



Examensarbete
Civilingenjörsprogrammet i energisystem

Verktyg för värdering av miljöpåverkan vid investeringar i det svenska elstamnätet

*Tool for evaluation of environmental impact related
to investments in the Swedish electrical national
grid*

Karin Lövebrant

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för naturresurser och lantbruksvetenskap
Institutionen för energi och teknik

Karin Lövebrant

Verktyg för värdering av miljöpåverkan vid investeringar i det svenska elstamnätet
Tool for evaluation of environmental impact related to investments in the Swedish electrical national
grid

Handledare: Mari Jakobsson Ueda och Magnus Danielsson, Svenska Kraftnät
Ämnesgranskare: Cecilia Sundberg, institutionen för energi och teknik, SLU
Examinator: Åke Nordberg, institutionen för energi och teknik, SLU
EX0269, Examensarbete 30 hp, Avancerad E, teknik
Civilingenjörsprogrammet i energisystem 270 hp

Examensarbete (Institutionen för energi och teknik, SLU)
ISSN 1654-9392
2012:01

Uppsala 2012

Nyckelord: elnät, stamnät, miljöpåverkansbedömning, ReCiPe 2008, miljövärdering, externa kostnader

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Abstract

During the period 2009-2013, investments in the Swedish national grid increase by a factor of ten compared to previous years. In order to fulfil their mission to manage the national grid in a safe, efficient and environmentally sound way, Svenska Kraftnät (Swedish National Grid) needs to take all these perspectives into account while planning new investments. To compare and relate perspectives of technology, economy and environment the same yard stick must be used. That yard stick is commonly money. A problem arises however as environmental issues are difficult to price.

The purpose of this master's degree project was to develop a tool for evaluation of environmental impact related to investments in the Swedish national grid. It was initiated by and conducted at the unit for Grid development at Svenska Kraftnät. A life cycle perspective was used and the following stages were identified: material production, construction, operation and decommissioning. The environmental impact from these stages was sorted into ten impact categories using the LCIA method ReCiPe 2008 and then two economical evaluations were performed: one at midpoint level and one at endpoint level. Also included in the evaluation were the change in power losses or in the power production mix and the visual impact coming from overhead transmission lines.

Impact categories	Type	Unit	Part of economic evaluation
Climate change	Midpoint	kg CO ₂ eq	Midpoint evaluation
Ozone depletion	Midpoint	kg CFC-11 eq	No
Particle formation	Midpoint	kg PM ₁₀ eq	Midpoint evaluation
Acidification	Midpoint	kg SO ₂ eq	Midpoint evaluation
Eutrophication	Midpoint	kg P eq	Midpoint evaluation
Use of metallic resources	Midpoint	kg Fe eq	No
Use of fossile resources	Midpoint	kg oil eq	No
Damage on human health	Endpoint	DALY	Endpoint evaluation
Damage on ecosystem quality	Endpoint	disappeared species per year	Endpoint evaluation
Resource depletion	Endpoint	\$	Endpoint evaluation

The tool was implemented in Excel and offers the possibility to evaluate the environmental impact from five different power line technologies (per km), substation line bays (per bay), transformers (per piece) and reactors (per piece).

The main results show that AC land cable has a significantly higher environmental impact and cost than the other power line technologies. Material production and construction are the life cycle stages that contribute the most to the environmental cost. The impact categories that affect the environmental cost the most are climate change (for midpoint evaluation) and resource depletion (for endpoint evaluation). When the investment affects the power production mix, e.g. by changing the transmission capacity to another country, the subsequent environmental impact can be very influential on the total environmental cost of the investment.

Sammanfattning

Under perioden 2009-2013 ökar investeringarna i elstamnätet med en faktor tio jämfört med tidigare nivåer. För att kunna uppfylla sitt mål att förvalta elstamnätet säkert, effektivt och miljöanpassat behöver Svenska Kraftnät ta hänsyn till dessa faktorer i planeringen av kommande investeringar. För att kunna jämföra och relatera perspektiven med varandra behöver de kvantifieras med en gemensam enhet, vilken oftast är pengar. Det är dock problematiskt att värdera miljöpåverkan med pengar. Vad kostar ett utsläpp av ett kg koldioxid? Ska det prissättas utifrån den skada det beräknas ge miljön genom klimatförändringarna? Eller ska det prissättas utifrån hur mycket dyrare det är att producera el med förnybar energi?

Det här examensarbetet har syftat till att utveckla ett verktyg för att värdera den miljöpåverkan som en framtida investering i elstamnätet bedöms få. Det är initierat av och utfört på enheten för Nätutveckling på Svenska Kraftnät. Ett livscykelperspektiv har använts och följande stadier och aktiviteter har identifierats för en stamnätsinvestering:



Miljöpåverkande aktiviteter från en stamnätsinvestering ur ett livscykelperspektiv.

Miljöpåverkan har sedan utretts och sorterats under tio miljöpåverkanskategorier enligt en etablerad metod för miljöpåverkansbedömning (ReCiPe 2008). Dessutom har miljöpåverkan från förändring av förluster i stamnätet eller från förändring av produktionsmixen för el inkluderats samt för visuell påverkan. Två olika ekonomiska värderingar har sedan utförts av den erhållna miljöpåverkan. En värdering på mittpunktsnivå utifrån prissättning av klimatpåverkande, partikelformerande, försurande och övergödande utsläpp samt en värdering på slutpunktsnivå utifrån prissättning av skada på mänsklig hälsa, skada på ekosystemets kvalitet och marginalprisökningen på ändliga resurser. Slutvärderingen blir mer heltäckande än mittvärderingen, men också mer osäker.

Verktyget är utvecklat i Excel och ger möjlighet att värdera fem olika ledningstekniker samt stationer. Ledningar beräknas per kilometer medan stationer beräknas per ledningsfack samt per apparat (transformator eller reaktor).

Resultaten visar att miljökostnaden skiljer stort mellan olika tekniker. AC markkabel har mycket stor miljökostnad på grund av att dess omfattande materialbehov leder till stor miljöpåverkan och resursutarmning. Transformatorer har stor miljökostnad för att de material som ingår till stor del är ändliga resurser i form av metaller.



Slutvärderad miljökostnad per km ledning samt per styck ledningsfack, transformator och reaktor.

I allmänhet är det materialtillverkning och byggnation som leder till den största delen av miljöpåverkan och -kostnad. Den miljöpåverkan som bidrar mest till miljökostnaden är klimatpåverkande utsläpp (för mittvärderingen) respektive resursutarmning (för slutvärderingen). När investeringen påverkar den europeiska produktionsmixen för el, t.ex. genom att överföringskapaciteten mellan två länder förändras, kan miljökostnaden eller miljönyttan för detta vara mycket större än investeringens egen miljökostnad.

Verktöget ger en uppskattad miljökostnad, men är aldrig mer noggrant än vad indata och internaliserade antaganden är. Verktöget ger dock möjlighet att använda samma kriterier vid varje miljövärdering. Främst ska verktöget användas för att jämföra miljöpåverkan från två olika investeringsalternativ, men det kan även användas för att belysa miljöpåverkan och -kostnad.

Förord

Detta examensarbete har utförts som avslutning på min utbildning till civilingenjör inom energisystem vid Uppsala universitet och SLU. Examensarbetet har initierats av och utförts på enheten för Nätutveckling på Svenska Kraftnät i Sundbyberg.

Jag skulle vilja rikta ett varmt tack till följande personer för hjälp och stöd under arbetet:

Mari Jakobsson Ueda, handledare, för att du hjälpt mig få struktur på vad jag skulle göra och alltid trott på det jag gjort även när jag själv tvivlat.

Magnus Danielsson, handledare, för att ha svarat på mina många frågor och kommit med mycket bra input till verktyget.

Cecilia Sundberg, ämnesgranskare, för all hjälp inom miljöpåverkansbedömning och för granskandet av rapporten.

Liselotte Lindblad, opponent, för goda synpunkter från någon som inte varit lika insyltad i arbetet.

Vanja Sohlberg, kontaktperson på Svenska Kraftnäts miljöstab, för att ha gett support kring Svenska Kraftnäts miljöpåverkan.

Alla på Svenska Kraftnät som lämnat information om stamnätet till verktyget.

Alla på enheten för Nätutveckling för trevliga fika- och lunchraster under hösten.

Slutligen vill jag tacka mina klasskamrater, lärare och programsamordnare från civilingenjörsprogrammet i energisystem för fem härliga år med studiebesök, tentaplugg, mikroköer och cykelturer i motvind till SLU.

Uppsala, den 23 januari 2012

Karin Lövebrant

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund: Svenska Kraftnäts uppdrag och verksamhet.....	1
1.2	Syfte.....	1
1.3	Metod.....	2
1.4	Avgränsningar.....	2
1.5	Definitioner.....	2
2	Teoretisk bakgrund.....	3
2.1	Kort om elnät och elöverföring.....	3
2.2	Att bedöma miljöpåverkan.....	4
2.2.1	Bakgrund till livscykelanalys.....	4
2.2.2	Livscykelanalysens delar.....	5
2.2.3	Särskilda metoder för miljöpåverkansbedömning.....	5
2.3	Miljöekonomi.....	6
2.3.1	Att sätta pris på miljötillgångar.....	6
2.3.2	Värderingsmetoder.....	7
2.3.3	Kostnadsnyttokalkyl.....	8
2.3.4	Värdering av mittpunktskategorier för miljöpåverkan.....	8
2.3.4.1	Värdering av utsläpp.....	8
2.3.5	Värdering av slutpunktskategorier för miljöpåverkan.....	9
2.3.5.1	Värdering av mänsklig hälsa.....	9
2.3.5.2	Värdering av ekosystemens kvalitet.....	10
2.3.5.3	Värdering av ändliga resurser.....	10
2.3.6	Värdering av övrig miljöpåverkan.....	10
2.3.6.1	Värdering av visuell påverkan.....	10
3	Orientering: Miljöarbete inom elnätsbranschen.....	11
3.1	Miljöarbete på Svenska Kraftnät.....	11
3.2	Miljöarbete hos övriga nordiska och svenska nättaktörer.....	12
3.3	Livscykelanalyser för elnät.....	13
4	Utformande av verktyg för miljövärdering.....	14
4.1	Val av metod och kategorier för miljöpåverkansbedömning.....	14
4.2	Datainsamling och -behandling.....	17
4.2.1	Schabloner för materialåtgång.....	17
4.2.2	Schabloner för byggnationsfasen.....	19

4.2.3	Schabloner för driftsfasen	20
4.2.4	Schabloner för rivningsfasen	23
4.3	Val och anpassning av värderingar för miljöpåverkan	24
4.3.1	Ekonomisk värdering av mittpåverkan	24
4.3.1.1	Utsläpp av koldioxid	24
4.3.1.2	Utsläpp av kväveoxider, svaveldioxid och partiklar	25
4.3.2	Ekonomisk värdering av slutpåverkan	26
4.3.2.1	Mänsklig hälsa	26
4.3.2.2	Ekosystemens biodiversitet	26
4.3.2.3	Resursutarmning	27
4.3.3	Ekonomisk värdering av övrig påverkan	27
4.3.3.1	Visuell påverkan	27
4.3.3.2	Elektromagnetiska fält	28
4.4	Implementering i Excel	29
4.5	Utformande av känslighetsanalys och validering	30
5	Resultat	30
5.1	Allmän beräkning med verktyget	30
5.2	Tillämpade resultat	36
5.2.1	Belysa miljöpåverkan: HVDC-länk	36
5.2.2	Strategiskt beslutsunderlag: Kablifiering i stadsmiljö	39
5.2.3	Utlandsförbindelser	41
5.2.3.1	Ny Tysklandsförbindelse	41
5.2.3.2	Nordlig förbindelse till Norge	45
5.2.4	Anslutning av förnybar produktion: Ny station	48
5.3	Känslighetsanalys och validering	51
6	Diskussion	54
7	Slutsats och förslag på vidare utredningar	57
8	Referenser	58
	Bilagor	62
A.	Miljöpåverkan av elproduktion	62

Figurförteckning

Figur 1. Livscykelanalysens delar (JRC-IES, 2010).....	4
Figur 2. Sambandet mellan miljöpåverkan, mittpunkter (miljöproblem) och slutpunkter (slutlig skada) enligt ReCiPe 2008 för ett antal utvalda kategorier med anknytning till elnätets miljöpåverkan (Goedkoop, Heijungs, Huijbregts, Schryver, Strujis, & van Zelm, 2009).	6
Figur 3. Miljöpåverkande aktiviteter av en stamnätsinvestering ur ett livscykelperspektiv.	12
Figur 4. Miljöpåverkan för elnät.....	12
Figur 5. Samband mellan miljöpåverkan, miljöproblem och slutlig skada samt vilka delar som ingår i de ekonomiska mitt- och slutvärderingarna.	16
Figur 6. Visuellt ledningsgata och generellt avstånd.	28
Figur 7. Schematisk bild över verktyget för värdering av miljöpåverkan.....	30
Figur 8. Jämförelse av klimatpåverkande utsläpp för de fem studerade teknikerna.	32
Figur 9. Jämförelse av de fem studerade teknikerna med avseende på partikelformerande, försurande och övergödande utsläpp.	32
Figur 10. Livscykelns bidrag till påverkan på klimatet för AC Luftledning.....	33
Figur 11. Livscykelns bidrag till påverkan på mänsklig hälsa för AC Luftledning.....	33
Figur 12. Slutvärderad påverkans bidrag till miljökostnad för AC Luftledning.....	34
Figur 13. Bidrag från livscykeln till slutvärderad miljökostnad för en km ledning respektive ett ledningsfack, en transformator och en reaktor.	35
Figur 14. Bidrag från värderade utsläpp till mittvärderad miljökostnad för en km ledning respektive ett ledningsfack, en transformator och en reaktor.....	36
Figur 15. Livscykelns bidrag till slutvärderad miljökostnad för HVDC-länk.....	38
Figur 16. Utsläpp från livscykeln av HVDC-länk. Obs! Logaritmisk skala.....	38
Figur 17. Slutvärdering av miljökostnader för investering och förändrad produktionsmix för HVDC-länk.	39
Figur 18. Jämförelse av slutvärderad miljökostnad för strategiskt beslutsunderlag vid alternativ A samt vid alternativ B exklusive och inklusive förlustförändring.....	41
Figur 19. Livscykelns bidrag till slutvärderad miljökostnad för ny Tysklandsförbindelse.	44
Figur 20. Utsläpp från livscykeln av ny Tysklandsförbindelse. Obs! Logaritmisk skala.	44
Figur 21. Slutvärdering av miljökostnader för investering och förändrad produktionsmix för ny Tysklandsförbindelse.....	45
Figur 22. Livscykelns bidrag till slutvärderad miljökostnad för nordlig förbindelse till Norge.....	47
Figur 23. Utsläpp från livscykeln av nordlig förbindelse till Norge. Obs! Logaritmisk skala.....	47
Figur 24. Slutvärdering av miljökostnader för investering och förändrad produktionsmix för nordlig förbindelse till Norge.....	48
Figur 25. Livscykelns bidrag till slutvärderad miljökostnad för station.	50
Figur 26. Utsläpp från livscykeln av station. Obs! Logaritmisk skala.....	50
Figur 27. Slutvärdering av miljökostnader för investering och förändrad produktionsmix för station.....	51
Figur 28. Resultat från känslighetsanalys för koldioxidvärdering.	52
Figur 29. Resultat av känslighetsanalys för visuell påverkan.	53
Figur 30. Resultat av känslighetsanalys för materialåtgång.....	54

Tabellförteckning

Tabell 1. Miljöpåverkans kategorier som valts till detta verktyg för studier av stamnätsinvesteringar.	15
Tabell 2. Teknisk specifikation för ledningar enligt Svenska Kraftnät.	17
Tabell 3. Materialåtgång för ledningar i stamnätet (Carlskem, 2011; Gehlin, 2011).	17
Tabell 4. Materialåtgång för stationer i stamnätet (Arnell, 2010; Ugarte Delgado, 2011).	18
Tabell 5. Bränsleåtgång för anläggningsarbete enligt Svenska Kraftnät.	20
Tabell 6. Virkesvolym per landsdel (Nilsson & Cory, 2011).	20
Tabell 7. Antagna transportavstånd för material.	20
Tabell 8. Bränsleåtgång vid underhåll på ledningar per år i drift (Bjermkvist, 2011; Dahlström, 2011).	21
Tabell 9. Skoglig tillväxt per år i landets tre delar (Nilsson & Cory, 2011).	21
Tabell 10. Ingående bränsleslag i den svenska produktionsmixen 2020 (Energimyndigheten, 2011).	22
Tabell 11. Geografiska och tekniska antaganden kring elproduktion från de bränslen som ingår i produktionsmixen efter modellering i SimaPro.	22
Tabell 12. Avfallsbehandling av ingående material.	23
Tabell 13. Ingående ämnen i låglegerat stål (Erlandsson & Almemark, 2009).	24
Tabell 14. Värdering av utsläpp av koldioxid år 2010 i SEK/kg.	24
Tabell 15. Värdering av NO _x , SO ₂ och PM år 2010 i SEK/kg.	25
Tabell 16. Värdering av arter utifrån återställandekostnad för EU-25 (Ott, Baur, Kaufmann, Frischknecht, & Steiner, 2006; Goedkoop, Heijungs, Huijbregts, Schryver, Struijs, & van Zelm, 2009).	27
Tabell 17. Invånare och hushåll i glesbygd (Statistiska centralbyrån, 2008; Statistiska centralbyrån, 2010).	28
Tabell 18. Indata till metoden.	29
Tabell 19. Jämförelse av miljöpåverkan och -kostnad för en kilometer ledning med fem olika teknikalternativ.	31
Tabell 20. Jämförelse av miljöpåverkan och -kostnad för ett ledningsfack, en transformator respektive en reaktor.	34
Tabell 21. Indata till beräkning för HVDC-länk.	36
Tabell 22. Resultat från beräkning för HVDC-länk.	37
Tabell 23. Indata till beräkning för strategiskt beslutsunderlag.	39
Tabell 24. Resultat från beräkning för strategiskt beslutsunderlag.	40
Tabell 25. Indata till beräkning för ny Tysklandsförbindelse.	42
Tabell 26. Resultat från beräkning för ny Tysklandsförbindelse.	43
Tabell 27. Indata till beräkning för nordlig förbindelse till Norge.	45
Tabell 28. Resultat från beräkning för nordlig förbindelse till Norge.	46
Tabell 29. Indata till beräkning för station.	48
Tabell 30. Resultat från beräkning för station.	49
Tabell 31. Indata till känslighetsanalyser.	51
Tabell 32. Resultat från känslighetsanalys på mittvärderad miljökostnad för tre tillämpade exempel vid variation av koldioxidvärderingen.	52
Tabell 33. Indata till känslighetsanalys för material.	53
Tabell 34. Jämförelse av resultat för 1 km luftledning från verktyget och norsk/dansk LCA.	54
Tabell 35. Miljöpåverkan av elproduktion från utvalda bränslegrupper efter modellering i SimaPro.	62

1 Inledning

1.1 Bakgrund: Svenska Kraftnäts uppdrag och verksamhet

Svenska Kraftnät (SvK) är ett statligt affärsverk och har ett fyrdelat uppdrag. De ska erbjuda säker, effektiv och miljöanpassad överföring av el på stamnätet, utöva systemansvaret för el och naturgas kostnadseffektivt, främja en öppen svensk, nordisk och europeisk marknad för el och naturgas samt verka för en robust elförsörjning. I elstamnätet pågår just nu en omfattande ny- och reinvestering och bara under perioden 2009-2013 ökar investeringarna med en faktor tio gentemot tidigare nivå. Ett skäl till detta är att ny elproduktion i form av t.ex. vindkraft och uppgraderade kärnkraftverk ska anslutas. Ett annat skäl, som särskilt belyses i och med införandet av elprisområden, är att överföringskapaciteten i nätet behöver ökas. De flesta investeringar görs främst för att öka eller bevara driftsäkerheten (dvs. klara det dimensionerade felfallet).

Enheten för Nätutveckling (NU) arbetar med att utreda sådana investeringsförslag, men också med att ta fram förslag på nya nätinvesteringar utifrån systemstudier och anslutningsförfrågningar. Enheten väger in en mängd olika faktorer såsom systemfunktion, driftssäkerhet och marknadsnytta i bedömningen av en framtida investering. Eftersom SvK är ett statligt verk görs även samhällsekonomiska analyser. I dagsläget är det en teoretisk nytta för elmarknaden som består av flaskhalsintäkter, producent- och konsumentnytta som vägs mot investeringskostnaden i en kostnadsnyttoanalys. De miljökostnader som investeringen medför ingår till viss del i kalkylen, t.ex. i form av ersättningar till markägare. Andra delar av de externa miljökostnaderna som t.ex. skada på ekosystem från försurning och utarmning av ändliga resurser saknas dock i beslutsunderlaget. Om investeringen befunnits vara lönsam görs en teknisk förstudie och en miljökonsekvensbeskrivning (MKB). Miljökonsekvensbeskrivningen administreras av enheten för Mark och Tillstånd och behandlar ingående lokal miljöpåverkan. Först efter att dessa två är klara och en samrådsprocess med berörda markägare och boende har påbörjats, kan koncession sökas. Koncession är ett tillstånd att äga och driva elnät och behövs eftersom en elledning har stor betydelse för samhällssystemet, får stor lokal påverkan och dessutom är ett naturligt monopol. När ledningen byggts tar enheten för Nätförvaltning över verksamheten kring ledningen med underhåll.

1.2 Syfte

Detta examensarbete är initierat av och utfört på enheten för Nätutveckling på Svenska Kraftnät som ett bidrag för att nå deras långsiktiga mål att nya anläggningar ska lokaliseras och utformas på ett miljöanpassat sätt (Svenska Kraftnät, 2011). När en ny investering i elnätet planeras ska många olika aspekter värderas och vägas samman. Teknik, ekonomi och driftssäkerhet är alla faktorer som kan värderas monetärt och jämföras. Däremot är en ekonomisk värdering av miljöpåverkan svårare att genomföra eftersom den i större utsträckning bygger på indirekta metoder, vilka kräver en djupare förståelse för miljövetenskap och miljöekonomi.

Målet med detta examensarbete är att ta fram en metod för att kunna värdera den miljöpåverkan som en framtida investering i elstamnätet bedöms få. Metoden ska utvecklas som ett praktiskt verktyg där antaganden och beräkningar redan är internaliserade. Detta för att värderingen alltid ska ske på samma grunder och inte variera med användare. Verkttyget ska utifrån en begränsad mängd indata generera en kvantifierad, monetär sammanvägning av miljöpåverkan. Samtidigt ska det vara transparent och lätt att uppdatera. Resultat som erhålls från verktyget ska vara relevanta och kongruenta. De ska kunna användas för att göra jämförelser mellan olika tekniker och ingå i

beslutsunderlaget för att bedöma investeringars samhällsekonomiska nytta. Verktuget ska också kunna belysa miljöpåverkan om inget alternativ finns, ge strategiskt beslutsunderlag vid avvägningar mellan olika investeringsalternativ samt ge en tydligare bild av miljöpåverkan från nya utlandsförbindelser.

1.3 Metod

Examensarbetet har identifierats bestå av tre delar:

- Att utreda vilka aktiviteter som förekommer i anslutning till investeringar i stamnätet.
- Att beräkna vilken miljöpåverkan dessa aktiviteter medför.
- Att finna ekonomiska värderingar för dessa aktiviteter miljöpåverkan.

Det angreppssätt som valts för uppgiften är livscykelperspektiv. Alltså ska investeringens hela livscykel inventeras och bedömas, från utvinning av resurser till ingående material till avfallshantering med återvinning och förbränning. Detta eftersom en investering i stamnätet är mycket materialkrävande och det därmed vore missvisande att t.ex. enbart se till själva byggandet av ledningen.

För att lösa de tre deluppgifterna i examensarbetet har ett flertal metoder använts. Anställda på SvK som arbetar med nätplanering, nätinvestering, nätförvaltning och miljöutredning har intervjuats. Litteraturstudier har bedrivits inom livscykelanalys, metoder för miljöpåverkansbedömning, elnätets specifika miljöpåverkan, miljöekonomi och tillämpade miljövärderingsstudier. För modellering av miljöpåverkan från aktiviteterna har programvaran SimaPro använts.

1.4 Avgränsningar

Metoden och verktuget har tillämpat ett livscykelperspektiv på miljöpåverkan vid investeringar i elnätet. Det betyder att hänsyn tagits till miljöpåverkan av framställning av ingående material, transporter, anläggnings- och byggarbete, drift och avveckling. Systemgränsen har lagts så att enbart effekter av den studerade investeringen räknas med, miljöpåverkan från äldre ledningar och stationer som ska ersättas tas t.ex. inte med i värderingen. När det gäller uppströms aktiviteter så har även produktionsanläggningarna för framställning av ingående material inkluderats.

Endast elnät på 400 kV har beaktats i verktuget, eftersom det är den spänningsnivå som Svenska Kraftnät i de flesta fall bygger i nya anläggningar.

Verktuget har utvecklats under antagandet att en monetär värdering av miljöpåverkan är möjlig att göra. Då verktuget kommer att användas på ett tidigt stadium vid en nätutredning kommer detaljerade data kring miljöpåverkan inte att finnas tillgängliga. Schablonvärden antas ändå kunna visa på en approximativ miljökostnad.

1.5 Definitioner

För att underlätta läsandet av rapporten definieras här ett två grundläggande begrepp.

Med **miljö** menas den yttre miljön och då dels naturligt miljö i form av ekosystem, luft, mark och vatten och dels av människan bebyggd miljö. I begreppet ingår även mänsklig hälsa, men inte inre miljö eller arbetsmiljö.

Med **miljöpåverkan** menas förändringar av omvärldsförhållanden som medför konsekvenser för miljön. Det kan t.ex. röra sig om en ökad halt CO₂ i atmosfären, vars konsekvens blir ökad global uppvärmning eller ett visuellt intrång i form av en kraftledning som är synlig från ett bostadshus.

2 Teoretisk bakgrund

2.1 Kort om elnät och elöverföring

Elnätet är infrastrukturen för transmission och distribution av el. Stamnätet motsvarar elens motorvägar och överför effektivt stor mängd elektrisk energi. Det behövs eftersom det svenska energisystemet är geografiskt obalanserat med överskott av elproduktion i norr och större andel konsumenter i söder. Stamnätet står också för de flesta internationella kraftförbindelserna. Förutom stamnät består elnätet även av regionnät (40 – 130 kV) som överför el på regional nivå och lokalnät (< 30 kV) som distribuerar el fram till slutkonsument. Då begreppet transmission används avser det vanligen överföring av el på stam- och regionnät, medan distribution betecknar överföring av el på lokalnät.

Det finns några olika grundläggande tekniker för transmission av el. Gemensamt för teknikerna som används i stamnätet är att de har hög spänningsnivå, > 200 kV, för att minska de resistiva förluster som elöverföring medför. Traditionellt har växelström (Alternating Current, AC) varit dominerande i elkraftsystemet. Det är t.ex. det som vi har i våra vägguttag. Växelström överförs robust och kostnadseffektivt med luftledning, vilket också är de kraftledningar vi oftast ser. Systemet är trefas, vilket innebär att varje ledning består av tre ledare. Växelström kan också överföras med markförlagd kabel, men det är ett mindre driftsäkert system som också begränsar överföringsförmågan. En annan teknik är överföring av el med högspänd likström (High Voltage Direct Current, HVDC) och den är under stark utveckling. Även likström kan överföras med både luftledning och kabel. Långa sjö- eller havskablar är av teknisk nödvändighet alltid likström.

Ledningar knyts ihop genom stationer. Ledningens ingång i stationen kallas för ledningsfack. I stationen finns ofta en eller flera transformatorer som omvandlar elen till en ny spänningsnivå (t.ex. från stamnätets 400 kV till regionnätets 130 kV). Det kan även ske reaktiv effektkompensation av olika slag i stationen och då används en reaktor eller ett kondensatorbatteri.

De resistiva förluster som elöverföringen medför behöver kompenseras. Svenska Kraftnät köper el motsvarande de förlusterna. Förlusterna innebär alltså ett ökat produktionsbehov av el.

Det svenska stamnätet sitter ihop med stamnäten i Norge, Finland, Polen, Tyskland och Danmark. Om en ny ledning till ett annat land byggs medför detta att en större mängd el kan överföras mellan länderna. Kostnaden för att producera el varierar med bränsleslag. Om det finns tillgång till billigare elproduktion, t.ex. genom en ökad kapacitet att överföra el mellan två områden, kan det hända att den dyrare elproduktionen inte behövs under någon tid. Ett exempel på detta är en ny ledning till Tyskland som kan medföra att svensk elproduktion från t.ex. vatten- och vindkraft ersätter tysk elproduktion från kolkraft. Förstärkningar i elnätet mellan olika länder och områden kommer alltså medföra att det totala systemets produktionsmix för el förändras.

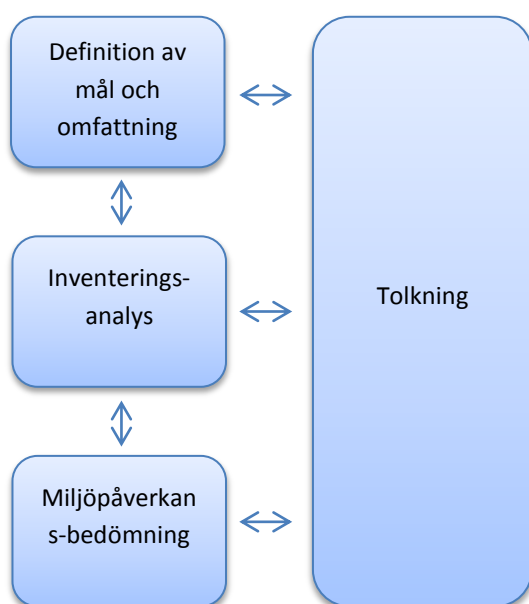
2.2 Att bedöma miljöpåverkan

2.2.1 Bakgrund till livscykelanalys

Människan har alltid påverkat miljön genom sitt levande. Längre genom historien var vår miljöpåverkan främst lokal, men idag innebär de flesta aktiviteter både lokal, regional och global miljöpåverkan. Det är viktigt att skilja på en aktivitets miljöpåverkan (t.ex. utsläpp, buller, intrång, resursanvändning), de effekter som denna påverkan medför (t.ex. ökad växthuseffekt, försurning, övergödning och förgiftning) samt den slutliga skada som dessa effekter leder till (t.ex. på mänsklig hälsa och ekosystem).

Det finns ett flertal metoder att använda för att bedöma en aktivitets miljöpåverkan. Några vanligt förekommande är energianalys, miljökonsekvensbeskrivning (MKB) och livscykelanalys (LCA). En LCA innefattar, som namnet antyder, kvantifierad miljöpåverkan från hela livscykeln av en produkt (Baumann & Tillman, 2004). Produktens livscykel sträcker sig från "vaggan" (utvinning av råmaterial) till "graven" (avveckling och avfallshantering). Ursprungligen uppkom LCA för att kunna utvärdera tydligt definierade produkter, som t.ex. olika typer av mjölkförpackningar (Goedkoop, Heijungs, Huijbregts, Schryver, Strujis, & van Zelm, 2009). Senare har metoden utvecklats till att kunna användas på hela system, t.ex. inom eko-märkning och som designhjälpmedel. LCA-metoden har standardiserats och återfinns inom ISO 14040. LCA är trots arbetet med standardiseringar alltid starkt beroende av det mål och den omfattning som definierats för den.

Styrkan i LCA-metodiken är att hela produktens livscykel studeras. En mer holistisk bild av miljöpåverkan erhålls och suboptimeringar kan undvikas (Baumann & Tillman, 2004). Det är också lättare att ta hänsyn till global miljöpåverkan i en LCA än i t.ex. en miljökonsekvensbeskrivning som vanligen har ett mer lokalt fokus. Några av svagheter i LCA-metodiken är att data om livscykeln miljöpåverkningar ofta är svåra att ta del av och präglas av stora osäkerheter. Karaktären av noggrant kvantifierade tal kan alltså ge en falsk uppfattning av exakthet. I alla delar av en LCA ingår också egen tolkning som en del, vilket ger en subjektiv karaktär. Det syns tydligt i den skiss över LCA-processen som ingår i ISO-standarderna, se figur 1.



Figur 1. Livscykelanalysens delar (JRC-IES, 2010).

2.2.2 Livscykelanalysens delar

LCA-metodiken är alltså också en iterativ process, vilket syns tydligt i figur 1, där mål och omfattning kan behöva bearbetas i flera steg. Efter definitionen av mål och omfattning följer en inventeringsanalys (Life Cycle Inventory Analysis, LCI) då alla data för det studerade systemet samlas in och behandlas (Baumann & Tillman, 2004). Efter inventeringsanalysen erhålls en lista med systemets miljöpåverkan i form av emissioner och förbrukning av resurser. För att kunna tolka och jämföra dessa data genomförs en miljöpåverkansbedömning (Life Cycle Impact Assessment, LCIA). Då delas data in i olika kategorier beroende på vilken typ av miljöpåverkan de bidrar till. I ISO-standarderna finns de tre kategorierna mänsklig hälsa, ekosystemens kvalitet och ändliga resurser tydligt beskrivna. Dessa tre är så kallade slutpunkter (endpoints) och beskriver slutlig skada (Goedkoop, Heijungs, Huijbregts, Schryver, Strujis, & van Zelm, 2009). Det finns också kategorier som beskriver mittpunkter (midpoints) vilket motsvarar miljöproblem som t.ex. global uppvärmning och försurning. Sedan kan ett utsläpps skada beräknas först genom dess bidrag till ett miljöproblem och sedan genom miljöproblemets skadande effekt på de tre slutpunkterna.

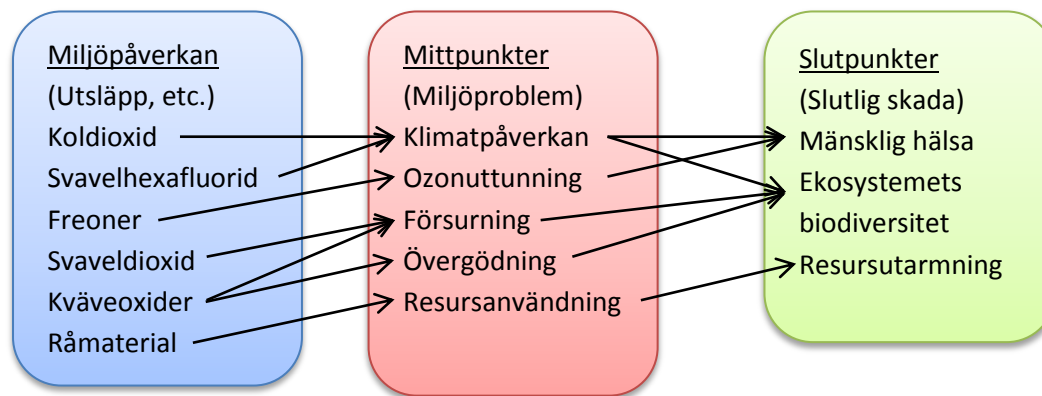
Terminologin är lättare att ta till sig med ett exempel. En av mittpunktskategorierna (ett miljöproblem) är global uppvärmning. Till denna kategori sorteras givetvis CO₂-utsläpp från systemet, men också t.ex. utsläpp av SF₆. För att en sammanlagd bild av bidraget till global uppvärmning ska kunna erhållas räknas utsläppen av SF₆ om till CO₂-ekvivalenter med karakteriseringsfaktorn 23 900 (för ett hundraårigt perspektiv) (Baumann & Tillman, 2004). På samma sätt fungerar det med andra växthusgaser och de har alla sina respektive karakteriseringsfaktorer. När alla klimatpåverkande utsläpp sorterats in under kategorin och lagts samman till en gemensam påverkan i enheten CO₂-ekvivalenter kan mittpunktskategoriens bidrag till slutpunktskategorierna i form av mänsklig hälsa, ekosystemens kvalitet och ändliga resurser att beräknas. Vissa resultat från inventeringen kan sorteras in i flera kategorier om de bidrar till flera olika typer av miljöpåverkan. Ett exempel på det är NO_x som kan bidra till både övergödning och försurning.

Efter att en total miljöpåverkan per kategori har beräknats kan en normalisering utföras. Då kan resultatet jämföras mot t.ex. nationellt medel (Baumann & Tillman, 2004). Kategoriernas miljöpåverkan kan också grupperas för att underlätta presentation av resultatet. De kan fördelas på global, regional och lokal påverkan eller rangordnas efter prioriteringsgrad. Om ett slutresultat i form av en enda siffra ska presenteras måste kategoriernas miljöpåverkan viktas. Det kan göras genom att använda en monetär metod, ta hänsyn till lagstadgade mål, utnyttja expertpaneler eller använda en proxy (t.ex. energianvändning). Slutligen måste en känslighetsanalys och/eller en datakvalitetsanalys genomföras. Ska livscykelanalysen publiceras genomförs dessutom alltid en kritisk granskning av en oberoende granskare.

2.2.3 Särskilda metoder för miljöpåverkansbedömning

LCIA-steget kan utföras från grunden där kategorisering och modellering av belastningarnas miljöpåverkan sker unikt för den specifika livscykelanalysen. Det går också att använda sig av en redan framtagen metod för kategorisering och påverkan. Dessa metoder "från hyllan" kan skilja sig åt i uppbyggnad. En del metoder använder mittpunktskategorier, alltså t.ex. global uppvärmning eller ekototoxicitet, medan andra går ett steg längre och kopplar påverkan till slutpunktskategorier, t.ex. skada på mänsklig hälsa eller skada på ekosystem (Goedkoop, Heijungs, Huijbregts, Schryver, Strujis, & van Zelm, 2009). Ett exempel på en sådan sistnämnd LCIA-metod är ReCiPe 2008. Målet med utvecklandet av den metoden var att harmonisera perspektiven och erbjuda möjligheten att se

konsekvenser av miljöpåverkan som både mittpunkter och slutpunkter (Goedkoop, Heijungs, Huijbregts, Schryver, Strujis, & van Zelm, 2009). Metoden presenterar 18 mittpunktskategorier där bl.a. försurning, partikelformering och landanvändning ingår. Metoden presenterar också tre slutpunktskategorier (vilka speglar de som anges i ISO-standarderna): skada på mänsklig hälsa, skada på ekosystemen och ökad kostnad för ändliga resurser. Skada på mänsklig hälsa värderas i funktionsjusterade levnadsår (disability adjusted life years, DALY), skada på ekosystemens kvalitet värderas i antalet utdöda arter per år och minskningen av ändliga resurser värderas i marginalökningen av priset på råvaran. För ett urval av kategorier kan sambandet mellan miljöpåverkan, miljöproblem och slutlig skada studeras i figur 2.



Figur 2. Sambandet mellan miljöpåverkan, mittpunkter (miljöproblem) och slutpunkter (slutlig skada) enligt ReCiPe 2008 för ett antal utvalda kategorier med anknytning till elnätets miljöpåverkan (Goedkoop, Heijungs, Huijbregts, Schryver, Strujis, & van Zelm, 2009).

Ett problem vid sammanräkningen av miljöpåverkan till kategorier är att de mekanismer som kopplar ihop utsläpp, miljöproblem och slutlig skada inte är fullständigt kända och att val och avvägningar därför behöver göras. Ett exempel på detta är tidsaspekten av klimatpåverkan, där forskare inte är överens över hur lång tidshorisont som bör tillämpas. ReCiPe 2008 har löst detta genom att erbjuda tre olika perspektiv: individualistiskt, hierarkiskt samt egalitärt (Goedkoop, Heijungs, Huijbregts, Schryver, Strujis, & van Zelm, 2009). Det individualistiska perspektivet har kort tidshorisont (för klimatpåverkan används 20 år), är teknikooptimistiskt och tar enbart hänsyn till miljöprocesser som är oomstridda. Om detta perspektiv används kommer slutresultatet inte att överskatta miljöpåverkan. Det egalitära perspektivet tillämpar försiktighetsprincipen genom att ha långt tidsperspektiv (för klimatpåverkan används 500 år) och även betrakta de miljöprocesser som är möjliga men inte allmänt erkända. Om detta perspektiv används kommer slutresultatet att innefatta det mesta av den miljöpåverkan som är känd idag. Det hierarkiska perspektivet ligger någonstans emellan det individualistiska och det egalitära. Detta perspektiv baseras på de riktlinjer och antaganden som är konsensus bland miljöforskare och europeiska politiker (för klimatpåverkan används 100 år). Detta perspektiv rekommenderas som standardmodell.

2.3 Miljöekonomi

2.3.1 Att sätta pris på miljötillgångar

En viktig grundsten i en marknadsekonomi är äganderätter. Miljötillgångar saknar ofta definierat ägande, det är t.ex. svårt att säga vem som äger ozonlagret. Detta medför att miljötillgångar normalt sett inte har något pris, vilket i sin tur medför att det på marknaden saknas information om vilket

värde miljötillgångarna har (Naturvårdsverket, 1997). Om en vara inte har något pris är den gratis. Normalt ritas en utbudskurva så att priset på en vara sjunker för växande kvantitet (Hanley & Barbier, 2009). Att en vara är gratis inträffar enligt teorin bara när det finns en oändlig kvantitet av varan, men detta är vanligen inte fallet med miljötillgångar. Konsekvensen av ett sådant förhållningssätt blir ett samhällsekonomiskt ineffektivt resursutnyttjande och ett överutnyttjande av miljötillgångarna.

Ett exempel kan illustrera problematiken ovan (Brännlund & Kriström, 1998). En massafabrik producerar utöver papper även avloppsvatten. När detta avloppsvatten släpps ut i det lokala vattendraget kommer vattenkvaliteten att minska och som följd kan fisket i området drabbas. De som vill fiska måste söka sig till nya fiskevatten och får ökade omkostnader. Alltså ger massafabriken upphov till kostnader som den själv inte står för. Hade bäcken ägts av någon hade massafabriken tvingats betala för sina utsläpp. En sådan sidoeffekt, alltså när en grupp eller en organisations aktiviteter medför konsekvenser för en annan grupp utan att den första gruppen bär kostnaderna eller erhåller intäkterna, kallas för en extern effekt (Borgström & Ekroth, 1997). Att prissätta sådana externa effekter och att internalisera dem är en viktig del i arbetet med att låta de som står för miljöbelastningen betala för den (enligt det engelska begreppet Polluters Pay Principle). Det finns också en pedagogisk nytta med att prissätta miljötillgångar och -tjänster, eftersom deras bidrag till människors välfärd synliggörs (Naturvårdsverket, 1997).

Det totala ekonomiska värdet på en miljötillgång kan delas upp i brukarvärde och existensvärde (Brännlund & Kriström, 1998). Brukarvärdet motsvarar den nytta som en individ har av att direkt utnyttja tillgången. Det kan t.ex. för en skog röra sig om produktion av timmer och massa eller möjligheter till jakt, fiske och friluftsliv. Existensvärdet motsvarar den nytta som en individ erfar av en tillgång trots att individen inte kan eller vill utnyttja den direkt. Det kan t.ex. för en skog röra sig om värdet att bevara biodiversiteten.

2.3.2 Värderingsmetoder

Det finns olika metoder för att värdera miljötillgångar monetärt. Gemensamt för dem är att de undersöker människors betalningsvilja för en viss tillgång eller tjänst som miljön producerar (Naturvårdsverket, 1997). Ofta används det engelska uttrycket willingness to pay (WTP) istället för det svenska ordet betalningsvilja. I en sådan undersökning utforskas individens betalningsvilja för att minska eller undvika skador. Alternativet är att undersöka individens betalningsvilja för att acceptera en miljöförsämring, vilket kallas willingness to accept (WTA). Det har dock visat sig att WTP är ett mer tillförlitligt mått, då WTA ofta ger orimligt höga värden.

Värderingsmetoderna kan delas upp i indirekta och direkta metoder (Naturvårdsverket, 1997). En indirekt metod studerar beteendet på en näraliggande marknad och översätter värdet till den studerade miljötillgången. Resekostnadsmetoden är en sådan metod, där individens WTP för rekreationsområden kan mätas genom att undersöka kostnaderna de har för att åka dit. Det är en relativt billig metod, men den kan enbart mäta brukarvärdet och kan inte hantera substitutioner eller om resan har flera mål. En direkt metod skapar en virtuell marknad och lämpar sig bäst för frågor som är lokalt förankrade och väl kända. Den mest använda direkta metoden är Contingent Valuation Method (CV-metoden). I en sådan studie tillfrågas individer om sin betalningsvilja för att bevara t.ex. en badsjö eller en utrotningshotad djurart. CV-metoden kan teoretiskt mäta både brukar- och existensvärde. Metoden har dock problem med att svaren beror på hur frågan formulerats, att

individer uppger felaktiga värden då de inte kommer behöva betala i verkligheten och att snedvridningseffekter uppstår.

Det finns även metoder för att värdera miljöskador utifrån marknadspriser. Om skador uppkommit på ekologisk produktion kan bortfallet värderas genom marknadsvärdet på varorna (Borgström & Ekroth, 1997). En annan metod är att sätta miljöskadans värde till samma kostnad som att undvika skadan. Detta kallas undvikandekostnader. Det används ofta för prissättning av externa kostnader kring energiproduktion, där kostnaden för skador från utsläpp till luft av NO_x och SO₂ likställs med marknadspriset för en mer avancerad rökgasrening. En tredje metod är att likställa värdet på en miljötillgång med den kostnad som förknippas med återställandet av den, t.ex. när det gäller våtmarkens positiva egenskaper på ekosystemkvalitet.

Det är viktigt att välja rätt värderingsmetod till rätt tillfälle. De olika metoderna bygger på olika förenklingar och antaganden och för att värderingen ska bli så rimlig som möjligt behöver dessa stämma överens med undersökningens mål och omfattning.

2.3.3 Kostnadsnyttokalkyl

För att bedöma om nyttan med en aktivitet är större än kostnaden för den kan en kostnadsnyttokalkyl genomföras (Hanley & Barbier, 2009). Med aktivitet menas ett medvetet val att lägga resurser på något, t.ex. ett investeringsprojekt eller införandet av en ny skatt. Perspektivet i en kostnadsnyttokalkyl är ofta samhällsekonomiskt, dvs. det är den samhällsekonomiska nyttan och kostnaden som bedöms. Den gemensamma enheten i en sådan kalkyl är monetärt värde och för att miljöpåverkan ska kunna ingå krävs det därmed att den har ett monetärt värde. I kostnadsnyttokalkylen diskonteras framtida nyttor och kostnader till ett nuvärde och sedan jämförs storleken på dem. Nuvärdet definieras som

$$NV = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1+p)^i} \quad [1]$$

där C betecknar årligt kassaflöde, p betecknar kalkylräntan och n investeringens livslängd. Nuvärdet är alltså framtida intäkter och kostnader summerade och omräknade till dagens värde.

Överstiger nyttan kostnaden är det samhällsekonomiskt lönsamt att genomföra den undersökta aktiviteten, investeringen eller skattesatsen. Kostnadsnyttokalkyl är mycket användbart eftersom det är ett verktyg som ger beslutsunderlag att fördela begränsade resurser på ett effektivt sätt. Problem kan dock uppstå när det är svårt att värdera och inkludera kostnader eller nyttor.

2.3.4 Värdering av mittpunktskategorier för miljöpåverkan

2.3.4.1 Värdering av utsläpp

EU-kommissionen har finansierat ett projekt, ExternE, för att värdera de externa miljökostnaderna av elproduktion (Bickel & Friedrich, 2005). Redan 1995 var en första metod framtagen och den har sedan kontinuerligt uppdaterats, där den senaste versionen är från 2005. ExternE använder inte livscykelanalys utan tittar enbart på miljöpåverkan av de direkta utsläppen. Bedömningen av miljöpåverkan sker med en metod som kallas Impact Pathway Approach. Metoden utgår från ett bottom-up-perspektiv och beräknar utifrån mängd utsläpp och atmosfäriska modeller vilken spridning utsläppen får. Därefter beräknas exponeringen av utsläppen på människor, ekosystem,

bebyggelse, etc. och vilka skador denna exponering leder till. Slutligen värderas dessa skador. Fördelen med detta tillvägagångssätt är att en platsspecifik uppskattning av en anläggnings påverkan erhålls. I ExternE används ett antal olika värderingsmetoder, bl.a. kostnad för ändrat beteende, undvikandekostnader och CV-metoden. Kritik mot ExternE menar att det inte är tillämpligt att bestämma extern miljökostnad genom sådana värderingsmetoder eftersom många privata intressen snarare formas genom det offentliga samtalet än i individuella intervjuer (Söderholm & Sundqvist, 2003).

Ett annat av EU-kommissionen finansierat projekt är det så kallade CAFE-programmet (Holland, Pye, Watkiss, Droste-Franke, & Bickel, 2005). Syftet med det är att prissätta allmänna utsläpp (dvs. inte bara utsläpp från elproduktion) av vanliga avgaser så att den externa kostnaden som dessa ger upphov till kan inkluderas i kostnadsnyttokalkyler. Programmet använder sig av metoden Impact Pathway Approach som utvecklats i ExternE.

Även Trafikverket arbetar med att ta fram värderingar av utsläpp för att kunna göra samhällsekonomiska analyser av planerade infrastrukturinvesteringar (Hjort & Tensskog, 2008). Dessa värderingar bygger på olika värderingsmetoder och tas fram i arbetsgruppen för samhällsekonomiska kalkyl- och analysmetoder (ASEK).

2.3.5 Värdering av slutpunktskategorier för miljöpåverkan

2.3.5.1 Värdering av mänsklig hälsa

Funktionsjusterade levnadsår (DALY) är ett sätt att mäta ohälsa (WHO, 2011). En DALY kan ses som ett förlorat år av full hälsa och summan av DALY för en hel befolkning beskriver gapet mellan nuvarande hälsostatus och idealfallet där hela befolkningen lever friska och länge. DALY för en sjukdom eller hälsotillstånd beräknas som den diskonterade summan av antal förlorade levnadsår på grund av för tidig död och antal levnadsår med funktionsnedsättning. Fördelar med DALY-metoden är att den visar effekter även av icke-dödliga sjukdomar, t.ex. har den visat att psykiatriska sjukdomar såsom depression har stor inverkan på en befolkning även om antalet dödsfall från dem är mycket lågt. Kritiken mot DALY rör det subjektiva inslaget där värdet av ett levnadsår viktas efter ålder samt det faktum att värdet av framtida levnadsår diskonteras (Anand & Hanson, 1997).

För att värdera en DALY kan två metoder användas (Croitoru & Sarraf, 2010). För att erhålla en lägre gräns på värdet används humankapitalmetoden där ett förlorat levnadsår värderas som bortfallet i produktionsförmåga, dvs. bruttonationalprodukt per capita. För att erhålla en högre gräns kan värdet av ett statistiskt liv (VSL) användas och divideras med antalet diskonterade förlorade levnadsår för en vuxen persons död.

Värdet av ett statistiskt liv (VSL) är det mest etablerade sättet att undersöka hur säkerhet värderas (Hultkrantz & Svensson, 2008). VSL mäter betalningsviljan för riskreducering hos en population. Ett enkelt exempel är en population på 10 000 människor, där det i genomsnitt dör en individ. Om varje individ i genomsnitt kan tänka sig att betala 100 kr för att ta bort denna risk är populationens sammanlagda betalningsvilja 1 Mkr för att rädda ett liv och detta är också populationens VSL. VSL kan också uttryckas som kvoten mellan betalningsviljan och riskförändringen. Det handlar alltså inte om något exakt värde på ett individuellt liv utan är ett mått på betalningsviljan för riskreducering.

2.3.5.2 Värdering av ekosystemens kvalitet

Ett ekosystems kvalitet kan beskrivas i många olika egenskaper för människor såsom biodiversitet, estetiska och kulturella värden, ekologiska funktioner och tjänster, ekologiska resurser samt funktioner för information (gener) (Goedkoop, Heijungs, Huijbregts, Schryver, Strujis, & van Zelm, 2009). Det är inte möjligt att modellera alla de tjänster och flöden som bestämmer ekosystemets kvalitet eftersom det kräver mycket stora mängder information och synnerligen komplexa modeller. Därför har ReCiPe 2008 valt att bedöma ekosystemets kvalitet genom att mäta artdiversiteten.

Ett problem vid värdering av biodiversitet är att många människor har liten medvetenhet om och svag förståelse för själva begreppet biodiversitet (Christie, Hanley, Warren, Murphy, Wright, & Hyde, 2006). Även om det är enbart artdiversiteten som ska värderas så är det ett tillräckligt komplext begrepp. Det finns uppskattningsvis 12,3 miljoner arter i världen, varav 1,6 miljoner är kända (Goedkoop, Heijungs, Huijbregts, Schryver, Strujis, & van Zelm, 2009). Alltså är det rimligt att anta att en enskild människa inte har en förmåga att förstå och uppskatta värdet på en enskild art. Många undersökningar med CV-metoden har undersökt värdet på enskilda hotade djur eller växter, men om det sammanlagda värdet på biodiversitet ska värderas är tveksamt om CV-metoden är den mest lämpade. Den metod som använts i t.ex. ExternE-relaterade studier använder sig av återställandekostnader, där kostnaden för att konvertera mark från artfattiga till artrika miljöer tjänar som mått på den externa kostnaden.

2.3.5.3 Värdering av ändliga resurser

Ändliga resurser är en betydelsefull miljöpåverkan att värdera. Eftersom det inte finns något standardiserat sätt att värdera dem på har olika metoder såsom jämförelser mellan förbrukning och resurs eller exergianalys använts (Goedkoop, Heijungs, Huijbregts, Schryver, Strujis, & van Zelm, 2009). ReCiPe 2008 värderar ändliga resurser som marginalförändringen i utvinningskostnader vilken beräknas genom att dividera kostnadsförändringen med resursförändringen. Denna marginalförändring viktas sedan med en faktor som speglar användningen av resursen och diskonteras slutligen.

2.3.6 Värdering av övrig miljöpåverkan

2.3.6.1 Värdering av visuell påverkan

Ofta används undersökningar med CV-metoden för att ta reda på individens betalningsvilja (WTP) för att undvika negativ visuell inverkan från kraftledningar. Dessa studier är dock mycket platsspecifika och kan ge stora skillnader i resultat. För att kablifiera närliggande kraftledningar visade en engelsk studie en betalningsvilja på ca 1 100 SEK (72 GBP) i en engångssumma (Atkinson, Day, Mourato, & Palmer, 2004) medan en norsk studie visade en betalningsvilja på ca 23 500 SEK (1 100 NOK per år) för en livslängd på 40 år (Navrud, Ready, Magnussen, & Bergland, 2008).

Studier för att värdera kraftledningars visuella och elektromagnetiska påverkan har också genomförts med den indirekta fastighetsvärdesmetoden (Bond & Hopkins, 2000). Problem kring en sådan värdering är svårigheten urskilja kraftledningens effekt bland de många variabler som styr fastighetsprissättning och att det därmed är svårt att statistiskt visa samband dem emellan.

3 Orientering: Miljöarbete inom elnätsbranschen

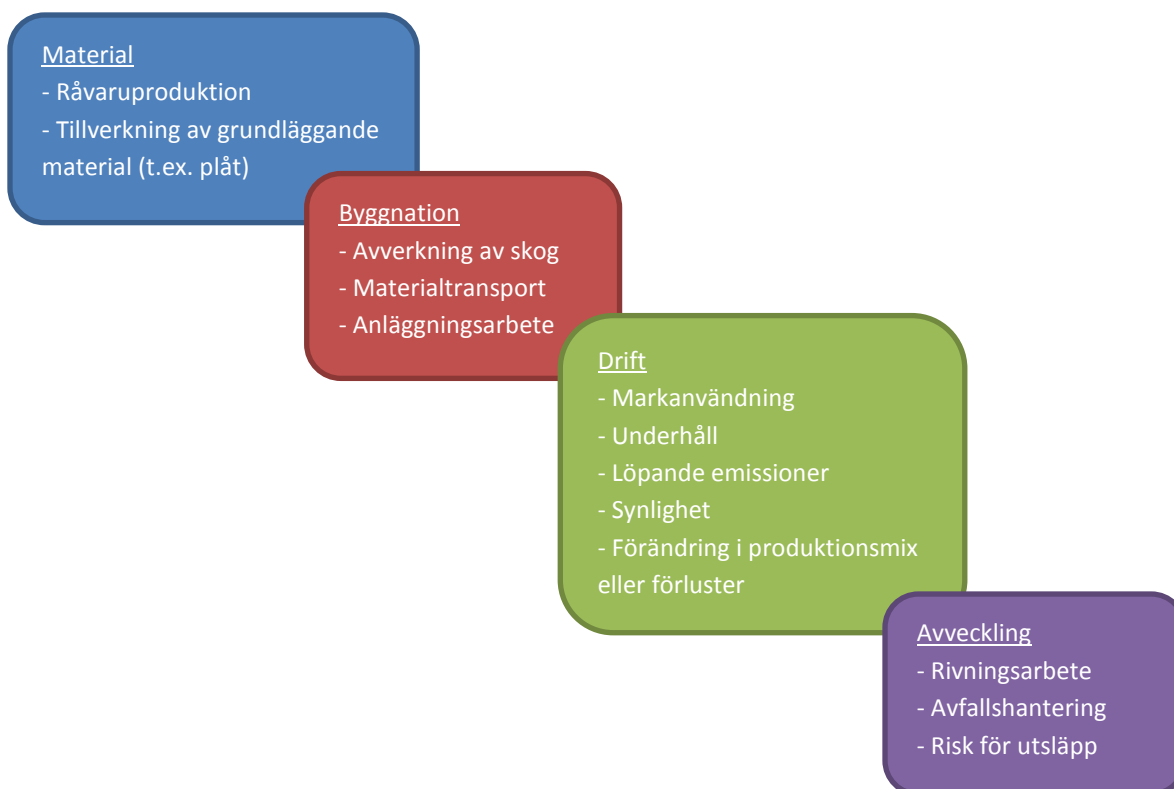
3.1 Miljöarbete på Svenska Kraftnät

På Svenska Kraftnät är miljöarbetet implementerat på många nivåer. Hela organisationen genomgår en miljöcertifiering enligt ISO 14001:2004 under hösten 2011. En miljöstab arbetar på övergripande nivå med samordning och strategiska frågor. Vid upphandling av entreprenader till anläggnings- och underhållsarbete ställs höga krav på miljömässighet. Enheten för mark och tillstånd genomför miljökonsekvensbeskrivningar inför koncessionssökandet. På enheten för Nätutveckling har det av tradition och nödvändighet varit fokus på driftssäkerhet, teknisk genomförbarhet och ekonomi. Det skulle dock vara en stor fördel att redan under nätutredningen göra en miljöbedömning och t.ex. kunna välja bästa möjliga teknik utifrån ett större perspektiv.

Det har gjorts tidigare försök att implementera miljövärderingsmetoder på Nätutveckling. De metoderna har byggt på att ett antal miljöpåverkanskategorier ska poängsättas. Ofta har den värderingen inte genomförts eftersom nätutredarna trots god kunskap om miljöpåverkan inte ansett sig ha tillräcklig kompetens inom värderingen av den. En ny metod bör alltså vara lätt att använda och ha antaganden kring värdering inbäddade.

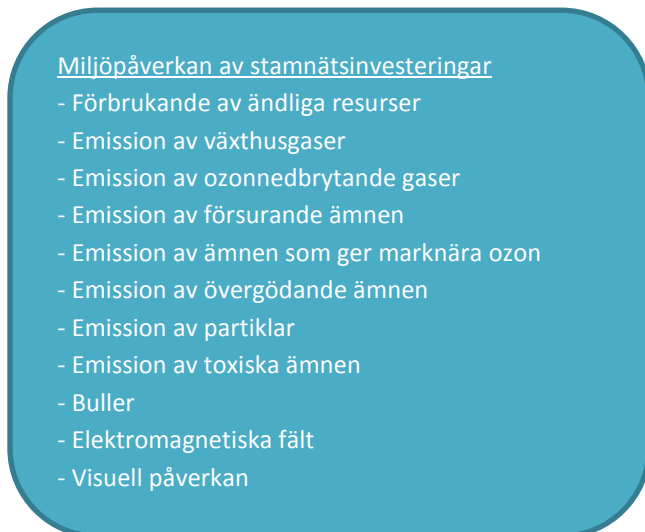
För att få överblick och god kunskap om Svenska Kraftnäts verksamhet kring investeringar genomfördes intervjuer med representanter från Nätutveckling, Miljöstaben, Mark och tillstånd, Nätförvaltning samt Nätinvestering. Sedan inventerades det redan genomförda miljöarbetet på SvK. Där ingick bl.a. en tidig LCA för elnät (Gärdenäs, Malmquist, Setterwall, & Brännström-Norberg, 1997) och den senaste miljöutredningen (Svenska Kraftnät, 2003). För att erhålla djupare kunskap om lokal miljöpåverkan av kraftledningar studerades aktuella miljökonsekvensbeskrivningar för SydVästlänken (Svenska Kraftnät, 2010a; Svenska Kraftnät, 2010b) och Järpströmmen – Nea (Svenska Kraftnät, 2006).

Efter genomförd inventering kunde följande system för miljöpåverkande aktiviteter kring en stamnätsinvestering ur ett livscykelperspektiv sammanställas, se figur 3.



Figur 3. Miljöpåverkande aktiviteter av en stamnätsinvestering ur ett livscykelperspektiv.

Den miljöpåverkan som aktiviteterna i livscykeln ger upphov till återfinns i figur 4.



Figur 4. Miljöpåverkan för elnät.

3.2 Miljöarbete hos övriga nordiska och svenska nättaktörer

Som en del i examensarbetet genomfördes en orientering av hur nätoperatörer i Norden arbetar med värdering av miljöpåverkan. Ett mail skickades till de tre övriga stamnätsoperatörerna i Norden samt till de tre största regionnätsoperatörerna i Sverige med frågor om hur de arbetar med miljövärdering av investeringar i elnätet.

Statnett är den norska stamnätsoperatören. De har undersökt möjligheten att värdera t.ex. estetik och landskapspåverkan kvantitativt men inte kommit fram till några konsistenta svar och de ser problem med de metodiker för värdering som finns för närvarande (Bjerke, 2011). Idag gör de en förstudie av mark och terräng med avseende på naturvärden, kulturarv, artdata, landskapstyp, bebyggelse och andra intressenter till varje planerat ledningsprojekt. De har också som princip att samla ingreppen, så att ett ledningsstråk i en gammal ledningsgata har företräde framför ett i obruten mark. I och med att miljöpåverkan för en elnätsinvestering inte värderas kvantitativt ingår den inte heller i den samhällsekonomiska analysen av investeringen. För att göra en kvalitativ bedömning av en investerings miljöpåverkan använder Statnett en metodik som tagits fram av norska Statens Vegvesen. Där poängsätts dels värdet på ett område och dels ingreppets storlek varpå dessa sedan adderas i en konsekvensmatrix för att erhålla den totala miljöpåverkan (Statens vegvesen, 2006).

Fingrid är den finska stamnätsoperatören. De ser miljöpåverkan som en faktor bland flera i en nätutredning och är beredda att ta in en del extra kostnader i ett projekt om det kan minska miljöpåverkan (Penttilä, 2011). Till varje större projekt (över 110 kV) görs en MKB för att utreda miljöpåverkan. De gör ingen monetär värdering.

Energinet.dk utnyttjar en utvecklad GIS-modell för att värdera påverkan på människor, detaljplaner, natur, landskap och kulturhistoria på en skala från 1 till 5 (Guldager Simonsen, 2011). Varje föreslaget teknikalternativ utreds separat för att sedan jämföras med de övriga alternativen. Denna bedömning ligger sedan tillsammans med teknik och ekonomi till grund för beslutet. De diskuterar möjligheten att göra en monetär bedömning.

Vattenfall tar upp beräknade överförings- och tomgångsförluster för olika investeringsalternativ i utredningsfasen och värderar dem i kr/år och ton CO₂/år (Sarközi, 2011). Ingen övrig kvantifierad miljöpåverkan ingår i utredningen. Vattenfall arbetar löpande med att göra livscykelanalyser och den senaste för deras elnät är från 2007. I den redovisas resultatet för lokal- och regionnät separat och presenteras som bidrag till förurning, växthuseffekt, övergödning, ozonuttunnning samt bildande av marknära ozon för en funktionell enhet av 1 MWh. Resultatet pekar på att överföringsförlusterna står för den största delen (trots att svensk elmix används för förlustvärderingen), men att även transporter och anläggningsmaskiner står för en icke-försumbar del.

E.ON låter miljöbedömningen i form av miljökonsekvensbeskrivning vara del i beslutsunderlaget för en planerad investering när det gäller teknik och sträckning (Eddegren, 2011). De gör ingen kvantifierad miljöbedömning.

Fortum tar i utredningsarbetet hänsyn till beräknade förluster och relaterar dem till koldioxidutsläpp (Guldbrand, 2011). Ingen ytterligare miljöpåverkan utreds på det stadiet.

3.3 Livscykelanalyser för elnät

Det har gjorts ett antal livscykelanalyser på elnät. Energinet.dk som är Svenska Kraftnäts motsvarighet i Danmark har genomfört en livscykelanalys på all dansk el med avseende på både produktion, transmission och distribution (Energinet.dk, 2010). Den funktionella enhet som använts är 1 kWh el levererad till slutkund och resultatet visar att elproduktion för att täcka förlusterna i nätet står för den största delen av miljöpåverkan. Den danska studien har gjort systemutvidgning för att hantera återvinningen av material i transmissionssystemet.

En livscykelanalys över det brittiska transmissionssystemet ger liknande resultat (Harrison, Maclean, Karamanlis, & Ochoa, 2010). Den fokuserar på koldioxidutsläpp och har den funktionella enheten 1 kWh överförd el, men redovisar även resultat i enheten 1 km ledning. Även här står elproduktion för kompensation av förluster av överförd energi för den största delen av miljöpåverkan, när det gäller koldioxid för 85 %. Denna LCA har liksom den danska gjort systemutvidgning för att hantera återvinningen av material, även om effekten av återvinningen står för en mycket liten del av miljöpåverkan när förlusterna är så dominerande. De klimatpåverkande utsläppen för det brittiska transmissionsnätet är 11 g CO₂-ekv/kWh eller 6 300 ton CO₂-ekv/km.

En norsk studie har gjort en allmän europeisk livscykelanalys på elnätets ledningar (Jorge, Hawkins, & Hertwich, 2011) och ställverk (Jorge, Hawkins, & Hertwich, 2011). Studierna använder den funktionella enheten km ledning respektive en apparat eller en del av ställverket och använder sig av en färdig modell för miljöpåverkansbedömning, ReCiPe 2008 med hierarkiskt perspektiv. De klimatpåverkande utsläppen från infrastrukturprocesser (förluster borträknade) för 400 kV luftledning är ca 550 ton CO₂-ekv/km utan återvinning och ca 350 ton CO₂-ekv/km med återvinning. Studien för ledningar visar vidare att påverkan från infrastrukturprocesser är störst från materialframställning till ledare och stolpar, vilka har högt metallinnehåll. De klimatpåverkande utsläppen från infrastrukturprocesser (förluster borträknade) för transformatorer är nästan 2 000 ton CO₂-ekv/apparat. Det är dock även i detta fall förlusterna som indirekt står för den största delen av miljöpåverkan och där räknas både tomgångsförluster och förluster under drift in.

4 Utformande av verktyg för miljövärdering

4.1 Val av metod och kategorier för miljöpåverkansbedömning

ReCiPe 2008 valdes som miljöpåverkansmetod till verktyget eftersom dess föregångare (Eco-indicator 99) var erkänd och utbredd, den erbjuder kategorier både på mittpunkts- och slutpunktsnivå samt att den finns implementerad i databasen Ecoinvent och programvaran SimaPro. Under sammanräkningen av miljöpåverkan till kategorier valdes det hierarkiska perspektivet med anledning av att detta perspektiv rekommenderas som standard och att verktygets slutresultat avser spegla den miljöpåverkan som är konsensus bland forskare och politiker.

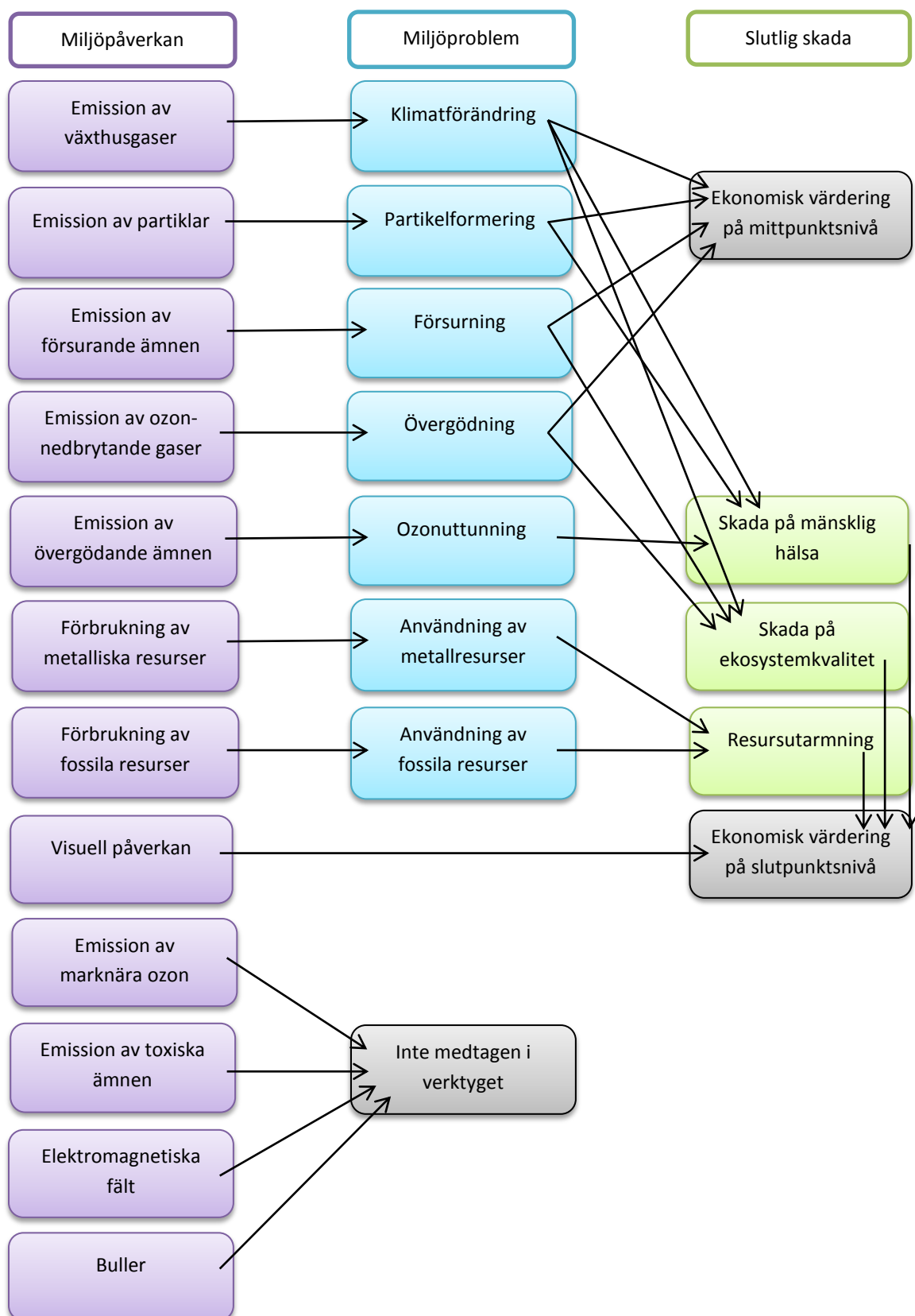
För att bedöma den miljöpåverkan som aktiviteter vid en investering i stamnätet medför (se figur 3) valdes miljöpåverkanskategorier vid både mittpunkt och slutpunkt. De kategorier som valts ingår i tabell 1.

Tabell 1. Miljöpåverkanskategorier som valts till detta verktyg för studier av stamnätsinvesteringar.

Miljöpåverkanskategorier	Typ	Enhet	Ekonomisk värdering
Klimatförändring	Mittpunkt	kg CO ₂ -ekv	Genomförd
Ozonuttunning	Mittpunkt	kg CFC-11-ekv	Ej genomförd
Partikelformering	Mittpunkt	kg PM ₁₀ -ekv	Genomförd
Försurning	Mittpunkt	kg SO ₂ -ekv	Genomförd
Övergödning	Mittpunkt	kg P-ekv	Genomförd
Användning av metallresurser	Mittpunkt	kg Fe-ekv	Ej genomförd
Användning av fossila resurser	Mittpunkt	kg oljeekv	Ej genomförd
Skada på mänsklig hälsa	Slutpunkt	DALY	Genomförd
Ekosystemets biodiversitet	Slutpunkt	försvunna arter/år	Genomförd
Resursutarmning	Slutpunkt	\$	Genomförd

För slutlig skada valdes alla slutpunktskategorier som ingår i ReCiPe 2008. För miljöproblem valdes sju mittpunktskategorier utifrån kriterierna att redovisa de huvudsakliga delarna av en investerings miljöpåverkan samt efter vilka miljöproblem som är brukligt att visa i en LCA för att öka jämförbarheten.

Mittvärderingen är en ekonomisk värdering utav fyra av mittpunktskategorierna (miljöproblem) och slutvärderingen är en ekonomisk värdering av samtliga slutpunktskategorier (den slutliga skadan). Även om inte alla mittpunktskategorier värderas så kommer den skada som miljöpåverkan från dessa kategorier bidrar till, att värderas i slutvärderingen. Ett exempel på detta är användning av ändliga resurser som inte värderas på mittpunktsnivå, men vars skada på slutpunkten resursutarmning får mycket stor betydelse på slutresultatet. För att se sambandet mellan olika miljöpåverkanskategorier, miljöproblem och slutlig skada samt värderingarna ritades en schematisk bild över hela det studerade systemet upp, se figur 5.



Figur 5. Samband mellan miljöpåverkan, miljöproblem och slutlig skada samt vilka delar som ingår i de ekonomiska mitter- och slutvärderingarna.

4.2 Datainsamling och -behandling

4.2.1 Schabloner för materialåtgång

Uppgifter om stamnätets miljöpåverkan i form av materialåtgång, bränsleåtgång för byggande och underhåll samt markanvändning har samlats in från Svenska Kraftnäts verksamhet genom kontakter med projektledare, ingenjörer inom planering och underhåll samt miljöstab. De tekniker som behandlats har valts av nätplanerare på Svenska Kraftnät och återfinns i tabell 2.

Tabell 2. Tekniskspecifikation för ledningar enligt Svenska Kraftnät.

Ledning	Spänning (kV)	Ledararea (mm ²)	Ledare	Övrigt
AC Luftledning	400	3x910	Al-59	Stadgad stolpe typ A1
AC Markkabel	400	3x2500	Koppar	
HVDC Luftledning	500	3x774	Al-59	Ostadgad stolpe typ julgran
HVDC Markkabel	300	2000	Aluminium	Kopparskärm
HVDC Sjökabel	300	1700	Aluminium	Blyskärm

De material som åtgår till en standardiserad kilometer elnät med luftledning (Carlshem, 2011) och kabel (Gehlin, 2011) sammanställdes och återfinns i tabell 3. För kabel är materialåtgången något underskattad, eftersom materialet till kabelskarvar inte ingår. För de tre HVDC-teknikerna har strömriktarna inte inkluderats. Hade de varit med hade materialåtgången ökat avsevärt.

Tabell 3. Materialåtgång för ledningar i stamnätet (Carlshem, 2011; Gehlin, 2011).

Material (kg/km)	AC Luft	AC Mark	HVDC Luft	HVDC Mark	HVDC Sjö
Aluminium	24 255			11 000	11 000
Armering			5 539		
Betong			211 600		
Bitumen		4 500		1 000	1 000
Bly					21 000
Glas	1 047		835		
Koppar	452	212 900	452	2 200	
Kreosot	445				
Polyeten		92 000		13 000	10 350
Polypropylen					17 700
Sand		2 100 000		700 000	200 000
Stål	26 424		25 793		14 000
Träsyll	5 063				
Zink	529		515		

För en standardiserad station användes materialdata från en LCA från ABB (Arnell, 2010). Stationen som undersöktes i LCA:n var ett ställverk med fem ledningsfack, ett transformatorfack och två mätfack. LCA:n behandlar skillnaderna mellan gasisolerat ställverk, konventionellt luftisolerat ställverk och luftisolerat ställverk med frånskiljande brytare och dubbelbrytarkonfiguration. Den senare typen är den som Svenska Kraftverk normalt bygger i nya stationer. För att räkna upp materialåtgången till 400 kV ställverk, vilket är det som betraktas i verktyget, multipliceras alla

massor med en uppskalningsfaktor på 1,4 (Ugarte Delgado, 2011). Materialåtgången beräknades sedan per ledningsfack och återfinns i tabell 4. Åtgång av material under 28 kg per fack har försumrats. Stationsbyggnad och kontrollutrustning har inte medtagits i verktyget eftersom dessa kräver indata på en mycket högre detaljnivå än andra delar i verktyget.

Transformatorer ägs av Svenska Kraftnät om de transformerar spänning från 400 till 220 kV. En vanlig storlek på en sådan transformator är 750 MVA (Schönborg, 2011). Även transformatorer som transformerar spänning från 400 till 130 kV ska räknas med i verktyget, även om dessa inte kommer ägas av SvK. När det gäller reaktorer ägs de vanligen av Svenska Kraftnät och en typisk storlek är 150 MVA. Materialåtgång för transformator och reaktor återfinns i tabell 4.

Tabell 4. Materialåtgång för stationer i stamnätet (Arnell, 2010; Ugarte Delgado, 2011).

Material (kg/st)	Ledningsfack	Transformator	Reaktor
Aluminium	7 793		
Betong	182		
Glasfiber	865		
Koppar	1 415	59 200	16
Papper	590		1 600
Polyeten	187		
Porslin	6 353		
Sand	3 024		
SF6	131		
Silikongummi	1 287		
Stål	45 122	273 800	80 000
Trafoolja	1 579	87 000	35 000
Träsyll	81		
Zink	227		

Som densitet för betong antogs ett värde på 2300 kg/m³ (Portland Cement Association, 2011).

Uppgifter om miljöpåverkan från materialframställning och -transporter har modellerats i programvaran SimaPro. För varje material har livscykeln följts från vaggan till en grundläggande förädlad produkt, såsom plåt eller granulat. Har en nordisk tillverkningsprocess funnits tillgänglig i databasen har denna använts, i andra hand har europeiskt snitt använts och i tredje hand schweiziskt/tyskt. Själva tillverkningsprocessen för den specifika produkt som ingår i elnätet ingår alltså inte. Detta beror på att en fullständig inventering av alla produktcykler inte bedömdes vara möjlig att genomföra inom ramen för detta arbete samt att själva framställningen av material oftast har störst miljöpåverkan.

Stål har antagits vara låglegerat (Erlandsson & Almemark, 2009). Eftersom återvinningsgraden av det använda stålet uppskattas till 75 % antas även det material som kommer in i det studerade systemet vara återvunnet till 75 %. Mängden nytt stål uppskattas på motsvarande sätt till 25 %. På detta sätt kan återvinningens miljövinster räknas in i den studerade livscykeln och systemutvidgning undviks. Det återvunna stålet behandlas i ljusbågsugn och det nya stålet i LD-konverter. Efter detta antas stålet genomgå varm- och kallvalsning. Slutligen antas det att stålet galvaniseras genom

zinkdoppning. Själva galvaniseringen modelleras inte, men zinkåtgången modelleras fram till och med tillverkning av plåt.

Aluminium antas på samma sätt komma från 60 % återvunnen metall (varav 40 % från nytt skrot och 20 % från gammalt skrot) och 40 % ny metall. Även aluminium antas genomgå valsning. För koppar har 75 % återvunnen koppar och 25 % ny koppar antagits. Återvinningsgraden för koppar i luftledningsnätet är hög. Svenska Kraftnät har ännu inte behövt skrota kablar, men det är rimligt att anta att en markkabelinvestering efter livslängdens slut är ekonomiskt lönsam att gräva upp och återvinna (Gehlin, 2011). Fördelningen mellan återvunnen och ny koppar väljs därför till samma som för stål. För koppar antas valsning och dragning till tråd. Det bly som ingår i sjökabel antas till 25 % vara primärt bly och till 75 % vara återvunnet bly.

Det antas att kreosot framställs ur destillation av tjära (Erlandsson & Almemark, 2009). Miljöpåverkan från tillverkningen allokeras lika mellan 1 kg kreosot och 1 kg tjära. Mängden kreosot uppskattas till 6 % av den totala produkten från destillationen. För det bitumen som ingår betraktas endast raffinaderiprocessen. För transformatorolja görs en grov uppskattning med att tillverkningsprocessen kan jämföras med utvinning av lätt eldningsolja.

För träsyll antas att det framställs med liknande process som sågat timmer. Densiteten på rå gran sattes till 750 m³ f (SkogsSverige, 2011). För porslin till isolatorer antas processen för tillverkning av sanitetsporslin vara likartad. Isolatorglas har uppskattats till att motsvara produktion av platt, obestruket glas. Glasfiber modelleras med ett europeiskt snitt för glasfibertillverkning. Silikongummi approximeras med tillverkning av syntetgummi, som är ett samlingsnamn där bl.a. silikongummi ingår. Papper för isolering i apparater har antagits ha samma tillverkningsprocess som oblekt förpackningspapper från kemisk massa.

Den polyeten som ingår har antagits vara av typen HDPE. Processen innefattar enbart produktion av granulär. Manteln på sjökabel för HVDC har antagits bestå av 40 % polypropylen och 60 % garn (volymsprocent). Den propylen som ingår har antagits vara kristallin och tillverkningsprocessen approximeras med framställningen av granulär. För båda plasterna har 50 % återvinning antagits i avvecklingsfasen medan produktionen enbart bygger på primär råvara.

4.2.2 Schabloner för byggnationsfasen

En livslängd för ledningar och stationer på 40 år har antagits efter riktlinjer från nätplanerare på Svenska Kraftnät.

Sedan 2009 ställer Svenska Kraftnät i sina tekniska riktlinjer för miljökrav i upphandling krav på att bränsleförbrukning och medförande koldioxidutsläpp ska rapporteras för alla projekt (Svenska Kraftnät, 2009). Entreprenören rapporterar faktisk eller uppskattad förbrukning till projektledaren eller direkt in i Svenska Kraftnäts dokumentationssystem. Eftersom uppskattningen och rapporteringen inte pågått under mer än två år så är dessa siffror än så länge att se som preliminära. Dessutom finns det än så länge få avslutade anläggningsprojekt och detta ger en stor osäkerhet i schablondata, men eftersom detta är den information som finns tillgänglig för närvarande så är det dessa data som kommer användas. För luftledning, markkabel och sjökabel har bränsleåtgången i ett projekt var beaktats. För stationer har bränsleåtgången i fyra projekt beaktats. Bränsleförbrukningar kan enkelt uppdateras i verktyget allteftersom dataunderlaget blir bättre.

Avrundade siffror för bränsleförbrukning återfinns i tabell 5. I tabellens siffror ingår bränsleförbrukning för både själva anläggningsarbetet och personaltransporter, dock inte för materialtransporter. Vad gäller drivmedel så har data för densitet på bensin, alkylatbensin samt diesel tagits från branschen (OKQ8, 2011). Bränsleåtgången vid stationsbygge har fördelats från hela stationsprojekt över antalet ledningsfack, vilket medför att även anläggningskostnader för transformator och/eller reaktor finns inbäddade där.

Tabell 5. Bränsleåtgång för anläggningsarbete enligt Svenska Kraftnät.

Bränsleåtgång	Luftledning (/km)	Markkabel (/km)	Sjökabel (/km)	Station (/ledn.fack)
Bensin (l)	6 000	0	20	50
Diesel (l)	8 000	23 000	400	5 000

När en ledning ska dras genom skogsmark behöver skogen avverkas. För en luftledning behövs en ledningsgata med bredden 44 m och för kabel behövs en ledningsgata med bredden 8 m (Svenska Kraftnät, 2010). I avverkningsarbetet används dels en skördare som kapar träden och dels en skotare som står för terrängtransporten fram till bilväg. Bränsleförbrukningen varierar med stammarnas volym och terrängen men kan i medeltal uppskattas ligga på 1 l/m³ för skördare och 0,5 l/m³ för skotare (Gustafsson, 2011). Virkesvolymen per hektar varierar stort över landet. Statistik över virkesförråd och skogsmarksarealer återfinns i tabell 6 (Nilsson & Cory, 2011). I statistiken räknas virkesvolymen per skogskubikmeter (m³sk), men här har de räknats om till fastkubikmeter under bark (m³fub) (SkogsSverige, 2011).

Tabell 6. Virkesvolymen per landsdel (Nilsson & Cory, 2011).

Virkesvolymen i Sverige	Norrland	Svealand	Götaland
Totalt virkesförråd (miljoner m ³ fub)	1 250	696	756
Areal skogsmark (tusen ha)	16 835	5 970	5 472
Virkesförråd (m ³ fub/km luftledning)	3 279	513	608
Virkesförråd (m ³ fub/km kabel)	59	93	111

Vad gäller materialtransporter antas det att materialet transporteras från fabrik i Mellaneuropa till respektive landsdel, se tabell 7. Det antas vidare att materialet transporteras på lastbil med lastvikt på 16 ton och fyllnadsgrad på 50 %. För sand antas det att transportsträckan är 50 km oberoende av landsdel eftersom sand hämtas i lokala grustag.

Tabell 7. Antagna transportavstånd för material.

Materialtransport (km)	Till Norrland	Till Svealand	Till Götaland
Från Mellaneuropa	2 000	1 500	1 000

4.2.3 Schabloner för driftsfasen

Det underhåll som genomförs på ledningar och stationer under driftsfasen står för viss miljöpåverkan. För det skogliga underhållet på ledningar krävs röjning, avverkning och besiktning (Bjermkvist, 2011) samt driftsbesiktning med helikopter (Dahlström, 2011), se tabell 8. Ledningsunderhåll utförs inte varje år, men i sammanställningen slås bränsleåtgången ut per år i

drift. Stationsunderhåll har inte inkluderats i verktyget eftersom det skulle förutsätta att en modell för separata persontransporter utvecklades.

Tabell 8. Bränsleåtgång vid underhåll på ledningar per år i drift (Bjermkvist, 2011; Dahlström, 2011).

Bränsleåtgång vid underhåll	(l/km)	Bränsletyp
Driftsbesiktning med helikopter	0,47	jetbränsle
Luftledning		
Röjning	5,63	bensin
Skogsbesiktning	1,50	bensin
Kantträdsavverkning	6,25	diesel
Röjningsbesiktning	0,50	bensin
Extra röjningsbesiktning	0,13	bensin
Kabel		
Röjning	1,67	bensin

Skog lagrar under tillväxtfasen in kol från atmosfären genom fotosyntesen. En investering i stamnätet som innebär landanvändning där det tidigare varit skogsmark medför alltså en indirekt miljöpåverkan. Koldioxidinlagringen motsvarar ungefär 720 kg/m³fub tillväxt (Bergh, 2011). Den årliga tillväxten skiljer sig åt för olika delar av landet, men i tabell 9 visas medelboniteter (Nilsson & Cory, 2011). Boniteten för södra och norra Norrland redovisas i tabellen som ett medelvärde för hela Norrland.

Tabell 9. Skoglig tillväxt per år i landets tre delar (Nilsson & Cory, 2011).

Tillväxt	Norrland	Svealand	Götaland
Medelbonitet (m ³ /ha/år)	3,6	6,2	8,6
Medelbonitet (m ³ /km luftledning)	15,8	27,3	37,8
Medelbonitet (m ³ /km kabel)	2,9	5,0	6,9

Det område som påverkas av den minskade tillväxten är dels själva skogsgatan och dels de sidoområden som omger skogsgatan. För att minska risken för att ett träd faller ner på en ledning finns det intill skogsgatan sidoområden inom vilka trädhöjden är begränsad med avseende på avståndet till ledningens ytterfas. Den minskade tillväxt som blir konsekvensen vid avverkning av dessa kanträd bedöms dock vara försumbar i jämförelse med den totala tillväxtminskningen i skogsgatan.

En stor del av elnätets miljöpåverkan kan, enligt tidigare genomförda livscykelanalyser, härledas till de resistiva förluster som under drift uppstår i ledningar och stationsutrustning och den elproduktion som krävs för att täcka dem (se avsnitt 3.3). När enheten för Nätutveckling genomför studier kring planerade investeringar undersöks vanligen hur förlusterna i nätet förändras i och med investeringen. Många gånger leder en nätinvestering till en minskning av det totala systemets förluster. Om investeringen har en mindre omfattning och är av intern karaktär undersöks enbart det svenska stamnätets förluster. Denna förlustförändring värderas lämpligen med en svensk produktionsmix för el eftersom det är produktion inom det studerade systemet som täcker förlusterna. Ett scenario för den svenska produktionsmixen 2020 har använts som underlag för detta

(Energimyndigheten, 2011), se tabell 10. För att se vilken miljöpåverkan som elproduktion från de olika bränsleslagen medför, se bilaga A.

Tabell 10. Ingående bränsleslag i den svenska produktionsmixen 2020 (Energimyndigheten, 2011).

Bränsleslag	Andel (%)
Avfall och bioenergi	11,37
Brunkol	0
Gas	1,09
Kärnkraft	41,49
Olja	0,06
Sol	0
Stenkol	0
Vatten	39,43
Vind	6,46
Övrigt	0,1
SUMMA	100

Om investeringen som undersöks är en utlandsförbindelse undersöks investeringen i en marknadsmodell. I en sådan modell simuleras hela det nordiska eller europeiska elsystemet med avseende på produktion, konsumtion, överföringskapacitet och bränslepriser. Som resultat erhålls först ett referensscenario med prisbildning, producent- och konsumentnytta samt samhällsekonomisk nytta per område. Mot detta referensscenario undersöks sedan t.ex. en investering i nätet och då erhålls bl.a. förändringarna i kraftflöden mellan områden (t.ex. länder eller elprisområden) och vilka förändringar som sker i produktionsmixen. Dessa förändringar i produktionsmix kan sedan värderas på samma sätt som förlusterna.

Elproduktion från samma bränsle kan ha olika miljöpåverkan i olika länder och i olika kraftverk. Därför har nordiska kraftverk valts i största möjliga mån när miljöpåverkan från elproduktion från respektive bränsleslag har modellerats i SimaPro. I de fall som sådana data saknats i databasen har europeiska kraftverk med liknande teknik studerats. När det gäller brunkol så har ett tyskt kraftverk studerats eftersom det ofta är tysk brunkolsel som ersätts när Sverige exporterar el. Samtliga geografiska och tekniska antaganden som gjorts kring produktionsmixen redovisas i tabell 11.

Tabell 11. Geografiska och tekniska antaganden kring elproduktion från de bränslen som ingår i produktionsmixen efter modellering i SimaPro.

Bränsleslag	Geografi	Antagande om teknik
Avfall och bioenergi	Schweiz	Biologiskt avfall
Brunkol	Tyskland	
Gas	Norden	
Kärnkraft	Tyskland	Kokvattenreaktor
Olja	Sverige	
Sol	Sverige	
Stenkol	Norden	
Vatten	Sverige	
Vind	Europa	

4.2.4 Schabloner för rivningsfasen

Bränsleåtgång vid rivningsfasen antas motsvara 80 % av den vid byggfasen, enligt en uppskattning från byggprojektledare på Svenska Kraftnät. De avfallsscenario som antas för ingående material återfinns i tabell 12. Samma återvinningsgrad har antagits både in i och ut ur systemet, se avsnitt 4.2.1. Miljövinster med återvinning tillfaller då det studerade systemet direkt från början utan att en systemutvidgning behöver göras.

Eftersom glas och porslin ingått i isolatorer antas det att hela mängden deponeras (Gärdenäs, Malmquist, Setterwall, & Brännström-Norberg, 1997). Glasfiber och zink antas gå till deponi eftersom återvinning av dessa material, i de former de ingår i elnätet, inte beräknas bli kommersiell under investeringens livslängd. När det gäller armering, betong och träsyllar så lämnas fundamenten i marken när ledningen rivs. Detta approximeras med att de går till deponi. Sand lämnas också i marken, men dess miljöpåverkan i det stadiet försummas. Papper, silikongummi, transformatorolja och SF6 som ingår i apparater och bitumen som ingår i kablar antas efter demontering energiåtervinnas genom förbränning. Av i kablar ingående polyeten och polypropylen antas hälften materialåtervinnas och hälften energiåtervinnas.

Tabell 12. Avfallsbehandling av ingående material.

Material	Återvinning (%)	Förbränning (%)	Lämnas i mark (%)	Deponi (%)	Läckage (%)
Aluminium	60			40	
Armering			100		
Betong			100		
Bitumen		100			
Bly	75			25	
Glas				100	
Glasfiber				100	
Koppar	75	25			
Kreosot		30			70
Papper		100			
Polyeten	50	50			
Polypropylen	50	50			
Porslin				100	
Sand			100		
SF6	94				6
Silikongummi		100			
Stål	75			25	
Trafoolja		100			
Träsyll			100		
Zink				90	10

Utöver återvinning, deponi och förbränning antas läckage vara en typ av avfall. För kreosot antas 70 % läckage under livstiden på grund av urlakning och för zink antas 10 % läckage på grund av korrosion på det galvaniserade stålet. För stål antas det att 1,2 % förloras genom korrosion under livstiden och de i stålet ingående ämnena antas läcka proportionellt mot innehållet i låglegerat stål, se tabell 13 (Erlandsson & Almemark, 2009).

Tabell 13. Ingående ämnen i låglegerat stål (Erlandsson & Almemark, 2009).

Ämne	Andel (%)
Järn	99
Krom	0,09
Nickel	0,09
Mangan	0,73
Molybden	0,01

För SF6 antas ett årligt läckage på 0,10 % (Arnell, 2010) samt ett läckage vid själva rivningen på 2 % (Vattenfall, 2007), vilket totalt motsvarar 8 %. I övrigt antas det att SF6 återvinns.

4.3 Val och anpassning av värderingar för miljöpåverkan

4.3.1 Ekonomisk värdering av mittpåverkan

De mittpunktskategorier för miljöpåverkan som ingår i verktyget har redovisats i avsnitt 4.1. Dessa är klimatpåverkande, partikelformerande, försurande och övergödande utsläpp samt resursutarmning av metaller och fossila råvaror.

4.3.1.1 Utsläpp av koldioxid

När det gäller värdering av koldioxidutsläpp skiljer sig meningarna kraftigt hos både klimatforskare och miljöekonomer. Trafikverket utgår från ansatsen att värderingen bör spegla den marginella skadekostnad som ytterligare 1 kg koldioxid beräknas orsaka (Hjort & Tenskog, 2008). Problematiken kring att ta fram en sådan skadekostnad rör bl.a. osäkerheten kring klimatförändringens långsiktiga konsekvenser samt avväganden kring vilken diskonteringsränta som bör användas. Tills vidare rekommenderar Trafikverket en värdering på 1,50 SEK/kg och det är denna värdering som valts som standard till verktyget. Denna siffra beräknades 1999 som marginalkostnaden för att nå etappmålet att inte öka från 1990 års nivå fram till 2010. Under senare revideringar har kopplingen till detta mål tagits bort, och värderingen har därmed inte heller räknats upp med KPI. Skulle värderingen bibehållits vid detta mål hade en kraftig uppräkningsbehövt ske. Om värderingen däremot skulle kopplas till skatter eller andra priser skulle det behöva räknas ner. Trafikverket rekommenderar också att en värdering på 3,50 SEK används som känslighetsanalys.

ExternE rekommenderar en värdering på 0,19 SEK/kg om undvikandekostnad används som värderingsmetod och en holländsk nationell värdering på 0,50 SEK/kg som övre gräns för känslighetsanalys (Bickel & Friedrich, 2005). Som undre gräns för en värdering av koldioxid kan värdet för en utsläppsrätt användas. Värdet för en utsläppsrätt under 2010 var ungefär 14 €/ton (Statistiska centralbyrån, 2010) vilket omräknat blir 0,13 SEK/kg. För samtliga värderingar av koldioxid, se tabell 14.

Tabell 14. Värdering av utsläpp av koldioxid år 2010 i SEK/kg.

Värdering av CO ₂ -utsläpp			
Studie	ExternE	Vägverket	Utsläppsrätt
Geografiskt område	EU	Sverige	EU
Medel	0,19	1,5	0,13
Övre gräns	0,5	3,5	

4.3.1.2 *Utsläpp av kväveoxider, svaveldioxid och partiklar*

Två stora studier som värderar extern kostnad för utsläpp av kväveoxider, svaveldioxid och partiklar är Trafikverkets kalkylvärden (f.d. Vägverket) och EU-projektet Clean Air For Europe (CAFE). CAFE-studien publicerades 2005 och använder sig av skadekostnadsmetoden (Holland, Pye, Watkiss, Droste-Franke, & Bickel, 2005). Den tar hänsyn till hälsa samt skador på jordbruksproduktion, men tar inte hänsyn till skador på material, ekosystem och kulturarv. CAFE-studien har publicerat siffror som är ett slags snitt mellan påverkan ur regionalt perspektiv och tätortsperspektiv. När det gäller geografisk upplösning presenteras värderingar för utsläpp i alla ingående länder i EU-25 utom Cypern samt ett snitt för hela området. På grund av att spridningsmodeller etc. har avgränsats till området EU-25 ges säkrast värden för länderna i Centraleuropa, medan länder i periferin får siffror med större osäkerhet på grund av gränseffekter. CAFE presenterar alltså ett specifikt värde för utsläpp i Sverige, men detta undviks av två anledningar. För det ena så antas all produktion av material till det studerade systemet ske i Europa och för det andra bedöms tillförlitligheten i resultaten för Sverige vara begränsad.

Trafikverkets kalkylvärden är prissatta till 2006 och gäller svenska förhållanden (Hjort & Tenskog, 2008). De utgår från undvikandekostnad för sina värderingar. Värderingen av kväveoxider bestämdes utifrån miljöavgiften för energisektorns kväveutsläpp, vilken i sin tur bestämts utifrån den kritiska belastningsgränsen för dessa utsläpp. Värderingen av svaveldioxid har på motsvarande sätt bestämts utifrån svavelskatten som även den baserats på den kritiska belastningsgränsen. Trafikverket har valt att dela upp sina värderingar i regionala utsläpp och tätortsutsläpp.

Generellt sett passar en värdering av utsläpp (mittvärderingen) gjord utifrån skadekostnad bättre än en värdering utifrån undvikandekostnad, eftersom jämförelsen mellan värderingarna på mittpunktsnivå och slutpunktsnivå då blir mer kongruent. Detta talar för att använda värderingar från CAFE-studien. Å andra sidan sker utsläppen inom det studerade systemet oftast antingen i energiproduktionsanläggningar eller i anläggningsprojekt utanför tätort, vilket talar för Trafikverkets värden som har särredovisat just kostnader för regionala utsläpp, medan det i CAFE-studiens värderingar är inbakat en kostnad för tätortsutsläpp. Detta bedöms dock vara av mindre betydelse än skillnaden i värderingsmetod. För en översyn av studiernas värderingar se tabell 15.

Tabell 15. Värdering av NO_x, SO₂ och PM år 2010 i SEK/kg.

Värdering av utsläpp		
Studie	CAFE	Vägverket
Geografiskt område	EU-25	Sverige
NO _x	82	80
SO ₂	111	27
PM	512	-

För värdering av kväveoxidutsläpp har CAFE-studiens värdering för EU-25 på 76 SEK/kg (Holland, Pye, Watkiss, Droste-Franke, & Bickel, 2005) använts i verktyget och räknats upp med KPI till 82 SEK/kg i 2010 års prisläge. Denna värdering ligger i samma storleksordning som Trafikverkets trots att olika metoder och omfång använts. Värderingen för kväveoxid har sedan räknats om till en värdering för fosfor, eftersom metoden för miljöpåverkansbedömning som används (ReCiPe 2008) redovisar

övergödande utsläpp i fosforekvivalenter. Karakteriseringsfaktorn för kväveoxid är 0,13 kg PO₄³⁻ ekv/kg och för fosfor 3,06 kg PO₄³⁻-ekv/kg vilket leder till en värdering på 3,48 SEK/kg P-ekv.

Även för värdering av svaveldioxidutsläpp har CAFE-studiens värdering för EU-25 använts i verktyget. Kostnaden bestämdes till 102 SEK vilket uppräknat blir 111 SEK. Trafikverkets värdering skiljer sig markant från detta genom att ligga på ungefär en fjärdedel av kostnaden.

För partiklar har inte Trafikverket redovisat någon kostnad för regionala utsläpp (utan enbart för tätort), så där väljs CAFE-studiens värdering på 474 SEK/kg till användning i verktyget. Uppräknat till 2010 års prisnivå motsvarar det 512 SEK/kg.

4.3.2 Ekonomisk värdering av slutpåverkan

De slutpunktskategorier för miljöpåverkan som ingår i verktyget har redovisats i tabell 1. Dessa är påverkan på mänsklig hälsa, påverkan på ekosystemkvalitet och resursutarmning.

4.3.2.1 Mänsklig hälsa

Ett funktionsjusterat levnadsår (DALY) värderas på två sätt. För att ta fram ett lägre värde enligt humankapitalmetoden används Sveriges bruttonationalprodukt per capita för 2010 på 352 700 SEK (Statistiska centralbyrån, 2011). För att ta fram ett högre värde används värdet på ett statistiskt liv (VSL). För samhällsekonomiska analyser i Sverige rekommenderas ett värde på en VSL på 21 MSEK för offentligt utförda åtgärder (Hultkrantz & Svensson, 2008). Detta är också det värde som Trafikverket anger i sina rekommenderade kalkylvärden (Hjort & Tensskog, 2008). Antalet diskonterade förlorade levnadsår för en vuxen persons död i Sverige uppskattas till 19,2 år (Persson & Hjelmgren, 2003). Därmed kan värdet på en DALY uppskattas till 1,1 MSEK.

4.3.2.2 Ekosystemens biodiversitet

Efter resonemanget i avsnitt 2.3.5.2 att enbart ca 13 % av världens arter är kända och allmänhetens kunskap inom begreppet biodiversitet är klart begränsad valdes inte någon studie med CV-metoden som grund för värderingen av biodiversitet. Istället valdes återställandekostnad som en relevant metod. I ett europeiskt forskningsprojekt knutet till ExternE beräknades återställandekostnaden per potentiellt försvunnen andel arter (potentially disappeared fraction of species, PDF) och m² för återställande av bebyggd mark till ett antal olika marktyper (Ott, Baur, Kaufmann, Frischknecht, & Steiner, 2006). Potentiellt försvunnen andel arter är en enhet för att mäta artdiversitet, vilken används i en del metoder för miljöpåverkansbedömning. Den är ett tal mellan 0 (då alla förväntade arter i ett område påträffas) till 1 (då alla förväntade arter inom ett område har försvunnit). För att räkna om från andel arter till antal arter (vilket är den enhet som ReCiPe 2008 använder) så multipliceras andelen arter med den aktuella artdensiteten för området (Goedkoop, Heijungs, Huijbregts, Schryver, Strujis, & van Zelm, 2009). För att räkna om värderingen per PDF och m² till en värdering per antal arter får värderingen per PDF och m² då istället divideras med artdensiteten.

Artdensiteten för land (vilket är det område som betraktas) är 1,38*10⁻⁸ arter/m² (Goedkoop, Heijungs, Huijbregts, Schryver, Strujis, & van Zelm, 2009). Den genomsnittliga återställningskostnaden per PDF och m² för EU-25 är 1,30 EUR (Ott, Baur, Kaufmann, Frischknecht, & Steiner, 2006). Det ger en återställningskostnad per art på 72,5 MSEK, omräknat till 2010 års prisnivå. Se även tabell 16.

Tabell 16. Värdering av arter utifrån återställandekostnad för EU-25 (Ott, Baur, Kaufmann, Frischknecht, & Steiner, 2006; Goedkoop, Heijungs, Huijbregts, Schryver, Strujis, & van Zelm, 2009).

Värdering av ekosystemens biodiversitet	
Återställandekostnad per PDF och m ²	1,30 (EUR/PDF/m ²)
Artdensitet på land	1,38*10 ⁻⁸ (arter/m ²)
Återställandekostnad per art	72,5 (MSEK/art)

4.3.2.3 Resursutarmning

Resursutarmning värderas som den marginella kostnadsökningen på ändliga resurser som följer av resursanvändningen. Denna kostnadsökning erhålls direkt från metoden för miljöpåverkansbedömning som valts (ReCiPe 2008) genom att förändringen i kostnad divideras med förändringen i avkastning för resursen (Goedkoop, Heijungs, Huijbregts, Schryver, Strujis, & van Zelm, 2009). För att passa in i verktyget har den räknats om från USD till SEK.

4.3.3 Ekonomisk värdering av övrig påverkan

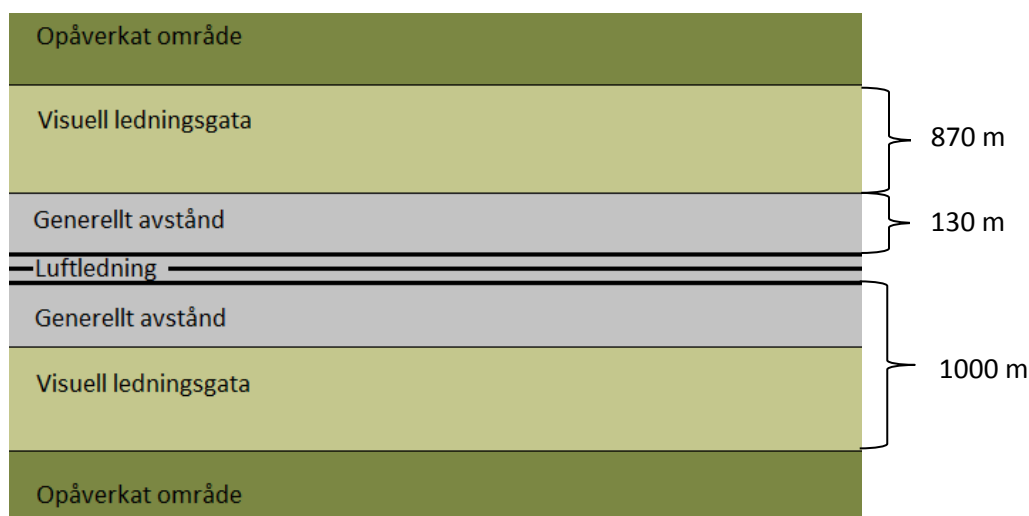
4.3.3.1 Visuell påverkan

För att bestämma en schablon för kostnaden av kraftledningars visuella påverkan användes två olika studier. Den första utfördes i Oslo under 1998 och undersökte om nyttan av att ersätta en 132 kV luftledning i stadsmiljö med kabel var större än investeringskostnaden (Navrud, Ready, Magnussen, & Bergland, 2008). Studien har genom CV-metoden bestämt betalningsviljan för hushållen inom en kilometer av ledningen till 10,8 miljoner NOK per år för att kablifiera sträckningen på 5 km. Betalningen antogs ske via elnätsavgiften. Detta beräknas motsvara 1 371 SEK per hushåll uppräknat med KPI för 2010. När nuvärdet av årlig betalningsvilja över ledningens livslängd beräknats erhöles resultatet 23 527 SEK för en diskonteringsränta på 5 %. I studien ingick ingen värdering av risken för påverkan av ledningens magnetfält.

Den andra studien utfördes i Storbritannien under 2001 och undersökte nyttan av att ersätta konventionell stolpdesign med andra designalternativ, varav ett var kabel (Atkinson, Day, & Mourato, 2006). Här jämfördes nyttan för både stadsmiljö och landsbygd. Studien bestämde genom CV-metoden betalningsviljan för hushåll i stadsmiljö till totalt 58 GBP per hushåll som en höjd elnätsavgift under tre år samt betalningsviljan för hushåll på landsbygd till totalt 72 GBP per hushåll med samma betalningsprincip där. Detta beräknas motsvara 896 SEK respektive 1117 SEK i 2010 års priser och gällde hela ledningens livslängd. Studien angav ingen specifik sträcka eller spänningsnivå utan de svarande angav betalningsvilja för att kablifiera de lokala elledningarna. Efter studier av de till studien befogade fotona av de alternativa stolpförslagen drogs slutsatsen att det gäller regionnät (40-135 kV). I studien ingick indirekt en värdering av risken för påverkan av ledningens magnetfält.

Studierna har stora skillnader i resultat. Vad de brittiska hushållen är beredda att betala totalt är de norska hushållen beredda att betala årligen. Den norska studien bedöms som mer tillförlitlig. Detta för att den utformades för att värdera ett lokalt välkänt miljöproblem. Att undersökningen genomförts i stadsmiljö gör att det inte är självklart att tillämpa den även på landsbygd. Den norska studien argumenterar att miljö utanför städerna kan ha högt visuellt värde (t.ex. de norska fjordarna) och att betalningsviljan där kan antas vara högre än siffran som tagits fram i studien. I verktyget antas att skillnaden mellan landsbygd och tätort främst är baserad på antalet boende, och därför används siffran från den norska studien oavsett område.

För att ta fram hur många som drabbas av visuell påverkan från en ledning upprättas en tänkt visuell ledningsgata. Det generella avstånd som rekommenderas kring en kraftledning på 400 kV är 130 m från den yttersta fasledaren. Det antas att inga bostäder kommer ligga närmare ledningen än det generella avståndet. Under planeringsarbetet dras ledningen så att bostäder i största möjliga mån undviks inom detta område. Om bostäder ligger innanför det generella avståndet erbjuds ägaren att få fastigheten inlöst av Svenska Kraftnät. De bostäder som ligger inom ett avstånd på 130 – 1000 m från ledningen antas få visuell påverkan. Detta område som utsträcker sig på båda sidor av ledningen benämns som visuell ledningsgata och beräknas omfatta 1,74 km² per kilometer ledning. För en illustration se figur 6. Denna visuella ledningsgata antas vara densamma oavsett om ledningen går genom öppen mark eller skog eftersom det finns många fler parametrar såsom kupering, skogsålder och övrig bebyggelse, som styr synligheten.



Figur 6. Visuell ledningsgata och generellt avstånd.

För att uppskatta hur många hushåll som ligger inom en sådan visuell ledningsgata används statistik över befolkningsmängd i hushåll (Statistiska centralbyrån, 2008) och i glesbygd (Statistiska centralbyrån, 2010). För siffror på antalet hushåll i ledningsgata per kilometer se tabell 17. Detta är en uppskattning och en känslighetsanalys har genomförts på antal bostäder per km, se avsnitt 5.3.

Tabell 17. Invånare och hushåll i glesbygd (Statistiska centralbyrån, 2008; Statistiska centralbyrån, 2010).

Befolkning	
Befolkningstäthet i glesbygd (inv/km ²)	3,15
Hushåll inom visuell ledn.gata (antal/km)	2,55

För stationer görs ingen uppskattning av visuell påverkan eftersom ingen lämplig värderingsmetod eller genomförd liknande studie varit tillgänglig.

4.3.3.2 Elektromagnetiska fält

Svenska Kraftnät har tagit fram ett generellt avstånd till en godtycklig kraftledning på 400 kV som är 130 m. Utanför denna gräns garanteras att det magnetiska fältets flödestäthet är under 0,4 µT. Om bostäder ligger innanför det generella avståndet erbjuds ägaren att få fastigheten inlöst av Svenska Kraftnät. När en planerad investering gått vidare från utredningsfasen till samrådsfasen bestäms ett snävare område utifrån en mer platsanpassad uppskattning av framtida maximala

årsmedelströmmar. Eftersom detta verktyg ska användas i utredningsfasen antas det här att bostäder inom det generella avståndet kommer få erbjudande om att bli inlösta och att magnetfält därför inte kommer vara en parameter att värdera.

4.4 Implementering i Excel

Verktyget implementerades i Excel. Användaren matar in ett begränsat antal indata. För en överblick över indata, se tabell 18.

Tabell 18. Indata till metoden.

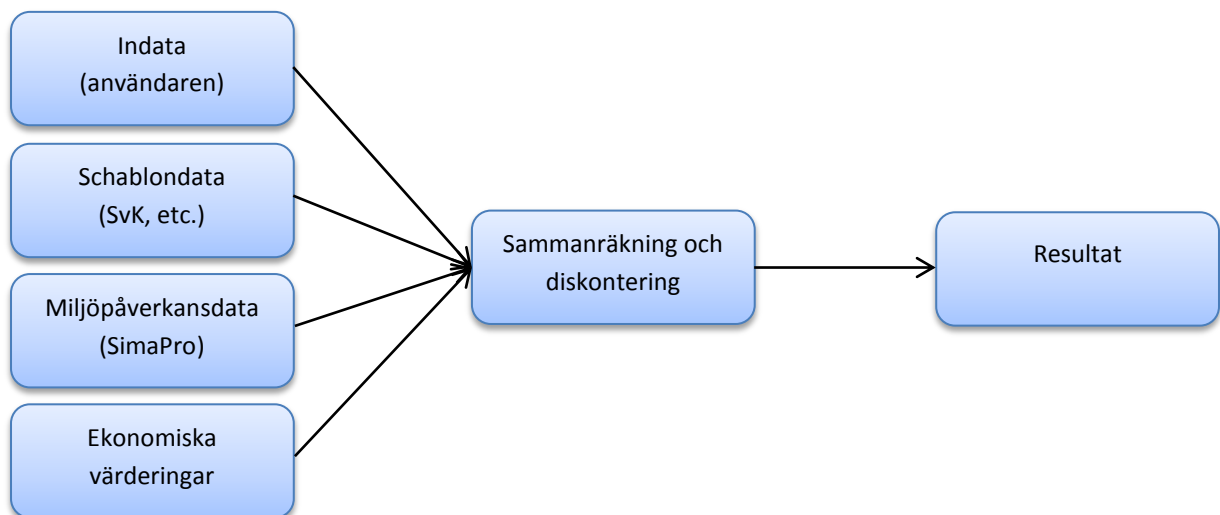
Tekniska data	
Ledningens längd	(km)
Teknik	AC luft/mark, HVDC luft/mark/sjö
Terräng	andel skog i %
Geografi	Norrland/Svealand/Götaland
Nya ledningsfack	(antal)
Ny transformator	(antal)
Ny reaktor	(antal)
Förändring i förluster/produktionsmix	(MWh/år)

Tidigt under utvecklingen av verktyget planerades en något större detaljriktighet i indata, men då det inte fanns motsvarande detaljriktighet i schablondata förenklades kategorierna för indata. En fördel med att ha få kategorier för indata är att användaren själv får en förståelse för att verktyget räknar på en generaliserad investering och att resultatet från en beräkning bör behandlas och tolkas därefter.

Inlagrat i verktyget ligger:

- Schablonvärden på aktiviteter i en nätinvesterings livscykel
- Miljöpåverkan för dessa aktiviteter fördelat på de kategorier som valts ut (se avsnitt 4.1)
- Ekonomiska värderingar av kategorierna

Verktyget presenterar, efter sammanräkning och diskontering, resultatet i form av en slutvärdering, en mittvärdering samt uppgifter om utsläpp och materialåtgång. För en överblick av verktyget, se figur 7.



Figur 7. Schematisk bild över verktyget för värdering av miljöpåverkan.

4.5 Utformande av känslighetsanalys och validering

För att säkerställa verktygets funktion bör känslighetsanalys och om möjligt även validering genomföras. Under känslighetsanalysen ska de data som är mest osäkra och de data som får störst inverkan på slutresultatet varieras så att deras effekt på slutresultatet blir tydlig. De data som ska varieras på grund av osäkerhet är värdering av koldioxid samt visuell påverkan. De data som ska varieras på grund av stor inverkan på slutresultatet är materialåtgångar.

Validering av slut- och mittvärdering är svår att göra då inget liknande verktyg verkar vara framtaget av bransch eller forskning. Däremot har miljöpåverkan från systemet jämförts med resultaten från den livscykelanalys som också hade km ledning som funktionell enhet.

5 Resultat

Resultat presenteras i två delar. Dels studeras de allmänna resultat om stamnätets miljöpåverkan och -kostnad som verktyget ger. Dels studeras resultat från ett antal tillämpade exempel på planerade investeringars miljöpåverkan och -kostnad. Det senare är det sätt som verktyget är designat att användas på. De allmänna resultaten presenteras först för att underlätta tolkningen av de tillämpade resultaten.

5.1 Allmän beräkning med verktyget

Miljövärderingar för de fem olika ledningsteknikerna genomfördes och resultatet återfinns i tabell 19. I beräkningen har alla tekniker utom sjökabel antagits gå genom skogsmark. Alla ledningar har antagits vara en kilometer långa och belägna i Götaland. Det är intressant att jämföra dessa fem tekniker eftersom verktyget ska kunna bidra till valet mellan dem. Det är dock viktigt att notera att strömriktarna inte varit inkluderade i de tre studerade systemen med HVDC. Om de hade inkluderats hade miljöpåverkan varit mer omfattande för samtliga tre HVDC-tekniker.

I tabellen redovisas först materialåtgång. Av den totala materialåtgången är det främst de ändliga resurserna som ger stor miljöpåverkan och därför särredovisas vilka delar som är från metalliska och fossila resurser. Vidare redogörs i tabellen för klimatpåverkande, försurande och övergödande utsläpp samt för partikelformation. Miljökostnaden anges i tabellen både som mitt- och

slutvärdering. Mittvärderingen baseras på de fyra typer av utsläpp som redovisas i tabellen och slutvärderingen baseras på skada på mänsklig hälsa och ekosystemets biodiversitet samt resursutarmning. För en mer strukturerad överblick över vilken miljöpåverkan som studeras och vilka miljövärderingar som utförts, se avsnitt 4.1.

Tabell 19. Jämförelse av miljöpåverkan och -kostnad för en kilometer ledning med fem olika teknikalternativ.

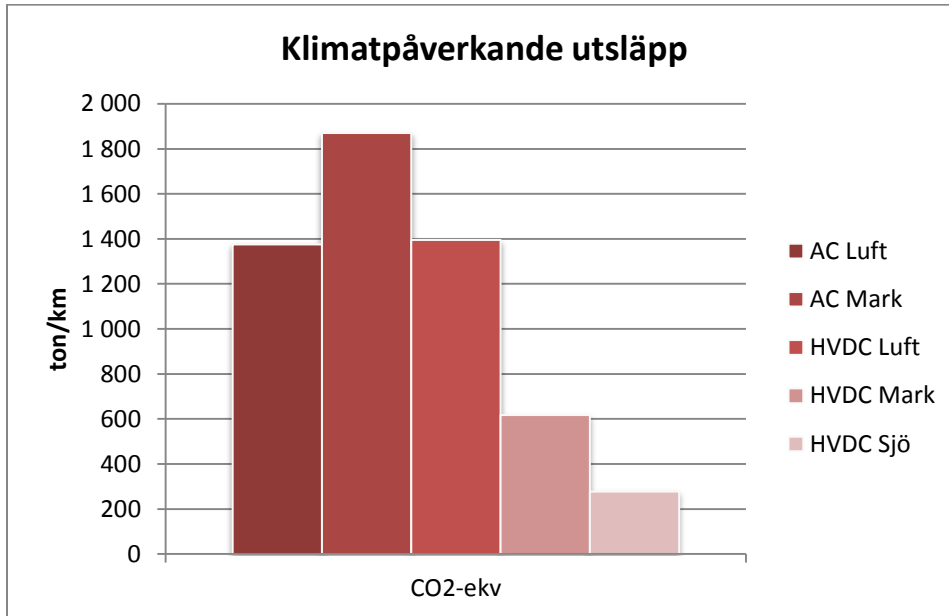
Beräkningsresultat	AC Luft	AC Mark	HVDC Luft	HVDC Mark	HVDC Sjö
MATERIALÅTGÅNG					
Totalt	58	2 409	258	727	275 ton
varav metallresurs	52	213	46	13	46 ton
varav fossil resurs	0	97	0	14	29 ton
varav övrigt	6	2 100	212	700	200 ton
UTSLÄPP					
Klimatpåverkande	1 376	1 871	1 395	617	277 ton CO ₂ -ekv
Partikelformation	1	7	1	1	1 ton PM ₁₀ -ekv
Försurande	1	14	1	2	1 ton SO ₂ -ekv
Övergödande	0	3	0	0	0 ton P-ekv
MILJÖKOSTNAD					
Slutvärdering	10	76	11	16	12 MSEK
varav material	7	45	5	5	9 MSEK
varav byggnation	3	31	5	10	3 MSEK
varav drift	1	0	1	0	0 MSEK
varav avveckling	0	0	0	0	0 MSEK
varav visuell påverkan	0	0	0	0	0 MSEK
Mittvärdering	2	7	2	1	1 MSEK

AC markkabel har störst miljöpåverkan, både sett till totala utsläpp och sett till miljökostnaden. Detta beror främst på den mycket stora materialåtgången, men också på grund av det omfattande schaktningsarbete som krävs vid anläggningsarbete av kabel. Framförallt är det den stora mängden koppar som ingår i AC-kabel som leder till kraftig miljöpåverkan i samtliga påverkanskategorier.

När det gäller materialåtgång så har AC markkabel störst och AC luftledning minst. Att HVDC luftledning har så pass mycket större materialåtgång än AC luftledning beror på att de HVDC-stolparna inte stagas som AC-stolparna utan istället har betongfundament. Att HVDC kabel inte har materialåtgång i samma storleksordning som AC kabel beror på att HVDC-länken innefattar två kablar (den har en plus- och en minuspol) medan AC-förbindelsen innefattar nio kablar (tre förband med tre faser i varje). För mer uppgifter om material i kablar, se avsnitt 4.2.1.

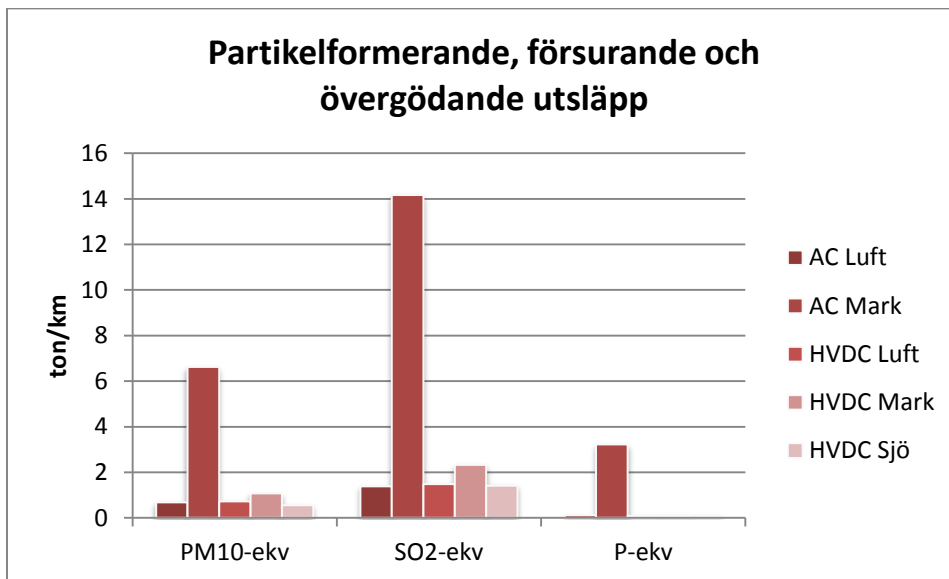
Som synes dominerar utsläppen av klimatpåverkande gaser stort bland utsläppen för samtliga tekniker. I figur 8 redovisas ledningsteknikernas klimatpåverkande utsläpp per funktionell enhet. De klimatpåverkande utsläppen är relativt lika för de två luftledningsteknikerna och det beror på avskogningen av ledningsgatan. I och med att mark upptas som tidigare använts till skogsproduktion får ledningen en indirekt miljöpåverkan i form av den koldioxid som hade lagrats in i biomassa om skogsproduktionen varit kvar, vilket i verktyget likställs med ett utsläpp av koldioxid. Detta får stor

påverkan på de klimatpåverkande utsläppen. För kabelteknikerna har AC markkabel störst klimatpåverkande utsläpp. Detta kommer till ungefär lika stor del från produktion av ingående material som anläggningsarbete och materialtransport. De lägre utsläppen från HVDC sjökabel till skillnad från HVDC markkabel beror på att arbetet med att kablifiera är mindre bränslekrävande i vatten än på land.



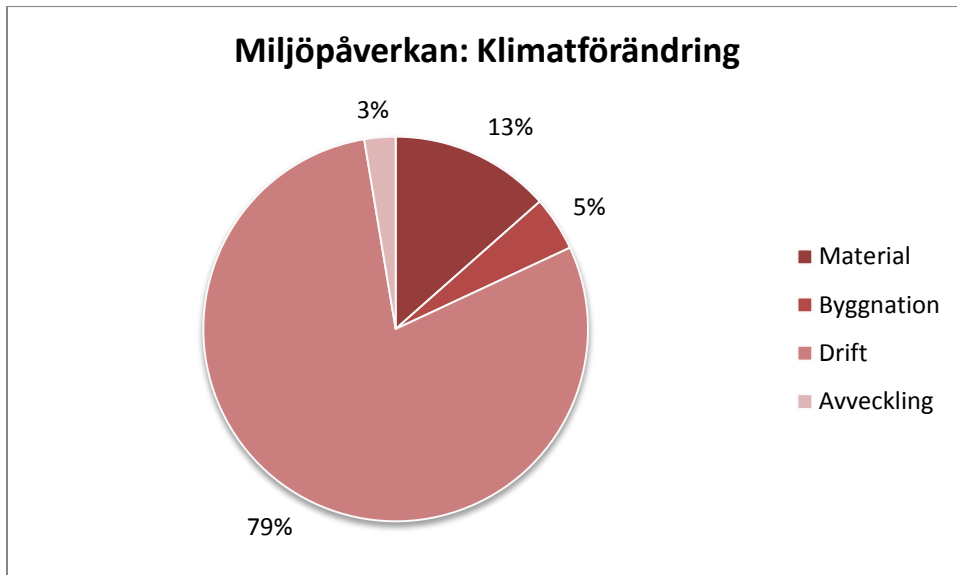
Figur 8. Jämförelse av klimatpåverkande utsläpp för de fem studerade teknikerna.

Partikelformerande, försurande och övergödande utsläpp för de fem ledningsteknikerna jämförs i figur 9. AC markkabel har högst för samtliga övriga utsläpp och de härrör främst från produktion av ingående material. HVDC markkabel har näst högst för samtliga övriga utsläpp och de härrör främst från anläggningsarbete och materialtransport.

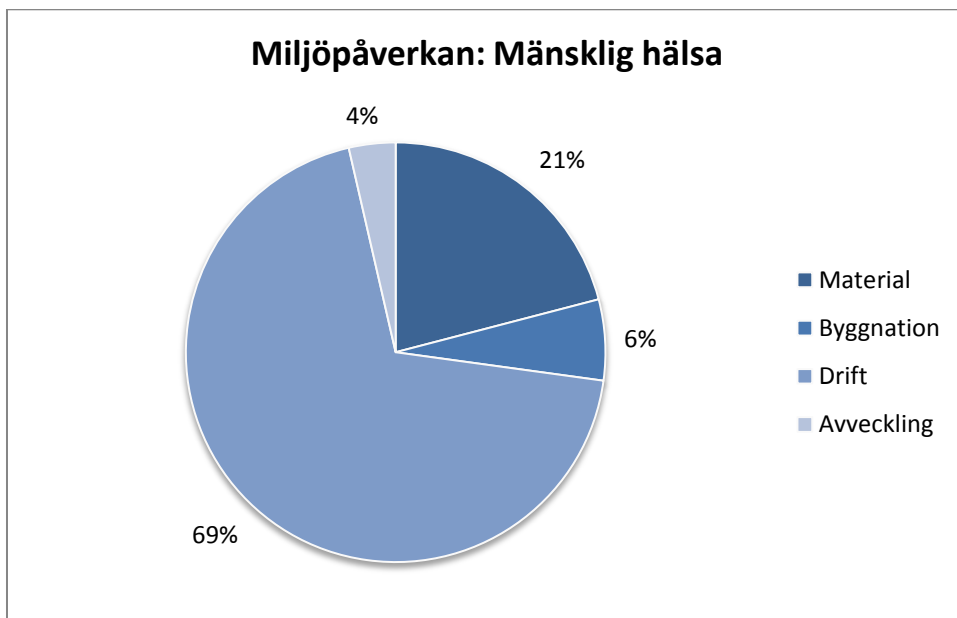


Figur 9. Jämförelse av de fem studerade teknikerna med avseende på partikelformerande, försurande och övergödande utsläpp.

Som nämnts tidigare när det gäller luftledning (både för AC och HVDC) genom skogsmark så får den uteblivna inlagringen av koldioxid under driftsfasen stor betydelse för både mittpåverkanskategorin klimatförändring, se figur 10, och för slutpåverkanskategorin mänsklig hälsa, se figur 11. Det får även stor betydelse för slutpåverkanskategorin biodiversitet. Av de 79 % som driftsfasen bidrar med i kategorin klimatförändring står minskad koldioxidinlagring för 78,87 % medan skogligt underhållsarbete står för 0,13 %. Av de 52 % som driftsfasen bidrar med i kategorin skada på mänsklig hälsa står minskad koldioxidinlagring för 51,82 % medan skogligt underhåll står för 0,18 %.

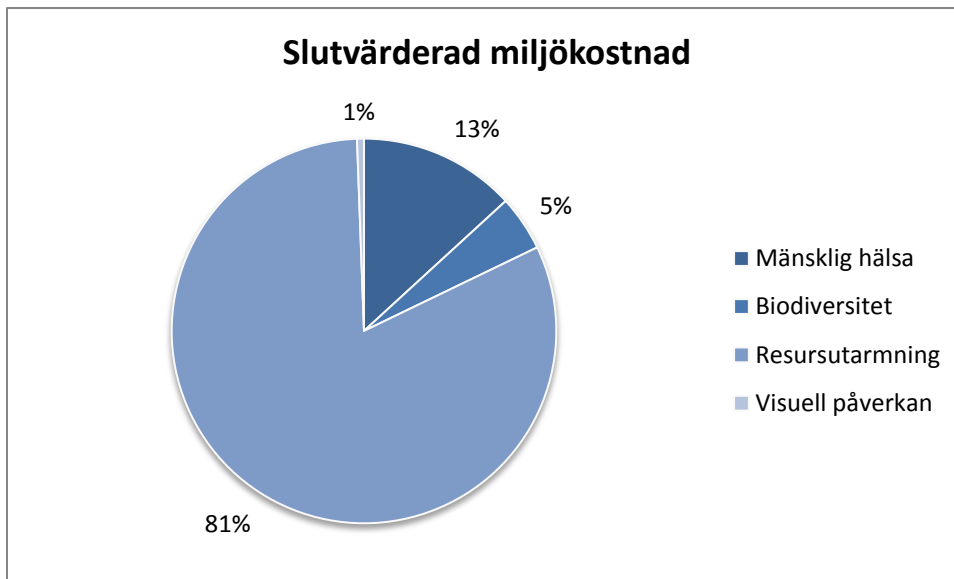


Figur 10. Livscykelns bidrag till påverkan på klimatet för AC Luftledning.



Figur 11. Livscykelns bidrag till påverkan på mänsklig hälsa för AC Luftledning.

Med den bedömningsmetod för miljöpåverkan som valts (ReCiPe 2008) får resursförbrukning en mycket stor påverkan på miljökostnaden. Ett exempel är AC luftledning där bidragen till slutvärderad miljökostnad återfinns i figur 12.



Figur 12. Slutvärderad påverkans bidrag till miljökostnad för AC Luftledning.

I slutvärderingen för samtliga tekniker står resursutarmning för 85 – 95 % av den totala kostnaden. Biodiversitet har däremot mycket liten inverkan på slutvärderingen. Detta beror både på att antalet arter som försvinner i ett område till följd av den studerade livscykelns miljöpåverkan är mycket litet (i storleksordningen hundradels arter).

En redogörelse för stationers miljöpåverkan och -kostnad per funktionell enhet återfinns i tabell 20. Även stationer har antagits ligga i Götaland och i skogsmark.

Tabell 20. Jämförelse av miljöpåverkan och -kostnad för ett ledningsfack, en transformator respektive en reaktor.

Beräkningsresultat	Ledningsfack	Transformator	Reaktor	Enhet
MATERIALÅTGÅNG				
Totalt	69	420	117	ton
varav metallresurs	55	333	80	ton
varav fossil resurs	4	87	35	ton
varav övrigt	10	0	2	ton
UTSLÄPP				
Klimatpåverkande	493	1 024	422	ton CO ₂ -ekv
Partikelformation	1	3	1	ton PM ₁₀ -ekv
Försurande	1	5	1	ton SO ₂ -ekv
Övergödande	0	1	0	ton P-ekv
MILJÖKOSTNAD				
Slutvärdering	7	38	12	MSEK
varav material	5	33	9	MSEK
varav byggnation	1	5	3	MSEK
varav drift	0	0	0	MSEK
varav avveckling	0	0	0	MSEK
Mittvärdering	1	3	1	MSEK

I fallet med stationer är det inte aktuellt att jämföra tekniker på samma sätt som gjordes i fallet med ledningar eftersom det inte handlar om tekniker som kan ersätta varandra. Gemensamt för ledningsfack, transformatorer och reaktorer är att de ingående materialen i mycket stor utsträckning är ändliga. Transformatorer innehåller en stor del koppar vilket leder till att de får en hög slutvärderad miljökostnad på grund av resursutarmning. Att driftsfasen inte bidrar med någon miljökostnad beror på att inget stationsunderhåll ingår i verktyget.

Slutvärderingen för alla studerade tekniker återfinns i figur 13. Det är tydligt att materialfasen med utvinning av råvaror och produktion av ingående material samt byggnationsfasen med avverkning, anläggning och materialtransport dominerar miljökostnaden i samtliga fall. Driftsfasen har ett litet bidrag på ca 10 % i de två luftledningsfallen. Avvecklingsfasen har endast en marginell effekt på miljökostnaden.



Figur 13. Bidrag från livscykeln till slutvärderad miljökostnad för en km ledning respektive ett ledningsfack, en transformator och en reaktor.

Mittvärderingen för alla studerade tekniker återfinns i figur 13. Mittvärderingen är inte lika omfattande som slutvärderingen, vilket beror på att inte alla mittpunktskategorier värderas. Därmed blir mittvärderingen lägre än slutvärderingen, vilket syns när figur 13 och 14 jämförs. I bägge fallen har AC markkabel högst miljökostnad, följt av transformator. Därefter skiljer det sig åt. Eftersom mittvärderingen inte värderar resursutarmning så väger stor klimatpåverkan tyngre för den än användningen av ändliga resurser. Det får till följd att luftledningsteknikerna, som har stor klimatpåverkan från den uteblivna koldioxidinlagringen i skog, får högre relativ värdering i mittvärderingen än i slutvärderingen.



Figur 14. Bidrag från värderade utsläpp till mittvärderad miljökostnad för en km ledning respektive ett ledningsfack, en transformator och en reaktor.

5.2 Tillämpade resultat

5.2.1 Belysa miljöpåverkan: HVDC-länk

Ett exempel på användningsområde för metoden är att belysa miljöpåverkan och -kostnad i samband med utredningen av en ny tänkbar investering. Projektering av en HVDC-länk skulle kunna vara ett sådant investeringsprojekt. I det här beräkningsexemplet undersöks en HVDC-länk bestående av både luftledning och markkabel, men där strömriktare inte ingår. Indata till beräkningen av miljöpåverkan och -kostnad återfinns i tabell 21.

Tabell 21. Indata till beräkning för HVDC-länk.

Tekniska data	HVDC Luft	HVDC Mark
Ledningens längd (km)	50	150
Teknik	HVDC Luftledning	HVDC Markkabel
Terräng (% skog)	50	0
Geografi	Götaland	
Förlustförändring	(MWh)	
Sverige	-50 000	

Länken går genom Götaland och består av 50 km luftledning och 150 km markkabel. Luftledningen kommer till halva sträckan gå genom skog, medan kabeln kommer dras i öppen terräng. Länken kommer medföra att 50 000 MWh förluster sparas varje år.

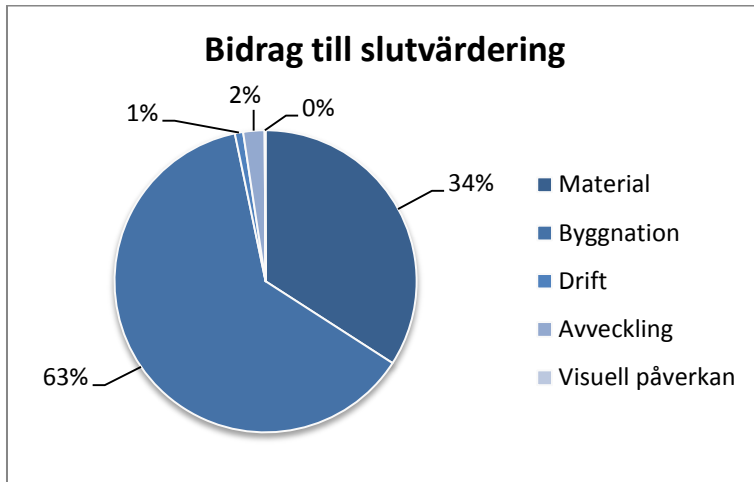
Resultatet från beräkningen återfinns i tabell 22. Tabellen är uppbyggd på samma sätt som för de allmänna resultaten, med skillnaden att en sektion lagts till för miljöpåverkan och -kostnad av den förändring i förluster som investeringen medför. I det här fallet motsvarar miljöpåverkan från förlustförändringen den miljövinst som minskad elproduktion medför eftersom förlusterna minskar till följd av investeringen. Resultatet av denna förlustförändrings miljöpåverkan och -kostnad ligger inte inbakad i investeringens redovisade resultat utan kan summeras separat om så önskas. Förlustförändringen värderas på samma sätt som investeringen från mittpunkter eller slutpunkter. Dessutom redovisas de utsläppförändringar som förlustförändringen medför. Det syns också i tabellen att markkabeldelen får betydligt större miljöpåverkan än luftledningsdelen. Detta beror främst på att kabelsträckan är tre gånger längre än luftledningssträckan, men också på att kabel har större materialåtgång samt är mer bränslekrävande att bygga.

Tabell 22. Resultat från beräkning för HVDC-länk.

Beräkningsresultat	HVDC Luft	HVDC Mark	Totalt	Enhet
MATERIALÅTGÅNG				
Totalt	12 924	109 080	122 004	ton
varav metallresurs	2 302	1 980	4 282	ton
varav fossil resurs	0	2 100	2 100	ton
varav övrigt	10 622	105 000	115 622	ton
UTSLÄPP				
Klimatpåverkande	42 392	62 769	105 161	ton CO ₂ -ekv
Partikelformation	36	160	196	ton PM ₁₀ -ekv
Försurande	73	347	420	ton SO ₂ -ekv
Övergödande	4	13	18	ton P-ekv
MILJÖKOSTNAD				
Slutvärdering	507	2 330	2 837	MSEK
varav material	228	740	968	MSEK
varav byggnation	241	1 536	1 777	MSEK
varav drift	25	0	25	MSEK
varav avveckling	11	54	65	MSEK
varav visuell påverkan	3	0	3	MSEK
Mittvärdering	64	175	239	MSEK
FÖRÄNDRING I FÖRLUSTER/PRODUKTIONSMIX				
Slutvärdering			-948	MSEK
Mittvärdering			-103	MSEK
Klimatpåverkande utsläpp			-61 356	ton CO ₂ -ekv
Partikelformerande utsläpp			-204	ton PM ₁₀ -ekv
Försurande utsläpp			-401	ton SO ₂ -ekv
Övergödande utsläpp			-47	ton P-ekv

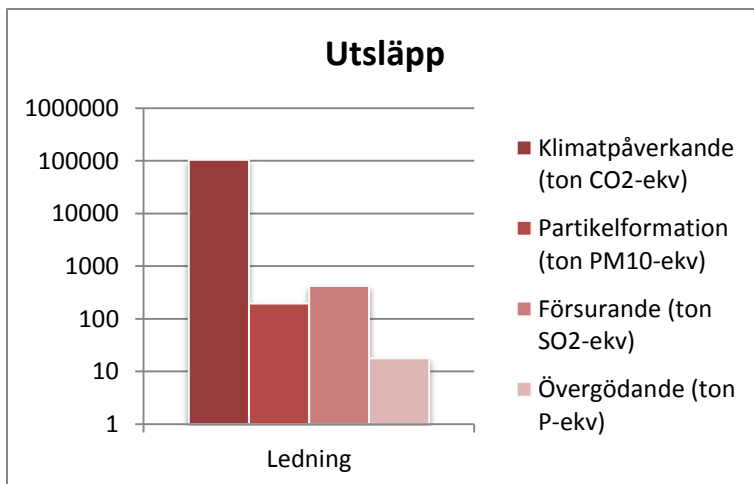
Den slutvärderade miljökostnaden för den studerade HVDC-länken är 2,8 miljarder SEK. Om hänsyn ska tas till miljökostnaderna i kostnadsnyttokalkylen som genomförs kan mittvärderingen på 240 miljoner SEK användas.

I figur 15 syns bidragen från livscykelns delar till den slutvärderade miljökostnaden. Tydligast syns kabelns dominerande påverkan i form av stort bränslebehov vid byggandet samt materialtransport, då byggnationsdelen bidrar mest av delarna i livscykeln till slutvärderingen.



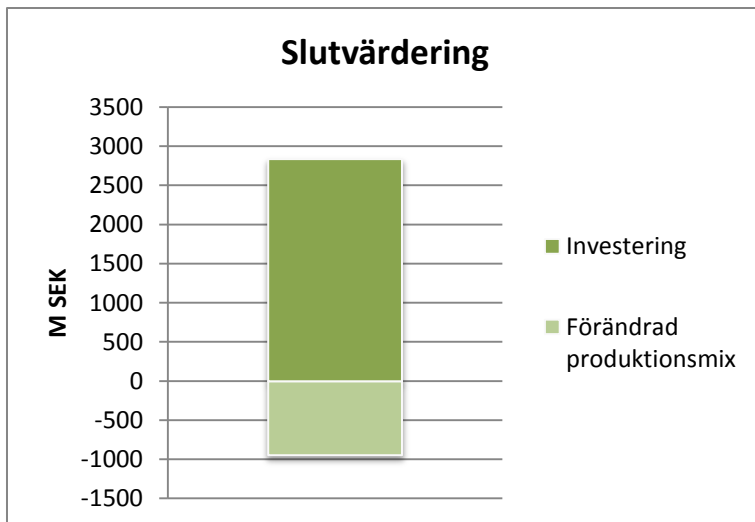
Figur 15. Livscykelns bidrag till slutvärderad miljökostnad för HVDC-länk.

Utsläppen från investeringen återfinns i figur 16. De klimatpåverkande utsläppen är mycket större än övriga utsläpp, skalan i figuren är logaritmisk. Investeringen medför klimatpåverkande utsläpp på 105 000 ton CO₂-ekv.



Figur 16. Utsläpp från livscykeln av HVDC-länk. Obs! Logaritmisk skala.

I figur 17 jämförs slutvärderingen av investeringens miljöpåverkan och av de förändrade förlusterna. Som synes leder förlustförändringen till en miljövinst som motsvarar ca en tredjedel av investeringens slutvärderade miljökostnad. Om förlustförändringens värdering räknas investeringen tillgodo landar alltså miljökostnaden på 1,9 miljarder SEK istället för 2,8 miljarder SEK. För mittvärderingen blir miljökostnaden i så fall 140 miljoner SEK istället för 240 miljoner SEK.



Figur 17. Slutvärdering av miljökostnader för investering och förändrad produktionsmix för HVDC-länk.

5.2.2 Strategiskt beslutsunderlag: Kablifiering i stadsmiljö

Miljövärderingen ska användas för att lyfta fram miljöperspektivet i beslutsunderlaget till ett investeringsprojekt. I detta exempel rör det sig om en kablifiering i tätort via tunnel i berg, ett projekt där investeringskostnaden är extremt hög. Ett alternativ med lägre investeringskostnad undersöktes i samband med beslutsfattandet, med avseende på investerings- och driftskostnader. Resultatet visade då att det var lönsamt med en högre investeringskostnad, eftersom förlusterna ökade kraftigt i det scenariot med lägre investeringskostnad. Miljövärderingen kan användas som ännu ett perspektiv i denna utredning. Verktöget kan visa hur miljöpåverkan skiljer sig åt för de två jämförda alternativen samt ge även en miljövärdering av förlustförändringen. Indata till beräkningen återfinns i tabell 23.

Tabell 23. Indata till beräkning för strategiskt beslutsunderlag.

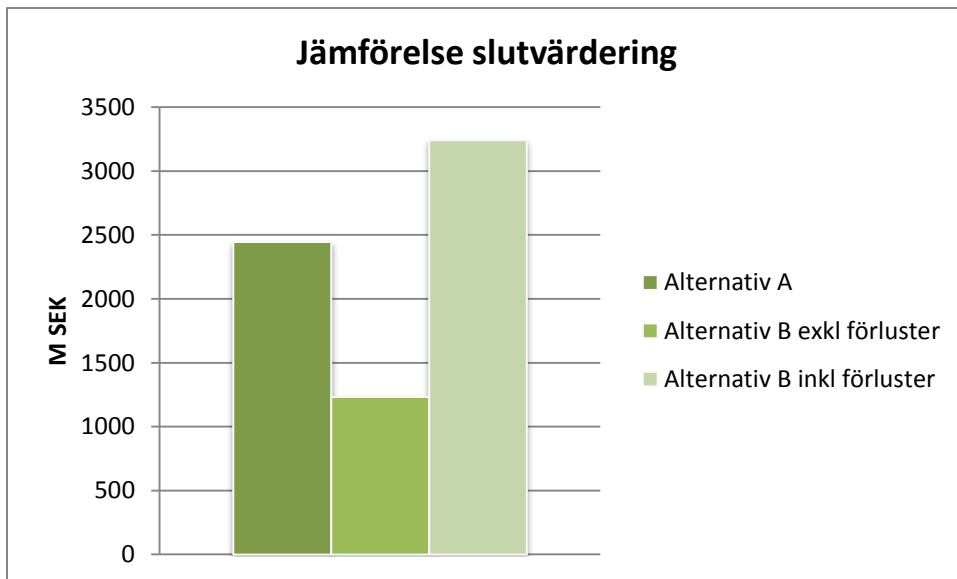
Tekniska data	Alternativ A	Alternativ B
Ledningens längd (km)	14,7/25,6	20,7/8,7
Teknik	AC Luft/Mark	AC Luft/Mark
Ledningsfack	0	1
Transformator	0	6
Terräng (% skog)	25/0	25/0
Geografi	Svealand	Svealand
Förlustförändring		(MWh)
Sverige		106 000

Alternativ A motsvarar basfallet med tunnel genom berg och alternativ B motsvarar det billigare alternativet utan tunnel. I alternativ A ingår 14,7 km AC luftledning (som till 25 % bedöms gå genom skog) och 25,6 km AC markkabel. I alternativ B ingår 20,7 km AC luftledning (som till 25 % bedöms gå genom skog) och 8,7 km AC markkabel samt 1 nytt ledningsfack och 6 nya transformatorer. Förlusterna i det svenska stamnätet har beräknats för båda alternativen och alternativ B leder till 106 000 MWh mer förluster per år än alternativ A. Resultaten för beräkningen återfinns i tabell 24.

Tabell 24. Resultat från beräkning för strategiskt beslutsunderlag.

Beräkningsresultat	Alternativ A	Alternativ B	Kolumn1
MATERIALÅTGÅNG			
Totalt	62 536	24 756	ton
varav metallresurs	6210	4 974	ton
varav fossil resurs	2477	1 375	ton
varav övrigt	53 850	18 407	ton
UTSLÄPP			
Klimatpåverkande	58 166	33 624	ton CO ₂ -ekv
Partikelformation	200	96	ton PM ₁₀ -ekv
Försurande	430	199	ton SO ₂ -ekv
Övergödande	85	38	ton P-ekv
MILJÖKOSTNAD			
Slutvärdering	2 445	1 233	MSEK
varav material	1 243	727	MSEK
varav byggnation	1 185	492	MSEK
varav drift	3	4	MSEK
varav avveckling	13	8	MSEK
varav visuell påverkan	1	1	MSEK
Mittvärdering	224	111	MSEK
FÖRÄNDRING I FÖRLUSTER/PRODUKTIONSMIX			
Slutvärdering		2 010	MSEK
Mittvärdering		219	MSEK
Klimatpåverkande utsläpp		130 076	ton CO ₂ -ekv
Partikelformerande utsläpp		432	ton PM ₁₀ -ekv
Försurande utsläpp		849	ton SO ₂ -ekv
Övergödande utsläpp		99	ton P-ekv

Som synes ger alternativ A både större miljöpåverkan och miljökostnad totalt om hänsyn inte tas till förlustförändringen. Materialåtgång och utsläpp är ungefär dubbelt så höga för alternativ A än för alternativ B. Den slutvärderade miljökostnaden är 2,4 miljarder SEK för alternativ A gentemot 1,2 miljarder SEK för alternativ B, vilket är dubbelt så högt. Att miljöpåverkan och -kostnad är högre beror främst på att det är en längre sträcka som kablifieras i alternativ A. Om förlustförändringen räknas in medför den dock att alternativ A är det bättre alternativet sett ur miljökostnadsperspektiv. Då belastas alternativ B av de ökade förlusterna jämfört med alternativ A. Den sammanlagda slutvärderingen för alternativ B blir med förlusterna medräknade 3,2 miljarder SEK. Detta synes tydligare i figur 18.



Figur 18. Jämförelse av slutvärderad miljökostnad för strategiskt beslutsunderlag vid alternativ A samt vid alternativ B exklusive och inklusive förlustförändring.

5.2.3 Utlandsförbindelser

Ett annat användningsområde för metoden är att miljövärdera en framtida ny utlandsförbindelse. För en sådan investering kan miljövärderingen vara en av delarna i kostnadsnyttokalkylen, då Svenska Kraftnät bedömer den samhällsekonomiska nyttan av en sådan förstärkning. Ofta undersöks även marknadsnyttan av en utlandsförbindelse och från en sådan marknadsnyttberäkning finns siffror tillgängliga över hur den europeiska produktionsmixen skulle förändras om investeringen genomförs. Nedan följer miljövärdering av två sådana tänkbara framtida investeringar, där även värdering av en förändring i den europeiska produktionsmixen ingår.

5.2.3.1 Ny Tysklandsförbindelse

Det kan i framtiden bli aktuellt att bygga ännu en länk från södra Sverige till Tyskland för att förbättra överföringskapaciteten och möjliggöra ökad integration av den europeiska elmarknaden. Tekniken för en sådan investering skulle bli HVDC sjökabel. Indata till beräkningen av miljöpåverkan och -kostnad återfinns i tabell 25. Ledningen skulle vara ungefär 250 km och ligga i Götaland. Om ledningen skulle byggas och tas i drift skapas en ökad överföringsförmåga mellan det svenska och det tyska stamnätet. Detta skulle generera nya utbuds- och efterfrågekurvor för el i norra Europa och som indata till modellen finns därför resultatet från en marknadsmodellering av investeringen. Detta resultat beskriver hur den europeiska produktionsmixen förändras per år vid byggandet av utlandsförbindelsen. I korta drag visar marknadsmodelleringens resultat att el framförallt från avfall och biobränsle, kärnkraft och olja ökar medan el från framförallt gas och stenkol minskar.

Tabell 25. Indata till beräkning för ny Tysklandsförbindelse.

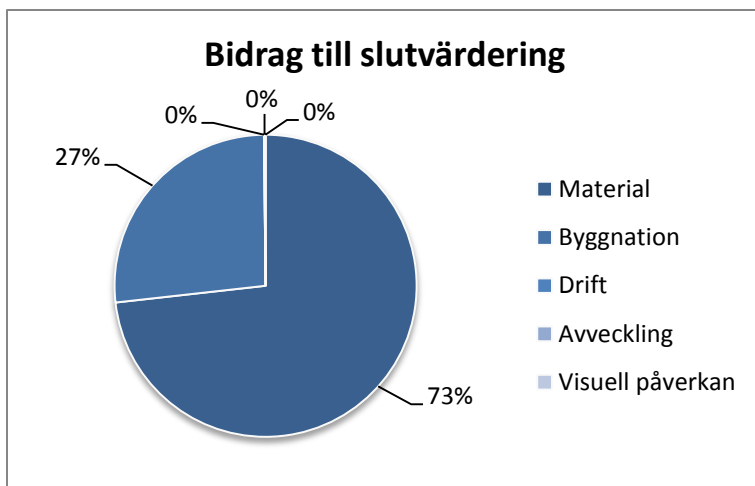
Tekniska data	
Ledningens längd (km)	250
Teknik	HVDC Sjøkabel
Terräng (% skog)	0
Geografi	Götaland
Förändring i produktionsmix (MWh)	
Avfall/biobränsle	301 235
Brunkol	8 175
Gas	-908 574
Kärnkraft	58 415
Olja	33 520
Sol	0
Stenkol	-111 804
Vatten	-6 903
Vind	0

Resultatet från beräkningen återfinns i tabell 26. Materialåtgången är 70 000 ton, varav 17 % är metallresurser. Slutvärderingen av miljökostnaden är 3,0 miljarder SEK och mittvärderingen är 200 miljoner SEK. Investeringens konsekvenser för produktionsmixen medför en slutvärdering på -420 miljarder SEK och en mittvärdering på -16 miljarder SEK. Om värderingen av förändringen i produktionsmix räknas in får alltså investeringen en negativ miljökostnad, en miljövinst, enligt verktyget.

Tabell 26. Resultat från beräkning för ny Tysklandsförbindelse.

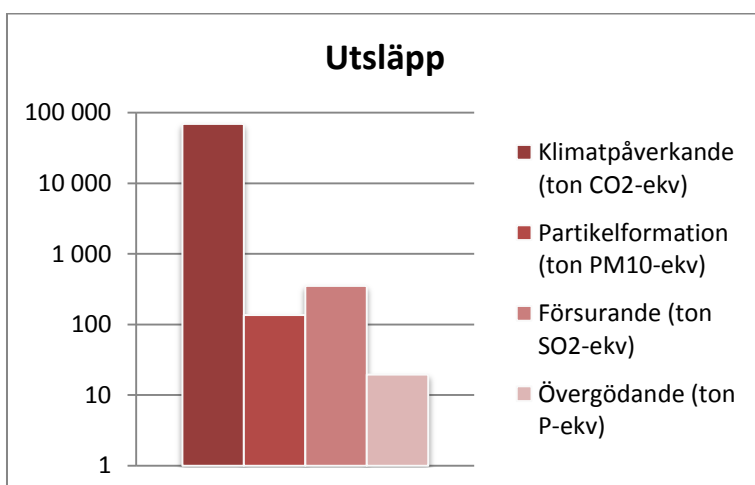
Beräkningsresultat	Ledning	Enhet
MATERIALÅTGÅNG		
Totalt	68 763	ton
varav metallresurs	11 500	ton
varav fossil resurs	7 263	ton
varav övrigt	50 000	ton
UTSLÄPP		
Klimatpåverkande	69 364	ton CO ₂ -ekv
Partikelformation	137	ton PM ₁₀ -ekv
Försurande	354	ton SO ₂ -ekv
Övergödande	20	ton P-ekv
MILJÖKOSTNAD		
Slutvärdering	3 028	MSEK
varav material	2 217	MSEK
varav byggnation	805	MSEK
varav drift	0	MSEK
varav avveckling	5	MSEK
varav visuell påverkan	0	MSEK
Mittvärdering	199	MSEK
FÖRÄNDRING I PRODUKTIONSMIX		
Slutvärdering	-423 269	MSEK
Mittvärdering	-15 542	MSEK
Klimatpåverkande	-23 043 158	ton CO ₂ -ekv
Partikelformation	-1 432	ton PM ₁₀ -ekv
Försurande	-8 461	ton SO ₂ -ekv
Övergödande	1 824	ton P-ekv

I figur 19 syns bidragen till slutvärderingen av en ny Tysklandsförbindelse. Materialframställningen står för en dominerande del av miljökostnaderna.



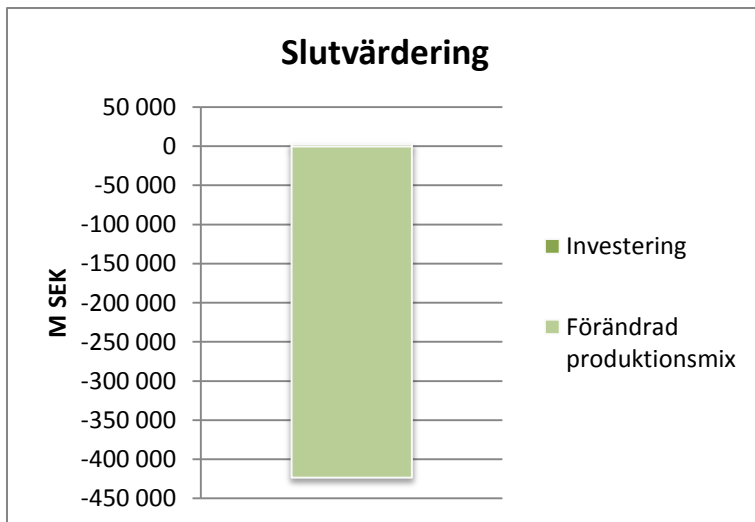
Figur 19. Livscykelns bidrag till slutvärderad miljökostnad för ny Tysklandsförbindelse.

I figur 20 syns de utsläpp som investeringen ger upphov till ur ett livscykelperspektiv och som inkluderats i verktyget. Klimatpåverkande utsläpp dominerar och de försurande utsläppen är relativt höga i jämförelse med andra ledningstekniker (AC markkabel undantagen).



Figur 20. Utsläpp från livscykeln av ny Tysklandsförbindelse. Obs! Logaritmisk skala.

I figur 21 visas relationen mellan miljökostnader för investeringen i sig samt dess påverkan på den europeiska produktionsmixen. Eftersom miljövinsten med investeringen är så många gånger större än miljökostnaden så syns nästan inte investeringens miljökostnad i figuren. Om den förändrade produktionsmixen räknas med får alltså investeringen stora positiva konsekvenser för den europeiska miljön. Detta på grund av att en ökad överföringskapacitet i transmissionsnätet leder till att el som produceras billigt med vatten- och vindkraft kan konkurrera ut el som produceras dyrare med kondenskraft (ofta fossilbaserat) i Tyskland vilket leder till minskad miljöpåverkan för systemet som helhet.



Figur 21. Slutvärdering av miljökostnader för investering och förändrad produktionsmix för ny Tysklandsförbindelse.

5.2.3.2 Nordlig förbindelse till Norge

Det finns också planer på en möjlig framtida förstärkning mellan norra Norges och norra Sveriges stamnät. Tekniken för en sådan förstärkning skulle bli AC luftledning. Indata till beräkningen av miljöpåverkan och -kostnad återfinns i tabell 27. Ledningen skulle bli 204 km, gå genom skog och ligga i Norrland.

En sådan investering skulle skapa en ökad överföringsförmåga mellan det svenska och det norska stamnätet. Detta skulle på samma sätt som i fallet med Tysklandskabeln generera nya utbuds- och efterfrågekurvor för el i norra Europa och som indata till modellen finns därför resultatet från en marknadsmodellering av investeringen. Detta resultat beskriver hur den europeiska produktionsmixen förändras per år vid byggandet av utlandsförbindelsen. I korta drag visar marknadsmodelleringens resultat att el från framförallt brunkol ökar medan el från gas och stenkol minskar.

Tabell 27. Indata till beräkning för nordlig förbindelse till Norge.

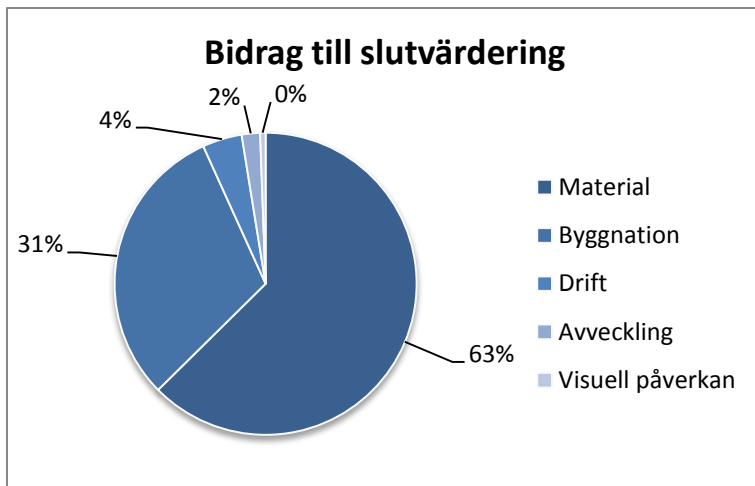
Tekniska data	
Ledningens längd (km)	204
Teknik	AC Luft
Terräng (% skog)	100
Geografi	Norrland
Förändring i produktionsmix (MWh)	
Avfall/biobränsle	15 545
Brunkol	209 940
Gas	-50 655
Kärnkraft	3 687
Olja	1 946
Sol	0
Stenkol	-171 097
Vatten	-27 438
Vind	0

Resultatet för beräkningen återfinns i tabell 28. Materialåtgången är 12 000 ton, varav 89 % är från metallresurser. Slutvärderingen av investeringens miljökostnad är 2,0 miljarder SEK och mittvärderingen är 250 miljoner SEK. Investeringens konsekvenser för produktionsmixen medför en slutvärdering på 19 miljarder SEK och en mittvärdering på 1 miljard SEK. Om förlusterna räknas in får investeringen alltså en ökad miljökostnad, vilket beror på att brunkol, som är ett produktionsslag med stark miljöpåverkan, ersätter gas- och vattenkraft som har lägre emissioner.

Tabell 28. Resultat från beräkning för nordlig förbindelse till Norge.

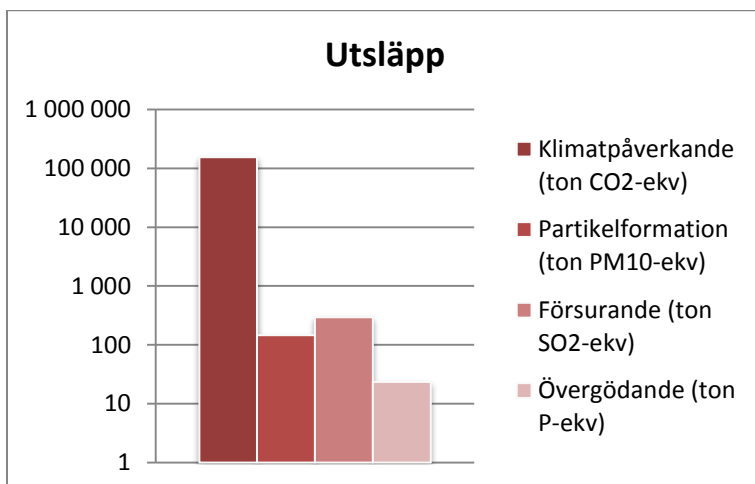
Beräkningsresultat	Ledning	Enhet
MATERIALÅTGÅNG		
Totalt	11 876	ton
varav metallresurs	10 539	ton
varav fossil resurs	91	ton
varav övrigt	1 246	ton
UTSLÄPP		
Klimatpåverkande	154 335	ton CO ₂ -ekv
Partikelformation	145	ton PM ₁₀ -ekv
Försurande	296	ton SO ₂ -ekv
Övergödande	23	ton P-ekv
MILJÖKOSTNAD		
Slutvärdering	2 120	MSEK
varav material	1 327	MSEK
varav byggnation	649	MSEK
varav drift	90	MSEK
varav avveckling	42	MSEK
varav visuell påverkan	12	MSEK
Mittvärdering	248	MSEK
FÖRÄNDRING I FÖRLUSTER/PRODUKTIONSMIX		
Slutvärdering	18 936	MSEK
Mittvärdering	1 476	MSEK
Klimatpåverkande utsläpp	2 563 364	ton CO ₂ -ekv
Partikelformerande utsläpp	-318	ton PM ₁₀ -ekv
Försurande utsläpp	-2 890	ton SO ₂ -ekv
Övergödande utsläpp	22 876	ton P-ekv

I figur 22 syns hur de olika delarna av livscykelns bidrar till den totala miljökostnaden för investeringen. Den största posten av miljökostnaderna är materialframställningen som står för 63 % av den totala slutvärderade miljökostnaden.



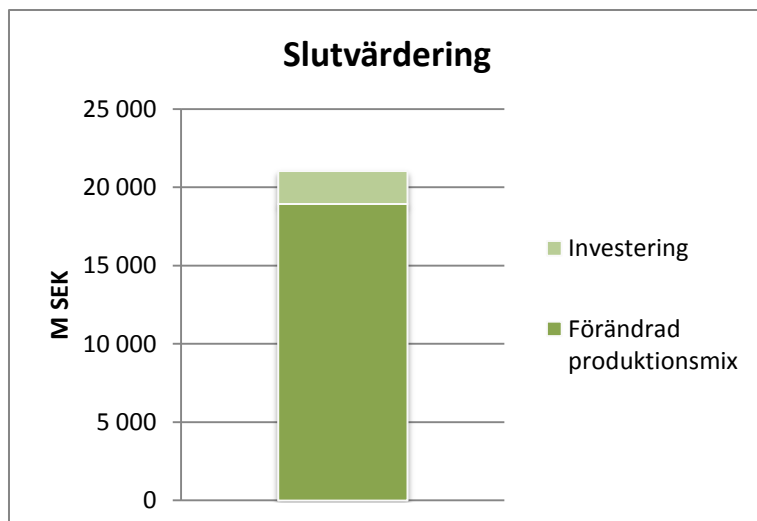
Figur 22. Livscykelns bidrag till slutvärderad miljökostnad för nordlig förbindelse till Norge.

De fyra utsläppen återfinns i figur 23, vilken har logaritmisk skala för att kunna visa alla utsläpp då dessa varierar stort. Av utsläppen dominerar de som påverkar klimatet. Om resultatet mellan utlandsinvesteringarna jämförs kan det konstateras att de klimatpåverkande utsläppen från Tysklandsförbindelsen enbart är 40 % av de från den nordliga förbindelsen till Norge, trots att de har i storleksordningen lika längd. Det beror främst på avskogningen av ledningsgatan. Dock har Tysklandsförbindelsen 20 % högre försurande utsläpp än Norgeförbindelsen, vilket beror på materialsammansättningen i kabeln med plaster och bly.



Figur 23. Utsläpp från livscykeln av nordlig förbindelse till Norge. Obs! Logaritmisk skala.

I figur 24 syns relationen mellan miljökostnaden för investeringen i sig samt för dess påverkan på den europeiska produktionsmixen. I detta fall är det tydligt att förstärkningen inte bidrar till att produktion med mindre miljöpåverkan konkurrerar ut produktion med mer miljöpåverkan eftersom miljövärderingen av förändringen i produktionsmix visar på en miljökostnad.



Figur 24. Slutvärdering av miljökostnader för investering och förändrad produktionsmix för nordlig förbindelse till Norge.

5.2.4 Anslutning av förnybar produktion: Ny station

Svenska Kraftnät har ett uppdrag och en skyldighet att ansluta ny produktion av tillräcklig storlek till stamnätet. I dagsläget rör det sig ofta om anslutning av vindkraftsparker. Då behöver ofta en ny station med transformeringsmöjlighet byggas. Även stationer ska kunna miljövärderas med hjälp av det framtagna verktyget. Värderingen baseras på antalet ledningsfack, transformatorer och reaktorer i stationen. Det som bör poängteras vid värdering av stationer är att endast 400 kV-sidan i ställverket beaktas och inte andra spänningsnivåer i ställverket, ej heller själva stationsbyggnaden eller tillhörande kontrollutrustning.

Detta exempel består av en mindre station med två ledningsfack och en transformator som ska möjliggöra anslutning av en vindkraftspark. Till denna anslutning har även en separat beräkning av förlusterna i det svenska nätet gjorts, vilket möjliggör värdering även av förlustförändringens miljöpåverkan. Indata till beräkningen återfinns i tabell 29. Stationen kommer ligga i skogsmark i Norrland och kommer medföra en förlustminskning på 68 000 MWh per år.

Tabell 29. Indata till beräkning för station.

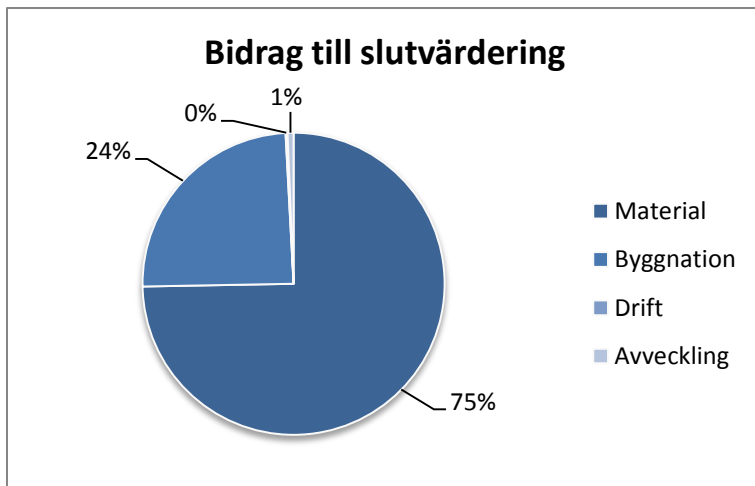
Tekniska data	Station
Terräng (% skog)	100
Geografi	Norrland
Antal ledningsfack	2
Antal trafo	1
Förlustförändring	(MWh)
Sverige	-68 000

Resultatet från beräkningen syns i tabell 30. Materialåtgången är 558 ton, varav 79 % är från metallresurser och 17 % från fossila resurser. Slutvärderingen av investeringens miljökostnad är 60 miljoner SEK och mittvärderingen är 5 miljoner SEK. Den förändring i förluster som investeringen medför får en miljökostnad på -1,3 miljarder SEK med slutvärdering och -150 miljoner med mittvärdering. Om detta räknas in i kalkylen får investeringen därmed en miljövinst.

Tabell 30. Resultat från beräkning för station.

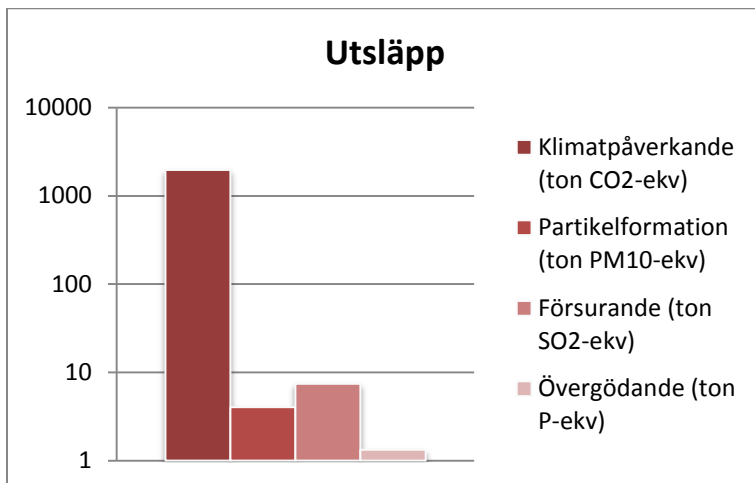
Beräkningsresultat	Station	Enhet
MATERIALÅTGÅNG		
Totalt	558	ton
varav metallresurs	442	ton
varav fossil resurs	95	ton
varav övrigt	21	ton
UTSLÄPP		
Klimatpåverkande	1 968	ton CO ₂ -ekv
Partikelformation	4	ton PM ₁₀ -ekv
Försurande	7	ton SO ₂ -ekv
Övergödande	1	ton P-ekv
MILJÖKOSTNAD		
Slutvärdering	58	MSEK
varav material	43	MSEK
varav byggnation	14	MSEK
varav drift	0	MSEK
varav avveckling	0	MSEK
Mittvärdering	5	MSEK
FÖRÄNDRING I FÖRLUSTER/PRODUKTIONSMIX		
Slutvärdering	-1 289	MSEK
Mittvärdering	-141	MSEK
Klimatpåverkande utsläpp	-83 445	ton CO ₂ -ekv
Partikelformerande utsläpp	-277	ton PM ₁₀ -ekv
Försurande utsläpp	-545	ton SO ₂ -ekv
Övergödande utsläpp	-63	ton P-ekv

I figur 25 syns hur de olika delarna av livscykeln bidrar till den totala miljökostnaden för investeringen. Material och byggnation står tillsammans för i princip hela miljökostnaden.



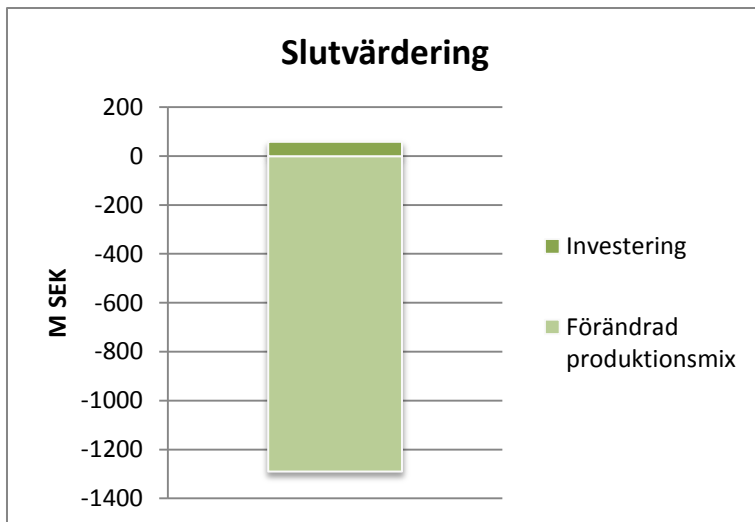
Figur 25. Livscykelns bidrag till slutvärderad miljökostnad för station.

De dominerande utsläppen återfinns i figur 26, vilken har logaritmisk skala för att kunna visa alla utsläpp då dessa varierar stort. Av utsläppen dominerar de som påverkar klimatet.



Figur 26. Utsläpp från livscykeln av station. Obs! Logaritmisk skala.

I figur 27 syns relationen mellan miljökostnaden för investeringen i sig samt miljökostnaden för förlustförändringen. I detta fall är värderingen av förändrade förluster avsevärt mycket större och med motsatt tecken än värderingen av investeringen, vilket leder till en miljövinst totalt sett.



Figur 27. Slutvärdering av miljökostnader för investering och förändrad produktionsmix för station.

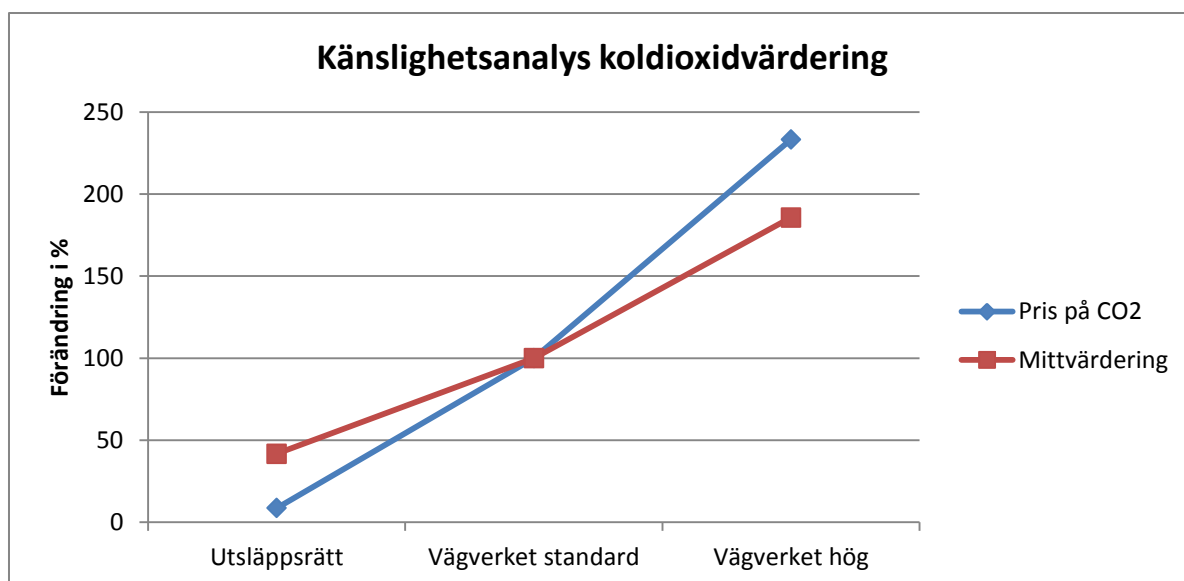
5.3 Känslighetsanalys och validering

En känslighetsanalys har genomförts för de parametrar som gett stor inverkan på slutresultatet eller av andra skäl funnits viktiga att undersöka. Till de flesta av känslighetsanalyserna har ett basfall på en km AC luftledning genom skog i Svealand använts. För indata till detta, se tabell 31. Detta basfall har valts för att det speglar ett stort antal av de inneboende värderingar som ingår i metoden.

Tabell 31. Indata till känslighetsanalyser.

Indata	
Ledningens längd	1 km
Teknik	AC Luft
Terräng (% skog)	100
Geografi	Svealand

Den första känslighetsanalysen genomförs på värderingen av koldioxidutsläpp. Värderingen av koldioxidutsläpp är av stor betydelse för mittvärderingen av miljökostnaden. Storleken på värderingen vilar också på osäkra grunder, se avsnitt 4.3.1.1. Den värdering på koldioxid som används som standard i verktyget är Vägverkets rekommenderade kalkylvärde på 1 500 SEK/ton. Som lägre värdering antas värdet på en utsläppsrätt 2010, vilket var 130 SEK/ton, och som högre värdering antas Trafikverkets rekommenderade höga värde på 3 500 SEK/ton. Resultatet från den första känslighetsanalysen syns i figur 28.



Figur 28. Resultat från känslighetsanalys för koldioxidvärdering.

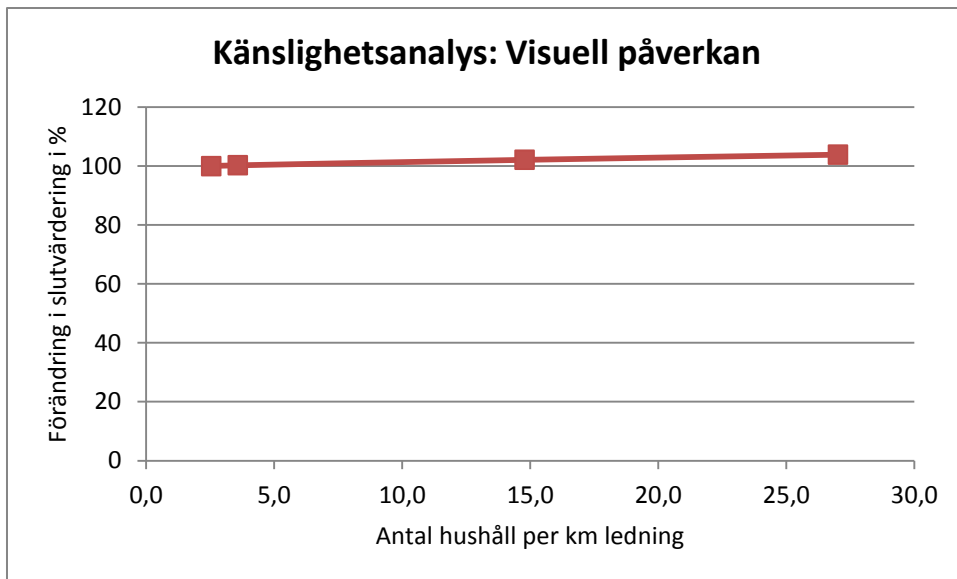
Koldioxidvärderingen har mycket stor betydelse för mittvärderingen av investeringens miljökostnad. När priset på koldioxid minskar med 92 % så sjunker mittvärderingen med 58 %. När priset på koldioxid ökar med 133 % så stiger mittvärderingen med 85 %. Valet av värdering är alltså avgörande för resultatet av mittvärderingen av miljökostnad.

Eftersom koldioxidvärderingen är så betydelsefull för mittvärderingen av en investerings miljökostnad genomfördes en andra känslighetsanalys för några av de tillämpade fallberäkningarna från avsnitt 5.2. Enbart mittvärderingen för de tre exemplen studerades vid de tre olika värderingarna på koldioxid. Resultatet återfinns i tabell 33. Som synes får värderingen på koldioxid mycket stor betydelse för den mittvärderade miljökostnaden. Det är därför viktigt att bevaka vilken värdering för koldioxid som används och se till att den är hålls aktuell och uppdaterad.

Tabell 32. Resultat från känslighetsanalys på mittvärderad miljökostnad för tre tillämpade exempel vid variation av koldioxidvärderingen.

Mittvärderad miljökostnad (MSEK)	CO ₂ värderad med utsläppsrätt	CO ₂ värderad med Vägverket standard	CO ₂ värderad med Vägverket hög
HVDC-länk	133	239	394
Norgeförbindelse	118	248	437
Ny station	3	5	7

Den tredje känslighetsanalysen rör visuell påverkan. En parameter som har hög osäkerhet i metoden är antalet hushåll i den visuella ledningsgatan. Därför genomfördes en känslighetsanalys där ett betydligt högre antal hushåll antogs per kilometer för att undersöka om detta kan komma att få stor betydelse för slutvärderingen. Resultatet återfinns i figur 29. De antal hushåll som antogs per kilometer ledning, utöver grundfallet på 2,6 hushåll, motsvarar snittet utanför storstadsregionerna för Norrland, Svealand respektive Götaland på 3,6 respektive 14,8 och 27,0 hushåll.



Figur 29. Resultat av känslighetsanalys för visuell påverkan.

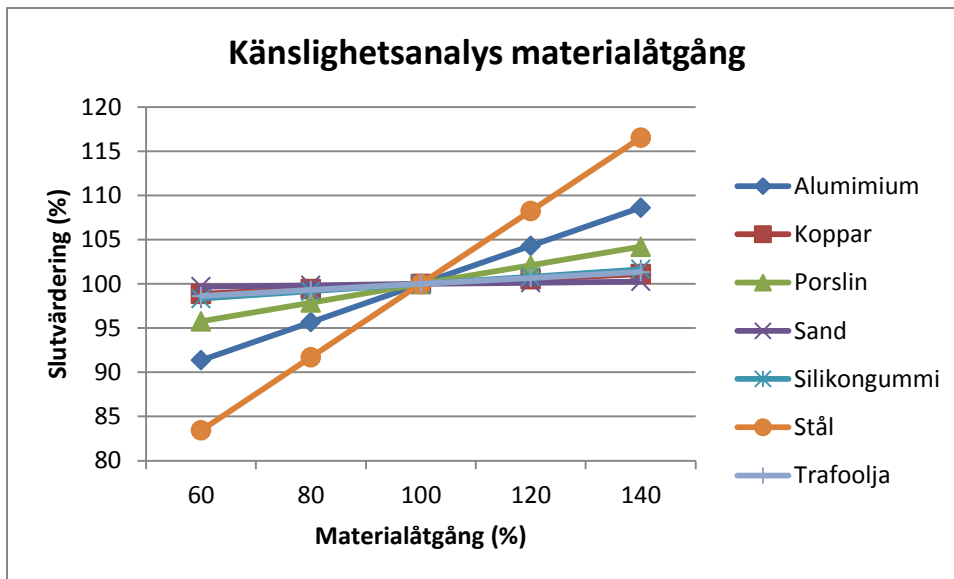
Om antalet hushåll per kilometer ledning ökar så ökar också slutvärderingen, men enbart marginellt. Osäkerheten kring värderingen av visuell påverkan är därmed av mindre betydelse eftersom det inte påverkar slutvärderingen nämnvärt.

Den största betydelsen för slutvärderingen har materialåtgång och genom den resursutarmning. Därför gjordes en fjärde känslighetsanalys på ett ledningsfack i Svealand för att undersöka vilka material som påverkar mest. Indata till denna beräkning återfinns i tabell 33.

Tabell 33. Indata till känslighetsanalys för material.

Indata	
Terräng (% skog)	100
Geografi	Svealand
Antal ledningsfack	1

Resultatet återfinns i figur 30. Det material som påverkar mest är stål, vilket trivialt beror på att stål står för den absolut största materialmängden. Sambandet mellan ingående mängd och påverkansstorlek stämmer för alla analyserade material utom för sand med dess låga miljöpåverkan.



Figur 30. Resultat av känslighetsanalys för materialåtgång.

Vad gäller validering av resultat är det alltid svårt att jämföra två livscykelanalyser, även om de har samma funktionella enhet, eftersom de bygger på olika studerade system och olika antaganden. Utifrån en önskan om validering kan det ändå vara relevant att jämföra resultat för att se om storleksordningen och/eller grundstrukturen är liknande. I tabell 34 återfinns en jämförelse mellan resultatet från verktygets mittpunktskategorier och motsvarande från en norsk/dansk studie (Jorge, Hawkins, & Hertwich, 2011). Denna jämförelse är relevant att göra eftersom båda beräkningarna använt samma metod för miljöpåverkansbedömning, ReCiPe 2008 med hierarkiskt perspektiv. I verktyget har fallet en km luftledning i öppen mark genom Götaland använts för att bäst matcha den norska studiens danska indata.

Tabell 34. Jämförelse av resultat för 1 km luftledning från verktyget och norsk/dansk LCA.

UTSLÄPP	Verktyget	Norsk LCA
Klimatpåverkande	281	250 ton CO ₂ -ekv
Partikelformation	0,66	1,2 ton PM ₁₀ -ekv
Försurande	1,3	1,5 ton SO ₂ -ekv
Övergödande	0,12	0,13 ton P-ekv

Som synes är resultaten relativt likartade. Mest avvikande är de partikelformerande utsläppen som är dubbelt så stora i den norsk/danska studien. Fördelningen mellan de i livscykeln ingående delarna är likartad mellan verktyget och den norsk/danska studien, där material till master och ledare väger absolut tyngst i miljöpåverkan.

6 Diskussion

Att utforma ett verktyg för att värdera miljöpåverkan är ett arbete som förutsätter att en hel del avvägningar och antaganden görs. Detta får till följd att det verktyg som tagits fram har subjektiva antaganden internaliserade. Det är viktigt att vara medveten om detta faktum då resultat från verktyget tolkas. Fördelen med att använda ett verktyg med internaliserade antaganden är att det är

samma antaganden varje gång en beräkning görs och att de därmed inte kommer variera med användaren. Kopplat till detta ligger verktygets främsta nytta: att jämföra miljöpåverkan och -kostnad mellan olika alternativ. Eftersom beräkningen görs med samma antaganden kommer den uppvisade differensen peka på en verklig skillnad. Skillnaden kan dock vara snedvriden på grund av hur avgränsningar gjorts och systemgränser satts.

En klassisk sanning inom modellering är begreppet "skit in, skit ut". Det betyder att en modell aldrig kan ge bättre kvalitet på utdata än kvaliteten på varit indata. I verktygets fall handlar det till viss del om den uppskattning som görs av nätutredaren i form av de indata som matas in, men framförallt om de schablondata, miljöpåverkansdata och värderingar som ligger inbäddade. Antaganden och schabloner finns redovisade i avsnitt 4.2.

Osäkerheterna i schablondata är av olika storlek. När det gäller de som påverkar mest, materialdata, är säkerheten relativt hög. Dock har ledningen antagits vara densamma i alla fall, en sorts generell ledning. I verkligheten styr dock miljön för sträckningen bl.a. vilken typ av stolpar som behöver användas och den verkliga ledningens materialåtgång kan då avvika från materialåtgången i den generella ledningen. Störst osäkerhet ger schablondata för byggnationsfasen i form av bränsleförbrukningar samt de dataluckor som finns i form av persontransporter samt underhåll för kabel och station. De bränsleåtgångar som ligger till grund för verktyget är från verkliga anläggningsprojekt, men varje projekt är unikt. Att basera bränsleåtgångar på ett medelvärde från ett större urval data vore mindre osäkert. Detta kan och bör göras när fler anläggningsprojekt avslutats. Att buller och elektromagnetiska fält försummas bedöms fått mindre inverkan på slutresultatet och deras frånvaro påverkar inte verktygets osäkerhet mer än marginellt.

Osäkerheterna i miljöpåverkansdata rör inte främst storleken på siffran utan huruvida de processer som valts i SimaPro rätt motsvarar de verkliga processerna. Antagandet som gjorts under arbetet är att de motsvarar tillräckligt bra för ett verktyg som ska ge övergripande information om miljöpåverkan och -kostnad. Dock visar resultat att särskilt tillverkningsprocesserna av material får mycket stor inverkan och ska en mer noggrann miljöpåverkan utredas bör en mer fullständig livscykelanalys först utföras. Den allokerade inverkan från infrastruktur för fabriker som producerar råmaterial som inkluderades har visat sig få liten inverkan på slutresultatet.

Det går att diskutera huruvida det är rimligt att belasta elnätsinvesteringar i skog med den koldioxid som utan investeringen skulle bundits in i biomassa, såsom antagits i avsnitt 4.2.3. Skogens kolkretslopp är på lång sikt neutralt. Resonemanget under framtagandet av verktyget är att skogsråvaran dock används som förnybar energi, antingen tidigt i livscykeln i form av grot eller senare i form av returträ. Denna förnybara energi ersätter energi från fossila bränslen och all hindrad tillväxt av skogsråvara som skulle ha använts till förnybar energi medför därmed ett indirekt utsläpp av koldioxid. Det hade också varit tänkbart att även räkna på hur kolpoolen i marken förändras vid avskogningen i samband med etablerandet av ledningsgatan, men i verktyget bedömdes det vara tillräckligt att räkna på den koldioxid som inte bundits in i biomassan.

Den metod för miljöpåverkansbedömning som använts, ReCiPe 2008, ger möjlighet att justera huruvida erhållen miljöpåverkan ska vara faktiskt eller potentiell genom de olika perspektiv som kan väljas. Det individualistiska perspektivet fokuserar på faktisk skada medan det egalitära perspektivet räknar in även potentiell miljöpåverkan. Det perspektiv som valts till verktyget, det hierarkiska, ska räkna in de teorier som forskare och politiker kan enas om är väl dokumenterade och kan därmed

sågas främst spegla faktiskt miljöpåverkan. Samtidigt är t.ex. klimatmodellering förknippat med stora osäkerheter och miljöpåverkan kan därmed även sägas vara potentiell. Om hänsyn tas till att miljöpåverkan av investeringen beräknas genom schabloner talar även detta för att miljöpåverkan snarare ska ses som potentiell än faktisk.

När det gäller verktygets värderingar av miljöpåverkan så är de av orienterande karaktär snarare än absolut sanning. Ska en korrekt miljöekonomisk bedömning av betalningsvilja göras så behöver studien vara mycket plats- och tidsspecifik. Särskilt studier med CV-metoden är starkt beroende av att de som deltar i undersökningen verkligen vet vad som ska värderas, se avsnitt 2.3.2 och 2.3.6.1. Att ta miljöekonomiska värderingar från en studie och tillämpa det på en liknande situation kallas värdeöverföring och detta har praktiserats i framtagandet av verktyget. Det är en metod som kan ifrågasättas i ljuset av argumenten ovan. Särskilt slutvärderingen är utsatt för detta problem. Ett exempel är värderingen av slutpunktskategorin mänsklig hälsa, där människor från början svarat på frågan om vad de är beredda att betala för att minska risken att dö i trafiken en aning. Inbäddat i deras svar ligger efter verktygets värdering även miljöproblem som klimatförändring och ekotoxicitet. Av dessa skäl rekommenderas inte slutvärderingen till användning i en kostnadsnyttoanalys, utan där bör hellre mittvärderingen användas. De värderingar som mittvärderingen utnyttjar, Vägverkets kalkylvärden, är också framtagna med syfte att användas i just kostnadsnyttokalkyl. Samtidigt är slutvärderingen mycket illustrativ i och med att en bredare miljöpåverkan kan belysas och den bör användas vid jämförelser mellan olika studerade alternativ.

Verktyget syftar till att värdera miljöpåverkan. Ofta är denna miljökostnad av extern karaktär, men vissa kostnader finns internaliserade. Tre exempel på sådana interna miljökostnader är de ersättningar som Svenska Kraftnät betalar till markägare vid anläggandet av nya investeringar, skatter på bränslen samt priset på utsläppsrätter. Rent strikt ska dessa interna miljökostnader räknas bort i de fall de också täcks av verktygets framräknade miljökostnad. Någon sådan strikt borträkning har dock inte genomförts. Dessa interna miljökostnader har bedömts vara försumbara i jämförelse med den framräknade miljökostnaden.

Verktyget har baserats på ett livscykelperspektiv. Detta har medfört att det är global miljöpåverkan som främst behandlas i det. Ofta står global och lokal miljöpåverkan i viss mån i konflikt med varandra. Investeringar i det svenska stamnätet för att möjliggöra en utbyggnad av förnybar energiproduktion påverkar lokal natur- och kulturmiljö starkt i form av intrång av en ledning eller en station. Samtidigt gynnas den globala miljön av att t.ex. utsläpp av klimatpåverkande och försurande gaser minskar då fossil elproduktion ersätts med t.ex. vindkraft. Sett till denna konflikt fokuserar alltså verktyget i huvudsak på global miljöpåverkan. Det är dock viktigt att komma ihåg att lokal miljöpåverkan utreds mycket noggrant och platsspecifikt i samband med miljökonsekvensbeskrivningen av en investering. Detta sker i ett senare skede av investeringsplaneringen och informationen i MKB:n kommer inte finnas tillgänglig vid användandet av verktyget.

En jämförelse som kan vara relevant att göra är den mellan investeringens miljöpåverkan och den miljöpåverkan som förändringen i förluster eller produktionsmix ger upphov till, se avsnitt 2.1 och 4.2.3. Då sätts investeringen in i det sammanhang som den ska fungera i. Är miljökostnaden för investeringen många gånger större än miljövinsten från minskade förluster trots att investeringens syfte var att minska förluster så är miljöpåverkan uppenbarligen för stor. På samma sätt när internationella förbindelser planeras. Om investeringen utöver sin egen miljökostnad dessutom leder

till en stor miljökostnad på grund av ökad produktion från fossila bränslen är investeringen kanske inte att rekommendera. Samtidigt planeras aldrig en investering utifrån enbart miljömässiga skäl. Driftssäkerhet är alltid det absolut viktigaste motivet och ökad integration av elmarknaderna kan vara ett argument som får högre prioritet än miljöpåverkan. Att verktyget har utvecklats och investeringar nu kan miljövärderas ger dock möjlighet att låta miljöpåverkan vara med i beslutsunderlaget på samma villkor som andra aspekter och därmed ge dessa frågor större tyngd i bedömningar av framtida investeringar i det svenska stamnätet.

7 Slutsats och förslag på vidare utredningar

Miljöpåverkan och -kostnad är svårbedömt. Verktyget kan ändå anses ge en god allmän bild om en investeringens miljöpåverkan och dess miljökostnad utifrån de antaganden och modeller som redovisats i denna rapport.

Miljöpåverkan av en investering i stamnätet kan vara av mycket olika storlek beroende på vilken teknik som väljs och vilket område investeringen byggs i. En investeringens miljökostnad kan helt täckas av miljövinsten från reducerade förluster eller förändrad produktionsmix.

Det är viktigt att verktyget används enligt de rekommendationer som lämnats i denna rapport och att en medvetenhet om modellens begränsningar finns hos den som använder verktyget. Det är också av betydelse att verktyget används internt som ett utvecklingsverktyg och inte används för att kommunicera data om miljöpåverkan externt, då verktyget inte är utvecklat för detta och heller inte har granskats av någon extern oberoende part inom elnätsbranschen.

Det som behöver utvecklas i verktyget är en modell för persontransporter samt mer ingående data om underhåll för kabel och station. När det gäller schablondata för stamnätet kan detta enkelt uppdateras i verktyget om förhållanden eller standardteknik förändras samt när bättre underlag för bränsleförbrukning erhållits.

Det vore också relevant att genomföra en mer detaljerad livscykelanalys på stamnätet då den senaste är från 1997 och mycket har förändrats inom branschen sedan dess. Om en större noggrannhet kring värderingar önskas kan dessutom fler värderingsstudier genomföras kring visuell och elektromagnetisk påverkan från elnät på boende och arbetande i närheten av kraftledningar.

8 Referenser

- Anand, S., & Hanson, K. (1997). Disability-adjusted life years: a critical review. *Journal of Health Economics*, 16(6), 685-702.
- Arnell, S. (2010). *LCA of three different solutions for a 220 kV substation. GIS, AIS standard and AIS with disconnecting breakers*. ABB Corporate Research.
- Atkinson, G., Day, B., & Mourato, S. (2006). Underground or overground? Measuring the visual disamenity from overhead electricity transmission lines. i D. Pearce, *Environmental valuation in developed countries: Case studies* (ss. 213-239). Cheltenham: Edward Elgar.
- Atkinson, G., Day, B., Mourato, S., & Palmer, C. (2004). 'Amenity' or 'eyesore'? Negative willingness to pay for options to replace electricity transmission towers. *Applied Economics Letters*, 11(4), 203-208.
- Baumann, H., & Tillman, A.-M. (2004). *The Hitch Hiker's Guide to LCA*. Lund: Studentlitteratur.
- Bergh, J. (den 21 oktober 2011). Koldioxidinlagring och tillväxt i skog. *Mailkonversation*. Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap, SLU.
- Bickel, P., & Friedrich, R. (2005). *Extern E - Externalities of Energy*. Luxemburg: Europeiska kommissionen.
- Bjerke, J. O. (den 13 september 2011). Värdering av miljöpåverkan - Hur arbetar Statnett? *Mailkonversation*.
- Bjermkvist, J.-E. (den 22 september 2011). Skogligt underhåll av kraftledningar. *Mailkonversation*.
- Bond, S., & Hopkins, J. (2000). The impact of transmission lines on residential property values: Results of a case study in a suburb of Wellington, NZ. *Pacific Rim Property Research journal*, 6(2), 52-60.
- Borgström, T., & Ekroth, R. (1997). *Att sätta pris på ett företags miljöpåverkan*. Examensarbete, KTH, Naturvårdsverkets rapportserie nr 4809. Stockholm: Naturvårdsverket förlag.
- Brännlund, R., & Kriström, B. (1998). *Miljöekonomi*. Lund: Studentlitteratur.
- Carls hem, L. (den 11 oktober 2011). Materialåtgång för luftledning (AC och HVDC). *Intern uppgift*.
- Christie, M., Hanley, N., Warren, J., Murphy, K., Wright, R., & Hyde, T. (2006). Valuing the diversity of biodiversity. *Ecological Economics*, 58(2), 304-317.
- Croitoru, L., & Sarraf, M. (2010). *The Cost of Environmental Degradation: Case Studies from the Middle East and North Africa*. Washington DC: The World Bank.
- Dahlström, H. (den 31 oktober 2011). Driftsbesiktning med helikopter. *Mailkonversation*.
- Eddegren, S. (den 29 september 2011). Värdering av miljöpåverkan - Hur arbetar E.ON? *Mailkonversation*.
- Energimyndigheten. (2011). *Långsiktsprogno 2010*. Eskilstuna: Statens Energimyndighet.

- Energinet.dk. (2010). *Livscyklusvärdering Dansk el og kraftvarme*. Dong Energy, Energinet.dk & Vattenfall.
- Erlandsson, M., & Almemark, M. (2009). *Background data and assumptions made for an LCA on creosote poles*. Stockholm: IVL Swedish Environmental Research Institute.
- Fox Rushby, J., & Hanson, K. (2001). Calculating and presenting disability adjusted life years (DALYs) in cost-effectiveness analysis. *Health Policy and Planning*, 16(3), 326-331.
- Gärdenäs, S., Malmquist, G., Setterwall, C., & Brännström-Norberg, B.-M. (1997). *LCA Elöverföring*. Stockholm: Vattenfall Utveckling.
- Gehlin, G. (den 25 september 2011). Materialåtgång för kabel (AC och HVDC). *Intern uppgift*.
- Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., Schryver, A. D., Strujis, J., & van Zelm, R. (2009). *ReCiPe 2008*. Haag: Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.
- Guldager Simonsen, C. (den 17 oktober 2011). Värdering av miljöpåverkan - Hur arbetar Energinet.dk? *Mailkonversation*.
- Guldbrand, A. (den 28 september 2011). Värdering av miljöpåverkan - Hur arbetar Fortum? *Mailkonversation*.
- Gustafsson, T. (den 27 oktober 2011). Bränsleförbrukningar vid avverkning. *Mailkonversation*.
- Hanley, N., & Barbier, E. B. (2009). *Pricing Nature*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing.
- 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(7), 3622-3631.
- Hjort, C., & Tensskog, M. (2008). *Vägverkets samhällsekonomiska kalkylvärden*. Borlänge: Vägverket.
- Holland, M., Pye, S., Watkiss, P., Droste-Franke, B., & Bickel, P. (2005). *Damages per tonne emission of PM2.5, NH3, SO2, NOx, and VOCs from each EU25 Member State (excl Cyprus) and surrounding seas*. Didcot: AEA Technology.
- Hultkrantz, L., & Svensson, M. (2008). Värdet av liv. *Ekonomisk debatt*, 36(2), 5-16.
- Jorge, R. S., Hawkins, T. R., & Hertwich, E. G. (2011a). Life cycle assessment of electricity transmission and distribution - part 1: power lines and cables. *International Journal of Life Cycle Assessment*, (online publishing), 1-7.
- Jorge, R. S., Hawkins, T. R., & Hertwich, E. G. (2011b). Life cycle assessment of electricity transmission and distribution - part 2: transformers and substation equipment. *International Journal of Life Cycle Assessment*, (online publishing).
- JRC-IES. (2010). *ILCD Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance*. Luxemburg: Europeiska kommissionen.
- Naturvårdsverket. (1997). *Ekonomisk värdering av miljön - Metoder för att mäta efterfrågan på miljötillgångar*. Stockholm: Naturvårdsverket Förlag.

- Navrud, S., Ready, R. C., Magnussen, K., & Bergland, O. (2008). Valuing the Social Benefits of Avoiding Landscape Degradation from Overhead Power Transmission Lines: Do Underground Cables Pass the Benefit-Cost Test? *Landscape Research*, 33(3), 281-296.
- Nilsson, P., & Cory, N. (2011). *Skogsdata 2011*. Institutionen för skoglig resurshushållning. Umeå: SLU.
- OKQ8. (den 3 november 2011). *Produkt- och säkerhetsdatablad Drivmedel*. Hämtat från <http://www.okq8.se/privat/ovrigt/produkt--sakerhetsdatablad/okq8produkter/drivmedel> den 3 november 2011
- Ott, W., Baur, M., Kaufmann, Y., Frischknecht, R., & Steiner, R. (2006). *Assessment of Biodiversity Losses*. NEEDS New Energy Externalities Developments for Sustainability.
- Penttilä, M. (den 14 september 2011). Värdering av miljöpåverkan - Hur arbetar Fingrid? *Mailkonversation*.
- Persson, U., & Hjelmgren, J. (2003). Hälso- och sjukvården behöver kunskap om hur befolkningen värderar hälsan. (3436-3437, Red.) *Läkartidningen*, 100(43).
- Portland Cement Association. (2011). *Frequently Asked Questions*. Hämtat från http://www.cement.org/tech/faq_unit_weights.asp den 12 oktober 2011
- Sarközi, P. (den 13 september 2011). Värdering av miljöpåverkan - Hur arbetar Vattenfall? *Mailkonversation*.
- Schönborg, N. (den 20 oktober 2011). Materialåtgång för transformator och reaktor. *Mailkonversation*.
- SkogsSverige. (2011). *Omföringstabell vanliga kubikmetermått i skogen*. Hämtat från <http://www.skogssverige.se/skog/skogen/swe/lathund.cfm> den 12 oktober 2011
- Söderholm, P., & Sundqvist, T. (2003). Pricing environmental externalities in the power sector: ethical limits and implications for social choice. *Ecological Economics*, 46(3), 333-350.
- Statens vegvesen. (2006). *Håndbok 140 Konsekvensanalyser*.
- Statistiska centralbyrån. (2008). *Statistiska meddelanden: Boende och boendeutgifter 2006*. Örebro: Statistiska centralbyrån.
- Statistiska centralbyrån. (2010). *Miljörelaterade skatter, subventioner och utsläppsrätter*. Rapport 2010:2 Miljöräkenskaper. Stockholm: Statistiska centralbyrån.
- Statistiska centralbyrån. (2010). *Tabeller över Sveriges befolkning 2009*. Örebro: Statistiska centralbyrån.
- Statistiska centralbyrån. (2011). *Nationalräkenskaper, kvartals- och årsberäkningar*. Hämtat från <http://www.scb.se/NR0103> den 12 oktober 2011
- Svenska Kraftnät. (2003). *Miljöutredning*. Sundbyberg: Svenska Kraftnät.

Svenska Kraftnät. (2006). *Miljökonsekvensbeskrivning Ny 400 kV ledning Järpströmmen - norska gränsen*. Sundbyberg: Svenska Kraftnät.

Svenska Kraftnät. (2009). *Miljökrav i bygg- och anläggningsentreprenader samt underhållsentreprenader*. Sundbyberg: Svenska Kraftnät.

Svenska Kraftnät. (2010a). *Miljökonsekvensbeskrivning SydVästlänken - Ny likströmsförbindelse Barkeryd-Hurva med spänning upp till 400 kV*. Sundbyberg: Svenska Kraftnät.

Svenska Kraftnät. (2010b). *Strategisk Miljöbedömning SydVästlänken*. Sundbyberg: Svenska Kraftnät.

Svenska Kraftnät. (2011). *Miljömål för Nätutveckling*. Hämtat från <http://info.svk.local/Om-oss/Verksamhetsplan--risk/InGrid/> den 31 08 2011

Ugarte Delgado, M. (den 6 oktober 2011). Konvertering av materialdata från 220 till 400 kV. *Muntlig uppgift*.

Vattenfall. (2007). *LCA på Elnät*. Stockholm: Vattenfall.

WHO. (2011). *Metrics: Disability-Adjusted Life Year (DALY)*. Hämtat från http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/metrics_daly/en/index.html den 23 november 2011

Bilagor

A. Miljöpåverkan av elproduktion

Tabell 35. Miljöpåverkan av elproduktion från utvalda bränslegrupper efter modellering i SimaPro.

Miljöpåverkan per kWh	Klimatförändring (kg CO ₂ -ekv)	Ozonuttunning (kg CFC-11-ekv)	Partikel-formering (kg PM ₁₀ -ekv)	Försurning (kg SO ₂ -ekv)	Övergödning (kg P-ekv)	Resursutarmning metall (kg Fe-ekv)	Resursutarmning fossilt (kg olje-ekv)
Avfall och bio	1,47E-01	1,53E-08	5,73E-04	1,40E-03	1,76E-04	6,90E-03	4,06E-02
Brunkol	1,22E+00	1,55E-09	3,84E-04	1,20E-03	2,93E-03	1,87E-03	3,02E-01
Gas	5,98E-01	9,60E-08	2,01E-04	5,75E-04	2,53E-06	1,86E-03	2,33E-01
Kärnkraft	1,04E-02	5,59E-08	5,82E-05	6,01E-05	5,57E-06	5,12E-03	2,89E-03
Olja	6,06E-01	7,44E-08	7,64E-04	2,57E-03	1,70E-05	2,77E-03	2,06E-01
Sol	8,06E-02	1,60E-08	1,35E-04	3,51E-04	6,77E-05	2,87E-02	2,44E-02
Stenkol	9,65E-01	3,20E-09	5,17E-04	1,88E-03	2,68E-04	2,51E-03	2,67E-01
Vatten	5,29E-03	2,51E-10	1,98E-05	1,39E-05	1,10E-06	1,91E-03	9,30E-04
Vind	1,12E-02	7,20E-12	3,22E-05	4,70E-05	7,23E-06	1,41E-02	3,46E-03