 567
Regionalnett	33-132	18 910
Transmisjonsnett	220-420	12 876
Totalt		137 353

Kilde: NVE (2021a). <1 kV er ikke medregnet (~215 000 km i 2019).

I distribusjonsnettene er andelen kabel vesentlig høyere enn den er i regional- og transmisjonsnettene. Dette skyldes i hovedsak at kostnadsforskjellen mellom jordkabel og luftledning er mindre for lavere spenningsnivåer. Videre er det i tettbebygde områder, der det er stor andel distribusjonsnett, vanskeligere å komme frem med luftledninger.

Av den totale lengden i distribusjonsnettene er 55,5 prosent lagt som jord- eller sjøkabler (NVE, 2021a). For lavspenningsnett (mindre enn 1 kV) er kablingsandelen 60,1 prosent. Andelen kabler har også økt fra 2003, da kablingsandelen var på 31 prosent.

En omregning av andelen viser at jord- og sjøkabler i distribusjonsnettene har økt med om lag 30 000 km i utstrekning. I samme periode har distribusjonsnettene som helhet hatt en mindre økning enn dette, 15 000 km. Det er dermed rimelig å anta at mye av den økte utbredelsen i distribusjonsnettene er gjort ved kabling. Videre indikerer det at en betydelig andel av det som i 2003 var ledningsnett i distribusjonsnettene, nå er blitt fornyet med kabel.

I regional- og transmisjonsnettene er kabling hovedsakelig brukt i forbindelse med anlegg i byer og kraftstasjoner i fjell, ved fjordkryssinger eller andre situasjoner hvor luftledning ikke er et mulig alternativ.

3. Bruk av kabler i Norge

I distribusjonsnettene er målsettingen at kabelbruken skal øke, noe den har gjort gjennom de siste 20 årene. Det er også økende bruk av og vurdering av kabel som alternativ til luftledninger på høyere spenningsnivå. Areal- og miljøhensyn er hovedgrunnen til at kabler vurderes, mens kostnadsbildet taler for luftledninger, spesielt i transmisjonsnettene. Selv om kabel ofte vurderes som et avbøtende tiltak av miljø- og arealhensyn, er det også noen forhold der kabelbruk kan ha større miljømessige konsekvenser enn luftledninger.

Gjeldende retningslinjer for bruk av jord- og sjøkabler ble vedtatt i Stortinget i 2012 i forbindelse med behandling av Meld. St. 14 (2011-2012), nettmeldingen. Disse angir at bruken av kabel skal økes på lavere spenningsnivå, men være gradvis mer restriktiv med økende spenningsnivå.

Nettmeldingen presiserer at det skal vektlegges om det finnes alternativ luftledningstrasé som ikke er urimelig lang og kostbar i vurderingen av kabling i regional- og transmisjonsnettene. Overføringsanlegg på 300 og 420 kV skal kun bygges som kabel i unntakstilfeller der luftledning er teknisk vanskelig eller umulig (byer eller kryssing av større sjøområder) eller der ekstrakostnaden for kabling på kortere strekninger kan forsvares med at det gir særlig miljøgevinst eller en vesentlig bedre totalløsning alle hensyn tatt i betraktning.

3.1 Areal- og miljøhensyn har fått større vekt i vurderinger om kabling

Kabel som alternativ til luftledning har vært et tema helt siden elektrifiseringen av Norge for alvor startet. Ett av de tidlige forslagene om kabling var i 1914 i forbindelse med Solbergfossledningen fra Glommakraftverkene. Kabel var da ønskelig av hensyn til bebyggelse på noen delstrekninger, men forslaget ble ansett som teknisk umulig.

På begynnelsen av 1950-tallet ble det satt vilkår i forbindelse med ledningen Strinda-Lilleby (smelteverk), om at kommunene kunne kreve kabel av hensyn til bebyggelsesformål, dersom det ble teknisk og økonomisk forsvarlig i fremtiden.

Kabel på spenningsnivåene 22 kV og 66 kV ble tatt i bruk allerede på 1920/30-tallet. Teknologien var

umoden og levetiden kort. I perioden 1950 til 1980 ble kabel på spenningsnivåene 300 kV og 420 kV tatt i bruk noen få steder i landet, blant annet i Oslo sentrum, for kryssinger av fjorder og i tilknytning til kraftverksanlegg. Fra 80-tallet ble 132 kV kabler benyttet i distribusjonsnettene i de største byene.

På 80-tallet ble temaer som estetikk, fugl, arealbruk og helse tatt inn i debatten om kabling kontra luftledning. Holdning til dette var entydig; flere innskutte kabler var driftsmessig uheldig. Det ble i noen saker satt vilkår om at kabel eventuelt kunne etableres i fremtiden i forbindelse med brubygging, reinvestering, osv. Begrunnelsen for slike vilkår var som oftest lite gjennomtenkt og fremsto dermed som noe usikre håndslag til lokale/regionale interesser som krevde kabelanlegg for delstrekk.

Krav om kabel som alternativ til luftledning ble dominerende i nesten alle saker fra slutten av 80-tallet og er det fremdeles. Hensynene som løftes fram er først og fremst visuelle virkninger og alternativ arealbruk. Mulig helsefare i boliger nær kraftledningen har også blitt trukket fram som viktig argument for kabling, men det finnes lite holdepunkter for negative helseeffekter fra luftledninger i dag.

Det var først på 90-tallet at ble det foretatt reelle vurderinger og avveininger mellom nytte og kostnad ved bruk av jordkabel. Med bakgrunn i økt samfunnsmessig interesse, tok NVE i 1991 initiativ til et prosjekt for å vurdere nærmere den tekniske og økonomiske forskjellen mellom kabelanlegg og luftledning på de høye spenningene. I 2003 ble praksisen vurdert på nytt, men ikke endret.

I løpet av de siste 20 årene har kabelbruken, og spesielt jordkabler, økt i distribusjonsnettene, og kabel vurderes oftere også på høyere spenning. Et nyere eksempel der både jord- og sjøkabler ble vurdert på 420 kV var ved Statnetts bygging av nytt nett til Bergensområdet med forbindelsen Sima-Samnanger. I høringsfasen kom det krav om å kable forbindelsen av estetiske hensyn. Etter flere tilleggsutredninger ble det likevel gitt konsesjon til luftledning (NVE, 2008). Hovedinnvendingen mot kabler var i dette tilfellet forsyningssikkerhet, og da særlig lange reparasjonstider på kabel. I tillegg ble virkningene for areal og miljø ved luftledning vurdert å være akseptable, sammenlignet med kostnaden ved å kable. Sistnevnte var senere også NVEs begrunnelse for å gi Statnett konsesjon på luftledning gjennom Oslo vest og Bærum (NVE, 2021b).

3.2 I konsesjonsprosessen vektas miljøhensyn mot økonomiske og tekniske hensyn

Samfunnets krav til prosess og vurdering av nye anlegg eller utvidelser av eksisterende anlegg er meget omfattende. Energiloven, plan- og bygningslovens regler om konsekvensutredning, annet lovverk som berører denne type tiltak og politiske og administrative rammer for øvrig, er utgangspunktet for energimyndighetene.

I Norge er det NVE som er energimyndighet med delegert myndighet til å fatte vedtak om å bygge og drive kraftledninger. Det legges vekt på åpne prosesser med mange muligheter for medvirkning fra berørte interesser frem mot vedtak. I konsesjonsbehandlingen skal NVE i tillegg til miljøhensyn, også ivareta økonomiske hensyn og tekniske hensyn. NVE foretar konkrete vurderinger av kabel som alternativ i mange kraftledningssaker.

Ved bygging av 22 kV kraftledninger har nettselskapene områdekonsesjoner. Dette gir en generell tillatelse til å bygge og drifte distribusjonsnett med spenning inntil 22 kV innenfor et geografisk område. Ved områdekonsesjon behøver ikke nettiltaket å behandles av NVE, men nettselskapet må legge frem tiltaket for berørte interessenter (grunneiere, kommunen o.l.), og saken må fremmes for NVE dersom det er vesentlige innvendinger mot tiltaket.

I tette bysentre er det ofte praktisk umulig å bygge luftledninger og det er vanlig at nettselskapene i de største byene har en områdekonsesjon som er utvidet til også å gjelde for kabelanlegg opp til 132 kV. Dette betyr at NVE ofte heller ikke er involvert i prosjekter hvor det legges kabel for 66 og 132 kV.

Gjennom intervjuer med nettselskapene kommer det fram at de ofte blir bedt om å utrede et alternativ med kabel når det skal bygges nytt 132 kV-nett. Anbefalingen fra nettmeldingen er luftledning som hovedregel på dette spenningsnivået. Det kommer også fram at valget etter utredning ofte ender på luftledning av kostnadshensyn og at dette fører til lengre prosesser med mer arbeid.

3.3 Kabling vurderes ofte som et avbøtende tiltak










Alle tekniske installasjoner, enten det er luftledninger eller jord- og sjøkabel, vil ha konsekvenser for omgivelsene. Det finnes ingen eksempler på etablering uten negative konsekvenser. Fra ulike interesser kreves kabel med bakgrunn i ønsker om å redusere nærføringsproblemer (magnetfelt, støy, arealbruk, estetikk) og ønsker om å redusere fjernvirkning (for viktige natur- og kulturmiljøer eller friluftsområder).

Hvilke miljømessige fordeler og ulemper en luftledning eller en kabel vil kunne medføre, vil variere mye mellom ulike prosjekter. Kabling vil ikke være en miljømessig forbedring i alle tilfeller, særlig ikke i anleggsfasen. Dette gjelder spesielt for anlegg på høyere spenningsnivå, og anlegg utenfor tettbebygde områder. For jordkabler på høye spenningsnivå er det behov for brede grøfter og sprengning som kan lage åpne og varige sår i landskapet. Ved utlegging av ett 420 kV jordkabelsett i skog eller landlege strøk kreves det i anleggsperioden en trasé på ca. 15 meters bredde; 5 meter til vei, 8 meter til lagring av løsmasser og minst 2 meter til kabelgrøften. For større jordkabelanlegg kan det være nødvendig med kjørbare adkomst langs kabeltraseen også i driftsfasen. I byområder kreves det ofte løsninger som er betydelig mindre enn dette, og det er ofte nødvendig med trasé ned til 5 meters bredde. Smalere trasé betyr ofte mer omfattende og avansert arbeid, hvor for eksempel lagring av løsmasser ikke kan gjøres rett ved kabelgrøften eller vei må lages smalere. Dette er med på å presse opp kostnadene for jordkabler i byområder.

I Tabell 3-1 beskrives ulike konsekvenser relatert til areal, miljø og helse fra kabel og luftledning. Disse er beskrevet i mer detalj i kapittel 3.4.

Prisforskjellen mellom kabelanlegg og luftledninger har vært størst for de høyeste spenningsnivåene. Dette har gjort at man i dag oppnår størst nytte per krone investert ved kabling i distribusjonsnettet og anlegg med lav spenning (under 1 kV). Areal- og miljøulempene ved kabling er også mindre på lavere spenningsnivå. For den prisen det koster å legge 1 km jordkabel på 420 kV og dermed unngå omtrent tre kraftledningsmaster, kan det legges svært mange km kabel i distribusjonsnettet. Dette vil vi komme tilbake til i kapittel 5.

Tabell 3-1: Areal- og miljøvirkninger ved kabling og luftledning

 Naturmangfold	Både kabling og luftledninger kan ha negative konsekvenser for naturmangfold. Ledningstraseer kan gi et rikere biologisk mangfold, og kabel som erstatter gamle ledninger kan påvirke dette negativt. For fugleliv vil kabling ha mindre konsekvenser enn luftledninger.
 Landskap	Kabel fremfor luftledning vil ofte redusere de negative landskapseffektene. På høye spenningsnivå kan det oppstå andre virkninger pga. behov for brede grøfter, sprengning mm.
 Kulturmiljø	Ledning og kabel kan komme i konflikt med vernede områder/objekter. Der verneformålet er estetisk motivert, vil kabel kunne redusere konflikten med f.eks. et fredet kulturmiljø.
 Friluftsliv	Luftledninger påvirker friluftsliv både i form av tilgjengeligheten til friluftsområder og synligheten av ledninger gjennom friluftsområder, kabling vil normalt være positivt for friluftsliv. På høyere spenningsnivå kan inngrepene fra kabling være svært store.
 Støy	Støyforurensing er den viktigste kilden til forurensing fra luftledninger på 300 og 420 kV, og vil reduseres ved bruk av kabel. Dette er ikke et problem på lavere spenningsnivåer.
 Vannmiljø	Kabelanlegg påvirker vassdrag i større grad enn luftledning, ved grøfting og tunneller. Tiltak i vassdrag kan kreve tillatelse fra Statsforvalteren etter lakse- og innlandsfiskloven og/eller konsesjon etter vannressursloven.
 Forsynende tjenester	Jordbruk, skogbruk og reindrift kan ofte bli påvirket av luftledning, og i mindre grad av kabling i driftsperioden, men vesentlig større i anleggsperioden.
 Arealvirkninger	Kabling kan frigjøre verdifulle arealer sammenlignet med luftledninger. Dette kan for eksempel være arealer som kan brukes til boligformål eller næringsbygg.
 Helseeffekter	Det har vært mye diskutert om elektromagnetiske felt fra luftledninger på høyere spenningsnivå kan øke risikoen for leukemi hos barn, men det finnes få vitenskapelige holdepunkter for dette.

3.4 Vurdering av ulike konsekvenser

I kraftledningsaker vil miljø-, areal- og helseulempene kunne reduseres med avbøtende tiltak som kabling, trasejusteringer eller pålegg om fargebruk på master, liner og traverser. Når det gjelder kabel som avbøtende tiltak, sier nettmeldingen at det for transmisjonsnettet (300/420 kV) kun er aktuelt med pålegg om kabling i helt spesielle unntakstilfeller med særdeles sterke miljøhensyn eller i byområder (OED, 2011). For regionalnettet (66/132 kV) skal luftledning normalt velges, men kabling kan være aktuelt på kortere strekk i spesielle tilfeller med sterke verneinteresser eller store estetiske ulemper. I områder med spesielt viktige fuglebiotoper eller der det er registrert sjeldne fuglearter, kan spesielle tiltak vurderes – herunder kabling. Selv om jord og sjøkabler ofte vurderes som avbøtende tiltak kan det også være noen situasjoner der konsekvensene ved kabling er større enn ved luftledningene. Det er derfor flere hensyn som må vektas mot hverandre – og ses i sammenheng med kostnadene.

3.4.1 Naturmangfold

Dyre- og fugleliv kan påvirkes både av luftledninger og kabelanlegg. For fugleliv vil det være positivt å kable fremfor å føre frem luftledning. Det vil alltid være en viss sannsynlighet for at fugl kan kollideres med luftledninger (spesielt toppliner) eller bli utsatt for elektroksjon. Omfanget av dette vil variere mellom

arter og ulike områder og med anleggets spenningsnivå og opphengsgeometri.

For vilt (utenom fugl), kan jordkabel være positivt fordi det har mindre barrierevirkning i driftsperioden, men samtidig vil jordkabel kunne representere en større barrierevirkning og fortrenningseffekt i anleggsperioden. Inngrepene ved legging av jordkabel vil være mer omfattende og foregå over en lengre periode. Den negative effekten ved luftledning er i utgangspunktet sjeldent vesentlig for dyrelivet i et område. Nyttevirkningen av å velge jordkabel av hensyn til vilt, er derfor i mange tilfeller svært begrenset. For enkelte arter, vil både kraftledningsgater og jordkabeltraseer kunne fragmentere habitater og leveområder.

Fleire svenske forskningsprosjekter har sett på effekten av kraftledningsgater for å bevare arter og miljøer. Korridorene har spesielt positiv effekt på planteliv og det biologiske mangfoldet (E.ON Elnät Sverige, 2015). Av hensyn til det biologiske mangfoldet kan det derfor ha negativ effekt å erstatte eksisterende luftlinjer med jordkabelanlegg.

Sjøkabler vil påvirke naturmangfoldet under vann, og sammenligning mellom effektene av sjøkabler og luftledninger er vanskeligere. Sjøkabler kan påvirke naturmangfold gjennom det direkte terrenginngrepet, oppvirvling av sediment, miljøgiftutslipp, støy og vibrasjon i anleggsfasen og elektromagnetiske felt og termisk påvirkning i driftsfasen. Økosystemene på

havbunnen er ofte lite påvirket av menneskelig aktivitet, og konsekvensene kan være større, spesielt der det er snakk om viktige nasjonale naturtyper.

3.4.2 Landskap

Valg av kabel fremfor luftledning vil normalt redusere de negative landskapsmessige effektene. Krav om kabel som avbøtende tiltak er ofte motivert ut fra luftledningers estetiske nærføringsulemper. Dette gjelder spesielt i tett befolkede områder der en jordkabelgrøft kan lokaliseres i tilknytning til annen eksisterende infrastrukturanlegg. På den måten blir miljøulempene ved jordkabel minimal.

Luftledninger synes ofte godt i terrenget, noe som også påvirker fjernvirkningene negativt. Kabelanlegg derimot vil ikke være synlig i terrenget på avstand, og vil minimere denne negative effekten. For jordkabler på høye spenningsnivå kan det imidlertid oppstå andre fjernvirkninger som for eksempel behov for brede grøfter eller sprengning. Dette kan lage åpne sår i landskapet som kan være minst like negativt visuelt sett som kraftledningsmaster. Legges jordkabel i områder med gunstige grunnforhold (f.eks. langs veier og over jordbruksareal) vil kabeltraseen i liten grad være synlig etter anleggsperioden.

Ved utbygging av luftledninger begrenses terrenginngrepet stort sett til arealet ved mastefestene og rydding av skog i ledningstraseen. Inngrepet er derfor i stor grad reversibelt. I kupert og/eller løsmassefattig terreng kan jordkabelgrøfter gi varige sår. Kabelganger og -grøfter blir ofte ikke reversert dersom jordkabelen fjernes og virkningene etter anleggets levetid vil være negativt for kabelanlegg. For luftledninger blir som regel fundamentering og mastefester fjernet i ettertid, og ettervirkningene fra luftledning er minimale.

For sjøkabelanlegg er det hovedsakelig endepunktene som medfører visuelle virkninger på land. Noen steder kan det være krevende adkomst mellom endepunktet og vannkanten, noe som kan medføre betydelige inngrep. Dette gjelder for eksempel i bratt terreng langs fjordarmer.

3.4.3 Kulturmiljø

Både luftledninger og kabelanlegg kan komme i konflikt med vernede områder som naturreservater, landskapsvernområder og nasjonalparker, eller vernede objekter som kulturminner og naturminner. Verneformålet av området eller objektet avgjør i hvilken grad dette vurderes som problematisk eller ikke. Det kan for eksempel være fornuftig å krysse et myrreservat med et luftspenn, men svært ødeleggende for mikroklima og biologisk mangfold å legge jordkabel i samme område. Er derimot verneformålet estetisk motivert, for eksempel et fredet kulturmiljø, vil kabel kunne fjerne konflikten som kan oppstå med

luftledning. Det er derfor helt avhengig av det enkelte kulturminnet om kabel eller luftledning har størst negative konsekvenser på kulturmiljø.

3.4.4 Friluftsliv

Luftledninger påvirker friluftsliv både i form av tilgjengeligheten til friluftsområder og synligheten av ledninger gjennom friluftsområder. Kabling vil normalt være positivt for friluftsliv i et område sammenlignet med luftledninger på grunn av synlighet, men kabling kan også ha større konsekvenser.

Åpne sår i terrenget som følge av jordkabler kan ha negative effekter for friluftsliv. Adkomstmuligheter for større anleggsmaskiner kan også gi større konsekvenser når det er behov for reparasjon av jordkabelanlegg gjennom friluft- og naturområder.

I noen tilfeller kan både kabelanlegg og luftledninger ha positive effekter for friluftsliv. Dette gjelder spesielt der områder blir mer tilgjengelig for flere som konsekvens av nye anleggsveier.

3.4.5 Støy

Luftledninger med høy spenning avgir koronastøy. Ved spesielle værforhold kan dette støynivået være betydelig rett i nærheten av luftledningen, spesielt for ledninger med høy spenning. Kabling vil eliminere den negative effekten av støyforurensing.

Hørbar støy ved byggeforbudsgrensen for en 420 kV ledning, kan komme opp mot 50 dBA i fuktig vær. Støyen avtar fra senter av ledningen. Luftledninger i distribusjons- og regionalnettet avgir ikke hørbar støy.

3.4.6 Vannmiljø

Kabelanlegg påvirker vassdrag i større grad enn luftledning, gjennom grøfting og tunneller. Tiltak i vassdrag kan kreve tillatelse fra Statsforvalteren etter lakse- og innlandsfiskloven og/eller konsesjon etter vannressursloven.

3.4.7 Forsynende tjenester

Arealbeslag fra luftledninger eller jordkabler både i anleggs- og driftsperioden kan påvirke områder som brukes til jordbruk, skogbruk eller reindrift. For jordkabelanlegg er det anleggsarbeidet som legger beslag på areal, og utenfor byområder kan kabelgrøft inkludert vei og plass til oppgravd masse normalt berøre 10-15 dekar per km jordkabel. For driftsperioden vil jordkablene kunne legges så dypt at jordbruksproduksjon og pløying kan drives etter at kablene er lagt og arealet kan føres tilbake til opprinnelig tilstand. Fremføring av luftledninger, vil imidlertid kunne medføre driftsulemper for jord- og skogbruk. Begrensningene er i hovedsak minimert til areal beslaglagt til master, som typisk berører ca. 0,2-0,3 dekar per km ledning. Masteplasseringen blir ofte lagt til eiendomsgrænse eller andre egnede

plasseringer slik at disse ulempene normalt vil være beskjedne.

En jordkabeltrasé må holdes fri for trær gjennom kabelens levetid. I en kraftledningsgate vil det ikke være så strenge krav til gjenvekst (med unntak av høyde). Inngrepet ved luftledning blir også mindre fordi det ikke er behov for å grave opp store arealer og erstatte mye masse. Masseuttak kan ikke foregå i kabeltraseen og bygningsmessige konstruksjoner kan ikke oppføres i traseen mens kabelen ligger der.

3.4.8 Arealvirkninger

Kabling av enten nye eller eksisterende anlegg kan frigjøre verdifullt areal som alternativt kan nyttiggjøres til for eksempel boligformål eller næringsbygg. Det er derfor viktig å ha en åpen prosess som legger vekt på medvirkning, slik dagens konsesjonsprosess legger opp til, for å kunne vurdere hvorvidt tiltak som traséjustering eller kabling av et eksisterende anlegg kan utløse arealverdier som det er betalingsvillighet for. Der kostnadene ved jordkabler er høye men lokale eller regionale interesser har stor motstand mot luftledninger kan andre aktører enn nettselskapene komme inn og betale merkostnaden for å legge kabel og på den måten frigjøre arealer. I årene som kommer vil reinvestering i eksisterende nett øke vesentlig og det vil derfor være viktig at betalingsvillighet for meget lønnsomme «forbedringer» blir utløst.

3.4.9 Vurdering av mulige helseeffekter

Helseeffekten av kraftledninger relatert til barneleukemi har vært mye diskutert i lengre tid, men de vitenskapelige holdepunktet for dette er svake. I dagliglivet vil ingen bli eksponert for verdier nær grenseverdien på 200 μT og det er ikke dokumentert noen negative helseeffekter ved eksponering for elektromagnetiske felt (Statens strålevern, 2017). Forvaltningsstrategien om magnetfelt og helse ved høyspentanlegg sier også at kabling ikke normalt skal være et aktuelt avbøtende tiltak på grunn av høye kostnader og usikre helseeffekter (Statens strålevern, 2005).

Bekymringene har vært knyttet til utvikling av leukemi for barn som bodde i nærheten av kraftledninger med magnetfelt over 0,4 μT . Nyere forskning har ikke avdekket noen sammenheng mellom eksponering for lavfrekvente magnetfelt og utvikling av kreft. Dagens forvaltningspraksis legger i tillegg opp til at ledningstraseer skal legges i god avstand til boliger, skoler og barnehager.

3.4.10 Oppsummering

Luftledninger, jord- og sjøkabler vil føre med seg ulike konsekvenser relatert til areal, miljø og helseeffekter, og disse kan trekke i ulike retninger i valget mellom luftledning og kabler.

Både jord- og sjøkabler kan på enkelte områder redusere negative virkninger, spesielt knyttet til estetikk, friluftsliv, landskap og fugleliv. Samtidig kan bruk av kabler redusere det biologiske mangfoldet og påvirke vannmiljø.

Størrelsen på de ulike konsekvensene vil variere mye mellom prosjekter, og det er ikke mulig å si noe som vil gjelde for alle prosjekter. Disse hensynene bør derfor vurderes separat i hvert enkelt tilfelle. Gjennom friluftsområder i nærhet til bebygde områder kan jordkabel være et relevant alternativ for å frigi areal som friluftsområder. Samtidig er argumentet svakere for åpne fjellkryssinger der de negative effektene knyttet til biologisk mangfold kan veie tyngre, og der kostnadene ved jordkabel vil være vesentlig høyere.

Av forvaltningspraksis ser det ut til at det er mye som skal til for at nyttevirkningene ved kabling blir vurdert høyere enn kostnadsforskjellen mellom kabler og luftledning på høyere spenningsnivå. Som nevnt i kapittel 3.1 har NVE gitt konsesjon på luftledning på Statnetts 420kV forbindelse gjennom Oslo vest og Bærum. Virkningene for areal og miljø, og da særlig de visuelle effektene ved luftledning ble vurdert å være akseptable, sammenlignet med kostnaden ved å legge jordkabel (NVE, 2021b). I tillegg er ulempene i anleggsperioden ved kabling vektlagt. Det er imidlertid gjort unntak ved endepunktene, der det er gjort avtale med boligutvikler som finansierer kablingen.

4. Utvikling og teknologi

Entreprenørmarkedet for kabling har vokst gjennom de siste 20 årene etter som kabling har blitt mer vanlig. Denne utviklingen har bremsset entreprenørkostnadene for kabelanlegg sammenlignet med luftledninger. Råvaremarkedet har hatt sterk vekst med store svingninger de siste årene. Dette påvirker både kabelanlegg og luftledninger.

4.1 Ledningskostnaden avhenger av adkomst og topografi

Luftledninger i regional- og transmisjonsnettet bygges hovedsakelig med stålmaster i dag. I distribusjonsnettet benyttes tremaster eller komposittmaster. Andelen komposittmaster har økt gjennom de siste 20 årene, men tremaster blir også fortsatt brukt. På høyere spenningsnivå har master av aluminium blitt testet, uten at det har blitt tatt fullt i bruk. Kostnadene relatert til både materialer og entreprenører har økt kraftig de siste årene.

De mest sentrale kostnadsdriverne for luftledninger er adkomsten til traséen og topografi og terreng. Dette er blant annet knyttet til antall tonn stål per kilometer (tonnasje), som vil variere avhengig av topografien i området. I bratt terreng er det behov for flere og kraftigere master per kilometer, og derfor mer stål per kilometer. Et annet element her er kostnadene per montert tonn stål, som påvirkes av tilgjengeligheten til traséen. Prosjekter med enkel tilkomst til trasé bidrar

til at det for hvert tonn stål som skal transporteres og monteres kreves en lavere ressursinnsats, sammenlignet med prosjekter med krevende adkomst.

Eiendomsstruktur og tillatelser kan også påvirke prisen og tidshorizonten på prosjektet, spesielt der det er mange grunneiere. Entreprenør- og råvaremarkedet på tidspunktet for bygging vil også påvirke totalprisene. Etablering av infrastruktur kan også være kostnadsdrivende ved bygging av nye ledninger. Dette omfatter for eksempel etablering av anleggsveier eller riggplasser.

Ombygginger eller riving av eksisterende master kan også være en betydelig kostnad ved fornying av ledningsnett. Disse kostnadene fanges ikke opp i enhetskostnadene i denne rapporten, men kan drive kostnadene ved reinvesteringer opp. Dette gjelder i hovedsak for 420 kV, og i noen tilfeller for 132 kV.

4.2 Kabelmarkedet i Norge har vokst over tid

I dag lages alle nye jord- og sjøkabler som plastisolerte kabler, PEX-kabler. Det har de siste 20 årene vært en utvikling bort fra oljekabler som var mer brukt tidligere. For legging av jordkabler benyttes det ulike metoder. Det vanligste er at kabel legges i «tett trekant» i rør. Rørene kan støpes inn (OPI-kanal) eller legges fritt i grøft. OPI/kulvert/tunnel er vanligst for kritisk forsyning eller for traséer i bymiljø. Figur 4-1 viser eksempler på legging av jordkabler på 22, 132 og 420 kV.

Figur 4-1: Legging av jordkabler på a) 22 kV, b) 132 kV og c) 420 kV

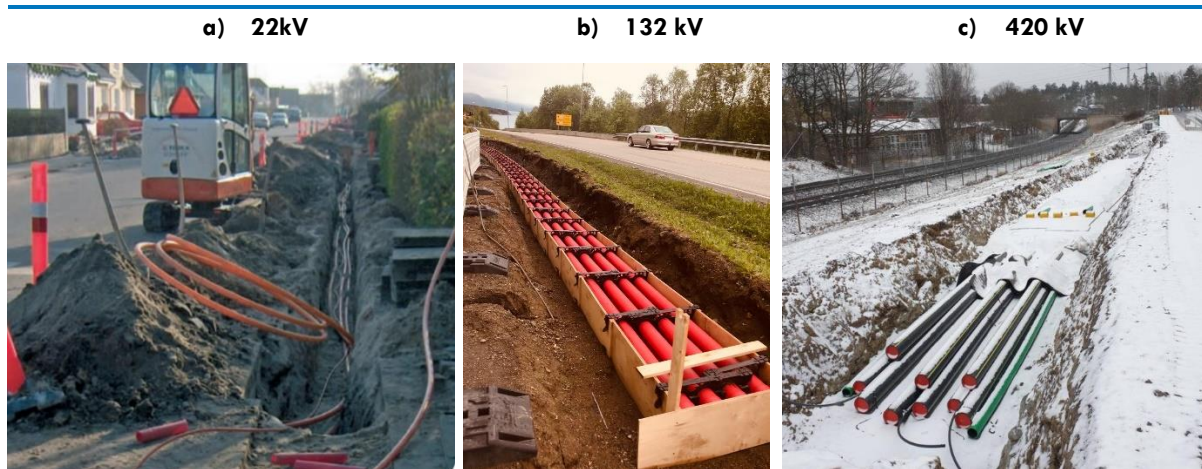


Foto: Sweco, Ellevio. A) To kabelsett i grøft på 22 kV. B) To kabelsett i OPI-kanal på 132 kV. C) Tre kabelsett i grøft på 420 kV.

Overføringskapasiteten varierer mellom luftledninger og jord- og sjøkabler. Det kreves typisk to eller flere

kabelsett for å oppnå den samme kapasiteten med kabel som med luftledning. For kabler avhenger

overføringskapasiteten i mindre grad av temperaturen i omgivelsene. Dette kan være både en fordel og ulempe med kabling. Det kan være lettere å planlegge etter kabelens faktiske kapasitet, men det er også mindre marginer til å overbelaste kabelen. En luftledning klarer som regel en viss overlast veldig bra, mens en kabel bare kan kjøres i kort tid (et par timer) med større overbelastning.

En økt andel kabler forårsaker større svingninger i spenningen i nettet. Dette kan gi behov for kompenserende tiltak. Over tid skaper økt antall komponenter og kontrollutstyr en større risiko for spenningsproblemer i nettet. Kabel med vekselstrøm har en tydelig begrensning i hvor lange de kan være før tapene blir for store og kapasiteten for liten. Maks lengde på kabelen er tett koblet til kabelens spenning, ledemateriell og tverrsnitt. Likestrømkabler har ikke samme problem med overføringstap, men det er kostbart med tilhørende likeretteranlegg, styring og kontrollutstyr.

Kabel- og entreprenørmarkedet for både jord- og sjøkabling har vokst gjennom de siste 20 årene i takt med økende bruk av kabling. Det nordiske markedet er blitt mer modent for kabelprosjekter, spesielt jordkabelprosjekter, og det finnes i dag flere entreprenører med erfaring med høyspentkabel. Dette kan være en av grunnene til at entreprenørkostnadene for kabling ikke har økt i like stor grad som for luftledninger (se kap. 5.6).

De mest sentrale kostnadsdriverne for jord- og sjøkabler er trasé, overføringsbehov og materialkostnad. Som nevnt over vil et høyt overføringsbehov trenge flere kabelsett, noe som øker kostnaden. Kompenseringsanlegg kan også være kostnadsdrivende. Valg av materiell vil også påvirke prisen og kapasitetene. For eksempel har kobber høyere kapasitet enn aluminium. Metallprisen vil også være påvirket av råvareprisene og variere med svingninger i disse.

For jordkabler er også grunnforhold en sentral driver, og det er stor forskjell på kostnadene ved legging av kabler avhengig av grunnforholdene i området. Det er også avhengig av om kabelen skal legges gjennom en stor by med mye annen infrastruktur eller i områder der det er lett å grave. For sjøkabler er dybden sjøområdet som skal krysses en viktig kostnadsdriver.

4.3 Kabelfeil er mer krevende å rette opp

4.3.1 Feil på kabelanlegg vs. luftledning

Den vanligste feilkilden på luftledninger skyldes trefall og andre skader fra stormer og værforhold. Værrelaterte skader kan til en viss grad forutses og

nettselskapene har derfor gode muligheter til å rette feilen raskt. De mest alvorlige feilene på luftledninger er mastehavari der en mast må erstattes. Nettselskapene har ofte trestolper og stålmaster i reserve for slike situasjoner som kan settes inn midlertidig.

For jordkabelanlegg er den vanligste feilkilden gravefeil, og de fleste feil skjer i skjøtene som er mer utsatt enn selve kabelen. Gravearbeid tett inntil eksisterende kabelanlegg kan føre til sigende grunn og kan gi feil på kabelanlegget flere år senere. Dagens PEX-kabler er mer fleksible enn tidligere oljekabler, og feil på kabelanlegg har derfor blitt sjeldnere over tid. Flere nettselskaper arbeider også sammen med REN for å etablere en beredskapsordning for både jord- og sjøkabler i distribusjons- og regionalnettet. Gjennom denne ordningen skal det bygges opp et beredskapslager av reservemateriell og avtaler med fartøy og personell til retting av feil på sjøkabelanlegg.

Gjennomsnittlig feil på luftledning og kabelanlegg på de ulike spenningsnivåene er vist Tabell 4-1. Kabelanlegg omfatter her både sjø- og jordkabler, men feil på sjøkabler er svært sjeldent. Feilstatistikken er delt mellom forbigående og varige feil. Forbigående feil er feil der korrigerende vedlikehold ikke er nødvendig, mens varige feil er feil der vedlikehold er nødvendig.

Feil på kabelanlegg er i all hovedsak av varig karakter. Det gjelder for alle spenningsnivå. For luftledning er feil hovedsakelig forbigående, særlig for de høyere spenningsnivåene. For 22 kV luftledning inntreffer varige og forbigående feil omtrent like hyppig.

For luftledninger inntreffer feil vesentlig oftere på 22 kV enn på 132 og 420 kV. I henhold til statistikken er «omgivelser» den dominerende årsaken til feil på luftledninger, og står for 80 prosent av feilene på 22 kV. Av dette står vegetasjon for omtrent halvparten av hendelsene (Statnett, 2018b). Ulike krav for avstand til vegetasjon er sannsynligvis en viktig årsak til at det oftere oppstår feil på 22 kV sammenlignet med 132 og 420 kV. For ledninger på 22 kV er det vanlig med 1-2 meters avstand til trær og grener, mens ledninger på 132 og 420 kV gjerne har minst 15 meter fri trasé på begge sider. Dette gjør at ledninger på 22 kV er mye mer utsatt for feil som skyldes trefall.

Feilstatistikken bør tolkes med noe varsomhet. For det første er nyere kabler mindre utsatt for feil enn eldre kabler. Det er derfor ventet at hyppigheten av feil på kabler vil avta etter hvert som de eldre oljekablene erstattes med nye PEX-kabler. Dette kan imidlertid også være tilfellet for luftledninger – det vil si at feilhyppigheten vil reduseres etter hvert som eldre ledninger erstattes med nye. Vi har ikke grunnlag for

å gjøre detaljerte vurderinger rundt dette. For det andre er det større usikkerhet knyttet til feilstatistikken for kabelanlegg, særlig på høyere spenningsnivå. Som vist i kapittel 2 er det på høyere spenningsnivå langt

mer utbredt med luftledning enn med kabel. Ettersom feilstatistikken oppgis i feil per lengdeenhet (100 km) vil dermed enkeltfeil på kabel gi større innvirkning på statistikken enn for ledning.

Tabell 4-1: Antall feil per 100 km på 22 kV (snitt 2004-2018), 132 kV og 420 kV (snitt 2009-2018)

Spenningsnivå	Luftledning			Kabel		
	Forbigående	Varig	Totalt	Forbigående*	Varig*	Totalt
22 kV	4,0	4,0	8,1	0,3	1,7	2,0
132 kV	0,7	0,2	0,9	0,2	1,5	1,7
420 kV	1,0	0,1	1,1	0,2	2,3	2,5

Kilde: Statnett (2018a; 2018b). *Fra statistikken er det kun feil på luftledning hvor det skilles mellom forbigående og varige feil. Fordelingen på forbigående og varig for kabel er estimert av Oslo Economics basert på data fra Statnett sin feilstatistikk. Kabel inkluderer jord- og sjøkabler.

4.3.2 Reparasjonstid

Reparasjonstiden på overføringsnettet avhenger av beredskapsnivået og omkoblingsmulighetene. Der nettselskapet ikke har mulighet til omkobling vil feil føre til strømbrudd, og nettselskapet vil jobbe for å rette feilen så fort som mulig. Med omkoblingsmuligheter er ikke rask feilretting kritisk og reparasjonstiden er gjerne lenger.

De vanligste feilene på luftledninger som for eksempel trefall rettes ofte i løpet av 3-5 timer. Mer krevende feil som utskiftning av en mast kan også rettes i løpet av 1-2 dager.

De fleste feil på jordkabelanlegg i distribusjonsnettet rettes opp i løpet av 2-3 dager. For jordkabelanlegg kan det ofte være en utfordring å finne feilen. Feilsøkingsarbeidet øker reparasjonstiden og det kan ofte ta opp mot et døgn å finne feilen. På vinterhalvåret når det er frost i bakken øker reparasjonstiden for jordkabelanlegg betraktelig, og tining alene kan ta 2-3 døgn. I regional- og transmisjonsnettet er reparasjonstiden for kabelanlegg ofte lenger enn 2-3 dager, og i transmisjonsnettet kan det ta flere uker å reparere feil.

Feil på sjøkabelanlegg er svært sjeldne, men dersom en feil oppstår kan reparasjonstiden være opp til 6 måneder. Reparasjonstiden avhenger spesielt av tilgjengeligheten til båter og personell som kan utføre reparasjon.

4.4 VSC-anlegg (Voltage Source Converter)

I denne rapporten er hovedfokus rettet mot vekselstrømsanlegg (AC), men VSC-anlegg er i dag tilgjengelig på markedet og har blitt valgt for noen anlegg rundt om i verden. Konseptet består av et spenningsstyrt omformeranlegg (Voltage Source

Converter) og to HVDC-kabler, en med positiv polaritet og en med negativ polaritet. I hver ende av kabelen trenger man en likeretterstasjon for at anlegget skal kobles til resten av strømmettet (som har vekselstrøm).

Fordelene med denne typen anlegg:

- Mindre elektriske tap i lederne
- Likespenning gir generelt større systemteknisk handlefrihet
- Reaktiv kompensering
- Styling av effekt, unngår at spenningen styrer lastflyten

Ulempene med denne typen anlegg:

- Store omformertap: 4,5-5 %.
- Høy kostnad og betydelige arealbehov for omformeranlegg (to stasjoner) og montasje

Kraftledninger med spenningsnivå 20-60 kV som skal transportere relativt små energimengder over en lang avstand (f.eks. fra et lite kraftverk) er en type anlegg hvor det kan være aktuelt å vurdere VSC-anlegg fordi de elektriske tapene vil bli store ved valg av et tradisjonelt vekselstrømsanlegg. For disse spenningsnivåene vil kostnaden knyttet til omformeranleggene også være betydelig lavere enn på høyere spenningsnivå. Imidlertid er det få steder på land i Norge hvor avstanden til eksisterende overføringsnett er så stor at et VSC-anlegg vil være et økonomisk alternativ.

4.5 Oppsummering

På grunn av de fysiske belastningene luftledninger utsettes for, kan det være naturlig å tenke seg at det sjeldnere vil oppstå feil på kabelanlegg enn på luftledninger. Dette stemmer for de laveste spenningsnivåene. For spenningsnivå 132 kV og

høyere viser imidlertid erfaringer at det oftere oppstår feil på kabel sammenlignet med luftledninger. Dette gjelder i hovedsak jordkabler, og feil på sjøkabler forekommer svært sjeldent.

Årsaken til feil på jordkabelanlegg skyldes ofte skader ved gravearbeid eller montasjefeil. Reparasjonstiden er normalt mye lengre for jordkabler enn for luftledninger, og enda lenger for sjøkabler. Konsekvensen av feil på et kabelanlegg vil

derfor ofte være større enn konsekvensen av feil på en luftledning.

Elektrifiseringen gjør at samfunnets sårbarhet knyttet avbrudd i strømforsyningen blir stadig større. Det kan være uheldig å risikere at store områder blir uten forsyning i dagevis mens man reparerer en kabel. Et tiltak for å redusere denne risikoen er reserve- muligheter i nettet (masket nett) på de stedene hvor kabel vurderes i regional- og transmisjonsnettet, men kostnaden ved dette er vesentlig høyere.

5. Kostnader for luftledning og kabelanlegg

Investeringskostnadene for luftledninger og jordkabelanlegg har nærmet seg hverandre, spesielt på lavere spenningsnivåer og i lett terreng. Samtidig er det andre forskjeller mellom kabelanlegg og luftledninger som gjør det vanskelig å sammenligne kostnad per km, som kabeltykkelse, overføringskapasitet og kabeltraseens lengde. Driftskostnader og levetid varierer også mellom luftledninger og kabelanlegg, noe som må tas med i en helhetsberegning.

5.1 Tekniske forskjeller mellom luftledning og kabel påvirker investeringskostnaden

5.1.1 Kabeltykkelse

For kabler må varmen som produseres avledes gjennom kabelisolasjonen og videre ned i jordsmonnet som har begrenset varmeledningsevne. Den strømførende lederen i en kabel må derfor ha større tverrsnitt enn dens tilsvarende luftledning for å redusere den elektriske motstanden og dermed varmen som blir produsert. I tillegg til at selve lederen har større tverrsnitt, trenger kabelen også et tykt isolasjonslag. Samlet gjør dette at kabler er vesentlig tykkere og dyrere enn luftledningsliner. Sjøkabler har behov for sterkere armering for å tåle kraftigere ytre påvirkninger. Dette gjør at sjøkabler er tykkere enn jordkabler.

5.1.2 Overføringskapasitet

Et annet moment som skiller jord- og sjøkabelanlegg fra luftledninger, er at en ganske stor økning i overføringskapasitet (f.eks. dobling) medfører relativt moderate tilleggskostnader for en luftledning. For en luftledning økes kapasiteten i trinn ved valg av leder og for eksempel doble ledere, uten vesentlig endring av mastene.

For jord- og sjøkabler vil man derimot ved behov for stor overføringskapasitet være nødt til å legge to eller flere kabelsett. Ett ekstra kabelsett kan gi en dobling av kostnadene. Dette betyr at marginalkostnaden for kapasitetsøkning er forholdsvis stor og trinnsvis.

¹ En parameter som er viktig å vurdere når det gjelder valg av kabel er at behovet for ulike reservedeler vokser. Med mange ulike kabeltyper vil man måtte ha lager av reservedeler for hver av disse. Nettselskaper ønsker derfor å begrense antall kabeltyper i nettet. Det finnes mange

Kapasiteten vil imidlertid ikke dobles ved to kabelsett på grunn av nærføring og termiske forhold. Behovet for økt overføringskapasitet kan i noen tilfeller også løses ved å bytte materiell. Kobber har høyere kapasitet enn aluminium, og bytte fra aluminium til kobber kan være en rimeligere måte å øke kapasiteten på enn å legge to kabelsett.¹

Tabellen under viser anslag for maksimal overføringskapasitet for ledning og jordkabel. Anslagene er noe forenklet. Det kan for eksempel i spesielle tilfeller være mulighet for høyere overføringskapasitet enn det som er angitt i tabellen. Vi har tatt utgangspunkt i dimensjoner som blir brukt i det vi vurderer som normale prosjekt. For jordkabel har vi for 22 og 132 kV tatt utgangspunkt i aluminiumskabler, ettersom det er mest vanlig. Kabler med kobberledere er derimot også mulig og vil gi høyere overføringskapasitet, men er betydelig mer kostbart. For 420 kV har vi lagt til grunn kobberleder, ettersom Statnett har omsøkt dette i en konsesjonssøknad fra november 2021.² Omgivelsestemperatur og hvordan kabelen er plassert i bakken vil også påvirke overføringskapasiteten.

Tabell 5-1: Maksimal overføringskapasitet (MVA) for utvalgte spenningsnivå

	Maks. kapasitet ledning	Maks. kapasitet ett jordkabelsett
22 kV	40	26
132 kV	330	230
420 kV	3200	1500

Note: Det finnes mulighet for høyere kapasitet, men vi har her tatt utgangspunkt i tverrsnitt og teknologi som benyttes i «normale» prosjekt.

Uttørring av jord og høy termisk motstand i nærmeste omgivelse vil medføre at kabelen når maksimal temperatur ved lavere laststrøm enn ved mer optimale grunnforhold. En gitt kabel vil derfor ha ulike overføringsevne ved ulike forlegningsforhold og er slik sett mer avhengig av lokale variasjoner enn en luftledning. Kabler har imidlertid en høy termisk tidskonstant – det vil si at det tar lengre tid enn for luftledninger fra en øker overført strøm til temperaturen øker. For jord- og sjøkabler er det derfor mulig å overføre større energimengder (20-30 % mer) i om lag et par timer. For luftledning vil

flere typer kabler enn standard luftledninger som ikke vil ha samme problem.

² Konsesjonssøknad Øygardskabelen 2. Ny 420 kV jordkabel mellom Solsvik og Nordre Blomøy [lenke].

tilsvarende overlast kun være mulig i om lag 15 minutter.³

5.1.3 Kabeltraseens lengde

Kostnader knyttet til luftledninger og kabler måles ofte i kr/km fordi dette er enkelt forståelig og enkelt å sammenligne. Også i denne rapporten er kostnadene stort sett oppgitt på denne måten. Men en direkte sammenligning mellom pris per km luftledning og pris per km kabel kan gi et uriktig bilde av kostnadsforskjellen mellom de to løsningene. Grunnen til dette er at trasévalget for en jordkabel normalt vil bli annerledes og ofte betydelig lengre enn den traseen man ville valgt for en luftledning i samme område. I tettbygde strøk og rundt bebyggelse kan dette forholdet i noen tilfeller være motsatt.

For sjøkrysninger der både luftkrysning og sjøkabel er mulig, vil trasélengden ofte relativt lik. For sjøkabler vil dybden på vannet være avgjørende for trasélengden.

Forskjellen i total investeringskostnad mellom et kabelanlegg og en luftledning kan dermed bli betydelig større enn det en sammenligning av kroner per kilometer viser.

5.2 Investeringskostnader for luftledning varierer med terrenget

For å differensiere mellom kostnader og ulike vanskelighetsgrader er kostnadene for luftledning i denne rapporten delt mellom lett, middels og krevende terreng. Lett terreng er definert som enkel adkomst, relativt få forankringsmaster og enkle fundamenteringsforhold. Middels terreng har en mer «normal» adkomst til traseen, gjennomsnittlig antall master per kilometer (ca. 3 master per kilometer på 420 kV) og gjennomsnittlig fundamenteringsforhold. Dette vil for eksempel dekke mye av terrenget på Østlandet. Krevende terreng har vanskelig adkomst til traseen, høy andel forankrings- og vinkelmaster og krevende fundamentering. Dette er typisk fjellterreng, og omfatter blant annet store deler av Vestlandet.

Tabell 5-2 viser estimater på investeringskostnaden i millioner kroner per kilometer luftledning for de ulike spenningsnivåene og i ulikt terreng. Investeringskostnadene inkluderer alle kostnader ved bygging av luftledninger; byggherrekostnader, materiell, montasje, grunn- og rettighetserverv, infrastrukturkostnader (veier, riggplasser) og skogrydding. Kostnader ved ombygginger eller rivning av eksisterende anlegg er ikke inkludert.

Tabell 5-2: Investeringskostnader per kilometer for luftledninger

Spenningsnivå	Vanskelighetsgrad	Veiledende estimat (Mkr/km)
22 kV	Lett terreng	0,7-1,2
	Middels terreng	1,2-2,0
	Krevende terreng	2,0-3,5
132 kV	Lett terreng	3,5-4,0
	Middels terreng	4,0-5,0
	Krevende terreng	5,0-9,0
420 kV	Lett terreng	6,0-8,0
	Middels terreng	8,0-11,0
	Krevende terreng	>11,0

Kilde: Oslo Economics/Sweco. Investeringskostnadene inkluderer alle kostnader ved bygging av luftledninger; byggherrekostnader, materiell, montasje, grunn- og rettighetserverv, infrastrukturkostnader (veier, riggplasser) og skogrydding. 2021-priser.

Det er store variasjoner i enhetskostnadene, både innenfor de ulike vanskelighetsgradene, og på tvers av vanskelighetsgrader. På 22 og 132 kV er det nesten en tredobling av kostnaden ved å gå fra lett til krevende terreng, mens denne forskjellen er omtrent det dobbelte på 420 kV.

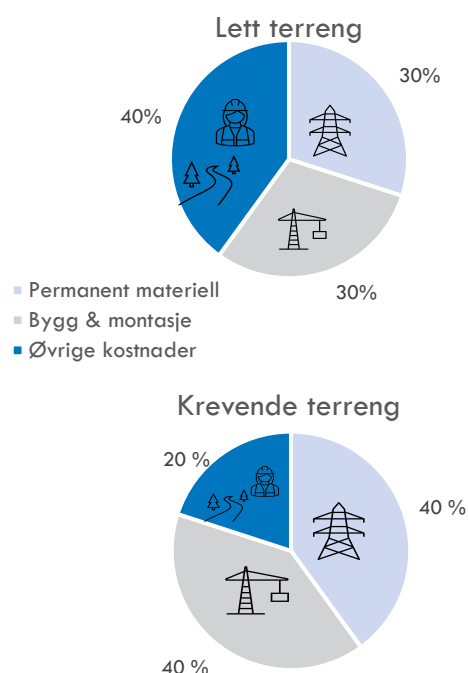
Investeringskostnadene kan deles inn i kategoriene *permanent materiell, bygg & montasje* og *øvrige kostnader*. Fordelingen av kostnaden mellom disse er vist i Figur 5-1 for luftledninger på 420 kV. Permanent materiell inkluderer fundamentering, linemateriell og mastemateriell, bygg & montasje inkluderer rigg og drift, linemontasje og mastemontasje, og øvrige

³ Potensiell mengde og varighet for overlast avhenger av ulike forhold som belastningen i forkant og andre komponenter i det aktuelle nettet. For eksempel vil det være

mulig å overlaste en kabel over noe lengre tid enn det som er angitt her dersom belastningen i forkant er betydelig lavere enn nominell kapasitet.

kostnader inkluderer byggherrekostnader, grunn- og rettighetsverv, infrastruktur (etablering av riggplasser, veier, o.l.) og skogrydding.

Figur 5-1: Kostnadsfordeling for 420 kV luftledning



Kilde: Oslo Economics/Sweco. Permanent materiell: fundamentering, linemateriell og mastemateriell. Bygg og montasje: rigg og drift, linemontasje og mastemontasje. Øvrige kostnader: byggherrekostnader, grunn- og rettighetsverv, infrastruktur (riggplasser, veier) og skogrydding.

I krevende terreng utgjør bygg, montasje og materiell en større andel av kostnadene enn for lett terreng.

Tabell 5-3: Veiledende estimat på investeringskostnader per kilometer for jordkabelanlegg

Spenningsnivå	Vanskelighetsgrad	Ett kabelsett (Mkr/km)	To kabelsett (Mkr/km)
22 kV	Lett terreng	1,0-1,6	1,4-2,4
	Middels terreng	1,6-2,5	2,4-3,2
	Krevende terreng	2,5-4,0	3,2-4,5
132 kV	Lett terreng	4,0-5,5	6,0-8,0
	Middels terreng	5,5-9,0	8,0-12,0
	Krevende terreng	9,0-15,0	12,0-19,0
420 kV	Lett terreng	-	-
	Middels terreng	30-50	40-80
	Krevende terreng	50-80	>80

Kilde: Oslo Economics/Sweco. Investeringskostnaden inkluderer alle kostnader ved bygging av jordkabelanlegg; byggherrekostnader, materiell, montasje, gravekostnader, tilleggsutstyr, transport, grunn- og rettighetsverv og infrastrukturkostnader (veier, riggplasser). For 420 kV er ikke lett terreng vurdert, da dette sjeldent er tilfelle på dette spenningsnivået. 2021-priser.

På 22 og 132 kV er kostnadene i krevende terreng omtrent tre ganger så høy som ved lett terreng. Samtidig er kostnaden ved to kabelsett omtrent 50 prosent høyere enn for ett. Kostnadsforskjellen mellom

Dette tilsier at atkomst og materiell i større grad er variable kostnader som kan bli veldig høye i krevende terreng, mens de øvrige kostnadene hovedsakelig er faste og relativt like mellom lett og krevende terreng.

Kostnadsfordelingen på 22 og 132 kV varierer mer og det er store forskjeller mellom prosjekter. Kostnadsfordelingen vil blant annet variere etter vanskelighetsgrad og konkurransen i markedet på anleggstidspunktet.

5.3 Investeringskostnadene for jordkabel kan bli svært høye

For jordkabel er også kostnadene delt inn etter lett, middels og krevende terreng. Lett terreng er traseer utenfor bynære områder og uten nevneverdig fjellmengde. Middels terreng er traseer som går gjennom mindre boligområder og mindre mengder fjell. Dette kan for eksempel være store deler av terrenget på Østlandet utenfor de store byene. Krevende terreng er urbane områder, traseer gjennom mye fjell eller med mange veikrysninger. Korte kabelstrekk presser kostnaden per kilometer opp og vil også kategoriseres som krevende terreng.

Investeringskostnadene per kilometer jordkabel er vist i Tabell 5-3. Dette inkluderer alle kostnader ved bygging av jordkabelanlegg; byggherrekostnader, materiell, montasje, gravekostnader, tilleggsutstyr, transport, grunn- og rettighetsverv og infrastrukturkostnader (veier, riggplasser). Kostnader knyttet til eventuelle kompenseringanlegg er ikke inkludert. Kostnadene er oppgitt både for ett og to kabelsett.

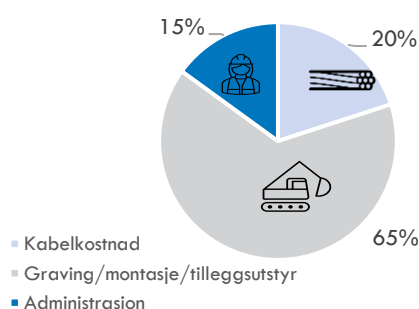
ett og to kabelsett er i hovedsak knyttet til material-kostnader ved ett ekstra kabelsett, samt noe ekstra grave- og montasjearbeid. Det er stor forskjell mellom investeringskostnadene for kabelanlegg på de ulike

spenningsnivåene. På 420 kV er kostnadene i lett terreng ikke estimert, da dette sjeldent er tilfelle på dette spenningsnivået.

5.3.1 Systemtekniske forhold ved kabling kan innebære tilleggs kostnader

Tilsvarende som for luftledninger er investeringskostnadene for kabelanlegg delt inn i ulike komponenter; kabelkostnad, gravekostnader, montasje, tilleggsutstyr og administrasjon. Denne fordelingen for 132 kV i middels terreng og ett kabelsett er vist i Figur 5-2. Det er stor forskjell i kostnadsfordelingene på alle spenningsnivåene, og spesielt på 22 kV.

Figur 5-2: Kostnadsfordeling for 132 kV jordkabelanlegg (ett kabelsett), middels terreng



Kilde: Oslo Economics/Sweco. Det er stor variasjon i størrelsen på de ulike kostnadskomponentene og dette bildet er kun veiledende.

Kabelkostnaden står typisk for omtrent 20 prosent av investeringskostnadene for kabelanlegg når det legges ett kabelsett. Denne andelen vil avhenge av valg av materiell og råvareprisen.

Kostnader for tilleggsutstyr, utlegging og montasje er den største kostnadskomponenten og står for omtrent 65 prosent av kostnaden i middels terreng på 132 kV. Montasje er i stor grad manuelt arbeid og store kabeldimensjoner på høye spenningsnivåer tilsier at bemanningsbehovet blir større enn på lavere nivåer. Montasjekostnadene vil variere sterkt avhengig av kompleksiteten til anlegget.

Tilleggsutstyr som er nødvendig for kabelanlegg er blant annet endemuffer, skjøter og reaktorlegg. For korte kabeltraseer, for eksempel en kort trasé der resten av anlegget bygges som luftledning, kan endemuffene utgjøre en betydelig andel av kostnadene (for 132 kV og 420 kV). Uavhengig av kabelens lengde vil det være behov for en muffestasjon i begge ender.⁴

Kabelanlegg og luftledninger har ulike elektriske egenskaper, hvilket medfører virkninger i kabelanlegg

⁴ Muffestasjoner er kun aktuelt hvis man kabler en del av en linje med høyere spenning (over 130 kV). Ved 130 kV og

som det må kompenseres for. Kompenseringen skjer i reaktorlegg. Den kapasitive jordfeilstømmen og den driftskapasitans som kablene genererer per km avhenger av type kabel (ledertverrsnitt og ledermaterial) og ikke minst hvilken spenning kablene har. Enhetskostnaden for reaktorlegg for 22 og 132 kV er vist i Tabell 5-4. Disse kostnadene kommer eventuelt i tillegg til kabelkostnadene i Tabell 5-3.

Tabell 5-4: Enhetskostnad for reaktorlegg (Mkr)

Spenningsnivå	Kompensering jording (spoler)	Reaktiv kompensering
22 kV	0,6-2,5	0,5-5,0
132 kV	4,0-6,0	4,0

Kilde: Oslo Economics/Sweco

For ett nettområde som helhet, vil en stor andel kabler forårsake en betydelig ekstra kostnad i form av ulike reaktorlegg som må vedlikeholdes og fornyes på sikt, og ved at antall komponenter og systemkompleksiteten øker. I enkelte tilfeller kan behovet for nye reaktorlegg også føre til at hele transformatorstasjoner må bygges om. Nettselskaper vi har vært i kontakt med har opplyst at det i enkelte tilfeller ikke lengre vil være mulighet for flere kabler i systemet, og de må i så fall gå over til direktejordet nett noe som vil ha svært høye kostnader.

Entreprenørarbeidet knyttet til blant annet graving av grøfter, rørføringer ved kryssing av veier, sprengning av fjell og asfaltering vil variere avhengig av de lokale forholdene. I tett befolkede områder kan etablering av kabelanlegg langs eksisterende veier bli svært kostbart. De mest betydningsfulle kostnadene her er knyttet til trafikkavvikling, massehåndtering, nattarbeid, eksisterende infrastruktur, brostein eller re-asfaltering. Eksisterende infrastruktur som må hensyntas i gravearbeidet er kommunaltekniske anlegg og tele- og signalanlegg. Dette medfører i mange tilfeller betydelige omleggingstiltak eller underjordisk fremføring gjennom tunnel, med dertil økte kostnader.

I mer uberørte områder hvor det er lite eller ingen infrastruktur å ta hensyn til kan entreprenørarbeidet bli rimeligere, men også her kan gravekostnadene bli svært høye. Dette gjelder områder hvor gravearbeidene blir vanskelige, f.eks. ved vanskelige grunnforhold og fjell, eller der terrenget gjør det umulig med en rettilinjeformet trasé. Fra sprengte grøfter må i tillegg all sprengstein kjøres bort fordi sprengstein ikke kan brukes som fyllmasse i grøft.

nedover monteres ofte kabelavslutninger i toppen av endestolpen på luftledningen.

5.4 Investeringskostnadene for sjøkabel er usikre og varierende

For sjøkabler er trasé, landtak, grunnforhold ved adkomst, materiale og kabelkostnad de viktigste kostnadsdriverne. Estimater på investeringskostnadene for sjøkabler på de ulike spenningsnivåene for ett og to kabelsett er vist i Tabell 5-5. Det er i dag mindre erfaring knyttet til legging av sjøkabler enn jordkabler og luftledninger. Variasjonen mellom prosjekter er også stor, spesielt avhengig av området som skal krysses. Kombinasjonen av mindre erfaring og stor variasjon gir stor usikkerhet knyttet til estimatene på investeringskostnadene for sjøkabler.

Tabell 5-5: Investeringskostnader per kilometer for sjøkabelanlegg

Spenningsnivå	Ett kabelsett (Mkr/km)	To kabelsett (Mkr/km)
22 kV	2,0-4,0	4,0-7,0
132 kV	15-25	28-50
420 kV	>35	>65

Kilde: Oslo Economics/Sweco

Kabelkostnaden er den største kostnadskomponenten for sjøkabel. Sjøkabler krever mer isolasjon og sterkere armering enn jordkabler og selve kabelprisen er derfor høyere. På 132 kV sjøkabler kan kabelkostnaden stå for over 60 prosent av totalkostnaden ved ett kabelsett. Den høye kabelkostnaden for sjøkabler er også hovedgrunnen til den store forskjellen mellom kostnadene for ett og to kabelsett.

Utlegging og montasje er også en høy kostnad ved legging av sjøkabler. Denne kostnaden avhenger sterkt av entreprenørmarkedet på tidspunktet og tilgjengeligheten til båter og annet nødvendig utstyr for legging av kableen.

5.5 Driftskostnader og -forhold varierer for de ulike teknologiene

5.5.1 Vedlikeholdskostnader

Drifts- og vedlikeholdskostnadene utgjør en relativt liten andel av de totale kostnadene for både luftledning og kabler. Disse kostnadene som andel av investeringskostnaden er vist i Tabell 5-6.

Tabell 5-6: Årlige drifts- og vedlikeholdskostnader, som prosent av investeringskostnad

Spenningsnivå		Estimat
22 kV	Luftledning	1,5 %
	Jordkabel	1,0 %
	Sjøkabel	1,0 %
132 kV	Luftledning	1,5 %
	Jordkabel	0,8-1,5 %
	Sjøkabel	0,8-1,5 %
420 kV	Luftledning	1,0 %
	Jordkabel	0,5 %
	Sjøkabel	0,5 %

Kilde: Oslo Economics/Sweco etter innspill fra nettselskap.

Prosentandelen i tabellen er noe høyere for luftledning enn for jord- og sjøkabler. Samtidig viste estimatene i kapittel 5.2, 5.3 og 5.4 at investeringskostnadene for luftledning er lavere. De totale drifts- og vedlikeholdskostnadene er dermed relativt like mellom luftledning og jord- og sjøkabelanlegg.

For luftledninger vil forebyggende vedlikehold som befaringer og skogrydding utgjøre hoveddelen av kostnaden. Feilstatistikken i kapittel 4.3 viste at det er lite varige feil på luftledninger og reparasjonsarbeidet er mindre. Estimaterne for drifts- og vedlikeholdskostnadene for luftledning er derfor hovedsakelig relatert til forutsatte driftskostnader.

Nyere PEX-kabler krever generelt lite vedlikehold, men dersom det først skjer en feil på kabelanlegget kan kostnadene være store. Oljekabler som var mer brukt tidligere krevde regelmessig kontroll og etterfylling av kabelolje. Teknologitviking og overgang til PEX-kabler har redusert driftskostnadene for kabelanlegg over de siste årene. For jord- og sjøkabelanlegg består drifts- og vedlikeholdskostnadene hovedsakelig av uforutsette reparasjonskostnader.

Drifts- og vedlikeholdskostnadene er basert på erfaringstall fra nettselskapene, og bør tolkes med varsomhet. Framover er det ventet at vedlikeholdskostnadene for kabler vil gå ned etter hvert som gamle oljekabler erstattes med nye PEX-kabler. Dette kan også være tilfellet for luftledninger, hvor ny teknologi kan redusere kostnadene. Et eksempel på dette er inspeksjon av ledninger med bruk av droner som blant annet Statnett arbeider med. Vi har ikke

grunnlag for å gjøre detaljerte vurderinger av utviklingen i drifts- og vedlikeholdskostnader framover.

5.5.2 Avbruddskostnader

Avbruddskostnaden ved feil på et kabelanlegg kan bli svært stor sammenlignet med avbruddskostnaden ved feil på en luftledning fordi utetiden ved feil på et kabelanlegg kan bli svært lang. Kabelfeil på spenningsnivået 132 kV og høyere er svært omfattende å reparere.

Feilstatistikk og utetider er behandlet i kapittel 4.3.

5.5.3 Tap

Tap i kraftledninger består av resistive tap som avhenger av nettets elektriske motstand og dielektriske tap, som er avhengig av spenningsfallet over isolasjonen og motstand i isolasjonsmaterialet.

På grunn av større tverrsnitt, har kabler lavere elektrisk motstand enn luftledninger og dermed mindre resistive tap. For luftledninger kan disse tapskostnadene være betydelige.

Dielektriske tap i kabelisolasjonen er faste tap som kommer selv om kabelen er ubelastet, men for PEX-kabler er disse tapene imidlertid svært små og dette var et større problem ved bruk av oljekabler.

5.5.4 Levetid for kabel og luftledning

Erfaringstall knyttet til faktisk levetid for luftledninger og jord- og sjøkabelanlegg på de ulike spenningsnivåene er vist i Tabell 5-7.

Tabell 5-7: Levetid for luftledning og kabelanlegg på ulike spenningsnivå

Spenningsnivå		Levetid (år)
22 kV	Luftledning	60-80
	Jordkabel	60-80
	Sjøkabel	40-60
132 kV	Luftledning	60-100
	Jordkabel	50-80
	Sjøkabel	40-70
420 kV	Luftledning	60-100
	Jordkabel	40-50
	Sjøkabel	40-50

Kilde: Oslo Economics/Sweco

For 22 kV er levetiden på luftledning og jordkabel lik, mens for 132 kV og 420 kV har luftledning lenger levetid enn jordkabel. Sjøkabel har generelt kortere levetid enn både luftledning og jordkabel på alle spenningsnivåene. Sammenlignet med NVEs tidligere rapport fra 2004 har levetiden økt for både kabelanlegg og luftledninger.

Intervallene i levetid avhenger av teknologivalg og materiale. For eksempel har stålmaster betydelig lenger levetid enn tremaster. Nyere kabelanlegg har også lenger levetid enn eldre anlegg.

5.6 Kostnadene for luftledninger har økt mer enn for kabelanlegg

Investeringskostnadene for luftledninger har mer enn doblet seg siden 2004. I NVEs tidligere rapport (2004) ble investeringskostnadene for luftledninger på 132 kV estimert til 1 Mkr/km og 420 kV estimert til 3 Mkr/km. I Nettmeldingen fra 2011 ble estimat på 0,5-2 Mkr/km for regionalnettet og 5-6 Mkr/km i transmisjonsnettet presentert (OED, 2011). NVE sin rapport angir kun kostnader for lett terreng mens terrengforhold ikke er angitt i nettmeldingen. Ingen av rapportene inkluderer kostnadsestimater for 22 kV. Det er derfor begrenset med sammenligningsgrunnlag mellom de tidligere rapportene og estimatene presentert i denne rapporten. Erfaringer fra nettselskapene tilsier at investeringskostnadene for luftledninger har økt betydelig i denne perioden. Alle kostnadskomponentene har økt, men det er spesielt materialkostnadene som svinger mye avhengig av råvareprisen.

For jordkabelanlegg har også investeringskostnadene økt, men ikke i like stor grad som for luftledninger. Kostnaden var estimert til 4 Mkr/km for ett kabelsett på 132 kV og 18 Mkr/km for to kabelsett på 420 kV i NVEs tidligere rapport (2004). Dette er kostnader i lett terreng. I nettmeldingen angis det et bredt spenn av kostnader for jordkabler i regionalnettet på 1-12 Mkr/km (OED, 2011). Nettselskapene erfarer at kabelkostnaden har økt i takt med råvareprisene. Samtidig har ikke entreprenørkostnadene ved legging av jordkabel økt i like stor grad. Her har det kommet flere konkurrenter på markedet som har gitt større konkurranse og lavere priser. Sjøkabler har fortsatt et begrenset leverandør- og entreprenørmarked noe som fortsatt gir høye kostnader.

Over de siste 20 årene har kostnadene for både luftledninger og jord- og sjøkabelanlegg økt mer enn den generelle prisveksten. For både ledninger og kabler er dette delvis knyttet til økte råvarepriser. Entreprenørkostnadene har ikke økt i like stor grad for kabelanlegg som for luftledninger, noe som har ført til at kostnadsforskjellen mellom luftledninger og

kabelanlegg er blitt mindre, spesielt på lavere spenningsnivå.

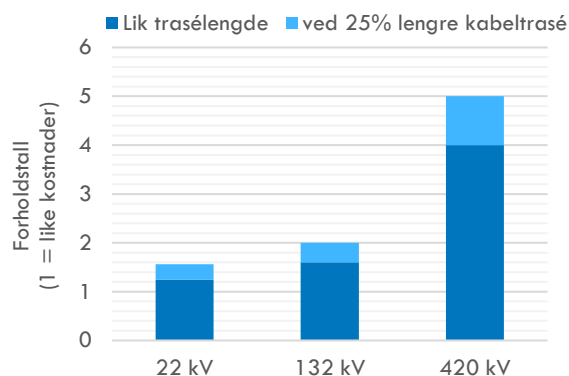
Kostnadsforskjellen har blitt mindre på alle spenningsnivåer. Spesielt på lavere spenningsnivåer er kostnadene for jordkabelanlegg og luftledninger nærmet seg hverandre. NVE estimerte i 2004 at billige kabelanlegg hadde investeringskostnader som var fire ganger mer kostbare enn luftledninger på 132 kV, og seks ganger mer kostbare på 420 kV (NVE, 2004). I nettmeldingen var kostnadsforholdet estimert til åtte ganger mer kostbart for jordkabelanlegg på 420 kV, forutsatt tilsvarende overføringskapasitet, og 1,2 til 2 ganger mer kostbart på 22 kV. Forholdet estimert i denne rapporten tilsier at jordkabelanlegg i middels terreng har investeringskostnader som er 1,2 ganger mer kostbare enn luftledninger på 22 kV, 1,6 ganger på 132 kV og fire ganger på 420 kV (se Figur 5-3).

5.7 På lavere spenningsnivå og i lett terreng blir kostnadene likere

Investeringskostnaden for jordkabelanlegg nærmer seg kostnaden for luftledning, spesielt på 22 og 132 kV i lett terreng. Figur 5-3 viser forholdet mellom investeringskostnaden for luftledning og jordkabelanlegg ved middels terreng.

Jordkabeltraseer må ofte følge eksisterende infrastruktur mens luftledninger kan føres tvers over større områder. Dette gjør at jordkabeltraseer ofte blir lengre enn ledningstraseer, selv om det i enkelte tilfeller også kan være motsatt. Det finnes ingen generell regel for hvor mye lengre kabeltraseer er, og dette vil avhenge av sted og terreng. I Figur 5-3 er et anslag på 25 prosent lenger kabeltrase inkludert for å illustrere kostnadseffekten av en lengre kabeltrase. Innspill fra nettselskapene indikerer at dette kan være et relevant eksempel, men at forskjellen vil være stor mellom prosjekter.

Figur 5-3: Kostnadsforhold mellom investeringskostnadene for jordkabel og luftledning i middels terreng.



Kilde: Oslo Economics/Sweco. Figuren viser investeringskostnaden ved jordkabelanlegg i forhold til luftledninger ved lik trasélengde og hvis kabeltraseen er 25 prosent lenger. Verdi 1 betyr at kostnadene er helt like.

På 22 kV er investeringskostnadene 20-30 prosent høyere for jordkabler enn for luftledninger dersom trasélengden er lik. Kabeltraseer vil ofte være lengre enn luftledninger og totale investeringskostnader for kabelanlegg kan derfor være noe høyere. Med en 25 prosent lenger trasé vil kostnaden ved kabling bli rundt 50 prosent høyere enn for luftledning uavhengig av terreng. Kostnaden for sjøkabler er 2-4 ganger så høy som for luftledninger på 22 kV dersom det legges et kabelsett.

På 132 kV er kostnadene for jordkabler nesten på nivå med kostnadene ved luftledninger for lett terreng. For lett terreng er forholdet ganske likt som på 22 kV og jordkabel er omtrent 30 prosent dyrere enn luftledninger. For middels og krevende terreng er kostnadene dobbelt så høye for jordkabel i forhold til luftledning dersom kabeltraseen er 25 prosent lenger enn ledningstraseen. På 132 kV er kostnaden ved å legge et kabelsett sjøkabel 2-3 ganger så høy som for luftledninger.

På 420 kV er forskjellen mellom investeringskostnadene ved luftledninger og kabling fortsatt store. Ved middels terreng er kostnaden ved kabling fire ganger så høy som for luftledning. Denne forskjellen øker til fem ganger så høy dersom kabeltraseen er 25 prosent lenger. Kostnadsforskjellen på 420 kV øker i krevende terreng.

6. Oppsummering og vurdering av kabel som alternativ til luftledning

Vår gjennomgang finner at ledningskostnader har økt mer enn kabelkostnadene over de siste 15-20 årene. I en helhetlig vurdering er kabelanlegg likevel mer kostbart enn bygging av luftledninger, særlig på høyere spenningsnivå. Jord og sjøkabler har høyere kostnader per km, kortere levetid, hyppigere og mer langvarige feil og medfører investeringer i kompensering-anlegg og økt systemkompleksitet, spesielt på høyere spenningsnivå.

Samlet er vår vurdering at det i hovedsak ikke er grunnlag for å revidere eksisterende retningslinjer for kabling. Luftledninger bør fortsette å være hovedregelen i regional- og transmisjonsnettet. I regionalnettet bør det likevel åpnes for et unntak om at kabel kan vurderes i lett terreng der kostnadsforskjellene mellom luftledning og jordkabel er små. I distribusjonsnettet er kostnadsforskjellene små og vi finner ikke grunnlag for å endre på hovedregelen om kabling på lavere spenningsnivå.

6.1 Investeringskostnader

Jordkabelanlegg har generelt en høyere kostnad per km, sammenlignet med bygging av luftledninger. Dette gjelder for alle spenningsnivå og alle vanskelighetsgrader. De siste 15-20 årene har det generelt vært en økning i kostnadene for både luftledninger og kabelanlegg, spesielt relatert til råvarekostnader. Entreprenørkostnadene for luftledninger har imidlertid økt mer enn for kabelanlegg, og kostnadsforskjellene har for enkelte spenningsnivå og vanskelighetsgrader blitt mindre enn de var. På lavere spenningsnivå (<22 kV) er det små forskjeller i kostnader per km mellom jordkabler og luftledninger. Det samme gjelder for 132 kV i lett terreng.

I distribusjonsnettet (<22 kV) er kostnadene for ett jordkabelsett omtrent tilsvarende som for luftledninger i alle terreng, mens kostnaden er noe høyere dersom det er behov for to kabelsett. Jordkabler vil ofte kreve en noe lengre trasé enn luftledninger, og dersom kabeltraséen er 25 prosent lenger vil

kostnadene ved kabling være omtrent 50 prosent høyere enn for luftledninger.

I regionalnettet er kostnadsforskjellen liten mellom jordkabelanlegg og luftledninger i lett terreng, mens forskjellen fortsatt er stor i krevende terreng. Kostnadsforskjellen på spenningsnivåene i regionalnettet vil avhenge av mange faktorer og variere mye mellom prosjekter. Overføringsbehov, terreng og trasé er faktorer som vil gi store utslag. Jordkabelanlegg er fortsatt vesentlig dyrere enn luftledninger dersom det for eksempel er et større overføringsbehov, krevende terreng eller utilgjengelig trasé.

I transmisjonsnettet er kostnadsforskjellene mellom luftledninger og jordkabler fortsatt store. Kostnadene er ofte den utløsende årsaken i vurderinger der luftledninger blir valgt til fordel for jordkabler.

Sjøkabel kan i enkelte tilfeller være et alternativ til luftledning. Normalt velges sjøkabel dersom luftledning ikke er mulig, men i enkelte tilfeller gjøres det også avveininger mellom disse to fremføringsvalgene, spesielt av estetiske hensyn. Sjøkabel er langt mer kostbart enn luftledning per km, og sjøkabelen må gi en betydelig kortere trasé for at sjøkabel gir en lavere samlet investeringskostnad enn luftledning.

6.2 Driftsmessige forhold

Det vil være flere faktorer enn investeringskostnadene som vil være avgjørende i vurderingen av jord- og sjøkabel som alternativ til luftledning. Normalt vil de driftsmessige forholdene tilsi at kabelanlegg gir høyere kostnader for samfunnet sammenlignet med luftledning, særlig i regional- og transmisjonsnettet.

I vurderinger mellom jord- og sjøkabler og luftledninger er spesielt feilhendelser og reparasjonstid viktige driftsmessige forhold. I distribusjonsnettet forekommer feil på kabel sjeldnere enn for luftledninger og feilene som oppstår kan ofte rettes innen relativt kort tid. I regional- og transmisjonsnettet oppstår det derimot hyppigere feil på kabelanlegg enn luftledninger, samtidig som feilen tar lenger tid å rette. I transmisjonsnettet kan feil på jordkabelanlegg ta opptil uker å rette opp. Feil på sjøkabelanlegg kan ta opptil seks måneder å rette. Denne kombinasjonen av flere feil og lengre reparasjonstid øker sårbarheten i nettet.

I regional- og transmisjonsnettet har luftledninger lengre levetid enn jord- og sjøkabler. Ved legging av kabler vil anlegget ha behov for fornying tidligere enn for luftledninger. Dette gjør at kostbare reinvesteringer vil komme tidligere, og bidrar til økte kostnader for samfunnet.

Kabelanlegg og luftledninger har ulike elektriske egenskaper, hvilket medfører virkninger i kabelanlegg som det må kompenseres for. For et nettområde som helhet, vil en stor andel kabler forårsake en ekstra kostnad i form av ulike kompenseringer som må vedlikeholdes og fornyes på sikt, samt bidra til økt systemkompleksitet.

Jord- og sjøkabler bidrar riktignok til mindre tap i nettet sammenlignet med luftledninger. Det er ved høy overføringskapasitet at forskjellene i elektriske tap blir merkbare. Dette taler isolert til fordel for kabler. Når overføringskapasiteten er høy blir imidlertid også kostnadsforskjellene mellom kabler og luftledninger høyere, ettersom det blir nødvendig med flere kabelsett og dermed en ekstra høy investeringskostnad for jord- og sjøkabel.

Samfunnets sårbarhet relatert til avbrudd i strømforsyningen øker, og konsekvensene ved langvarige feil kan derfor bli større og større. Dette er og vil være et viktig hensyn å ivareta når jord- og sjøkabler vurderes og det kan være behov for kostbare reservemuligheter i nettet dersom kabling vurderes i regional- og transmisjonsnettet.

6.3 Miljøtiltak og nytteverdi av kabling

I kraftledningssaker vil miljø- og arealulempene kunne reduseres med bruk av jord- eller sjøkabel som avbøtende tiltak. Selv om jord- og sjøkabler ofte vurderes som avbøtende tiltak kan det også være tilfeller der de miljømessige konsekvensene ved kabling er større enn ved luftledningene. De ulike vurderingene varierer for eksempel med hensyn til spenningsnivå og hvilket terreng og topografi som skal forseres. Det er derfor flere hensyn som må vektas mot hverandre – og ses i sammenheng med kostnadene.

Jord- og sjøkabler kan på enkelte områder redusere negative virkninger som oppstår ved bruk av luftledninger. Dette gjelder for eksempel knyttet til estetikk, friluftsliv, landskap og fugleliv. Samtidig kan

bruk av kabel redusere det biologiske mangfoldet og påvirke vannmiljø i nærheten negativt.

Størrelsen på de ulike konsekvensene vil variere mye mellom prosjekter, og det er ikke mulig å si noe som vil gjelde for alle prosjekter. Dette er hensynene som krever saksspesifikk vurdering i hvert enkelt tilfelle. Ved kryssing av friluftsområder i nærhet til bebygde områder kan jordkabel være et relevant alternativ for å frigi areal som friluftsområder. Samtidig kan dette argumentet være svakere for åpne fjellkryssinger der de negative effektene knyttet til biologisk mangfold kan veie tyngre.

6.4 Samlet vurdering

Vår gjennomgang finner at det i hovedsak ikke er grunnlag for å revidere gjeldende retningslinjer for kabling:

- I *distribusjonsnettet* er forskjellene i investeringskostnader små og det er ikke kommet frem informasjon som tilsier at det helhetlige kostnadsbildet er vesentlig endret. Vi finner derfor ikke grunnlag for å endre på hovedregelen om kabling på lavere spenningsnivå. Det er likevel nødvendig å vurdere luftledninger der naturinngrepet og/eller kostnadene ved kabling er høye.
- Hovedregelen i *regionalnettet* er at det kun skal brukes kabler i byområder eller der miljøkonsekvensene av ledninger er store benytte luftledning. Dette synes fortsatt å være rimelig. I tillegg finner vi at det bør inkluderes et unntak om at kabel kan vurderes i lett terreng i regionalnettet der det ikke er behov for flere kabelsett og/eller kostnadsforskjellene mellom luftledning og jordkabel er små.
- I *transmisjonsnettet* er kostnaden fortsatt høy for kabling sammenlignet med luftledninger og hovedregelen om luftledning bør videreføres.

I eventuelle endringer av retningslinjene for kabling bør det legges vekt på at retningslinjene bør være tydelige og forutsigbare. Tydelige og forutsigbare retningslinjer kan bidra til å redusere ressursbruken hos nettselskapene og hos myndigheten, og dermed bidra til å redusere ledetiden for gjennomføring av investeringer i strømmettet. I denne rapporten har vi ikke gjort nærmere vurderinger av hvorvidt endringer i retningslinjene vil bidra til å redusere eller øke ledetidene.

7. Referanser

E.ON Elnät Sverige, 2015. *Biologisk mangfold i kraftledningsgator – En kartlegging av värden i E.ON:s kraftledningsgator i Jönköpings län*, s.l.: s.n.

NVE, 2004. *Kabel som alternativ til luftledning*, s.l.: NVE 200302973-6.

NVE, 2008. *Bakgrunn for vedtak 420 kV Sima-Samnanger*, Oslo: NVE.

NVE, 2021 a. *Nøkkeltall for nettselskapene*. [Internett]
Available at:
<https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/publikasjoner-og-data/data-og-nokkeltall/nokkeltall-for-nettselskapene/>
[Funnet 28 desember 2021].

NVE, 2021 b. *Bakgrunn for vedtak 420kV Hamang-Bærum-Smestad*, Oslo: NVE.

OED, 2011. *Meld. St. 14 (2011-2012)*, s.l.: Olje- og energidepartementet.

Statens strålevern, 2017. *Bebyggelse nær høyspenningsanlegg*, s.l.: s.n.

Statnett, 2018 a. *Årsstatistikk 2018 - Driftsforstyrrelser og feil i 33-420 kV-nettet*, s.l.: Statnett.

Statnett, 2018 b. *Årsstatistikk 2018 - Driftsforstyrrelser, feil og planlagte utkoplinger i 1-22 kV-nettet*, s.l.: Statnett.

Statnett, 2020. *Langsiktig markedsanalyse - Norden og Europa 2020-2050*, s.l.: Statnett.

Statnett, 2021. *Nettutviklingsplan 2021*, s.l.: Statnett.

oslo**economics**

www.osloeconomics.no

post@osloeconomics.no
Tel: +47 21 99 28 00
Fax: +47 96 63 00 90

Besøksadresse:
Kronprinsesse Märthas plass 1
0160 Oslo

Postadresse:
Postboks 1562 Vika
0118 Oslo