

Bedömning av kraftledningars påverkan på miljön

– ur perspektiven klimat och biologisk mångfald

Emelia Söderlund & Julia Wåhlander

Examensarbete 2023
Miljö- och Energisystem
Institutionen för Teknik och samhälle
Lunds Tekniska Högskola



LUNDS UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

**Bedömning av kraftledningars påverkan på miljön
ur perspektiven klimat och biologisk mångfald**

Emelia Söderlund & Julia Wåhlander

Examensarbete

Juni 2023

Dokumentutgivare, Dokumentet kan erhållas från LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA vid Lunds universitet Institutionen för teknik och samhälle Miljö- och energisystem Box 118 221 00 Lund Telefon: 046-222 00 00 Telefax: 046-222 86 44	Dokumentnamn
	Examensarbete
	Utgivningsdatum
	2023-06-14
	Författare
	Emelia Söderlund & Julia Wåhlander

Dokumenttitel och undertitel

Bedömning av kraftledningars påverkan på miljön - ur perspektiven klimat och biologisk mångfald

Sammandrag

Den gröna omställningen och elektrifieringen av samhället kan endast ske om det finns ett driftsäkert elnät. Det svenska elnätet behöver både förnyas och byggas ut. Detta behöver ske med hänsyn till två stora samhällsutmaningar, klimatförändring och hotad biologisk mångfald. I hopp om att bidra till kraftledningar med en lägre miljöpåverkan är syftet med examensarbetet att undersöka kraftledningars påverkan på klimat och biologisk mångfald i Sverige.

För att bedöma hur luftledning och markkabel skiljer sig med avseende på utsläpp av växthusgaser har ett beräkningsverktyg vidareutvecklats i Excel. Verktöget har sedan tillämpats på en fallstudie av 130 kV-ledningar som ansluter solcellsparker. Utefter arbetets förutsättningar och tillgängligt underlag blir resultatet för luftledning 1270 ton CO₂e/km och markkabel 1070 ton CO₂e/km, sett till en tidsperiod på 70 år. För luftledning kommer majoriteten av utsläppen från avverkning av skog medan den för markkabel kommer från materialanvändning, vilket beror på att luftledningen kräver mer mark. Andra faktorer som kan påverka är antaganden som görs kring utsläppen från skogsmark, platsens förutsättningar och vilket material som väljs för de ingående komponenterna samt var det är producerat.

Kraftledningars påverkan på biologisk mångfald har först undersökts genom befintlig litteratur, sedan genom hur påverkan kan kvantifieras. Detta har gjorts genom att jämföra tre befintliga metoder: Vattenfalls biotopmetod, Svenska kraftnäts bedömningsmetodik i miljökonsekvensbeskrivningar och projektet CLImB. Med utgångspunkt i dessa metoder ges förslag på aspekter som bör inkluderas i en förbättrad metod för kvantifiering av kraftledningars påverkan på biologisk mångfald. Biodiversiteten på platsen behöver värderas och de möjliga konsekvenserna efter exploateringen behöver utredas i varje enskilt fall. Hänsyn bör tas till kvalitet på underlaget, kompensationsåtgärder och påverkan på landskapsnivå. Det är dock svårt att kvantifiera biodiversitet då ekosystem är komplexa och det saknas ett vedertaget mått som kan inkludera allt.

Nyckelord

kraftledning, luftledning, markkabel, klimatberäkning, biologisk mångfald

Sidomfång	Språk	ISRN
129	Svenska	ISRN LUTFD2/TFEM--23/5193--SE + (1-129)

Organization, The document can be obtained through LUND UNIVERSITY Department of Technology and Society Environmental and Energy Systems Studies Box 118 SE - 221 00 Lund, Sweden Telephone: int +46 46-222 00 00 Telefax: int +46 46-222 86 44	Type of document
	Master thesis
	Date of issue
	2023-06-14
	Authors
	Emelia Söderlund & Julia Wåhlander

Title and subtitle

Assessment of the environmental impact of power lines - from the perspective of climate and biodiversity

Abstract

The sustainable transition and electrification of society can only take place with a reliable electricity grid. The Swedish electricity grid both needs to expand and to be renewed. This must be done with two major societal issues in mind, climate change and threatened biodiversity. In hope of contributing to power lines with a lower environmental impact, the aim of this thesis is to investigate the impact of power lines on climate and biodiversity in Sweden.

To assess how overhead power lines and underground cables differ regarding greenhouse gas emissions, a tool in Excel has been developed. The tool has then been applied to a case study of 130 kV power lines to photovoltaic parks. Based on the limitations of the thesis and the available data, the result for the overhead power line is 1270 tons CO₂e/km and the underground cable is 1070 tons CO₂e/km, seen over a period of 70 years. Most of the emissions for the overhead power line come from deforestation, while the material use is the largest contributor to the emissions for underground cables. The reason for this is that the overhead power line requires more land. Other factors that have an influence on the result are assumptions about the emissions from forest land, the characteristics of the site and the type of material as well as where it is produced.

The impact of power lines on biodiversity has first been investigated through existing literature, then through how the consequences can be quantified. This was made by comparing three existing methods: Vattenfall's Biotope method, Svenska kraftnät's assessment methodology in environmental impact assessments and the CLImB project. Based on these methods, recommendations are given for aspects that should be included in an improved method for quantifying the consequences of power lines for biodiversity. The biodiversity on the site needs to be evaluated and the possible consequences after the exploitation need to be estimated. Consideration should be given to data quality, compensatory measures, and impact on landscape level. Having said that, quantifying biodiversity is difficult since ecosystems are complex and there is no recognized measurement that can include everything.

Keywords

power line, overhead power line, underground cable, greenhouse gas calculator, biodiversity

Number of pages	Language	ISRN
129	Swedish	ISRN LUTFD2/TFEM--23/5193--SE + (1-129)

Förord

Detta examensarbete har genomförts under våren 2023 som en avslutande del av civilingenjörsprogrammet Ekosystemteknik på Lunds tekniska högskola. Arbetet omfattar 30 högskolepoäng och har utförts på institutionen för miljö- och energisystem i samarbete med konsultföretaget Norconsult. Det har skrivits av Emelia Söderlund och Julia Wåhlander som båda har bidragit till arbetets helhet i lika stor utsträckning. Examinator för examensarbetet var Pål Börjesson, professor vid miljö- och energisystem.

Inledningsvis vill vi rikta ett stort tack till vår handledare Lars J Nilsson, professor vid miljö- och energisystem, för givande feedback och intressanta diskussioner. Tack även till Per Svenningsson, forskningsassistent vid miljö- och energisystem, för att du tagit på dig rollen som biträdande handledare med stort engagemang. Vidare vill vi också rikta ett stort tack till våra handledare på Norconsult. Tack till Eva-Maria Arvidsson, gruppleadare för miljö och tillstånd, för ett spännande arbete och idéer samt ditt stora förtroende för oss. Tack till Carolin Bangay, kraftledningskonsult, för att du delat med dig av din passion för markkablar och bidragit med snabb hjälp och uppmuntringar då vi kört fast.

Vi är också tacksamma för den guidning, granskning och kritiskt tänkande inom biologisk mångfald som vi fått av David Reuterskiöld, konsult inom miljö, naturvård och vattenvård på Norconsult. Tack också till Robert Kozelka, projektchef på avdelning kraftledning på Norconsult, för svar på otaliga detaljfrågor kring konstruktion av kraftledningar och hjälp med uppskattningar för fallstudien. Vi vill också tacka Maja Stenström, projektledare på ib vogt, för att entusiastiskt ha hjälpt till med projektet och lärt oss mer om solcellsparker.

Fortsatt vill vi tacka alla övriga på Norconsult som på något sätt har bidragit med sin kunskap och hjälp i arbetet. Framför allt vill vi tacka Madeleine Ahlmén för introduktion kring luftledningar, Rickard Asplén för vägledning kring fundament och ritningar, Dan Backlund för hjälp med GIS och Per Skoglund för framtagning av underlag till klimatverktyget.

Slutligen vill vi rikta ett stort tack till våra vänner och familjer. Tack för att ni har förgyllt och stöttat oss under den fem år långa studietiden i Lund!

Emelia Söderlund & Julia Wåhlander
Lund, juni 2023

Förkortningar

CLImB	Changing Land use Impact on Biodiversity
CO_{2e}	Koldioxidekvivalenter
Ei	Energimarknadsinspektionen
EPD	Miljövarudeklaration <i>Environment Product Declaration</i>
IPBES	FN:s panel för biologisk mångfald <i>Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services</i>
IPCC	FN:s klimatpanel <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ISO	Internationella standardiseringsorganisationen <i>International Organization for Standardization</i>
KemI	Kemikalieinspektionen
LCA	Livscykelanalys <i>Life Cycle Assessment</i>
MB	Miljöbalk (SFS 1998:808)
MKB	Miljökonsekvensbeskrivning
NVI	Naturvärdesinventering
SIS	Svenska institutet för standarder
SLU	Sveriges lantbruksuniversitet

Innehållsförteckning

Förord	iv
Förkortningar	vi
1 Inledning	5
1.1 Syfte och frågeställningar	5
1.2 Omfattning och avgränsningar	6
1.3 Disposition	7
2 Metod	9
2.1 Litteraturstudie	9
2.2 Klimatverktyg med fallstudie	9
2.3 Kvantifiering av biologisk mångfald	10
3 Två brådskande och sammankopplade utmaningar	11
3.1 Den rådande klimatkrisen	11
3.2 Den hotade biologiska mångfalden	12
3.3 Kopplingen mellan klimat och biologisk mångfald	13
4 Det svenska kraftsystemet	14
4.1 Olika aktörer balanserar och distribuerar el mellan elområden	14
4.2 Transmissions-, region- och lokalnät	15
4.3 Växelström och likström	17
4.4 Tillståndsprocessen för kraftledning	18
4.5 Miljökonsekvensbeskrivning med naturvärdesinventering	19
5 Två huvudtyper av kraftledningar	21
5.1 Utformning av luftledning	21
5.1.1 Typer av stolpar	21
5.1.2 Ledningarna består av faser och linor	23
5.1.3 Isolatorer mellan stolpen och ledningarna	24
5.1.4 Fundament för jord, berg och med pålar	24
5.1.5 Ledningsgata för luftledning och dess underhåll	25
5.2 Utformning av markkabel	26
5.2.1 Kraftkabelns uppbyggnad	26
5.2.2 Schaktning och igenfyllning av kabeldiken	27
5.3 Teknisk jämförelse av luftledning och markkabel	28

6	Kraftledningar, klimat och biologisk mångfald	31
6.1	Kraftledningars påverkan på klimatet	31
6.2	Kraftledningars påverkan på biologisk mångfald	31
6.2.1	Påverkan på naturmiljö från anläggning och drift	31
6.2.2	Nya ängs- och betesmarker för växter och pollinatörer	32
6.2.3	Relativt artrika men farliga fågelbiotoper	34
7	Klimatverktyg för kraftledningar	36
7.1	Teori kring klimatkalkyler med livscykelperspektiv	36
7.2	Uppbyggnad av klimatverktyget	38
7.3	Fallstudie av 130 kV-ledning för att ansluta solcellsparker	42
7.4	Funktionella enheter	44
7.5	Resultat från fallstudien	45
7.5.1	Luftledning basfall	45
7.5.2	Jämförelse av olika produktionsområden för luftledning	47
7.5.3	Jämförelse av komposit- och stålstolpar för luftledning	50
7.5.4	Jämförelse av två alternativa sträckningar för luftledning	51
7.5.5	Markkabel	52
7.5.6	Jämförelse av luftledning och markkabel	54
7.5.7	Jämförelse av ledningsalternativ med avseende på anslutna MW	55
7.5.8	Sammanställning av resultat	56
7.5.9	Olika sätt att beräkna påverkan på skog	58
7.6	Diskussion kring klimatverktygets potential och begränsningar	59
7.6.1	Resultatets rimlighet	59
7.6.2	Det som inte har inkluderats i verktyget	60
7.6.3	Jämförande av luftledning och markkabel	62
7.6.4	Växthusgasutsläpp från kraftledningar är svåra att generalisera	63
7.6.5	Utsläpp från påverkan på skogsmark	64
7.6.6	Användningsområden för verktyget	66
8	Kvantifiering av kraftledningars påverkan på biologisk mångfald	68
8.1	Teori kring kvantifiering av biologisk mångfald	68
8.2	Svenska metoder som bedömer biologisk mångfald	71
8.2.1	Vattenfalls biotopmetod	71
8.2.2	Svenska kraftnäts bedömningsmetodik i miljökonsekvensbeskrivningar	74
8.2.3	Projektet Changing Land use Impact on Biodiversity	78
8.2.4	Kommande resultat från ISO-standard och Energiforsks program	81

8.2.5	Jämförande diskussion av metoderna	81
8.3	Föreslagna aspekter vid kvantifiering av påverkan på biologisk mångfald	83
8.4	Bedömning av kraftledningars påverkan på naturtyper	86
8.5	Diskussion kring kvantifiering av påverkan på biologisk mångfald	89
9	Allmän diskussion kring kvantifiering av klimat och biologisk mångfald	92
10	Slutsats	93
	Referenser	94
	Appendix	106
A1.	Beskrivning av klimatverktygets flikar	106
A2.	Basfall luftledning	111
A3.	Produktionsområden med låga utsläpp	112
A4.	Produktionsområden med höga utsläpp	113
A5.	Stålstolpar	114
A6.	Alternativ 2 luftledning	116
A7.	Markkabel	117
A8.	Transport	119
A9.	Skogsmark	120

1 Inledning

Industrialiseringen och därefter elektrifieringen förändrade Sverige från ett fattigt jordbrukssamhälle till ett rikt välfärdsland. Elkraften började användas i slutet av 1800-talet i Sverige. Från början användes elen i industrier samt till transport och belysning. Sedan kom hushållsapparater, elektrisk gatubelysning, vattenburen värme och vattentoaletter. Städer blev tryggare, hygien förbättrades, livet blev enklare och kvinnor fick tid till att arbeta utanför hemmet (Wallnerström, 1999). Sverige var ett av de första länderna i världen där majoriteten av hushållen var elektrifierade (E.ON Energilösningar, 2022). Det kunde ske tack vare den goda tillgången på energi samt byggandet av kraftnätet som möjliggjorde överföringen. Kraftledningar började byggas i början av 1900-talet (Energiforsk, 2022) och stamnätet (som idag benämns transmissionsnätet) togs i bruk under 30-talet (Lindholm, 2017).

Under de senaste decennierna har energisektorn präglats av effektivisering och en grön omställning i riktning mot förnybara energikällor som biobränslen, vindkraft och solenergi. Denna utveckling behöver fortsätta för att uppnå de svenska och internationella miljömålen. Fossila bränslen behöver fasas ut vilket innebär en stor elektrifiering av många sektorer och ett ökat tryck på energisystemet. Det är främst transportsektorn samt gruv-, stål- och kemiindustrin som behöver elektrifieras. De kommer tillsammans att stå för en stor del av den förväntade dubbleringen av elanvändningen fram till 2045, från dagens nivå på 140 TWh till 310 TWh (Rydegran, 2021).

Förutom att Sverige behöver producera mer förnybar energi för att möta elbehovet, behövs ett fungerande och väl utbyggt elnät för transporten av el. De så kallade flaskhalsarna, trånga passager i nätet som begränsar överföringen av el, måste minimeras och förstärkas. Elnätet behöver också skapa förutsättningar för en gemensam nordisk och europeisk elmarknad med fri elhandel över gränserna. Sveriges elnät är dessutom ett av de äldsta i världen där många av ledningarna börjar närma sig slutet av sin livslängd. Således behöver elnätet både förnyas och byggas ut för att möta samhällets krav på en driftsäker elförsörjning (Svenska kraftnät, 2020a).

Om målet med förnyandet och utbyggnaden av elnätet är ett grönt och fossilfritt samhälle bör även byggnationen i sig ske på ett miljömässigt hållbart sätt. För att åstadkomma det behövs det kunskap om vilka val som är de bästa för miljön. Vissa typer av miljöpåverkan är redan etablerade frågor inom kraftledningsbranschen. Eftersom läget för både klimat och biologisk mångfald är kritiskt (IPBES, 2019; IPCC, 2021), är dessa två områden extra angelägna att fokusera på.

1.1 Syfte och frågeställningar

Syftet med arbetet är att undersöka vilken påverkan kraftledningar, både luftledning och markkabel, har på klimat och biologisk mångfald i Sverige. Målet är att vidareutveckla ett verktyg från Norconsult som kan beräkna klimatpåverkan från kraftledningar, samt att undersöka hur ett verktyg för kvantifiering av påverkan på biologisk mångfald skulle kunna utformas. Det sker däremot med kunskap om att ledningskonstruktionen, och därmed växthusgasutsläppen, samt förutsättningarna för biologisk mångfald, varierar stort mellan projekt och platser. Genom detta hoppas examensarbetet underlätta för Norconsult att göra klimatberäkningar och ta ytterligare hänsyn till biologisk mångfald inom sina projekt. Det skulle kunna hjälpa dem att uppnå sina interna hållbarhetsmål.

För att uppnå syftet besvaras följande frågeställningar:

- Hur skiljer sig luftledning och markkabel med avseende på utsläpp av växthusgaser samt vilka faktorer påverkar detta?
- Hur kan man kvantifiera en kraftlednings påverkan på biologisk mångfald?

1.2 Omfattning och avgränsningar

Examensarbetet omfattar kraftledningar på land och deras påverkan på klimat och biologisk mångfald. Denna avgränsning har gjorts eftersom kraftledningar är mer förekommande på land än kraftledningar till havs. Med kraftledningar syftar arbetet både på luftledningar och markkabel, sjökabel har uteslutits då det inte används i en lika stor omfattning. Här avses inte heller stationer som knyter ihop elnätet, varken fördelningsstationer eller nätstationer. Även ställverk, transformatorer och kompenseringstationer har exkluderats. Arbetet har genomförts med ett geografiskt fokus på Sverige.

Klimatpåverkan undersöks i form av klimatberäkningar för byggnation av kraftledningar. Med klimatpåverkan avser arbetet utsläpp av växthusgaser uttryckt i koldioxidekvivalenter (CO₂e). Klimatberäkningarna görs enligt ett livscykelperspektiv, men det är viktigt att poängtera att arbetet inte utförs enligt en regelrätt livscykelanalys (LCA). Det finns många orsaker till detta beslut. För det första är verktyget främst till för att kunna jämföra olika ledningsalternativ. Det ska kunna ge en storleksmässig indikation på klimatpåverkan samt visa hur olika val av material och produktionsländer påverkar resultatet. Verktyget kommer inte att kunna ge en exakt bild av verkligheten. Det ska också vara enkelt att använda, det vill säga lätt och snabbt att fylla i indata och att tolka resultatet. Att göra en LCA enligt standarderna ISO 14040 och ISO 14044 är dessutom både komplext och tidskrävande. Då examensarbetet omfattas av begränsade resurser har vi ansett att det är viktigare att uppnå en sammanhängande helhet som innefattar majoriteten av komponenterna i ett kraftledningsbygge, jämfört med att endast undersöka vissa delar i detalj. Verktyget har begränsats utefter tillgängliga data, kraftledningarnas viktigaste beståndsdelar och vad som troligtvis har en betydande klimatpåverkan, i stället för regelrätta krav för avgränsningar (så kallade cut-off kriterier).

Fokuset har riktats på byggnation av kraftledningar då vi uppskattar att de första delarna av en kraftlednings livscykel står för den största miljö- och klimatpåverkan. I klimatberäkningarna inkluderas därmed framställning av material, transport, schaktning och markanvändning. Transport av material till Sverige har förenklats till enbart en transportform, lastbil för material från Europa och fartyg från Storbritannien och övriga världen. Det innebär att eventuella färjor i Europa och lastbilstransporter till hamnar i övriga världen ej har inkluderats. Markanvändning har begränsats till endast skogsmark då Sverige saknar bra underlag för övriga marktyper. Driftsfasen, som innehåller tekniskt underhåll och röjning av kraftledningsgator, samt avvecklingsfasen har uteslutits. Driften varierar kraftigt mellan olika kraftledningar och samtliga kraftledningar har en lång livstid. Även påverkan från överföringsförluster ligger utanför detta arbetes omfattning. Med det menas utsläppen från produktionen av den extra el som behöver tillverkas för att täcka upp för elen som går förlorad som värme. Vidare har olika typer av förarbeten, som till exempel geologiska undersökningar, exkluderats.

Verktyget har valt att fokuseras på transmissionsnätet och regionnätet. Inom dessa har spänningsnivåerna 400 kV och 130 kV inkluderats, då de är de vanligaste spänningarna i respektive nät (Svenska kraftnät, 2022c). Troligtvis är det också de nivåerna som kommer att byggas ut i störst utsträckning i framtiden till följd av det stora överföringsbehovet av el. I

dagsläget går det däremot inte att beräkna klimatpåverkan för en 400 kV markkabel. Det har uteslutits i detta arbete i och med att transmissionsnätet nästan enbart består av luftledning (Vattenfall Eldistribution AB, u.å.-b). Då Svenska kraftnät har monopol på transmissionsnätet finns det standarder för vilka komponenter och material som används. Det förenklar sammanställning av data samt gör det enklare att göra ett generellt verktyg. För regionnätet, och speciellt i lokalnätet, finns det många aktörer vilket gör att kraftledningarna skiljer sig mycket åt, både i val av komponenter, material, och dimensioner. Det försvårar en generalisering av Sverige som helhet. För regionnätet har data för komponenter baserats på och avgränsats till tidigare projekt som Norconsult har genomfört, två för luftledning och ett för markkabel. De två projekten för luftledning har använt stålstolpar. Verktyget har också kompletterats med kompositstolpar med information från en LCA. Dock saknas det fortfarande trästolpar, vilket är det vanligaste materialet i regionnätet. Insamling och sammanställning av data har varit tidskrävande, varvid fler projekt inte har kunnat tagits med.

För luftledningar inkluderas stolpar, faslinor, topplinor, jordlina, isolatorer, fundament och stag. Mindre komponenter som distansstänger, dämpare och övriga mindre element som sitter på stolparna, som till exempel fotsteg och skyltar, har exkluderats då dessa inte anses ha en betydande klimatpåverkan i sammanhanget. Schaktning av mark för fundamenten, både grävmaskiner och bortforsling av eventuella schaktmassor, har inkluderats, medan uppbyggnad och montering av komponenter har uteslutits. Detta för att det saknas tillgängliga data på vilka typer av arbetsmaskiner som används och till vilken utsträckning. För markkabel inkluderas kraftkabel, skyddsror, rör för schaktfri förläggning, geotextil och jordlina. Schaktning av jordschakt och bergschakt samt fyllnadsmassor av schakten är inkluderade, både arbetsmaskiner och transport. För schaktfri förläggning har bara bortforslingen av massor inkluderats då det saknas tillgängliga data för själva borrhningen. Även montering av komponenter har uteslutits på grund av databrist.

För bedömningen av påverkan på biologisk mångfald inkluderas alla stadier i kraftledningens livscykel. Dock avgränsas den till ledningsgatan och tar därmed, till exempel, inte hänsyn till påverkan som sker där råmaterialet till kraftledningens komponenter utvinns. Med ledningsgata menas endast de under kraftledningar, inte de under exempelvis teleledningar. För luftledningar innefattar begreppet ledningsgata både skogsgatan, som röjs helt, och sidoområdena, där träd avverkas om de nått en höjd som kan skada kraftledningen. För markkabel används begreppet ledningsgata synonymt med skogsgata för att beskriva den del som hålls röjd från träd och större buskar. När det kommer till hur olika naturtyper påverkas av kraftledningar diskuteras endast några av de vanligast förekommande i Sverige. Fokus är på hur landområden påverkas men även våtmarker, vattendrag och sjöar diskuteras.

1.3 Disposition

Examensarbetet består av tio kapitel, inklusive ovanstående. Det första kapitlet sätter examensarbetet i en kontext samt introducerar dess syfte och frågeställningar. Det presenterar också arbetets omfattning och avgränsningar samt ger en överblick över dispositionen. I nästkommande kapitel beskrivs vilken metod som har använts för att uppfylla examensarbetets syfte och besvara dess frågeställningar. Efter det följer fyra teorikapitel. Kapitel tre för fram att den rådande klimatkrisen och den hotade biologiska mångfalden är två brådskande och sammankopplade utmaningar. Kapitel fyra innehåller information om hur det svenska kraftsystemet är uppbyggt av elområden och aktörer samt indelat i transmissions-, region- och lokalnät som både kan överföra växelström och likström. Även hur tillståndsprocessen för en kraftledning går till beskrivs. I det femte kapitlet ges en översikt kring två huvudtyper av kraftledningar, luftledning och markkabel. Det görs också en teknisk jämförelse av dem

sinsemellan. Det sista teorikapitlet, kapitel sex, beskriver kraftledningars påverkan på klimat och biologisk mångfald.

Det sjunde kapitlet handlar om klimatverktyg för kraftledningar. Det inleds med ett avsnitt kring den grundläggande metodiken för att räkna på växthusgasutsläpp för att, utöver redan presenterad teori, ge en bättre förståelse för hur resultatet har uppnåtts. Efter det ges en beskrivning av hur klimatverktyget är uppbyggt samt av fallstudien som det har applicerats på. Innan resultatet för de olika fallen presenteras förklaras de funktionella enheterna som har använts för att analysera resultatet. Till sist diskuteras klimatverktygets potential och begränsningar. Det åttonde kapitlet handlar om kvantifiering av kraftledningars påverkan på biologisk mångfald. Även det inleds med ett avsnitt med grundläggande metodik för att kvantifiera biologisk mångfald, ur samma syfte som tidigare. Efter det beskrivs och jämförs tre svenska metoder som bedömer påverkan på arter och naturtyper. Utifrån detta sammanställs aspekter som är viktiga att ta hänsyn till vid kvantifiering av kraftledningars påverkan på biologisk mångfald. Det ges också ett kvalitativt förslag på hur ett verktyg bör bedöma kraftledningars påverkan på olika naturtyper. Till sist förs en diskussion kring samma ämne.

I det nionde kapitlet hålls en bredare diskussion kring kvantifiering av klimat och biologisk mångfald. Efter det redovisar det sista och tionde kapitlet examensarbetets slutsatser. Det följs sedan av en referenslista och slutligen ett appendix som beskriver i detalj hur klimatverktyget är uppbyggt, listar indata som har använts i fallstudien och emissionsdata för transport samt skogsmark.

2 Metod

För att besvara frågeställningarna har det först genomförts en litteraturstudie kring hur kraftledningar påverkar klimat och biologisk mångfald. Det har också utvecklats ett verktyg för att beräkna växthusgasutsläppen från kraftledningar. Kunskapen från litteraturstudien och verktyget har sedan applicerats på en fallstudie. För biologisk mångfald har tre metoder som bedömer påverkan på arter och naturtyper jämförts. I följande avsnitt beskrivs metodens tre delar närmare.

2.1 Litteraturstudie

Litteraturstudien har sammanställt information som finns tillgänglig för svenska förhållanden gällande kraftsystemet, luftledning, markkabel samt deras påverkan på klimat och biologisk mångfald. På så vis har det skapats en grund för vad det finns för tekniska förutsättningar, möjligheter och begränsningar när det kommer till att beräkna kraftledningars påverkan på klimatet och att utreda möjligheten för att kvantifiera påverkan på biologisk mångfald. Relevant litteratur i form av vetenskapliga artiklar har sökts fram via Lunds universitetsbiblioteks samlade resurser (LUBsearch). Rapporter, aktuella aktörers hemsidor och andra skrifter har hittats med hjälp av sökmotorn Google. Viss information har också hämtats från Norconsults interna material. Referenslistorna till litteraturen som hittades vid huvudsöket bidrog med fler källor, via en så kallad pärlsökning. Under arbetets gång har fakta från den inledande litteraturstudien även kompletterats med samtal med bransch-kunniga personer på Norconsult.

2.2 Klimatverktyg med fallstudie

För att kunna svara på hur luftledning och markkabel skiljer sig med avseende på utsläpp av växthusgaser och vilka faktorer som påverkar det har ett klimatverktyg vidareutvecklats. Den ursprungliga versionen är gjord av Norconsult i Norge. Versionen är gjord för luftledningar, i Excel med fördefinierade valmöjligheter över exempelvis ledningsmaterial. Den inkluderar inte alla komponenter i ett kraftledningsprojekt utan har fokus på de delar som erfarenhetsmässigt är viktigast för konstruktionen och har störst växthusgasutsläpp. Följaktligen ger verktyget en indikation på växthusgasutsläppens storlek men inte ett absolut tal eller en detaljerad växthusgasbudget. Norconsult i Sverige har haft planer på att anpassa verktyget till svenska förhållanden, och därmed blev det en uppgift inom detta examensarbete.

Klimatverktyget har utvecklats i en ny Excelfil men med en uppbyggnad som utgår från den norska versionen. De största uppdateringarna som har gjorts gäller bland annat anpassning av de valbara komponenterna, till exempel stolpar och fundament, till komponenter som används i Sverige. Parametrar och antaganden kring vikter, volymer, mått samt typ av material för dessa komponenter har baserats på typprojekt från Norconsult. Denna data har sammanställts från tekniska beskrivningar, mängdförteckningar och annat underlag som levererats till kund. Data har sedan delats in i kategorier med liknande egenskaper, till exempel stolpar som används vid samma tillfällen, har en liknande vikt och är av samma material. För dessa kategorier har det använts medelvärden på exempelvis stolpvikt. Materialkategorierna är gjorda för att underlätta för användaren av verktyget. En ny del som beräknar utsläppen från markkabel har utvecklats på samma vis.

Emissionsdata för material har i första hand hämtats från databaserna Trafikverket klimatkalkyl och Boverkets klimatdatabas. I andra hand har den tagits från miljövarudeklarationer (EPD) som finns tillgängliga i databaserna EPD International och EPD-Norge. I vissa fall har den även hämtats ur LCA:er och andra vetenskapliga artiklar. För varje material går det att välja mellan ett tiotal produktionsländer. Emissionsdata för dessa har i så stor utsträckning som möjligt

baserats på ett medelvärde av flera källor, men där det inte varit möjligt har värdet tagits från en enskild källa. Emissionsdata för transport, med lastbil, tåg och fartyg, har hämtats från Network for Transport Measures (NTM). Transportavståndet för lastbil har uppskattats med Google Maps från det aktuella landets mitt till Göteborg och avståndet för fartyg har tagits fram med hemsidan Searates från landets största hamn till Göteborgs hamn.

Alla beräkningarna har strukturerats om så att de ska vara lättare att följa för användaren av verktyget. Till resultatet över totala koldioxidutsläpp och hur de fördelar sig mellan olika enhetsprocesser har det lagts till en funktionell enhet på km ledning. Den möjliggör en jämförelse av alternativa ledningssträckningar samt mellan luftledning och markkabel. Slutligen har klimatverktyget tillämpats på en fallstudie över ett av Norconsults pågående projekt. Eftersom projektet befinner sig i en tidig fas har verktyget fyllts i med vissa antaganden kring hur den slutgiltiga ledningen kommer se ut. Uppskattningar kring ingående mängder och typer av material har gjorts i samarbete med ansvariga för projektet utefter den information som finns tillgänglig i dagsläget. Hur den nuvarande markanvändningen ser ut i den kommande ledningsgatan har uppskattats med Naturvårdsverkets nationella marktäckedata i QGIS. Efter att ett basfall skapats för både luftledning och markkabel har verktyget använts för att jämföra olika exempel: produktionsområden, stolpmaterial, alternativa sträckningar, funktionella enheter och utsläpp från påverkan på skogsmark.

2.3 Kvantifiering av biologisk mångfald

För att utreda hur man kan kvantifiera en kraftlednings påverkan på biologisk mångfald har det först gjorts en sökning efter metoder som försöker göra detta. Denna gjordes i sökmotorn Google, på webbsidor för aktörer inom kraftledning samt genom samtal med personer som jobbar inom branschen på Norconsult. Slutligen valdes tre metoder ut som på ett eller annat sätt kan användas för att bedöma biologisk mångfald i ledningsgator. Då examensarbetet är avgränsat till Sverige är alla tre utvecklade för den svenska marknaden. Ingen är äldre än 8 år och för samtliga finns det tillräckligt mycket information för att skapa sig en bild av hur de är uppbyggda.

De utvalda metoderna har sedan studerats och beskrivits i sin helhet. Från beskrivningarna har några centrala och återkommande delar valts ut för att kunna jämföra metoderna med varandra med avseende på dessa delar. På så vis har metodernas styrkor och svagheter kunnat identifieras. I och med att samtliga saknar någon viktig del har det undersökts hur en förbättrad metod skulle kunna se ut. Detta har gjorts genom att ta fram ett antal aspekter som anses vara viktiga att inkludera i en sådan metod, baserat på metodjämförelsen och bakomliggande teori kring hur kraftledningar påverkar bland annat arter och naturtyper. Det har även sammanfattats vad det finns för tillgängligt underlag som skulle kunna fungera som indata.

Till skillnad från klimatpåverkan, som har kunnat kvantifieras i ett verktyg, har kvantifieringen av hur kraftledningar påverkar biologisk mångfald fått stanna vid ett resonemang kring vad ett sådant verktyg bör inkludera. Därmed har det inte kunnat tillämpas på en fallstudie, då det krävs mer kunskap för det. I stället har det arbetats fram ett kvalitativt förslag på hur ett verktyg skulle kunna bedöma hur kraftledningar påverkar olika naturmiljöer. Detta har gjorts utifrån tillgänglig litteratur och samtal med bransch-kunniga personer på Norconsult.

3 Två brådskande och sammankopplade utmaningar

Följande kapitel ger en bakgrund till varför frågorna om klimat och biologisk mångfald är två av vår tids viktigaste samt hur de är sammankopplade.

3.1 Den rådande klimatkrisen

Innan den industriella revolutionen låg koncentrationen av koldioxid (CO₂) i jordens atmosfär på en stabil nivå runt 220 ppm. Sedan dess har den stigit till dagens nivå strax över 420 ppm (NOAA, 2022). Det är den högsta uppmätta nivån under minst 2 miljoner år. Även dagens koncentrationer av växthusgaserna metan (CH₄) och lustgas (N₂O) är de högsta som varit under de senaste 800 000 åren. De höga koncentrationerna av växthusgaser har lett till att den globala medeltemperaturen ökat med 1,1 °C sedan industrialiseringen. Uppvärmningen av jorden har i sin tur resulterat i stora och snabba konsekvenser. Smältande isar och glaciärer, stigande havsnivåer, torka och översvämningar är bara några exempel (IPCC, 2023). FN:s klimatpanel IPCC har under de senaste 20 åren konstaterat i sina rapporter att det är människan som står bakom klimatförändringarna. Det har gått från "troligt" (IPCC, 2001) via "mycket troligt" (IPCC, 2007) och "extremt troligt" (IPCC, 2014) till att det, i den senaste rapporten, fastslås att det är "otvetydigt" (IPCC, 2023). Det är främst växthusgasutsläpp från energianvändning, produktion och konsumtion av varor samt markanvändning och förändrad markanvändning som orsakat uppvärmningen (IPCC, 2023).

I och med att koldioxid ackumuleras i atmosfären kommer uppvärmningen att fortsätta åtminstone under de kommande 20 åren. Vissa klimatsystem som har mycket långa responstider, till exempel havsnivåhöjningen, kommer inte att kunna stoppas av minskade utsläpp. Om utsläppen fortsätter kommer jorden även att genomgå andra irreversibla förändringar, till exempel utrotning av arter. Det finns även en stor risk att de naturliga koldioxidsänkorna som finns på land och till havs, som idag dämpar uppvärmningen, kommer att minska upptaget av koldioxid vid ökade koncentrationer av växthusgaser. De klimatrelaterade riskerna är högre än vad som tidigare bedömts och de långsiktiga effekterna är flera gånger högre än vad som nu observeras. Dessa risker och effekter ökar med uppvärmningen och kommer att interagera med varandra i en allt högre grad vilket leder till kaskadriser som är mer komplexa och svåra att hantera (IPCC, 2023).

Med stor sannolikhet kommer ökningen av den globala medeltemperaturen överstiga 1,5 °C redan vid början av 2030-talet. Koldioxidbudgeten för 1,5 °C-målet överstigs nämligen redan av de utsläpp som kommer att genereras av dagens investeringar i fossila bränslen. Det kommer också att bli svårt att begränsa uppvärmningen till mindre än 2 °C. Vid århundradets slut kan temperaturen ha ökat med över 3 °C. För att begränsa uppvärmningen krävs nettonollutsläpp av koldioxid och utsläppen som sker fram till netto noll har en stor betydelse för om temperaturökningen kan begränsas till 1,5 °C eller under 2 °C. Om 1,5 °C-målet ska nås behöver utsläppen nå sin topp senast 2025 för att sedan halveras till 2030 och vara på noll vid 2050 (IPCC, 2023).

Det finns fortfarande tid för att minska utsläppen, men den är knapp. För att minska utsläppen behöver investeringarna flyttas till klimatanpassade åtgärder. Åtgärder som är genomförbara och effektiva idag kommer bli mer begränsade och mindre ekonomiska allteftersom uppvärmningen ökar. De val och insatser som görs detta årtionde kommer därmed ha effekter både nu och i tiotal år framöver. Förutom att en snabb utsläppsminskning skulle minska förluster och skador på samhällen och ekosystem skulle den även ge många sidonyttor. Den

skulle bidra till en förbättring av luftkvaliteten, människors hälsa, matproduktionen och jämställdheten. På så vis skulle FN:s globala mål lättare kunna uppnås (IPCC, 2023).

3.2 Den hotade biologiska mångfalden

Biologisk mångfald är ett begrepp som beskriver att det finns en mångfald av arter, en genetisk variation inom arter och flera typer av naturmiljöer (Naturvårdsverket, u.å.-f). Därmed innefattas inte bara artrikedom utan variation på alla nivåer, från gen till ekosystem (Stockholms stad, u.å.). Ibland används också termen biodiversitet (Skogsstyrelsen, 2022). Den biologiska mångfalden ligger till grund för välfärden. Människligheten är beroende av ekosystemtjänster som till exempel att insekter pollinerar grödor och att ekosystem renar dricksvatten (Naturvårdsverket, u.å.-e). Biologisk mångfald är också en försäkring för framtiden i och med att det gör ekosystemen mer resilienta och anpassningsbara (Naturvårdsverket, u.å.-e; Naturvårdsverket, u.å.-f). Bevarandet av många olika arter skulle kunna se till att det alltid finns någon art som klarar sig vid ändrade förutsättningar, till exempel för livsmedelsproduktionen. Vidare har ett varierat landskap även ett rekreationellt värde (Naturvårdsverket, u.å.-d). Det skulle också kunna argumenteras för att alla arter har ett egenvärde i sig (Naturvårdsverket, u.å.-e).

Tyvärr är läget för den biologiska mångfalden kritiskt. Beräkningar i en rapport publicerad av FN:s panel för biologisk mångfald (IPBES), visar att mellan en halv och en miljon av dagens drygt åtta miljoner arter riskerar att utrotas inom några decennier om inte effektiva åtgärder sätts in för att hindra den negativa utvecklingen (IPBES, 2019). Utrotningstakten är mellan tio och hundra gånger snabbare än var den varit de senaste 10 miljoner åren (Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), 2021). Omfattningen liknar de tidigare massutrotningarna, som då dinosaurierna dog ut för 66 miljoner år sedan. Det gör att vissa benämner det som det sjätte massutdöendet (Naturvårdsverket, u.å.-a). Läget är allvarligt även i Sverige. Här är drygt 2000 arter hotade, av totalt 21 000 (SLU, 2021). Endast 20 % av naturtyperna och 40 % av arterna som anses vara skyddsvärda i EU:s art och habitatdirektiv har gynnsam bevarandestatus. Det innebär att förutsättningarna för de ska finnas kvar på lång sikt inte är tillräckliga. Dessutom går utvecklingen åt fel håll i många fall (Naturvårdsverket, u.å.-a).

I IPBES (2019) rapport beskrivs tre huvudkategorier av hot som anses vara de viktigaste i ett globalt perspektiv. Den vanligaste handlar om att arters livsmiljöer förstörs och fragmenteras. Det sker när markanvändningen förändras för jordbruk, skogsbruk, gruvdrift, urbanisering och infrastrukturbyggen. Det finns en risk för att dessa industrier förorenar mark, vatten och luft vilket kan ha en negativ påverkan på till exempel arters fortplantningsförmåga. Den andra gäller överexploatering av arter. En ohållbart stor del av fiskebestånden tas ut och allt färre arter odlas inom jord- och skogsbruk vilket minskar den genetiska variationen. När behov av att ta naturresurser i anspråk ställs mot miljöaspekter prioriteras ofta mer kortsiktiga ekonomiska intressen framför biologisk mångfald och en helhetssyn på ekosystemtjänster. Den tredje är införsel av främmande arter och genotyper. De kan bli invasiva, det vill säga spridas snabbt i sin nya omgivning och tränga undan de ursprungliga arterna vilket kan leda till allvarliga följd effekter för ekosystemen. Hit räknas också sjukdomsframkallande mikroorganismer såsom bakterier, virus och parasiter.

I Sverige bedömer Naturvårdsverket (u.å.-a; u.å.-f) att de två faktorerna med störst negativ påverkan är igenväxning av odlingslandskapets värdefulla gräsmarker och avverkning av skog. I skogen avverkas nyckelbiotoper, områden som behövs för att hotade och sällsynta arter ska överleva. Allt färre blir även skogar med lång kontinuitet, skogar som har vuxit länge på samma plats och aldrig avverkats men utsatts för naturlig störning som till exempel översvämning och

brand. Framtidsscenarier från IPBES (2019) visar däremot att klimateffekterna kan bli den tydligaste påverkansfaktorn på den biologiska mångfalden under de kommande decennierna. När temperaturen stiger flyttar vegetationszoner och arter norrut eller till högre höjder. Det gör att arter som gynnas av ett kallt klimat, sprider sig långsamt och har en splittrad utbredning blir särskilt utsatta. Till följd av att arterna har olika förutsättningar för att anpassa sig förändras konkurrensförhållandena och sammansättningen av arter.

3.3 Kopplingen mellan klimat och biologisk mångfald

Den rådande klimatkrisen och den hotade biologiska mångfalden är dessutom tätt sammankopplade. Temperaturökningen har en direkt effekt på både arter och hela ekosystem (Pörtner et al., 2021). Av de arter som klassas som hotade eller nära hotade påverkas 19 % av de antropogena klimatförändringarna (Maxwell et al., 2016). Hur påverkan ser ut varierar, vissa arter gynnas av ett växande utbredningsområde medan andra riskerar att försvinna till följd av en krympande livsmiljö. Dessutom sker det förändringar i arters livscykel under året och i samspel mellan arter, till exempel genom tillgången på föda och hur utsatta de är för predation (Pörtner et al., 2021).

Utöver temperaturökningen tillkommer effekter av andra förändringar relaterade till klimatet, som temperatur- och nederbördsextremer, havsnivåhöjning och havsförsurning. Dessa kan förstärka effekten av en ökad temperatur, eller till och med bli den dominerande påverkansfaktorn. Förlusten av biologisk mångfald kan i sin tur försvåra möjligheten att hantera och bromsa klimatförändringarna som orsakade förlusten. Resilienta ekosystem är bättre på att buffra för extrema väderhändelser som blir allt vanligare. Att bevara natur bidrar också till en minskning av växthusgaser i atmosfären. Ekosystem såsom skogar, torvbildande våtmarker och sjögräsängar tar upp och lagrar betydande mängder koldioxid (Pörtner et al., 2021).

Kopplingen mellan klimat och biologisk mångfald gör att båda problemen måste hanteras samtidigt. Människan är nämligen den tredje faktorn i samspelet. Åtgärder för att motverka eller anpassa samhällen till klimatförändringarna kan påverka den biologiska mångfalden, och insatser för att bevara den biologiska mångfalden kan ha en effekt på klimatet. Ett exempel är att intensifiera skogsbruket för snabbare kunna gå över från fossil råvara till biobaserade material och bränslen, vilket minskar skogens artrikedom. Därmed är det optimalt att försöka hitta positiva synergier däremellan, till exempel genom att identifiera naturbaserade lösningar i klimatanpassningen. Det kan handla om att restaurera en våtmark som både skulle kunna skydda mot översvämningar nedströms, binda koldioxid och gynna den biologiska mångfalden (Pörtner et al., 2021).

4 Det svenska kraftsystemet

Följande kapitel beskriver aktörerna inom det svenska kraftsystemet, hur det är uppbyggt samt att det i huvudsak använder växelström i stället för likström. Det ges även en bild av tillståndsprocessen och miljökonsekvensbeskrivningen som behövs innan en kraftledning byggs.

4.1 Olika aktörer balanserar och distribuerar el mellan elområden

Sverige är uppdelat i fyra elområden: Luleå, Sundsvall, Stockholm och Malmö. Den geografiska indelningen kan ses i Figur 1. I elområde Luleå och Sundsvall produceras det mer el än vad som förbrukas medan det i elområde Stockholm och Malmö är brist på el. Vanligtvis transporteras elen från de norra till de södra delarna av Sverige men ibland räcker inte kapaciteten i elledningarna till. Obalansen i produktion och förbrukning samt bristen på kapacitet ger upphov till prisskillnader mellan elområdena. I regel är elen billigare i norr jämfört med söder. Prisskillnaderna ger information om var nya investeringar gör mest nytta och var transmissionsnätet behöver förstärkas (Energimarknadsinspektionen (Ei), u.å.).

I Sverige ansvarar myndigheten Svenska kraftnät för kraftsystemet. Det innebär att de ska se till att det är balans mellan produktion och förbrukning i elsystemet och bidra till en driftsäker distribution av el däremellan. Svenska kraftnät är också utsedd till Sveriges elberedskapsmyndighet. De ska förebygga, motstå och hantera störningar i elförsörjningen. Som statligt affärsverk är det regeringen som bestämmer Svenska kraftnäts uppdrag och arbetsområden (Svenska kraftnät, 2023c). Detta definieras i förordningen (SFS 2007:1119) med instruktion för Affärsverket Svenska kraftnät. Svenska kraftnät ska "på ett affärsmässigt sätt förvalta, driva och utveckla ett kostnadseffektivt, driftsäkert och miljöanpassat kraftöverföringssystem, sälja överföringskapacitet samt i övrigt bedriva verksamheter som är anknutna till kraftöverföringssystemet". Svenska kraftnät ska även bidra till att de energipolitiska målen som riksdagen har beslutat om uppnås. Utöver det har de som ensam aktör också i uppgift att förvalta och utveckla Sveriges transmissionsnät för el (Svenska kraftnät, 2023c).



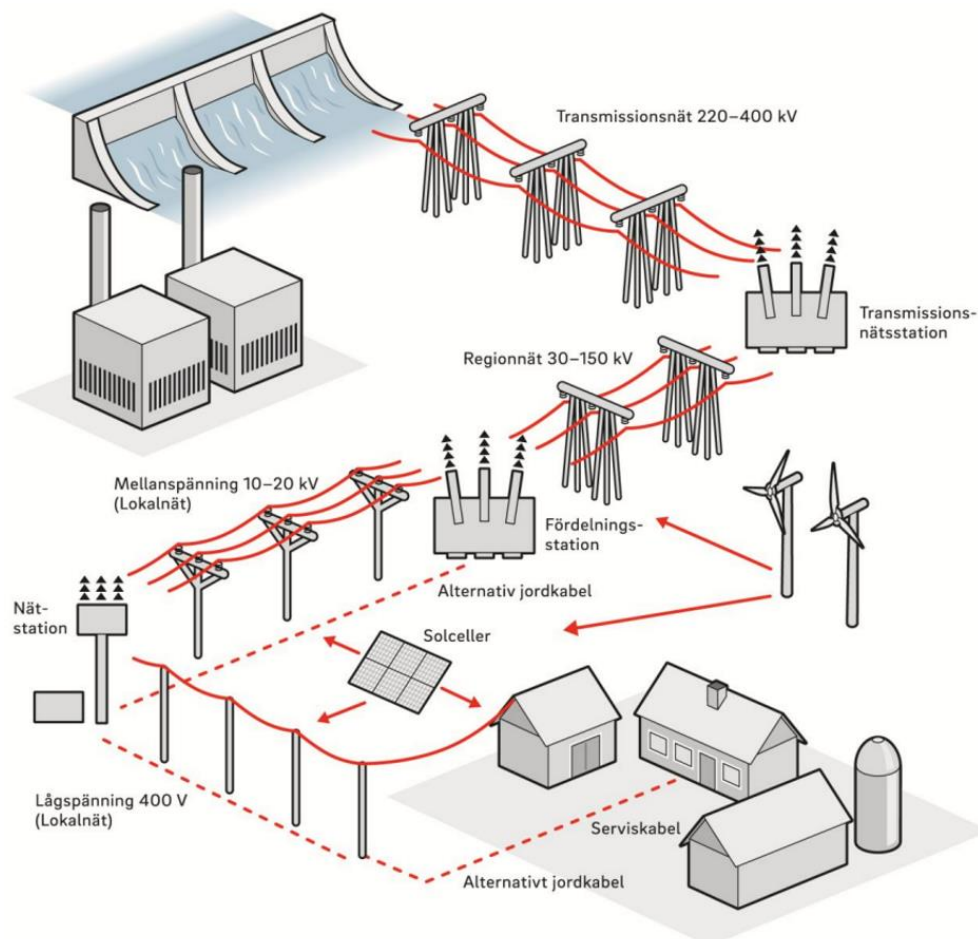
Figur 1. Den geografiska uppdelningen av Sveriges fyra elområden (Ei, u.å.).

Förutom Svenska kraftnät finns det många andra aktörer i det svenska kraftsystemet. Balansen mellan produktion och förbrukning säkerställs och planeras också av andra balansansvariga företag. Produktion och leverans av el till systemet är det elproducenterna som står för. Elen säljs direkt till kunder eller till elbörsen som är en marknadsplats för el där elhandelsföretag handlar med elen. De företagen kan också vara balansansvariga eller elleverantörer. Elleverantörerna säljer elen till elkonsumenterna. De som äger elnäten och överför elen mellan producenter och konsumenterna är elnätsföretag (Svenska kraftnät, 2021g). De fyra största elnätsföretagen i Sverige är Svenska kraftnät, samt Vattenfall Eldistribution, E.ON Eldistribution och Ellevio som är de tre största regionnätsägarna med omkring en miljon kunder vardera (E.ON Sverige, 2023a; Ellevio, 2021a; Svenska kraftnät, 2023c; Vattenfall

Eldistribution AB, u.å.-d). Vidare finns det också en elmarknadshubb som är ett nav för informationen som skickas mellan aktörerna på elmarknaden. Energimarknadsinspektionen (Ei) är tillsynsmyndighet som vägleder och ställer krav på aktörerna i kraftsystemet och elmarknaden (Svenska kraftnät, 2021g).

4.2 Transmissions-, region- och lokalnät

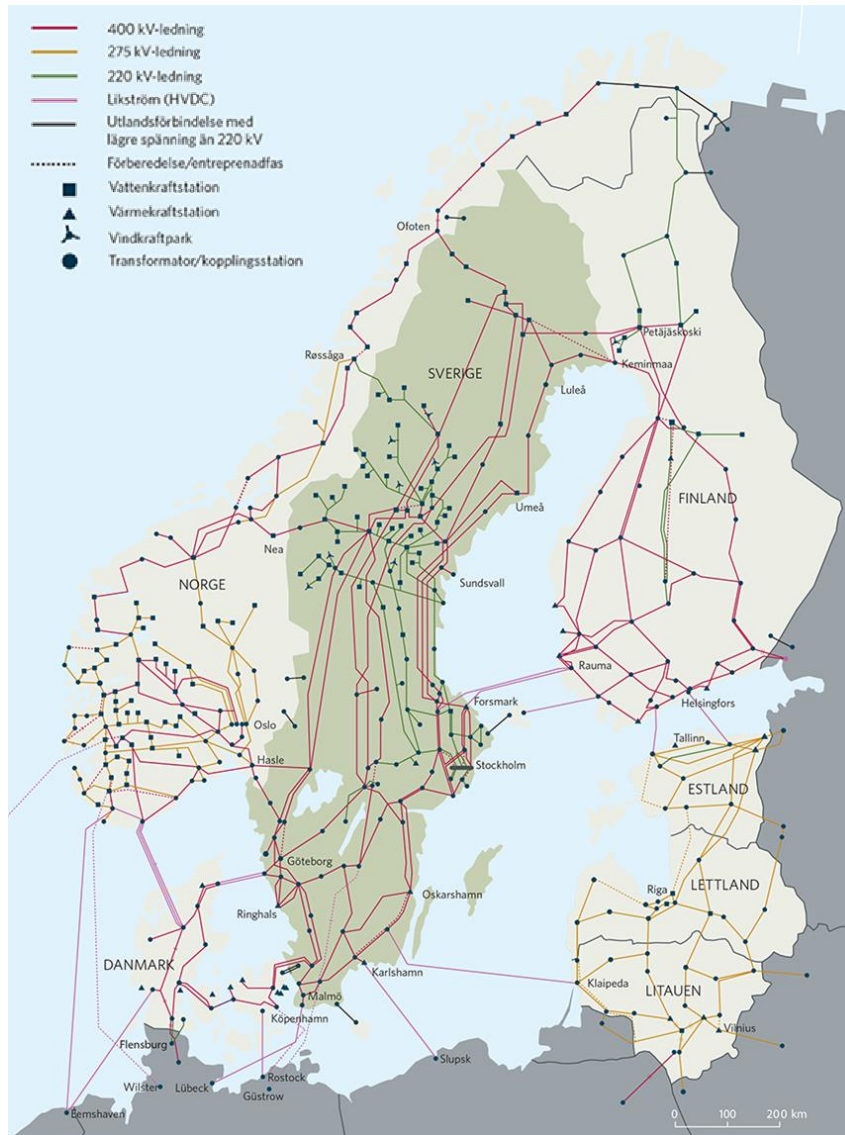
Det svenska elnätet består av ett transmissionsnät, distributionsnät och förbindelser till utlandet. Distributionsnätet består i sin tur av regionnätet och lokalnätet. Dessa kan jämföras med bilvägar där transmissionsnätet är motorvägar, regionnätet är landsvägar och lokalnätet är gator (Svenska kraftnät, 2022c). En översikt över hur de hänger samman kan ses i Figur 2. Mellan transmissionsnätet och regionnätet, mellan regionnätet och lokalnätet samt mellan mellanspänningsledningar och lågspänningsledningar inom lokalnätet finns det transformatorstationer. Där sker en transformering av spänningen till en lägre nivå vilket krävs då de näten har olika spänningar. Dessa stationer, från hög till låg spänning, benämns vanligtvis för stamnätsstation, fördelningsstation respektive nätstation (Ottvall och Green, 2020).



Figur 2. Uppbygganden av det svenska elnätet med transmissionsnät, regionnät och lokalnät samt transformatorstationer (Ottvall och Green, 2020).

Transmissionsnätet är det som tidigare kallades för stamnätet. Det kopplar ihop hela Sveriges elnät och går från de norra till de södra delarna samt ansluter elnäten i andra länder vilket kan ses i Figur 3. Via transmissionsnätet transporteras elen från stora elproducenter till de regionala distributionsnäten och stora elanvändare som ofta också är direkt anslutna till nätet (Svenska kraftnät, 2022c). Totalt består det av 1600 mil ledningar och 175 transformator- och kopplingsstationer. Ledningarna har mycket hög spänning, en fjärdedel utgörs av 220 kV och de

resterande av 400 kV vilket också är standard när det byggs nya ledningar i transmissionsnätet. Det gör att en större mängd el kan transporteras och att överföringsförlusterna blir lägre vilket både är effektivt och bidrar till minskade utsläpp. Om man i stället skulle använda en lägre spänning behövs fler ledningar. Det krävs fyra till åtta 220 kV-ledningar för att ersätta en 400 kV-ledning (Svenska kraftnät, 2021h).



Figur 3. Karta över hur transmissionsnätet är uppbyggt i Norden och Baltikum samt utlandsförbindelser mellan länderna (Svenska kraftnät, 2022d).

Distributionsnätet transporterar el till och från transmissionsnätet, via regionnätet och sedan lokalnätet. Vissa medelstora elproducenter och elanvändare är direkt anslutna till regionnätet. Regionnätet har vanligtvis en spänning på 130 kV och ägs av större elnätsföretag (Svenska kraftnät, 2022c). Det består av 3150 mil ledningar (Energiföretagen Sverige, 2021). Lokalnätet transporterar el till hushåll och företag, men även små elproducenter är anslutna. Det har en spänning på 40 kV eller mindre och innan elen når hushållen sänks spänningen till 230 V. Lokalnätet ägs av flera mindre elnätsföretag (Svenska kraftnät, 2022c) och är 53 450 mil långt (Energiföretagen Sverige, 2021). En sammanställning över de tre nätens totala längd i Sverige och spänningsnivå finns i Tabell 1.

Tabell 1. Ledningslängden och spänningsnivåerna i transmissionsnätet (Svenska kraftnät, 2023a), regionnätet och lokalnätet (Energiföretagen Sverige, 2021).

Nät	Längd (mil)	Spänning (kV)
Transmissionsnät	1600	220, 400
Regionnät	3150	≈ 130
Lokalnät	53 450	< 40

4.3 Växelström och likström

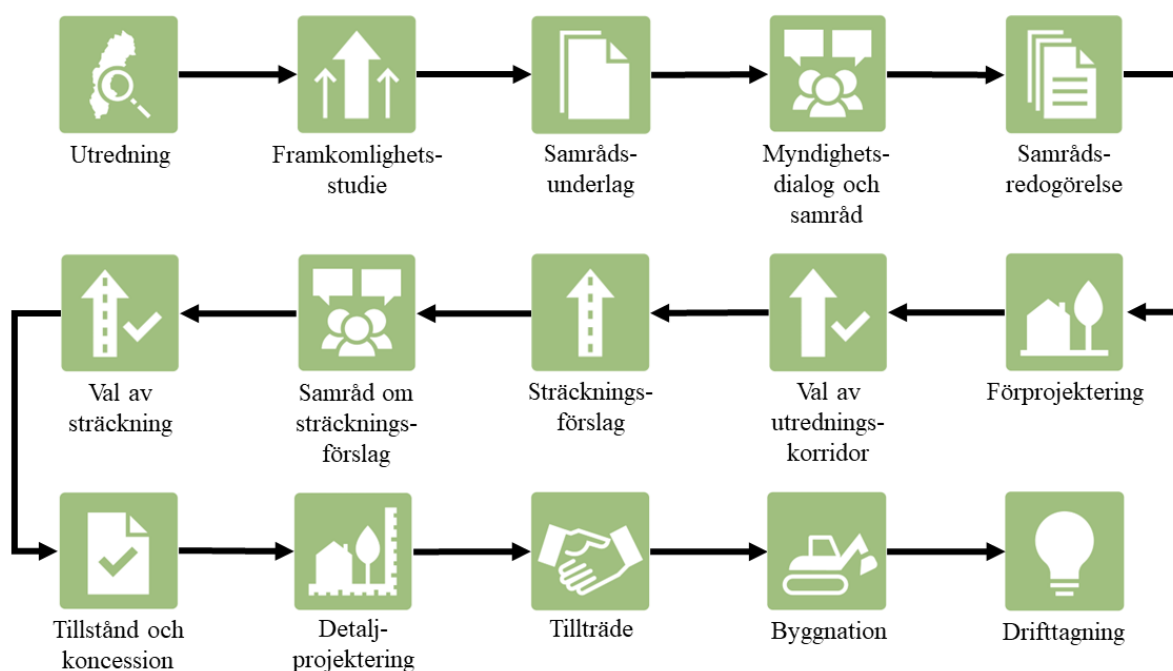
Växelström är det effektivaste sättet att överföra el och därmed den dominerade överföringstekniken. Nästan all el produceras, transporteras och mottas som växelström. Det är idag en etablerad internationell standard och också den som det svenska transmissionsnätet och är baserat på. Även de andra nordiska länderna har ett växelströmsnät vilket möjliggör att länderna är ihopkopplade i ett synkront och robust elsystem (Svenska kraftnät, 2021h).

Likström används endast i undantagsfall och under särskilda omständigheter. Det kan till exempel vara när el ska transporteras långa sträckor, som i sjökablar mellan länder eller för att ansluta vindkraft. Den används också för att koppla ihop kraftsystem som inte är synkrona med varandra. Utöver det används likström ibland för att hantera överföringsbegränsningar i växelströmsnätet. Likström har nämligen fördelen att den lättare kan markförläggas jämfört med en kabel med växelström. På grund av fysikaliska egenskaper får växelströmskablar problem med fasförskjutningar mellan spänning och ström som behöver korrigeras med kompenseringstationer. Det är däremot inte möjligt att helt ersätta växelström med likström i syfte att marklägga alla ledningar, utan endast för att komplettera växelströmsnätet med likströmsförbindelser. Då växelström används i nätet fungerar ledningarna som automatiska reserver för varandra. När det uppstår ett fel eller en ledning behöver tas ur bruk och repareras överförs strömmen automatiskt till andra ledningar med växelström. Om likström används sker ingen automatisk omledning, då måste styrsystemet startas manuellt. Fördröjningen av omledningen av elen i likströmsledningar ökar risken för strömavbrott. Det kan till exempel inträffa om det uppstår ett fel där det saknas kapacitet i transmissionsnätet. Då kan strömmen ledas ned i regionnätet och orsaka en överbelastning (Svenska kraftnät, 2021h).

Som nämnt är transmissionsnätet kopplat till elnätet i kringliggande länder vilket möjliggör import och export av el. Det finns både växelströms- och likströmsförbindelser. När länderna ingår i samma synkronområde och båda ländernas elnät är i fas med varandra används växelströmsförbindelser. Sverige, Norge, Finland och en del av Danmark ingår i det nordiska synkronområdet vilket gör att det är med dessa länder som Sverige har växelströmsförbindelser. När länderna ligger i olika synkronområden eller när det gäller långa avstånd används likströmsförbindelser. Sverige har likströmskablar till Finland, Danmark, Litauen, Polen och Tyskland (Svenska kraftnät, 2021h). Utlandsförbindelserna kan ses i kartan i Figur 3.

4.4 Tillståndprocessen för kraftledning

För att säkerställa att utbyggnaden av elnätet sker på ett demokratiskt vis med hänsyn till bland annat säkerhetsaspekter och miljövärden måste elnätsföretagen ansöka om tillstånd, precis som annan miljöfarlig verksamhet. Det är Ei som ansvarar för att pröva ansökan juridiskt enligt både ellagen och miljöbalken (Ei, 2022). De kan också föreskriva villkor om vissa skyddsåtgärder som bedöms nödvändiga för att tillståndet ska kunna beviljas (Ei, 2021e). Tillståndet kallas för koncession (Ei, 2022). Stegen innan och efter ansökan lämnas in sammanfattas i 15 huvudmoment i Figur 4.



Figur 4. Process för byggnation av kraftledning. Omarbetad från (Svenska kraftnät, 2021j) och (Svenska kraftnät, 2021i).

Processen från att ett behov av en ny elledning har identifierats tills att den tas i drift är lång, upp till 10 år (Svenska kraftnät, 2021j). I vissa fall har det tagit ännu längre tid (NyTeknik, 2023). Först görs en utredning som slår fast behovet av en ny elförbindelse (Svenska kraftnät, 2021j). I samband med det görs en framkomlighetsstudie för att bestämma potentiella utredningskorridorer, bredare områden som den nya förbindelsen kan placeras inom. Dessa presenteras i ett samrådsunderlag som skickas ut till närboende, andra intressenter och tillgängliggörs för allmänheten att ta del av (Svenska kraftnät, 2020c). Under tiden hålls en myndighetsdialog med berörda kommuner och länsstyrelser (Svenska kraftnät, 2021j). Det hålls också ett samrådsmöte med andra aktörer som kan ha avgörande intressen, till exempel Naturvårdsverket och Försvarmakten (Svenska kraftnät, 2020c), samt övriga som berörs av kraftledningen (Svenska kraftnät, 2021j). Efteråt sammanställs och bemöts yttrandena i en samrådsredogörelse (Svenska kraftnät, 2021i).

Efter samrådsperioden kartläggs fastigheter, natur- och kulturmiljö, byggbarhet och andra avgörande aspekter i en förprojektering (Svenska kraftnät, 2020c). Utifrån det införskaffade underlaget görs en samlad bedömning av vilken utredningskorridor som sammantaget har den minsta möjliga påverkan på omgivningen. Ibland bestäms även den slutgiltiga sträckningen inom utredningskorridoren. I andra fall tas ett förslag om sträckning fram separat, med ett enskilt samråd och bedömning (Svenska kraftnät, 2021i). Efter detta är det dags att skicka in koncessionsansökan tillsammans med samrådsredogörelsen och en miljökonsekvens-

beskrivning (MKB) till Ei. Mer om vad en MKB innehåller finns att läsa i 4.5 *Miljökonsekvensbeskrivning med naturvärdesinventering*. Ibland behövs det även ansökas om olika typer av dispenser som beslutas av kommuner och länsstyrelsen (Svenska kraftnät, 2021j). Under Ei:s handläggning skickas ärendet ut på remiss till samtliga berörda (Svenska kraftnät, 2020c). Överklagas Ei:s beslut för en ledning inom lokal- eller regionnätet är mark- och miljöödomstolen nästa juridiska instans. Deras dom i målet kan i sin tur överklagas till mark- och miljööverdomstolen som då beslutar om prövningstillstånd. Nekas målet prövningstillstånd vinner tillståndet laga kraft (Vattenfall Eldistribution AB, u.å.-c). Överklagas Ei:s beslut för en ledning inom transmissionsnätet avgörs ärendet av regeringen (Svenska kraftnät, 2020c).

När koncessionen är klar görs en detaljprojektering där tekniska detaljer bestäms, såsom placering av stolpar och dragning av kablar (Svenska kraftnät, 2021j). Därefter behövs åtkomst till den mark som ledningen kommer att ta i anspråk. I första hand löses det genom skriftliga överenskommelser med berörda fastighetsägare. Det görs i så kallade markupplåtelseavtal som också brukar innefatta en kompensation i form av en intrångsersättning. Ersättningen regleras i expropriationslagen (SFS 1972:719). I de fall det är svårt att hitta en gemensam lösning är det möjligt för ledningsägaren att ansöka om ledningsrätt. Det innebär att Lantmäteriet prövar om ledningsägaren ändå ska få nyttjanderätt till marken samt vilken ersättning som ska utgå (Vattenfall Eldistribution AB, u.å.-c). Begär fastighetsägaren att fastigheten i stället ska lösas in ska den göra det enligt 12 § ledningsrättslagen (SFS 1973:1144). Efter det är det slutligen dags att börja bygga vilket vanligtvis tar två till tre år, beroende på ledningens längd, utformning och vilka miljötyper den passerar. Är den sökande det statliga Svenska kraftnät eller Vattenfall ska entreprenören först upphandlas. Det sista steget är att elförbindelsen tas i drift och det löpande underhållet tar vid (Svenska kraftnät, 2021j).

4.5 Miljökonsekvensbeskrivning med naturvärdesinventering

Vid ansökan om nätkoncession måste det inkluderas en MKB (Ei, 2021b). Den utgör ett viktigt underlag för Ei när de ska bedöma uppfyllandet av kraven för miljö och människors hälsa som ställs i 2–4 kap. och 5 kap. miljöbalken (MB) (SFS 1998:808). En MKB ska upprättas med utgångspunkt i ett samråd med alla intressenter. Hur omfattande den bör vara varierar med projektets storlek och påverkan (Ei, 2021c). Om länsstyrelsen beslutar att verksamheten inte medför en betydande miljöpåverkan räcker det att den sökande gör en så kallad liten MKB (6 kap. 26 § MB). Den ska innehålla de upplysningar som behövs för en bedömning av de väsentliga miljöeffekterna som åtgärden eller verksamheten förväntas ge (6 kap. 47 § MB). Exakt vilka de är avgörs från fall till fall.

Vad en mer omfattande MKB ska innehålla regleras i 6 kap. 35 § MB. Själva huvuddelen utgörs av en identifiering, beskrivning och bedömning av verksamhetens miljöeffekter. Det ska tydligt framgå hur de förväntas förändra de rådande miljöförhållandena samt om det behöver vidtas några skyddsåtgärder. Enligt Naturvårdsverket (u.å.-b) är det också viktigt att skilja på påverkan, effekt och konsekvens. Påverkan är den fysiska åtgärden i sig. Effekten är den mät- eller registrerbara förändringen i miljö kvalitet som uppkommer i omgivningen på kort, medellång eller lång sikt. Konsekvensen är betydelsen av denna förändring. I Svenska kraftnäts (2021b) MKB:er beskrivs konsekvenser som är både direkta, indirekta, positiva, negativa, tillfälliga och kumulativa.

För Svenska kraftnät (2021b) innebär detta en utredning av följande intresseområden: bebyggelse och boendemiljö, stads- och landskapsbild, kulturmiljö, rekreation och friluftsliv, naturresurshushållning, mark och vatten, rennärning, infrastruktur och planförhållanden, totalförsvaret och naturmiljö. Detta gäller både påverkan under anläggningsfasen och när

ledningen är i drift (Ei, 2021c). En MKB blir extra viktig om ledningen berör riksintressen, Natura 2000-områden, nationalstadsparker, nationalparker, strandskydd, naturreservat, biotopskyddsområden, nyckelbiotoper eller skyddade arter (Svenska kraftnät, 2021b). Klimatpåverkan tas inte med som en egen aspekt hos Svenska kraftnät (2021b) då de bedömer att det inte finns tillräckligt med underlag för att räkna på växthusgasutsläppen för respektive projekt i driftskedet. I stället anser de att den bör beskrivas översiktligt, exempelvis att en kortare ledning innebär mindre materialåtgång och därmed lägre klimatpåverkan och att en ledning som tydligt medför anslutning av förnybar el medför en positiv klimatpåverkan (Svenska kraftnät, 2021b). Det har inte hittats exempel på när andra elnätsaktörer nämner beräkning av klimatpåverkan, endast anslutning av grön el.

I en MKB ska det också redogöras för vilka material som används för ledningen och vilken påverkan de har på den omgivande miljön. Det ska anges vilken typ av kabel som används och om stolparna är gjorda av stål, komposit, impregnerat trä eller annat. Impregneringsmedlet som används måste vara godkänt av Kemikalieinspektionen (KemI). Det ska också framgå om ledningarna är isolerade och beskrivas vad eventuella fundament består av, exempelvis kreosotimpregnerade balkar eller betong. Dessa uppgifter används när Ei ska bedöma miljöpåverkan från den valda tekniken enligt 2 kap. 3 § MB. Ytterligare tekniska uppgifter som ska finnas med handlar om buller, magnetfältsnivåer där människor vistas och information om ledningen korsar andra ledningar, allmänna vägar, järnvägar och sjöfartsleder (Ei, 2021c).

Ofta medför en MKB att en naturvärdesinventering (NVI) behöver utföras i fält, antingen längs med delar av ledningens sträckning eller i hela utredningsområdet (Ei, 2021c). Det gäller alltid om länsstyrelsen har bedömt att ledningen medför betydande miljöpåverkan eller om innefattar långa sträckningar som passerar genom känsliga miljöer eller i orörd terräng (Ei, 2021d). För att alla NVI:er ska vara så likvärdiga som möjligt följer inventeraren svensk standard (SS 199000:2014). NVI:n kan också behöva kompletteras med en separat fågelinventering, speciellt om en avverkning ska utföras (Ei, 2021c). Det är viktigt att tänka på att inventeringarna ska göras under rätt tid på året (Ei, 2021d). I undantagsfall kan NVI:n utföras som en skrivbordsstudie där kunskap som redan finns används. Det kan exempelvis göras genom ett utdrag gällande växter, djurarter och fåglar från Artportalen, som drivs av Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) (Ei, 2021d). Ett sådant beslut måste motiveras tydligt i MKB:n, till exempel med att ledningen ska dras i stadsmiljö eller parallellt med en annan ledning (Ei, 2021c).

5 Två huvudtyper av kraftledningar

Det finns två huvudtyper av kraftledningar, luftledning och markkabel, som används i varierande utsträckning. Transmissionsnätet består nästan uteslutande av luftledning (Vattenfall Eldistribution AB, u.å.-b). Detsamma gäller för regionnätet som har 95 % luftledningar. För lokalnätet är förhållandet omvänt och endast 23 % består av luftledning (Energiföretagen Sverige, 2021). Luftledning och markkabel har både många för- och nackdelar och fungerar bäst under olika förutsättningar. Därför jobbar man inom kraftledningsbranschen enligt principen rätt teknik på rätt plats (Lejestrand, 2021). Markkabel används främst inom tätbebyggda områden då den inte kräver så mycket mark. Den har dessutom ett lägre magnetfält och har ingen visuell påverkan (Energiföretagen Sverige, 2021). Kabel kan även användas på landsbygden där det är begränsat med utrymme eller där det är för mycket träd som står för nära (Vattenfall Eldistribution AB, u.å.-b). När man behöver korsa stora vattendrag brukar markkabel också användas (Stenborg, u.å.-b). Luftledningar används för transport av el under längre sträckor. För Svenska kraftnät (2021h) är det standard att använda luftledningar i transmissionsnätet. De tycker endast att markkabel bör övervägas i undantagsfall, som till exempel i storstadsområden som är en svårframkomlig miljö där påverkan på många boendemiljöer blir stor och det finns ett stort effektbehov. Elföretagen Sverige (Lidholm, 2021) förordar även luftledning i regionnätet och anser att kabel ska begränsas till där det är nödvändigt.

5.1 Utformning av luftledning

Följande avsnitt ger en översikt av en luftledning och dess mest betydande komponenter.

5.1.1 Typer av stolpar

De luftburna kraftledningarna består av stolpar med tillhörande delar. Det 1600 mil långa transmissionsnätet består av cirka 50 000 stolpplatser. Stolparna placeras och utformas utefter platsens förutsättningar som typ av mark, topografi och naturvärden för att minimera störningen på närmiljön. Stolparna står med ett avstånd på ungefär 200 till 330 m beroende på spänningsnivå. Ibland är avståndet längre om terrängen kräver det, som till exempel när kraftledningen går över en sjö (Svenska kraftnät, 2021f). Höjden på stolparna anpassas efter spänningsnivå, säkerhet, och topografi. När ledningarna korsar sjöfartsleder och vägar måste stolparna vara tillräckligt höga för att det ska vara tryggt att passera under medan de vid flygplatser generellt är lägre för att inte störa flygtrafiken. Vanligtvis är stolparna mellan 20 m och 35 m höga, men vissa är upp till 100 m höga (Svenska kraftnät, 2023b).

Det finns många typer av stolpar som används i olika delar av kraftnätet. Det gäller även om man bara ser till transmissionsnätet. Där är dock de vanligaste stolparna A- och B-stolpe när man bygger raka ledningar (Svenska kraftnät, 2021f), se bilden till vänster och i mitten i Figur 5. De kallas raklinjestolpar eller portalstolpar (Stenborg, u.å.-a). A-stolpar har två ben som står som bokstaven A och stag som hjälper till att stabilisera. B-stolpar har två kraftigare, raka ben utan stag och behöver därför kraftigare fundament för att stå stabilt. Det gör att materialåtgången för B-stolpar är större både för själva stolpen och fundamentet, vilket resulterar i att B-stolpar väger nästan dubbelt så mycket som A-stolpar (Svenska kraftnät, 2021f). På så vis är A-stolpar både billigare och har en lägre klimatpåverkan än B-stolpar. Dock gör stagen att A-stolpar vanligtvis kräver en större markyta än B-stolpar (Svenska kraftnät, 2021a). Därför används A-stolpar normalt i skogsmark och B-stolpar på åkrar samt vid andra, speciella markförhållanden där A-stolpar inte kan användas. På både A- och B-stolpar är linorna placerade horisontalt i bredd. Om man i stället vill bygga ledningar på höjden, med vertikalt

placerade linor, använder man julgransstolpar som är högre. Ett exempel på en sådan stolpe visas till höger i Figur 5. Utöver dessa raklinjestolpar finns det bland annat H-, T-, M- och S-stolpar och även specialdesignade stolpar (Svenska kraftnät, 2021f).



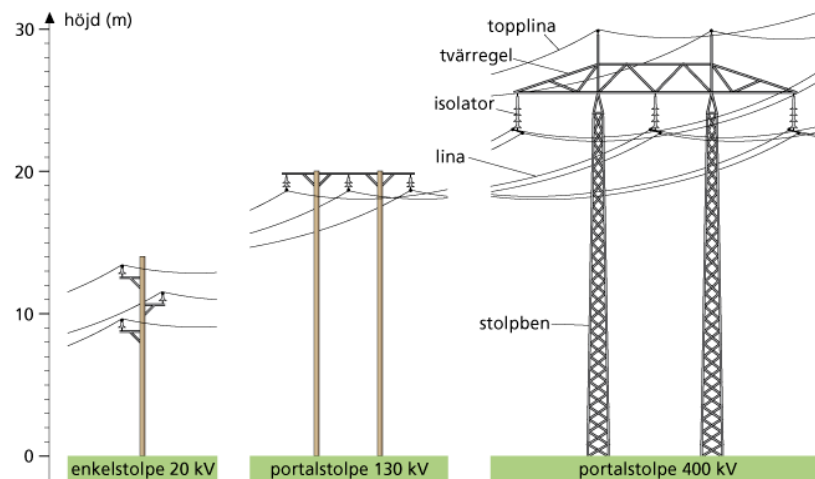
Figur 5. Till vänster en stadgad A-stolpe och i mitten en ostadgad B-stolpe, de vanligaste stolparna i transmissionsnätet. Till höger en julgransstolpe som används när linorna placeras vertikalt (Svenska kraftnät, 2021e; Svenska kraftnät, 2019).

När man ska byta riktning på kraftledningen med mer än 10 grader använder man oftast vinkelstolpar. De är mer robusta för att klara krafterna som de utsätts för i sidled. Det finns vinkelstolpar för måttliga vinklar, runt 20 grader, som består av tre ben och har staglinor utbredda vinkelrätt mot ledningsriktningen (Svenska kraftnät, 2013), se vänster i Figur 6. För mycket stora vinklar, runt 100 grader, används en bred och ännu kraftigare stolpe som kallas stubbe (Svenska kraftnät, 2021a), se höger i Figur 6. En annan typ av stolpe är ändstolpen som börjar och avslutar varje ledning och därmed utgör gränssnittet mot elstationer. Den är speciellt konstruerad för att kunna hantera de starka krafterna från ledningssidan som är mycket större än krafterna från stationssidan. Samtliga stolpar ska ha en livslängd på upp till 100 år. För transmissionsnätet är alla 400 kV-stolpar därför gjorda av stål i fackverkskonstruktion medan stolpar till 220 kV både kan vara av stål eller impregnerat trä. För att säkra livslängden underhålls stolparna genom regelbundna inspektioner (Svenska kraftnät, 2021f).



Figur 6. Till vänster en traditionell vinkelstolpe för mindre vinklar. Till höger en stubbe för större vinklar (Svenska kraftnät, 2021e).

För regionnätets något lägre spänningsnivåer krävs inte lika kraftiga stolpar som i transmissionsnätet. Fortfarande är portalstolpen den vanligaste men i regionnätet har den i stället två ben av impregnerat trä och en stålbalk som tvärregel. Även stolpar av fackverkskonstruktion i stål och komposit förekommer. I lokalnätet används vanligtvis enkelstolpar som består av ett ben i impregnerat trä med vertikalt placerade linor. Stolparna som används i region- och lokalnätet är lägre än transmissionsnätets stolpar, runt 15–20 m höga. En jämförelse av stolparna som används i de olika näten kan ses i Figur 7.



Figur 7. Jämförelse mellan stolpar i lokalnätet, regionnätet och transmissionsnätet (Stenborg, u.å.-a).

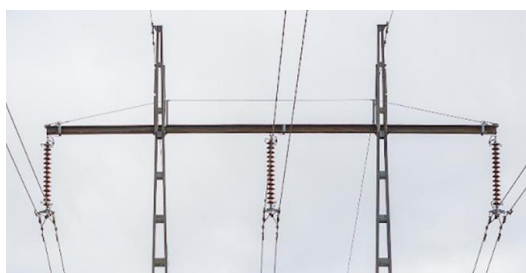
5.1.2 Ledningarna består av faser och linor

Mellan kraftledningsstolparna går ledningar som överför elen. På de flesta stolpar sitter det tre ledningar som kallas faser. På portalstolpar sitter en fas i mitten och två på stolpens utsidor (Svenska kraftnät, 2021f). Fasledarna består i sin tur av olika antal linor, en lina (enledare) för låg spänning eller flera parallellkopplade linor (multipelledare) vid hög spänning. Multipelledare har lägre elektrisk fältstyrka vid ledarytorna vilket ger högre driftspänning. De har också lägre reaktans med samma ledningsförmåga vilket innebär bättre driftegenskaper. För det mesta används två eller tre linor per fas, duplex respektive triplex (Stenborg, u.å.-a). En lina per fas benämns simplex. Vanligtvis består linorna av aluminiumtrådar slagna runt en mekaniskt bärande kärnlina gjord av stål. Det gör att linan får en tillräckligt hög draghållfasthet. Vissa linor har i stället en kärna gjord av en legering mellan kisel och magnesium (Stenborg, u.å.-a). Faslinorna i transmissionsnätet är cirka 4 cm i diameter, medan de i regionnätet är runt 3–4 cm (Ottvall och Green, 2020).

Längst upp på stolparna i transmissionsnätet går det vanligtvis två topplinor. Dessa är förbundna med marken vid stolparna och är till för att skydda faslinan om en blixtnedslag skulle slå ner i ledningen (Stenborg, u.å.-a). De ser till att huvuddelen av felströmmen leds tillbaka till stationen och att faslinan inte skadas. Det gör att risken för strömavbrott på grund av åska minskar. Topplinan kan också inkludera en optisk fiber som används för datakommunikation (Svenska kraftnät, 2021f). I transmissionsnätet finns det ytterligare en jordlina i marken längs med hela ledningen. I regionnätet används vanligtvis en topplina och/eller en jordlina i marken. I lägre spänningsnivåer används inte topplinor, då hänger i stället en jordlina under faslinorna (Ottvall och Green, 2020).

5.1.3 Isolatorer mellan stolpen och ledningarna

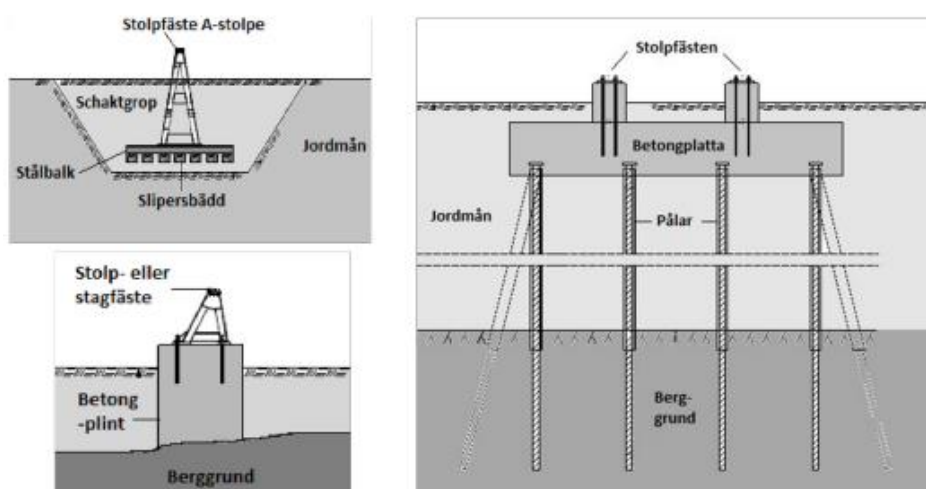
Mellan de strömförande linorna och stolparna sitter det isolatorer som hindrar en överföring av el från lina till stolpe. Idag görs de vanligtvis av glas, men på äldre stolpar finns det isolatorer av porslin (Svenska kraftnät, 2021f). Båda materialen har hög elektrisk genomslagshållfasthet, hög tryckhållfasthet och låg draghållfasthet. Man har även börjat använda andra material som komposit och silikongummi med en mekanisk bärande kärna av glasfiber. De har lägre vikt vilket kan tillåta en lättare konstruktion av stolparna (Stenborg, u.å.-a). I transmissions- och regionnätet används hängisolatorer. Det innebär att linorna hänger under stolpens balk, vilket kan ses i Figur 8. Hängisolatorerna består av klockor gjorda av isolatormaterialet som är kedjade i varandra med hjälp av metalldelar. Beroende på hur lång isolatorn behöver vara används olika antal klockor (Stenborg, u.å.-a). Längden på isolatorerna kan variera från några decimeter till flera meter. Ju högre spänning det är i ledningen, desto längre måste isolatorerna vara. I transmissionsnätet är isolatorerna vanligtvis runt 4 m långa (Ottvall och Green, 2020).



Figur 8. Hängisolatorer i transmissionsnätet (Ärlemo, u.å.).

5.1.4 Fundament för jord, berg och med pålar

Både stolparna och stagen förankras i marken med fundament. Det finns tre typer av fundament: jordfundament, bergfundament och pålfundament (Svenska kraftnät, 2021a). Bilder över dessa kan ses i Figur 9. Jordfundament är den vanligaste typen av fundament och används i fast mark där stolpen eller staget inte kan förankras i berg. För varje stolpfundament eller stagförankring grävs ett 1,8–3 m djupt schakt. Om det är lösare mark läggs en geoduk i botten. Sedan läggs en slipersbädd och sliprarna sätts ihop med varmförzinkade stålbevar. Stolpen eller staget förankras i sliperbädden och till sist fylls schaktet igen (Svenska kraftnät, 2013).



Figur 9. Längst upp till vänster ett jordfundament med slipersbädd, under det ett bergfundament och till höger ett pålfundament (Svenska kraftnät, 2021a).

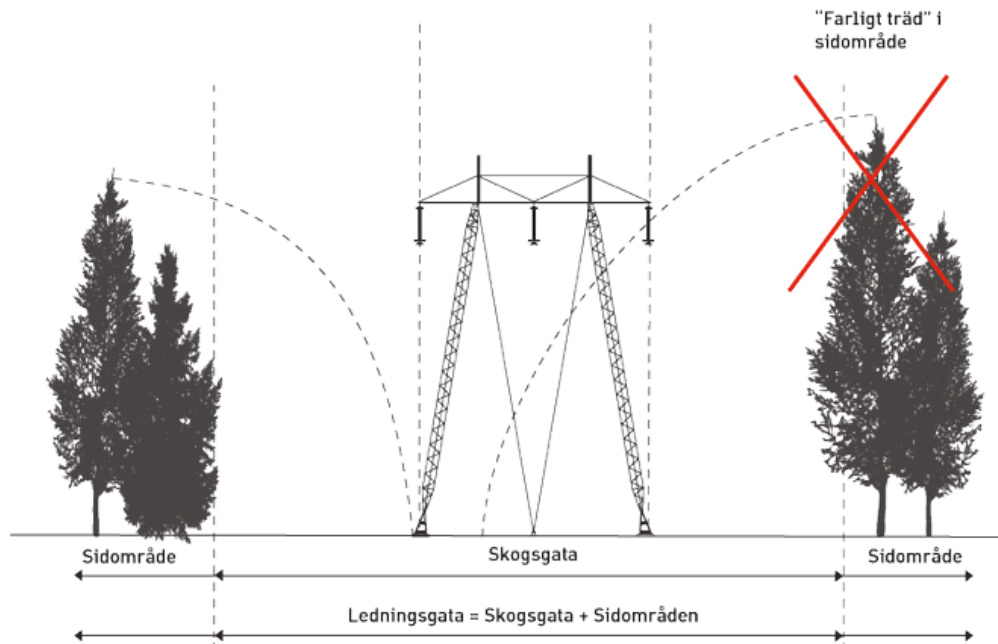
Förr bestod slipersbädden av kreosotbehandlat trä. Det är även det vanligaste impregneringsmedlet för trästolparna. Kreosot skyddar mot röta och insektsangrepp vilket därmed förlänger livslängden (Energiföretagen Sverige, 2017a). Det är en restprodukt vid torrdestillation av stenkolk och består av ett hundratal ämnen. Flera av dem är både persistenta, bioackumulerande och toxiska (Kemikalieinspektionen (KemI), 2022b). Därför är kreosot klassat som ett särskilt farligt ämne, cancerframkallande och giftigt för jord- och vattenlevande organismer (KemI, 2022a). Svenska kraftnät (2017b) bedömer däremot miljöriskerna som lokala, i direkt anslutning till en impregnerad stolpe eller fundament. De använder därför fortfarande kreosot i undantagsfall men har som mål att fasa ut det helt. För A- och B-stolpar använder de i stället prefabricerade eller platsgjutna betongfundament när det är möjligt (Svenska kraftnät, 2021d). Andra elnätsföretag vidtar liknande åtgärder (E.ON Energidistribution, 2021; Ellevio, 2021c; Vattenfall Eldistribution AB, u.å.-a)

Bergfundament används när avståndet till berg är mindre än två meter. Först schaktas marken ner till berget och ett fundament i betong förankras i och gjuts på berget. Stolpen eller staget förankras i sin tur med bultar i fundamentet. Sedan fylls schaktet igen. Pålfundament å andra sidan används när marken är för instabil för jordfundament och berget är på ett för långt avstånd för bergfundament, till exempel i myrmarker. Det monteras genom att pålar slås ner i marken och berggrunden. På pålarna gjuts en betongplatta som stolpbenen förankras i. För pålfundament används alltid ostagade stolpar (Svenska kraftnät, 2013).

Val av fundament beror därmed på de geotekniska och hydrologiska förutsättningarna vid varje stolp- eller stagplats. Därför vet man först vid detaljprojekteringen vilka typer av fundament som bör användas (Svenska kraftnät, 2021a). Eftersom varje stolpe och stag har separata fundament kan fundamentstyperna skilja sig, till exempel genom att stolpen har bergfundament, medan stagen har jordfundament. Dimensionerna på fundamenten beror både på geotekniska förutsättningar, stolpens höjd och vikt, stolptyp samt avstånd till närmaste intilliggande stolpe (Svenska kraftnät, 2013). Vanligtvis behövs en yta av cirka 5 x 5 m runt varje stolpben men för vissa kraftiga vinkelstolpar kan det behövas en yta på 40 x 40 m (Svenska kraftnät, 2021a).

5.1.5 Ledningsgata för luftledning och dess underhåll

När man bygger luftledningar får man ett område under och runt ledningarna som kallas ledningsgata. Den består av en röjd skogsgata och sidoområden där endast farliga träd avverkas (Svenska kraftnät, 2020d), se Figur 10. I regionnätet är skogsgatan ofta 35–40 m (Energiföretagen Sverige, 2021) medan den i transmissionsnätet är 50 m. Sidoområdena är normalt 10 m breda, men det kan variera beroende på ledningskonstruktion och terräng (Svenska kraftnät, 2017a).



Figur 10. Ledningsgatan består av en skogsgata och sidområden där farliga träd avverkas (Svenska kraftnät, 2020d).

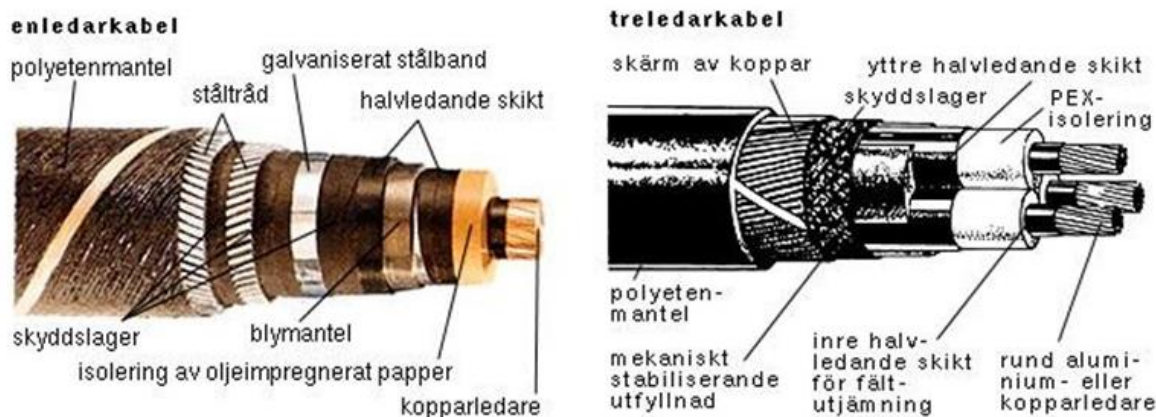
Både skogsgatan och sidområdena behöver underhållas för att säkerställa driftsäkerheten och för att enklare kunna reparera ledningarna (Svenska kraftnät, 2020d). Normalt sker röjningen i cykler om 8 år. Varje år besiktas stora delar av ledningsnätet med laser från helikopter för att upptäcka vegetation som vuxit sig för nära anläggningarna. Träden får inte vara så höga att de kan falla över kraftledningen vid en storm (Svenska kraftnät, 2022b). Vart fjärde år sker en röjningsbesiktning där all vegetation som stör tillsynen eller kan skada ledningen fram till nästa röjningstillfälle tas bort. I skogsgatorna tas högväxande träd och buskar bort medan lägre vegetation lämnas kvar (Svenska kraftnät, 2020d). Stolpplatser och en patrullstig under ledningen röjs helt och hållet (Länsstyrelsen Jönköping, 2008). Vart åttonde år besiktas kraftledningen från marken och potentiellt skadliga träd i sidområdet avverkas (Svenska kraftnät, 2020d). Efter 8 år börjar schemat om (Svenska kraftnät, 2022b).

5.2 Utformning av markkabel

Följande avsnitt ger en översikt av en markkabel och dess mest betydande komponenter.

5.2.1 Kraftkabelns uppbyggnad

Kraftkabeln kan vara antingen en enledarkabel med en isolerad ledare, en fas, eller en flerledare med flera isolerade faser. Ett exempel på varje kan ses i Figur 11. Ledaren är gjord av aluminium eller koppar. Vanligtvis används tvärbunden polyeten (PEX) som isolering runt kabeln men vid lägre spänningsnivå förekommer även polyvinylklorid (PVC). Varje ledarisolering omges med en skärm av halvledande material. Kabeln får sedan en skyddande mantel av polyeten som ska motstå fukt och temperaturväxlingar samt eventuellt en armering för att motstå mekanisk påverkan (Stenborg, u.å.-b). En enledarkabel för 130 kV kan vara 7-9 cm i diameter och väga 8-12 kg/m (E.ON Energidistribution, 2008). På grund av den höga vikten får det plats med 700–900 m kabel på en kabeltrumma som ska vara hanterbar vid transporter. Det innebär att kabeln behöver skarvas med samma intervall. Vanligtvis sätts kablarna ihop tre och tre i kabelförband i schaktet (Energiföretagen Sverige, 2021).

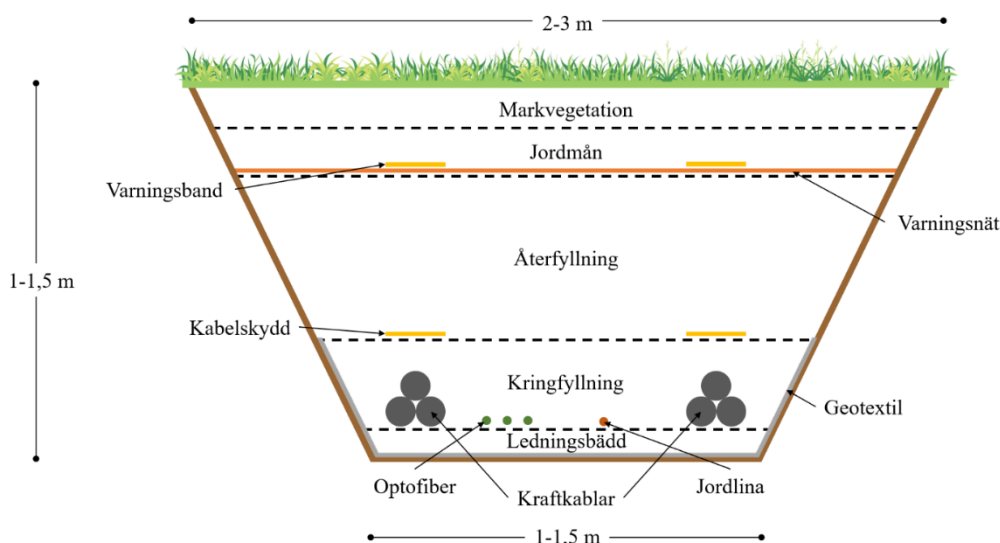


Figur 11. En kraftkabels uppbyggnad, till vänster en enledare och till höger en treledare (Stenborg, u.å.-b).

5.2.2 Schaktning och igenfyllning av kabeldiken

Vid förläggning av markkabel måste kabeldiken schaktas. Dessa diken varierar i storlek, bland annat beroende på antalet kabelförband. De kan också bestå av olika typer av schakt. Jordschakt kan vara direktförlagt eller rörförlagt, vilket innebär att kabeln läggs ned direkt i schaktet respektive först i ett skyddande plaströr. Bergschakt är, som namnet låter, ett schakt i mark som är rikt på berg vilket kräver sprängning. I bergschakt ligger kablarna i regel i skyddsror.¹

Ett generellt tvärsnitt av ett kabeldike kan ses i Figur 12. Vanligtvis schaktas formen av en likbent parallelltrapets med en bredd på 2–3 m vid markytan, en bredd på 1–1,5 m i botten av schaktet och ett djup på 1–1,5 m (Svenska kraftnät, 2018a). Det innebär att tvärsnittsarean normalt varierar mellan 1,5–3,4 m². Under anläggningen behöver man upprätta en arbetsväg parallellt med schaktet och avlastningsplats för att lägga schaktmassor, stenar, rötter och stubbar. Det gör att det totalt behövs ett utrymme som är 15–20 m brett. Om schaktet går genom skogsmark behöver denna yta först avverkas. Om ledningen ska läggas parallellt med befintlig väg kan den användas som arbetsväg vilket gör att det endast behöver röjas 10–15 m (Energiföretagen Sverige, 2021).



Figur 12. Ett tvärsnitt av ett kabeldike med direktförläggning.

¹ Carolin Bangay, kraftledningskonsult på Norconsult. Teamsmöte den 22 februari 2023.

Figur 12 visar även hur lagren i kabeldiket ser ut efter att kablarna har lagts ned och diket fyllts igen. I botten av schaktet skapas en ledningsbädd som kablarna placeras på, ofta av sand. Sedan läggs en kringfyllning runt och på kablarna. Fyllningen består av finare grus eller en blandning av grus, stenmjöl och cement. Den skyddar kablarna från mekaniska påfrestningar och transporterar bort förlustvärmen så att kablarna inte överhettas. På detta läggs ett kabelskydd för att uppmärksamma de som gräver i marken på var kabeln är och på så vis minska risken för grävskador. Efter det fylls diket igen med schaktmassor, vilket i bilden beskrivs som återfyllning, jordmån och markvegetation (E.ON Energidistribution, 2008). Det är speciellt viktigt att lagren hamnar i rätt ordning för jordbruksmark där den övre matjorden ska läggas överst (Energiföretagen Sverige, 2021). Det läggs också in varningsband och/eller varningsnät med samma syfte som kabelskydden. Kabelledningen markeras även ut ovanför mark (E.ON Energidistribution, 2008). Ofta läggs också en jordlina och optorör ned i schaktet. I optorören dras sedan optofiber (Svenska kraftnät, 2018a).

Schaktmassorna brukar klassificeras som Fall A eller Fall B. Fall A innebär att schaktmassorna kan återanvändas, vilket innebär att de grävs upp, läggs åt sidan och sedan tillbaka i schaktet. Fall B är när schaktmassorna inte kan användas igen och behöver fraktas iväg för omhändertagande, till exempel på en deponi. Det är till exempel när massorna är förorenade, inte är av tillräcklig kvalitet eller innehåller invasiva arter. Det gäller även rena överskottsmassor som inte kan lämnas på platsen.²

Kabeln projekteras för att beröra så få värden som möjligt men beroende på platsens förutsättningar kan den behöva korsa befintlig infrastruktur. Om det gäller byggnader, vägar och cykelvägar av mindre storlek och betydelse kan de beslutas att först rivs och sedan återställas för att möjliggöra ett traditionellt schakt. På de platser där kabeln behöver korsa större vägar, järnvägar och vattendrag bedöms schaktning vara olämpligt. I stället används tekniker för en schaktfri kabelförläggning. En av dessa tekniker är styrd borring vilket innebär att man först borrar ett hål under hindret och sedan drar ett plaströr för kablarna genom hålet. Denna teknik kan dock inte användas när marken är för hård. Där kan i stället hammarborring eller rörramning användas. Då borrar eller slås ett järnrör igenom marken vilket sedan ett plaströr för kablarna dras igenom (E.ON Energidistribution, 2008). Vanligtvis läggs kablarna även i mindre skyddsror.³

Markkabelns igenfyllda kabeldike, och det tidigare omkringliggande arbetsområdet, blir en ledningsgata som behöver underhållas och röjas, precis som för luftledningar. Det görs för att ledningen ska vara lättåtkomlig och för att rötter inte ska skada kabeln. Ledningsgatan är normalt 6–8 m bred. Den kan användas för odling då jordbruksgrödor har relativt grunda rötter, men inte för skogsbruk (Energiföretagen Sverige, 2021).

5.3 Teknisk jämförelse av luftledning och markkabel

Det finns många skillnader mellan luftledning och markkabel som gör att de passar för olika förhållanden i elnätet. På så vis är teknikerna inte helt utbytbara med varandra, vilket ligger till grund för åsikterna hos kraftledningsbranschens aktörer. Som tidigare nämnt förespråkar Svenska kraftnät (2021h) och Elföretagen Sverige (Lidholm, 2021) att luftledningar ska användas inom transmissionsnätet respektive regionnätet för att det är den mest driftsäkra tekniken. I transmissionsnätet och regionnätet trädsäkras alltid ledningarna och ledningsgatorna

² Carolin Bangay, kraftledningskonsult på Norconsult. Teamsmöte den 3 mars 2023.

³ Carolin Bangay, kraftledningskonsult på Norconsult. Teamsmöte den 22 februari 2023.

underhålls regelbundet. Det gör att fel som kräver reparation sällan uppstår. Ett exempel på ett vanligt fel är blixtnedslag som tillfälligt kopplar bort men sedan automatiskt återkopplar ledningen, utan att en reparation behövs. Andra bestående fel hittas vanligen fort, är lättåtkomliga och enkla att reparera. Normalt kan de åtgärdas inom 24 timmar (Energiföretagen Sverige, 2021).

I lokalnätet kan det däremot vara svårt att träsäkra luftledningar (Energiföretagen Sverige, 2021). Det går att vädersäkra dem genom att ha plastöverdragna, isolerade linor i stället för blanka faslinor. Dessa brukar normalt kunna stå emot en skada av ett fallande träd (Ottvall och Green, 2020). Men efter de stora stormarna Gudrun och Per, som på 2010-talet orsakade omfattande strömavbrott i södra och västra Sverige, är det inte lika aktuellt. Under det första årtiondet efter stormarna satsade elnätsföretagen över 50 miljarder kronor för att förbättra leveranssäkerheten. Majoriteten av pengarna lades på att ersätta oisolerade luftledningar med markkablar, främst i lokalnäten (Energiföretagen Sverige, 2017b). Markkabeln anses vara mer driftsäker i lokalnätet i och med att den är mer skyddad från stormar (Energiföretagen Sverige, 2021).

Felen som uppstår i en markkabel är dock av mer bestående karaktär och kräver reparation. De vanligaste felen som uppstår gäller kabelns skarvar och ändavslut mot luftledning samt grävskador. Fel kan även orsakas av markrörelser som tjällossning (Vattenfall Eldistribution AB, u.å.-b). Då kablarna är under marken tar det både längre tid att hitta och att reparera felen jämfört med en luftledning (Energiföretagen Sverige, 2021). Ett problem i norra Sverige är perioder med tjäle och snö vilket försvårar felsökning och reparation. Enklare fel kan repareras under en veckas tid men enligt Svenska kraftnät (2021h) visar internationell statistik att det kan ta upp till en månad att hitta och åtgärda fel i ett kabelsystem.

Träsäkra ledningsgator gör att luftledningar tar mycket mark i anspråk, vilket påverkar skogsbruket negativt. I öppna landskap, som åkermark, krävs det inte ledningsgator på samma sätt. Däremot behöver marken schaktas och fundament anläggas där stolpar och stag ska fästas. För markkabel är markbehovet mindre eftersom ledningsgatan är smalare. Som nämnt ovan behövs det dock extra mark vid själva anläggningsarbetet då det behövs plats för arbetsvägar och avlastningsytor. I och med att markkabel kräver ett större schakt kan det även anses vara ett större ingrepp på mark och omgivande natur jämfört med luftledning (Energiföretagen Sverige, 2021).

Enligt Svenska kraftnät (2021h) kan markkabel vara fyra till sex gånger så dyr att anlägga som en motsvarande luftledning. Nationalencyklopedin (Stenborg, u.å.-b) menar på att den kan vara upp mot 20 gånger så dyr. Dessutom har markkabel en kortare livstid. Den behöver bytas ut efter 35–40 år medan en luftledning har en teknisk livslängd som är dubbelt så lång, 70–80 år (Svenska kraftnät, 2021h). En dyrare ledning resulterar i ett dyrare elnät och höjda avgifter för elkonsumenterna (Svenska kraftnät, 2021h). Det finns flera anledningar till att det kostar mer att anlägga en markkabel. Till exempel behöver en kraftkabel två till fyra gånger så mycket aluminium som en lina i en luftledning. Den större ledararean krävs för att undvika att kabeln blir överhettad eftersom den kyls sämre jämfört med en lina. Markkabeln behöver också isoleras. Det görs med plast och desto högre spänningsnivå, desto mer plast. Materialåtgången ökar ytterligare då markkablar ofta följer vägar och marker som är schaktbara vilket gör att ledningen kan bli längre. När en markkabel anläggs krävs också stora mängder energi i form av diesel, ungefär fyra gånger så mycket som för en motsvarande luftledning (Energiföretagen Sverige, 2021).

Till sist finns det en hel del mer eltekniska skillnader mellan luftledning och markkabel. För 400 kV är markkabel med växelström bara möjligt en kort sträckning, upp till cirka 15–20 km beroende på hur många kablar som används. Vid längre sträckor uppstår problem i form av fasförskjutningar mellan ström och spänning i kabeln. Fasförskjutningen gör att det genereras reaktiv effekt. De reaktiva strömmarna reducerar kraftledningens kapacitet att överföra nyttig effekt (Energiföretagen Sverige, 2021). På längre sträckor innebär det att bara en bråkdel av elen som matats in i kabeln kan användas vid kabelns slut (Svenska kraftnät, 2016a). Transporten av reaktiv effekt kan hanteras i kompensationsstationer (Energiföretagen Sverige, 2021) som är utplacerade med ett avstånd på ungefär 15 km (Svenska kraftnät, 2021h). De medför dock ett ökat underhållningsbehov och en större risk för att fel ska uppstå (Svenska kraftnät, 2016a). På så vis fungerar markkabel ofta bättre vid låga spänningsnivåer och korta sträckor, men även då finns det tekniska svårigheter att ta hänsyn till. Till exempel har markkabel lägre impedans, det vill säga elektriskt motstånd, och därför åtar sig mer effekt. Det kräver åtgärder som inte behövs för luftledning, vilket är ännu en anledning till varför Energiföretagen Sverige (2021) tycker att andelen kabel i elnätet bör begränsas.

6 Kraftledningar, klimat och biologisk mångfald

Följande kapitel beskriver vilken påverkan kraftledningar har på klimatet och den biologiska mångfalden.

6.1 Kraftledningars påverkan på klimatet

I den fördjupade utvärderingen av det nationella miljömålet Begränsad klimatpåverkan lyfts behovet av en större integration av elsystemet för att kunna balansera de väderberoende produktionsteknikerna. Denna andel växer med de stora kostnadsminskningarna inom sol- och vindenergi samt batteriteknik för energilagring. Andelen behöver öka ytterligare om klimatmålen ska kunna nås (Sveriges Miljömål, 2022). Svenska kraftnät, Vattenfall Eldistribution, Ellevio och E.ON Eldistribution anser sig alla ha en roll i att möjliggöra denna omställning genom att ansluta mer förnybar energi och få den mindre planerbara elkraftsproduktionen att fungera för ett fossilfritt, elektrifierat samhälle (E.ON Sverige, 2023b; Vattenfall AB, u.å.; Svenska kraftnät, 2021c; Ellevio, 2022).

Men precis som att även den förnybara produktionen av el påverkar klimatet har distributionen av el sina konsekvenser. Dessa uppstår främst vid byggnationen av kraftledningar och vid tillverkning av det material som används. Kablar, ledningar och ställverk består bland annat av metaller och plaster som ger upphov till utsläpp av växthusgaser när råvarorna ska utvinnas och bearbetas (Energiföretagen Sverige, 2017a). Till detta tillkommer transporten av materialet från produktionsanläggningen till platsen för kraftledningen. Ofta ingår komponenter från hela världen vilket innebär långa sträckor med containerfartyg, tåg och lastbil. Tunga transporter med fossila bränslen behöver tas i beaktning. Ibland finns det även ett behov av att förstärka eller anlägga vägar genom mer eller mindre orörd terräng, både för att nå fram till stolplatserna i en luftledning och som arbetsväg för markkabel.⁴

Utsläpp genereras också till följd av den ändrade markanvändningen som behövs för byggnation av elnät, både för luftledning och markkabel (Ellevio, 2021b). Att ledningsgatan kan användas för jordbruk men inte skogsbruk, och att den måste röjas med jämna intervall (Energiföretagen Sverige, 2021), innebär en minskning av kolförrådet på platsen (Hammervold, 2015). Enligt SLU:s rapportering av växthusgasflöden från markanvändning och skogsbruk till EU och FN sker de största utsläppen från dränerade marker och när skogsmark omvandlas till annan markanvändning genom avskogning. De största upptagen sker på skogsmark genom upptag i levande biomassa, då tillväxten är större än avverkningen och självgallringen (Lundblad, 2022).

6.2 Kraftledningars påverkan på biologisk mångfald

Följande avsnitt beskriver hur elnätet både har en positiv och negativ påverkan på biologisk mångfald, både under anläggningsskedet och driftfasen. Framför allt gynnar ledningsgatorna arter som trivs på ängs- och betesmarker. Luftledningar kan dock vara farliga för fåglar.

6.2.1 Påverkan på naturmiljö från anläggning och drift

Kraftledningars påverkan på naturmiljö, och därmed biologisk mångfald, har sin grund i ett antal faktorer. Dels beror det på vilken typ av kraftledning som används och hur bred ledningsgatan är, dels på vilken naturtyp som korsas och hur påverkad naturen är sedan tidigare.

⁴ Carolin Bangay, kraftledningskonsult på Norconsult. Teamsmöte den 16 februari 2023.

Den slutgiltiga bedömningen bygger därmed på de lokala förutsättningarna i det enskilda fallet vilket gör det svårt att säga hur stor den generella påverkan från en kraftledning är. Det är inte heller helt uppenbart om den sammantagna påverkan är positiv eller negativ ur naturmiljösynpunkt (Svenska kraftnät, 2017a).

Anläggning av kraftledningar innebär vanligtvis mycket transporter med tunga maskiner och skapande av tillfartsvägar. Det ökar risken för markskador, speciellt i mjuk och blöt mark. Det kan i sin tur medföra förändrad hydrologi, erosion, samt läckage av tungmetaller och näringsämnen (Svenska kraftnät, 2017a). För att förhindra att marken kompakteras rekommenderas det att arbetet utförs då det är tjäle i marken (Svenska kraftnät, 2016b). När anläggning sker i anslutning till vattenmiljöer kan även grumling uppstå. Det kan påverka vattenkvaliteten och ge konsekvenser för reproduktion, spridning och näringsupptag för vattenlevande organismer. Grumling förekommer dock naturligt vid höga vattenflöden och kan ofta begränsas genom lämpliga skyddsåtgärder så att konsekvenserna blir förhållandevis små och kortvariga. Med luftledning är det också möjligt att i viss mån anpassa stolpens placering, typ och material för att minska påverkan på miljön. Även placering av arbetsvägar kan till viss del göras med hänsyn till naturvärden (Svenska kraftnät, 2017a). Vidare kan påverkan på naturmiljön minskas om ledningen parallell- eller samförläggs med annan infrastruktur, till exempel genom att anlägga en kabel längs en väg (Svenska kraftnät, 2018b).

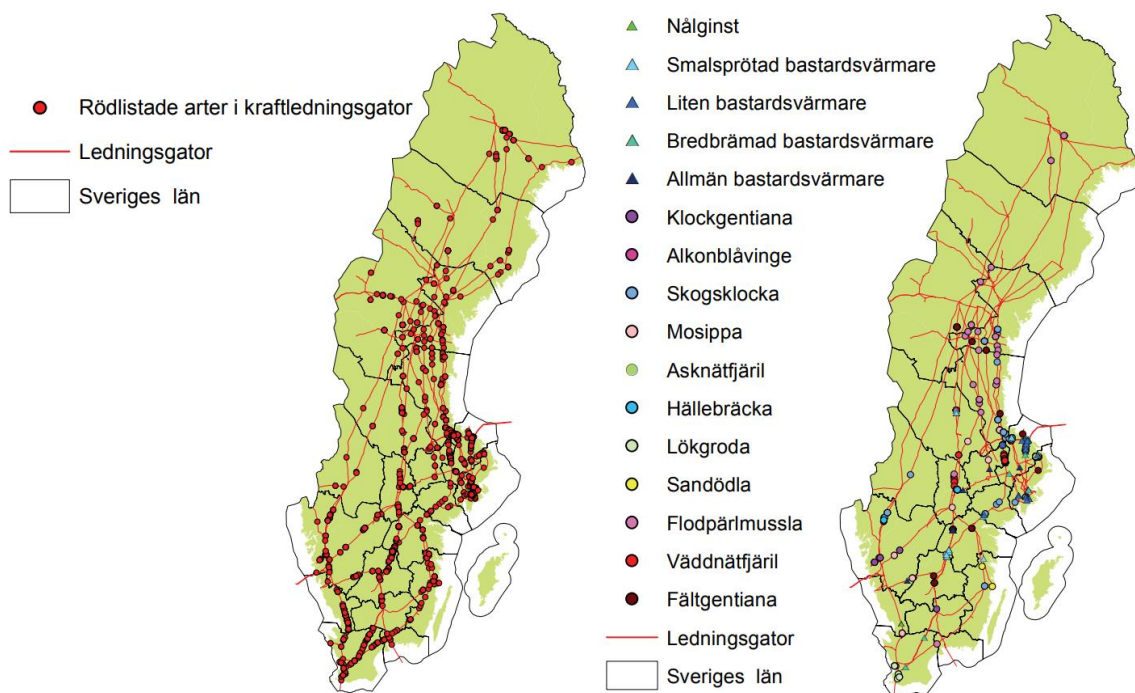
Då drift och underhåll av en kraftledning kräver att alla buskar och träd måste avverkas i skogsgatan sker alltid en lokal påverkan på miljön. Bullret från detta kan störa känsligt djurliv (Ellevio, 2021b). Det sker generellt en större förändring i ett tätt och blött habitat jämfört med en öppen och torr mark, i och med att ljusinsläppet och humiditeten ändras i en större utsträckning. Det gör att den negativa effekten blir mer påtaglig för arterna i det första habitatet eftersom de kan ha svårt att anpassa sig till den nya miljön. Förändringen medför däremot också att nya biotoper skapas, vilket kan gynna arter som tidigare inte trivs på platsen. För dessa arter kan ledningsgatan fungera som en spridningskorridor, vars positiva effekt beskrivs mer i nästa avsnitt. Med det sagt kan ledningsgatan också bli som en barriär som fragmenterar de ursprungliga biotoperna. Barriäreffekten kan hindra och ha en negativ påverkan på arters förflyttning och spridning (Svenska kraftnät, 2017a).

6.2.2 Nya ängs- och betesmarker för växter och pollinatörer

Under årtionden har variationen av habitat inom odlingslandskapet, och därmed också den biologiska mångfalden, minskat (Berg et al., 2016; Svensson et al., 2016). Jordbruket har intensifierats från den småskaliga bondens traditionella nyttjande av slåtter- och betesmarker till monokulturer (Svensson et al., 2016). Många åkermarker består idag av stora fält med en gröda som förses med bekämpnings- och gödningsmedel och få gränser mellan fälten bestående av häckar, diken och stenmurar (Berg et al., 2016). Även antalet betande kreatur har minskat (Svensson et al., 2016). Det har däremot visat sig att ledningsgator innehåller relativt stora inslag av semi-naturliga slåttermarker. Totalt omfattar Sveriges samtliga ledningsgator minst 210 000 ha buskmarker och 14 000 ha gräsmarker (Stenmark, 2012). Det är drygt 1,5 gånger så stort som Öland och motsvarar ungefär 0,5 % av Sveriges landyta. Tack vare den återkommande röjningen av buskar och unga träd skapas förutsättningar för artrika biotoper som påminner om äldre, förvaldade ängs- och betesmarker (Svenska kraftnät, 2022a; Länsstyrelsen Jönköping, 2008; Berg et al., 2016).

Ledningsgator kan hysa lika många arter av växter, fjärilar och humlor som värdefulla ängs- och betesmarker (Berg et al., 2016). De är särskilt viktiga för vissa hotade arter som troligtvis hade varit rödlistade, eller i värsta fall utrotade i stora delar av landet, om de inte hittat

alternativa levnadsmiljöer i ledningsgator eller vägrenar (Lennartsson och Gylje, 2009). Hasselmusen, och andra arter som är beroende av en buskrik miljö, är ett exempel. Ett annat är sandödlan som ofta är målet för riktade åtgärder. Även väddnätfjärilen brukar nämnas, då det endast finns ett fåtal kvarvarande populationer i just ledningsgator (Länsstyrelsen Jönköping, 2008). Änggentianan har också i det närmaste försvunnit från sina ursprungliga slåtter- och betesmarker men i stället blivit vanlig längs ledningsgator och vägar i vissa kalkrika områden (Lennartsson och Gylje, 2009). Av Sveriges 3563 rödlistade arter har 318 observerats och registrerats i Svenska kraftnäts ledningsgator, se Figur 13. Många av arterna är indikatorarter vilket innebär att de är karakteristiska för vissa värdefulla naturmiljöer där det ofta finns fler arter som är i behov av naturövervakning och naturvård (Legendre, 2013; Länsstyrelsen Jönköping, 2008).



Figur 13. Kartan till vänster visar rödlistade arter i ledningsgatorna för Sveriges transmissionsnät. I kartan till höger visas utbredningen av vissa värdefulla arter mer i detalj (Länsstyrelsen Jönköping, 2008).

Ledningsgatorna kan fungera som spridningskorridorer för bland annat växter, fjärilar och andra insekter (Svenska kraftnät, 2022a; SLU, 2018; Energiforsk, u.å.-c). De linjära elementen går tvärs genom landskap dominerade av modernt jord- och skogsbruk, där många arters livsmiljöer annars är starkt fragmenterade, vilket underlättar långsiktig överlevnad (Berg et al., 2015). Studier från SLU (Berg et al., 2016; Ahrné et al., 2016) har studerat detta för fjärilar i sydöstra Sverige. Det visades att art- och individrikedomen är signifikant högre i skogsbilvägar och naturbetesmarker som ligger nära ledningsgator jämfört med långt ifrån. Den positiva effekten hittades på ett avstånd på 700–800 m från ledningsgatorna vilket gör att de gynnar fjärilsfaunan på ett avstånd över tio gånger ledningsgatans bredd.

Samma forskningsgrupper (Berg et al., 2015; Ahrné et al., 2016) visade att ledningsgator i genomsnitt både har fler fjärilsarter och individer än naturbetesmarker, hyggen och skogsbilvägar. Artrikedomen ökade med korridorrens bredd, vilket innebär en större variation av habitat, samt med mängden lövsly som ger skydd, mat åt larver och indikerar goda näringsförhållanden för örter och blommande växter. Tvärtom var artrikedomen negativt korrelerad med torr mark, vegetation dominerad av ris, klipphällar och äldre lövträd (Berg et al., 2015). De fanns däremot inte någon signifikant skillnad gällande rödlistade arter (Ahrné et

al., 2016) eller om det omgivande landskapet bestod av skog, hyggen eller åkermark (Berg et al., 2016; Ahrné et al., 2016). I en annan studie från SLU har det visats att ett liknande resonemang kan föras för växter. Områden med närhet till ledningsgator hade nämligen i genomsnitt sex fler växtarter jämfört med landskap utan ledningsgator (Dániel-Ferreira et al., 2020). Däremot förekommer det stora variationer inom och mellan arter samt mellan platser som är svåra att förklara (Svensson et al., 2016).

6.2.3 Relativt artrika men farliga fågelbiotoper

Generellt är ledningsgator relativt artrika fågelbiotoper. Vid inventeringar under luftledning (Berg och Svensson, u.å.) hittas främst skogsfåglar men även ett fåtal arter jordbruksfåglar. De flesta är vanligt förekommande. Ledningsgatorna gynnar arter som föredrar buskrika marker med låga träd för födosök och boplatser. Däremot har endast få och svaga samband hittats mellan antalet individer och vegetationstyp, kraftledningens bredd och det omgivande landskapets struktur. Det beror troligtvis på att flera av arterna förekom sparsamt, är generellt spridda i landskapet och inte har någon stark preferens när det gäller ledningens karaktär. Troligtvis kan samma tendenser ses för en markkabel som går igenom samma typ av miljö, även om ledningens bredd då är mindre.

Samtidigt utgör luftledningar en fara för fåglar. Under byggtiden kan störningar från buller leda till misslyckad häckning (Svenska kraftnät, 2020b). Under driftskedet kan ledningen fungera som spaningsplats för kråk- och rovfåglar vilket gör att markhäckande fåglar kan bli mer utsatta för boplundring.⁵ Det finns även en risk för att fåglar skadas om de kolliderar med en ledning eller om de kommer i kontakt med två strömförande komponenter samtidigt (Ottvall och Green, 2020). Det kan vara två oisolerade, strömförande ledningsdelar eller en strömförande ledningsdel och en jordad del av en elektrisk anläggning (SOF, 2017). Det här är inte aktuellt för markkabel som ligger under jord.

I stort sett alla flygande fåglar riskerar att flyga mot en luftledning. Det är däremot främst stora fåglar med sämre pareringsförmåga som förolyckas, till exempel svanar, gäss, storkar, tranor och hönsfåglar (Sveriges Ornitologiska Förening (SOF), 2017; Ottvall och Green, 2020). Rovfåglar har bättre syn och är skickligare på att manövrera undan för att undvika en kollision. Småfåglar har också påträffats som kollisionsoffer men då i lägre antal, även fast populationerna är mycket större (Ottvall och Green, 2020). Vissa kollisioner sker i mörker när fåglarna flyger till och från övernattningsplatser (SOF, 2017; Murphy et al., 2016), men olyckor inträffar även i dagsljus (SOF, 2017). I fågelrika områden, där risken för kollisioner är särskilt hög, vidtas ibland skyddsåtgärder för att göra ledningen mer synlig. Ofta märks den ut med till exempel plastremsor eller varningsklot (Svenska kraftnät, 2020b).

Gällande strömgenomgång är det främst kråkfåglar, rovfåglar och ugglor som är tillräckligt stora för att råka ut för det. De använder ofta kraftledningsstolpar som sittplatser men kan också råka ut för det vid en kollision. En elchock leder oftast till döden, och kan därutöver också orsaka brand och reparationskostnader (SOF, 2017). Eldöd är relativt ovanligt vid ledningar i transmission- och regionnätet (SOF, 2017; Ottvall, 2020) men ett desto större problem i lokalnätet (SOF, 2017; Ottvall och Green, 2020). I takt med att lokalnätet kabelfieras, faslinor byts till isolerade ledningar och transformatorer isoleras eller markbyggs minskar antalet

⁵ David Reuterskiöld, konsult inom miljö, naturvård och vattenvård på Norconsult. Skriftlig kommunikation den 15 maj 2023.

olyckor (Ottvall och Green, 2020). Ibland vidtas också skyddsåtgärder genom att sätta upp hindermarkeringar för fåglar (Ei, 2021c).

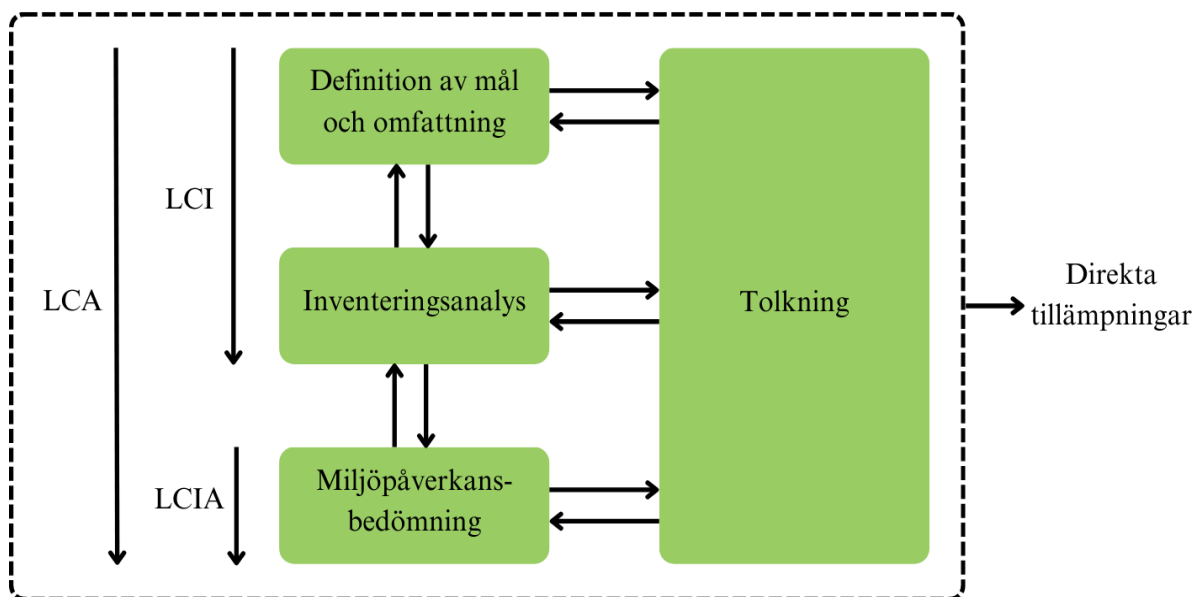
Det är svårt att beräkna antalet fåglar som dör vid kraftledningarna men uppskattningar säger att antalet eldödade fåglar är betydligt färre än det antal som kolliderar med ledningar. Kunskapen om hur kraftledningsdöd påverkar svenska fågelpopulationer är också bristfällig. För de flesta talrika arter har det sannolikt ingen effekt på populationsnivå men eftersom majoriteten av de utsatta arterna redan ingår i små populationer kan det vara av betydelse. Det gäller till exempel regionala populationer av kungsörn och berguv som både är stora och långlivade, medan det på nationell nivå troligtvis inte utgör något större hot (Ottvall och Green, 2020).

7 Klimatverktyg för kraftledningar

Följande kapitel inleds med en generell metodik för LCA:er. Sedan ges en beskrivning av hur klimatverktyget är uppbyggt samt den fallstudie det har applicerats på. Efter det presenteras de funktionella enheterna som har använts innan resultatet från klimatverktyget redovisas. Till sist förs en diskussion kring klimatverktygets potential och begränsningar.

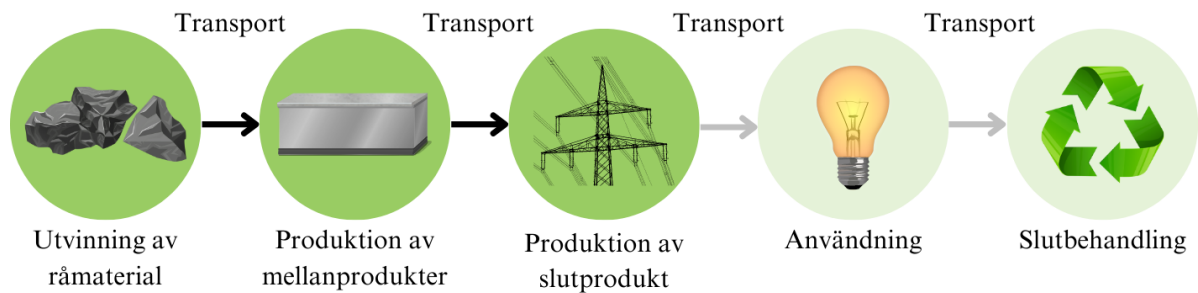
7.1 Teori kring klimatkalkyler med livscykelperspektiv

Klimatkalkyler görs ofta med ett livscykelperspektiv. Det gäller även detta klimatverktyg, även om det är viktigt att påpeka att det inte är en regelrätt LCA. En LCA kan beskrivas som en studie av miljöpåverkan som genereras under en produkts eller tjänsts livslängd. För att säkerställa kvaliteten på en LCA har det utarbetats standarder som redogör för principerna (ISO 14040:2006; ISO 14044:2006). Genom att identifiera delar och processer som är särskilt miljöbelastande, så kallade hotspots, kan åtgärder införas för att förbättra produktens miljöprestanda. Det blir också möjligt att jämföra produkter och processer, att kommunicera miljöinformation i till exempel miljövarudeklarationer (EPD) (ISO 14044:2006) och att använda det som underlag för beslut (Hunkeler, 2016). Processen är iterativ, den omprövas stegvis då ny kunskap uppkommer (ISO 14044:2006), och brukar illustreras i fyra faser som i Figur 14.



Figur 14. LCA-processens fyra iterativa faser. Tolkad och omarbetad av (Hunkeler, 2016).

Den första fasen handlar om att definiera studiens mål och omfattning. Med mål avses skäl för studiens genomförande och målgrupp, exempelvis en jämförelse av två produkter som ska kommuniceras till allmänheten. Definitionen av omfattning innehåller något fler delar. Till att börja med ska det studerade produktsystemet och dess systemgränser fastställas. Ett produktsystem består av flera enhetsprocesser och det är systemgränserna som bestämmer vilka enhetsprocesser som tas med i LCA-studien och inte. Om enhetsprocesser utesluts måste det motiveras noggrant (ISO 14044:2006). Ett produktsystem liknar ofta det i Figur 15, där systemgränserna innefattar de tre första enhetsprocesserna, och utesluter de två sista.



Figur 15. Produktsystem för en kraftledning. Tolkad och omarbetad av (Hunkeler, 2016).

Produktsystemets funktion och funktionella enhet ska också definieras. Det är mot den funktionella enheten som data för inflöden och utflöden normaliseras mot, vilket gör det viktigt att den är tydlig och mätbar. I fallet med Figur 15 kan funktionen sägas vara att överföra elektricitet och den funktionella enheten antal levererade kWh. Även kvalitetskraven på data för inflöden och utflöden ska specificeras. De kan bland annat vara tidsmässiga, geografiska och tekniska. Slutligen ska omfattningen innehålla val av miljöpåverkanskategorier, det vill säga miljöaspekter som riskerar att belastas av den valda produkten. För Figur 15 skulle det kunna vara klimatpåverkan samt fossil och förnybar energi- och resursanvändning (ISO 14044:2006). Ofta omfattar klimatkalkyler enbart klimatpåverkan.

Den andra fasen är inventeringsanalysen (LCI). Under denna sker en insamling av relevant information kring inflöden och utflöden för det studerade systemet. Det inkluderar exempelvis energi, råmaterial, produkter, biprodukter, avfall samt miljöaspekter såsom utsläpp till mark, vatten och luft. Ofta resulterar det i en kombination av uppmätt, beräknad och uppskattade data. Om det, för någon del av processen, inte kan göras i enlighet med de angivna datakvalitetskraven ska det framgå tydligt. När data har samlats in kopplas den till de olika enhetsprocesserna och anpassas till den funktionella enheten. Samtliga beräkningar ska dokumenteras och varje antagande ska redovisas (ISO 14044:2006).

Den tredje fasen utgörs av miljöpåverkansbedömningen (LCIA). Först sorteras resultaten från LCI-fasen till rätt miljöpåverkanskategori. Massan koldioxid, metan och lustgas som släpps ut per funktionell enhet skulle till exempel alla klassificeras som klimatpåverkande. Sedan omvandlas och aggregeras data till en gemensam enhet för att lätt kunna urskilja produktens miljöprestanda i varje miljöpåverkanskategori. Alla växthusgaser har en olika stor uppvärmningspotential (GWP) som därför relateras till referensmolekylen CO₂, så att produktens totala GWP kan sammanfattas i enheten koldioxidekvivalenter per funktionell enhet (ISO 14044:2006).

Den fjärde och sista fasen är tolkningen. Här utvärderas resultaten från LCI- och LCIA-faserna genom kontroll av fullständighet, känslighet och överensstämmelse. Undersökningen av fullständighet säkerställer att nödvändig information har varit tillgänglig och använts fullt ut i studien. Känslighetsanalysen studerar hur variationer i antaganden, metod och data påverkar resultatet. Granskningen av överensstämmelse syftar till att bestämma om antaganden, metod och data har hanterats konsekvent både längs produktens livscykel och genom respektive LCA-fas. Är så inte fallet kan vissa faser behöva göras om efter tolkningen för att uppnå ett korrekt resultat (ISO 14044:2006).

7.2 Uppbyggnad av klimatverktyget

Klimatverktyget som har skapats av Norconsult i Norge har vi vidareutvecklat så detaljerat som möjligt utefter vilket underlag som har varit tillgängligt. En överblick över de slutgiltiga skillnaderna och likheterna mellan den norska och den av oss uppdaterade, svenska versionen finns i Tabell 2. De materialkategorier som lagts till i den befintliga delen för luftledning är stag och jordlina. I den nyutvecklade delen för markkabel har materialet som vi bedömer ha störst betydelse för ledningens konstruktion och totala växthusgasutsläpp inkluderats. Schaktning har också lagts till då det utgör en betydande del i en kabelentreprenad. För att kunna jämföra schaktningens betydelse för de olika kraftledningstyperna lades det också in en del om schaktning för stolpplatser i delen om luftledning.

Tabell 2. Jämförelse av klimatverktygets norska version utvecklad av Norconsult och svenska version vidareutvecklad av oss.

Komponenter	Norsk version utvecklad av Norconsult	Svensk version vidareutvecklad av oss
Del 1 - Ledningskonstruktion och material, Luftledning		
Stolptyper	En i stål för 400 kV, två vardera av trä, stål och komposit för 130 kV	Ett femtontal i stål för 400 kV respektive 130 kV samt tre i komposit för 130 kV
Faslinor	Ett sextiototal typer	Ett tiotal typer
Topplinor	Ett tiotal typer	Ett femtal typer
Isolatorer	En i glas och en i komposit för 400 kV respektive 130 kV	En i glas för 400 kV respektive 130 kV samt en i komposit för 130 kV
Fundament	Jord- och bergfundament samt fundament utan betong för respektive stolptyp	Jord-, berg- och pålfundament för respektive stolptyp
Stag: linor och förankringar	Ej inkluderad	Tre lintyper samt möjlighet att fylla i materialvikter för förankringar i betong, armeringsstål och/eller trä
Jordlina	Ej inkluderad	Tre typer
Del 1 - Ledningskonstruktion och material, Markkabel		
Kraftkabel	Ej inkluderad	Ett femtal typer
Kabelskyddsror		Två typer i plast
Foderrör för schaktfri förläggning		En typ i stål, en typ i plast
Geotextil		En typ
Jordlina		Tre typer

Del 2 - Schaktning		
Luftledning: stolpplatser	Ej inkluderad	För jord- och bergfundament
Markkabel: schakttyper	Ej inkluderad	Jordschakt i form av direktförläggning och rörförläggning, bergschakt samt schaktfri förläggning. Fall A och B för jordschakt och bergschakt
Markkabel: fyllnadsmassor		Ledningsbädd, kringfyllning, återfyllning, markvegetation och jordmån
Del 3 - Transport		
Från utlandet till riksgräns	Fartyg eller lastbil beroende på avstånd	
Från riksgräns, alt. inrikes fabrik till ledning	Lastbil	Lastbil eller tåg
Från upplagsplats¹ eller ledningens mitt till stolpplats	Helikopter	Lastbil ²
Byggnation av ledning	Helikopter	Ej inkluderad ³
Del 4 - Markanvändning		
Förändring av kolförråd	Baserat på skogens bonitet ⁴ på platsen där mark tas i anspråk då en ledning byggs och där mark frigörs då en ledning rivs	Baserat på skogens bonitet i länet ⁵ där mark tas i anspråk då en ledning byggs och när mark frigörs då en ledning rivs
Åtgärder för väg och upplagsplatser	Anläggning, förstärkning och rivning av väg och upplagsplatser	
Del 5 - Övriga utsläppskällor		
Övriga utsläppskällor	Plats för att inkludera resultat från andra utsläppsberäkningar som gjorts för ledningen, positiva och negativa	

¹ Ytor där man tillfälligt lastar av material och bygger ihop delar.

² I bergiga Norge sker en stor del av materialtransporterna med helikopter medan det endast görs i undantagsfall i Sverige. Här är terrängen allt som oftast mer tillgänglig, samt så har lastbil lägre växthusgasutsläpp.

³ Dataunderlaget för till exempel dieselförbrukningen är begränsat.

⁴ Uttrycker markens produktionsförmåga mätt som medeltillväxtens nivå när den är som högst och anges i m³sk/ha och år. m³sk står för skogskubikmeter och är en enhet för virkesvolym. Det innefattar hela stammens volym ovan stubb höjd inklusive bark och topp, men inte grenar och rötter (SLU, 2022).

⁵ Ett mer detaljerat underlag för Sverige har inte hittats.

Klimatverktyget kan därmed nu användas för att beräkna utsläppen av koldioxidekvivalenter från både luftledning och markkabel. Själva Excel-filen består av nio flikar. Flikarna *Introduktion*, *Beräkningar*, *Beräkningsdata*, *Emissionsdata* och *Val* är gemensamma för både luftledning och markkabel. Däremot har flikarna *Projektinformation* och *Resultat* delats upp mellan olika flikar för luftledning och markkabel. En överblick kring vad alla flikar innehåller ges i Tabell 3. Skillnaden mellan *Projektinformation Luftledning* och *Projektinformation Markkabel* beskrivs i Tabell 4. De två flikarna *Resultat* skiljer sig endast i vilken indata och därmed resultat de redovisar, annars är de utformade på samma sätt för både luftledning och markkabel. En mer detaljerad beskrivning av de olika flikarna ges i appendix *A1 Beskrivning av klimatverktygets flikar*.

Tabell 3. Överblick över Excel-verktygets nio flikar.

Introduktion	Information om verktygets uppbyggnad, hur det används, vad det kan användas till, dess begränsningar, hur man kan lägga till mer data och en versionshistorik
Projektinformation Luftledning	Indata anges i form av typ av material samt dess mängder (antal, volym, längd eller vikt) samt vilket område det producerats i. Även information om transport och markanvändning fylls i
Resultat Luftledning	Klimatpåverkan redovisas med utsläpp per enhetsprocess och per kilometer
Projektinformation Markkabel	Indata anges i form av typ av material samt dess mängder (antal, volym, längd eller vikt) samt vilket område det producerats i. Även information om transport och markanvändning fylls i
Resultat Markkabel	Klimatpåverkan redovisas med utsläpp per enhetsprocess och per kilometer
Beräkningar	Utsläppen beräknas med data från flikarna <i>Projektinformation</i> , <i>Beräkningsdata</i> och <i>Emissionsdata</i>
Beräkningsdata	Data på vikter, dimensioner och boniteter
Emissionsdata	Data på utsläpp från processer och material i komponenter från olika produktionsområden
Val	Listor över de valbara sakerna i flikarna <i>Projektinformation</i>

Tabell 4. Översikt av fliken Projektinformation för luftledning respektive markkabel.

Projektinformation Luftledning	Projektinformation Markkabel
Del 1 - Ledningskonstruktion och material	
Del 1A. Stolpar Del 1B. Linor Del 1C. Isolatorer Del 1D. Stolpfundament Del 1E. Stag	Del 1A. Kraftkabel Del 1B. Kabelskydd Del 1C. Övrigt material
Del 2 – Schakt	
Del 2A. Schakt för stolplatser	Del 2A. Jordschakt och bergschakt Del 2B. Fyllnadsmassor Del 2C. Schaktfri förläggning
Del 3 – Transport	
Del 3A. Transport från utlandet till Göteborg Del 3B. Transport från Göteborg, alternativt svensk fabrik, till ledning Del 3C. Transport från ledningens mitt till stolplatser	Del 3A. Transport från utlandet till Göteborg Del 3B. Transport från Göteborg, alternativt svensk fabrik, till ledning
Del 4 – Markanvändning	
Del 4A. Avverkad skog Del 4B. Frigjord skogsmark Del 4C. Åtgärder för väg och upplagsplats	Del 4A. Avverkad skog Del 4B. Frigjord skogsmark Del 4C. Rivning och återställande av väg
Del 5 – Övriga utsläppskällor	

En skillnad mellan flikarna *Projektinformation Luftledning* och *Projektinformation Markkabel* är att man för luftledning väljer en detaljeringsgrad för projektet. Det går att välja mellan *Framkomlighetsstudie*, *Förprojektering* och *Detaljprojektering*. Anledningen till detta är att användaren har olika mycket information i olika skeden av projektet. För de två första detaljeringsgraderna fyller man i mindre detaljerade uppgifter och beräkningarna sker sedan med antaganden och medelvärden. Vid *Detaljprojektering* kan man fylla i mer specifika data som används i beräkningarna.

För både luftledning och markkabel beräknas utsläppen från materialet genom att en mängd (vikt, volym, längd eller antal) multipliceras med respektive emissionsdata. Schaktens utsläpp beräknas genom att den uträknade schaktvolymen multipliceras med emissionsdata. För schakt finns det fyra olika emissionsdata beroende på schakttyp och om schaktmassan kan återanvändas eller inte. Transporten av material är uppdelade i transport till Sverige och transport inom Sverige. Den beräknas genom att vikten av materialet multipliceras med transportavståndet och emissionsdata för den aktuella transportformen. Emissionsdata för olika

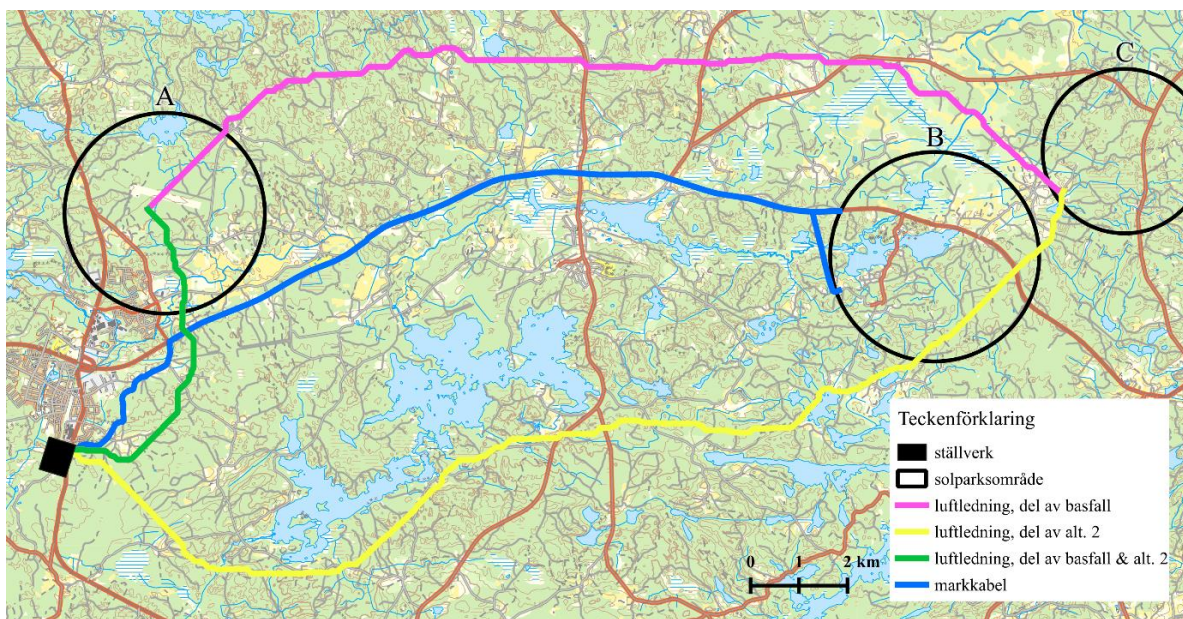
transportformer kan ses i appendix A8 *Transport*. Markanvändningens utsläpp består dels av anläggning och/eller rivning av vägar, dels avverkning av skog och frigörande av skogsmark. I och med att utsläpp från skogsmark kan ifrågasättas beskrivs den mer i detalj i kommande stycken. För resterande beräkningar, se appendix A1 *Beskrivning av klimatverktygets flikar*.

Beräkningen av koldioxidutsläpp från avverkning av skog och frigjord skogsmark är samma för luftledning och markkabel. Den baseras på berörda skogsarealen och dess genomsnittliga bonitetsklass. Berörd skogsareal beräknas från ledningens längd, skogsgatans bredd samt andelen av skogsgatan som går genom skogsmark. Gällande bonitetsklass är det mest detaljerade underlaget över de svenska skogarnas bonitet den årliga rapporten Skogsdata som ges ut av SLU Riksskogstaxeringen. Där anges hur stor procentuell andel av skogen i varje län som har en tillväxt i kategorierna 1 till 12 skogskubikmeter per hektar och år ($\text{m}^3\text{sk/ha, år}$). Dessa siffror kan ses i appendix A9 *Skogsmark*. För att få fram den berörda skogsarealen inom en bonitetsklass multipliceras den berörda skogsarealen, andelen skogsareal som befinner sig i ett visst län och andelen skogsareal i det länet som har den önskade bonitetsklassen. Detta upprepas sedan för samtliga bonitetsklasser och län.

I nästa steg multipliceras den totalt berörda skogsarealen inom varje bonitetsklass med emissionsdata som ser till hur mycket koldioxid som kan bindas per skogsareal. Denna redovisas också i appendix A9 *Skogsmark*. Här tas därför endast hänsyn till koldioxid, och inte koldioxidekvivalenter. En högre bonitet innebär en högre potential för att binda mer koldioxid, och tvärtom. Vid avverkning av skog antas denna mängd koldioxid släppas ut, medan den vid frigörande av skogsmark antas tas upp och därmed bidra till negativa utsläpp av koldioxid. Verktyget ser sedan till den totala förändringen av kolförrådet genom att sammanställa de positiva och de negativa utsläppen. Att detta är en förenkling visas i resultatavsnittet 7.5.9 *Olika sätt att beräkna påverkan på skog* och metoden diskuteras vidare i 7.6.5 *Utsläpp från påverkan på skogsmark*.

7.3 Fallstudie av 130 kV-ledning för att ansluta solcellsparker

Fallstudien utgörs av en ledning som ska byggas i elområde 4 för att ansluta solcellsparker till ett existerande ställverk i regionnätet (130 kV). De aktuella solparksområdena går att se i Figur 16. Det handlar om ungefär 200 MW i område A, 120 MW i område B och 80 MW i område C. Exploatören räknar med att det kommer krävas ungefär en hektar mark för att producera 1 MW solcellsenergi. I kartan syns också ledningsalternativen som tagits fram i en framkomlighetsstudie: två alternativ för luftledning, ett i norr och ett i söder, samt ett kabelalternativ däremellan. Fortsättningsvis kommer det norra luftledningsalternativet att benämnas luftledning basfall, medan det södra benämns luftledning alternativ 2.



Figur 16. Karta över de olika ledningsalternativen i fallstudien, två luftledningar och en markkabel, för att ansluta solcellsparkar i väster och öster till ett ställverk.

Luftledning basfall ansluter till ställverket i väster, går via den gröna ledningen till område A och sedan via den rosa ledningen till område C. Luftledning alternativ 2 ansluter också till ställverket i väster och består sedan av två sträckningar: dels den gröna ledningen till område A, dels den gula ledningen till område C. Den gröna sträckningen (7,8 km) är därmed gemensam för basfallet (7,8 km grön + 22 km rosa) och alternativ 2 (7,8 km grön + 26 km gul). Den blå sträckningen visar kabelalternativet och är 21 km lång. Den ansluter till ställverket i väster och till område B i öster. Båda alternativen för luftledning går i huvudsak genom skogsmark, medan kabelalternativet följer en större väg.

Arbetet med framkomlighetsstudien började sommaren 2022 med utredning av kabelalternativet till område B. Det identifierades, tillsammans med område C, som lämpligt för anläggning av solcellsparkar. Den ursprungliga tanken från exploatörens sida var att ansluta område B till C med ett internt nät som inte är koncessionspliktigt, ett så kallat ett IKN-nät. Detta är bland annat möjligt för att koppla ihop flera elektriska produktionsanläggningar som tillsammans utgör en funktionell enhet (inte att förväxla med samma begrepp inom LCA). Några exempel på detta är vindkraftverk, solcellspaneler och just solcellsparkar (Ei, 2021f). För att detta ska vara möjligt måste tre kriterier uppfyllas: det ska vara ett internt nät, som är väl avgränsat, och ej för utbrett. På så vis är uppbyggnaden av parkerna avgörande (Ei, 2021f). Problemet är att regelverket kring IKN för solcellsparkar är en relativt ny fråga med endast en känd prövning. I det ärendet godkändes det att en 650 m lång ledning byggs utan tillstånd (Ei, 2021a). Ledningen mellan område B och C skulle bli längre än så.

Utöver detta har även område A senare identifierats som lämpligt för solcellspark. Med anledning av detta har det tagits fram två utredningskorridorer för luftledning som ansluter till både område A och C. Den utredningen påbörjades i november 2022 medan arbetet med koncession hade sin start i januari 2023. Från start var det tänkt att ansökan skulle vara klar i kvartal tre år 2023, anslutningen till elnätet i kvartal fyra år 2025 och slutligen byggstarten i kvartal ett år 2026. Idag ligger projektet däremot på is. Då omständigheterna har ändrats efterhand är det osäkert hur många, och då vilka, solparksområden som kan anslutas till ställverket och hur det då ska göras. Det avgör i sin tur hur ledningen ska dimensioneras för att klara av den höga effekten från solcellsparkerna. Dessutom har både kommunen och närboende

visat motstånd mot luftledning. Kabelalternativet är mer accepterat men som det är utformat nu ansluter det endast till område B. Detta gör det troligt att den slutgiltiga sträckningen inte blir ett av dessa alternativ utan att en modifikation först görs. Appliceringen av klimatverktyget sker däremot med de förutsättningar och underlag som finns tillgängliga i denna fas av projektet.

7.4 Funktionella enheter

I denna fallstudie kommer två funktionella enheter att användas för att jämföra de alternativa kraftledningarna ur olika perspektiv. Det kommer även att vara intressant att jämföra kraftledningarna med hänsyn till deras olika livslängder samt att inkludera olika delar av de totala utsläppen för att lyfta fram vissa aspekter. Därför kommer de två funktionella enheterna att varieras med avseende på livslängd och utsläpp. Totalt kommer därmed fem enheter att användas för att redovisa och jämföra resultaten. Dessa finns sammanställda i Tabell 5 och förklarade i text under tabellen.

Tabell 5. Sammanställning av de fem enheterna som används för att redovisa och jämföra resultaten. U står för utsläpp av växthusgaser för de olika enhetsprocesserna material, schakt, transport respektive skogsmark och har enheten ton CO_2e . Ledningslängd är i km och ansluten effekt i MW.

Enheter	Formel
ton CO_2e/km ledning	$\frac{U_{material} + U_{schakt} + U_{transport} + U_{skogsmark}}{ledningslängd}$
ton CO_2e/km ledning, 70 år	Luftledning: samma som ovan, ton CO_2e/km ledning Markkabel: $\frac{2 \cdot (U_{material} + U_{schakt} + U_{transport}) + U_{skogsmark}}{ledningslängd}$
ton CO_2e/km ledning, 70 år & ej skogsmark	Luftledning: $\frac{U_{material} + U_{schakt} + U_{transport}}{ledningslängd}$ Markkabel: $\frac{2 \cdot (U_{material} + U_{schakt} + U_{transport})}{ledningslängd}$
ton CO_2e/MW, 35 år	$\frac{U_{material} + U_{schakt} + U_{transport} + U_{skogsmark}}{ansluten\ effekt}$
ton CO_2e/MW, 35 år & ej skogsmark	$\frac{U_{material} + U_{schakt} + U_{transport}}{ansluten\ effekt}$

Den första funktionella enheten är 1 km ledning och kommer att redovisas i tre varianter för att belysa olika aspekter. Den första varianten är ton CO_2e/km ledning och innebär att de totala utsläppen för ledningen har delats på ledningens längd, vilket ger mängden utsläpp som 1 km ledning genererar. De totala utsläppen i verktyget innebär kategorierna material, schakt, transport, markanvändning och övriga utsläppskällor. Eftersom denna fallstudie är i ett tidigt skede och saknar data för markanvändning i form av anläggning, förstärkning och rivning av vägar samt upplagsplatser och även data för övriga utsläppskällor, innebär de totala utsläppen i denna studie därför endast kategorierna material, schakt, transport och skogsmark. Utsläppen

från skogsmark tar endast hänsyn till den direkta minskningen av kolförrådet. Det anses motsvara att all den lagrade koldioxiden i skogen som avverkas släpps ut i atmosfären genom förbränning, i ett så kallat worst-case scenario. Inga andra växthusgaser inkluderas. Hur detta motsvarar verkligheten diskuteras i 7.5.9 *Olika sätt att beräkna påverkan på skog* och 7.6.5 *Utsläpp från påverkan på skogsmark*.

Den andra enheten är *ton CO₂e/km ledning, 70 år*. Denna är till för att kunna jämföra luftledning som har en livslängd på 70–80 år med markkabel som har en livslängd på 35–40 år. För luftledning är utsläppen för denna variant samma som den första, *ton CO₂e/km ledning*. I och med att markkabel behöver anläggas två gånger under 70 år har utsläppen för material, schakt och transport dubblerats för markkabel i denna nya variant. Utsläppen från skogsmark har inte dubblerats eftersom ledningsgatan hålls röjd och det därmed inte behöver avverkas någon skog vid den andra anläggningen. Viktigt att poängtera är att vi i denna studie har antagit att livslängden gäller för hela ledningen och därmed alla komponenter. Egentligen behöver vissa mindre komponenter bytas ut under livslängden och det förekommer också att man för luftledningar byter ut linorna för att uppgradera ledningen till en högre kapacitet. Då de mindre komponenterna står för små andelar av de totala växthusgasutsläppen, samt att underhållet till stor del beror på platsens förutsättningar, bedömer vi att det är ett rimligt antagande.

Den tredje varianten är *ton CO₂e/km ledning, 70 år & ej skogsmark*. I den har utsläppen från skogsmark exkluderats så att de totala utsläppen för denna enhet endast inkluderar material, schakt och transport. Denna variant används vid jämförelser av material och produktionsområden för samma ledningssträcka då utsläppen från skogsmark är lika för båda alternativen. Denna enhet kan dessutom användas för att utesluta komplexiteten med utsläppen från skogsmark. I och med att den fortsatt tar hänsyn till livslängd kan även markkabel och luftledning jämföras med varandra.

Den andra funktionella enheten som används är 1 MW. Den gör det möjligt att jämföra de framtagna ledningsalternativen med avseende på den anslutna effekten. Luftledningsalternativen och markkabeln ansluter nämligen till olika solcellsparkar, vilket ses i kartan i Figur 16. Denna funktionella enhet kommer att redovisas i två varianter. Den första är *ton CO₂e/MW, 35 år*. Skälet till att tidsperioden för 1 MW har valts till 35 år, i stället för till 70 år som för 1 km ledning, är att solcellsparkers livslängd är 30–40 år (Svensk Solenergi, 2022). Precis som tidigare är det också här intressant att jämföra ledningarna om utsläppen från skogsmark exkluderas. Det ger den andra varianten, *ton CO₂e/MW, 35 år & ej skogsmark*.

7.5 Resultat från fallstudien

Klimatverktyget har applicerats på den beskrivna fallstudien. Nedan redovisas resultatet från basfall för luftledning och markkabel samt fem jämförelser av olika exempel. Detta görs med de två nyss introducerade funktionella enheterna samt deras varianter. Avrundade indata för respektive fall kan ses i *Appendix A2-A7*.

7.5.1 Luftledning basfall

Luftledning basfall är 30 km lång och har en 40 m bred skogsgata. Ledningen utgörs av den gröna och rosa sträckningen i kartan i Figur 16. Då projektet är i ett tidigt skede har det behövts göras antaganden kring vilka mängder och sorters komponenter samt produktionsområden som kommer att användas. I basfallet har det uppskattats att det behövs 80 portalstolpar, 30 vinkelstolpar med liten vinkel och 10 vinkelstolpar med stor vinkel. Alla stolpar är gjorda av komposit och antas upphandlas från Kanada. Kompositen består av polyuretan och glasfiber.

Ledningen är av typ duplex med två aluminiumlinor i varje fas, vilket ger totalt sex linor. Det går en topplina längs hela ledningen som är gjord av stål och aluminium. Både faslinorna och topplinan förutsetts bli upphandlade från Indien. Mängden jordlina har uppskattats till 50 m per stolpe och antas komma från Norden. Isolatorerna är gjorda av stål och komposit samt antas tillverkas i Norden respektive Kanada. Mängden staglinorna av stål och stagförankringar av betong har också uppskattats och antas komma från Norden respektive Sverige. Både mängden isolatorer och stag beror på om det är en raklinjestolpe eller vinkelstolpe.

Denna luftledning beräknas enligt klimatverktyget släppa ut knappt 38 kiloton CO_{2e}. Hur dessa utsläpp fördelar sig procentuellt mellan olika kategorier redovisas i Tabell 6. Utsläppen från skogsmarken står för 75 % och drygt 24 % kommer från materialet. Schakten till stolpfundamenten och den totala transporten utgör mindre än 0,5 % tillsammans. Anledningen till att utsläppen från skogsmark står för majoriteten av de totala utsläppen beror på att 92 % av skogsgatan består av skog med relativt hög bonitet. För luftledning basfall blir utsläppen 1270 ton CO_{2e}/km ledning, 70 år och 317 ton CO_{2e}/km ledning, 70 år & ej skogsmark.

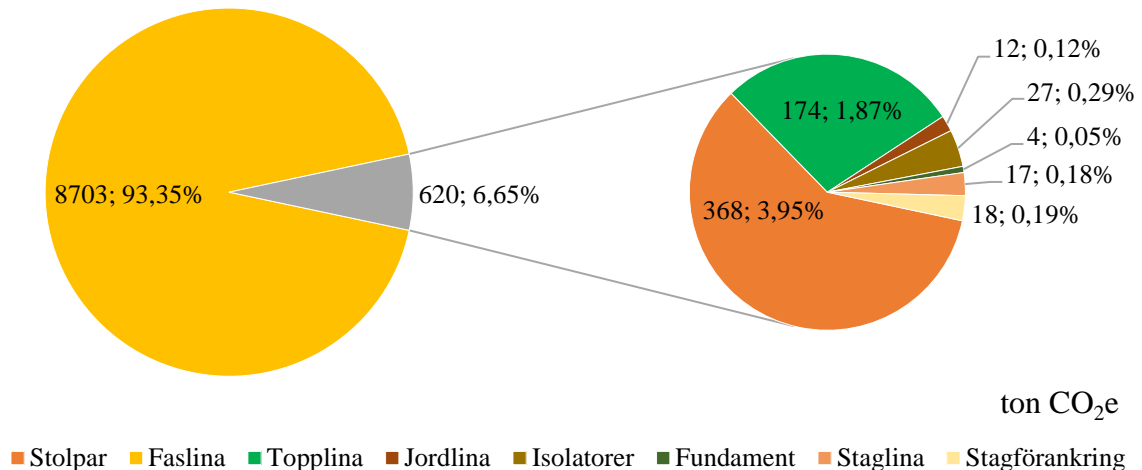
De totala utsläppen för denna luftledning på 38 kiloton CO_{2e} kan jämföras med att de konsumtionsbaserade växthusgasutsläppen är nästan 8 ton CO_{2e} per person och år i Sverige (Naturvårdsverket, 2020). Om man antar att medellivslängden är 80 år skulle de 38 kilotonnen CO_{2e} motsvara utsläppen från 60 personers konsumtion under hela deras livstid.

Tabell 6. Utsläppen för basfall luftledning uppdelat i kategorier och andelar samt redovisat i de tre versionerna av den funktionella enheten 1 km ledning.

Kategorier	Luftledning ton CO _{2e}	Andel
Material	9323	24,53 %
Schakt	12	0,03 %
Transport	147	0,39 %
Skogsmark	28 522	75,05 %
Totalt	38 004	100 %
<i>ton CO_{2e}/km ledning</i>	1270	
<i>ton CO_{2e}/km ledning, 70 år</i>	1270	
<i>ton CO_{2e}/km ledning, 70 år & ej skogsmark</i>	317	

Luftledningen består av många komponenter och utsläppen av dessa kan ses i Figur 17. Faslinorna står för 93 % av utsläppen och av de resterande 7 % är det stolparna och topplinan som främst bidrar till utsläppen. Jordlina, isolatorer, fundament, staglina och stagförankring är komponenter som mängd- och viktmässigt står för en liten del av den totala ledningen och därmed också för en liten del av utsläppen. Att faslinan står för majoriteten av utsläppen beror på att det är en duplexledning, vilket innebär många kilometer lina totalt, och på att den är gjord av aluminium vilket är materialet med högst utsläpp. Om man vill minska utsläppen från

ledningens material är det därför viktigt att fokusera på att minska utsläppen från faslinorna. Det skulle kunna göras genom att välja aluminium från ett land med en mer koldioxidneutral elmix, och därmed lägre utsläpp, jämfört med Indien. Utsläppen från stolparna, som bidrar med näst störst andel utsläpp, kan minskas genom en smart projektering så att det behöver användas så få, och tunga, stolpar som möjligt.



Figur 17. Utsläppen från material för basfall luftledning uppdelat på komponenter. Procenten anges i relation till de totala utsläppen från material, inte från hela ledningen.

7.5.2 Jämförelse av olika produktionsområden för luftledning

Då emissionsdata för samma material kan skilja sig beroende på produktionsområde har det undersökts hur stor påverkan det kan ha på utsläppen från kraftledningen. I denna jämförelse har luftledning basfall, som beskrivs ovan, använts som normalfall. Sedan har två nya fall gjorts, ett med material från produktionsområden med låga utsläpp och ett med höga utsläpp. Fortsättningsvis kommer dessa fall att benämnas låg respektive hög, ibland med prefixet luftledning eller fallet. Det är bara val av produktionsområden som skiljer sig gentemot luftledning basfall. Annars har alla tre fall samma mängd samt sorters komponenter och typ av schakt. De två nya fallen går också samma sträcka som luftledning basfall, den gröna och rosa ledningen i Figur 16. Därmed har skogsgatorna samma längd, bredd och andel skog.

De valda produktionsområdena för de tre fallen kan ses i Tabell 7. För luftledning låg kommer material från Sverige och Norge. Många av materialen är också tillverkade med metoder som genererar lägre utsläpp, som användning av återvunnet material och endast förnybara energikällor. För luftledning hög är det bara betongen som kommer från Sverige. De andra materialen kommer från Turkiet, Kina, Australien och Chile. Det är viktigt att anmärka att produktionsområdena som valts för låg och hög är de lägsta respektive högsta uppgifterna över utsläpp som hittats och lagts in i klimatverktyget. Det har inte tagits hänsyn till om det faktiskt finns producenter av just de komponenterna i de länderna eller om det är möjligt att de producenterna blir upphandlade av entreprenören som ska bygga kraftledningen. Det är därför kanske inte rimligt att stolpar av komposit tillverkas i till exempel Turkiet och sedan används i Sverige. Vi anser att det är en godtagbar förenkling då denna jämförelse främst är till för att visa på osäkerheten i val av produktionsområde och emissionsdata, inte för att generera faktiska utsläppsmängder.

Tabell 7. Valda produktionsområden för materialen för luftledning basfall samt för fallen med låga respektive höga utsläpp.

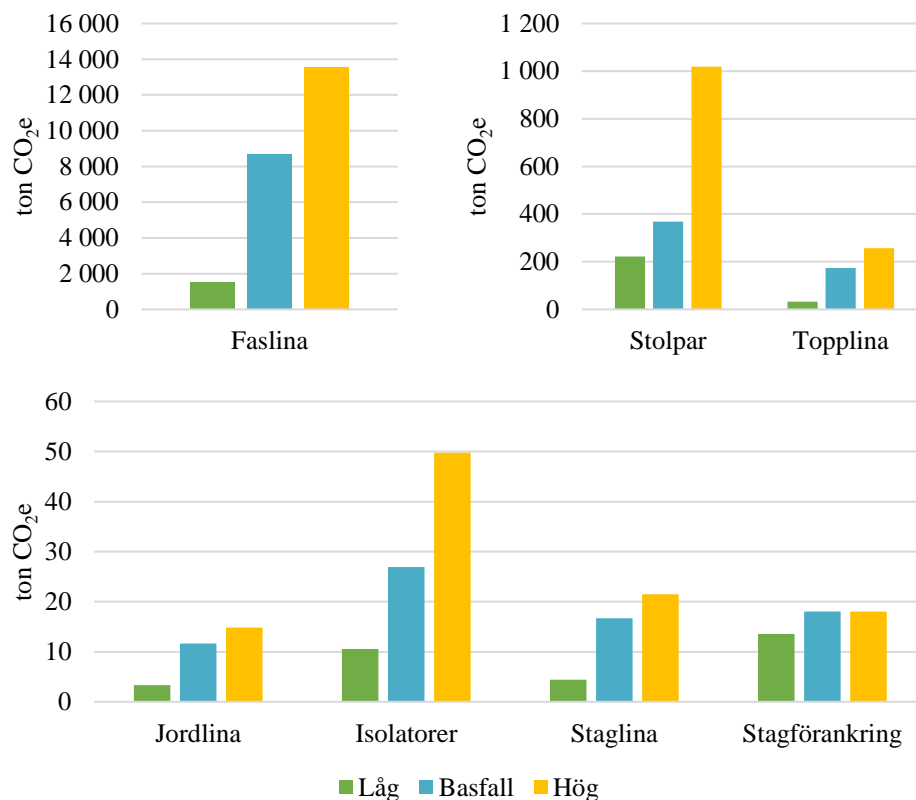
Material	Produktionsområden		
	Låg	Basfall	Hög
Komposit	Sverige	Kanada (stolpar) Norden (isolatorer)	Turkiet
Aluminium	Norge (förnybar energi)	Indien	Kina
Stål	Norge (återvunnet material)	Indien (topplina) Norden (isolatorer och staglina)	Australien
Koppar	Sverige (förnybar energi)	Norden	Chile
Betong	Sverige (klimatförbättrad)	Sverige	Sverige

Hur val av produktionsområde påverkar utsläppen från luftledningen för kategorierna material och transport redovisas i Tabell 8. Som tidigare nämnt är schaktyperna och skogsmarken, och därmed även utsläppen för dessa kategorier, samma för de tre fallen. De har därför uteslutits från tabellen. De totala utsläppen för material och transport för fallet låg är 1,8 kiloton CO_{2e} vilket motsvarar 20 % av utsläppen för basfallet. För fallet hög blir utsläppen 15 kiloton CO_{2e} vilket är 60 % mer än basfallet och åtta gånger så högt som för fallet låg. Utsläppen per kilometer ledning blir 63 respektive 508 ton CO_{2e}/km ledning, 70 år & ej skogsmark. Val av produktionsländer har således en stor betydelse för utsläppen. Förutom att det är möjligt att drastiskt minska utsläppen från material är det även möjligt att minska utsläppen från transporten då fallet låg använder material som tillverkas betydligt närmare platsen för ledningen jämfört med i basfallet och fallet hög. När även skogsmark inkluderas blir utsläppen 1016 och 1461 ton CO_{2e}/km ledning, 70 år för låg respektive hög.

Tabell 8. Utsläppen för luftledning basfall samt fallen låg och hög uppdelat i kategorierna material och transport samt redovisat i två variationer av den funktionella enheten 1 km ledning.

Kategori	ton CO _{2e}		
	Låg	Basfall	Hög
Material	1838	9323	14 933
Transport	17	147	251
Totalt, ej schakt & skogsmark	1855	9469	15 184
<i>ton CO_{2e}/km ledning, 70 år</i>	1016	1270	1461
<i>ton CO_{2e}/km ledning, 70 år & ej skogsmark</i>	63	317	508

Hur materialutsläppen i de tre fallen fördelar sig mellan komponenter kan ses i Figur 18. Genom att välja produktionsområden med låga utsläpp kan man framför allt minska utsläppen för de olika linorna samt isolatorerna, jämfört med basfallet. Det går också att se att ett val av Turkiet som tillverkare av kompositstolparna, jämfört med Kanada som i basfallet, mer än dubblar utsläppen för stolparna. Även för isolatorerna gör val av produktionsområde en stor skillnad. Betongen som används till stagförankring i basfallet och fall hög är samma, därav är de utsläppen lika. Som nämnt för basfall luftledning står faslinorna för majoriteten av utsläppen från material vilket betyder att det är där den största klimatvinsten kan göras genom att välja ett produktionsområde med lägre utsläpp.



Figur 18. Utsläppen från material för luftledning basfall i blått samt fallen låg och hög i grönt respektive gult uppdelat på komponenter. Fundamenten för stolparna har exkluderats då de har samma utsläpp.

Det är även värt att påpeka att hur själva produktionen av materialet sker påverkar utsläppen, även om det i regel också är kopplat till produktionsområdet. Länder i Norden har generellt sett en produktion med lägre utsläpp vilket kan kopplas till en elmix som består av en stor andel förnybara energikällor och en högre klimatambition. Produktionsland utanför Europa använder vanligtvis en stor andel fossila energikällor vilket resulterar i högre utsläpp. Då många av komponenterna till fallet låg består av material som är tillverkat med 100 % förnybar energi eller återvunnet material utgör detta ett så kallat best-case. Om produktionen skulle ske i Sverige eller Norge under mer traditionella förhållanden skulle utsläppen vara något högre, men fortfarande vara låga.

Både klimatet och miljön skulle gynnas av att en större andel återvunnet material användes. Dock är det inte alltid förenligt med behoven och kraven för kraftledningar. Vissa komponenter bör inte tillverkas från återvunnet material. Ett exempel är faslinorna som måste vara av rent, jungfruligt material för att kunna överföra el effektivt. Är överföringsförlusterna stora måste mer el produceras, vilket innebär ökad klimatpåverkan. Även om återvunnet material inte kan

användas som inputmaterial för vissa delar av kraftledningen är det viktigt att de, efter ledningens livstid, återvinns och återanvänds i andra delar eller sammanhang. I ett livscykelperspektiv skulle det minska de totala utsläppen. Idag är det dock svårt att återvinna alla delar då vissa komponenter består av sammansatta material, som till exempel metallegeringar och komposit. Komposit brukar exempelvis vanligtvis deponeras, men går att använda som fyllnadsmaterial och därmed ersätta krossat berg (Johannesson et al., 2020). Men när det väl är dags att avveckla de kraftledningar som byggs idag finns det förhoppningsvis nya tekniker som möjliggör återvinning i en större utsträckning.

7.5.3 Jämförelse av komposit- och stål stolpar för luftledning

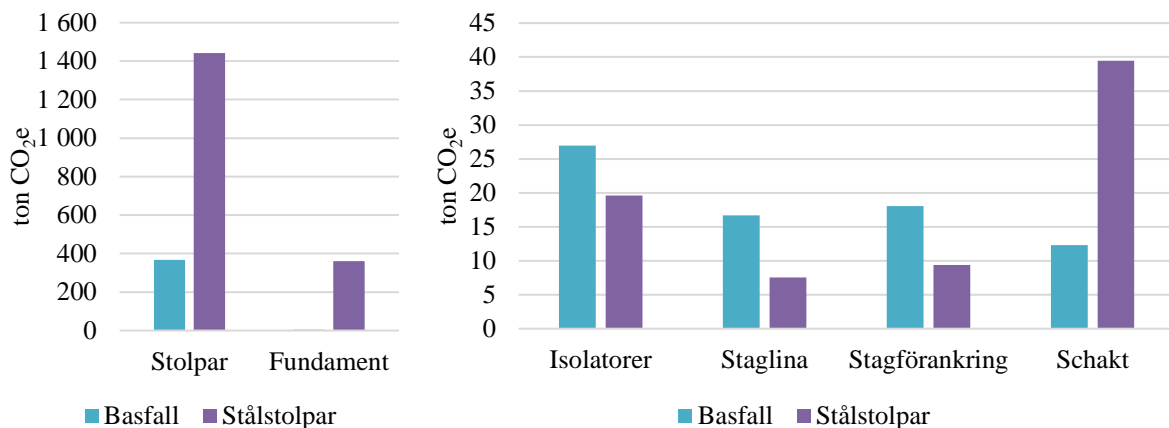
I luftledning basfall används stolpar av komposit. Ett annat materialalternativ är stål och därför har ett nytt fall med stål stolpar gjorts för att kunna jämföra de två. Fortsättningsvis kommer det att kallas luftledning stål stolpar, eller fallet stål stolpar. Detta går samma sträckning som basfallet, den gröna och rosa sträckningen i Figur 16. Därmed har de samma skogsgata och samma utsläpp från skogsmark. Även samma antal raklinjestolpar och vinkelstolpar har använts samt mängder av faslina, topplina och jordlina. Stål stolparna är däremot betydligt tyngre än kompositstolpar vilket påverkar både fundament och stag. Det krävs större fundament som består av både betong och armeringsstål vilket kräver större schakt. Mängden stag har minskats då stål stolparna i sig klarar större krafter än kompositstolpar. Sammanlagt ökar vikten av materialet som måste transporteras till ledningen.

I Tabell 9 kan man se hur ett byte från kompositstolpar till stål stolpar ökar utsläppen till 11 kiloton CO₂e jämfört med basfallets 9,5 kiloton CO₂e. Utsläppen ökar för alla de tre kategorierna material, schakt och transport. Med stål stolpar blir det totalt 365 ton CO₂e/km ledning, 70 år & ej skogsmark. Det är endast 15 % mer än basfallet vilket är en något lägre skillnad än väntat. Dock är det fortfarande många ton totalt som går att undvika med kompositstolpar i stället för stål stolpar i och med att den funktionella enheten endast ser till 1 km ledning. Om utsläppen från skogsmark inkluderas blir det 1317 ton CO₂e/km ledning, 70 år för fallet med stål stolpar.

Tabell 9. Utsläppen för basfallet med kompositstolpar samt en ledning med stål stolpar uppdelat i kategorierna material, schakt och transport samt redovisat i två variationer av den funktionella enheten 1 km ledning.

Kategori	ton CO ₂ e	
	Basfall	Stål stolpar
Material	9323	10 727
Schakt	12	39
Transport	147	165
Totalt, ej skogsmark	9482	10 931
<i>ton CO₂e/km ledning, 70 år</i>	1270	1317
<i>ton CO₂e/km ledning, 70 år & ej skogsmark</i>	317	365

I Figur 19 jämförs utsläppen från komponenterna i de två fallen. Utsläppen för stolpar, fundament och schakt ökar med stålstolpar medan de minskar för isolatorer och stag. Det är enligt förväntan med tanke på skillnaden i indata. Anledningen till att utsläppen för isolatorerna minskar är för att det används något färre isolatorer för just de stålstolparna som valts i verktyget. Ofta behöver nya stolpar konstrueras till varje projekt då varje ledning har olika förutsättningar. De stålstolparna som används i detta fall är från ett tidigare projekt som utförts och är därmed inte anpassade för denna ledning. Därmed skiljer sig detta resultat troligtvis något från det som skulle fås med informationen som tas fram vid detaljprojekteringen.



Figur 19. Utsläppen från material för basfallet med kompositstolpar i blått och fallet med stålstolpar i lila uppdelat på komponenter. Faslina, topplina och jordlina är samma för de två fallen och har därmed samma utsläpp. Utsläppen från fundament för basfallet är 4 ton, och därmed för små för att synas i diagrammet.

7.5.4 Jämförelse av två alternativa sträckningar för luftledning

I framkomlighetsstudien för fallstudien undersöktes två alternativa sträckningar, luftledning basfall, som motsvaras av den gröna och rosa ledningen i Figur 16, och alternativ 2, som motsvaras av den gröna och gula ledningen. Totalt är de 30 respektive 34 km långa. I alternativ 2 används samma material från samma produktionsområden som i basfallet, men mängden komponenter skiljer sig. Ledningen består av 92 raklinjestolpar, 33 vinkelstolpar med liten vinkel och 11 vinkelstolpar med stor vinkel. Detta beror på att stolptyperna och deras tillbehör är proportionella mot ledningens längd enligt de uppskattningar av material som gjorts.

De totala utsläppen från alternativ 2 visas i Tabell 10 och är 42 kiloton CO₂e. Det är 11 % mer än för basfallet. Materialet, schakt och transport är 13–14 % mer än för basfallet. Alternativ 2 är cirka 13 % längre än basfallet och därmed blir utsläppen 13 % högre. Utsläppen från skogsmark blir dock bara 10 % större. Förklaringen till detta har att göra med att det skiljer sig hur stor andel av ledningarna som går igenom Län 1 respektive Län 2. Av luftledning basfall ligger 89 % i Län 1, medan siffran är 74 % för alternativ 2. Skillnaden beror slutligen på att fördelningen av bonitetsklasserna mellan de två länen är olika, vilket är vad verktyget baserar utsläppen från skogsmark på (se Tabell A9.1 i appendix A9 Skogsmark). I verkligheten är det dock inte en skarp gräns vid länsgränsen, varvid det inte bör sättas så stor vikt vid detta. För alternativ 2 blir utsläppen per kilometer ledning 1242 ton CO₂e vilket är något mindre än för basfallet. Då utsläppen för material, schakt och transport är proportionella mot ledningens längd blir enheten utan skogsmark samma för de två fallen, 317 ton CO₂e/km ledning, 70 år & ej skogsmark.

Tabell 10. Utsläppen för luftledning basfall och alternativ 2 uppdelat i kategorier samt redovisat i två variationer av den funktionella enheten 1 km ledning och en procentuell jämförelse.

Kategori	ton CO ₂ e		Förändring
	Basfall (30 km)	Alt. 2 (34 km)	
Material	9323	10 592	+ 14 %
Schakt	12	14	+ 13 %
Transport	147	167	+ 13 %
Skogsmark	28 522	31 469	+ 10 %
Totalt	38 004	42 242	+ 11 %
<i>ton CO₂e/km ledning, 70 år</i>	1270	1242	- 2 %
<i>ton CO₂e/km ledning, 70 år & ej skogsmark</i>	317	317	0 %

Skillnaden mellan utsläppen från de alternativa ledningarna blir i denna fallstudie proportionell mot skillnaden i längd då det saknas underlag och samma typ av antaganden har gjorts för de båda fallen. I verkligheten är det troligtvis större skillnader mellan olika sträckningar vilket skulle resultera i en annan omfattning av skillnaden i utsläpp. Då hade verktygets beräkningar av antalet koldioxidekvivalenter kunnat användas som ett kompletterande underlag för att besluta om lokalisering och utformning. Faktorer som skulle kunna skilja sig mellan två sträckningar, och har stor påverkan på utsläppen, är andelen skog i skogsgatan, skogens bonitet samt markens egenskaper. Markens egenskaper påverkar vilken typ av fundament som används samt hur många och vilken typ av stag som behövs. Till exempel har påfundament som används i våtmark betydligt större utsläpp än andra fundamentstyper. Skulle det därmed vara värt att bygga en längre ledning för att undvika skogsmark av högre bonitet eller en större våtmark? Det kan också vara så att alternativa sträckningar kräver olika typer av stolpar samt olika andelar raklinjestolpar och vinkelstolpar, något som även det kan resultera i en stor skillnad i utsläpp.

7.5.5 Markkabel

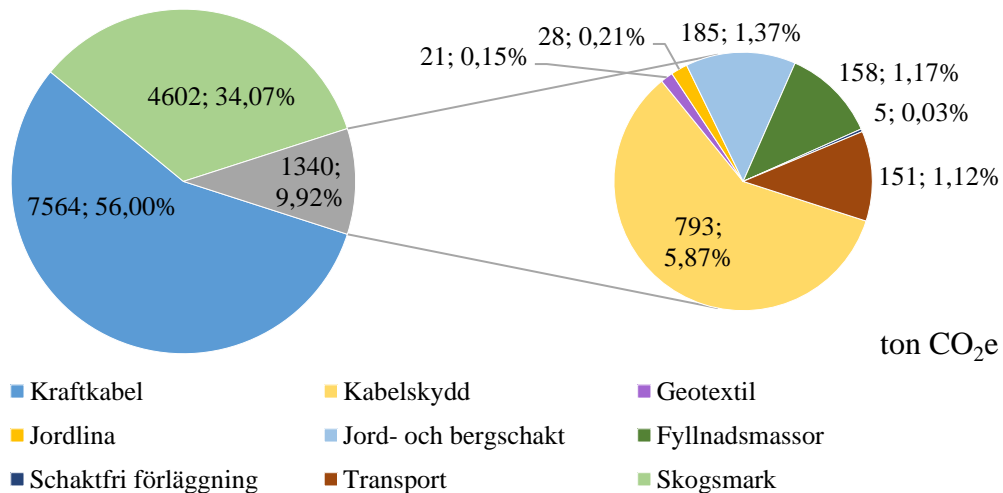
Alternativet med markkabel är 21 km långt och den blå sträckningen i Figur 16. Ledningen består av sex enledarkablar uppdelade i två kabelförband. Precis som för luftledning basfall har antaganden behövts göras för markkabelns komponenter. Den valda kraftkabeln är en kabel med en ledare av koppar. Isoleringmaterialen som används är PEX, HDPE och PE. Kopparen antas komma från Norden och isoleringmaterialen från Europa. Det går en jordlina i koppar längs med hela ledningen som också antas komma från Norden. Mängderna för kabelskyddsror, foderrör till schaktfri förläggning och geotextil har uppskattats med hjälp av ett tidigare projekt samt är tillverkade i Sverige. Ledningen antas bestå av tre typer av öppen förläggning och schaktfri förläggning. Jordschakt används i 87 % av ledningen varav 60 % är direktförlagt och de resterande 27 % rörförlagt. Bergschakt utgör 3 % av ledningen och de resterande 10 % är schaktfri förläggning. Andelarna av dessa förläggningar samt deras dimensioner har uppskattats med hjälp av ett tidigare projekt. Då markkabeln går längs en väg antas ledningsgatan vara 12,5 m bred och 67 % av den utgöras av skog. Hela ledningen går igenom Län 1.

Utsläppen från markkabeln kan ses i Tabell 11. De totala utsläppen är 13,5 kiloton CO₂e. Material är den kategori som står för störst andel, 62 %. Utsläppen från skogen står för 34 % medan schakt och transport tillsammans utgör 4 % av utsläppen. Per kilometer ledning ger markkabeln upphov till 650 ton CO₂e. Om skogsmarken räknas bort blir det 429 ton CO₂e/km ledning, ej skogsmark. Dessa värden är dock för kabelns egen livslängd på 35 år. I tabellen nedan redovisas också de två andra varianterna för den funktionella enheten 1 km ledning som räknar på en 70 årsperiod vilket innebär att kabeln behöver anläggas två gånger. Då skogen ej behöver avverkas igen är värdet för CO₂e/km ledning, 70 år något lägre än det dubbla värdet av CO₂e/km ledning. Värdet på enheten utan skogsmark är däremot det dubbla av det som nämndes ovan.

Tabell 11. Utsläppen för markkabel uppdelat i kategorier och andelar samt redovisat i de tre versionerna av den funktionella enheten 1 km ledning.

Kategori	Markkabel ton CO ₂ e	Andel
Material	8407	62,2 %
Schakt	347	2,6 %
Transport	151	1,1 %
Skogsmark	4602	34,1 %
Totalt	13 507	100 %
<i>ton CO₂e/km ledning</i>	650	
<i>ton CO₂e/km ledning, 70 år</i>	1079	
<i>ton CO₂e/km ledning, 70 år & ej skogsmark</i>	858	

I Figur 20 kan man se de totala utsläppen från kategorierna skogsmark och transport samt kategorierna schakt och material uppdelat i mindre delar. Utsläppen från schakt är fördelade mellan grävarbetet och bortforsling av massor, vilket benämns jord- och bergschakt, samt schaktfri förläggning och fyllnadsmassor. Material är uppdelat i komponenterna kraftkabel, jordlina, kabelskydd och geotextil. Av de 62 % av de totala utsläppen som kommer från material kommer 56 procentenheter från kraftkabeln och 6 procentenheter från kabelskydd. Jordlina och geotextil står för mindre än 0,5 % tillsammans. Kraftkabeln står för en stor andel av utsläppen då kärnan är av koppar vilket har höga utsläpp. Det är dessutom sex kablar längs med ledningen vilket resulterar i många ton material.



Figur 20. Utsläppen från material för basfall markkabel uppdelat på komponenter. Procenten anges i relation till de totala utsläppen från material, inte från hela ledningen.

7.5.6 Jämförelse av luftledning och markkabel

De totala utsläppen från anläggningen av ledningen med markkabel är betydligt lägre än byggnationen av luftledning basfall, vilket kan ses i Tabell 12. Med det sagt är ledningarna olika långa och har olika livslängder vilket gör att de inte går att jämföra rakt av. Utan hänsyn till livslängden blir det 1270 ton CO₂e/km ledning för luftledning och 650 ton CO₂e/km ledning för markkabel. När hänsyn tas till livslängden blir värdena 1270 och 1070 ton CO₂e/km ledning, 70 år för luftledning respektive markkabel. Utsläppen för markkabel är därmed fortsatt lägre. Om man däremot exkluderar utsläppen som antas ske till följd av minskningen av kollagret i skogen blir utsläppen 317 och 858 ton CO₂e/km ledning, 70 år & ej skogsmark för luftledning respektive markkabel. Då framstår i stället luftledning som mindre utsläppintensiv.

Tabell 12. Utsläppen för basfall luftledning samt markkabel uppdelat i kategorier samt redovisat i de tre versionerna av den funktionella enheten 1 km ledning.

Kategori	ton CO _{2e}	
	Luftledning (30 km)	Markkabel (21 km)
Material	9323	8407
Schakt	12	347
Transport	147	151
Skogsmark	28 522	4602
Totalt	38 004	13 507
<i>ton CO_{2e}/km ledning</i>	1270	650
<i>ton CO_{2e}/km ledning, 70 år</i>	1270	1079
<i>ton CO_{2e}/km ledning, 70 år & ej skogsmark</i>	317	858

Anledningen till att markkabeln går från det bättre alternativet när skogsmark är inkluderat till att bli betydligt sämre när skogsmark exkluderas beror på skillnaden i markanvändningen. Luftledningen har dels ett bredare område som måste röjas vid byggnation (40 m), dels går sträckningen genom 92 % skog. Markkabelns ledningsgata är bara 12,5 m bred eftersom den går bredvid en väg och innehåller endast 67 % skog. Markkabeln påverkar därmed en betydligt mindre areal skog. Detta gör att skogsmarken bara står för 34 % av de totala utsläppen för markkabel medan samma siffra för luftledning är 75 %. På så vis blir det en stor skillnad mellan de två enheterna *CO_{2e}/km ledning, 70 år* och *CO_{2e}/km ledning, 70 år & ej skogsmark*.

7.5.7 Jämförelse av ledningsalternativ med avseende på anslutna MW

Eftersom kraftledningarna byggs i syfte att transportera el från en energianläggning är det intressant att undersöka ledningarnas utsläpp av växthusgaser med avseende på ansluten effekt. I detta fall möjliggör det även att de framtagna ledningsalternativen går att jämföra rättvist med varandra då de ansluter olika solcellsparkar. Luftledningsalternativen ansluter till solcellsparkerna A och C i Figur 16, vilka tillsammans utgör 280 MW. Markkabeln ansluter däremot endast park B på 120 MW. Beräkningen har gjorts genom att dividera de totala utsläppen från ledningsalternativen, luftledning basfall, luftledning alternativ 2 samt markkabel, samt de tre fallen som har baserats på luftledning basfall, med effekten de ansluter.

Tabell 13 visar att markkabeln har lägst utsläpp av de tre ledningsalternativen per MW medan alternativ 2 har högst, 113 respektive 151 *ton CO_{2e}/MW, 35 år*. Detta beror på att luftledningarna har så pass mycket högre totalutsläpp än markkabeln, att det inte spelar någon roll att markkabeln ansluter en mindre solcellspark. Om alla fallen jämförs är det dock luftledning låg som har lägst värde, 109 *ton CO_{2e}/MW, 35 år*. Då de totala utsläppen för luftledningens material minimeras blir den därmed ett bättre alternativ än markkabeln. Om utsläppen från skogsmark exkluderas kastas ordningen om och markkabeln blir det sämsta

alternativet med 74 ton CO₂e/MW, 35 år & ej skogsmark medan luftledning basfall blir 34 ton CO₂e/MW, 35 år & ej skogsmark. Det beror på att omkring tre fjärdedelar av luftledningarnas utsläpp kommer från skogsavverkningen. Om alla fall jämförs utan skogsmark blir återigen luftledning låg det bästa alternativet med 7 ton CO₂e/MW, 35 år & ej skogsmark.

Tabell 13. Utsläppen för de olika fallen med avseende på den anslutna effekten i solcellsparkerna redovisade i de två versionerna av den funktionella enheten 1 MW.

Fall	ton CO ₂ e/MW, 35 år	ton CO ₂ e/MW, 35 år & ej skogsmark
Luftledning basfall	136	34
Luftledning låg	109	7
Luftledning hög	156	54
Luftledning stål stolpar	141	39
Luftledning alt. 2	151	38
Markkabel	113	74

Till skillnad från den tidigare jämförelsen mellan luftledning och markkabel har utsläppen för markkabel ej dubblerats. I stället jämförs de för en period på 35 år då det är solcellsparkernas livslängd. Det innebär att markkabeln bara behöver anläggas en gång för att transportera el från solcellsparken. En period på 70 år hade kunnat användas om man antar att solcellsparken kommer att anläggas igen efter 35 år, men med tanke på den snabba utvecklingen av solceller tycker vi inte att det är relevant. Om 35 år när det är dags att bygga nya parker kommer de troligtvis att ha en högre effekt jämfört med idag.

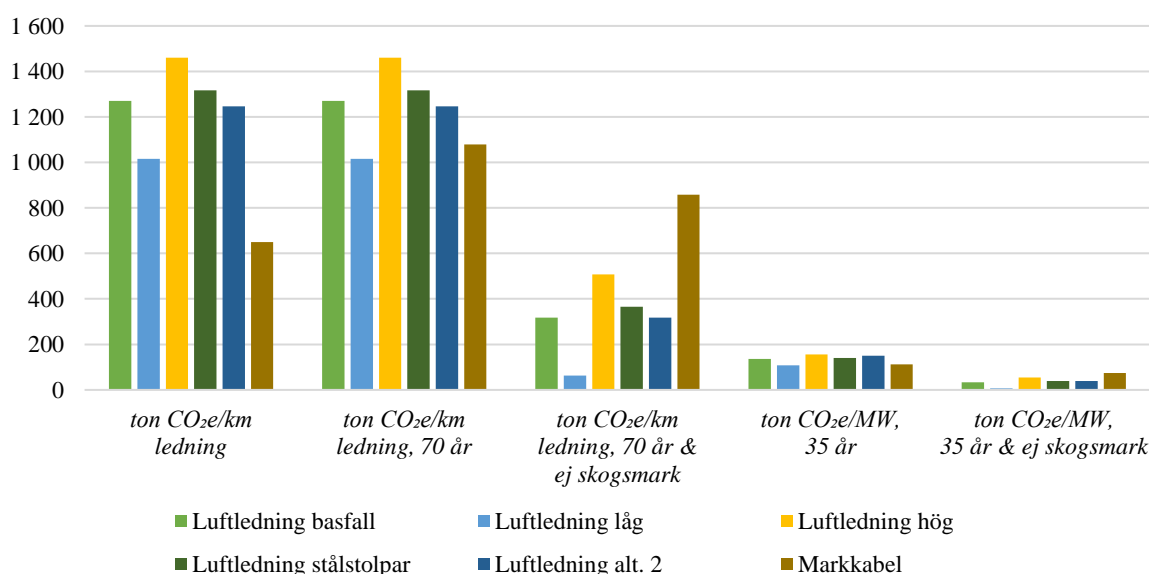
7.5.8 Sammanställning av resultat

En sammanställning av resultatet från de olika fallen kan ses i Tabell 14. Luftledning låg och hög visar att hur och var materialen produceras kan göra en stor skillnad för klimatet. Genom att välja material som produceras nära ledningen och med förnybar energi samt återvunnet material kan de totala utsläppen från en luftledning bli relativt låga. Man kan även undvika utsläpp genom att välja rätt råmaterial för komponenterna, till exempel stolpar av komposit i stället för stål vilket visas av fallet stål stolpar. En kraftledning består av många komponenter så det finns en stor potential i att minska utsläppen genom att även byta ut material för andra delar. För markkabel konstruerades inga ytterligare fall, men både resultatet från val av produktionsområden och val av material är applicerbart på markkabeln och skulle ge en liknande effekt. Med det sagt skulle utsläppen från en markkabel både kunna vara betydligt lägre och högre än de växthusgasutsläpp som har beräknats.

Tabell 14. Utsläppen för de olika fallen uppdelat på kategorierna material, schakt, transport och skogsmark.

Kategori	ton CO ₂ e					
	Luftledning basfall	Luftledning låg	Luftledning hög	Luftledning stål stolpar	Luftledning alt. 2	Markkabel
Material	9323	1838	14 933	10 727	10 592	8 407
Schakt	12	12	12	39	14	347
Transport	147	17	251	165	167	151
Skogsmark	28 522	28 522	28 522	28 522	31 469	4602
Totalt	38 004	30 400	43 718	39 452	42 242	13 507

De olika fallens utsläpp är däremot inte direkt jämförbara i tabellen ovan eftersom ledningarna är olika långa och ansluter till olika solcellsparker. Jämförelsen görs i stället i Figur 21, som visar resultatet för de enheter som har använts. Analysen under figuren fokuserar på de tre ledningarna luftledning basfall, luftledning alternativ 2 och markkabel då det är fallstudiens alternativ i dagsläget. Hur luftledning låg, luftledning hög och luftledning stål stolpar förhåller sig till ledningsalternativen kan utläsas i figuren. Luftledning låg har lägst eller näst lägst utsläpp och luftledning hög har högst eller näst högst utsläpp för de olika enheterna. Luftledning stål stolpar har alltid något högre utsläpp än luftledning basfall.



Figur 21. Utsläppen för de olika fallen redovisat i fem enheter baserade på de funktionella enheterna 1 km ledning och 1 MW.

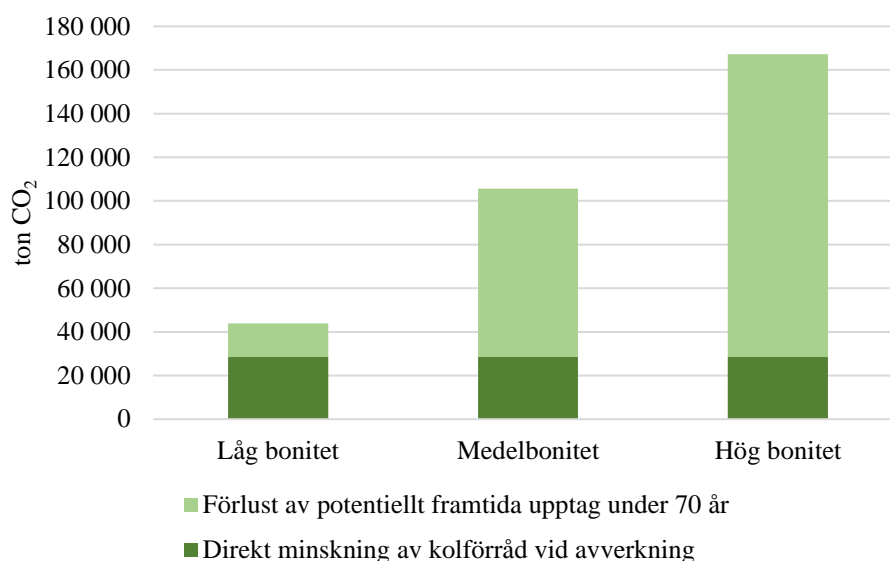
Trots att två funktionella enheter med tillhörande variationer har använts för att normalisera fallstudiens tre ledningsalternativ är det svårt att jämföra dem och besluta vilket alternativ som är bäst. Att jämföra ledningarna enbart baserat på ton CO₂e/km ledning resulterar i att markkabeln har lägst utsläpp och luftledning basfall högst. Det är dock inte en rättvis jämförelse då man behöver ta hänsyn till fler aspekter. När även livslängden vägs in har markkabeln lägst utsläpp per kilometer ledning, och luftledning basfall har högst. Ett liknande resultat fås det när den andra funktionella enheten, 1 MW, används. Då ger alternativ 2 upphov till högst utsläpp

medan markkabeln fortfarande har lägst. Troligtvis skulle det förhållandet även gälla om ledningarna förlängs så att de ansluter till alla solcellsparker. Enheterna som exkluderar skogsmarken visar att om de direkta utsläppen från skogsavverkning tas bort kastas ordningen om och markkabeln får betydligt högre utsläpp än luftledningsalternativen. Det finns många osäkerheter med utsläppen från skogsmarken (se 7.6.5 *Utsläpp från påverkan på skogsmark*), men vi anser ändå att de bör räknas med då det inte finns tillräckligt med underlag för att med säkerhet kunna exkludera dem. Utifrån den bedömningen och med denna fallstudies förutsättningar är markkabel det alternativ med lägst utsläpp, dock inte med stora marginaler. Vi vill däremot inte göra någon slutgiltig rekommendation av vilket alternativ som bör väljas utifrån ett perspektiv kring växthusgasutsläpp. Det kan först göras efter nya beräkningar baserade på ett mer detaljerat underlag.

7.5.9 Olika sätt att beräkna påverkan på skog

Som tidigare nämnt består utsläppen från skogsmark i verktyget endast av den direkta minskningen av kolförrådet vid avverkning, det vill säga det som potentiellt kan släppas ut i atmosfären om skogsråvaran förbränns. Förutom den direkta minskningen sker det även en förlust av potentiellt framtida upptag av koldioxid. Om skogen inte hade avverkats vid byggnationen hade den år efter år, fram tills att den nått en lämplig ålder för avverkning, lagrat ännu mer koldioxid och därmed minskat mängden koldioxid i atmosfären. Enligt Hammervold (2015) beror det framtida upptaget bland annat på skogens ålder och kvalitet. Upptaget av koldioxid för en produktiv skogsmark kan variera mellan 0,2–1,8 kg CO₂/m² per år från låg till hög bonitet.

För att se hur stort det förlorade upptaget skulle kunna vara har dessa siffror applicerats på luftledning basfall. Det antas att förlusten av de framtida upptaget sker konstant under hela luftledningens livslängd på 70 år. Då spannet för upptaget är stort och det är okänt exakt vilka boniteter det motsvarar undersöks tre nivåer av bonitet: låg bonitet med 0,2 kg CO₂/m² per år, medelbonitet med 1 kg CO₂/m² per år och hög bonitet med 1,8 kg CO₂/m² per år. Resultatet kan ses i Figur 22 där både den direkta minskningen och förlusten av det potentiellt framtida upptaget för de tre nivåerna av bonitet visas. Den direkta minskningen för basfallet är 28,5 kiloton CO₂. För låg bonitet tillkommer en ytterligare minskning på 15 kiloton CO₂ medan den för medelbonitet är 77 kiloton CO₂. En hög bonitetsnivå skulle kunna minska de framtida upptaget med 139 kiloton CO₂, vilket är fem gånger så mycket som den direkta minskningen. Totalt skulle det innebära en minskning på 170 kiloton CO₂.



Figur 22. Den direkta minskningen av kolförrådet som uppstår vid avverkningen av skog samt förlusten av potentiellt framtida upptag under 70 år för luftledning basfall.

Det finns en viss osäkerhet i siffrorna och troligtvis är inte upptaget av koldioxid konstant under 70 år. Det kanske dessutom är så att skogen, vid ledningens byggstart, är 40 år gammal och planeras att avverkas inom 20 år för att sedan nyplanteras. Det skulle påverka upptag och utsläpp av koldioxid ytterligare. Oavsett exakta siffror bör man vara medveten om att avverkning av skog kan ge både en direkt minskning av kolförrådet och en framtida minskning av inlagringen av koldioxid. Genom att undvika att bygga kraftledningar på skogsrikmark är det således möjligt att göra en stor klimatnytta. Mer om komplexiteten i att beräkna utsläpp från skogsmark går att läsa i 7.6.5 Utsläpp från påverkan på skogsmark.

7.6 Diskussion kring klimatverktygets potential och begränsningar

Följande avsnitt diskuterar resultatets rimlighet, det som inte inkluderats i verktyget och hur väl jämförelsen mellan luftledning och markkabel har kunnat göras. Det tar också upp svårigheterna med att generalisera utsläppen från kraftledningar samt med att beräkna utsläpp från påverkan på skogsmark. Slutligen nämns potentiella användningsområden för verktyget.

7.6.1 Resultatets rimlighet

Rimligheten i resultatet från fallstudien är svår att bedöma då det inte finns så mycket att jämföra med. Det har gjorts tidigare examensarbeten (Lövebrant, 2012; Andersson, 2016) och LCA:er (Jorge et al., 2012; Bumby et al., 2010; Harrison et al., 2010) på kraftledningar men de använder annan indata, andra antaganden och andra avgränsningar i livscykeln. Anderssons (2016) examensarbete är en vidareutveckling av Lövebrants (2012) arbete. De båda undersöker växthusutsläppen från luftledning och markkabel i Sverige med en livslängd på 40 år. Båda arbetena får ett resultat på ungefär 1200–1400 ton CO₂e/km för luftledning och 1600–1900 ton CO₂e/km för markkabel. Värdet för luftledning är i närheten av denna studies resultat, dock är värdet för markkabel nästan det dubbla trots att livslängden är drygt hälften så lång. Det är bara den ena av de nämnda livscykelanalyserna som har samma funktionella enhet som detta arbete. Jorge et al. (2012) får ett värde på cirka 550 ton CO₂e/km för en 400 kV luftledning i Norge med en okänd livslängd. Även detta värde är i samma storleksordning som resultatet i denna studie. Med det sagt är syftet med det vidareutvecklade klimatverktyget i detta arbete inte att ge ett exakt värde på utsläppen utan att ge en indikation på utsläppens storlek. Ur det perspektivet bedöms värdet från denna fallstudie vara rimligt.

Trots det är utsläppens fördelning från de ingående kategorierna något förvånande. För både luftledning och markkabel står transporten enbart för någon procent av de totala utsläppen. Andelen är överraskande liten, men generellt sätt brukar transport stå för en liten del av utsläppen i livscykel. Mer förvånande är utsläppen från schakten. För luftledning var det väntat att schakten inte skulle stå för en betydande del av utsläppen då det bara schaktas för stolparnas fundament. Däremot är det oväntat att schakten från kabeldiket, som är lika långt som ledningen, utgör mindre än 3 % av de totala utsläppen från kabelalternativet i fallstudien. Emissionsdata för schakt har tagits från Trafikverkets klimatkalkyl vilket vi anser är en trovärdig källa. Denna emissionsdata ska innehålla dieselanvändning för både arbetsmoment och transport samt användning av sprängmedel men de är inte fullt transparenta med hur de har räknat. Troligtvis är det medelvärden från tidigare anläggningsprojekt för främst väg vilket kan skilja sig något från kabeldiken. I de tidigare nämnda examensarbetena och livscykelanalyserna står schakt, anläggningsarbeten och byggnation för en större andel av de totala utsläppen än de gör i denna studie. Det är dock svårt att säga hur mycket större då de kategorierna inkluderar olika saker. Gissningsvis handlar det om mellan 5–30 % beroende på vilken typ av kraftledning som undersöks och troligtvis står schaktningen för en betydande del de utsläppen. Förmodligen bör schaktningen utgöra en större del av utsläppen även i detta arbete. Därför föreslår vi att man undersöker tydligare emissionsdata i framtiden.

Att andelen utsläpp från material skiljde sig mycket mellan luftledning och kabel var också oväntat. I efterhand är det dock rimligt med tanke på att luftledningen tar mycket skogsmark i anspråk. Luftledningens fall visade att både olika produktionsområden och material har betydelse. En liten förändring i vikt eller av emissionsdata kan ge ett stort utslag på de totala utsläppen. Dessa fall gjordes inte för markkabeln men då utsläppen från material för markkabeln står för majoriteten av de totala utsläppen kan skillnaderna bli ännu större genom att välja andra material. Trots att det finns många typer av kraftkablar var det svårt att hitta underlag. Data för fem kablar hittades men de skiljer sig mycket i både konstruktion och utsläpp. En kabel med ledararean som bestämts för fallstudien hittades vilket gör att utsläppen från denna kabel inte kunnat jämföras med en annan. För att göra markkabelns resultat säkrare behövs ett större underlag för kraftkablarna. Även utsläpp för vissa andra komponenter var svåra att hitta då det tyvärr inte finns EPD:er tillgängliga på marknaden i samma utsträckning som det till exempel gör inom byggbranschen.

Fallstudiens relativt lilla underlag har även begränsat resultatets rimlighet. Den enda givna indata som har använts i verktyget är ledningens längd, kompositstolparnas och linornas produktionsområden samt vilken typ av linor som bör användas. All annan indata har uppskattats med hjälp av tidigare projekt och rimligheten har kontrollerats av projektets uppdragsledare. Klimatverktyget är förvisso konstruerat så att det ska gå att beräkna växthusgasutsläpp från ett projekt oavsett vilket skede det är i men ett tidigare projektskede innebär att desto fler antaganden behöver göras vilket resulterar i större osäkerheter i resultatet. I och med att det gjorts många antaganden i beräkningarna kring fallstudien finns det stora osäkerheter i fallstudiens resultat. Tyvärr är det svårt att säga var de största osäkerheterna finns. Om projektet hade nått fasen detaljprojektering hade resultatet fått en större säkerhet.

7.6.2 Det som inte har inkluderats i verktyget

Med de resurser som varit tillgängliga inom ramen för examensarbetet finns det vissa saker som inte har kunnat inkluderas i klimatverktyget, vilket gör att verktyget inte ger hela bilden. Detta gäller bland annat en stor del av arbetet som sker i entreprenaden. För luftledning kan nämnas användningen av lyftkran för att resa stolpar och sträcka linorna samt schakten för jordlina och stag. För markkabel saknas framför allt tryckningen eller den styrda borringen som krävs för

schaktfri förläggning och borttransport av stubbar. Användningen av skogsmaskiner för avverkningen är inte heller medräknade, varken för markkabel eller för luftledning. Majoriteten av utsläppen från entreprenaden kommer sannolikt från bränsleanvändning. Troligtvis är de relativt små i sammanhanget men det har inte gjorts någon uppskattning av hur stor andel de skulle stå för. Vidare har flera mindre komponenter fått exkluderas. För luftledning saknas bland annat fotsteg för att ta sig upp i stolparna och för markkabel fattas bland annat materialet till skarvar. Dessa utsläpp är troligtvis försumbara men återigen skulle det behöva bekräftas med en kontroll. Det som skulle kunna vara av betydelse för vissa projekt som anlägger långa tillfartsvägar är att skogsmarken som tas i anspråk för det inte har tagits med i verktyget. För just denna fallstudie är det dock inte aktuellt.

Gällande stolparna i luftledning användes komposit och stål i denna fallstudie. I regionnätet är det dock vanligt att trästolpar används. Dessa har inte inkluderats i verktyget då det inte hittades något lämpligt underlag samt för att Norconsult vanligtvis inte använder trästolpar i sina projekt. Utsläppen från kompositstolpar har jämförts med utsläppen från olika trästolpar i en LCA av Svenska Miljöinstitutet (2020). Tre olika trästolpar undersöktes: kreosotimpregnerade, kopparimpregnerade och PE-klädd stolpe. Trästolpen klädd i PE var den som hade både minst miljö- och klimatpåverkan. Den gav upphov till mindre än en femtedel av växthusgasutsläppen från en kompositstolpe. De andra trästolparna hade något högre utsläpp än den PE-klädda stolpen. Kreosotstolpen gav däremot upphov till nästan fem gånger så mycket cancerogena ämnen som kompositstolpen, vilket är en viktig miljöpåverkan som det inte tagits hänsyn till i detta arbete.

För flera av komponenterna som har inkluderats har det tyvärr inte hittats emissionsdata som stämmer fullständigt överens med vad det är för typ av komponent. I stället har den fått approximeras med emissionsdata som har hittats för liknande komponenter. Till exempel har emissionsdata för ren koppar använts för ledaren i kraftkabeln. På så vis saknas utsläppen från då kopparn bearbetas till sin rätta form och sedan sammanfogas med de andra materialen som ingår i en kraftkabel. Det underskattar utsläppen med det är svårt att säga hur stor betydelse det har utan tillgång till mer data. För vissa komponenter har också emissionsdata från andra produkter av samma material fått användas. Till exempel har stålbalkar gjorda för husbyggen fått representera ståldelarna som bygger upp luftledningsstolparna. Det har att göra med vilka EPD:er som har hittats i de öppna databaserna. Dessutom är det inte alltid EPD:erna redovisar hur mycket av utsläppen från tillverkning som kommer från transport. Detta gäller bland annat fundamenten för kompositstolpar och skyddsrör för markkabel. För dessa har det därför inte inkluderats någon extra transport, som annars görs separat för komponenter som använder emissionsdata för råmaterial.

Att det inte prövats vilka processer och komponenter som verkligen är försumbara och därmed okej att exkludera enligt principer inom LCA (så kallade cut-off kriterier) blir problematiskt när det kommer till att bedöma resultatets exakthet. Detsamma gäller hur emissionsdata har approximerats. Hade verktyget vidareutvecklats som en regelrätt LCA hade det slutgiltiga resultatet varit mer jämförbart med andra resultat. Standarderna för LCA (ISO 14040:2006, ISO 14044:2006) innehåller också vägledning kring hur beräkningen ska göras om man vill ta hänsyn till de delar som möjligtvis kan återanvändas eller återvinnas efter ledningens livslängd (genom så kallad allokering eller systemutvidgning). Det hade ingått i slutbehandlingsfasen, som inte har inkluderats i detta examensarbete. Det är möjligt att det hade ändrat förhållandet mellan luftledning och markkabel då stål stolpar till synes är lättare att återvinna än kraftkablar som består både av flera olika metaller och plaster. Det hade varit ett intressant ämne för framtida studier.

Ytterligare en sak som inte har beaktats i detta examensarbete är överföringsförlusterna i driftfasen av ledningen. De inträffar i och med att ledningarna och transformatorer blir varma när elen transporteras genom nätet. Med andra ord går elektrisk energi förlorad som värmeenergi. Denna el, som är skillnaden mellan den mängd el som producenten skickar in i ledningen och den mängd el som kommer fram till konsumenten, måste elnätsföretagen betala för. I Sveriges elnät uppgår överföringsförlusterna normalt till cirka 7–8 % av den årliga elanvändningen (Västerbergslagens Energi AB, u.å.). Utsläppen som kopplas till överföringsförlusterna har att göra med att lika mycket el som går förlorad måste produceras extra. I en LCA för transmissionsnätet i Storbritannien (96 % luftledning med 400 kV och 275 kV samt 132 kV i Skottland) stod överföringsförlusterna för 85 % av den totala klimatpåverkan, baserat på deras nationella elmix (Harrison et al., 2010). I en annan LCA, som har använt den europeiska energimixen för att räkna på utsläppen från överföringsförlusterna, kom de fram till hela 96 % för 150 kV markkabel och 99 % för 150 kV luftledning (Jorge et al., 2012). Sveriges elproduktion har en större andel förnybart, men detta visar på att överföringsförlusterna är viktiga att ta hänsyn till om man vill minska klimatpåverkan från överföringen av el.

7.6.3 Jämförande av luftledning och markkabel

Resultatet från fallstudien går att tolkas på många sätt. Vi anser att utsläppen från skogen bör inkluderas och därmed blir markkabeln det bästa alternativet, både sätt till kilometer ledning och ansluten effekt. Dock säger detta resultat endast något om detta specifika fall med just detta, relativt begränsade underlag. Som tidigare nämnt finns det stora osäkerheter i indata. Troligtvis kan platsens ännu okända förhållanden ändra resultatet, till exempel om kabeldiket behöver gå igenom en stor andel berg som måste sprängas bort. Det gör att det inte är omöjligt att förhållandet mellan luftledning och markkabel lika gärna hade kunnat vara omvänt. Det hade också kunnat vara en större eller mindre marginal mellan totalutsläppen och därmed enklare eller svårare att utse det bästa alternativet. Därför rekommenderar vi att göra nya beräkningar längre fram i projektet när det finns ett större underlag.

Det finns även vissa skillnader mellan hur klimatverktyget är uppbyggt gällande luftledning och markkabel. För luftledning finns det fler val av komponenter och utsläppen från dessa är främst baserade på komponentens material, vikt och emissionsdata för olika länder. Det gör att bearbetningen av materialet till de rätta komponenterna inte har inkluderats, som nämnt i avsnittet ovan. Transporten är sedan räknad separat genom komponenternas vikter och produktionsområden. För markkabel har det funnits ett mindre underlag kring komponenter och färre komponenter har inkluderats. Här är det bara kraftkabelns utsläpp som har baserats på materialvikt och emissionsdata för olika länder. För de andra komponenterna har emissionsdata från Trafikverkets klimatkalkyl och EPD:er använts. Dessa värden är mer generella samt så är tillverkningen av komponenterna från råmaterial och en viss transportsträcka redan inräknade. Som nämnt ovan har även vissa saker, både för luftledning och markkabel, inte kunnat tas med alls i verktyget. Det är viktigt att ha detta i åtanke när man jämför utsläppen mellan luftledning och markkabel.

Utifrån detta resultat går det inte att slå fast om luftledning eller markkabel är bäst ur klimatsynpunkt. Det finns många sätt att räkna på och olika saker att ta hänsyn till vilket vi har försökt att visa i detta arbete. Det beror bland annat på om man räknar per kilometer ledning eller per MW, vilken livslängd som används samt om utsläppen från skogsmark inkluderas eller exkluderas. I kraftledningsbranschen är det dessutom inte klimatpåverkan som avgör om luftledning eller markkabel väljs, det finns många andra aspekter att ta hänsyn till. Investeringar i elnätet görs för att trygga elförsörjningen och därför är driftsäkerheten en av de viktigaste

aspekterna. Luftledning och markkabel har olika fördelar och nackdelar vilket gör att de passar för olika tillfällen, vilket har presenterats i 5.3 *Teknisk jämförelse av luftledning och markkabel*. De är således inte helt utbytbara med varandra. Utöver driftsäkerheten är det även nödvändigt att ta hänsyn till bland annat ekonomisk lönsamhet, tekniska begränsningar, magnetfältens styrka och platsbehov. Med det sagt vill vi med detta arbete visa hur man samtidigt kan ta hänsyn till klimatpåverkan genom att till exempel välja material och produktionsområden som har låga utsläpp av växthusgaser.

7.6.4 Växthusgasutsläpp från kraftledningar är svåra att generalisera

Med klimatverktyget har det varit en balans mellan att det ska ha en hög detaljrikedom, vara generellt tillämpbart och ha en hög användarvänlighet. Det ska ge ett så noggrant svar som möjligt utifrån de data som finns tillgängliga. Det ska också kunna användas på olika typer av kraftledningsprojekt, till exempel oavsett platsens förutsättningar och därmed projektets materialanvändning. Slutligen ska det även vara praktiskt användbart med de resurser som finns tillgängliga inom ett konsultprojekt. I den ena änden av spektrumet kan resultatet göras mer exakt genom att precisa indata fylls i för en specifik ledning, gärna där de totala materialvikterna har beräknats var för sig. I den andra änden görs resultatet mer generellt och mindre tidskrävande att få fram genom användning av schablonmässiga antaganden. Vi har försökt att få klimatverktyget att landa någonstans däremellan, med både möjlighet att fylla i beräknande totalmängder av material och möjlighet att välja mellan generella kategorier över material.

När en stolpkategori väljs tillhör det ett visst antal isolatorer och en viss typ av jord-, berg- respektive påfundament för varje stolpe. Det är däremot inte helt enkelt att se till att vikten av alla stolptyper i en kategori stämmer överens, och dessutom ska det passa med både isolatorernas och fundamentens vikt. Även om två stolptyper har samma vikt kan de fylla olika funktioner, till exempel som raklinje- eller vinkelstolpe, vilket hänger samman med att de kan ha olika antal isolatorer. Utöver det kan de också se olika ut, till exempel ha två eller tre ben vilket påverkar vikten på fundamentet. Dessutom är det också så att stolpfundamenten inte främst beror på stolpvikten, utan på hur marken för den specifika stolpplatsen ser ut. Det krävs kraftigare fundament i våtmarker, ofta påfundament, jämfört med där stolparna kan fästas direkt på en bergyta. Till exempel kan det i ett projekt därför bli så att en tyngre stolpkategori generellt sett har fundament som väger mindre än en lättare stolpkategori, om stolparna i den tyngre kategorin är placerade på fastare mark. Det gör att vi har varit tvungna att göra vissa förenklingar för få ihop kategorierna. Vid dessa förenklingar har vi också fått ta hänsyn till att olika stolptyper används i varierande stor utsträckning, och baserat våra medelvärden på det. Det har även varit viktigare att fundamentens vikt stämmer, jämfört med isolatorerna, då det handlar om större mängder material och därmed större mängder utsläpp.

Ett sätt för att undgå osäkerheten som följer med de generella materialkategorierna är att användaren får fylla i de totala mängderna material som används för fundamenten, både trä, armeringsstål och betong. Det kan göras för detaljeringsgraden *Detaljprojektering*, då det troligtvis inte är känt för de tidigare projektfaserna. För stagfundamenten, och staglinorna, är det däremot bara möjligt att fylla i de totala mängderna material. Utefter det begränsade antalet tidigare kraftledningsprojekt som vi har haft möjlighet att ta del av inom detta examensarbete har vi bedömt att stag är ännu svårare att generalisera än stolpfundament. På så vis har vi kommit fram till att de representeras bäst av de slutgiltiga mängderna material, i stället för generella kategorier. Det går däremot att ifrågasätta om det verkligen är så, sett till fler projekt, och om det inte hade varit bättre att vara konsekventa och erbjuda användaren både generella kategorier och en möjlighet att fylla i totala mängder.

Värdena för de generella materialkategorierna bygger på data som vi, som tidigare nämnt, sammanställt från ett relativt litet antal tidigare kraftledningsprojekt. Det innebär att verktyget är väl anpassat efter projekten som vi har baserat bland annat vikter och mått på men det skulle behöva undersökas hur väl det är applicerbart på andra projekt. Data som kommer ut ur verktyget kommer nämligen aldrig att vara mer exakt än data som matas in i verktyget. Genom att utgå från information från fler projekt kan det göras mer generellt, men den processen är tidskrävande. Transmissionsnätet är mer standardiserat än regionnätet, i och med att den enda aktören är Svenska kraftnät, men fortfarande skiljer det sig mycket mellan platser och det saknas sammanställningar över många av komponenterna som används. Inom regionnätet har aktörerna, både elnätsägare och konsultbolag, egna uppsättningar av till exempel normalstolpar och typritningar över dessa. Det är inte heller ovanligt att ursprungskonstruktionen modifieras för den exakta stolpplatsen. Ibland måste till exempel helt nya fundament designas. Med andra ord är verktyget svårt att vidareutveckla så det blir fullständigt generellt, då materialet är specifikt för plats och därmed projekt.

Framtagningen av de generella materialkategorierna skulle underlättas om det görs en standardisering i branschen kring vilka komponenter som används, utöver de krav som finns för till exempel hållfasthet. Då hade troligtvis resultatet från en beräkning i detaljgraden *Förprojektering* skiljt sig mindre från en i *Detaljprojektering*. En standardisering hade potentiellt också skapat bättre förutsättningar för projekteringen då konstruktörerna skulle kunna utgå från samma grundritningar och därmed, i mindre utsträckning, behöver rita nya stolpar inom varje projekt. Det är svårt att se hur det skulle kunna göras idag, men kanske går det att dra en parallell till de relativt nya kraven som ställs på byggbranschen. Från och med den första januari 2022 är det krav på att redovisa vilken påverkan nya byggnader har i en så kallad klimatdeklaration (Boverket, 2021). Det kräver en organisation kring vilka material som används och kunskap kring hur de är producerade, vilket ofta görs i form av EPD:er. Just nu är byggbranschen ganska ensam om att ha kommit så långt i det arbetet, men om några år kommer det troligtvis ställas högre hållbarhetskrav på fler branscher, till exempel kraftledningsbranschen.

7.6.5 Utsläpp från påverkan på skogsmark

Det finns en stor variation mellan olika naturtyper både vad gäller storleken på kolförrådet, mekanismerna för absorption och utsläpp samt hur sårbart den är för mänsklig påverkan i form av skogsbruk, jordbruk eller anläggning av infrastruktur. I skog utgör biomassans kolförråd en betydande del av utsläppen. För våtmarker och jordbruksmark finns det huvudsakliga kolförrådet i stället i marken. Det eventuella kolet som är bundet i biomassa är jämförelsevis litet i storlek och kan därmed försummas (Hammervold, 2015). Hur och med vilka osäkerheter som kolförrådet i skogens biomassa har tagits med i verktyget, men inte det i marken, beskrivs nedan. För tydlighetens skull görs diskussionen i jämförelse med verktyget VegLCA (Statens vegvesen, u.å.), som vi har byggt vår beräkningsmetod på. Det har utvecklats av den norska motsvarigheten till Trafikverket, Statens vegvesen, för att räkna på klimatpåverkan från väg- och järnvägsinfrastruktur. Tyvärr har det inte hittats någon offentlig dokumentation för hur det svenska Trafikverket beräknar utsläppen från avverkning av skog.

Kolförrådet i biomassa byggs upp genom att vegetation absorberar koldioxid från atmosfären i fotosyntesen. Utsläpp av kol sker i form av biologisk nedbrytning (respiration) eller förbränning. När biomassan förbränns, till exempel för att producera värme eller energi, släpps koldioxid ut till atmosfären igen. Ett viktigt antagande som ligger till grund för utsläppsberäkningarna både i VegLCA och vårt verktyg är att allt kol som finns lagrat kommer att omvandlas till koldioxid, i ett så kallat worst-case scenario. På så vis antas utsläppen från

påverkan på skogsmark motsvara kolförrådet i det givna området. Det är också anledningen till varför beräkningarna endast görs i koldioxid, och inte koldioxidekvivalenter. Om biomassan från exempelvis trä i stället används i bestående produkter kommer kolet att lagras så länge det är del av till exempel en byggnad. Därför är det väsentligt att beakta biomassans användningsområde och livslängd. Enligt IPCC är halveringstiden (antal år tills hälften av biomassan är förbrukad) för solida biomassaprodukter (exempelvis sågade trävaror) 30 år, medan motsvarande period för produkter av trämassa (exempelvis pappersartiklar) endast är 2 år (Hammervold, 2015). Detta utgör en stor osäkerhet. Dessutom spelar substitutionseffekten in, det vill säga att biomassan kan sägas ersätta energilag och byggmaterial som släpper ut mer och på så vis få tillgodoräkna sig besparingen av utsläpp. Aspekterna kring användningsområde, livstid och substitution har på grund av detaljnivån inte tagits med i VegLCA.

Vårt vidareutvecklade verktyg tar inte heller hänsyn till användningsområde, livstid eller substitution men det kan sägas undersöka ett extremfall av de två första aspekterna. Variationerna av de funktionella enheterna som inte inkluderar skogsmark skulle kunna motsvara att all biomassa som avverkas används för produkter där kolet fortsättningsvis lagras. Problemet är att verkligheten ligger någonstans mellan fullständig kolinlagring och fullständiga utsläpp av koldioxid. Det första alternativet är för optimistiskt, till och med orealistiskt, medan det andra alternativet troligtvis innebär en relativt stor överskattning av utsläppen. För att avgöra vilken kombination av dessa två alternativ som är rimligast behövs information kring hur biomassan används, antingen för branschen som helhet eller för det aktuella projektet. I enlighet med LCA-principer har vi valt att hellre överskatta än att underskatta utsläppen. Det bör däremot undersökas om detta kan göras mer detaljerat då inkludandet av skogsmark är avgörande för om luftledning eller markkabel har lägst utsläpp i denna fallstudie.

Det bör också diskuteras att VegLCA är gjord för vägar och järnvägar där biomassan avlägsnas permanent. För markkabel avverkas skogen fullständigt men lågt växande vegetation tillåts mellan röjningstillfällena. För luftledning har stolpplaceringarna en beständig påverkan men de utgör endast en liten del av den totala skogsgatan. Marken i övrigt röjs i cykler på omkring 8 år där det hinner växa upp lövsly på majoriteten av arean, med undantag för en patrullstig där endast lågt växande vegetation godkänns. Markens produktivitet minskar därför helt för vägar och järnvägar, men något mindre för markkabel och minst för luftledning. Det är möjligt att det inte har en så stor påverkan på resultatet men det hade varit intressant att undersöka vad som görs med den röjda vegetationen och vad det får för påverkan. På samma vis hade man kunnat analysera om typen av skogsbruk som bedrevs på platsen innan ledningsgatan skapades kan sägas ha en betydelse. Är det skillnad på till exempel produktionsskog med slutavverkning och ett hyggesfritt skogsbruk? I det senare är träden i olika åldrar och dokumentationen för VegLCA säger att upptaget av koldioxid sker i en högre takt i yngre skogar med större tillväxt jämfört med äldre skogar, även om det är ett omdebatterat ämne.

Dokumentationen för VegLCA (Hammervold, 2015) beskriver hur kolförrådet i mark byggs upp genom att biomassa inkorporeras och binds i jorden. Organismer omvandlar det organiska materialet, så som löv och rötter, till mineralpartiklar. Utsläpp från mark sker med organismernas respiration och utvinning av biomassa från till exempel skog och åkrar. När markens absorption är större än respirationen sker en bindning av kol. Denna process tar mycket längre tid än upptaget i biomassan genom fotosyntes. På så vis anses kolet i marken vara mer stabilt och motståndskraftigt mot nedbrytning än kol i biomassa. Kol bundet i mark har tagits med i VegLCA både för jordbruksmark, skogsmark och våtmark. Brukad mineraljord anses binda 37–59 CO₂/m², produktiv skogsmark 48 kg CO₂/m² och våtmark 121–346 CO₂/m² beroende på torvdjup. (Motsvarande siffror för biomassan i skogsmark hittas i appendix A9

Skogsmark.) Dokumentationen anger däremot att siffrorna för kolinnehållet i mark är förknippade med en relativt hög osäkerhet. De kommer också med en ovisshet knuten till på vilken tidsskala som utsläppen sker.

Klimatverktyget som vi har utvecklat har däremot inte kunnat inkludera kolförrådet i marken. Anledningen till detta är för att det finns för stora osäkerheter kring hur marken påverkas för en markkabel respektive luftledning. När det gäller väg och järnvägar måste massor schaktas bort och schaktet sedan återfyllas med massor med rätt egenskaper. För markkabel är det sant för schaktet men inte arbetsområdena. Schaktet ligger också på ett sådant djup att marken, efter att schaktet återställts, går att använda för jordbruk. I våtmarker är det möjligt att använda schaktfria metoder som också de skulle påverka kolet i marken på annat sätt än för väg och järnväg. För luftledning är det, precis som för biomassa, främst marken vid stolpplatserna som blir påverkade. För jordbruksmark är det troligtvis försumbart eftersom majoriteten av ledningsgatan fortfarande kan brukas. Gällande skogsmark är det oklart hur kolförrådet i marken påverkas när skogsgatan avverkas och röjs, även om kolet i marken anses vara mer stabilt än det i biomassa. I våtmark är det osäkert hur stor påverkan på fundament har samt om körning i våtmarker förändrar kolbalansen. För att inkludera kolförrådet i marken på ett rättvist sätt anser vi att det behövs mer kunskap.

Något som VegLCA inte har inkluderat, men vi har, är de potentiellt negativa utsläppen som kommer från frigörande av mark, till exempel vid en rivning av en ledning. I vårt verktyg antas de vara lika stora som de direkta utsläppen av koldioxid som skulle genereras om en skog med samma bonitet avverkades. I verkligheten tar det ett tag för ny vegetation att etablera sig och binda in samma mängd koldioxid, både i biomassa ovanför marken och i mineralpartiklar under marken. Därmed är det definitivt ett antagande som det går att undersöka rimligheten i. Anledningen till att vi har med det är att det fanns i den norska versionen som vi vidareutvecklade. Ytterligare negativa utsläpp som möjligtvis hade kunnat tillgodoräknats är om ledningsgatan skulle användas för odling av energiskog, vilket skulle koppla tillbaka till avsnittet om biomassa. Kanske hade det också varit möjligt om ledningsgatan används som betesmark, eller för energiproduktion med solpaneler.

7.6.6 Användningsområden för verktyget

Det vidareutvecklade klimatverktyget har många potentiella användningsområden. Förutom att beräkna klimatutsläppen från en kraftledning kan man med hjälp av verktyget jämföra olika alternativ. Som fallstudien har visat kan man jämföra luftledning med markkabel, alternativa sträckningar samt olika material och produktionsområden. Dessa jämförelser kan ligga till grund för hur man kan minska utsläppen av växthusgaser och därmed konstruera kraftledningar med en lägre klimatpåverkan.

Det är i början av ett projekt som ett klimatverktyg skulle kunna göra mest nytta, men det är då man har som minst underlag och därmed störst osäkerheter. För att till exempel kunna jämföra alternativa sträckningar rättvist behövs det ett mer noggrant underlag än det man har när man gör en framkomlighetsstudie, vilket fallstudien visade. Den typen av underlag tas i regel först fram när man är i detaljprojekteringsfasen och gör en teknisk beskrivning över allt ingående material med tillhörande mängder. Problemet är att i det skedet har man i regel redan valt en sträckning och det skulle ta för mycket resurser att ändra projekteringen efter resultatet från klimatberäkningar. Det vill säga då intresset för att använda verktyget för ett projekt är som störst vet man också som minst vilket gör att man får den lägsta noggrannheten i resultatet.

Materialens produktionsområden är också vanligtvis okända under projektets gång. Det är först när kraftledningen är färdigprojekterad och den tekniska mängdförteckningen har levererats till kund som produktionsområdena blir aktuella. Statliga bolag, som Svenska kraftnät och Vattenfall, omfattas av lagen om offentlig upphandling. Det innebär vanligtvis att entreprenörer väljs utefter vem som kan leverera det önskade arbetet med bäst kvalitet, på kortast tid och till lägst pris. Därmed väljs också material med lågt pris. Tyvärr är det sällan låga priser går hand i hand med en låg klimatpåverkan. Även privata aktörer som till exempel E.ON och Ellevio, som inte omfattas av offentlig upphandling, strävar sannolikt efter att välja material med låga priser. De har ett ekonomiskt intresse i att gå med vinst och att hålla nere kostnaderna för sina kunder. För att material med bättre miljöprestanda ska kunna användas i en större utsträckning hade kraftledningsbranschen och lagen om offentlig upphandling behövt prioritera det högre vid val av entreprenör.

Användaren av klimatverktyget, till exempel en konstruktör eller konsult, har därmed en liten påverkan på var och hur komponenterna tillverkas. På så vis är det svårt för användaren att veta vilka produktionsområden som ska väljas i verktyget när projektet är igång. Verktyget kan däremot användas för att konstruera två jämförande fall liknande de i fallstudien, ett med material med lägre utsläpp och ett med högre utsläpp. Det skulle kunna kommuniceras med kunder som omfattas av offentlig upphandling och möjligtvis påverka hur kunden väljer att utforma sitt förfrågningsunderlag så att klimat blir en större faktor i inköpsprocessen. Speciellt för privata företag skulle verktygets funktioner kunna säljas in med att kunden kan profilera sig med att den jobbar för en lägre klimatpåverkan.

Trots att klimatverktyget kan vara svårt att använda för att göra nytta innan en kraftledning byggs finns det en stor potential med att använda verktyget efter att ett projekt är klart. Klimatverktyget ger som störst säkerhet i resultatet när det finns mycket indata och underlag, vilket det gör när man väl har avslutat ett projekt. Det ger ingen omedelbar nytta för kunden, men både kunden och de som projekterar kraftledningen kan undersöka utfallet och dra lärdomar till nästa projekt. Med ett stort underlag över beräknade projekt kan man dra slutsatser om vad som är viktigast för att minska växthusgasutsläppen i ett projekt. Man skulle också kunna koppla det till kraftledningens kostnader och därmed ha ett underlag för hur mycket det kostar att sänka utsläppen per kilometer ledning eller för en viss komponent. Som konsult skulle man kunna rekommendera kostnadseffektiva alternativ för kunden där det dessutom gör som mest nytta för klimatet. I framtiden kan det därtill komma liknande krav som för byggbranschen så att man behöver göra klimatdeklarationer av kraftledningar. Då hade ett klimatverktyg som detta underlättat arbetet.

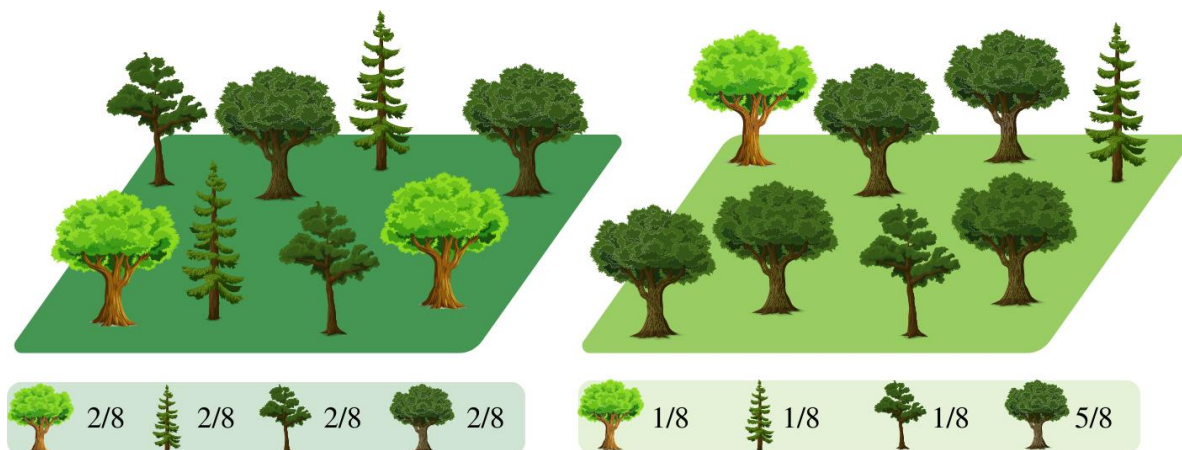
8 Kvantifiering av kraftledningars påverkan på biologisk mångfald

Följande kapitel inleds med en generell metodik för kvantifiering av biologisk mångfald. Sedan beskrivs och jämförs tre svenska metoder som bedömer biologisk mångfald. Utifrån jämförelsen ges förslag på aspekter som bör inkluderas i en förbättrad metod för kvantifiering av kraftledningars påverkan för biologisk mångfald. Efter det ges ett kvalitativt förslag på hur ett verktyg bör bedöma kraftledningars påverkan på olika naturtyper. Till sist förs en diskussion kring kvantifiering av kraftledningars påverkan på biologisk mångfald.

8.1 Teori kring kvantifiering av biologisk mångfald

Biologisk mångfald brukar definieras på tre nivåer: mångfald av arter, genetisk variation inom arter och mångfald av ekosystem (Naturvårdsverket, u.å.-d). Den första nivån ser till antalet olika arter inom ett område, även kallat artrikedom (Stockholms stad, u.å.). En hög artrikedom möjliggör att nya arter kan träda in och fylla samma funktion i ekosystemet som gamla arter gjort tidigare. Den andra nivån, om variation i arvs massa, är särskilt viktig när förhållandena i ett område förändras eftersom det ökar chansen för att arten ska kunna anpassa sig till de nya förutsättningarna (Naturvårdsverket, u.å.-d). Den tredje nivån om mångfalden av livsmiljöer används främst i ett regionalt eller nationellt perspektiv (Stockholms stad, u.å.). Det är viktigt att bevara en variation av naturtyper för att bibehålla en riklig mängd arter då många arter behöver använda flera naturtyper under sin livscykel (Naturvårdsverket, u.å.-d).

Det har tagits fram otaliga mått för att mäta biodiversitet (Wilsey et al., 2005). Vid en första anblick kan antalet arter verka som ett bra mått för att beskriva den biologiska mångfalden i olika områden och jämföra dem med varandra (Gotelli och Colwell, 2001). Konceptuellt är det enkelt men i praktiken tenderar antalet arter som hittas i ett prov alltid att underskatta den sanna artrikedomen på grund av bristen på resurser att provta områden fullt ut (Leitner och Turner, 2001). Det finns också fler aspekter av biologisk mångfald som inte fångas upp av artrikedomen (Leinster och Cobbold, 2012). Till exempel kan ett ekosystem där en art dominerar anses vara mindre varierat än ett ekosystem där de flesta arterna har ett liknande individantal (Dániel-Ferreira, 2021), som i Figur 23. Ett omfattande mått av biologisk mångfald (artdiversitet) bör därför inkludera komponenter av både antalet arter (artrikedom), antal individer av varje art (artabundans) och de relativa förekomsterna av arterna (artjämnhet) (Gotelli och Chao, 2013). Dessa begrepp finns sammanställda i Tabell 15. Det finns dussintals mått som uppfyller de kriterierna (Gotelli och Chao, 2013), varav Shannon index och Simpson index är två av de vanligaste (Nagendra, 2002) och presenteras i Tabell 16.



Figur 23. Det högra och det vänstra habitatet har samma artrikedom men olika artjämnhet.

Tabell 15. Begrepp kring att mäta biodiversitet.

Namn	Tolkning
Artrikedom <i>Species richness</i>	Antalet arter i ett visst område, där både vanliga och ovanliga arter är av samma betydelse (Kiester, 2013)
Artabundans <i>Species abundance</i>	Antalet individer av en viss art i ett visst område, där alla individer är likvärdiga (Leitner och Turner, 2001)
Artjämnhet <i>Species evenness</i>	Mått på hur jämnt arterna är representerade i området, vilket även kan beskrivas som arternas proportionella förekomster (Mason och Mouillot, 2013)
Artdiversitet <i>Species diversity</i>	Beskriver variationen i området och innefattar både antalet arter (artrikedom), dess förekomster (artabundans) och/eller fördelningen av dessa arter (artjämnhet) (Kiester, 2013)

Tabell 16. Två exempel på mått på artdiversitet, Shannon och Simpson mångfaldsindex.

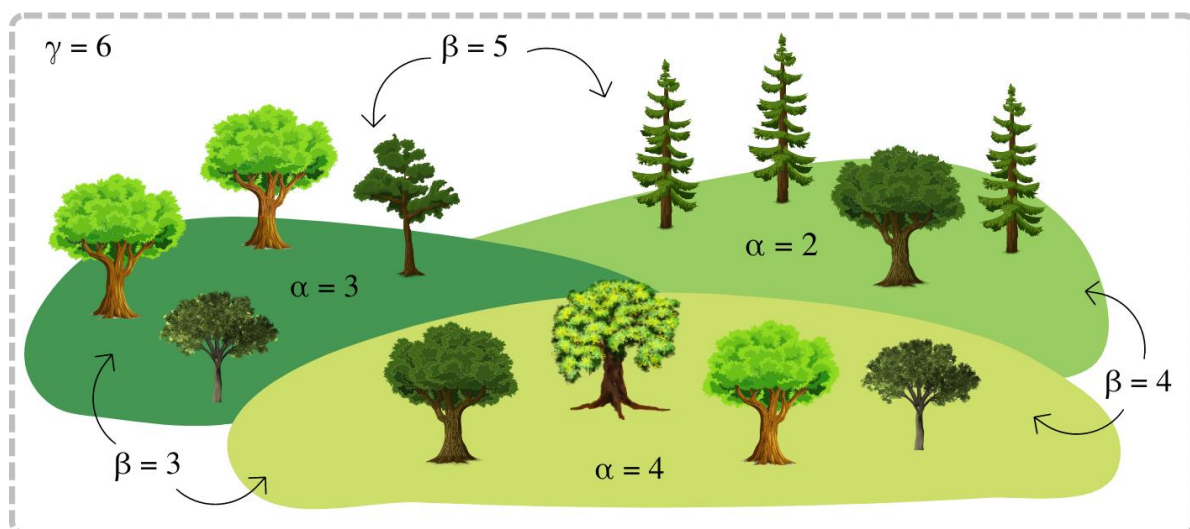
Shannon diversity index (Nagendra, 2002)	Simpson diversity index (Simpson, 1949)
$SHDI = 1 - \sum_{i=1}^N p_i \cdot \ln p_i$	$SIDI = 1 - \sum_{i=1}^N p_i \cdot p_i$
<p>N: antalet arter, p_i: proportionella abundansen av den i:e arten</p>	
<p>Den genomsnittliga osäkerheten i att förutsäga vilken art som en slumpmässigt utvald individ från ett visst område tillhör. Läger störst vikt vid artrikedom och de ovanliga arterna (Nagendra, 2002).</p>	<p>Sannolikheten att två slumpmässigt utvalda individer från ett visst område tillhör samma art (Simpson, 1949). Läger störst vikt vid artjämnhet och de dominanta arterna (Nagendra, 2002).</p>

Måtten ovan antar att 1) individer inom en art är likvärdiga, 2) alla arter är "lika olika" från varandra och viktas därmed lika samt 3) diversitet mäts i lämpliga enheter där individer, biomassa och procentuell täckning är de som används oftast (Gotelli och Chao, 2013). Därigenom missas det bland annat att ett område med främst fågelarter har en lägre biodiversitet jämfört med ett område med både fåglar, däggdjur och insekter. Därför införs ibland ytterligare en nivå där det också tas hänsyn till evolutionära relationer mellan arter (Dániel-Ferreira, 2021), vilket visas i Tabell 17.

Tabell 17. Typer av diversitet som tar hänsyn till evolutionära relationer.

Typ av diversitet	Tolkning
Taxonomisk	Artrikedom, artabundans och artjämnhet (Le Bagousse-Pinguet et al., 2019)
Fylogenetisk	Mångfalden av arters evolutionära härstamningar (Le Bagousse-Pinguet et al., 2019), det vill säga hur nära de är besläktade (Gotelli och Chao, 2013)
Funktionell	Mångfalden av arters funktionella egenskaper (Gotelli och Chao, 2013), till exempel strategi för resursanvändning (Le Bagousse-Pinguet et al., 2019), stressrespons från störningar i miljön (Mason och Mouillot, 2013) och plats i näringsväven samt successionsordningen (Pilstjärna och Hannerz, 2020). Med andra ord vilken funktion arten har i ekosystemet och hur arten påverkar ekosystemets funktion (Mason och Mouillot, 2013).

Måtten ovan relaterar också till ett avgränsat område, till exempel ett habitat, ett landskap eller ett land. Det är också viktigt att ha en helhetsbild och mäta biologisk mångfald i flera rumsliga skalor samtidigt (Dániel-Ferreira, 2021). Dessa brukar kallas alpha- (α), beta- (β) och gamma-diversitet (γ) och syftar på lokal artrikedom, regional habitatsammansättning respektive artrikedom på landskapsnivå (Whittaker, 1960) och redovisas i Figur 24 och Tabell 18. För att uppnå rätt skötselåtgärder på landskapsnivå behöver det vara känt hur stor del av den totala artrikedomen som beror på den lokala artrikedomen och hur stor del som beror på skillnaden i artrikedom mellan lokala habitat. Om några få, artrika habitat har störst betydelse ska naturvården fokuseras till dessa. Om det i stället är skillnaden mellan habitat som är av störst vikt behövs en mer mångsidig skötsel fördelat på flera områden (Stockholms stad, u.å.).



Figur 24. Konceptuell bild över α -, β - och γ -diversitet. α ser till antalet unika arter i de tre olika habitaterna. β är ett mått på antalet unika arter som endast existerar i ett av två habitaterna. γ står för antalet unika arter i alla tre habitat.

Tabell 18. Rumsliga skalor av biologisk mångfald.

Namn	Tolkning	Skala (Whittaker, 1960)
Alpha (α)	Antalet arter i ett habitat (Fisher et al., 1943)	Lokal
Beta (β)	Antalet olika habitat, till följd av hur artsammansättningen varierar mellan de olika habitaterna (Mason och Mouillot, 2013)	Regional
Gamma (γ)	Antalet arter i ett landskap, baserat på α - och β -diversiteten (Whittaker, 1960)	Landskap

Med andra ord är kvantifiering av biologisk mångfald en komplex utmaning. De begrepp, metoder och mått som tagits upp ovan har skapats och används för att de tillför en nytta. Det är däremot inte svårt att föreställa sig att det är skillnad på att applicera *ett* av dem på en specifik population i ett avgränsat habitat och att ta hänsyn till *flera*, eller till och med alla, av dem på både lokal-, regional- och landskapsnivå. Det skulle, bland annat, kräva en oerhörd kunskap kring antalet individer och arter samt deras genetiska variation, proportionella förekomster, evolutionära relationer och funktioner i ekosystemet. Utöver det tillkommer kopplingarna mellan alla rumsliga skalor, som till exempel mångfalden av ekosystem. Att dessutom lägga till ett steg som värderar biologisk mångfald, det vill säga på något vis anger att en typ av uppmätt biologisk mångfald är mer värdefull än en annan, bidrar med ytterligare komplexitet. Detsamma gäller om det inkluderas ett perspektiv kring vilken påverkan, effekt och konsekvens en exploatering har på den biologiska mångfalden. Olika metoder som bedömer biologisk mångfald hanterar detta på olika sätt och med varierande konsekvenser, vilket är vad den resterande delen av detta kapitel handlar om.

8.2 Svenska metoder som bedömer biologisk mångfald

Följande avsnitt beskriver först och jämför sedan tre metoder som bedömer biologisk mångfald i Sverige: Vattenfalls biotopmetod, Svenska kraftnäts bedömningsmetodik i MKB och projektet Changing Land use Impact on Biodiversity (CLImB). Även den kommande ISO-standarden för biologisk mångfald och Energiforsks program Biologisk mångfald i ledningsgator nämns kort.

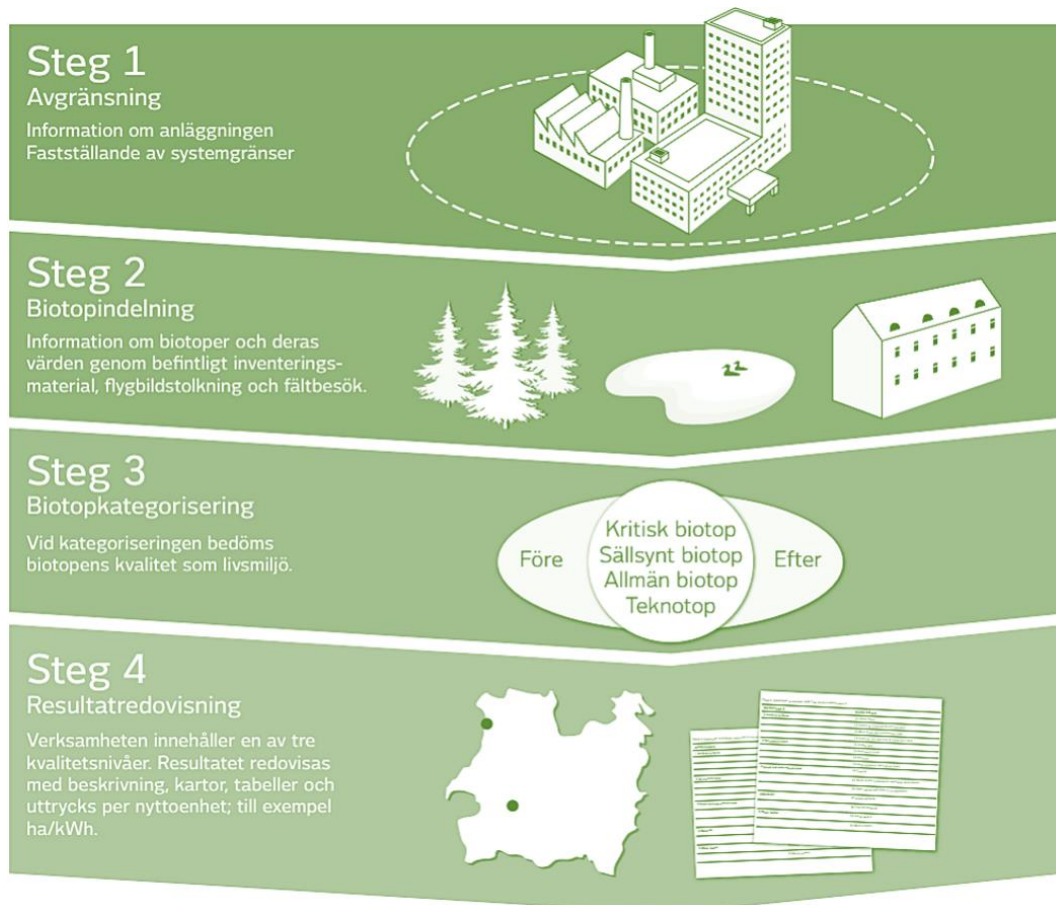
8.2.1 Vattenfalls biotopmetod

Biotopmetoden utvecklades av Vattenfall under åren 1998–2000 och har sedan reviderats samt uppdaterats 2005 och 2015. Det är en metod för att beräkna påverkan på biologisk mångfald från mark- och vattenanvändning. Metoden kan användas i förstudier och lokaliseringsstudier för att bedöma eller minska projektets påverkan samt under pågående verksamhet för att ta fram förbättrings- och kompensationsåtgärder. Den utvecklades för svensk vattenkraft men har testats och vidareutvecklats för att vara applicerbar på andra former av energiproduktion. Den nyaste versionen har dessutom uppdaterats för att även kunna tillämpas utanför energisektorn och tar hänsyn till den nya standarden för NVI:er samt en ökad tillgång av digital information om biologisk mångfald (Vattenfall AB, 2015).

Metoden antar att de förluster och nytillskott av biotoper som uppstår vid en förändring av marken återspeglar de förändringar som sker av mångfalden i området. Det kvantifieras genom att arean av området beräknas samt bedöms förändringen av biotopernas fördelning och

kvalitet, innan jämfört med efter etableringen av verksamheten. Förändringar utanför området kan också beskrivas, men enbart kvalitativt. Det kan till exempel vara förändringar på landskapsnivå i form av försämring av livsmiljöer, fragmentering och barriäreffekter. Biotopmetoden kan tillämpas med relativt begränsade insatser och resurser. Indata används från tillgängliga digitala databaser, flygbilder, projektspecifik information och inventering av biotoper. Metoden innebär förenklingar och ger inte en fullständig MKB eller beskrivning av påverkan på flora och fauna (Vattenfall AB, 2015).

Biotopmetoden består av fyra steg, vilka kan ses i Figur 25. Det första steget är att bestämma systemgränserna liknande de tekniska, tidsmässiga och geografiska system som analyseras i en LCA. Innanför systemgränsen bedöms förluster och tillskott av biotoper kvantitativt medan påverkan utanför systemet bedöms kvalitativt. För att metoden ska vara möjlig att tillämpa måste systemgränserna kunna fastställas. För det behövs information om verksamhetens direkta påverkan samt upptagna area. Den geografiska avgränsningen ska vara tydlig och i huvudsak inte delas med andra projekt. Då metoden jämför läget före med läget efter är det också viktigt att avgränsa i tid. Läget före är precis innan exploateringen och läget efter är då byggnationen är klar (Vattenfall AB, 2015).



Figur 25. Biotopmetodens fyra steg (Vattenfall AB, 2015).

Steg två är biotopidentifiering och ska göras för både läget före och efter för att kunna bedöma förändringen. Information samlas in både innanför och utanför området. Man tar fram så mycket information som möjligt om mark- och vattenområdet för att identifiera olika biotoper. Källor som kan användas är: GIS-data, befintliga inventeringar, fältbesök, MKB, kartor i form av flygbilder, ortofoto, IR, satellitbilder, terrängkarta, jordartskarta och situationskartor. Biotoperna delas in i fyra huvudtyper: artificiella ytor, terrestra biotoper, limniska biotoper och

marina biotoper. De kategorierna delas sedan in i underkategorier baserade på naturtyper, vegetationstyper, jordarter, bergarter, hydromorfologi och landskapsformer. Den informationen tillhandahålls av myndigheters digitala databaser. För att identifiera biotoper på land används rikstäckande inventeringar av terrestra miljöer. För sjöar och vattendrag utgår man från de hydromorfologiska förhållanden och de marina biotoperna delas in utefter typ av botten. Natura 2000-områden anges med dess benämning (Vattenfall AB, 2015).

Det tredje steget är kategorisering av biotoper vilket innebär att de bedöms efter hur bra de är som livsmiljö. Biotoperna kan beskrivas utifrån kontinuitet, struktur, naturlighet, förekomsten av signalarter, naturvårdsarter och artrikedom. De bedöms utefter nationella bedömningsgrunder och den svenska SIS-standard för NVI (SIS-SS 199000:2014) används som grund för uppbyggnaden av hierarkin och formulering av de generella kriterierna. Skillnaden är att arter används som stöd för bedömningen i Biotopmetoden medan de enligt en NVI ska bedömas separat från biotoperna. Biotoperna kategoriseras i fyra kvalitét-kategorier: kritisk biotop, sällsynt biotop, allmän biotop och teknotop (Vattenfall AB, 2015). Dessa fyra kategorier beskrivs i Tabell 19.

Tabell 19. Översikt av de fyra kvalitét-kategorierna för biotoper med motsvarande naturvärdesklass i standarden för NVI och vattenstatus från Vatteninformationssystem Sverige (VISS-portalen). Omarbetad från (Vattenfall AB, 2015).

Kategori	Beskrivning	Naturvärdesklass	Vattenstatus
Kritisk biotop	Områden med särskild betydelse för biologisk mångfald på global, nationell och regional nivå. Artrikt med många rödlistade arter. Natura 2000-områden.	Naturvärdesklass 1 och 2	Hög ekologisk status
Sällsynt biotop	Betydelsefulla områden för att den totala arealen av den områdestypen bibehålls eller blir större samt att den ekologiska kvaliteten upprätthålls eller förbättras. Artrikare än vardagslandskapet och har betydelse för variation i landskapet. Rödlistade arter och nyckelelement förekommer. Kan uppnå kritisk biotop med restaureringsåtgärder.	Naturvärdesklass 3	God ekologisk status
Allmän biotop	Vardagslandskap med vanligt förekommande naturtyper. Anlagda gröna ytor i urbana med biologisk produktion.	Naturvärdesklass 4	Måttlig ekologisk status
Teknotop	Områden utan förutsättning för biologisk produktion, exempelvis vägar, parkeringsplatser, byggnader och vattenmiljöer utan biologiskt liv.	-	-

Det sista steget är resultatredovisning. Beroende på hur mycket indata och resurser som finns tillgängligt får studien en av tre kvalitetsnivåer. Ju mer information som finns tillgänglig och ju mer tid som läggs på analys av data, desto högre kvalitetsnivå uppnås. Kvalitetsnivå A innebär

att det finns godtagbart inventeringsmaterial för både läget före och efter. Om man bara har inventeringsmaterial för läget före *eller* efter så uppnår man Kvalitetsnivå B. Kvalitetsnivå C är den lägsta nivån och innebär att det saknas inventeringsmaterial både för läget före och efter. Då baseras resultatet i stället på allmänt tillgänglig information (Vattenfall AB, 2015).

Precis som i en LCA finns det också en funktionell enhet. Med hjälp av den kan man jämföra påverkan på biologisk mångfald för olika projekt och verksamheter. Om Biotopmetoden används i sitt ursprungssyfte, för energiproduktion, är 1 kWh producerad energi en lämplig funktionell enhet (se Ekvation 1). I ekvationen kan man även se att livslängden har en påverkan. Ju längre livslängd som används, desto mindre blir påverkan per funktionell enhet i och med att påverkan på bioperna antas vara konstant under hela livslängden. Den biologiska mångfalden kommer att påverkas under minst så lång tid som verksamheten är i gång. När resultatet är klart är det viktigt att det redovisas tydligt och att indata, antaganden och bedömningar presenteras (Vattenfall AB, 2015).

Ekvation 1. Lämplig funktionell enhet för energiproduktion enligt Biotopmetoden (Vattenfall AB, 2015).

$$\text{Areal per nyttoenhet (ex. m}^2/\text{kWh)} = \frac{\text{Påverkad areal (m}^2\text{ eller ha)}}{\text{Livslängd (år)} \cdot \text{Nyttoenhet (ex. kWh)}}$$

8.2.2 Svenska kraftnäts bedömningsmetodik i miljökonsekvensbeskrivningar

För att Svenska kraftnäts MKB:er ska vara enhetliga i samtliga ledningsprojekt har de utvecklat en övergripande bedömningsmetodik (Svenska kraftnät, 2021b). Detta gjordes 2018, tidigare använde de andra bedömningsgrunder, och den senaste revideringen kom 2021. Bedömningsmetodiken är uppbyggd enligt en trestegsmetod. Det första steget är att värdet och känsligheten hos de berörda områdena längs sträckan bedöms på en skala från 1 till 4 som motsvarar litet, måttligt, stort och mycket stort. I steg två bedöms påverkans omfattning på områdena på en skala från 0 till 3, motsvarande ingen/obetydlig, liten, måttlig och stor. Det sista steget handlar om att väga ihop områdets antagna värde och den påverkan som antas ske på området i en matris där en antagen konsekvens kan utläsas. Detta görs genom multiplikation, vilket gör att det bildas en skala från 0 till 12, där ett högre värde innebär en mer påtaglig konsekvens. Svenska kraftnät anger dock att siffrorna i tabellen endast är ett stöd för sammanvägningen och inte bör redovisas i en MKB. I bedömningen av konsekvens vägs också de skyddsåtgärder som kommer att genomföras in. Konsekvensmatrisen kan ses i Tabell 20.

Tabell 20. Konsekvensmatris där berört värde multipliceras med påverkans omfattning. Omarbetad från (Svenska kraftnät, 2021b).

Värde		Konsekvenser				
		Litet 1	Måttligt 2	Högt 3	Mycket högt, 4	
Påverkan						0–1 = obetydliga
Stor positiv	3	3	6	9	12	2–3 = små
Måttlig positiv	2	2	4	6	8	4 = små-måttliga
Liten positiv	1	1	2	3	4	6 = måttliga
Ingen/obetydlig	0	0	0	0	0	8–9 = stora
Liten negativ	1	1	2	3	4	12 = mycket stora
Måttlig negativ	2	2	4	6	8	
Stor negativ	3	3	6	9	12	

I en MKB används konsekvensmatrisen för samtliga intresseområden, dock inte enskilt för biologisk mångfald. I stället bedöms kategorin naturmiljö, vilken syftar på växter, djur och deras livsmiljö på land och i vatten. Därmed anses den vara relevant för detta arbete. Svenska kraftnät skriver också att bevarandet av naturmiljöer är en förutsättning för biologisk mångfald och ekologisk balans (Svenska kraftnät, 2017a). För att underlätta bedömningen av både värde och känslighet samt påverkan har Svenska kraftnät tagit fram generella kriterier för samtliga intresseområden. De som är aktuella för naturmiljö kan ses i Tabell 21 respektive Tabell 22. De påpekar dock att exemplen i den högre kolumnen för värde och känslighet är typer av platser eller förhållanden som *kan* indikera ett visst värde eller en viss känslighet, men att det inte behöver göra det. När det gäller kriterierna för påverkan framhäver de att det i vissa fall kan räcka med att ett kriterium uppfylls för att nå den aktuella påverkansnivån, medan det i andra fall krävs att alla kriterier är uppfyllda (Svenska kraftnät, 2021b).

Tabell 21. Kriterier för klassificering av värde och känslighet för naturmiljö (Svenska kraftnät, 2021b).

Värde/ känslighet	Beskrivning	Exempel
Mycket högt	Områden som till mycket stor del eller i mycket stor utsträckning har betydelse för biologisk mångfald eller ekologiska samband, främst i ett nationellt-europeiskt perspektiv. Områden som har en helt avgörande betydelse för bevarandestatus och/eller den kontinuerliga ekologiska funktionen hos en skyddad art. Det finns rikligt med rödlistade, skyddade, sällsynta arter.	<ul style="list-style-type: none"> - Nationalpark (MB 7:2–3) - Nationalstadspark (MB 4:7–8) - Natura 2000 (MB 4:8, MB 7:27-28) - Riksintresse obrutet fjäll (MB 4:5) - Riksintresse nationalälv (4 kap MB) - Djurskyddsområden (MB 7:12) - Naturvärdesinventering klass 1 - Naturreseptat (MB 7:4–8) - Marina reservat (MB 7:23) - Skogliga biotopskydd (6 § förordning om områdesskydd)
Högt	Områden som till stor del eller i stor utsträckning har betydelse för biologisk mångfald (främst i ett regionalt-nationellt perspektiv) eller ekologiska samband (främst i ett regionalt perspektiv). Områden som har en stor betydelse för bevarandestatus och/eller den kontinuerliga ekologiska funktionen hos en skyddad art.	<ul style="list-style-type: none"> - Naturvärdesinventering klass 2 - Nyckelbiotoper - Skogsområden med naturvårdsavtal - Våtmarks, lövskogs-, sumpskogs, ängs- och betesmarksinv. klass 1–3 - Naturvårdsprogram klass 1–2 - Generella biotopskydd (MB 7:11) - Särskilt skyddsvärda träd - Riksintresse naturvård (MB kap 3-4) - Naturminnen (MB 7:10) - Stora opåverkade områden enligt översiktsplan (MB 3:2)

Måttligt	Områden som till viss del eller i viss utsträckning har betydelse för biologisk mångfald (främst i ett lokalt-regionalt perspektiv) eller ekologiska samband (främst i ett lokalt perspektiv). Områden som har en viss betydelse för bevarandestatus och/eller den ekologiska funktionen hos en skyddad art. Enstaka förekomst av rödlistad/skyddad art.	<ul style="list-style-type: none"> - Naturvärdesinventering klass 3 - Våtmarks, lövskogs-, sumpskogs, ängs- och betesmarksinv. klass 3–4 - Skogliga naturvärden - Strandskyddsområden (MB 7:13-18) - Naturvårdsprogram klass 3–4 - Utpekade i kommunal översiktsplan - Grönområden inom eller i närheten av tätorter (MB 3:6)
Litet	Områden som saknar eller har liten betydelse för biologisk mångfald eller ekologiska samband och som inte har utpekade värden.	<ul style="list-style-type: none"> - Naturområde med triviala, vanligt förekommande biotoper - Urbana miljöer utan gröna ytor - Påverkade områden ex. industrimark, förorenat område - Monokulturer ex. jordbruks- och skogsbruksmark

Tabell 22. Kriterier för klassificering av påverkan på naturmiljön (Svenska kraftnät, 2021b).

Påverkan	Beskrivning
Stor negativ	<ul style="list-style-type: none"> - Ekologiska samband bryts eller områden med stor artmångfald påverkas kraftigt - Större delen av naturområdets yta och värdekärnan/värdekärnorna skadas varaktigt - Bevarandestatus eller den kontinuerliga ekologiska funktionen för rödlistade/skyddade arter påverkas negativt - Grumling under byggtiden med negativ påverkan på värdefulla lekbottnar eller livsmiljöer för hotade arter
Måttligt negativ	<ul style="list-style-type: none"> - Ekologiska samband försvagas eller områden med stor artmångfald påverkas påtagligt - Stora delar av naturområde försämras varaktigt och delar av värdekärnan/värdekärnorna påverkas negativt - Flera småbiotoper påverkas av nya stolpar - Rödlistade/skyddade arter riskerar att minska i antal eller utbredning, men utan att bevarandestatus påverkas negativt eller att den ekologiska funktionen avsevärt försämras - Grumling under byggtiden med negativ påverkan på värdefulla lekbottnar eller livsmiljöer för arter som inte är hotade - Tillfällig påverkan under byggtiden genom buller, intrång, etc. på mycket höga eller höga naturvärden som innebär en återhämtningstid på flera år, eller under en känslig tid på året (t.ex. häckningstid)

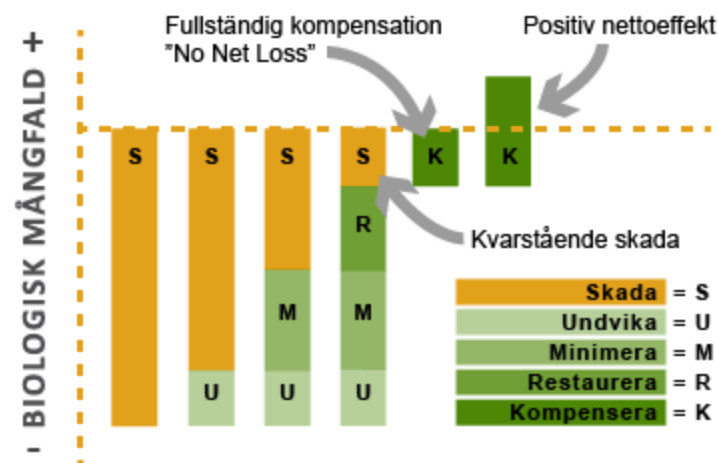
Liten negativ	<ul style="list-style-type: none"> - Ekologiska samband försvagas i liten utsträckning eller områden med stor artmångfald påverkas marginellt - Kanten av ett naturområde påverkas men ingen värdekärna skadas. Grunden för områdets värde påverkas marginellt - Schaktförläggning av jordlina berör inga känsliga vattenområden. - Grumling under byggtiden i vattenområden utan negativ påverkan på värdefulla lekbottnar eller livsmiljöer - Tillfällig påverkan under byggtiden genom buller, intrång, etc. på höga naturvärden, under en känslig period på året, men där naturen har en möjlighet till återhämtning inom ungefär ett år
Ingen/obetydlig	<ul style="list-style-type: none"> - Ingen eller marginell avverkning - Inga nya stolpar krävs - Inga naturvärden påverkas
Liten positiv	<ul style="list-style-type: none"> - Ekologiska samband förstärks i liten utsträckning eller artmångfalden ökar marginellt - Befintliga naturmiljövärden gynnas marginellt - Enstaka nya småbiotoper skapas - Vid omprövnings- och förlängningsärenden: Bibehållande och skötsel av ledningsgata med naturvärden bidrar till bevarande av ekologiska samband och artmångfald som annars skulle kunna hotas
Måttlig positiv	<ul style="list-style-type: none"> - Ekologiska samband förstärks eller artmångfalden ökar påtagligt - Befintliga naturmiljövärden gynnas påtagligt - Flera nya småbiotoper tillskapas - Rödlistade/skyddade arter gynnas
Stor positiv	<ul style="list-style-type: none"> - Ekologiska samband förstärks i stor utsträckning eller artmångfalden ökar kraftigt - Befintliga naturmiljövärden gynnas i stor utsträckning - Nya värdekärnor tillskapas - Rödlistade/skyddade arter gynnas påtagligt eller får ett ökat skydd

En beskrivning av påverkan på naturmiljön, dess konsekvenser och förslag till åtgärder för att minska dessa för den särskilda kraftledningen beskrivs noggrannare i text i respektive MKB (Svenska kraftnät, 2017a). Där redovisas också påverkan på de skyddade arter som berörs, till exempel fåglar, fladdermöss, groddjur, insekter och växter. Slutligen görs en samlad bedömning där konsekvensbedömningarna för de olika intresseområdena vägs samman (Svenska kraftnät, 2021b). Detta görs alltid för ledningen som helhet, men kan även väljas att, utöver det, också anges per kommun eller län (Svenska kraftnät, 2021b; Svenska kraftnät, 2017b). Det kan göras lokala avvikelser från bedömningsgrunderna men då ska det tydligt framgå att de är just lokala (Svenska kraftnät, 2021b). Sannolikt har även andra elnätsföretag, till exempel Vattenfall Eldistribution, E.ON Eldistribution och Ellevio, samt andra som arbetar med MKB för kraftledningar, till exempel konsultbolag, liknande, interna bedömningsgrunder.

8.2.3 Projektet Changing Land use Impact on Biodiversity

CLImB är ett samverkansprojekt som startade år 2020 (CLImB, u.å.-c) med målet att skapa ett praktiskt verktyg för att kvantifiera, analysera och värdera svensk samt nordisk natur på ett transparent och jämförbart sätt (CLImB, u.å.-a). Det ska kunna räkna på förluster av biologisk mångfald vid olika exploateringar och tydliggöra vinster vid olika skademinimerande eller restaurerande åtgärder. Utifrån det ska verktyget också kunna fastställa behovet av kompensation för att undvika en nettoförlust eller uppnå en nettoökning av biologisk mångfald (CLImB, u.å.-d). På så sätt ska CLImB bland annat skapa en ökad förutsägbarhet i tillståndsprocesser både för företag och myndigheter samt underlätta i näringslivets arbete med att utvärdera och sätta mål för biologisk mångfald (Svenska kraftnät, 2022a). Projektet drivs och samfinansieras av elva partnerföretag inom olika branscher (Svenska kraftnät, 2022a), varav några är Cementa, Ecogain, E.ON, LKAB, Skanska, Svenska kraftnät och Vattenfall (CLImB, u.å.-a). CLImB har också stöd från det strategiska innovationsprogrammet Swedish Mining Innovation, en gemensam satsning av Vinnova, Formas och Energimyndigheten (Svenska kraftnät, 2022a). Från september 2023 ska CLImB finnas tillgänglig som open source, fritt att ladda ner och öppet för alla att använda (CLImB, u.å.-b).

Metoden baseras på Defra Biodiversity Metric 3.0, en metodik som har utvecklats av den brittiska motsvarigheten till Naturvårdsverket, Department for Environment Food and Rural Affairs (Defra). Den är utformad till att följa hänsynshierarkin som kan ses i Figur 26. Först ska påverkan undvikas genom en anpassning av projektet, till exempel en alternativ lokalisering. Där det inte går ska påverkan minimeras i största möjliga utsträckning. I senare steg kan restaurering av natur inkluderas i projektet, och när det behövs, även göras en kompensation för de förluster av natur som uppstår trots den visade hänsynen. Kompensationen kan göras på samma eller en annan plats och i bästa fall bidra till en positiv nettopåverkan (CLImB, u.å.-c).



Figur 26. Hänsynshierarkin för biologisk mångfald (CLImB, u.å.-c).

För att få med både påverkan från projektet och en eventuell kompensation har metoden delats upp i två. Först genomgår fem steg för påverkansområdet där planen, programmet eller åtgärden ska utföras, se Tabell 23. Sedan tas fem liknande steg för det eventuella kompensationsområdet, vilka kan ses i Tabell 24. Kompensation är valfritt men kan läggas till om det finns ett intresse av att genomföra åtgärder för att höja ett områdes värde för biologisk mångfald och därigenom även dess biodiversitetspoäng (CLImB, u.å.-c).

Tabell 23. De fem stegen i CLImB:s metod för påverkansområde. Omarbetad från (CLImB, u.å.-c).






1		<p>Område Ett område för projektet identifieras, exempelvis en ledningsgata.</p>
2		<p>NVI före åtgärd Det görs en NVI enligt svensk standard där biotoperna avgränsas och deras naturtyp samt naturvärde bedöms.</p>
3		<p>CLImB baslinje Biotopernas biodiversitetspoäng för baslinjen (<i>BPB</i>) beräknas genom att multiplicera områdets area (<i>A</i>) med en faktor som baseras på biotopens naturvärde¹ (<i>N</i>) och en faktor som baseras på biotopens strategiska vikt i landskapet² (<i>L</i>):</p> $BPB = A \cdot N \cdot L$ <p>Hela projektområdets biodiversitetspoäng fås genom att summera samtliga biotopers naturvärde.</p>
4		<p>CLImB efter åtgärd En ny beräkning av biodiversitet görs där projektets påverkan (<i>P</i>) vägs in. Det kan exempelvis leda till att:</p> <ul style="list-style-type: none"> - biotoper går förlorade vilket innebär en förlust av samtliga biodiversitetspoäng för den biotopen - biotoper bevaras i nuvarande skick vilket leder till att samtliga poäng bibehålls - biotoper förlorar poäng genom kvalitetsförändringar eller areella förluster - biotoper ökar i värde till följd av planerade naturvårdsåtgärder <p>Genom att summera förlorade, sparade och skapade biodiversitetspoäng fås en totalsumma för hela området.</p>
5		<p>NVI och summering efter åtgärd Den ursprungliga och den bedömda poängen efter projektet summeras för att illustrera hur stor den eventuella förlusten/vinsten av biodiversitetspoäng är.</p>

¹ Bedöms enligt svensk standard för NVI där artvärde och biotopvärde (båda på en skala från obetydligt till visst, påtagligt och högt värde) vägs samman till en naturvärdesklass där klass 1 har högst naturvärde och klass 4 lägst naturvärde. Artvärdet utgörs av förekomst av naturvårdsarter, det vill säga rödlistade, skyddade eller arter som

indikerar värdefulla miljöer. Biotopvärdet berättar vilka förutsättningar området har för att kunna hysa en stor biologisk mångfald (Svenska institutet för standarder (SIS), u.å.-b).

² En parameter som tar hänsyn till landskapsnivån. Ett högre värde ges till biotoper som ligger på platser som är fördelaktiga för biologisk mångfald och ingår i planer för naturvård eller grön infrastruktur.

Tabell 24. De fem stegen i CLImB:s metod för kompensationsområde. Omarbetad från (CLImB, u.å.-c).

1		<p>Område (samma som för projektområde) Ett område för kompensationen identifieras, exempelvis ett skogsområde.</p>
2		<p>NVI före kompensation (samma som för projektområde) Det görs en NVI enligt svensk standard där biotoperna avgränsas och deras naturtyp samt naturvärde bedöms.</p>
3		<p>CLImB baslinje (samma som för projektområde) Biotopernas biodiversitetspoäng för baslinjen (<i>BPB</i>) beräknas genom att multiplicera områdets area (<i>A</i>) med en faktor som baseras på biotopens naturvärde (<i>N</i>) och en faktor som baseras på biotopens strategiska vikt i landskapet (<i>L</i>): $BPB = A \cdot N \cdot L$ Hela projektområdets biodiversitetspoäng fås genom att summera samtliga biotopers naturvärde.</p>
4		<p>CLImB efter kompensation Efter att planerade naturvårdsåtgärder är genomförda utförs en ny beräkning. Det tas exempelvis hänsyn till: - hur svårt det är att uppnå önskat resultat - hur lång tid det tar att uppnå önskat resultat - det geografiska avståndet till påverkansområdet Formeln för den slutgiltiga förlusten (<i>F</i>) blir följande: $F = BPB * P - BPB_{bevaras\ på\ plats} - BPB_{förbättras\ på\ plats} - BPB_{skapas\ på\ plats}$</p>
5		<p>NVI och summering efter kompensation Efter att vinster och eventuella förluster summerats jämförs antalet biodiversitetspoäng före projektet med antalet biodiversitetspoäng som kan tillgodoräknas genom planerade kompensationsåtgärder.</p>

8.2.4 Kommande resultat från ISO-standard och Energiforsks program

Förutom dessa tre metoder som har kommit relativt långt med att bedöma biologisk mångfald i Sverige finns det även två andra metoder på gång inom de närmsta åren. Den första är en ISO-standard för biologisk mångfald. Arbetet med denna påbörjades år 2022 och fortsätter under 2023 (SIS, 2021). Standarden har som mål att nå en tydlig och global förståelse av vad biologisk mångfald innefattar (SIS, 2021), hur den kan mätas inom specifika biotoper (SIS, u.å.-a) och hur den kan värnas om (SIS, 2021) genom hållbart nyttjande, beskyddande, bevarande och restaurering (SIS, u.å.-a). Arbetet är branschöverskridande och riktar sig till samtliga relevanta intressenter, inklusive offentlig sektor, näringsliv och intresseorganisationer. I Sverige deltar bland annat AFRY, Ecogain, Energiforsk, IVL Svenska Miljöinstitutet, Ramboll, RISE, Sveaskog, SWECO, Svenska kraftnät, Södra Skogsägarna och Trafikverket (SIS, u.å.-a).

Den andra metoden är ett program kallat Biologisk mångfald i ledningsgator och leds av Energiforsk mellan åren 2022–2023 (Energiforsk, u.å.-c). Det är ett icke vinstutdelande aktiebolag som driver och samordnar energiforskning och ägs av Energiföretagen Sverige, Svenska kraftnät, Energigas Sverige och Nordion Energi (Energiforsk, u.å.-d). Programmet syftar till att skapa en gemensam plattform för elnätsägare som ska underlätta identifiering av områden med betydande naturvärden och framtagande av kostnadseffektiva metoder för att värna dem (Energiforsk, u.å.-c). För att uppnå detta ska de utveckla ett ramverk för inventering av miljövärden som ska kunna inkorporeras i ordinarie verksamhet (Energiforsk, u.å.-a). Slutligen ska de också utreda ekonomiska och regulatoriska incitament och hinder för ett ökat arbete med biologisk mångfald och andra miljöåtgärder (Energiforsk, u.å.-b).

8.2.5 Jämförande diskussion av metoderna

De tre första metoderna, Vattenfalls biotopmetod, Svenska kraftnäts bedömningsmetodik och CLImB, har jämförts utefter det tillgängliga underlaget (se Tabell 25). Med hänsyn till de utvalda aspekterna i den första kolumnen är CLImB bäst lämpad för att kvantifiera påverkan på biologisk mångfald i ledningsgator, följt av Vattenfalls biotopmetod och sist Svenska kraftnäts bedömningsmetodik. En motivering till rangordningen av metoderna finns att läsa under tabellen. Det kommande resultatet från ISO-standard och Energiforsks program har uteslutits från jämförelsen då det finns betydligt mindre information att utgå från. Det som kan sägas är att standarden för biologisk mångfald sannolikt kommer att vara mer relevant att utgå från än standarden för NVI, som alla tre av de jämförda metoderna gör i dagsläget. Även Energiforsks program har potential att bidra med strukturella förbättringar i arbetet med biologisk mångfald i ledningsgator i och med att en stor del av branschens aktörer deltar i. Exakt hur utfallet blir återstår att se.

Tabell 25. Jämförelse av Vattenfalls biotopmetod, Svenska kraftnäts bedömningsmetodik och CLImB.

Inkluderade aspekter	Vattenfalls biotopmetod	Svenska kraftnäts bedömningsmetodik	CLImB
Senaste versionen	2015	2021	Kommer september 2023
Applicerbart på	Främst energi-produktion	Kraftledning	Energi, gruva, kraftledning, etc.
Värderar natur på platsen	Ja, i fyra kategorier som utgår från standard för NVI	Ja, i fyra kategorier som utgår från standard för NVI och skyddade områden enligt MB	Ja, utifrån standard för NVI men i okänt antal kategorier
Värderar påverkan på naturen	Delvis, indirekt genom naturvärdering innan och efter	Ja, i sju kategorier	Ja, men okänt på vilket sätt
Kvantifierar påverkan på biologisk mångfald	Delvis, förändring av biotoper	Nej, endast naturmiljö och internt	Ja, med biodiversitets-poäng
Har en funktionell enhet	Ja, med avseende på area, livslängd och energiproduktion	Nej, ingen extern kvantifiering	Delvis, endast med avseende på area
Tar hänsyn till kvalitet på dataunderlag	Ja, fyra nivåer	Nej, men NVI tas oftast fram vid MKB	Nej, det krävs en NVI
Tar hänsyn till kompensationsåtgärder	Delvis, ingår i värdering av påverkan	Delvis, ingår i värdering av påverkan	Ja, kan vara på annan plats än projektet
Tar hänsyn till påverkan på landskapsnivå	Delvis, beskrivs kvalitativt	Delvis, ingår i värdering av natur	Ja, en faktor i biodiversitets-poängen

Svenska kraftnäts bedömningsmetodik inkluderar minst antal aspekter. Den är inte direkt utvecklad för att bedöma biologisk mångfald, utan naturmiljö. Metoden bedömer naturmiljön, både utifrån värde och känslighet, i fyra kategorier enligt kriterier som utgår både från standarden för NVI och skyddade områden enligt MB. Det är den enda av de nämnda metoderna som ger dessa två parametrar lika stor vikt. Metoden värderar också påverkan noggrant i sju kategorier, tre positiva, en neutral och tre negativa, enligt definierade kriterier. Det görs ett försök i att kvantifiera både värdet och påverkan men dessa siffror är emellertid inte till för att redovisas utåt, utan endast för att underlätta för den som gör bedömningen internt. På så vis finns inte heller någon sammanfattande enhet. Metoden tar inte hänsyn till vilken kvalitet som dataunderlaget har, men i arbetet med en MKB tas allt som oftast en NVI fram vilket är ett fullständigt underlag. Svenska kraftnäts bedömningsmetodik tar endast delvis hänsyn till

kompensationsåtgärder och påverkan på landskapsnivå genom värderingen av påverkan respektive natur.

Vattenfalls biotopmetod hamnar på plats två. Den värderar också biotoper i fyra kategorier som utgår från standarden för NVI men värderingen av påverkan sker däremot indirekt genom att värderingen av natur sker innan och efter exploateringen. På så vis är det den enda metoden som kräver två värderingar av natur. Utifrån detta kvantifierar Biotopmetoden förändringen av biotoper, men inte direkt biologisk mångfald. Det antas att de förluster och nytillskott av biotoper som uppstår vid en förändring av markanvändningen återspeglar de förändringar som sker för mångfalden i området. Metoden är den enda som använder sig av en funktionell enhet som ser till både livslängd och energiproduktion utöver bara arean. Det är också den enda som är möjlig att använda utan att en NVI gjorts. Dessutom redovisas det hur pålitligt resultatet är med avseende på vilket underlag som varit tillgängligt. Metoden tar endast delvis hänsyn till kompensationsåtgärder och påverkan på landskapsnivån genom värderingen av påverkan respektive en kvalitativ beskrivning.

CLImB inkluderar flest antal aspekter. Precis som de två tidigare metoderna värderar CLImB naturen på platsen utifrån standarden för NVI. Eftersom metoden inte är färdigställd och publicerad i sin helhet är det dock oklart i hur många kategorier det görs. Detsamma gäller värderingen av påverkan, den görs men det är okänt exakt hur. Utifrån det kvantifierar metoden biologisk mångfald i biodiversitetspoäng (BPB). Som det verkar just nu görs detta endast med enheten BPB per area och inte med avseende på projektets livslängd eller aktivitet. Det hade till exempel kunnat vara producerad mängd malm eller energi, som Vattenfalls biotopmetod tar i beaktning. Metoden tar inte heller hänsyn till kvalitén på dataunderlaget. Den går endast att använda om det gjorts en NVI, återigen till skillnad från Biotopmetoden. Å andra sidan kanske det krävs ett underlag i samma standard som en NVI för att få ett tillförlitligt resultat. Vidare är CLImB den enda metoden som är utformad för att kunna ta hänsyn till kompensationsåtgärder som sker på en annan plats än den för projektet. CLImB är också ensam om att direkt kvantifiera påverkan på landskapsnivå. Sammantaget låter CLImB mycket lovande men det återstår att se hur den slutliga utformningen och kvalitén blir.

8.3 Föreslagna aspekter vid kvantifiering av påverkan på biologisk mångfald

Det hade varit önskvärt att i framtiden kunna kvantifiera kraftledningars påverkan på biologisk mångfald i ett verktyg. Följande avsnitt beskriver därför vilka aspekter som rekommenderas att inkludera i ett sådant verktyg. Däremot går vi inte in på hur ett sådant verktyg skulle kunna byggas upp praktiskt. Detta görs med utgångspunkt i ovanstående jämförelse av de tre metoderna samt teorin kring kvantifiering av biologisk mångfald och kring kraftledningars påverkan på biologisk mångfald. För det första skulle naturen behöva bedömas, både efter hur värdefull den är och hur känslig den är på den aktuella platsen. Det gäller både arter och biotoper. För att se till att denna värdering sker så enhetligt som möjligt, oberoende av plats och av utförare, skulle den behöva göras utefter en erkänd standard. I dagsläget finns den för NVI tillgänglig (SS 199000:2014) men när standarden som är specifikt utvecklad för biologisk mångfald är framställd bör den användas i stället. Troligtvis kommer tillvägagångssättet i den likna det som används i de tre jämförda metoderna ovan, det vill säga naturen delas upp i ett antal klasser, enligt fördefinierade kriterier, beroende på hur värdefull den är.

Efter det skulle kraftledningens påverkan på naturen behöva värderas. Här skulle det behövas tas hänsyn till både positiv och negativ påverkan. I bästa fall skulle verktyget beakta alla typer av påverkan, från skogsavverkning, till buller under anläggningsskedet, skapande av nya ängsmarker för hotade arter, risk för fågelkollisioner med mera. Det skulle också fånga upp komplexiteten i att en typ av påverkan kan gynna en art samtidigt som den missgynnar en annan. Sedan kommer den stora utmaningen, att kvantifiera kraftledningens påverkan på den biologiska mångfalden. För att uppnå det behöver det sättas siffror både på klasserna för naturvärden och för påverkan, och sedan göras en sammanvägning av dem båda. Den enda metoden som säger sig göra det är CLImB och där är det ännu inte känt hur det görs.

För att sedan kunna göra en rättvis jämförelse mellan till exempel två luftledningar behövs det en funktionell enhet. Den simplaste skulle vara att mäta kraftledningens påverkan på biologisk mångfald per ytenhet ledningsgata. Samtidigt kanske det är av värde att fånga upp att olika delar av ledningsgatan troligtvis både berör mer och mindre värdefull natur samt har större eller mindre påverkan på dessa värden. För det skulle ledningsgatan behöva delas upp i mindre områden. Dessutom är den egentliga funktionen av en kraftledning inte ledningsgatans area, utan överförd el. Ur det perspektivet hade en funktionell enhet på 1 levererad kWh varit mer intressant. Ska luftledning jämföras med markkabel kan det bli aktuellt att utreda om skillnaden i livslängd har någon påverkan på resultatet.

Ännu en aspekt som hade varit värdefull att inkludera i verktyget är en flexibilitet kring hur det kan användas och vilket resultat det kan ge utifrån vilket underlag som finns tillgängligt. Det skulle vara praktiskt om verktyget kunde appliceras i olika projektfaser, precis som detaljeringsgraderna i klimatverktyget. Vid en förprojektering finns det mindre underlag men samtidigt en större möjlighet att påverka projektet i en bättre riktning, både för klimatet och den biologiska mångfalden. Vilka underlag som bedöms vara tillgängliga i olika projektfaser ses i Tabell 26. Användaren får fylla i så mycket den vet och verktyget ska likväl leverera ett resultat. Osäkerheterna i resultatet redovisas med fördel på ett liknande sätt som kvalitetsnivåerna i Biotopmetoden. Samtidigt är biologisk mångfald oerhört komplext och det kan tänkas att det krävs ett visst underlag för att få fram ett resultat som tillför något. Den slutsatsen verkar Svenska kraftnät och CLImB ha dragit.

Tabell 26. Tillgängligt underlag kring biologisk mångfald i projektfaserna framkomlighetsstudie, förprojektering och detaljprojektering.

Projektfas	Tillgänglig information	Hämtas/levereras från
Framkomlighetsstudie Allmänt tillgängliga databaser	Fakta om och observationer av arter	Artfakta och Artportalen (i Artdatabanken) från SLU
	Nationella marktäckedata, naturtypskarteringar, skyddade områden ¹ , riksintressen, områden med skyddsplaner m.m.	Skyddad natur från Naturvårdsverket samt Geodatakatalogen och Planeringskatalogen från länsstyrelserna
	Flygbilder, ortofoto, IR, satellitbilder, terrängkarta, jordartskarta, m.m.	Lantmäteriet, SGU och Metria
	Våtmarksinventeringen	Miljödataportalen från Naturvårdsverket
	Nyckelbiotopsinventeringen Sumpskogsinventeringen	Skogsdataportalen från Skogsstyrelsen
	Ängs- och betesmarksinventeringen	TUVA från Jordbruksverket
	Virkesförrådet uppdelat per träslag m.m.	Skogskarta från SLU
	Klassningar och kartor över alla Sveriges större sjöar, vattendrag, grundvatten och kustvatten	VISS-portalen från vattenmyndigheterna, länsstyrelserna och Havs och vattenmyndigheten
Förprojektering Mer sammanställd, projektspecifik information	Samrådsunderlag med övergripande bedömning av ledningens påverkan på naturmiljö	Verksamhetsutövaren
Detaljprojektering Mer detaljerad, projektspecifik information	MKB	Verksamhetsutövaren
	NVI av naturvärdesobjekt, biotoper och naturvårdsarter ²	Verksamhetsutövaren
	Koncessionsansökan	Verksamhetsutövaren
	Artinventeringar av t.ex. fåglar, fladdermöss och fjärilar	Verksamhetsutövaren

¹ Nationalpark, naturreservat, naturvårdsområde, djur- och växtskyddsområde, biotopskyddsområde, naturminne, natura 2000-område, ramsar-områden, världsarv med mycket höga naturvärden, områden med naturvårdsavtal, område med förbud mot markavvattning.

² Samlingsbegrepp inom naturvärden för arter som är extra skyddsvärda, antingen i sig själva eller genom att de indikerar särskilt viktiga naturtyper. I begreppet ingår rödlistade arter, fridlysta arter, arter som är listade i EU:s art- och habitatdirektiv, signalarter (indikerar artrikedom), ansvarsarter (har en stor andel av sin population i Sverige), samt nyckelarter (bär upp artsamhällen) (SLU Artdatabanken, 2022).

Vidare hade det varit intressant om påverkan från kompensationsåtgärder kunde integreras i verktyget. Ett sätt hade varit att väga in dem i värderingen av påverkan, som för Biotopmetoden och Svenska kraftnäts bedömningsmetodik. Till exempel skulle påverkan av en stolpplacering i en våtmark inte värderas lika negativt om en annan del av våtmarken restaurerades. Å andra sidan hade det varit bra att dela upp effekterna från anläggningen av ledningen och de från eventuella kompensationsåtgärder. Det kan göra det lättare att följa skadelindringshierarkin så att skada i första hand undviks, i andra hand minimeras och inte förens i tredje hand kompenseras. Kompensation kan annars leda till att man felaktigt tänker att man kan påverka ett värde och sedan ersätta det fullt ut. För biologisk mångfald är det väsentligt att komma ihåg att det finns värden som inte går att återskapa. Att dela upp effekterna från exploateringen och kompensationen hade också kunnat tydliggöra kompensationsåtgärdernas effekt. Det hade kunnat fungera som ett hjälpmedel för att utreda vilka åtgärder som är mest effektiva samt som ett incitament för att verkställa dem. Som CLImB påminner om behöver dessa åtgärder inte ske i ledningsgatan, utan de kan också göras på annan plats.

Det leder vidare till den sista aspekten som säger att det hade varit bra om verktyget inte bara kunde ta hänsyn till påverkan i själva projektområdet, utan också på landskapsnivå. Även om biotoper kan avgränsas och studeras enskilt så hänger alla ekosystem ihop. Det optimala hade varit att inkludera landskapsnivån som en parameter för sig i kvantifieringen, liknande hur det görs i CLImB, jämfört med att beskriva den kvalitativt som i Biotopmetoden. Genom att räkna in den i värderingen av naturen som i Svenska kraftnäts bedömningsmetodik kommer den i och för sig med i kvantifieringen, men då går den inte att skilja från värdet av naturen på plats.

8.4 Bedömning av kraftledningars påverkan på naturtyper

Hur verktyget byggs upp i praktiken kommer att ha en stor betydelse för vilket utfall det ger. Detta gäller speciellt värderingen av natur på platsen samt kraftledningens påverkan på naturen, i och med att det är detta som ligger till grund för hur kvantifieringen av påverkan på den biologiska mångfalden sker. Det är en sak att räkna antalet arter på platsen och mäta hur stor markareal som kommer att påverkas av arbetsmaskiner, men det är en annan sak att sätta siffror på värdet av de arterna respektive värdet av de konsekvenserna från markskadorna. Hur det kan göras lämnas därför åt vidare forskning. Som ett första steg till ett verktyg landar vi däremot i ett generellt, kvalitativt utfall som verktyget skulle kunna ha, nämligen hur kraftledningar påverkar naturtyper. Utfallet kan ses i Tabell 27 och beskrivs ytterligare under tabellen.

Tabell 27. Generellt, kvalitativt utfall för ett verktyg som bedömer kraftledningars påverkan på biologisk mångfald uppdelat efter naturtyp och i luftledning respektive markkabel.

Naturtyp	Påverkan på biologisk mångfald		Motivering
	Luftledning	Markkabel	
Bebyggd mark	Neutral	Neutral	Bebyggd mark saknar eller har ofta en liten betydelse för biologisk mångfald. Det gör att den begränsade påverkan från luftledning och markkabel inte förändrar förhållandena nämnvärt.
Ängs-, gräs- och betesmark	Negativ	Mycket negativ	Luftledningar underlättar rovfåglars plundring av markhäckande fåglars bo, även om lokala naturvärden kan undvikas genom en anpassad stolpplacering. Markkabelns schaktareal är inte lika flexibel vilket hotar värdefulla arter lokalt.
Naturskog ¹	Mycket negativ	Negativ	Värdefulla biotoper, som behöver en lång kontinuitet för att utvecklas, förloras permanent när träd avverkas. Luftledningens bredare ledningsgata har än större påverkan jämfört med markkabelns.
Odlingsmark	Neutral	Neutral	Storskaliga produktionsjordbruk har sällan höga biologiska värden till följd av landskapets homogenitet och besprutning. Dessutom förändras inte markanvändningen nämnvärt, varken för luftledning eller markkabel.
Produktions-skog	Mycket positiv	Positiv	Ledningsgatan bryter av skogsmark med låg variation, ökar biotopdiversiteten och fungerar som spridningskorridor. Detta gynnar framför allt arter som trivs i ängsliknande habitat. För luftledning hålls en större yta öppen jämfört med markkabel.
Sjö och vattendrag	Neutral	Neutral	Artsammansättningen kan påverkas av att mikroklimatet förändras vid strandnära avverkning samt av grumling vid arbete i vatten. Konsekvenserna kan mildras med anpassad stolpplacering och styrd borring under vattendraget. ²
Våtmark	Negativ	Mycket negativ	Avverkning, körning och schaktning kan förändra hydrologin och därmed hota lokala populationer av värdefull flora och fauna. Detta kan till en viss del undvikas med försiktighetsåtgärder. Luftledning kräver något mindre schakt än markkabel.

¹ Har en varierad sammansättning av trädslag, en vid fördelning i trädålder, en betydande tillgång till död ved och inslag av gläntor som släpper ned ljus (Naturvårdsverket, u.å.-c). Begreppet innefattar här både kontinuitetsskog, urskog och gammelskog. Med skog menas både löv-, barr- och blandskog.

² Sjökabel behandlas inte.

Urbana miljöer har sällan utpekade naturvärden och saknar eller har därmed ofta en liten betydelse för biologisk mångfald och ekologiska samband (Svenska kraftnät, 2020b). Vi bedömer att påverkan från luftledning och markkabel är begränsad i dessa miljöer och därmed inte kommer att förändra förhållandena för biologisk mångfald nämnvärt. De delar av sträckan som går genom bebyggd mark anser vi därför ha en neutral påverkan.

Naturvärden knutna till öppen terräng, såsom ängs-, gräs- och betesmarker, påverkas däremot av kraftledningar. För luftledning kan lokala växtplatser förstöras då enstaka träd kan behöva avverkas då viss mark tas i anspråk för stolparna. Det handlar dock om en mycket liten areal totalt sett. Särskilt värdefulla träd och/eller småbiotoper går också att undvika genom att anpassa ledningsdragningen och stolpplaceringen (Svenska kraftnät, 2017a). Detsamma gäller för tillfartsvägar (Svenska kraftnät, 2020b). Det som ändå gör att vi bedömer påverkan från luftledning som negativ är att de har en negativ effekt på häckfågelfaunan genom att ledningarna blir utsiktspunkter som underlättar boplundring för kråk- och rovfåglar.⁶ För markkabel är den nödvändiga schaktarealen större och dessutom mindre flexibel vilket gör det svårare att undvika lokala grupper av sällsynta arter. I näringsfattig, artrik betesmark finns det också en risk för att näringsämnen frigörs vid markarbeten som är nödvändiga i anläggningsskedet. Det kan medföra konsekvenser i form av att hävdgynnade växter konkurreras ut av mer näringsgynnade arter (Svenska kraftnät, 2016c). Därför bedömer vi att påverkan från markkabel är mycket negativa.

Påverkan på naturskog är också stor, både för luftledning och markkabel. Påverkan uppkommer genom en permanent förändring av naturmiljön när träd avverkas i ledningsgatan. Det innebär att livsmiljöer med höga, skogliga naturvärden försvinner (Svenska kraftnät, 2016c; Svenska kraftnät, 2020b). Dessa värden, som skapas genom tid, tar mycket lång tid att återskapa och är svåra eller omöjliga att kompensera för, vilket gör de extra viktiga att bevara.⁷ Påverkan per ytenhet kan sägas vara något större för markkabel då även stubbar måste brytas upp och andra stora hinder tas bort (Svenska kraftnät, 2018a). Därför bedöms de som negativa. Den totala påverkan anses dock vara större för luftledning, då den ledningsgatan är mycket bredare. Därmed klassas den som mycket negativ.

Gällande odlingsmark kan ledningsgatan fortsatt brukas, både under luftledning och ovanpå markkabel. Det gör att förhållandena för biologisk mångfald inte förändras nämnvärt. Om åkermarken består av en besprutad monokultur finns det en risk för att det inte finns så stora naturvärden på platsen till att börja med. De ytor som bildas i närmast anslutning till stolparna och på så vis inte kan brukas på samma sätt kommer också att påverkas av växtskyddsmedlen. I och med att den arealen också utgör en mycket liten andel av hela ledningsgatan är effekten för den biologiska mångfalden vanligen försumbar. I stenrika odlingsbygder, där lantbrukare har ett behov av att bli av med sten, är det vanligt att det bildas stenrösen i stolpstagen vilka kan bidra till en något ökad mångfald lokalt. I sådana områden skapas det dock som regel många rösen och stenupplag intill fältet ändå, även om det inte hade funnits en ledningsgata.⁸ Om åkermarken i stället består av en ekologisk odling används vanligtvis mindre mängder och skonsammare medel. Här gäller dock också att varken luftledning eller markkabel förändrar förhållandena på ett betydande vis. Därmed bedöms påverkan vara neutral både för luftledning och markkabel.

Produktionsskog som korsas av en luftledning eller en markkabel bedöms vara bättre för biologisk mångfald än produktionsskog som inte gör det. Ledningsgatan bryter av den planterade, ofta täta monokulturen av likåldriga träd och bidrar till en ökad variation av livsmiljöer samt fungerar som en spridningskorridor. Inslagen av ängsliknande biotoper som röjs regelbundet gynnar både kärlväxter, pollinatörer och fåglar som annars trivs i till exempel

⁶ David Reuterskiöld, konsult inom miljö, naturvård och vattenvård på Norconsult. Skriftlig kommunikation den 15 maj 2023.

⁷ David Reuterskiöld. Teamsmöte den 17 mars 2023.

⁸ David Reuterskiöld. Teamsmöte den 17 mars 2023.

odlingslandskap. På så vis skapas en större diversitet av biotoper i området. Att det sker på bekostnad av att skogshabitatet minskar bedöms ha en liten betydelse då produktionsskogar är relativt homogena och sällan innehåller höga naturvärden. I likhet med resonemanget kring naturskog och de olika ledningsgatornas bredd bedömer vi att det är mycket positivt att en bred ledningsgata hålls öppen under luftledning och positivt att en smalare ledningsgata röjs för markkabel.

Den främsta påverkan på sjöar och vattendrag från kraftledningar kommer från att omgivande träd kan behöva avverkas. Då kommer träden inte längre att skugga och stabilisera fukthalten samt temperaturen, vilket förändrar lokalklimatet (Svenska kraftnät, 2020b). Även det levnadsutrymme och skydd som de utgör försvinner. Detta riskerar att arter knutna till strand- och bäckmiljöer trängs undan lokalt. Det är också viktigt att ta hänsyn till om vattendraget fungerar som en viktig ledlinje i terrängen för större fåglar. Om så är fallet bör ledningarna markeras tydligt för att fåglarna i största mån ska kunna undvika kollision. Arbeten i anslutning till vattenmiljöer, till exempel vid stolpplacering för luftledning eller schaktning för markkabel, kan också leda till grumling (Svenska kraftnät, 2017a). Detta undviks så långt det går med en anpassad projektering av stolpplatserna respektive med arbetssättet styrd borring under vattendraget (Svenska kraftnät, 2016c). Sjökabel behandlas inte i denna rapport. Vid transporter över mindre bäckar och dräneringsdiken kan dessa behöva fyllas igen tillfälligt. Det görs med dräneringsrör för att inte stoppa vattenflödet (Svenska kraftnät, 2018a). Därmed bedömer vi att påverkan är neutral både från luftledning och markkabel.

Vid våtmarker kommer den största effekten från förändringar i hydrologi, det vill säga i vattennivåer, vattenflöden och vattenkvalitet (Svenska kraftnät, 2017a). Påverkan kan till exempel ske genom avverkning av träd, anläggning av tillfartsvägar och grundläggningsarbeten för stolpar (Svenska kraftnät, 2017a) och kabelschakt (Svenska kraftnät, 2018b). Då luftledning kräver något mindre schakt bedöms påverkan vara negativ, medan de för markkabel anses vara mycket negativa. Effekten kan bli att flora och fauna får försämrade levnadsvillkor (Svenska kraftnät, 2016c). Sänkta vattennivåer kan till exempel göra att arter knutna till den fuktiga miljön minskar i antal eller försvinner från området (Svenska kraftnät, 2017a). Där värdefulla naturområden berörs är det därför viktigt med försiktighetsåtgärder och en anpassad arbetsmetodik för att hålla intrångseffekterna så små som möjligt (Svenska kraftnät, 2016c). För det första ska körning i högt klassade våtmarker undvikas (Svenska kraftnät, 2017a). Stolparna ska i största möjliga utsträckning placeras på fast mark och/eller högre belägna markområden (Svenska kraftnät, 2020b). Sträckningen för markkabel ska anpassas (Svenska kraftnät, 2016c). Om det inte är möjligt att helt undvika våta områden ska åtgärder vidtas för att undvika körsador, till exempel genom att stockmattor läggs ut eller att andra avlastande strukturer och konstruktioner används (Svenska kraftnät, 2017a). Det är också viktigt att anläggningen sker under en tid på året då den inte påverkar spelplatserna för tjäder och orre (Svenska kraftnät, 2017b).

8.5 Diskussion kring kvantifiering av påverkan på biologisk mångfald

Det finns ett pågående arbete kring kraftledningars påverkan på biologisk mångfald. Svenska kraftnät och Vattenfall Eldistribution har kartlagt hela sitt transmissionsnät respektive regionnät med avseende på arter och biotoper (Svenska kraftnät, 2022a; Vattenfall Eldistribution AB, u.å.-e). Ellevio har identifierat potentiellt artrika områden i en GIS-analys och inventerat några i fält (SLU, 2018). Samtliga tre har satt upp mål om att implementera anpassade skötselåtgärder för värdefulla ledningsgator, även om omfattningen och tidsplanen varierar (SLU, 2018; Svenska kraftnät, 2022a; Vattenfall Eldistribution AB, u.å.-e). E.ON har undersökt metoder för att gynna flora och fauna vid nybyggnation och löpande underhållsarbete samt hur det skulle

kunna implementeras systematiskt i en större skala (E.ON Sverige, 2021). I och med Energiforsks program som syftar till att samla elnätsägare för att underlätta och effektivisera detta arbete hade troligtvis många aktörer varit intresserade av ett verktyg som går steget längre kvantifierar kraftledningars påverkan på biologisk mångfald.

Det finns som nämnt många sätt att räkna på biologisk mångfald. Det går att summera antalet arter, deras förekomster och deras relativa fördelning. På detaljnivå kan man till och med använda formler så som Shannons och Simpsons. Med god kunskap skulle det kanske vara möjligt att även ta hänsyn till artens evolutionära härstamningar och vad den har för funktion i ekosystemet. Gällande biotoper går det att beräkna dess areor, och på så vis få ett mått för hur stor variationen av naturmiljöer är. Kraftledningens påverkan skulle kunna mätas till exempel genom hur många arter som berörs av en viss stolplacering eller hur stor areal som måste schaktas inom skyddade områden. Frågan är, vad är värt att sätta siffror på? Syftet med kvantifieringen skulle vara att underlätta en helhetsbedömning av en kraftlednings påverkan på biologisk mångfald. För det krävs det en kunskap kring hur man ska tolka och värdera de antal och de arealer som man har lyckats mäta.

Problemet är att det är svårt att ställa biologiska värden mot varandra. Är det till exempel bättre att bevara en rödlistad art jämfört med att bevara tio vanligare arter? Ett tillvägagångssätt för att svara på den frågan skulle kunna vara att se till hur viktiga de är för människan, i en så kallad ekosystemtjänst. Det har gjorts försök på att värdera dessa rent ekonomiskt, till exempel nyttan med pollinerande insekter genom att uppskatta hur mycket det hade kostat med konstgjord pollinering. Dessa beräkningar baseras dock på en rad mer eller mindre säkra antaganden och vi tycker också att det är något tveksamt att endast utgå från människan. Dessutom är ekosystem mycket komplexa och trots en stor kunskap om platsen är det svårt att veta exakt hur organismer och processer påverkas av varandra, vilket i slutändan också påverkar oss. När svårigheten med att kvantifiera av arter och biotoper för sig väl har överkommits återstår den stora utmaningen med att samla alla naturvärden och deras betydelser i ett gemensamt mått för biologisk mångfald. Endast då fås en helhetssyn som kan jämföras mellan olika projekt.

Som alltid när det kommer till värderingar är de svåra att göra objektivt, utan hänsyn till sin personliga åsikt. Det finns självklart mer tydliga fall där svar kan utläsas ur vetenskapen, till exempel om det är bättre att bevara en del av en skyddad biotop jämfört med en del av en vanligare biotop. Bekymret är att de flesta fall inte är så svart-vita utan ligger någonstans däremellan. Olika biotoper hyser olika arter som är mer eller mindre värdefulla och som i sin tur har olika relationer till andra arter. Det blir snabbt mycket komplicerat att behålla en överblick och då är det lätt att man fokuserar på de detaljer som man själv tycker är viktigast. I vår bedömning av kraftledningars påverkan på naturmiljöer har vi lyft det vi ansett varit mest relevant utifrån det underlag vi hittat. Det finns en risk för att en annan person hade gjort en annan bedömning, även med tillgång till samma källor. Här är det också värt att påpeka att det har varit svårt att hitta mer allmänna källor än Svenska kraftnäts MKB:er. De är experter på sitt område och miljöbedömningen ska vara saklig men den ska också helst leda till ett koncessions-tillstånd. Arbetet hade däremot kunnat nyanseras med referenser till exempelvis Vattenfall, E.ON och Ellevio. Sammantaget finns det ett stort behov av en samsyn kring hur naturvärden ska uttryckas i kvantitativa termer. Förhoppningsvis kommer den nya ISO-standarden för biologisk mångfald kunna leverera det, eller åtminstone vara en start.

Att sätta samman alla delar i ett användbart verktyg är minst sagt invecklat. Det här examensarbetet började med ett ambitiöst mål om att försöka utveckla ett verktyg men landade ganska snabbt i detta tillvägagångssätt. Troligtvis är Vattenfall, Svenska kraftnät och CLImB

också medvetna om vad deras metoder har lyckats bra med och var de inte riktigt räcker till. Verktuget ska helst fungera oavsett kraftlednings plats, både om den till exempel går genom en naturskog, ett storskaligt jordbruk eller en tätort. Det ska också kunna hantera att det bara finns indata kring vad som finns på platsen idag, inte hur det kommer se ut i framtiden. Det gäller även antaganden kring att det tar ett tag för arter att dö ut och nya att etablera sig. Dessutom kan arter påverkas olika av samma störning. Till exempel gynnas arter som trivs i öppna miljöer av den regelbundna röjningen av ledningsgator, medan arter senare i successionsordningen inte får en chans att etablera sig. Det är också så att ledningsgatans effekt på den biologiska mångfalden inte bara gäller själva ledningsgatans areal, utan den sprids också till det omgivande landskapet. Troligtvis finns det även ett omvänt förhållande. Även kompensationsåtgärder kan ske på en plats utanför ledningsgatan. Det är dock svårt att bedöma värdet av en kompensation i förväg då det kan hända att den inte ger lika stor nytta som planerats. Om vissa av dessa delar utelämnas från verktuget finns det en risk för att de hamnar i skymundan vid ett kraftledningsbygge.

Det finns många potentiella användningsområden för ett framtida verktyg som kvantifierar kraftledningars påverkan på biologisk mångfald. Det hade varit värdefullt att kunna jämföra alternativa sträckningar och få fram var en exploatering ger minst negativ påverkan på biologisk mångfald. Det hade också varit intressant om det gick att jämföra påverkan från luftledning med den från markkabel. Det kan däremot vara så att det främst beror på plats, och eftersom luftledning och markkabel används i olika miljöer kan det vara svårt att säga att en av dem har mindre påverkan generellt. Vidare hade det varit användbart att kunna se vilka och hur stora andelar av ledningsgatan som gynnar, är neutral respektive missgynnar biologisk mångfald. Sannolikt går det inte att betrakta längre avsnitt av ledningarna schablonmässigt om de går genom olika naturtyper. Då är det nödvändigt att dela upp ledningen i mindre påverkansområden så att inte all data fylls i för hela ledningsgatan samtidigt. Det hade också varit klokt att jämföra verktugets resultat för olika exakthet på underlaget. Hur stor blir skillnaden i resultatet från underlaget som finns tillgängligt i framkomlighetsstudien respektive detaljprojekteringen? Slutligen hade det varit en bonus om verktuget kunde ta hänsyn till att odling av energiskog i ledningsgator i och för sig minskar den biologiska mångfalden men är bra ur andra perspektiv. På ett liknande sätt hade det kunnat undersökas vilken påverkan betande djur i ledningsgator har på den biologiska mångfalden och om det förändrar hur ofta ledningsgatan behöver röjas.

9 Allmän diskussion kring kvantifiering av klimat och biologisk mångfald

Det är svårt att både utveckla och använda verktyg för att kvantifiera något, speciellt när det berör komplexa områden som miljö. Målet med ett verktyg är ofta att förenkla och göra något mätbart och mer begripligt. Det finns dock en risk för att verkligheten förenklas för mycket. Det är sällan möjligt att inkludera allt i ett verktyg, och därför är det mycket viktigt att vara tydlig med vad som har exkluderats och vad verktyget har för begränsningar. Klimatverktyget som vi har utvecklat innehåller inte alla delar av kraftledningens livscykel och tar endast hänsyn till utsläpp av växthusgaser vilket bara ger ett perspektiv. För miljöpåverkan i helhet finns det många andra effekter som kan beaktas för att göra ett så hållbart val som möjligt.

Citatet ”what gets measured gets managed”, med omtvistat ursprung, påpekar problemet med just detta. Det är bara de indikatorer som kan mätas och väljs att inkluderas som ger ett resultat som kan förvaltas och följas upp. Att resultatet av kvantifiering dessutom är en siffra kan vara problematiskt. Vanligtvis gör siffror att vissa saker blir enklare att förstå, men man kan också bli lurad till att tro att resultatet är mer exakt än vad det faktiskt är. Det kan ge en felaktig uppfattning av verkligheten, vilket man måste vara medveten om. Det är därför viktigt att påpeka kvantifieringens förutsättningar och osäkerheter i samband med redovisningen av resultatet.

Just beräkningar inom klimat är ett relativt etablerat område. Klimatförändringarna har varit kända länge och mycket forskning har gjorts för att förstå vad människans aktiviteter har för påverkan. När det väl finns data är det enklare att göra en kvantifiering. Det finns även standarder som underlättar arbetsprocessen och gör resultatet enhetligt och jämförbart. Med det sagt är det viktigt att välja rätt systemgränser och vara transparent med sina antaganden för att ge en rättvis bild av utsläppen.

Biologisk mångfald har däremot ingen motsvarande enhet som aggregerar värdet av olika arter och habitat för att enkelt kunna kvantifiera påverkan på mångfalden. Som presenterat i detta arbete finns det många typer av biologisk mångfald som kan beräknas med flera mått, men det finns inget enskilt som förespråkas av forskningen. Det nämnda citatet ovan, att det man mäter är det som kommer att hanteras, blir extra tydligt för den biologiska mångfaldens komplexitet. Den typ av mångfald som mäts kommer vara den som får mest fokus. Det gör att det finns en stor risk att andra värden hamnar i skymundan. Antagligen är det så att det inte går att kvantifiera biologisk mångfald i endast en enhet, utan att man måste mäta den på olika sätt och göra kvalitativa bedömningar.

Sammantaget bedöms en kvantifiering av både utsläpp av växthusgaser och biologisk mångfald kunna göra koncepten mer greppbara och underlätta arbetet med att sätta upp och nå mål för respektive område. Det måste däremot göras med en god kunskap inom ämnet samt med en tydlighet kring vad kvantifieringen innebär och inte innebär. I dagsläget har kvantifiering inom klimat kommit långt medan den inom biologisk mångfald ännu ter sig mer komplex och endast har påbörjats.

10 Slutsats

Syftet med examensarbetet var att undersöka vilken påverkan kraftledningar har på klimat och biologisk mångfald. Det har arbetet svarat på, men en faktisk kvantifiering uppnåddes bara för klimat, inte för biologisk mångfald, vilket det också finns ett behov av.

Gällande växthusgasutsläppen har examensarbetet fokuserat på de första faserna i en kraftlednings livscykel vilket innefattar materialframställning, transport, schaktning och markanvändning. Mängden utsläpp beror främst på ledningsgatans längd och bredd, val av material och typ av kraftledning. I examensarbetets fallstudie, som räknar med en livslängd på 70 år, är resultatet 1270 ton CO_{2e}/km för luftledning och 1070 ton CO_{2e}/km för markkabel. Av de utsläppen står transport och schaktning enbart för några få procent. I stället bidrar luftledningens breda ledningsgata till 75 % av de totala utsläppen, och knappt 25 % kommer från materialet. Den grova markkabeln utgör nästan 60 % av utsläppen från kabledningen, medan det mindre markanspråket står för 35 %. I fallstudien har markkabeln något lägre utsläpp per kilometer och därmed en mindre påverkan på klimatet. Dock behöver verktyget appliceras på fler projekt innan det går att dra några generella slutsatser.

Det finns flera faktorer som kan ändra vilket av alternativen som har lägst utsläpp. Det är möjligt att välja material med lägre klimatpåverkan som dessutom produceras hållbart med återvunna material och koldioxidneutral elmix. Platsens förutsättningar som typ av mark, andel skog och tekniska svårigheter samt val av funktionell enhet och tidsperspektiv spelar också in. Då klimatpåverkan från skogsavverkning är komplex och omtvistad får även den avgörande roll. I en uppföljning av verktyget behöver skogens utsläpp och schaktningens emissionsdata ses över. Det hade också varit intressant att undersöka växthusgasutsläppen från driften, avvecklingen och återvinningen. Dessutom hade data baserat på ett större underlag varit önskvärt, men då behöver datasammanställningen inom kraftledningsbranschen förenklas.

Både biologisk mångfald och påverkan på biologisk mångfald kan kvantifieras med flera metoder. I detta arbete jämfördes följande tre metoder: Vattenfalls biotopmetod, Svenska kraftnäts bedömningsmetodik i miljökonsekvensbeskrivningar och projektet CLImB. Med utgångspunkt i dessa gavs förslag på aspekter som bör inkluderas i en förbättrad metod för kvantifiering av kraftledningars påverkan för biologisk mångfald. Den biologiska mångfalden på platsen behöver värderas och exploaterings konsekvenser på mångfalden måste kartläggas. Verktyget behöver ta hänsyn till påverkan på landskapsnivå, eventuella kompensationsåtgärder samt kvalitén på underlaget. Kraftledningens påverkan skulle behöva redovisas med en funktionell enhet så att olika projekt blir jämförbara. Det är dock svårt att kvantifiera biodiversitet då ekosystem är komplexa och det saknas ett vedertaget mått som kan inkludera allt. För att ett kvantifieringsverktyg ska bli möjligt behöver det först finnas en större samstämmighet kring hur biologisk mångfald ska värderas. I dagsläget ser det därför ut som att det är en bit kvar innan ett sådant verktyg blir verklighet.

Sammantaget kan kvantifiering av klimat och biologisk mångfald i ett verktyg vara värdefullt men man måste vara väl medveten om att det är en förenkling av verkligheten och att viktiga perspektiv kan saknas. Det vidareutvecklade klimatverktyget samt den kvalitativa diskussionen kring påverkan på biologisk mångfald är en bra start och kan hjälpa Norconsult att uppnå interna hållbarhetsmål. På så vis kan examensarbetet förhoppningsvis bidra till att det byggs kraftledningar med en lägre miljöpåverkan. Endast med ett driftsäkert och hållbart elnät kan Sverige ansluta mer förnybar energi och elektrifiera samhället.

Referenser

Ahrné, K., Berg, Å., Svensson, R. & Söderström, B. (2016). *Dagfjärilar i naturbetesmarker, kraftledningsgator, på hyggen och skogsbilvägar – betydelse för miljöövervakning*. (CBM:s skriftserie 45) SLU Centrum för biologisk mångfald.

https://pub.epsilon.slu.se/13608/7/ahrne_k_et_al_161005.pdf

Andersson, E. (2016). *Vidareutveckling av metod för bedömning av miljöpåverkan i samhällsekonomiska analyser vid investeringar i det svenska elstamnätet* Masteruppsats, Civilingenjörsprogrammet i energisystem. Sveriges lantbruksuniversitet. <http://www.diva-portal.se/smash/get/diva2:1046952/FULLTEXT01.pdf>

Berg, Å., Bergman, K.-O., Wissman, J., Żmihorski, M. & Öckinger, E. (2016). Power-line corridors as source habitat for butterflies in forest landscapes. *Biological Conservation*, 201, ss. 320-326. doi:10.1016/j.biocon.2016.07.034

Berg, Å., Bergman, K.-O., Wissman, J. & Öckinger, E. (2015). *Betydelsen av kraftledningsgator, skogsbilvägar och naturbetesmarker för fjärilar i olika landskapstyper*. (CBM:s skriftserie nr 97) SLU Centrum för biologisk mångfald.

<https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/cbm/dokument/publikationer-cbm/cbm-skriftserie/betydelsen-av-kraftledningsgator-skogsbilvagar-och-naturbetesmarker-nr-97.pdf>

Berg, Å. & Svensson, R. (u.å.). *Fågelfaunan i kraftledningsgator– effekt av skötsel och omgivande landskap*. (CBM:s skriftserie 57) SLU Centrum för biologisk mångfald.

<https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/cbm/dokument/publikationer-cbm/cbm-skriftserie/skrift57.pdf>

Boverket. (2021). *Klimatdeklaration av byggnader*.

<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/klimatdeklaration/> [Hämtad 11 maj 2023]

Bumby, S., Druzhinina, E., Feraldi, R., Werthmann, D., Geyer, R. & Sahl, J. (2010). Life Cycle Assessment of Overhead and Underground Primary Power Distribution. *Environmental Science & Technology*, 44, ss. 5587-5593. doi:10.1021/es9037879

CLImB. (u.å.-a). *Changing Land Use Impact On Biodiversity*. <https://climb.ecogain.se/> [Hämtad 7 februari 2023]

CLImB. (u.å.-b). *Delta*. <https://climb.ecogain.se/participate> [Hämtad 7 februari 2023]

CLImB. (u.å.-c). *Metod*. <https://climb.ecogain.se/method> [Hämtad 7 februari 2023]

CLImB. (u.å.-d). *Planering, byggnation och anläggning*.

<https://climb.ecogain.se/collaboration/planning> [Hämtad 7 februari 2023]

Daniel-Ferreira, J. (2021). *Linear infrastructure habitats for the conservation of plants and pollinators*. Diss. Sveriges lantbruksuniversitet. https://pub.epsilon.slu.se/25947/1/daniel-ferreira_j_211025.pdf

Daniel-Ferreira, J., Bommarco, R., Wissman, J. & Öckinger, E. (2020). Linear infrastructure habitats increase landscape-scale diversity of plants but not of flower-visiting insects. *Scientific Reports*, 10. doi:10.1038/s41598-020-78090-y

E.ON Energidistribution. (2008). *Planerad 130 kV elkraftledning mellan Vimmerby och Kisa, Stråkbekrivning, Underlag för samråd*. <https://docplayer.se/42921046-Planerad-130-kv-elkraftledning-mellan-vimmerby-och-kisa.html>

E.ON Energidistribution. (2021). *E.ON testar kraftledningsstolpe i komposit*. <https://www.eon.se/artiklar/e-on-testar-kraftledningsstolpe-i-komposit> [Hämtad 7 februari 2023]

E.ON Energilösningar. (2022). *Elektricitetens ljusa historia*. <https://www.eon.se/artiklar/elektricitetens-ljusa-historia> [Hämtad 19 februari 2023]

E.ON Sverige. (2021). *Hållbarhetsrapport 2021 - Hållbar energiomställning för alla*. <https://www.eon.se/content/dam/eon-se/swe-documents/swe-hallbarhetsrapport-2021.pdf>

E.ON Sverige. (2023a). *Det här är E.ON*. <https://www.eon.se/om-e-on/om-foeretaget> [Hämtad 31 januari 2023]

E.ON Sverige. (2023b). *Hållbarhet på E.ON*. <https://www.eon.se/om-e-on/hallbarhet> [Hämtad 7 februari 2023]

Ellevio. (2021a). *Ellevio idag*. <https://www.ellevio.se/om-ellevio/det-har-ar-vi/ellevio-nu-da/ellevio-idag/> [Hämtad 31 januari 2023]

Ellevio. (2021b). *Policy för biologisk mångfald*. https://www.ellevio.se/globalassets/content/hallbarhet/ellevios-policy-biologisk-mangfald_210202.pdf

Ellevio. (2021c). *Års- och hållbarhetsredovisning 2021*. https://www.ellevio.se/globalassets/content/finansiell-information/2021/ellevio_ar21_sve_web.pdf

Ellevio. (2022). *Hållbarhet på Ellevio*. <https://www.ellevio.se/om-ellevio/det-har-gor-vi/hallbarhet/hallbarhet-pa-ellevio/> [Hämtad 7 februari 2023]

Elmsäter-Svärd, C., Hidesten, P., Johnsson, D., Löfsjögård, M., Sunér, M. & Wåhlberg, K. (2022). Debatt: Cementkrisen är långt från över. *Dagens Industri*, 27 april. <https://www.di.se/debatt/debatt-cementkrisen-ar-langt-fran-over/>

Energiforsk. (2022). *Både luftledning och markkabel behövs för trygg elförsörjning*. [pressmeddelande], 11 januari. <https://energiforsk.se/nyhetsarkiv/bade-luftledningar-och-markkabel-behovs-for-trygg-elforsorjning/>

Energiforsk. (u.å.-a). *Arbetspaket 2: Ramverk för inventering av miljövården*. <https://energiforsk.se/program/biologisk-mangfald-i-kraftledningsgator/arbetspaket/arbetspaket-2-ramverk-for-inventering-av-miljovarden/> [Hämtad 31 januari 2023]

Energiforsk. (u.å.-b). *Arbetspaket 3: Ekonomi, regelverk och incitament*.
<https://energiforsk.se/program/biologisk-mangfald-i-kraftledningsgator/arbetspaket/arbetspaket-3-ekonomi-regelverk-och-incitament/> [Hämtad 31 januari 2023]

Energiforsk. (u.å.-c). *Biologisk mångfald i kraftledningsgator*.
<https://energiforsk.se/program/biologisk-mangfald-i-kraftledningsgator/> [Hämtad 31 januari 2023]

Energiforsk. (u.å.-d). *Om oss som företag*. <https://energiforsk.se/info/om-energiforsk/>
[Hämtad 31 januari 2023]

Energiföretagen Sverige. (2017a). *Elnätets miljöpåverkan*.
<https://www.energiforetagen.se/energifakta/elsystemet/elnetet--distribution-av-el/elnet-miljopaverkan/> [Hämtad 31 januari 2023]

Energiföretagen Sverige. (2017b). *Stora investeringar har gett leveranssäkra elnät*.
[pressmeddelande], 2 november.
<https://www.energiforetagen.se/pressrum/nyheter/2017/november/stora-investeringar-har-gett-leveranssakra-elnet/>

Energiföretagen Sverige. (2021). *Regionnätets funktion och utformning*.
<https://www.energiforetagen.se/forlag/elnet/regionnätets-funktion-och-utformning/>

Energimarknadsinspektionen (Ei). (2021a). *Bindande besked om undantag från kravet på nätkoncession*. <https://ei.se/download/18.49c8e62c17ce9a9139447cc/1636359816672/Beslut-2020-103085.pdf>

Energimarknadsinspektionen (Ei). (2021b). *Checklista - Ansökan om nätkoncession för linje*.
<https://ei.se/bransch/koncessioner/natkoncession-for-linje/checklista---ansokan-om-natkoncession-for-linje> [Hämtad 31 januari 2023]

Energimarknadsinspektionen (Ei). (2021c). *Miljökonsekvensbeskrivning*.
<https://ei.se/bransch/koncessioner/natkoncession-for-linje/miljokonsekvensbeskrivning>
[Hämtad 31 januari 2023]

Energimarknadsinspektionen (Ei). (2021d). *Naturvärdesinventering och fågelinventering*.
<https://ei.se/bransch/koncessioner/natkoncession-for-linje/naturvardesinventering-och-fagelinventering> [Hämtad 31 januari 2023]

Energimarknadsinspektionen (Ei). (2021e). *Skyddsåtgärder och villkor*.
<https://ei.se/bransch/koncessioner/natkoncession-for-linje/skyddsatgarder-och-villkor>
[Hämtad 23 mars 2023]

Energimarknadsinspektionen (Ei). (2021f). *Undantag från kravet på nätkoncession - IKN*.
<https://ei.se/bransch/koncessioner/undantag-fran-kravet-pa-natkoncession---ikn#h-Vindkraftverksolcellsparkersolpanelermedmera22a> [Hämtad 5 maj 2023]

- Energimarknadsinspektionen (Ei). (2022). *Koncessioner*.
<https://www.ei.se/bransch/koncessioner> [Hämtad 1 februari 2023]
- Energimarknadsinspektionen (Ei). (u.å.). *Elområde*. <https://ei.se/konsument/el/sa-har-fungerar-elmarknaden/elomrade> [Hämtad 19 januari 2023]
- Fisher, R. A., Corbet, A. S. & Williams, C. B. (1943). The Relation Between the Number of Species and the Number of Individuals in a Random Sample of an Animal Population. *Journal of Animal Ecology*, 12, ss. 42-58. doi:10.2307/1411
- Gotelli, N. J. & Chao, A. (2013). Measuring and Estimating Species Richness, Species Diversity, and Biotic Similarity from Sampling Data. I: Levin, S. A. (red.) *Encyclopedia of Biodiversity*. 2:a uppl. Waltham: Academic Press, ss. 195-211.
- Gotelli, N. J. & Colwell, R. K. (2001). Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters*, 4, ss. 379-391. doi:10.1046/j.1461-0248.2001.00230.x
- Hammervold, J. (2015). *Metode for beregning av CO2-utslipp knyttet til arealbeslag ved vegbygging*. Miljø og fornybar Asplan Viak.
<https://d21dbafykfdck9.cloudfront.net/1518099797/sluttrapport-co2-arealbruksendring-2017.pdf>
- Harrison, G. P., Maclean, E. J., Karamanlis, S. & Ochoa, L. F. (2010). Life cycle assessment of the transmission network in Great Britain. *Energy Policy*, 38, ss. 3622-3631. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.02.039>
- Hunkeler, D. (2016). *Life Cycle Assessment (LCA): A Guide to Best Practice*, Wiley.
- IPBES. (2019). *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. doi:10.5281/zenodo.6417333
- IPCC. (2001). *Climate Change 2001: Synthesis Report*.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_TAR_full_report.pdf
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report*.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_full_report.pdf
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report*.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*.
https://report.ipcc.ch/ar6/wg1/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf
- IPCC. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report Summary for Policymakers*.
https://report.ipcc.ch/ar6syr/pdf/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf
- ISO 14040:2006. *Miljöledning - Livscykelanalys - Principer och struktur*. Svenska institutet för standarder (SIS).

ISO 14044:2006. *Miljöledning - Livscykelanalys - Krav och vägledning*. Svenska institutet för standarder (SIS).

Johannesson, C., Johansson, K. & Tegstedt, F. (2020). *Livscykelanalys av ledningsstolpar*. IVL Svenska Miljöinstitutet. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1552234/FULLTEXT01.pdf>

Jorge, R. S., Hawkins, T. R. & Hertwich, E. G. (2012). Life cycle assessment of electricity transmission and distribution—part 1: power lines and cables. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 17, ss. 9-15. doi:10.1007/s11367-011-0335-1

Kemikalieinspektionen (KemI). (2022a). *Användningen av träskyddsmedlet kreosot begränsas inom EU*. [pressmeddelande], 15 november. <https://www.kemi.se/arkiv/nyhetsarkiv/nyheter/2022-11-15-anvandningen-av-traskyddsmidlet-kreosot-begransas-inom-eu>

Kemikalieinspektionen (KemI). (2022b). *Träskydd med kreosot*. <https://www.kemi.se/bekämpningsmedel/biocidprodukter/vanliga-typer-av-biocidprodukter/traskyddsmidlet/traskydd-med-kreosot> [Hämtad 1 februari 2023]

Kiester, A. R. (2013). Species Diversity, Overview. I: Levin, S. A. (red.) *Encyclopedia of Biodiversity*. 2:a uppl. Waltham: Academic Press, ss. 706-714.

Le Bagousse-Pinguet, Y., Soliveres, S., Gross, N., Torices, R., Berdugo, M. & Maestre, F. T. (2019). Phylogenetic, functional, and taxonomic richness have both positive and negative effects on ecosystem multifunctionality. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116, ss. 8419-8424. doi:10.1073/pnas.1815727116

Legendre, P. (2013). Indicator Species: Computation. I: Levin, S. A. (red.) *Encyclopedia of Biodiversity*. 2:a uppl. Waltham: Academic Press, ss. 264-268.

Leinster, T. & Cobbold, C. A. (2012). Measuring diversity: the importance of species similarity. *Ecology*, 93, ss. 477-489. doi:10.1890/10-2402.1

Leitner, W. & Turner, W. R. (2001). Measurement and Analysis of Biodiversity. I: Levin, S. A. (red.) *Encyclopedia of Biodiversity*. 2:a uppl. Waltham: Academic Press, ss. 178-194.

Lejestränd, A. (2021). *Replik: Markkabel är inte alltid rätt*. Energiföretagen Sverige. [pressmeddelande], 6 oktober. <https://www.energiforetagen.se/pressrum/debattartiklar/2021/replik-markkabel-ar-inte-alltid-ratt/>

Lennartsson, T. & Gylje, S. (2009). *Infrastrukturens biotoper – en refug för biologisk mångfald*. (CBM:s skriftserie 31) SLU Centrum för biologisk mångfald. <https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/cbm/dokument/publikationer-cbm/cbm-skriftserie/skrift31.pdf>

Lidholm, K. (2021). *Rapport om regionnätets tekniska utformning*. Energiföretagen Sverige. [pressmeddelande], 9 september.

<https://www.energiforetagen.se/medlemsnyheter/2021/september/ny-skrift-tar-upp-regionnatets-tekniska-utformning/>

Lindholm, K. (2017). *Elens historia - en bransch med 100 år på nacken*. Energiföretagen Sverige. [pressmeddelande], 24 januari. <https://www.energiforetagen.se/om-oss/var-historia/elens-historia/>

Lundblad, M. (2022). *SLU håller koll på växthusgasbalansen i skog och mark*. Sveriges lantbruksuniversitet (SLU). <https://www.slu.se/forskning/kunskapsbank/mark-miljo/slu-haller-koll-pa-vaxthusgasbalansen-i-skog-och-mark/> [Hämtad 7 februari 2023]

Länsstyrelsen Jönköping. (2008). *Skyddsvärda arter och biotoper i kraftledningsgator*. <http://www.diva-portal.se/smash/get/diva2:880826/FULLTEXT01.pdf>

Lövebrant, K. (2012). *Verktyg för värdering av miljöpåverkan vid investeringar i det svenska elstamnätet*. Masteruppsats, Civilingenjörsprogrammet i energisystem. Sveriges lantbruksuniversitet. https://www.svk.se/siteassets/5.jobba-har/dokument-exjobb/2012_vertyg_for_vardering_av_miljopaverkan_vid_investeringar_i-det_svenska_elstamnatet.pdf

Mason, N. W. H. & Mouillot, D. (2013). Functional Diversity Measures. *I*: Levin, S. A. (red.) *Encyclopedia of Biodiversity*. 2:a uppl. Waltham: Academic Press, ss. 597-608.

Maxwell, S. L., Fuller, R. A., Brooks, T. M. & Watson, J. E. M. (2016). Biodiversity: The ravages of guns, nets and bulldozers. *Nature*, 536, ss. 143-145. doi:10.1038/536143a

Murphy, R., Mojica, E., Dwyer, J., McPherron, M., Wright, G., Harness, R., Pandey, A. & Serbousek, K. (2016). Crippling and Nocturnal Biases in a Study of Sandhill Crane (*Grus canadensis*) Collisions with a Transmission Line. *Waterbirds*, 39, ss. 312-317. doi:10.1675/063.039.0312

Nagendra, H. (2002). Opposite trends in response for the Shannon and Simpson indices of landscape diversity. *Applied Geography*, 22, ss. 175-186. doi:10.1016/S0143-6228(02)00002-4

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2022). Carbon dioxide now more than 50% higher than pre-industrial levels. 3 juni. <https://www.noaa.gov/news-release/carbon-dioxide-now-more-than-50-higher-than-pre-industrial-levels>

Naturvårdsverket. (2020). *Konsumtionsbaserade växthusgasutsläpp per person och år*. <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/konsumtion/vaxthusgaser-konsumtionsbaserade-utslapp-per-person/> [Hämtad 29 april 2023]

Naturvårdsverket. (u.å.-a). *Läget för biologisk mångfald i Sverige*. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/biologisk-mangfald/laget-for-biologisk-mangfald-i-sverige/> [Hämtad 18 januari 2023]

Naturvårdsverket. (u.å.-b). *Miljöbedömningar enligt kapitel 6 miljöbalken*. <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/miljobalken/miljobedomningar/specifik-miljobedomning/> [Hämtad 22 april 2023]

- Naturvårdsverket. (u.å.-c). *Olika typer av skog med höga naturvärden*.
<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/skyddad-natur/sa-bildas-skyddade-omraden/olika-typer-av-skog-med-hoga-naturvarden/> [Hämtad 9 maj 2023]
- Naturvårdsverket. (u.å.-d). *Vad är biologisk mångfald?*
<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/biologisk-mangfald/vad-ar-biologisk-mangfald/> [Hämtad 18 januari 2023]
- Naturvårdsverket. (u.å.-e). *Varför är biologisk mångfald viktig?*
<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/biologisk-mangfald/varfor-ar-biologisk-mangfald-viktigt/> [Hämtad 18 januari 2023]
- Naturvårdsverket. (u.å.-f). *Ämnesområde Biologisk mångfald*.
<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/biologisk-mangfald/> [Hämtad 18 januari 2023]
- Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO). (2020). *Skogbonitet*.
<https://www.nibio.no/tema/jord/arealressurser/arealressurskart-ar5/skogbonitet> [Hämtad 29 april 2023]
- NyTeknik. (2023). 16 års väntan för att bygga 19 mil kraftledning: ”Starkt motstånd”.
NyTeknik, 30 januari. <https://www.nyteknik.se/16-ars-vantan-for-att-bygga-19-mil-kraftledning-starkt-motstand/1592609>
- Ottvall, R. (2020). *Påverkan på havsörn vid utbyggnad av ny 400 kV ledning Ekhyddan-Nybro*. https://www.svk.se/contentassets/75d3ad07f5144c4183f21b842c4cf3fa/bilaga-3---kraftledning_ottvall_20200506.pdf
- Ottvall, R. & Green, M. (2020). *Kraftledningars påverkan på fåglar – en syntesrapport*. Lunds Universitet.
<https://ottvall.com/onewebmedia/Syntesrapport%20Kraftledningar%2020200218.pdf>
- Pilstjärna, M. & Hannerz, M. (2020). *Mäta biologisk mångfald – en jämförelse mellan olika länder*. Sveriges lantbruksuniversitet (SLU). https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/f-for/old/pdf/ffrapport_mata_mangfald_2020-03-12.pdf
- Pörtner, H.-O., Scholes, R. J., Agard, J., Archer, E., Arneth, A., Bai, X., Barnes, D., Burrows, M., Chan, L., Cheung, W. L. W., Diamond, S., Donatti, C., Duarte, C., Eisenhauer, N., Foden, W., Gasalla, M. A., Handa, C., Hickler, T., Hoegh-Guldberg, O. & Ngo, H. (2021). *Scientific outcome of the IPBES-IPCC co-sponsored workshop on biodiversity and climate change*. IPBES & IPCC. https://www.ipbes.net/sites/default/files/2021-06/2021_IPCC-IPBES_scientific_outcome_20210612.pdf
- Rydegran, E. (2021). *Ny analys: Sveriges elanvändning kan landa på 310 TWh*. Energiföretagen Sverige. [pressmeddelande], 21 april.
<https://www.energiforetagen.se/pressrum/pressmeddelanden/2021/ny-analys-sveriges-elanvandning-kan-landa-pa-310-twh/>
- SFS 1972:719. *Expropriationslag*. Justitiedepartementet.

SFS 1973:1144. *Ledningsrättslag*. Justitiedepartementet.

SFS 1998:808. *Miljöbalk*. Klimat- och näringslivsdepartementet.

SFS 2007:1119. *Förordning med instruktion för Affärsverket svenska kraftnät*. Klimat- och näringslivsdepartementet.

Simpson, E. H. (1949). Measurement of Diversity. *Nature*, 163, ss. 688-688.
doi:10.1038/163688a0

Sjöfartsverket. (2023). *Stabila godsmängder 2022*. [pressmeddelande], 7 februari.
<https://www.sjofartsverket.se/sv/om-oss/nyheter-och-press/nyheter/stabila-godsmangder-2022/>

Skogsstyrelsen. (2022). *Biologisk mångfald*. <https://www.skogsstyrelsen.se/miljo-och-klimat/biologisk-mangfald/> [Hämtad 18 januari 2023]

SLU Artdatabanken. (2022). *Vad är en naturvårdsart?* <https://www.artdatabanken.se/arter-och-natur/biologisk-mangfald/naturvardsarter/> [Hämtad 5 maj 2023]

SS 199000:2014. *Naturvärdesinventering avseende biologisk mångfald (NVI) - Genomförande, naturvärdesbedömning och redovisning*. Svenska institutet för standarder (SIS).

SS 199000:2014. *Naturvärdesinventering avseende biologisk mångfald (NVI) - Genomförande, naturvärdesbedömning och redovisning*. Svenska institutet för standarder (SIS).

Statens vegvesen. (u.å.). *Bruk av VegLCA*. <https://www.vegvesen.no/fag/fokusomrader/klima-miljo-og-omgivelser/utslipp-av-klimagasser/bruk-av-veg-lca/> [Hämtad 15 mars 2023]

Stenborg, B. (u.å.-a). *Kraftledning*. Nationalencyklopedin.
<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/kraftledning> [Hämtad 31 januari 2023]

Stenborg, B. (u.å.-b). *Starkströmskabel*. Nationalencyklopedin.
<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/starkstromskabel> [Hämtad 31 januari 2023]

Stenmark, M. (2012). *Infrastrukturens gräs- och buskmarker*. Jordbruksverket.
https://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_rapporter/ra12_36.pdf

Stockholms stad. (u.å.). *Biologisk mångfald*. <https://naturesktsel.se/kapitel/biologisk-mangfald/> [Hämtad 18 januari 2023]

Svensk Solenergi. (2022). *Ny kartläggning visar: 2,5 TWh el från solparker väntar på klartecken*. [pressmeddelande], 20 december. <https://svensksolenergi.se/ny-kartlaggning- visar-25-twh-el-fran-solparker-vantar-pa-klartecken-2/>

Svenska institutet för standarder (SIS). (2021). *Verksamhetsplan 2022 SIS/TK 623 – Biologisk mångfald*. https://www.sis.se/globalassets/standardutveckling/txsidor/tk-623/vp/n13-vp-2022-tk-623-biologisk-mangfald-_slutgiltig.pdf

Svenska institutet för standarder (SIS). (u.å.-a). *Biologisk mångfald*. <https://www.sis.se/standardutveckling/txsidor/tk600699/sistk-623/> [Hämtad 7 februari 2023]

Svenska institutet för standarder (SIS). (u.å.-b). *Naturvärdesinventering avseende biologisk mångfald (NVI)*. https://www.sis.se/globalassets/standardutveckling/txsidor/tk-555/informationsblad-ss-199000_ny-logga-.pdf

Svenska kraftnät. (2013). *Om kreosot, kraftledningar och vår miljö*. <https://docplayer.se/35201174-Augusti-om-kreosot-kraftledningar-och-var-miljo.html>

Svenska kraftnät. (2016a). *En teknisk och ekonomisk jämförelse*. <https://www.svk.se/contentassets/8efcdd1d24ea403696ff6c4d393f78bd/mkb-skogssater---stenskullen-20160610---teknisk-och-ekonomisk-jamforelse-av-olika-tekniska-utformningar.pdf>

Svenska kraftnät. (2016b). *Ny 400 kV-ledning Långbjörn-Storfinnforsen*. <https://www.svk.se/contentassets/708910e9c7a343538e21b087c6ebe37c/mkb-langbjorn-storfinnforsen-2016.pdf>

Svenska kraftnät. (2016c). *Ny 400 kV-ledning Örby-Snösätra*. <https://www.svk.se/siteassets/2.utveckling-av-kraftsystemet/transmissionsnatet/utbyggnadsprojekt/orby-snosatra/dokument/miljokonsekvensbeskrivning-mkb.pdf>

Svenska kraftnät. (2017a). *Planerad 400 kV-ledning Ekhyddan-Nybro*. <https://www.svk.se/siteassets/2.utveckling-av-kraftsystemet/transmissionsnatet/utbyggnadsprojekt/ekhyddan-nybro/dokument/koncession/mkb-ekhyddan-nybro-170619.pdf>

Svenska kraftnät. (2017b). *Planerad 400 kV-ledning Nybro-Hemsjö*. <https://www.svk.se/siteassets/2.utveckling-av-kraftsystemet/transmissionsnatet/utbyggnadsprojekt/nybro-hemsjo/dokument/koncession/mkb-nybro-hemsjo.pdf>

Svenska kraftnät. (2018a). *Så förläggs markkabel*. <https://www.svk.se/utveckling-av-kraftsystemet/transmissionsnatet/transmissionsnatsprojekt/hansa-powerbridge/nyheter/sa-forlaggs-markkabeln/> [Hämtad 11 mars 2023]

Svenska kraftnät. (2018b). *Underlag för kompletterande samråd avseende passage Barkarby respektive Vinsta (Del av Överby-Beckomberga)*. <https://www.svk.se/contentassets/8aa557c09a9749e89169e6354789b0f6/samradsunderlag-markkabel.pdf>

Svenska kraftnät. (2019). *Planerad stamnätsförbindelse och ledningsåtgärder mellan Odensala och Överby*. <https://www.svk.se/siteassets/2.utveckling-av->

[kraftsystemet/transmissionsnatet/utbyggnadsprojekt/odensala-overby/samrad-2/samradsunderlag-odensala-overby-20191016-lowres.pdf](https://www.svk.se/kraftsystemet/transmissionsnatet/utbyggnadsprojekt/odensala-overby/samrad-2/samradsunderlag-odensala-overby-20191016-lowres.pdf)

Svenska kraftnät. (2020a). *Drivkrafter bakom utvecklingen av transmissionsnätet*. <https://www.svk.se/utveckling-av-kraftsystemet/transmissionsnatet/drivkrafter/> [Hämtad 26 januari 2023]

Svenska kraftnät. (2020b). *Ny 400 kV ledning Ingelkärr-Stenkullen*. https://www.svk.se/contentassets/0ab8cf3d939f4235943d1e153c3fcd58/bilaga_2_mkb_ingelkarr-stenkullen_dec_2020.pdf

Svenska kraftnät. (2020c). *Samråd*. <https://www.svk.se/utveckling-av-kraftsystemet/transmissionsnatet/utbyggnadsprocessen/samrad/> [Hämtad 1 februari 2023]

Svenska kraftnät. (2020d). *Underhåll av transmissionsnätet*. <https://www.svk.se/om-kraftsystemet/om-transmissionsnatet/underhall-av-transmissionsnatet/> [Hämtad 20 januari 2023]

Svenska kraftnät. (2021a). *Aurora line - Ny transmissionsnätsförbindelse mellan Messaure och finska gränsen*. <https://www.svk.se/contentassets/97f92c08a06e43db86c148fd256bf864/bilaga-4-mkb.pdf>

Svenska kraftnät. (2021b). *Bilaga bedömningsmetodik luftledning*. https://www.svk.se/contentassets/97f92c08a06e43db86c148fd256bf864/mkb-bilaga-6_svenska-kraftnats-bedomningsmetodik-2021.pdf

Svenska kraftnät. (2021c). *Hållbar och säker elförsörjning*. <https://www.svk.se/om-oss/hallbarhet/hallbar-och-saker-elforsorjning/> [Hämtad 6 februari 2023]

Svenska kraftnät. (2021d). *Kreosot i Svenska kraftnäts anläggningar*. <https://www.svk.se/om-oss/hallbarhet/dialog-och-miljohansyn-pa-lokal-niva/kreosot/> [Hämtad 20 januari 2023]

Svenska kraftnät. (2021e). *Ledningsåtgärder vid befintlig station Hjälta och ny station Nässe*. <https://www.svk.se/contentassets/ccb7f955bcf145e9ab1e7bd061090b2d/undersokningssamrad---hjalta-nasse-20210511.pdf>

Svenska kraftnät. (2021f). *Lär dig stolparnas ABC*. [pressmeddelande], 12 januari. <https://www.svk.se/press-och-nyheter/nyheter/allmanna-nyheter/2021/lar-dig-stolparnas-abc/>

Svenska kraftnät. (2021g). *Roller i kraftsystemet*. <https://www.svk.se/om-kraftsystemet/oversikt-av-kraftsystemet/roller-i-kraftsystemet/> [Hämtad 19 januari 2023]

Svenska kraftnät. (2021h). *Teknik*. <https://www.svk.se/om-kraftsystemet/om-transmissionsnatet/teknik/> [Hämtad 20 januari 2023]

Svenska kraftnät. (2021i). *Tillstånd*. <https://www.svk.se/utveckling-av-kraftsystemet/transmissionsnatet/utbyggnadsprocessen/tillstand/> [Hämtad 1 februari 2023]

Svenska kraftnät. (2021j). *Utbyggnadsprocessen*. <https://www.svk.se/utveckling-av-kraftsystemet/transmissionsnatet/utbyggnadsprocessen/> [Hämtad 20 januari 2023]

- Svenska kraftnät. (2022a). *Biologisk mångfald*. <https://www.svk.se/om-oss/hallbarhet/biologisk-mangfald/> [Hämtad 6 februari 2023]
- Svenska kraftnät. (2022b). *Skogligt underhåll en förutsättning för kraftledningsnätet*. [pressmeddelande], 1 augusti. <https://www.svk.se/press-och-nyheter/nyheter/allmannan-nyheter/2022/skogligt-underhall-en-forutsattning-for-kraftledningsnätet/>
- Svenska kraftnät. (2022c). *Sveriges elnät*. <https://www.svk.se/om-kraftsystemet/oversikt-av-kraftsystemet/sveriges-elnat/> [Hämtad 20 januari 2023]
- Svenska kraftnät. (2022d). *Transmissionsnätskarta*. <https://www.svk.se/om-kraftsystemet/om-transmissionsnätet/transmissionsnatskarta/> [Hämtad 17 februari 2023]
- Svenska kraftnät. (2023a). *Om transmissionsnätet*. <https://www.svk.se/om-kraftsystemet/om-transmissionsnätet/> [Hämtad 20 januari 2023]
- Svenska kraftnät. (2023b). *På besök i kraftledningsgatan*. <https://www.svk.se/om-kraftsystemet/om-transmissionsnätet/pa-besok-i-kraftledningsgatan/> [Hämtad 21 januari 2023]
- Svenska kraftnät. (2023c). *Vårt uppdrag*. <https://www.svk.se/om-oss/verksamhet/> [Hämtad 19 januari 2023]
- Svensson, R., Berg, Å., Hamring, L. & Rätz, C. (2016). *Biologisk mångfald i kraftledningsgator*. (CBM:s skriftserie nr 99) SLU Centrum för biologisk mångfald. https://pub.epsilon.slu.se/13202/1/svensson_r_et_al_160329.pdf
- Sveriges lantbruksuniversitet (SLU). (2018). *Infrastrukturens biotoper*. <https://www.artdatabanken.se/globalassets/ew/subw/artd/5-om-artdatabanken/flora--och-faunavardskonferensen/2017/workshop-infrastrukturens-biotoper.pdf>
- Sveriges lantbruksuniversitet (SLU). (2021). *Hoten mot arter*. <https://www.slu.se/centrumbildningar-och-projekt/centrum-for-biologisk-mangfald-cbm/biologisk-mangfald/hoten-mot-mangfalden/hoten-mot-arter/> [Hämtad 31 januari 2023]
- Sveriges lantbruksuniversitet (SLU). (2022). *Skogsdata 2022*. SLU Institutionen för skoglig resurshushållning. https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/rt/dokument/skogsdata/skogsdata_2022_webb.pdf
- Sveriges Miljömål. (2022). *Begränsad klimatpåverkan*. <https://sverigemiljomal.se/miljomalen/begransad-klimatpaverkan/> [Hämtad 31 januari 2023]
- Sveriges Ornitologiska Förening (SOF). (2017). *Riktlinjer för kraftledningar*. <https://cdn.birdlife.se/wp-content/uploads/2018/11/BirdLife-Sveriges-policy-kraftledningar.pdf>
- Vattenfall AB. (2015). *Biotopmetoden*. <https://docplayer.se/141183693-Biotopmetoden-metod-for-att-berakna-paverkan-av-mark-och-vattenanvandning.html>

Vattenfall AB. (u.å.). *Vägen mot ett fossilfritt liv*. <https://group.vattenfall.com/se/var-verksamhet/vagen-mot-ett-fossilfritt-liv> [Hämtad 6 februari 2023]

Vattenfall Eldistribution AB. (u.å.-a). *FN:s hållbarhetsmål*. <https://www.vattenfalleldistribution.se/var-verksamhet/hallbarhet/fns-hallbarhetsmal/> [Hämtad 7 februari 2023]

Vattenfall Eldistribution AB. (u.å.-b). *Markkabel*. <https://www.vattenfalleldistribution.se/om-elnatet/teknikvalet/markkabel/> [Hämtad 31 januari 2023]

Vattenfall Eldistribution AB. (u.å.-c). *Tillståndsprocessen*. <https://www.vattenfalleldistribution.se/om-elnatet/tillstandsprocessen/> [Hämtad 1 februari 2023]

Vattenfall Eldistribution AB. (u.å.-d). *Vi är Vattenfall Eldistribution*. <https://www.vattenfalleldistribution.se/om-oss/> [Hämtad 31 januari 2023]

Vattenfall Eldistribution AB. (u.å.-e). *Vårt miljöansvar*. <https://www.vattenfalleldistribution.se/var-verksamhet/hallbarhet/vart-miljoansvar/> [Hämtad 6 februari 2023]

Västerbergslagens Energi AB. (u.å.). *Frågor och svar om elnätspriser*. <https://www.vbenergi.se/elnat/elnatsavtalet2/fragor-och-svar-om-elnatspriser/> [Hämtad 12 maj 2023]

Wallnerström, C. J. (1999). *Sveriges elektrifiering - grunden för vårt moderna samhälle*. doi:10.13140/2.1.4301.9523

Whittaker, R. H. (1960). Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. *Ecological Monographs*, 30, ss. 279-338. doi:10.2307/1943563

Wilsey, B. J., Chalcraft, D. R., Bowles, C. M. & Willig, M. R. (2005). Relationships among indices suggest that richness is an incomplete surrogate for grassland biodiversity. *Ecology*, 86, ss. 1178-1184. doi:10.1890/04-0394

Ärlemo, T. (u.å.). *Miljöbilder och kartor*. Svenska Kraftnät. <https://www.svk.se/press-och-nyheter/press/miljobilder-kartor/> [Hämtad 3 april 2023]

Appendix

A1. Beskrivning av klimatverktygets flikar

Projektinformation Luftledning

Fliken börjar med en del där användaren fyller i generell information om projektet som sedan används i beräkningarna. Man väljer spänningsnivå, hur många linor det är i varje fas och anger antalet faser, ledningens längd samt skogsgatans bredd. Sedan följer fem delar där mer specifik information ska fyllas i.

Del 1 - Ledningskonstruktion och material

Här väljer användaren först en av följande detaljeringsgrader för projektet: *Framkomlighetsstudie*, *Förprojektering* och *Detaljprojektering*. Sedan består Del 1 i sin tur av fem delar som handlar om stolpar, linor, isolatorer, stolpfundament respektive stag. I alla dessa delar väljs det var materialet kommer från. Det finns ett antal länder eller områden att välja mellan. För varje ursprung finns det tillhörande emissionsdata som är i enheten ton CO₂e/ton material. Utsläppen från materialen beräknas genom att emissionsdata multipliceras med vikten av materialet som används.

För stolpar finns det ett trettiotal stolpkategorier att välja mellan. I dessa kategorier finns det en eller flera typer av stolpar som har en liknade vikt. Om man inte hittar rätt stolpe kan man därmed välja en kategori som har en vikt som liknar den för sin önskade stolpe. För varje stolpkategori ska antalet stolpar fyllas i. I projektfasen *Framkomlighetsstudie* vet man troligtvis inte hur många stolpar som kommer att användas, därför kommer verktyget med förslag. Baserat på ledningens längd, spänningsnivå och ett antaget medelavstånd mellan stolparna beräknar verktyget hur många stolpar som behövs. Med hjälp av ett erfarenhetstal ger verktyget även en indikation på hur många av dessa som ska vara raklinjestolpar respektive vinkelstolpar. Utefter detta kan användaren uppskatta lämpliga typer och antal av stolpar. För *Förprojektering* förväntas man ha tillgång till det underlaget. Vid *Detaljprojektering* kan man dessutom fylla i en totalvikt på stolparna så att verktyget kan ge ett mer exakt resultat. Om totalvikten inte är känd baserar verktyget beräkningarna på typerna och antalet stolpar. Efter val av stolpar väljer man var materialet kommer från. I dagsläget är bara stål- och kompositstolpar inlagda då det saknas dataunderlag för trästolpar.

Gällande linorna fyller användaren i vilken typ av faslina, topplina och jordlina som används. Sammanlagt finns det ett tjugotal att välja mellan samt olika produktionsområden för stål, aluminium och koppar. I *Framkomlighetsstudie* och *Förprojektering* baseras den använda mängden faslina på ledningens längd, antalet faser, antalet linor i varje fas och en hängfaktor som i verktyget är ett erfarenhetstal. För topplinan fyller man in antalet så att totallängden kan baseras på denna tillsammans med ledningens längd och hängfaktorn. Vid *Detaljprojektering* kan man skriva in en totallängd av de olika linorna. Då jordlinan kan variera stort från projekt till projekt görs ingen beräkning av totallängden men den kan fyllas i om den är känd.

Delen om isolatorer fylls i på samma sätt oberoende av vilken projektfas som valts. Varje stolpkategori har parats ihop med en typ av isolator och ett antal isolatorer per stolpe. Detta har baserats på två tidigare projekt och standardritningar. I dagsläget är isolatorklockorna för 130 kV gjorda av komposit och de för 400 kV av glas, medan båda har delar av stål. Det enda som fylls i är därmed produktionsområde för komposit eller glas och stål.

Även för fundament har varje stolpkategori parats ihop med tillhörande fundament. För varje kategori finns det jord-, berg- och pålfundament. Vikterna för armeringsstålet och betongen är

baserad på två tidigare projekt, standardritningar och antaganden utifrån stolparnas vikt. Användaren fyller i hur stor andel av hela ledningen som använder jord-, berg- och pålfundament. Vid *Detaljprojektering* kan man välja att skriva in totalvikten av betong och armeringsstål som används för hela ledningen. Om det inte anges baseras i stället vikten av betong och stål på antalet stolpar och respektive fundamentvikt, precis som vid *Frankomlighetsstudie* och *Förprojektering*. Sedan väljs produktionsområde för armeringsstål och vilken typ av betong som används. Då Sverige är till 85 % självförsörjande på betong (Elmsäter-Svärd et al., 2022) antas betongen komma från Sverige.

I den sista delen om stag kan man välja mellan ett tretal staglinor och fylla i längden lina samt mängden stål, betong eller trä som används för att förankra stagen. Till sist väljs produktionsområde för betong, armeringsjärn och trä.

Del 2 - Schakt

Denna del beräknar utsläppen från schaktningen för stolpfundamenten. Verktuget beräknar det utifrån redan ifylld information, så inget ytterligare behöver anges. Schakten baseras på fundamentens storlek vilket i sin tur beror på stolpkategori. För varje stolpkategori finns det därmed en tillhörande schaktstorlek för jord- och bergfundament. Då pålfundament monteras genom att pålar slås ned i marken, utan schakt, görs inga beräkningar för denna typ av fundament. För de jordfundament som inte består av betong, det vill säga de som består av en slipersbädd, har ritningar använts för att ta fram en ungefärlig storlek på schaktet. Schaktets volym består då både av volymen jord som behöver grävas bort för att slipersbädden ska kunna sänkas ned och volymen som tillkommer för att uppnå en stabil släntvinkel på schaktet. Eftersom jorden som grävs upp ska läggas tillbaka på slipersbädden antas emissionsdata för schaktning Fall A.

För fundamenten som består av betong, det vill säga alla bergfundament och vissa jordfundament, räknas schaktets storlek ut från volymen betong. Den beräknas genom betongens vikt och densitet. Det motsvarar dock bara den volym som upptas av själva betongen och inte den totala schaktvolymen som behövs för nedsättningen och monteringen av fundamentet. Därför multipliceras betongvolymen med ett förhållande mellan volymen betong och den totala schaktvolymen med slänt. Detta förhållande antas vara detsamma som för ritningar av jordfundament utan betong där volymen jord ovanför slipersbädden får motsvara betongvolymen. Då det mesta av schaktmassorna inte läggs tillbaka i schaktet har emissionsdata för schaktning Fall B använts.

Del 3 - Transport

Delen kring transport är uppdelad i tre delar. Den första delen gäller transport från fabrik i utlandet till Sverige. För den räknar verktuget ut utsläppen utan att användaren behöver fylla i något. Transportsträckan och val av transportform, lastbil eller fartyg, baseras på var komponenterna kommer från. Denna information är tillgänglig för varje valbart produktionsområde. Riksgränsen för Sverige är satt till Göteborg då det är den hamn som tar emot störst mängd gods i Sverige (Sjöfartsverket, 2023). Utsläppen för transporten till Sverige beräknas utifrån transportavstånden, transportformen och totalvikten av alla material.

Den andra delen är transport till kraftledningen från Göteborg, alternativt från en svensk fabrik om komponenten kommer från Sverige. För komponenterna som kommer från utlandet fyller användaren i ett avstånd från Göteborg till ledningens mitt. Detta avstånd fylls i en gång, men för varje komponent behöver man välja en transportform: lastbil eller tåg. Alternativet lastbil är förvalt, så detta behöver bara ändras om transporten sker med tåg. I denna del ska användaren

också fylla i transportavståndet och välja transportform för betong och eventuellt övriga komponenter som kommer från Sverige.

Anledningen till att ledningens mitt ska väljas som slutpunkt är för att den sista delen av transporten utgår från denna till stolpplatserna. Denna beräknas genom att den totala vikten av allt material multipliceras med ett medelavstånd till stolpplatserna och emissionsdata för lastbil. Medelavståndet är ledningens längd dividerat på fyra.

Del 4 - Markanvändning

Del 4 består av tre delar. Den första delen handlar om avverkning av skog. Här fyller användaren i hur stor andel av den blivande skogsgatan som består av skog och hur den fördelar sig mellan län. Den andra delen gäller frigjord skogsmark, om man river en gammal ledning samtidigt som man bygger den nya. Här fylls den totalt frigjorda skogsytan i samt hur stora andelar av ledningen som är placerade i specifika län. Skogsmark har valts ut eftersom vi bedömer att den har störst påverkan. Jordbruk kan till exempel ske på samma sätt som innan. Den sista delen handlar om åtgärder för väg och upplagsplats. För det fyller användaren i hur lång sträcka grusväg respektive hur stor area upplagsplats som behöver anläggas och/eller förstärkas.

Del 5 - Övriga utsläppskällor

Här kan användaren fylla i ytterligare utsläpp i enheten ton CO₂e som det är känt att projektet kommer att ge upphov till. Dessa utsläpp kan vara både positiva och negativa.

Projektinformation Markkabel

Denna flik börjar precis som *Projektinformation Luftledning* med en del där användaren fyller i generell information om projektet som sedan används i beräkningarna. Man väljer spänningsnivå, antalet kablar, ledningsgatans bredd och ledningens längd. Återigen följer fem delar där mer specifik information ska fyllas i.

Del 1 - Ledningskonstruktion och material

Den första delen består i sin tur av tre delar som handlar om kraftkabel, kabelskydd respektive övrigt material. Det är möjligt att välja mellan ett femtal kraftkablar vars totallängd också kan fyllas i. Om man inte skriver in en längd räknar verktyget ut den baserat på ledningens längd, antalet kablar och antalet uppskattade skarvar. Sedan väljs produktionsområde för aluminium, PEX, HDPE, PE och koppar. För kabelskydd kan användaren välja mellan två rör och ange längden som behövs. Dessa används vid rörförlagd kabel och schaktfri förläggning. För schaktfri förläggning kan man även välja material på ytterröret, stål eller plast, samt hur mycket av det som behövs. I den sista delen om övrigt material anges mängden geotextil och jordlina som används. För jordlina kan man välja mellan tre typer och ett antal produktionsområden för koppar.

Del 2 - Schakt

Delen om schakt har också tre avsnitt. I den första delen om jord- och bergschakt kan användaren välja mellan tre schakttyper: direktförlagt jordschakt, rörförlagt jordschakt och rörförlagt bergschakt. För varje schakttyp anges djupet, bredden vid markytan, bredden av schaktbotten och den totala längden som den typ av schakt utgör. Man fyller även i hur stor andel av schaktmassorna som är Fall A och Fall B. Utsläppen från schakten beräknas genom att volymerna av schakten multipliceras med emissionsdata för Fall A och Fall B för jordschakt respektive bergschakt. I den andra delen beräknar verktyget mängden fyllnadsmassor och dess utsläpp. Fyllnadsmassorna som används är ledningsbädd, kringfyllning och återfyllning. Dessa mängder baseras på schaktens storlekar, antalet kablar, kablarnas diameter och mängden Fall A

och Fall B. Därmed behöver inget nytt fyllas i. I den sista delen beräknas utsläppen från schaktfri förläggning. Dessa antas endast bestå av volymen borrhål som behöver transporteras iväg. Volymen beräknas genom antalet borrhål och deras längd samt radie anges.

Del 3 - Transport

Denna del är nästan samma som för luftledning. Skillnaden är att transporten endast beräknas från utlandet till Göteborg, och sedan från Göteborg, alternativt från en svensk fabrik, till ledningens mitt. Eftersom sträckorna med markkabel vanligtvis är korta beräknas inte någon ytterligare transport längs med schaktet som motsvarar transporten till stolpplatserna i luftledningen.

Del 4 - Markanvändning

Även denna del liknar den för luftledning. Den enda skillnaden är att det i den tredje delen anges hur stor area cykelväg, asfaltsväg och grusväg som behöver rivs och återställas. För luftledning är det som nämnt endast anläggning och förstärkning av grusväg och upplagsplats som fylls i.

Del 5 - Övriga utsläppskällor

Delen om övriga utsläppskällor är samma som den för luftledning.

Resultat Luftledning och Resultat Markkabel

Dessa flikar innehåller den generella informationen som fylls i *Projektinformation Luftledning* respektive *Projektinformation Markkabel* samt resultaten som beräknas efter att indata har angivits. Utsläppen redovisas i en tabell där man kan se de totala utsläppen, hur mycket varje kategori (*Ledningskonstruktion och material, Schakt, Transport, Markanvändning* och *Övriga utsläppskällor*) står för samt vad i dessa kategorier som bidrar högst till klimatpåverkan. Detta redovisas även i grafer. Utsläppen anges i den funktionella enheten km ledning genom att de totala utsläppen divideras med ledningens längd.

Beräkningar

I denna flik sker alla beräkningar, både av mängd material som används och utsläppen i koldioxidekvivalenter. För detta används den indata och de valen som görs i flikarna *Projektinformation* och data från flikarna *Beräkningsdata* och *Emissionsdata*.

Beräkningsdata

Här finns data för luftledning, markkabel och markanvändning. För luftledning finns det konstanter i form av erfarenhetstal för genomsnittligt avstånd mellan stolpar, andel raklinje- och vinkelstolpar, schaktvolym för stolpar, hängfaktor samt bredd och djup för grusvägar och upplagsplatser. Sedan finns även vikter av olika material för stolpar, faslinor, topplinor, staglinor, jordlinor, isolatorer och fundament. Dessa vikter är sammanställda från tidigare projekt och ritningar. För markkabel finns radier för kablar och skyddsrör, längder mellan skarvar, djup av fyllnadsmassor, foderrör till schaktfri förläggning samt materialvikter för kraftkablar. Beräkningsdata för markanvändning består av boniteter för varje län.

Emissionsdata

Här är emissionsdata uppdelad mellan rent material, material som har EPD:er samt arbeten och processer. Rent material består av aluminium, armeringsstål, betong, glas, HDPE, komposit, koppar, PE, stål, trä och PEX. För alla dessa material finns det emissionsdata från olika länder, vilket är de produktionsländer man kan välja i flikarna *Projektinformation*. Material som har EPD:er består av emissionsdata för geotextil och kabelskydd medan de för arbeten och processer utgörs av fyllnadsmassor och grävarbeten, transport och markanvändning.

Val

Här finns listor över de saker som användaren kan välja mellan i flikarna *Projektinformation*, till exempel olika stolpkategorier och vilka av Sveriges län som ledningen går igenom. Dessa namn länkas sedan vidare till de andra flikarna vilket underlättar uppdateringar och tillägg av exempelvis fler materialkategorier.

A2. Basfall luftledning

Tabell A2. Avrundad indata för basfall luftledning. Ledningen är 30 km lång och skogsgatan är 40 m bred. Stolpfundamenten för kompositstolparna har inte inkluderats i tabellen då de har beräknats med emissionsdata från en LCA som inte är publik.

Material				Transport	
Komponenter	Mängd & Material	Produktions-område	Emissionsdata	Till Sverige	Inom Sverige
Portalstolpe	110 st. 90 ton komposit	Kanada	3,51 ton CO ₂ e/ton	5600 km fartyg	310 km lastbil
Vinkelstolpe, stor vinkel	10 st. 10 ton komposit	Kanada	3,51 ton CO ₂ e/ton	5600 km fartyg	310 km lastbil
Faslina Al	190 km 470 ton Al	Indien	18,5 ton CO ₂ e/ton	12 400 km fartyg	310 km lastbil
Topplina FeAl	31 km 10 ton Al 10 ton Fe	Indien	18,5 ton CO ₂ e/ton 2,5 ton CO ₂ e/ton	12 400 km fartyg	310 km lastbil
Jordlina Cu	6 km 3 ton Cu	Norden	4,28 ton CO ₂ e/ton	300 km lastbil	310 km lastbil
Isolatorer	390 st. 8 ton Fe 3 ton komposit	Norden Kanada	2 ton CO ₂ e/ton 3,51 ton CO ₂ e/ton	300 km lastbil 5600 km fartyg	310 km lastbil
Staglina Fe	6,8 km 8 ton Fe	Norden	2 ton CO ₂ e/ton	300 km lastbil	310 km lastbil
Stagförankring	130 ton betong	Sverige	0,14 ton CO ₂ e/ton	0 km	13 km lastbil
Schakt					
Stolpar	Typ av schakt	Fall A/B	Schaktvolym	Emissionsdata	
Portalstolpe	Jordschakt 80 %	Fall A	2100 m ³	0,002 ton CO ₂ e/m ³	
	Bergschakt 20 %	Fall B	530 m ³	0,012 ton CO ₂ e/m ³	
Vinkelstolpe, stor vinkel	Jordschakt 80 %	Fall A	290 m ³	0,002 ton CO ₂ e/m ³	
	Bergschakt 20 %	Fall B	80 m ³	0,012 ton CO ₂ e/m ³	
Markanvändning					
Andel av skogsgatan som utgörs av skogsmark				92 %	
Andel av ledningen som går i Län 1				89 %	
Andel av ledningen som går i Län 2				11 %	

A3. Produktionsområden med låga utsläpp

Tabell A3. Avrundad indata för fall med låga utsläpp. Ledningens längd, skogsgatans bredd, komponenterna och mängderna är samma som för basfall luftledning i Tabell A2. Det gäller även stolpfundamenten för kompositstolparna som inte har inkluderats i tabellen då de har beräknats med emissionsdata från en LCA som inte är publik. Det som skiljer sig i denna tabell är produktionsområden, emissionsdata och transport.

Material				Transport	
Komponenter	Mängd & Material	Produktions- område	Emissionsdata	Till Sverige	Inom Sverige
Portalstolpe	110 st. 90 ton komposit	Sverige	2,11 ton CO ₂ e/ton	0 km	580 km lastbil
Grov vinkelstolpe	10 st. 10 ton komposit	Sverige	2,11 ton CO ₂ e/ton	0 km	580 km lastbil
Faslina Al	190 km 470 ton Al	Norge, låg CO ₂	3,29 ton CO ₂ e/ton	500 km lastbil	310 km lastbil
Topplina FeAl	31 km 10 ton Al 10 ton Fe	Norge, låg CO ₂ Norge, återvunnen	3,29 ton CO ₂ e/ton 0,58 ton CO ₂ e/ton	500 km lastbil	310 km lastbil
Jordlina Cu	6 km 3 ton Cu	Sverige, låg CO ₂	1,23 ton CO ₂ e/ton	0 km	1200 km tåg
Isolatorer	390 st. 8 ton Fe 3 ton komposit	Norge, återvunnen Sverige	0,58 ton CO ₂ e/ton 2,11 ton CO ₂ e/ton	500 km lastbil 0 km	310 km lastbil 580 km lastbil
Staglina Fe	6,8 km 8 ton Fe	Norge, återvunnen	0,58 ton CO ₂ e/ton	500 km lastbil	310 km lastbil
Stagförankring	130 ton betong	Sverige	0,11 ton CO ₂ e/ton	0 km	13 km lastbil
Schakt					
Stolpar	Typ av schakt	Fall A/B	Schaktvolym	Emissionsdata	
Portalstolpe	Jordschakt 80 % Bergschakt 20 %	Fall A Fall B	2100 m ³ 530 m ³	0,002 ton CO ₂ e/m ³ 0,012 ton CO ₂ e/m ³	
Vinkelstolpe, stor vinkel	Jordschakt 80 % Bergschakt 20 %	Fall A Fall B	290 m ³ 80 m ³	0,002 ton CO ₂ e/m ³ 0,012 ton CO ₂ e/m ³	
Markanvändning					
Andel av skogsgatan som utgörs av skogsmark				92 %	
Andel av ledningen som går i Län 1				89 %	
Andel av ledningen som går i Län 2				11 %	

A4. Produktionsområden med höga utsläpp

Tabell A4. Avrundad indata för fall med höga utsläpp. Ledningens längd, skogsgatans bredd, komponenterna och mängderna är samma som för basfall luftledning i Tabell A2. Det gäller även stolpfundamenten för kompositstolparna som inte har inkluderats i tabellen då de har beräknats med emissionsdata från en LCA som inte är publik. Det som skiljer sig i denna tabell är produktionsområden, emissionsdata och transport.

Material				Transport	
Komponenter	Mängd & Material	Produktions- område	Emissionsdata	Till Sverige	Inom Sverige
Portalstolpe	110 st. 90 ton komposit	Turkiet	9,71 ton CO ₂ e/ton	3700 km lastbil	310 km lastbil
Vinkelstolpe, stor vinkel	10 st. 10 ton komposit	Turkiet	9,71 ton CO ₂ e/ton	3700 km lastbil	310 km lastbil
Faslina Al	190 km 470 ton Al	Kina	28,8 ton CO ₂ e/ton	20 800 km fartyg	310 km lastbil
Topplina FeAl	31 km 10 ton Al 10 ton Fe	Kina Australien	28,8 ton CO ₂ e/ton 2,84 ton CO ₂ e/ton	20 800 km fartyg 18 200 km fartyg	310 km lastbil
Jordlina Cu	6 km 3 ton Cu	Chile	5,45 ton CO ₂ e/ton	14 900 km fartyg	310 km lastbil
Isolatorer	390 st. 8 ton Fe 3 ton komposit	Australien Turkiet	2,84 ton CO ₂ e/ton 9,71 ton CO ₂ e/ton	18 200 km fartyg 3 700 km lastbil	310 km lastbil
Staglina Fe	6,8 km 8 ton Fe	Australien	2,84 ton CO ₂ e/ton	18 200 km fartyg	310 km lastbil
Stagförankring	130 ton betong	Sverige	0,14 ton CO ₂ e/ton	0 km	13 km lastbil
Schakt					
Stolpar	Typ av schakt	Fall A/B	Schaktvolym	Emissionsdata	
Portalstolpe	Jordschakt 80 % Bergschakt 20 %	Fall A Fall B	2100 m ³ 530 m ³	0,002 ton CO ₂ e/m ³ 0,012 ton CO ₂ e/m ³	
Vinkelstolpe, stor vinkel	Jordschakt 80 % Bergschakt 20 %	Fall A Fall B	290 m ³ 80 m ³	0,002 ton CO ₂ e/m ³ 0,012 ton CO ₂ e/m ³	
Markanvändning					
Andel av skogsgatan som utgörs av skogsmark				92 %	
Andel av ledningen som går i Län 1				89 %	
Andel av ledningen som går i Län 2				11 %	

A5. Stålstolpar

Tabell A5. Avrundad indata för luftledning med stålstolpar. Skogsgatan är, precis som basfallet för luftledning 30 km lång och 40 m bred. Byte till stålstolpar innebär annan mängd isolatorer, fundament och stagförankringar samt en annan schaktvoly. Det är 5 % pålfundament, men då man inte schaktar för denna fundamentstyp så står den inte med under schakt.

Material				Transport	
Komponenter	Mängd & Material	Produktions-område	Emissionsdata	Till Sverige	Inom Sverige
Raklinjestolpe	81 st. 410 ton Fe	Norden	2,2 ton CO ₂ e/ton	300 km lastbil	310 km lastbil
Vinkelstolpe, liten vinkel	29 st. 180 ton Fe	Norden	2,2 ton CO ₂ e/ton	300 km lastbil	310 km lastbil
Vinkelstolpe, grov vinkel	10 st. 70 ton Fe	Norden	2,2 ton CO ₂ e/ton	300 km lastbil	310 km lastbil
Faslina Al	190 km 470 ton Al	Indien	18,5 ton CO ₂ e/ton	12 400 km fartyg	310 km lastbil
Topplina FeAl	31 km 10 ton Al 10 ton Fe	Indien	18,5 ton CO ₂ e/ton 2,5 ton CO ₂ e/ton	12 400 km fartyg	310 km lastbil
Jordlina Cu	6 km 3 ton Cu	Norden	4,28 ton CO ₂ e/ton	300 km lastbil	310 km lastbil
Isolatorer	260 st. 6 ton Fe 2 ton komposit	Norden Kanada	2 ton CO ₂ e/ton 3,51 ton CO ₂ e/ton	300 km lastbil 5600 km fartyg	310 km lastbil
Fundament	400 ton betong 610 ton armeringsstål	Sverige	0,13 ton CO ₂ e/ton 0,51 ton CO ₂ e/ton	0 km	13 km lastbil 290 km lastbil
Staglina Fe	3 km 3 ton Fe	Norden	2 ton CO ₂ e/ton	300 km lastbil	310 km lastbil
Stagförankring	50 ton betong 20 ton trä	Sverige	0,14 ton CO ₂ e/ton 0,10 ton CO ₂ e/ton	0 km	13 km lastbil 830 km tåg
Schakt					
Stolpar	Typ av schakt	Fall A/B	Schaktvoly	Emissionsdata	
Raklinjestolpe	Jordschakt 80 % Bergschakt 15 %	Fall A Fall B	11 400 m ³ 100 m ³	0,002 ton CO ₂ e/m ³ 0,012 ton CO ₂ e/m ³	
Vinkelstolpe, liten vinkel	Jordschakt 80 % Bergschakt 15 %	Fall A Fall B	4800 m ³ 30 m ³	0,002 ton CO ₂ e/m ³ 0,012 ton CO ₂ e/m ³	
Vinkelstolpe, grov vinkel	Jordschakt 80 % Bergschakt 15 %	Fall A Fall B	1300 m ³ 10 m ³	0,002 ton CO ₂ e/m ³ 0,012 ton CO ₂ e/m ³	

Markanvändning	
Andel av skogsgatan som utgörs av skogsmark	92 %
Andel av ledningen som går i Län 1	89 %
Andel av ledningen som går i Län 2	11 %

A6. Alternativ 2 luftledning

Tabell A6. Avrundad indata för alternativ 2 luftledning. Ledningen är 34 km lång och skogsgatan är 40 m bred. Stolpfundamenten för kompositstolparna har inte inkluderats i tabellen då de har beräknats med emissionsdata från en LCA som inte är publik.

Material				Transport	
Komponenter	Mängd & Material	Produktions- område	Emissionsdata	Till Sverige	Inom Sverige
Portalstolpe	125 st. 110 ton komposit	Kanada	3,51 ton CO ₂ e/ton	5600 km fartyg	310 km lastbil
Vinkelstolpe, stor vinkel	11 st. 10 ton komposit	Kanada	3,51 ton CO ₂ e/ton	5600 km fartyg	310 km lastbil
Faslina Al	210 km 540 ton Al	Indien	18,5 ton CO ₂ e/ton	12 400 km fartyg	310 km lastbil
Topplina FeAl	35 km 10 ton Al 10 ton Fe	Indien	18,5 ton CO ₂ e/ton 2,5 ton CO ₂ e/ton	12 400 km fartyg	310 km lastbil
Jordlina Cu	7 km 3 ton Cu	Norden	4,28 ton CO ₂ e/ton	300 km lastbil	310 km lastbil
Isolatorer	340 st. 9 ton Fe 3 ton komposit	Norden Kanada	2 ton CO ₂ e/ton 3,51 ton CO ₂ e/ton	300 km lastbil 5600 km fartyg	310 km lastbil
Staglina Fe	7,6 km 9 ton Fe	Norden	2 ton CO ₂ e/ton	300 km lastbil	310 km lastbil
Stagförankring	150 ton betong	Sverige	0,14 ton CO ₂ e/ton	0 km	13 km lastbil
Schakt					
Stolpar	Typ av schakt	Fall A/B	Schaktvolym	Emissionsdata	
Portalstolpe	Jordschakt 80 % Bergschakt 20 %	Fall A Fall B	2400 m ³ 600 m ³	0,002 ton CO ₂ e/m ³ 0,012 ton CO ₂ e/m ³	
Vinkelstolpe, stor vinkel	Jordschakt 80 % Bergschakt 20 %	Fall A Fall B	320 m ³ 80 m ³	0,002 ton CO ₂ e/m ³ 0,012 ton CO ₂ e/m ³	
Markanvändning					
Andel av skogsgatan som utgörs av skogsmark				92 %	
Andel av ledningen som går i Län 1				74 %	
Andel av ledningen som går i Län 2				26 %	

A7. Markkabel

Tabell A7. Avrundad indata för markkabel basfall. Ledningen är 21 km lång och ledningsgatan är 12,5 m bred. Vissa transportdata saknas då utsläppen för komponenten kommer från en EPD som redan inkluderar transport.

Material				Transport	
Komponenter	Mängd & Material	Produktions- område	Emissionsdata	Till Sverige	Inom Sverige
Kraftkabel med ledare av koppar	130 km 450 ton PEX 320 ton HDPE 140 ton PE 1370 ton Cu	Europa Norden (Cu)	1,9 ton CO ₂ e/ton 1,8 ton CO ₂ e/ton 1,9 ton CO ₂ e/ton 4,28 ton CO ₂ e/ton	1500 km lastbil 300 km lastbil	300 km lastbil
Kabelskyddsrör	50 km Återvunnen PE	Sverige	0,0062 ton CO ₂ e/m	Ej aktuell	Ej aktuell
Foderrör, schaktfri	4 km Återvunnen PE	Sverige	0,0014 ton CO ₂ e/m	Ej aktuell	Ej aktuell
Geotextil	52 000 m ²	Sverige	0,004 ton CO ₂ e/m ²	Ej aktuell	Ej aktuell
Jordlina Cu	20,7 km 6,5 ton Cu	Norden	4,28 ton CO ₂ e/ton	300 km lastbil	300 km lastbil
Schakt					
Typsektion	Storlek	Fall A/B	Emissionsdata		
Direktförlagd, jordschakt	Längd: 12 460 m Djup: 1,2 m Bredd markyta: 2,5 m Bredd schaktbotten: 1,3 m Tvärsnitt = 2,28 m ²	Fall A: 70 % Fall B: 30 %	0,002 ton CO ₂ e/m ³ 0,006 ton CO ₂ e/m ³		
Rörförlagd, jordschakt	Längd: 5607 m Djup: 1,3 m Bredd markyta: 2,7 m Bredd schaktbotten: 1,4 m Tvärsnitt = 2,67 m ²	Fall A: 35 % Fall B: 65 %	0,002 ton CO ₂ e/m ³ 0,006 ton CO ₂ e/m ³		
Rörförlagd, bergschakt	Längd: 623 m Djup: 1,3 m Bredd markyta: 2,1 m Bredd schaktbotten: 1,4 m Tvärsnitt = 2,28 m ²	Fall B: 100 %	0,012 ton CO ₂ e/m ³		
Schaktfri förläggning	Längd: 2077 m 2 borrhål med radie 0,25 m				

Fyllnadsmassor	Kategori	Volym	Emissionsdata
Ledningsbädd	Ny	2580 m ³	0,008 ton CO ₂ e/m ³
Kringfyllning	Ny	5240 m ³	0,008 ton CO ₂ e/m ³
Resterande fyllning	Ny	4250 m ³	0,007 ton CO ₂ e/m ³
	Återanvänd	15 130 m ³	0,001 ton CO ₂ e/m ³
	Bortförd	0 m ³	0,006 ton CO ₂ e/m ³
Jordmån och markvegetation	Ny	7580 m ³	0,007 ton CO ₂ e/m ³
	Återanvänd	9990 m ³	0,001 ton CO ₂ e/m ³
Markanvändning			
Andel av ledningsgatan som utgörs av skogsmark			67 %
Andel av ledningen som går i Län 1			100 %

A8. Transport

Tabell A8. Emissionsdata för olika transportformer som är hämtade från *Network for Transport Measures*.

Transportform	Emissionsdata (kg CO₂e/tkm)
Fartyg	0,021
Lastbil EU	0,067
Lastbil Sverige	0,047
Tåg	0,001

A9. Skogsmark

Tabell A9.1. Produktiv skogsmarksareal fördelad på boniteter inom respektive län (SLU, 2022).

Län	Produktiv skogsmarksareal fördelad på boniteter (1–12 m ³ sk/ha, år)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Norrbottn	7 %	40 %	35 %	16 %	2 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Västerbotten	4 %	28 %	41 %	22 %	5 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Jämtland	3 %	20 %	39 %	35 %	4 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Västernorrland	1 %	6 %	24 %	42 %	22 %	5 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Gävleborg	1 %	3 %	11 %	12 %	34 %	21 %	15 %	3 %	1 %	0 %	0 %	0 %
Dalarna	3 %	11 %	20 %	13 %	26 %	12 %	10 %	4 %	1 %	0 %	0 %	0 %
Värmland	0 %	2 %	4 %	2 %	14 %	15 %	13 %	25 %	15 %	7 %	2 %	0 %
Örebro	0 %	1 %	4 %	5 %	19 %	15 %	11 %	20 %	10 %	10 %	5 %	0 %
Västmanland	0 %	2 %	4 %	2 %	14 %	15 %	13 %	25 %	15 %	7 %	2 %	0 %
Uppsala	1 %	1 %	3 %	6 %	16 %	11 %	17 %	22 %	13 %	9 %	2 %	0 %
Stockholm	0 %	1 %	3 %	8 %	20 %	8 %	16 %	19 %	12 %	9 %	4 %	0 %
Södermanland	0 %	1 %	3 %	2 %	16 %	8 %	11 %	9 %	21 %	20 %	10 %	1 %
Östergötland	0 %	1 %	4 %	4 %	21 %	7 %	7 %	5 %	10 %	24 %	14 %	2 %
Västra Götaland	0 %	2 %	4 %	2 %	14 %	7 %	7 %	12 %	12 %	24 %	14 %	2 %
Jönköping	0 %	2 %	4 %	2 %	13 %	12 %	7 %	9 %	8 %	28 %	12 %	3 %
Kronoberg	0 %	3 %	3 %	2 %	9 %	10 %	4 %	7 %	5 %	21 %	31 %	6 %
Kalmar	0 %	2 %	3 %	5 %	14 %	11 %	10 %	5 %	3 %	18 %	22 %	7 %
Gotland	0 %	2 %	77 %	12 %	0 %	6 %	3 %	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Halland	0 %	2 %	2 %	1 %	10 %	5 %	3 %	5 %	5 %	21 %	30 %	17 %
Blekinge	0 %	0 %	1 %	1 %	5 %	6 %	3 %	0 %	3 %	12 %	39 %	29 %
Skåne	0 %	1 %	1 %	1 %	2 %	3 %	6 %	2 %	1 %	9 %	31 %	44 %

Tabell A9.2. Storleken på kolförrådet per kvadratmeter beroende på skogens bonitet på platsen.

Produktivitet	Bonitet (m ³ sk/ha, år) (Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO), 2020)	Kolförråd (ton CO ₂ /m ²) (Hammervold, 2015)
Låg	1–3	0,012
Medel	4–5	0,020
Hög	6–12	0,032