

## 1 TEKNIKVAL MELLAN LUFTLEDNING OCH MARKKABEL

Den nya ledningen planeras som luftledning. Anledning till att luftledning förordas i detta projekt är förutom det som beskrivs nedan, kraven på hög leveranssäkerhet (kortare avbrottstider och lättare felavhjälpning), påverkan på natur- och kulturmiljöintressen, markpåverkan samt markanvändning.

Användandet av kabel innebär mindre flexibilitet i val av sträckning, irreversibla skador på bl.a. natur- och kulturmiljöintressen samt längre avbrottstider med försämrade leveranssäkerhet som följd.

### 1.1 Vattenfall Eldistributions ställningstagande gällande teknikval

Luftledning är den teknik som Vattenfall Eldistribution AB generellt förordar på spänningsnivåer 130 kV eller högre då det är den tekniska lösning som ger ett säkert, tillförlitligt och effektivt elnät till lägsta kostnad för våra kunder. De huvudsakliga skälen till att luftledning förordas är i korthet:

- Enligt ellagen ska nätägaren ansvara för att dess ledningsnät är säkert, tillförlitligt och effektivt och för att det på lång sikt kan uppfylla rimliga krav på överföring av el. Begreppen i ellagen understöder ställningstagandet att generellt förorda luftledning som teknisk lösning i 130kV-nätet.
- De tekniska problemen med att i stor omfattning förlägga markkabel i 130kV-nätet skulle bli mycket svårhanterliga och leda till minskad driftsäkerhet. Som exempel kan nämnas risk för resonansfenomen och spänningstransienter, ökat antal felkällor med långa reparationstider, oönskade effektlöden i nätet och mindre möjligheter till maskad driftläggning med momentan reserv för anslutna kunder.
- Luftledning är generellt sett ett betydligt mer kostnadseffektivt alternativ jämfört med markkabel. Samhället får ut totalt sett mycket mer kundnytta för varje investerad krona i 130kV-nätet om luftledning används istället för markkabel. Därmed kan fler samhällsbehov tillgodoses med luftledningar jämfört med markkabel. Detta är i linje med Vattenfall Eldistributions uppdrag om att tillhandahålla ett effektivt elnät.
- Kabel kan utifrån ovan beskrivna anledningar endast förordas på korta sträckor där luftledning inte är möjligt p.g.a. brist på fysiskt utrymme, t.ex. i radiella stadsnät. Som försiktighetsprincip och för att leva upp till likabehandling av markägare och övriga berörda intressenter, kan kabel därför bara förordas där fysiskt utrymme för luftledning saknas.

Vattenfall Eldistributions ställningstagande gällande teknikval för spänningsnivå 130 kV eller högre innebär att luftledning generellt ska förordas i ansökningar om nätkoncession för linje. Detta gäller för alla typer av ärenden: nya ledningar avsedda att ansluta kunder, förstärkningar och reinvesteringar i befintligt nät, samt flytt av befintliga ledningar som initierats av kunder eller andra intressenter. I följande avsnitt utvecklas skälen till ställningstagandet.

#### 1.1.1 Nätägarens roll och ansvar

Enligt 3 kap. 1 § i ellagen ansvarar ett företag som bedriver nätverksamhet för drift och underhåll och vid behov, utbyggnad av sitt ledningsnät och, i tillämpliga fall, anslutning till andra ledningsnät. Företaget svarar också för att dess ledningsnät är säkert, tillförlitligt och effektivt och för att det på lång sikt kan uppfylla rimliga krav på överföring av el. Hur nätägaren väljer att dimensionera sitt nät och väljer tekniska lösningar påverkar

direkt både personsäkerhet och tillförlitlighet. Ett relevant mått på effektiviteten är hur många MW som kan överföras eller anslutas till en viss kostnad. Nätföretaget får betalt för sina kostnader via tariffen. Det finns dock begränsningar av hur mycket ett nätföretag kan investera såsom exempelvis nätföretagets skuldsättning, nivån på tariffer som samhället accepterar, interna och externa resurser för projektering och byggnation av ledningar samt möjligheter att ta avbrott i elnätet för att koppla in nya delar (med bibehållen driftsäkerhet).

Givet att nätföretaget har en viss ram för investeringar behöver samhället få ut så mycket som möjligt av dessa medel. Samhället får ut totalt sett mycket mer nytta och driftsäkerhet för varje investerad krona på spänningsnivån 130 kV om luftledning används istället för markkabel. Nätföretaget kan därmed tillgodose fler samhällsbehov med luftledning jämfört med markkabel. Ett effektivt elnät är säkert, tillförlitligt, har låga förluster och erbjuder hög kapacitet vid varje ny investering. Nätägaren behöver beakta alla dessa aspekter för att leva upp till sin roll.

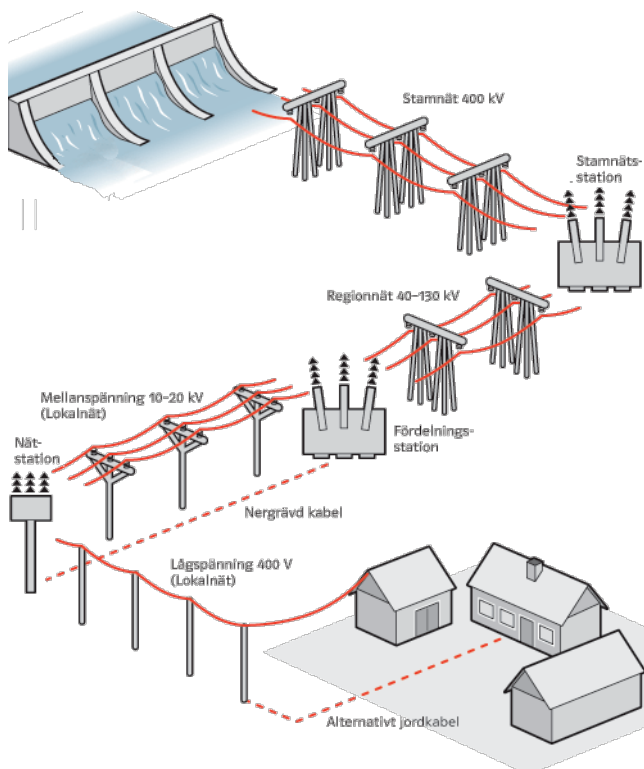
Den som har nätkoncession för linje är skyldig att på skäliga villkor ansluta en elektrisk anläggning till ledningen och anslutningen ska normalt fullgöras inom två år från att en begäran om anslutning mottagits. Detta är ett utmanande krav för nätägaren. När en elektrisk anläggning ska anslutas innebär det ofta att elnätet måste förstärkas. I praktiken är alltså nätägaren enligt lag skyldig att uppföra även de ledningar som *möjliggör* anslutningen. Nya ledningar byggs antingen för att det finns en kund som vill anslutas och enligt lag har rätt till det, eller för att tillgodose de samlade kundernas behov av el (dvs samhällets behov). Sådana behov är exempelvis nya bostadsområden eller ny infrastruktur såsom tunnelbana och laddstationer för elbilar. Elnäten är den mest samhällskritiska infrastrukturen vi har och det är avgörande att det fungerar väl.

Nätföretagen är monopolverksamhet och regleras därmed. Reglermyndigheten Energimarknadsinspektionen övervakar nätägare. Det är alltid kunderna som betalar för de investeringar nätägare gör i sitt nät. Om nyttan av investeringen enbart tillfaller en ny kund är det den kunden som betalar hela investeringen med en så kallad anslutningsavgift. Om nyttan delvis tillfaller en ny kund och till resterande del är till nytta för befintliga kunder delas anslutningsavgiften. En del betalas då av den nya kunden och resten av kostnaden fördelas på nätägarens kundkollektiv via tariffen. Nyttan av nätförstärkningar och reinvesteringar som inte orsakas av enskilda kunder kommer kundkollektivet till godo och betalas därför i sin helhet via tariffen.

Den som har nätkoncession är skyldig att på skäliga villkor överföra el för annans räkning. Överföringen av el skall vara av god kvalitet. En nätkoncessionshavare är skyldig att avhjälpa brister hos överföringen, i den utsträckning kostnaderna är rimliga i förhållande till de olägenheter för elanvändarna som är förknippade med bristerna. Det finns mått som anger vad som är tillräcklig elkvalitet. Att avhjälpa brister innebär ofta kostsamma åtgärder i anläggningarna. Det ingår således i nätägarens uppdrag att upprätthålla kvaliteten och genomföra nödvändiga investeringar för detta. En nätkoncessionshavare är skyldig att se till att avbrott i överföringen av el till en elanvändare aldrig överstiger tjugofyra timmar. Detta är ett lagkrav medan Energimarknadsinspektionens föreskrift föreskriver högre krav relativt uttagseffektens storlek. Detta krav dimensionerar den nivå på driftsäkerhet en nätägare behöver upprätthålla och har därmed stor inverkan på hur nätägaren tekniskt utformar elnätets anläggningar.

## 1.2 Elnätets utformning samt driftsäkerhet

Det svenska elsystemet brukar indelas i lokalnät, regionnät och stamnät. Lokalnätet (vanligtvis 0,4–22 kV) ligger närmast hushållen och de flesta företag med måttlig effektnivå. Regionnätet (vanligtvis 40–130 kV) fördelar effekten från stamnätet ut till landets regioner där det matar antingen det underliggande lokalnätet alternativt kunder med stora effektbehov såsom tyngre industrier, se Figur 1. Det nationella stamnätet (220–400 kV) fördelar ut effekten i landet från de stora kraftstationerna samt förbinder Sveriges elnät med våra grannländer.



Figur 1 Det svenska elsystemet. Källa: Energiföretagen.se, Grafik /Visualize that..

För att ett elnät ska vara tillförlitligt behöver det hålla en viss nivå av driftsäkerhet. Nätägare har ett långtgående ansvar att säkerställa att avbrott inte uppstår och att de åtgärdas snarast. Stam- och regionnäten i Sverige och på de flesta håll i världen dimensioneras enligt det så kallade N-1 kriteriet. Det innebär att elsystemet ska klara att tappa en godtycklig komponent, exempelvis en ledning eller en transformator, utan att det blir avbrott i elnätet.

Regionnätet byggs normalt som trädsäkra luftledningarna då det är den konstruktion som ger högst driftsäkerhet och lägsta kostnader på aktuell spänningsnivå. En trädsäker regionnätsledning byggs i en ledningsgata som är tillräckligt bred, normalt ca 40 m, så att inget träd intill luftledningen kan falla på den och orsaka avbrott. Endast 1,8 % av regionnätet utgörs av kabel. Dessa regionnätsskablar återfinns främst i tätbebyggd miljö där fysiskt utrymme för luftledningarna saknas.

### 1.3 Markförläggning av lokalnät

Eftersom lokalnätet är många gånger längre än regionnätet, samt i större utsträckning är byggt närmare bostadsbebyggelse är det inte rimligt att hålla det elnätet trädsäkert då det skulle innebära att stora markytor skulle undantas från ett aktivt skogsbruk. Skillnaderna mellan trädsäkra och icke trädsäkra luftledningarna ur ett driftsäkerhetsperspektiv kan exemplifieras med stormen Alfrida. Inget avbrott uppstod då på Vattenfall Eldistributions trädsäkra regionnät medan stora delar av det icke trädsäkra lokalnätet slogs ut. Om det hade varit möjligt att ha ett trädsäkert lokalnät så hade inte den omfattande kablifiering som skett på grund av ellagens krav blivit av. Markförläggning av lokalnätsskablar är också betydligt enklare anläggningstekniskt då dessa är mycket mindre än regionnätsskablar vilket medför mindre miljöpåverkan vid förläggningen.

Ser man på elnäten nedifrån lågspänning så är delen närmast kund alltid radiell (trädstruktur). Vid ett fel innebär detta att kunden blir spänningslös tills felet reparerats eller omkoppling (som ofta sker automatiskt) har skett. Högre upp i kedjan på regionnätet finns det andra matningsvägar som kan inkopplas snabbt vid ett fel på en ledning i nätet. Ett sådant nät är maskat vilket innebär att det har en nätstruktur liknande ett spindelnät med flera möjliga matningsvägar till varje station. Antalet alternativa matningsvägar i region och

stamnät beror på hur mycket effekt som skall distribueras och huruvida det rör sig om markkablar eller luftledningar. Avgörande är konsekvensen vid ett fel i systemet. Energimarknadsinspektionen har krav på avbrotstider kopplade till effektstorlek (Eifs 2013:1).

Stora markkabelsystem över 100 kV förekommer normalt endast i städer och kännetecknas av att de drivs radiellt och normalt är dimensionerade enligt N-2 kriteriet. Det innebär att varje station i regel har tre matningsvägar, det vill säga att man kan klara två markkabelfel vilket ansetts vara en rimlig riskavvägning. Skulle ett avbrott ske så kan omkoppling ske automatiskt varför det i bästa fall enbart blir en kort blink hos kunderna. Att markkabelsystemen drivs radiellt beror delvis på behovet att hålla nere felströmmar eftersom markkablar har betydligt lägre impedans än luftledningar. Men om kabelsystemet skulle drivas maskat finns även risk för överbelastning vid normal drift, eftersom elledningar med lägst impedans tar på sig mest ström. Den totala sträckan elledningar blir i de flesta fall längre om ett radiellt kabelsystem byggs.

Att kablifiera delsträckor ute i ett befintligt maskat luftledningssystem innebär helt andra påfrestningar på markkabel och kabelskarvar. Luftledningar utsätts regelbundet för störningar på grund av åska men är mycket tåliga för de överspänningar och strömmar som uppstår. Eftersom elsystemet är maskat så kommer alla elledningar utsättas för mer eller mindre höga strömmar och spänningar, vilket kommer öka risken för markkabelfel markant om man kablifierar delsträckor.

Moderna markkablar har idag enligt tillverkarna en hög tillgänglighet om man ser till själva kabeln. Det är ofta skarvar som är problemet. Antalet skarvar beror på längden och storleken på kabeltrummor (för 130 kV 1-fas markkabel beroende på area normalt ca 500 – 800 meter/trumma). Vid längre markkablar krävs kompensation för den reaktiva effekt markkablarna genererar (se 4.5.4 nedan). Ju fler komponenter som byggs in i ett elnät, desto fler potentiella felkällor finns det. Varje skarv och varje station som byggs blir en ny potentiell felkälla. Därmed försämras driftsäkerheten totalt sett ju fler markkablar som kommer in i systemet. Av detta följer även att driftsäkerheten på en markförlagd ledning försämras ju längre den är eftersom antalet skarvar ökar. Ju högre spänning desto mer komplicerade skarvar. I stadsmiljö utsätts markkablar även för yttre störningar (exempelvis grävmaskiner) och sättningar i marken på grund av arbeten i närheten av markkabeln, vilket då blivit en stor felkälla.

De europeiska stamnätsoperatörernas samarbetsorgan, Entso-e, publicerar statistik över avbrott och fel på komponenter och luftledningar/markkablar. Denna statistik sträcker sig för Sveriges del ned till och med 130 kV och bygger på uppgifter från de större regionnätsföretagen. Det normala är att man anger de senaste årets utfall samt medelvärden för längre perioder (10 år) bakåt. Underlaget för uppgifterna nedan baseras på 2018 års utgåva<sup>1</sup> och avser statistik för svenska 130 kV ledningar under perioden 2008-2017.

De övergående felen på grund av åska i luftledningsnät är vanliga på de högsta spänningsnivåerna, för 130 kV luftledningar ungefär 0,8 fel/100km och år. Ett kortvarigt bortfall av en elledning innebär att effekten fördelas över på andra ledningar. Skulle felet vara kvarstående, för 130 kV ca 0,06 fel/100 km och år, kan man räkna med att ledningen är åter inom 24 h. När det gäller markkablar så stiger felintensiteten med spänningen eftersom majoriteten av felen är kopplade till isolationen, förutom yttre påverkan. I statistiken anges för 130 kV markkablar totalt 1.6 fel/100 km o år varav 1.0 fel/100 km o år är kvarstående. Detta är inte det samma som att 0.6 fel/100 km o år är övergående på samma sätt som för luftledningar där man för det mesta har automatisk återinkoppling: För markkabel görs alltid en undersökning/bedömning innan man vågar spänningssätta efter att den fränkopplats automatiskt.

Sammanfattningsvis kan konstateras att en markkabel på 130 kV-nivå har ca 15 gånger sämre tillförlitlighet än en 130 kV luftledning. När ett fel uppstår på en markkabel är reparationstiden avsevärt längre jämfört med fel på luftledning som kräver reparation. Felsökning av kabel tar längre tid då kabeln är dold till skillnad från en luftledning. När ett kabelfel har lokaliserats måste dessutom kabeln friläggas innan reparationen kan påbörjas.

<sup>1</sup> European Network of Transmission System Operators for Electricity (Entso-e), 2018. Nordic and Baltic Grid Disturbance Statistics 2017 – Regional Group Nordic

Själva reparationsarbetet är dessutom betydligt mer tekniskt komplicerat och tidskrävande jämfört med reparation av en luftledning som normalt går snabbare än 24 timmar. Den typiska tiden för att återställa en markkabel i normal drift är 2-7 dagar, under denna tid är det inte möjligt att använda ljusbågsugnen.

Markkabelns 15 gånger sämre tillförlitlighet (sannolikhet för fel) jämfört med luftledning tillsammans med markkabelns flera gånger längre reparationstid medför att sannolikheten för att en luftledning är tillgänglig (i drift) är i storleksordningen 50-100 gånger större. Den betydligt lägre tillgängligheten för en markkabel innebär att man inte kan bortse från att ytterligare ett fel inträffar under den tiden kabeln repareras. I rena markkabelsystem är därför praxis hos de allra flesta nätföretag att man dimensionerar elsystemet enligt N-2 kriteriet. Det innebär att alla viktiga stationer har tre matningar och att man skall klara bortfall av två förbindelser och ändå (eventuellt efter en viss omkopplingstid) kunna upprätthålla elförsörjningen.

Som redan konstaterats är huvuddelen av luftledningsfelen övergående. Skulle felet vara kvarstående så kan man räkna med att ledningen är åter inom 24 h och sannolikheten för att ett nytt kvarstående fel uppstår under denna tid kan anses försumbar. Därför dimensioneras luftledningsnäten enligt N-1 kriteriet: Ett bortfall av varje enskild komponent, en i taget, skall klaras.

## 1.4 Teknik

Växelström är det effektivaste sättet att överföra el och är idag en etablerad internationell standard. Ju högre spänningsnivå som används för överföring av el desto lägre blir förlusterna. En hög spänningsnivå är alltså både effektivt och miljövänligt. Med hög spänning kan större mängder el transporteras på ledningen, samtidigt som överföringsförlusterna procentuellt blir lägre. Används lägre spänning behövs fler ledningar för att uppnå samma kapacitet. När större effekter ska överföras på regionnätet använder vi spänningen 130 kV.

Med ett säkert elnät avses både person- och driftsäkerhet. När det gäller direktjordade elsystem (i Sverige från och med 130 kV och högre) är ledningsägaren skyldig att skydda omgivningen från de spänningssättningar som sker vid jordfel. Elsäkerhetsverkets föreskrifter ställer krav på hur hög spänningssättning man får ha i jordtag<sup>2</sup>. Till följd av markkablarnas lägre impedans (elektriska motstånd) blir felströmmarna höga i nät med mycket kabel. Höga felströmmar är mycket svåra att hantera: de kräver dyr utrustning i stationerna och när de blir extremt höga, att elnätet byggs om. Ombyggnaden sker då i regel på ett sätt som innebär att ännu fler ledningar behöver byggas.

Komponenter som ingår i elnätet dimensioneras för att tåla en viss jordfelsström. För man in markkabel i en del av elnätet påverkas ett större område. Det är alltså inte bara komponenter i närliggande stationer som berörs, utan både ledningar och stationer längre bort kan påverkas. Beroende på omfattningen kan detta leda till betydande kostnader. I elnät där markkabel införs ökar jordfelsströmmarna, i synnerhet om näten maskas. På grund av de höga felströmmarna kan nätägaren för det mesta inte driva rena markkabelsystem maskade. De drivs istället radiellt, ofta med automatisk omkoppling vid fel. Till viss del kan åtgärder mot höga jordfelsströmmar göras i stationerna, men i slutändan måste utrustning bytas ut till en högre dimensioneringsklass. Kostnaderna för dessa åtgärder kan bli betydande och är direkt kopplade till jordfelsströmmens storlek. Vid de felströmmar som skulle uppstå vid 100% markkabel och maskat nät i t.ex. storstadsområden blir det svårt att överhuvudtaget få fram kabel och utrustning som klarar felströmsnivåerna. Om Vattenfall Eldistribution enbart skulle använda markkabel när nya ledningar byggs eller gamla förnyas, skulle extremt höga felströmsnivåer nås mycket snabbt i hela nätet. Detta gäller även utanför storstäderna.

I ett luftledningssystem dämpas storleken på felströmmen kraftigt och är som högst i matande stationer för att sjunka till runt en 1/10 långt ut i elnätet. Ersätts en luftledning ute i det maskade elnätet med markkabel så blir dämpningen betydligt sämre, speciellt för jordfelsströmmar. En typisk åtgärd för att klara föreskrifterna är att behöva installera så kallade isolertransformatorer i mellanspänningsnäten. Idag sker detta i huvudsak i

<sup>2</sup> European Network of Transmission System Operators for Electricity (Entso-e), 2018. Nordic and Baltic Grid Disturbance Statistics 2017 – Regional Group Nordic

närheten av stamstationer. Även stationerna har krav på sig utifrån de jordfelsströmmar som kan uppstå, så kallad spänningssättande ström. Här finns en personsäkerhetsaspekt: vid för höga spänningssättande jordfelsströmmar kan personer, husdjur och egendom utsättas för fara. Eftersom näten förändras över tid behöver nätägaren ha löpande kontroll på spänningssättande jordfelsströmmar. Det är dock oerhört komplext att följa upp och utvärdera spänningssättande jordfelsströmmar i takt med att elnätet förändras. Därför behöver nätägare generellt hålla nere felströmmarna.

Den lägre impedansen hos markkablarna innebär också en snedfördelning av effektflödena mellan olika ledningar i elnätet eftersom elledningen med lägre impedans drar på sig mer effekt (minsta motståndets lag). Strömmen går den vägen där det är lättast att komma fram. När enstaka elledningar bestående av markkabel förs in i ett elnät som i huvudsak består av luftledningar, innebär det i regel att kabeln drar på sig mest effekt. Den blir då ofta dimensionerande för kapaciteten i området den matar. Vid fel på en elledning ska dess effekt omfördelas till de andra ledningarna i elnätet. Vid fel på markkabeln kan omkringliggande luftledningar bli överlastade och vid fel på någon av luftledningarna kan kabeln överlastas. Ofta behöver man bygga flera elledningar för att kunna hantera omfördelning av flöden vid införande av markkabelledningar i luftledningsnät.

Markkablarna på högre spänningsnivåer som 130 kV producerar en ansevärd mängd så kallad reaktiv effekt. Orsaken är att det snabbt uppstår stora fasförskjutningar mellan ström och spänning längs ledningssträckan. Det innebär att stora mängder av den el som matas in inte kan användas redan efter korta sträckor. För att korrigera fasförskjutningen måste man kompensera med shuntreaktorer. Normalt går dessa att placera i ledningens anslutande stationer.

Ju fler markkablarna desto större blir risken för elkvalitetsproblem i form av elektriska resonansfenomen och transienta överspänningar. Elnätet har en så kallad egenfrekvens där elnätets ingående kapacitanser och induktanser orsakar en elektrisk svängningskrets. Ju fler markkablarna som införs desto närmare kommer man elnätets egenfrekvens med risk för att det uppstår stora oscillationer i spänning och ström. Fenomenen kan orsaka höga spänningar och uppvärmning som kan skada utrustning i elnätet så som krafttransformatorer, markkabelskarvar mm. och även skada kunders anläggningar. Kortfattat innebär problematiken att markkablars elektriska egenskaper är sådana att de kan bidra till skadliga spänningshöjningar i elnätet, med en potentiell driftstörning som följd. Resonansproblemet är mer utmanande för högre än för lägre spänningsnivåer. Det yttrar sig konkret i att det antal kilometer markkabel som kan installeras innan en påtaglig risk uppstår är mindre för höga systemspänningar än för låga. Det är oerhört komplext och utmanande att bedöma risken för resonansproblem. Speciellt som riskområdet förändras vid olika driftläggningar och när elnätet förändras. Därför behöver nätföretagen hålla sig på ett säkert avstånd från riskområdet. Det gör man genom att begränsa mängden markkablarna på höga spänningsnivåer.

Luftledningar kan beroende på omgivningstemperatur överlastas betydligt mer i reservdrift än markkabel, vilket man också måste ta hänsyn till när man jämför luftledning och markkabel. Skillnader i temperatur och möjligheter till avkylning mellan de båda teknikerna är orsaken till att en markförlagd ledare kräver en grovre dimensionering jämfört med en luftledning.

Ibland nämns likströmstekniken (DC) som en lösning för att undvika byggnation av luftledningar. Växelströmstekniken (AC) är dominerande inom elförsörjningen och i hela världen produceras, överförs och mottas elektricitet som växelström. Likströmstekniken har egenskaper som gör den användbar för att överföra el på långa avstånd, från en punkt till en annan. Den har också fördelen att den kan markförläggas, utan de tekniska begränsningar som växelström har. I dag används likström i förbindelser där syftet är att överföra el på långa avstånd mellan två punkter i ett kraftsystem, för att knyta ihop olika kraftsystem (till exempel två växelströmssystem som inte är synkrona med varandra) samt att möjliggöra överföring i sjökablarna på längre avstånd. Det gör att tekniken främst används i förbindelser mellan länder och för att ansluta vindkraft långt ut till havs. Att föra in en aktiv DC-komponent som behöver styras i ett självreglerande AC-system är komplext ur driftsynpunkt och kan leda till negativa konsekvenser för driftsäkerheten. För kortare sträckor på 130 kV-nivå är det dessutom inte ekonomiskt försvarbart att bygga likström. Bara omriktarstationerna som krävs i varje



ände av ledningen för omvandling av växelström till likström kostar i storleksordningen flera hundra miljoner kronor. Förlusterna är relativt höga, storleksordningen 1-2 %. Därtill kommer att flexibiliteten minskar. Det är i praktiken inte försvarbart att bryta upp en likströmsledning för att ansluta något på vägen. DC-projekt går inte att motivera ekonomiskt om det finns en AC-lösning. DC kan sannolikt aldrig konkurrera med AC om AC är tekniskt genomförbart.

Sammanfattningsvis är det ur teknisk synvinkel olämpligt att bygga större markkabelsystem, speciellt om de maskas. Enstaka markförlagda kablar kan accepteras men tekniken bör användas restriktivt, så att man verkligen "spar" den möjligheten till de ställen där det är helt omöjligt fysiskt att komma fram med luftledning.

Användandet av kabel i detta projekt innebär mindre flexibilitet i val av sträckning, irreversibla skador på bl.a. natur- och kulturmiljöintressen samt längre avbrottsstider med försämrad leveranssäkerhet och driftsäkerhet för ljusbågsugnen som följd.

## 1.5 Ekonomi

Luftledningar är generellt sett ett betydligt mer kostnadseffektivt alternativ jämfört med markkablar. För aktuell ledning beräknas kostnaden bli 1–1.4 miljarder kr för luftledningsalternativet och 2,1–4 miljarder kr för markkabelalternativet.

Eftersom investeringskostnaden är betydligt högre för markkabel jämfört med luftledning kan kablifiering aldrig motiveras av samhällsekonomiska skäl, om det är möjligt att komma fram med en luftledning. Merkostnaden för markkabel innebär högre nättariffer för kunder anslutna till regionnätet, vilket leder till högre elnätspriser för slutkunderna. Byggnation av markkabel istället för luftledning medför även att färre nätinvesteringar kan ske under samma tidsperiod då nätföretagen har en ram för investeringar. Därmed bromsas den ökade elektrifieringen av industri och samhällsviktiga funktioner vilket är en viktig del i hela energiomställningen.

## 1.6 Markkabel i elnätet

Med anledning av det hittills sagda är andelen markkabel i Vattenfall Eldistributions 130kV-nät låg, totalt endast 1,8% av sträckan (statistik från år 2019). Majoriteten av dessa kabelsträckningar har sitt ursprung i flyttprojekt där kund eller annan intressent (t.ex. kommuner) har bekostat markkabel för att komma åt marken till andra ändamål, samt nyanslutningar där den anslutande kunden bekostat kabel. Resterande andel av markkablarna består främst av sjökablar och kablar i storstadsmiljöer, alltså områden där luftledning inte varit ett genomförbart alternativ.

Det förekommer att tredje part kommer med önskemål om att kablifiera befintliga eller nya luftledningar. På 130 kV-nivå är förordat alternativ av ovan nämnda skäl alltid luftledning för nya ledningar. För befintliga ledningar är förordat alternativ alltid fortsatt luftledning. Dock behöver en bedömning göras från fall till fall om detta är rimligt. Grunden för bedömningen är att kundkollektivet som helhet inte ska drabbas av någon försämring avseende effektivitet, tillförlitlighet, personsäkerhet och driftsäkerhet. I bedömningen ska också investeringens prioritering gentemot andra investeringar ingå.

Det kan även förekomma att man kablifierar för att man inte kan invänta tillstånd för en luftledning. Det har skett i Sverige vid vindkraftsprojekt vars möjlighet till bidrag byggt på att anläggningen måste vara i drift före ett visst datum. Projektet har då betalat kostnaden.

Ett annat exempel på kablifiering av luftledningar är exemplet Stockholms Ström där man via kablifiering kan frilägga värdefull mark. Detta sker alltså på kommersiella villkor och enligt de tekniska krav som föreligger avseende redundans.

De ovan beskrivna exemplen, där markförläggning av 130 kV ledningar har accepterats då dessa finansierats av extern part, har genomförts eller initierats för ett antal år sedan. Kunskapen om de tekniska utmaningarna med en ökande andel kabel i 130 kV nätet har utvecklats successivt. En ökad restriktivitet gällande mark-

förläggning av 130 kV ledningar är en följd av denna kunskapsutveckling. I linje med Vattenfall Eldistributions

2020-11-02

2020-100900-0010



aktuella ställningstagande kommer bolaget framledes inte förorda markförläggning av befintliga luftledningar, eller att nya ledningar byggs som markkabel, om fysiskt utrymme finns för luftledning. Detta gäller oavsett om det aktuella ledningsprojektet finansieras av extern part eller av kundkollektivet via nättarifferna.

## 1.7 Intrång och miljöpåverkan

Den helt dominerande uppfattningen hos de markägare, närboende samt övriga intressenter som berörs av en planerad ny elledning är att den ska markförläggas. Att det är en allmän uppfattning hos de närmast berörda är fullt förståeligt då luftledningen medför en visuell påverkan samt även ett visst hinder i markanvändning till följd av stolpar och ledningsgata. Även en markförlagd ledning medför ett hinder i markanvändning men det berör ett mindre område och framförallt är den visuella påverkan mindre. En markförläggning av en regionnätsledning medför en mindre påverkan på de närmast berörda, på bekostnad av samhället i övrigt som får ta konsekvenserna av en högre kostnad och lägre driftsäkerhet som markförläggning av regionnätsledningar medför.

Eftersom Vattenfall Eldistribution verkar inom en reglerad monopolverksamhet har bolaget ett samhällsansvar vad gäller agerandet gentemot de markägare och övriga intressenter som berörs av bolagets elledningar. Av det följer att samma principer måste tillämpas över hela landet för teknikvalet luftledning/markkabel inom vissa typer av miljöer. Om Vattenfall väljer att bygga en markkabel istället för en luftledning i en viss miljö så måste de ekonomiska och tekniska konsekvenserna beaktas av att markkabel alltid väljs i den typen av miljö. Vattenfall måste alltid tillämpa denna helhetssyn på teknikvalet i tillståndsprocessen för nya elledningar eftersom prejudikat kring teknikvalet i olika miljöer successivt bildas i samband med domstolsprövning av Energimarknadsinspektionens koncessionsbeslut. Ur ett likabehandlingsperspektiv anser Vattenfall att det inte är rimligt att markförlägga vissa regionnätsledningar i sådana miljöer där fysiskt utrymme finns för luftledning. Om Vattenfall exempelvis väljer att markförlägga en elledning i ett öppet jordbrukslandskap för att tillgodose krav från omvärlden att minimera påverkan på landskapsbild och jordbruk, så måste konsekvenserna beaktas för bolagets hela elnät och hela kundkollektiv av att alltid markförlägga regionnätsledningarna i den aktuella miljön. I ett enstaka fall har en sådan åtgärd ingen större teknisk eller ekonomisk betydelse. Men när detta tillämpas som en policy så leder det till omfattande markförläggning av regionnätsledningar i hela landet vilket medför att alla kunder får bekosta åtgärder som ger sämre leverenskvalitet för alla och i förlängningen ett system som kanske inte ens går att driva på ett säkert sätt.

Utökning av överföringsförmåga för att möta framtida kapacitetsbehov, kan uppnås på flera olika vis på en luftledning. Det vanligaste är att byta ut faslinorna till linor med grövre ledningsarea, något som generellt kan göras utan större ingrepp i naturen. För att utöka överföringsförmågan på en markkabel krävs att en ny markkabel förläggs med grövre ledningsarea. Då krävs alltså ett ansenligt schaktarbete längs hela markkabelsträckan, vilket innebär en mycket omfattande och kostnadsdrivande insats.

Vid markförläggning av regionnätskablar krävs stora schakt (se Förläggning av markkabel i avsnitt 4.3.2) som vid passage av hållmarker innefattar sprängning och irreversibla markskador. Den omfattande schaktningen innebär större risk för påverkan på kulturlämningar och skyddsvärda kärlväxter. Schaktning i mossar och kärr innebär körning på mark med dålig bärighet och påverkan på hydrologin. Korsning av vattendrag innebär en påverkan på vattenmiljön om inte kostsam borring under vattendraget kan utföras. För en luftledning behövs endast schaktning på enstaka platser, vid stolpplaceringar. Dessa placeringar kan i viss mån anpassas efter markförhållanden för att minimera påverkan på marken. I bergig terräng kan stolparna förankras direkt i klippan utan behov sprängning.

Med avseende på åtkomst för reparation är det generellt olämpligt att förlägga markkabel i vägar. Alternativt behöver det finnas stora utrymmen där markkablar kan dras ut och skarvas. Likaså kommer markkabelförläggning i närhet av vägar att medföra avstängningar och trafikstörningar vid byggnation, underhåll och reparation.

# VATTENFALL

En luftledning kräver en väsentligt bredare skogsgata jämfört med en markförlagd ledning. Detta tillsammans med luftledningens stolpar och linor gör att en luftledning medför en visuell påverkan på landskapsbilden som undviks vid markförläggning av kabel. I ett öppet landskap är en luftledning mer synlig samtidigt som de fysiska ingreppen i miljön begränsas till stolpplaceringarna. En ledning i skogsmark kan däremot döljas av den kringliggande skogen samtidigt som en relativt stor skogsgata behöver avverkas och röjas regelbundet.

Luftledningens skogsgata kan medföra positiva konsekvenser för naturmiljön och den biologiska mångfalden. Gamla tiders ängs- och hagmarker har minskat dramatiskt i Sverige under de senaste 100 åren. Skötseln av ledningsgatorna påminner om bete och slåtter och på så vis har arter som trivs i det öppna landskapet bevarats. Att ledningsgator, liksom vägrenar, flygplatser och golfbanor främjar den biologiska mångfalden har börjat uppmärksammas på senare tid<sup>3</sup>. Dessa gräsmarker har visat sig vara viktiga gröna länkar i landskapet som binder ihop gräsmarksmiljöer. Bland de arter som trivs i ledningsgatorna finns flera relativt ovanliga växter, men även olika fjärilar och insekter trivs. Ledningsgator inom skogsmark bidrar även till bra betesytor för älg och rådjur då sly växer upp efter den återkommande röjningen.