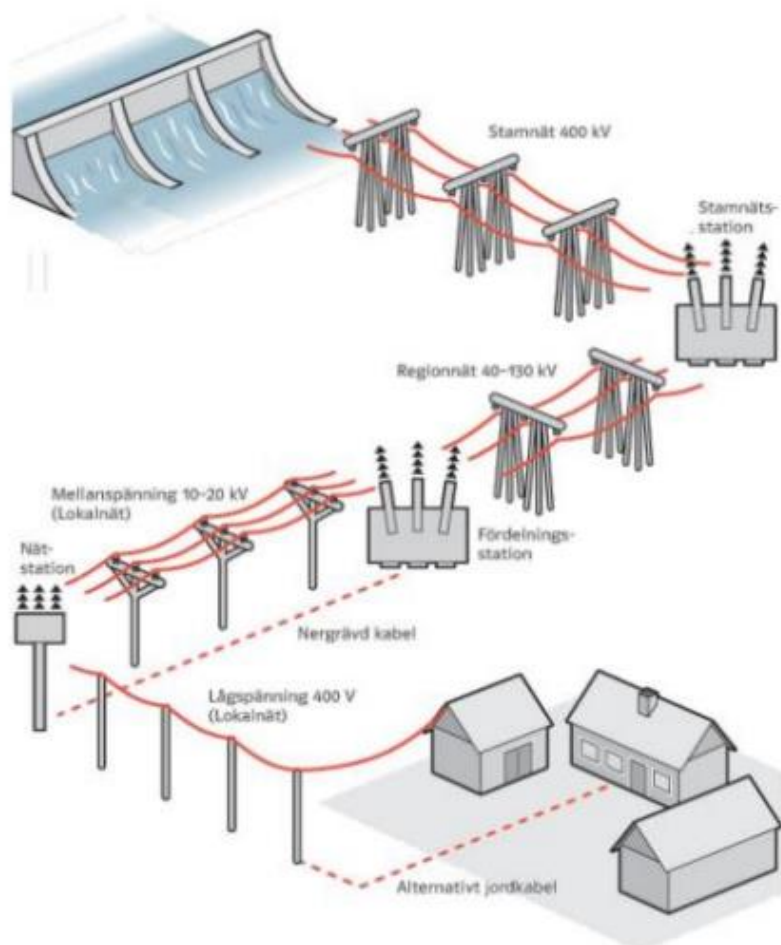


Bilaga 1. Teknikval luftledning/markkabel

1. Elnätets uppbyggnad

Elinfrastrukturen är en viktig del av kraftsystemet och är indelad i tre nivåer: transmissionsnät (stamnät), regionnät och lokalnät. Elnätet kan liknas med vägnätet, där stamnätet (220–400 kV spänning) utgör Europavägar, regionnätet (20–130 kV spänning) riksvägar och lokalnätet (0,4–20 kV) länsvägar och lokalgator, se figur 1. Elen transporteras över långa avstånd i stamnätet för att sedan ledas vidare i regionnätet för att till sist ledas in i lokalnätet. Till stamnätet ansluts den direkta energikällan, till exempel vattenkraft. Denna leds sedan vidare till en station som leder in elen i regionnätet för att transporteras närmare tätorter. Strax innan tätorter leds regionnätet in i en station för att ledas in i lokalnätet. I lokalnätet ansluts mindre industrier, hushåll och andra användare.



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

2. Luftledning i regionnätet, kabel i lokalnätet

För kraftledningar finns de tekniska konstruktionerna luftledning och markförlagd kabel. Inom region- och stamnätet är den helt dominerande konstruktionen trädsäker luftledning (se figur 2) medan markkabel används i stor omfattning inom lokalnätet (0,4–20 kV). I Vattenfall Eldistribution AB:s nät är andelen markkabel på 130 kV-nivån ca 2 % medan motsvarande siffra för lokalnätet är ca 70 %. Den stora skillnaden mellan andelen markförlagda regionnätetsledningar och lokalnätetsledningar förklaras av

vitt skilda tekniska och ekonomiska förutsättningar beträffande teknikvalet kabel/luftledning inom lokalnät respektive regionnät.

När en ny kraftledning planeras inom regionnätet så domineras samrådet ofta av krav på att den ska byggas som markförlagd kabel. Det är naturligt att så är fallet eftersom en markförlagd regionnätsledning tar mindre mark i anspråk och inte medför någon visuell påverkan jämfört med en trädsäker luftledning i en cirka 40 meter bred skogsgata. Eftersom markförläggning av befintliga luftledningar pågår i stor omfattning för lokalnätsledningar, med lägre spänningsnivå, är det fullt förståeligt att det finns en uppfattning att markförläggning av större regionnätsledningar kan ske i samma omfattning. Så är inte fallet utan de tekniska utmaningarna med markförläggning av kraftledningar ökar med stigande spänningsnivå.



Figur 2. Foto över trädsäker 130 kV luftledning i regionnätet till vänster samt ej trädsäker 20 kV luftledning i lokalnätet till höger.

2. Driftsäkerhet

Driftsäkerheten är en central faktor till varför markkabel måste begränsas i regionnätet samtidigt som det är ett bra alternativ till lokalnätets luftledningar som inte är trädsäkra och därför slås ut vid trädpåfall, se figur 2 ovan. Eftersom lokalnätet är många gånger längre än regionnätet (Sveriges hela lokalnät är cirka 53 000 mil medan regionnätet endast är cirka 3 200 mil¹), samt i större utsträckning är byggt närmare bostadsbebyggelse är det inte rimligt att hålla lokalnätet trädsäkert. Det skulle då krävas omfattande avverkning på tomtmark samt även att stora markytor skulle undantas från ett aktivt skogsbruk. Ur ett driftsäkerhetsperspektiv kan skillnaderna mellan trädsäkra och icke trädsäkra luftledningar exemplifieras med stormen Alfrida. Inget avbrott uppstod då på Vattenfall Eldistributions trädsäkra regionnät medan stora delar av det icke trädsäkra lokalnätet slogs ut.

De allra flesta fel som uppstår på en trädsäker luftledning inom regionnätet beror på åsknedslag. Dessa fel är övergående och kräver ingen reparationsinsats utan ledningen återgår i drift direkt efter avbrottet. Fel på en markkabel är dock alltid bestående (permanent) och kräver felsökning och reparation. Enligt aktuell statistik var det under perioden 2014–2023 ca elva gånger fler bestående fel på markförlagda 130 kV ledningar i Sverige jämfört med luftledningar på samma spänningsnivå². (0,53

¹ Energiföretagen Sverige, 2021: Regionnätets funktion och utformning

² ENTSO-E, 2024: HVAC Nordic and Baltic grid disturbance statistics 2023.

respektive 0,048 fel/100km). Om en trådsäker regionnätledning markförläggs minskar alltså den ledningens driftsäkerhet väsentligt. När en icke trådsäker lokalnätledning markförläggs ökar ledningens driftsäkerhet, eftersom den inte längre riskerar att slås ut när ett träd faller ner på ledningen.

Då ett fel uppstår på en 130 kV markkabel är reparationstiden avsevärt längre jämfört med den begränsade mängd luftledningsfel som kräver reparation. När ett kabelfel har lokaliserats måste kabeln friläggas innan reparationen kan påbörjas. Ett område runt kabeln, som ligger på cirka 1,2 meters djup, måste då snabbt grävas upp. Reparationsarbetet är betydligt mer tekniskt komplicerat och tidskrävande jämfört med reparation av en luftledning som normalt repareras på kortare tid än 24 timmar. Skarvning av 130 kV kablar är ett avancerat hantverk som måste utföras i fält i en varm, torr och dammfri miljö. När kabeln har frilagts måste därför ett tält etableras kring skarvplatsen varpå skarvningen genomförs av specialutbildad personal. Enklare fel på en kabelanläggning kan ta kortare tid än en vecka att åtgärda, men det kan även ta betydligt längre tid¹.

Eftersom det är cirka elva gånger högre risk för fel som kräver reparation på en markförlagd 130 kV ledning jämfört med en luftledning² och att reparationstiden på kabelfelen är flera gånger längre, så är sannolikheten för att en 130 kV luftledning är tillgänglig (i drift) i storleksordningen 50–100 gånger högre jämfört med motsvarande markförlagda ledning (jämförelsen förutsätter samma ledningslängd). När regionnätledningar markförläggs krävs det därför generellt fler ledningar i nätet som reservmatningar för att minimera riskerna för avbrott till kund. En ökad andel kabel driver därför på ytterligare utbyggnad av regionnätet. Ju mer kabel som förläggs i regionnätet desto fler kraftledningar behöver byggas.

3 Tekniska svårigheter med markförlagda regionnätledningar

Markkablar har en lägre impedans (elektriskt motstånd) jämfört med luftledningar. Ledningar med lägre impedans drar åt sig mer effekt (minsta motståndets lag). Detta faktum medför flera tekniska utmaningar. Det rör sig om oönskade effektlöden i nätet, risk för förhöjda felströmmar samt elkvalitetsproblem (i form av så kallade resonansfenomen och spänningstransienter)¹.

Lokalnät är uppbyggda så att delen närmast kund alltid är radiell (trädstruktur). Vid ett fel innebär detta att kunden får avbrott tills felet reparerats eller omkoppling (som ofta sker automatiskt) har skett. Inom regionnätet finns det andra matningsvägar som kan inkopplas snabbt vid ett fel på en ledning i nätet. Ett sådant nät är maskat (en nätstruktur liknande ett spindelnät) med flera möjliga matningsvägar till varje station.

När enstaka ledningar eller delar av ledningar markförläggs i det maskade regionnätet, som till största del består av luftledningar, påverkar det effektlöden i det omkringliggande nätet. Strömmen väljer den väg i nätet där det är lättast att komma fram. Eftersom kablar har lägre impedans kommer den nya markförlagda ledningen ta en större del av effektlödet från kringliggande luftledningar. När fel inträffar på en ledning i det maskade nätet måste ledningens effekt omfördelas till de andra ledningarna i nätet. Detta medför att när det blir fel på markkabeln kan omkringliggande luftledningar bli överbelastade och när det blir fel på någon av luftledningarna kan kabeln bli överbelastad. Ofta behöver man bygga flera elledningar för att kunna hantera omfördelning av flöden vid införande av markkabelledningar i maskade luftledningsnät.

De tekniska svårigheterna med markförlagda ledningar kopplade till förhöjda felströmmar och elkvalitetsproblem ökar med ökad spänningsnivå, vilket innebär att kablifiering på regionnätet medför större risker jämfört med på lokalnätet. Ju större andel kabel i nätet desto större blir denna problematik. 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 byggas¹. Gemensamt för denna problematik är att det är mycket komplext att beräkna och följa upp de ökande riskerna då nätet hela tiden förändras genom förändrade driftläggningar och olika ombyggnationer. För att minimera risken att dessa problem uppstår måste därför andelen kabel i nätet hållas nere.

Studier av effekterna av omfattande markförläggning av kraftledningar på elkvalitet har bland annat gjorts i Danmark där ett politiskt beslut togs i Folketinget 2008 om en handlingsplan som syftade till kablifiering av stora delar av elnätet. Erfarenheter från Danmark visar att även relativt korta kablar kan ha negativ påverkan på elkvaliteten i ett stort geografiskt område. Det har konstaterats att kablifiering av stora delar av transmissionsnätet kan innebära en betydande risk för både befintliga och nya anläggningar i Danmark och att en stor mängd kabel i ett visst område begränsar mängden kabel som kan anslutas på andra platser i nätet³. Även underliggande nät med lägre spänningsnivåer i Danmark har drabbats av elkvalitetsproblem till följd av markförläggning av transmissionsnätets ledningar. Likaså påverkar kablifiering i regionnäten även förhållandena i transmissionsnätet³. Den danska kabelhandlingsplanen reviderades genom ett ändringsbeslut 2016 som innebar att omfattningen av den planerade markförläggningen av ledningsnätet reducerades väsentligt.

4 Elnätet måste vara säkert, tillförlitligt och effektivt

Enligt 3 kap. 1 § i ellagen ansvarar ett företag som bedriver nätverksamhet (nätföretag) för drift och underhåll och vid behov, utbyggnad av sitt ledningsnät och, i tillämpliga fall, anslutning till andra ledningsnät. Nätföretaget 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. Ett relevant mått på nätets effektivitet är hur många MW som kan överföras eller anslutas till en viss kostnad samtidigt som nätets tillförlitlighet och säkerhet är så hög som möjligt. Nätföretaget får betalt för sina kostnader via den avgift som tas ut av nätägare från alla anslutna kunder (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 planering, 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. Totalt sett får samhället ut mycket mer nytta och driftsäkerhet för varje investerad krona på spänningsnivån 130 kV om luftledning används istället för markkabel då kostnaden för en markkabel normalt är cirka 4–5 gånger högre än en luftledning¹. 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. Elnäten är den mest samhällskritiska infrastrukturen vi har och det är avgörande att det fungerar väl.

Nätföretagen bedriver en 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.

³ Lennerhag, O. 2020: Konsekvenser av kablifiering i stamnätet -Elkvalitet, temporära överspänningar och interaktion. Independent Insulation Group Sweden AB. Rapport R20-1218-01.

Den som har nätkoncession är skyldig att på skäligen villkor överföra el för annans räkning. Överföringen av el skall vara av god kvalitet. En nätkoncessionshavare är skyldig att avhjälpa brister i överföringen, i den utsträckning kostnaderna är rimliga i förhållande till de olägenheter för elanvändarna som är förknippade med bristerna. Avbrott i överföringen av el till en elanvändare får inte överstiga tjugofyra timmar.

5 Helhetsperspektiv vid teknikvalet

Sveriges elnät är ett enda sammankopplat system där alla delar hänger ihop och påverkar varandra. Många aspekter måste vägas in vid valet av teknik i de olika delarna av elnätet. För att nätägaren ska uppfylla kraven på ett säkert, tillförlitligt och effektivt elnät till en skälig kostnad för elkonsumenten, behöver alltid den teknik användas som är bäst lämpad både för den aktuella ledningen och för elnätet som helhet. Därför arbetar Sökanden efter principen att rätt teknik ska användas på rätt plats.

Beträffande regionnätet på 130 kV nivån är rätt teknik i princip alltid luftledning. I vissa fall är det dock inte rätt plats för luftledning helt enkelt därför att det inte finns fysiskt utrymme för den. I tätbebyggd stadsmiljö är det oftast nödvändigt att markförlägga ledningar även på 130 kV nivån. När befintliga transformatorstationer ska anslutas med nya ledningar i anslutning till tätbebyggda områden kan det vara nödvändigt att markförlägga nya regionnätetsledningar längs den sista sträckan in till stationerna. Den situationen kan uppstå när marken successivt har exploaterats runt en transformatorstation så att fysiskt utrymme för luftledning in till stationen saknas. För att minimera riskerna med 130 kV ledningar i regionnätet är det då viktigt att den sista kabelsträckan in till stationen blir så kort som möjligt.

Den dominerande uppfattningen hos de markägare, närboende samt övriga intressenter som berörs av en planerad ny kraftledning 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 framför allt är den visuella påverkan betydligt mindre (en cirka 15–20 m bred skogsgata vid byggnationen varav ungefär hälften kan tillåtas växa igen). En markförläggning av en regionnätetsledning medför en mindre påverkan på de närmast berörda, på bekostnad av samhället i övrigt som får ta konsekvenserna av ökade risker i elnätet, lägre driftsäkerhet samt den högre kostnaden som markförläggning av regionnätetsledningar medför.

Eftersom Vattenfall Eldistribution verkar inom en reglerad monopolverksamhet har bolaget ett samhällsansvar som yttrar sig i att alla kunder, markägare och övriga intressenter måste behandlas lika. Som konstaterats ovan medför markförläggning av 130 kV ledningar i det maskade regionnätet risker för kringliggande nät. Riskerna ökar ju större del av nätet som markförläggs samtidigt som markförläggningen i sig driver på ytterligare utbyggnad av nätet för att kompensera för de markförlagda ledningarnas lägre driftsäkerhet och längre reparationstider. Det går alltid att bygga en enskild ledning som kabel men det större systemet klarar inte en kablifiering som till följd av omvärldens krav sker i allt i större skala. Det är för stora tekniska risker som äventyrar leveranssäkerheten för hela systemet, det vill säga alla anslutna kunder.

Markförläggning av Vattenfall Eldistributions maskade regionnät påverkar andra nätägare inklusive stamnätet. Ur ett systemperspektiv måste användandet av markkabel på högre spänningsnivåer begränsas och möjligheten att markförlägga 130 kV ledningar måste sparas till de platser där det verkligen inte finns fysiskt utrymme att komma fram med en luftledning. Om Vattenfall Eldistribution skulle välja markkabel i ett enskilt projekt till följd av externa krav måste bolaget, för att leva upp till likabehandling av markägare och övriga intressenter, alltid välja markkabel i alla projekt med liknande förutsättningar.

Eftersom den lokala opinionen i princip alltid kräver markförläggning av nya 130 kV ledningar måste en policy tillämpas för när detta kan accepteras. Det går inte att här endast se till varje kraftledningsprojekt var för sig, utan konsekvenserna av markförläggning måste betraktas ur ett systemperspektiv, eftersom varje ny kabelsträckning i det maskade 130 kV nätet medför konsekvenser för kringliggande elnät.

Med anledning av den omfattande utbyggnad av elnätet, som krävs för att klara den pågående energiomställningen, lämnade regionnätstföretagen Ellevio, E.ON Energidistribution, Jämtkraft, Skellefteå Kraft Elnät och Vattenfall Eldistribution samt Svenska kraftnät i januari 2021 förslag till regeringen på åtgärder för att säkerställa utbyggnaden av elnätet⁴. Av skrivelsen framgår att de undertecknade regionnätstföretagen samt Svenska kraftnät generellt förordar luftledning på de högre spänningsnivåerna bland annat därför att de tekniska problemen med att i stor omfattning använda markkabel på de högre spänningsnivåerna skulle bli mycket svårhanterliga och leda till minskad driftsäkerhet. För att säkerställa att system- och beredskapsperspektivet beaktas vid koncessionsprövning och annan tillståndsprövning av elnät, föreslogs regeringen att tillsätta en utredning om och i så fall vilka lagförändringar som krävs (ellagen, miljöbalken med mera).

Frågan om teknikvalet luftledning eller kabel inkluderades i Klimatråtsutredningen som lämnade sitt slutbetänkande 2022. I den ändring av ellagen som gjordes år 2024 infördes en ny paragraf 17a i andra kapitlet: "Regeringen får meddela föreskrifter om vilka förutsättningar som ska gälla vid prövning av en nätkoncession för linje för valet mellan att anlägga en luftledning eller en mark- eller sjökabel". I januari 2025 beslutade regeringen om ändringar i förordningen om nätkoncession. Beslutet innebär att växelströmsledningar som är avsedda för en spänning om 130 kV eller högre, som byggs med stöd av nätkoncession för linje, ska byggas som luftledning. Ändringen av nätkoncessionsförordningen trädde i kraft den 1 mars 2025 (19a § Förordning 2021:808 om nätkoncession)

6 Vattenfall Eldistributions ställningstagande gällande teknikval för kraftledningar med 130 kV spänning eller högre

I september 2020 tog Vattenfall Eldistribution ett principbeslut om att generellt förordna luftledning som teknikval på spänningsnivån 130 kV och uppåt. Beslutet grundar sig i ellagens krav som fastslår att nätägaren ansvarar för att dess ledningsnät är säkert, tillförlitligt och effektivt och för att det på lång sikt kan uppfylla rimliga krav på överföring av el. 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 förordna luftledning som teknisk lösning i 130 kV-nätet.
- De tekniska problemen med att i stor omfattning förlägga markkabel i 130 kV-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.

⁴ Affärsverket svenska kraftnät, Vattenfall Eldistribution AB, E.ON Energidistribution AB, Ellevio AB, Skellefteå Kraft Elnät AB & Jämtkraft AB. 2021: Förslag till åtgärder för att säkerställa utbyggnaden av Elnätet. Skrivelse till Regeringen 2021-01-29.

- 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 130 kV-nätet om luftledning används i stället för markkabel. Därmed kan fler samhällsbehov tillgodoses med luftledning jämfört med markkabel. Detta är i linje med Vattenfall Eldistributions uppdrag om att tillhandahålla ett effektivt elnät.
- Markkabel kan utifrån ovan beskrivna anledningar endast förordas på korta sträckor där luftledning inte är möjligt på grund av brist på fysiskt utrymme, till exempel i radiella stadsnät. Som försiktighetsprincip och för att leva upp till likabehandling av markägare och övriga berörda intressenter, kan markkabel därför bara accepteras där fysiskt utrymme för luftledning saknas.

Vattenfall Eldistributions ställningstagande gällande teknikval för spänningsnivåer på 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.