

Regionnätets funktion och utformning

En publikation som i första hand vänder sig till dig som berörd markägare eller närboende till ny regionnätsledning.

Förord

För regionnät är utgångspunkten generellt att anlägga och bibehålla ledningar som luftledning eftersom det är den systemtekniskt bästa och effektivaste utformningen för samhället. Berörda markägare och närboende önskar däremot ofta att nya planerade ledningar ska läggas ned i marken och hänvisar till andra projekt där luftledningar ersatts med kabel. Med tanke på det har detta dokument tagits fram som ska förklara bakgrunden till varför nya ledningar inom regionnätet oftast anläggs som luftledningar medan lokalnätets ledningar ofta markförläggs.

Regionnätet i Sverige (30–150 kV) är det mellanliggande högspänningsnätet som ansluter till dels Svenska kraftnäts transmissionsnät, dels lokalnätet, som i sin tur ansluter alla hushåll. Elnätets uppbyggnad i Sverige illustreras i figuren på nästa sida. Regionnätet kan symboliseras som Sveriges riksvägar, medan transmissionsnätet utgör landets motorvägar och lokalnätet de minsta lokalvägarna.

Transmissionsnätets uppgift är att binda samman stora produktionskällor (kärnkraft, större vatten- och vindkraftsanläggningar) och transportera stora mängder el över stora avstånd. Till transmissionsnätet är regionnätet anslutet. Regionnätet förser hela samhällen och städer med el liksom större energikrävande industrier. Det underliggande lokalnätet förser hushåll, kommunala inrättningar, handel och mindre industrier med el samt tar emot el från lokal produktion eller mikroproduktion.

Regionnätet består av omkring 3 150 mil ledning, *se figur 1*. Av dessa är mindre än 5 procent (cirka 150 mil) mark- och sjöförlagda ledningar. Resten utgörs av luftledningar.

Regionnätsföretagen förordar generellt sett luftledning inom regionnätet då det är den tekniska lösning som ger ett säkert, tillförlitligt och effektivt elnät till lägsta kostnad för våra kunder. I detta dokument ges en fördjupad beskrivning av bakgrunden till denna utgångspunkt samt en närmare beskrivning av skillnaden mellan regionnät och lokalnät och varför markförlagd kabel är ett bra alternativ inom lokalnätet.



Ledningslag	Spänningsnivå	Längd
Transmissionsnät	220–400 kV	15500 km
Regionnät	30–150 kV	31500 km
Lokalnät	0,4–20 kV	534500 km

Figur 1. Illustrerar ledningsnätets uppbyggnad, från transmissionsnätet och ned till de servisledningar som förser enskilda hushåll med elektricitet. Siffrorna är hämtade från Energimarknadsinspektionens sammanställning av elnätföretagens inrapporterade data för 2019.

Innehåll

Förord	3
1. Skillnader mellan luftledning och markkabel	6
1.1 Flexibilitet.....	6
1.2 Driftsäkerhet.....	6
1.2.1 Luftledning.....	6
1.2.2 Markkabel	7
1.3 Markbehov och miljöpåverkan	8
1.3.1 Luftledning.....	8
1.3.2 Markkabel	9
1.4 Kostnader	10
1.4.1 Luftledning.....	10
1.4.2 Markkabel	10
2. Utmaningar med kabelförläggning inom regionnätet	12
2.1 Tekniska svårigheter	12
2.2 Behov av kompensationsutrustning.....	12
3. När läggs markkabel inom regionnätet?	13
4. Det är skillnad på regionnät och lokalnät	14
5. Slutord	15

1. Skillnader mellan luftledning och markkabel

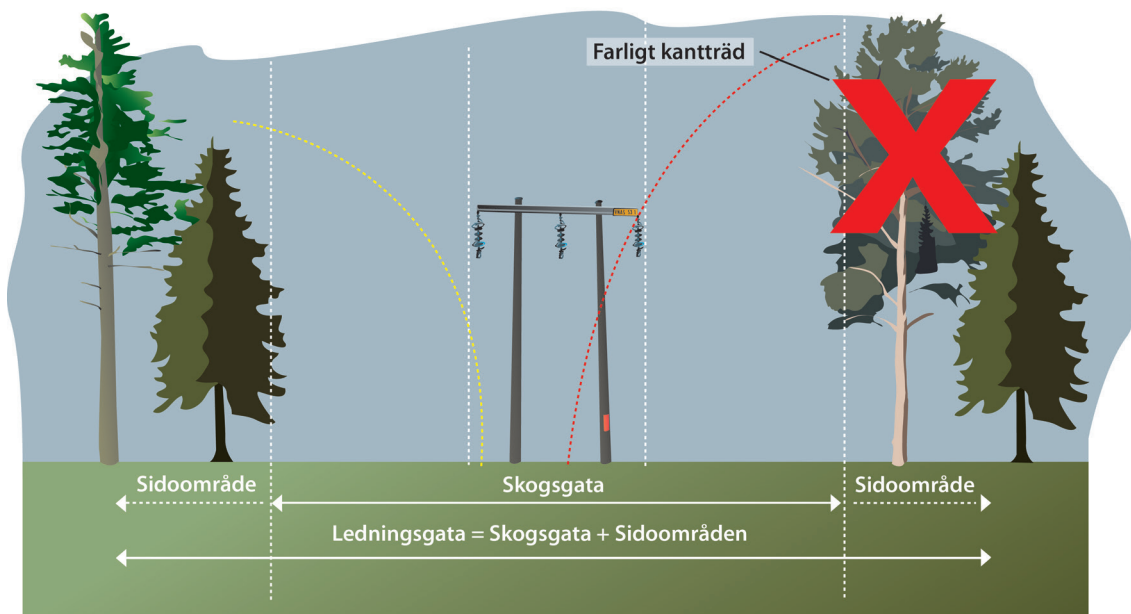
1.1 Flexibilitet

En trygg elförsörjning är en förutsättning för såväl regional utveckling som omställningen till ett fossiloberoende samhälle. För att möta samhällets behov och möjliggöra energiomställningen med ökad elektrifiering, anslutning av nya elintensiva verksamheter och större andel förnybar elproduktion, behöver nätkapaciteten säkerställas. En fördel med luftledning är att det är förhållandevis enkelt att öka kapaciteten på befintliga luftledningar, genom att byta till grövre linor. En uppgradering av en kabelanläggning innebär ett betydligt större arbete. Ett luftledningsnät är således mer anpassningsbart och flexibelt.

1.2 Driftsäkerhet

1.2.1 Luftledning

I och med att regionnätetsledningar förser hela samhällen och städer med elektricitet är driftsäkerheten helt avgörande. Om det blir ett avbrott på en regionnätetsledning är det många hushåll och industriverksamheter som drabbas. För att kunna leverera el med hög tillförlitlighet året runt oavsett väder anläggs luftledningarna med så kallade trädsäkra ledningsgator. En trädsäker ledningsgata underhålls regelbundet och hålls så bred så att inget träd tillåts växa så högt att det riskerar att falla på ledningen och skada den. Höga, så kallade farliga kantträd, tas bort i ledningsgatans sidoområden, se *figur 2*.



Figur 2. Visar en trädsäker ledningsgata. Träd som riskerar att falla på ledningens faslinor tas bort.

Flertalet fel på en trädsäkrad luftledning är av övergående karaktär, det vill säga felen kräver ingen reparationsinsats. Den vanligaste felorsaken vid övergående fel är åsknedslag, som leder till en tillfällig automatisk bortkoppling följt av en automatisk

återinkoppling varvid driften blir återställd. Luftledningar är alltså byggda för att tåla elektriska överlag och omedelbart återgå i drift. Bestående fel på en luftledning kan normalt åtgärdas inom 24 timmar, då felen går snabbt att lokalisera och är lättåtkomliga för reparation.

1.2.2 Markkabel

En markförlagd ledning inom regionnätet utgörs av ett eller flera kabelförband, se *figur 3*. Kablarna behöver skarvas var 700–900 meter. Till skillnad mot luftledningar, så förekommer inte övergående fel på markkablarna, det vill säga fel i en kabelanläggning är per definition bestående och kräver således reparation. De vanligaste felorsakerna på markförlagda ledningar är grävskador samt fel på kabelskarvar och kabelns ändavslut.

På samma sätt som att varje kabelskarv utgör en potentiell felkälla, utgör även varje övergång mellan luftledning och markkabel en potentiell felkälla. Detta beror främst på risken för fel på kablarnas ändavslut, som krävs där luftledningen övergår till kabel. Ur ett driftsäkerhetsperspektiv är det därför inte lämpligt att ha flera övergångar mellan markkabel och luftledning på en och samma ledning.

Fel på markkablarna tar betydligt längre tid att återställa jämfört med en luftledning, då det både tar längre tid att lokalisera och reparera felet. Enklare fel på en kabelanläggning kan ta kortare tid än en vecka att åtgärda, men det kan även ta betydligt längre tid. Ju längre norrut i landet desto längre period med snö och tjäle vilket avsevärt försvårar felavhjälpningen.

Nordel (numera ENTSO-E) har årligen sedan lång tid sammanställt felstatistik för kraftledningar i Norden för ledningar 100–150 kV. Vid en jämförelse av felintensiteten, i form av bestående (permanenta) fel i ENTSO-E statistiken¹, framgår att felfrekvensen i Sverige för bestående fel varit 10–20 gånger högre för markkabelanläggningar jämfört med trädsäkra luftledningar. Det är rimligt att anta att motsvarande förhållande även gäller för trädsäkra luftledningar med spänningsnivåer under 100 kV. Den avsevärt högre felfrekvensen kombinerat med en väsentligt längre reparationstid för bestående fel på markförlagda ledningar jämfört med luftledningar, är orsaken till den markförlagda ledningens lägre driftsäkerhet.

För att kompensera för kabelanläggningens lägre driftsäkerhet kan flera kabelförband anläggas, så att ledningen kan vara i fortsatt drift även om det blir driftavbrott på något kabelförband. Reservförband/en behöver placeras på tillräckligt stort avstånd så att inte alla förband riskerar att skadas samtidigt vid en körskada eller schaktskada.

¹ ENTSO-E, 2017. Nordic and Baltic grid disturbance statistics 2015, ENTSO-E, 2017. Nordic and Baltic grid disturbance statistics 2016, ENTSO-E, 2018. Nordic and Baltic grid disturbance statistics 2017, ENTSO-E, 2019. Nordic and Baltic grid disturbance statistics 2018, ENTSO-E, 2020. Nordic and Baltic grid disturbance statistics 2019.

1.3 Markbehov och miljöpåverkan

1.3.1 Luftledning

Som beskrivits ovan anläggs luftledningar i regionnätet med trädsäkra ledningsgator. I skogsmark innebär det avverkning av en cirka 35–40 meter bred skogsgata och i och med det förändring av naturmiljön. Framför allt innebär detta en negativ påverkan på skogsbruket i och med att brukbar mark tas i anspråk. I öppet landskap, såsom åkermarker och myrmarker, behövs ingen avverkning men väl schaktning i marken för att uppföra stolparna. Noggranna val behöver göras avseende stolparnas placering, konstruktion, höjd och material, då en avvägning görs mellan miljö, ekonomi och teknik.

Luftledningar kan dock medföra positiva konsekvenser för den biologiska mångfalden. Gamla tiders ängs- och hagmarker har minskat dramatiskt i Sverige under de senaste 100 åren. Den regelbundna röjningen av ledningsgatorna har i vissa fall varit tillräcklig för att bevara arter som trivs i det öppna landskapet. Att ledningsgator, liksom vägrenar, flygplatser och golfbanor (kallade infrastrukturens biotoper) främjar den biologiska mångfalden har uppmärksammats på senare tid². Fyra Natura 2000-områden har till och med upprättats i ledningsgator till följd av förekomst av den hotade väddnätfjärilen. Ledningsgator inom skogsmark bidrar även till bra betesytor för älg och rådjur då sly växer upp efter den återkommande röjningen samt till attraktiva brynmiljöer mellan skog och ledningsgata där flera fåglar och smådjur trivs.



Figur 3. Fotot ovan visar skogsgatan för en 130 kV ledning (bild från Vattenfall Eldistribution).

²Vattenfall Eldistribution, 2019. Artrika gräsmarker i Vattenfalls regionnät.

1.3.2 Markkabel

De främsta fördelarna med en markförlagd ledning är att den inte innebär någon visuell påverkan, ger ett lägre magnetfält samt ger ett mindre markintrång då ledningsgatan blir smalare. Tack vare det mindre markintrånget kan nya ledningar möjliggöras i tätbebyggda områden, där det inte finns utrymme för luftledningar.

Även för markförlagda ledningar behövs en röjd ledningsgata för att hålla ledningen åtkomlig i skogsmark och för att kablarna inte ska skadas av inväxande rötter. Det kan röra sig om en bredd på 6–8 meter. Under byggnationsfasen måste också en arbetsväg anläggas parallellt med schaktet och det behövs utrymme för uppschaktade massor, stenar, stubbar och rötter, vilket gör att intrånget blir betydligt större initialt. I skogsmark innebär det ett avverkat arbetsområde som är 15–20 meter brett. Om ledningen förläggs parallellt med en befintlig mindre väg krävs ett arbetsområde på 10–15 meter, då befintlig väg kan användas som arbetsväg.

En markförlagd ledning innebär schaktning av ett cirka 1,2 meter djupt och 2–3 meter brett kabelschakt längs hela sträckan. Plöjning som förläggningsmetod kan inte användas för regionnätskablar utan används bara för fibernät och elkablar inom lokalnätet med mindre kabelarea. Den omfattande schaktningen innebär större risk för påverkan på kulturlämningar och skyddsvärda kärlväxter. Vid ytligt berg krävs sprängning. Schaktning i mossar och kärr innebär körning på mark med dålig bärighet och risk för påverkan på hydrologin då kabelschaktet kan fungera som dränerande dike om inte åtgärd vidtas. Korsning av vattendrag innebär en påverkan på vattenmiljön om inte kostsam borring under vattendraget kan utföras.

Kabelförläggning inom öppen jordbruksmark innebär normalt schaktning i lösa jordlager. Vid schaktarbetena behöver dock jordmassorna separeras så att den övre matjorden kan återföras överst vid återfyllnad och inte beblandas med den djupare alven. Eventuella dräneringsrör i åkermarken kan skadas av schaktarbetet och behöver återställas i efterhand.

När kabelförläggning sker i skogsmark uppstår oftast behov av sprängning, oavsett om det rör sig om ett kuperat landskap eller inte. Att på förhand ta reda på omfattningen av sprängningsbehovet kräver omfattande markundersökningar. En annan teknisk svårighet är borring av kablar under större vägar och vattendrag.



Figur 4. Fotot ovan visar arbetsområdet vid förläggning av en 30 kV ledning med tre kabelförband. (Bild från Skellefteå Kraft Elnät)

1.4 Kostnader

Elnätsföretagens verksamhet är reglerad och övervakas av den statliga myndigheten Energimarknadsinspektionen (Ei). Enligt 3 kapitel 1 § ellagen ansvarar elnätsföretagen för att dess ledningsnät är säkert, tillförlitligt och effektivt. Ett mått på effektiviteten är hur många MW som kan överföras eller anslutas till en viss kostnad, samtidigt som samhällets krav på tillförlitlighet och säkerhet uppfylls. Eftersom företagen har en viss investeringsram behöver samhället få ut så mycket som möjligt för de investeringsmedel nätföretaget har att använda.

Ei granskar företagens kostnader och bestämmer utifrån dessa vilka intäkter de får ha, det vill säga hur mycket elnätsföretagen får ta betalt av sina kunder. I Ei:s normvärdeslista redovisas de kostnader, baserat på typ av konstruktion i elnätet, som elnätsföretagen har rätt att ta ut av nätkunderna, i form av nättariffer enligt gällande intäktsreglering.

Kostnaden för en markförlagd ledning är sammantaget normalt 4 till 5 gånger högre än för motsvarande luftledning. Den väsentligt högre kostnaden bekostas i slutändan av elnätsföretagets samlade kundkollektiv genom höjda nättariffer.

1.4.1 Luftledning

En luftledning kostar mer att underhålla än en markförlagd ledning i och med att det är en bredare skogsgata som behöver slyröjas och som dessutom behöver hållas trädsäker. En luftledning besiktigas även regelbundet. Oftast slyröjs skogsgatan var åttonde år. Farliga kanträd i skogsgatans sidoområde avverkas med ungefär samma regelbundenhet. Mellan röjningarna utförs en röjningsbesiktning. Därutöver sker även en teknisk driftbesiktning årligen med hjälp av helikopter och var åttonde år utförs en teknisk underhållsbesiktning från marken då linor, stag, stolpar och jordtag med mera kontrolleras. Kostnaden för själva slyröjningen och kanträdsavverkningen är den klart största posten. I EBR:s kostnadskatalog anges en km-kostnad för kanträdsavverkning och underhållsröjning. Om vi utgår från en livslängd på 40 år och ett röjningsintervall på åtta år, det vill säga fem röjningstillfällen blir kostnaden cirka 0,3 Mkr/km under en 40-årsperiod. Det ska jämföras med anläggningskostnaden som enligt EBR:s kostnadskatalog³ ligger på 1–2 Mkr/km beroende på spänningsnivå.

1.4.2 Markkabel

Både tillverkningskostnad och bygg- och anläggningskostnad är väsentligt högre för markförlagd ledning. Den väsentligt högre kostnaden är relaterad till högre materialåtgång och energiåtgång för kabel jämfört med luftledning. Den ökade materialåtgången beror dels på att grövre dimensioner krävs för ledaren i en markförlagd kabel, dels på att ledarna måste isoleras längs med hela ledningssträckningen.

Den grövre dimensioneringen beror på att en kabel som ligger i jorden får sämre kylning när den är i drift jämfört med en luftledning. För att undvika att temperaturen i ledaren blir för hög byggs en markförlagd kabel med en större ledarearea jämfört med en luftledning. Den grövre dimensioneringen medför att det går åt 2 till 4 gånger så mycket aluminium för en markförlagd ledning jämfört med en luftledning. Kabelns isolermaterial består av olika plaster vilket är ett material som normalt inte används för luftledningar. Ju högre spänningsnivå desto mer plast krävs för kabelns isolering.

³ EBR (ElnätsBranschensRiktlinjer) Kostnadskatalog 2021, Regionnät 36–145 kV – KLG 2:21.

Markförlagda ledningar följer dessutom ofta vägar och/eller schaktbara marker vilket gör att ledningssträckan blir längre. Det i sin tur innebär en ökad materialåtgång.

Ökad energiåtgång är kopplad dels till tillverkningsprocessen för de komponenter som används, dels till själva byggnationsarbetet. Energiåtgången i byggskedet är cirka fyra gånger större för en markförlagd ledning jämfört med motsvarande luftledning⁴.

Energiåtgången i byggskedet härrör från arbetsmaskinernas dieselförbrukning som är avsevärt högre vid byggnation av en markförlagd ledning jämfört med byggnation av en luftledning. Det beror på att ett kabelschakt måste grävas längs hela den markförlagda ledningens sträckningen jämfört med en luftledning där maskinanvändning i huvudsak begränsas till schaktning för stolpar samt stolpresning. Schaktarbetet innebär en stor mängd transporter av överblivna jordmassor och stenar i och med att schaktet delvis återfylls med kablarna och kringliggande kabelsand. Beroende på terräng kan även sprängmassor och stubbar behöva transporteras bort och omhändertas. Ett mer omfattande schaktarbete innebär samtidigt högre arbetskostnad.

⁴Norconsult AB, 2019. Ny 130 kV ledning Himmeta-Arboga-Kungsör, Materialåtgång och energianvändning.

2. Utmaningar med kabelförläggning inom regionnätet

2.1 Tekniska svårigheter

Kablar har en lägre impedans (elektriskt motstånd) jämfört med luftledning. Ledningar med lägre impedans drar åt sig mer effekt (minsta motståndets lag). Detta faktum medför flera tekniska utmaningar. Det rör sig om risk för förhöjda felströmmar, elkvalitetsproblem (i form av så kallade resonansfenomen och spänningstransienter) samt oönskade effektflöden i nätet. De tekniska svårigheterna ökar med ökad spänningsnivå.

Ju större andel kabel i nätet desto större blir denna problematik, vilket kräver allt kraftigare skyddsutrustning för att undvika att elnätets komponenter skadas. Även det kringliggande ledningsnätet påverkas och inte bara den del som markförläggs. Om de tekniska svårigheterna blir alltför stora kan nätet behöva byggas på ett annat sätt vilket normalt innebär att ytterligare ledningar behöver byggas.

Gemensamt för denna problematik är att det är mycket komplext att beräkna och följa upp de ökande riskerna då nätet hela tiden förändras genom olika ombyggnationer samt förändrade driftläggningar. För att minimera risken att dessa problem uppstår måste därför andelen kabel i nätet hållas nere.

2.2 Behov av kompensationsutrustning

Vid markförläggning kan det även krävas ytterligare utrustning i anslutande station/er för att kompensera för den produktion av reaktiv effekt som sker i kabel och som kan bli ett problem vid långa kabelledningar och höga spänningar. De reaktiva strömmarna ger dels upphov till spänningshöjning men reducerar också kraftledningarnas kapacitet att överföra nyttig effekt. Utrustning kan därför krävas för att hålla nere spänningen och för att minska onödiga transporter av reaktiv effekt.

3. När läggs markkabel inom regionnätet?

Mot bakgrund till vad som beskrivs ovan är det viktigt att användningen av kabeltekniken begränsas och prioriteras till där den är nödvändig. Inom storstadsmiljöer och tätbebyggda områden behöver ledningar ofta markförläggas även på de högsta spänningsnivåerna på grund av att tillräckligt markutrymme saknas. Många gånger är det en utmaning att hitta markutrymme även för en markförlagd ledning. Det är av stor vikt att utrymme för nödvändig infrastruktur (befintlig och framtida) beaktas vid översiktsplanering och detaljplanering.

Ibland bedöms det som tekniskt och samhällsekonomiskt rimligt att markförlägga ledningar på de lägre spänningsnivåerna (30–40 kV). Det rör sig om kortare ledningar i områden med bra markförhållanden.

Anslutning av vindkraftsparker sker ibland med markkablar om det är lägre spänningsnivåer, såsom 30–40 kV, och bra markförhållanden. Dessa ledningar skiljer sig mot de ledningar som levererar el till slutkund. Vindkraftsledningar är rena produktionsledningar utan anslutna kunder. Det förekommer även att befintliga regionnätsledningar markförläggs för att ge utrymme för exploatering av exempelvis bostäder, industri eller handel. Det förutsätter dock att kabelförläggningen bedöms kunna utföras ur ett systemtekniskt perspektiv. Ovanstående två undantag bekostas normalt av exploitören och belastar inte kundkollektivet.



Figur 5. Kabelförläggning med tre kabelförband i Stockholm (bild från Energiföretagen).

4. Det är skillnad på regionnät och lokalnät

Lokalnätet (låg- och mellanspänningsledningar) är i större utsträckning byggt nära bostadsbebyggelse och det är totalt sett betydligt längre än övrigt nät. Av dessa skäl har lokalnätet till skillnad från region- och transmissionsnätet inte byggts träsäkert, se figur 6. Till skillnad mot regionnätet markförläggs lokalnätet i hög grad för att undvika problematiken med stormfälda träd.



Figur 6. En icke träsäker ledningsgata inom lokalnätet (Bild från Skellefteå Kraft Elnät).



Figur 7. En träsäker ledningsgata inom regionnätet (Bild från Ellevio).



Figur 8. Kabelförläggning av en lokalnätsledning (Bild av Skellefteå Kraft Elnät).

På de lägre spänningsnivåerna fungerar kabeltekniken oftast väl så länge ledningarna inte är allt för långa. Det är mindre kostsamt och mindre komplex anläggningstekniskt att markförlägga låg- och mellanspänningsledningar än grövre regionnätskablar. Inom lokalnätet har i och med detta nära 41 000 mil markförlagts jämfört med cirka 150 mil inom regionnätet. Det motsvarar cirka 77 procent av lokalnätet jämfört med cirka 5 procent av regionnätet.

Konsekvenserna av ett avbrott på en lokalnätsledning blir betydligt mindre än för en regionnätsledning i och med att den endast förser en begränsad mängd hushåll med elektricitet. En markförläggning av en icke träsäker lokalnätsledning höjer ledningens driftsäkerhet medan en träsäker regionnätsledning får en sämre driftsäkerhet då den markförläggs.

5. Slutord

Det finns en stark politisk vilja både nationellt och internationellt att minska koldioxidutsläppen. EU har satt upp som mål att uppnå klimatneutralitet till år 2050 och Sverige har som mål att inte ha några nettoutsläpp senast 2045.

För att nå klimatmålen behövs både en ökad elektrifiering av såväl transportsektorn som industrin och en ökad andel förnybar elproduktion. En kraftig⁵ elnätsutbyggnad kommer behövas för att åstadkomma detta. En trygg elförsörjning är en förutsättning för såväl regional utveckling som omställningen till ett fossiloberoende samhälle.

Kabeltekniken behövs. Vi använder den med fördel på många platser inom lokalnätet och likaså på platser där det inte finns utrymme för luftledning inom regionnätet. Tack vare kabeltekniken kan strömmen nå fram även i mycket tätbebyggda områden som kan fortsätta att utvecklas.

Med tanke på de tekniska utmaningar med kabeltekniken som lyfts i detta dokument och med tanke på att vi behöver genomföra en samhällsekonomiskt effektiv energiomställning måste vi dock ur ett tekniskt hänseende hålla ner mängden kabel i vårt regionnät. Användningen av kabeltekniken behöver prioriteras där den verkligen behövs och gör störst nytta.

⁵ Källa: Affärsverket svenska kraftnät, Ellevio AB, E.ON Energidistribution AB, Jämtkraft AB, Skellefteå Kraft Elnät AB och Vattenfall Eldistribution AB, 2021: Förslag till åtgärder för att säkerställa utbyggnaden av Elnätet. Skrivelse till Regeringen 2021-01-29.

