



Nr C 573
Januari 2021

Miljöeffekter av elnät och energilagring

En förstudie av nyckelkomponenter i ett framtida fossilfritt energisystem

Eskil Mattsson, Erik Lindblom, Erik Emilsson

Författare: Eskil Mattsson, Erik Lindblom, Erik Emilsson

Medel från: Naturvårdsverket

Fotograf: IVL Svenska Miljöinstitutet

Rapportnummer C 573

ISBN 978-91-7883-250-7

Upplaga Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© **IVL Svenska Miljöinstitutet 2021**

IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm

Tel 010-788 65 00 // www.ivl.se

Rapporten har granskats och godkänts i enlighet med IVL:s ledningssystem

Innehållsförteckning

| | |
|--|-----------|
| Sammanfattning..... | 6 |
| Summary | 8 |
| 1 Inledning | 10 |
| 1.1 Syfte och målsättning..... | 10 |
| 1.2 Bakgrund | 10 |
| 1.2.1 Elnätet..... | 11 |
| 1.2.2 Nationella miljömål..... | 12 |
| 1.2.3 Regionala miljömål..... | 12 |
| 1.3 Metod och genomförande | 14 |
| 2 Konceptuell analys..... | 15 |
| 2.1 Elnätets och energilagringens påverkanstryck på miljökvalitetsmålen..... | 15 |
| 2.2 Utmaningar med att bedöma och hantera miljöpåverkan av en delmängd av elsystemet | 18 |
| 3 Miljöeffekter från elledningar och transformatorstationer..... | 19 |
| 3.1 Berörda miljökvalitetsmål | 19 |
| 3.2 Generell miljöpåverkan ur ett livscykelperspektiv | 20 |
| 3.2.1 Tillverkning och anläggning..... | 20 |
| 3.2.2 Drift..... | 21 |
| 3.2.3 Kvittblivning | 21 |
| 3.3 Luftledningar | 22 |
| 3.3.1 Inbyggd miljöpåverkan i material | 22 |
| 3.3.2 Landskapsbild och ekologisk konnektivitet..... | 22 |
| 3.3.3 Biologisk mångfald | 23 |
| 3.3.4 Elektromagnetiska fält | 24 |
| 3.4 Markkablar | 24 |
| 3.4.1 Lokal miljöpåverkan | 25 |
| 3.5 Sjøkablar..... | 25 |
| 3.5.1 Bottenmiljön | 26 |
| 3.5.2 Buller och vibrationer | 26 |
| 3.5.3 Elektromagnetiska fält | 26 |
| 3.5.4 Sediment- och vattenkvalitet..... | 27 |
| 3.6 Transformatorstationer..... | 27 |
| 3.6.1 Lokal miljöpåverkan | 28 |
| 4 Miljöeffekter från energilagring | 29 |
| 4.1 Berörda miljökvalitetsmål | 29 |
| 4.2 Batterier | 30 |
| 4.2.1 Miljöpåverkan vid produktion och utvinning..... | 31 |
| 4.2.2 Vad händer med batterierna efter användning? | 32 |
| 4.3 Elektrolys och vätgaslager | 32 |

| | | |
|-------|---------------------------------------|----|
| 4.4 | Övriga energilagringstekniker | 33 |
| 4.4.1 | Termisk lagring i fjärrvärmenät..... | 33 |
| 4.4.2 | Lagring av komprimerad tryckluft..... | 34 |
| 4.4.3 | Pumpvattenkraft..... | 35 |
| 4.4.4 | Svänghjul..... | 37 |
| 4.4.5 | Saltlager för termisk solkraft..... | 38 |
| 4.4.6 | Superkondensatorer | 38 |
| 5 | Analys och slutsatser | 39 |
| 6 | Referenser..... | 42 |

Sammanfattning

IVL Svenska Miljöinstitutet har på uppdrag av Naturvårdsverket gjort en kartläggning av miljöeffekter av elnät och energilagringstekniker för lagring av el. Uppdraget utgör en begränsad förstudie och syftar till att kartlägga och sammanställa kunskap om miljökonsekvenser av elektrifiering. Kartläggningen baseras på en genomgång av publicerade rapporter, vetenskapliga artiklar och miljökonsekvensbeskrivningar.

Arbetet med uppdraget har avgränsats till att beskriva miljöeffekter från utbyggnad av nya elnät och förstärkning av befintliga elnät samt olika energilagringstekniker som kan ha betydelse i Sveriges framtida energisystem. Vi beskriver miljöpåverkan från utbyggnad av elnät och olika energilagringstekniker för olika delar av livscykeln, dvs. utvinning av råvaror, tillverkning, anläggning, drift och underhåll samt kvittblivning inklusive återanvändning och återvinning.

För utbyggnad av elnät är det generellt utvinning av råvaror och tillverkning av material som förväntas stå för den största negativa miljöpåverkan inom livscykeln. Vid anläggning och drift påverkas miljön lokalt i form av förändrad markanvändning till följd av till exempel avverkning och materialtransport, vilket påverkar naturmiljön på olika sätt. Denna påverkan kan vara betydande och beror mycket på vilken typ av landskap och naturmiljö som ledningen anläggs i samt skötselåtgärder under driftfasen. Även teknikval, samt om ledningen är luftburen, markbaserad eller sjöbaserad har betydelse. För transformatorstationer står råvaror och tillverkning av material för en stor del av miljöpåverkan, men även påverkan på omkringliggande naturmiljö och lokala utsläpp till mark och vatten kan uppstå.

För batterier uppstår den största miljöpåverkan i utvinnings- och tillverkningsfasen. Driften av batterier bedöms inte ge upphov till någon betydande miljöpåverkan. Det behövs dock bättre dataunderlag, framför allt kring råvaruproduktionen, för att beskriva batteriernas totala miljöpåverkan. Storskalig lagring av vätgas kan spela en viktig roll i ett framtida svenskt energisystem. När vätgas används för att lagra energi och sedan producera el beror miljöpåverkan till stor del på hur vätgasen produceras men beståndsdelar i bränsleceller som producerar el av vätgas avgör också vätgaslagrets miljöpåverkan.

För andra energilagrar som kan ha en viss betydelse för Sveriges framtida energisystem, som till exempel termisk lagring i fjärrvärmenät, lagring av komprimerad tryckluft och pumpvattenkraftverk, är miljöpåverkan ännu inte studerad på någon detaljerad skala. Generellt är miljöpåverkan i utvinnings- och tillverkningsfasen mindre för dessa energilagrar då redan befintlig infrastruktur till viss del kan användas. Lokal miljöpåverkan till följd av påverkan på närliggande naturmiljöer vid anläggning och drift kan vara stor.

Elnätets och energilagringens olika komponenter utövar olika typer av påverkanstryck under olika faser av livscykeln. Hur betydelsefullt detta påverkanstryck kan komma att bli för möjligheterna att uppfylla miljö kvalitetsmålen beror på en mängd faktorer, bland annat omfattning och exakt lokalisering av det framtida elnätet och ellagringen, miljö kvalitetsmålets status och påverkanstryck i övrigt. Det är dock tydligt att en stor del av miljöpåverkan för elnät och energilagrar sker utomlands och syns därmed inte i vår nationella miljömålsuppföljning.

Det finns avvägningar när global nytta som uppkommer ur fossilfri elproduktion ställs mot lokal påverkan av alla platsknutna värden, som behöver undersökas närmare i framtida studier. Den här förstudien gör en övergripande kartläggning av miljökonsekvenser från elnät och olika



energilager. För att framöver kunna beskriva hela bilden behövs det mer systematiserade och detaljerade studier av miljöpåverkan från elnät och olika energilager av de olika delarna av livscykeln. Slutsatserna som redovisas här ska betraktas som översiktliga och behöver kompletteras och fördjupas i kommande studier.

Summary

In this report, IVL Swedish Environmental Institute has analyzed the environmental effects from electrification as an enabler for a fossil free energy system. More specifically, this report aims to map and review knowledge about the environmental effects from electric power transmission and electricity storage methods within the Swedish electrical power grid. We review reports, scientific articles and environmental impact assessments and describe the environmental effects for different parts of the life cycle including extraction of raw materials, manufacturing, operation, maintenance and recycling.

Concerning development of electric power transmission, it is generally raw material extraction and manufacturing processing that has the largest environmental impact. In the operation and maintenance phase, local environmental effects can be prominent due to changes in the landscape, restrictions on land use, and impacts on nature and biodiversity. The magnitude of these effects varies in response to geographical characteristics of the landscape and the natural environment as well as management aspects within the landscape. Also, choice of technology and whether the transmission line is laid overhead, underground or submarine determine the level of environmental impact. For electrical substations, raw material and material manufacturing account for a large part of the environmental effects, although negative environmental effects can occur as a result of construction and operation such as land use change and emissions to water and soil.

The largest environmental impacts of batteries occur in the extraction phase of raw materials including production, while the operation stage has less environmental impact. For a more detailed and comprehensive understanding of the environmental impact throughout the life cycle of batteries, better data is needed, especially regarding raw material production and other battery components. Large-scale storage of hydrogen can play an important role in a future energy system in Sweden. The effect of hydrogen generation and storage on the environment depends on the production process. Also, fuel cells contain metals and elements which causes environmental impacts during raw material extraction and production.

More information and data are needed to assess the full environmental impact from other electricity storage technologies such as pumped hydroelectric, thermal energy storage and compressed air. Generally, the environmental effects for these electricity storage technologies are less pronounced in the extraction phase of raw materials including production, than for example batteries and hydrogen storage since existing systems and infrastructure can be used. However, local environmental effects can occur during construction and operation phase.

In general, there are different environmental pressures present for different components within electric power transmission and electricity storage methods throughout the life cycle. The significance of these different pressures to fulfill Sweden's environmental quality objectives will depend on a range of factors including location of future electric power transmission grids and electricity storage technologies, the current state of environmental quality objectives as well as other pressures. Since many types of environmental impacts occur outside Sweden, these impacts are not visible in the reviews of progress towards Sweden's environmental quality objectives.

There exist potential trade-offs between fulfilling climate mitigation goals through fossil free electricity generation on the one hand, and different local environmental effects on the other hand, that need further attention in future studies. In summary, this report gives a general overview of environmental impacts from electric power transmission and electricity storage methods. To give a



Rapport C 573 – Miljöeffekter av elnät och energilagring – En förstudie av nyckelkomponenter i ett framtida fossilfritt energisystem

more complete picture, more detailed and systematic studies are needed that explore environmental impacts throughout the life cycle.

1 Inledning

1.1 Syfte och målsättning

IVL Svenska Miljöinstitutet har fått i uppdrag av Naturvårdsverket att kartlägga miljökonsekvenser av elnät och energilagringmetoder för lagring av el.

Uppdraget utgör en begränsad förstudie och syftar till att kartlägga och sammanställa kunskap om miljökonsekvenser av elektrifiering, dvs. en övergång till att ha elektricitet som energibärare och möjliggöra minskat beroendet av fossila energikällor. Målsättningen med rapporten är att bidra till ett ökat kunskapsunderlag om elektrifieringens miljökonsekvenser som kan användas för att underlätta en hållbar och effektiv elektrifiering i enlighet med Sveriges klimatmål. Rapporten är tänkt att främst användas som ett underlag för senare styrmedelsanalyser inom energi- och miljöområdet samt till Miljömålsrådets (MMR) åtgärd om hållbar elektrifiering där åtta myndigheter deltar. Den här förstudien uppmärksammar vissa miljömässiga aspekter som bör vägas in i de samlade bedömningarna av det framtida elsystemets utformning. Slutsatserna som redovisas här ska betraktas som översiktliga och förväntas fördjupas i kommande studier.

1.2 Bakgrund

Elektrifieringen är en viktig åtgärd för ersätta fossila bränslen med förnybar energi och möjliggöra att Sverige ska nå klimatmålen. I Sverige har elektrifiering av delar av transportsektorn och industrin lyfts fram i både Fossilfritt Sveriges färdplaner och i Naturvårdsverkets underlag till klimathandlingsplan som en möjlig och önskvärd strategi för att nå klimatmålen (Fossilfritt Sverige, 2020; Naturvårdsverket, 2019). Som en följd av energiöverenskommelsen har Sverige ett energipolitiskt mål om ett 100 procent förnybart elsystem till 2040. Om fordon och processindustri i framtiden kommer att använda el istället för fossila eller förnybara bränslen så kan det gynna både de svenska klimat- och luftmålen med minskade utsläpp av kväveoxider och partiklar samt förbättrad luftkvalitet i städer.

Vissa scenarier pekar på stor ökad efterfrågan på el – cirka 40–60 % ökning fram till 2045 (IVA, 2019). Denna efterfrågan är också geografiskt och tidsmässigt delvis annorlunda än dagens elanvändning. För att möta det framtida elbehovet och samtidigt nå målet att Sverige senast 2045 inte ska ha några nettoutsläpp av växthusgaser kommer elsystemet i allt högre grad karaktäriseras av variabel elproduktion i form av framförallt vind- och solkraft, vilket kräver ett mer flexibelt elsystem. Det innebär en stor förändring jämfört med den tidigare situationen som karaktäriserades av en mycket stabil elproduktion ur vattenkraft och kärnkraft. Dessa två stora utmaningar – att öka den totala elproduktionen och öka flexibiliteten i energisystemet – är tätt sammanlänkade. Det kommer att krävas många samverkande lösningar för att tillgodose tillgång till rätt mängd el vid rätt tid och plats. Systemets förmåga att erbjuda flexibilitet blir den begränsande faktor som avgör hur mycket förnybar variabel el vi kan integrera i systemet. För att upprätthålla effektbalans och trygga leveranssäkerheten vid ökat behov av elproduktion som dessutom till största del förväntas vara förnybar behövs ytterligare tekniklösningar, bl.a. utbyggnad av elnät och energilagring (Energimyndigheten, 2018; IVA, 2019).

Miljöpåverkan av elproduktion är redan relativt välkänd medan miljöeffekter från utbyggnad av elnät och energilagring är mindre känd (Andersson m.fl. 2016). I denna förstudie kartlägger vi därför negativ miljöpåverkan för olika typer av elnät och olika former av energilagring.

1.2.1 Elnätet

Det svenska transmissionsnätet (tidigare stamnätet) är statligt ägt och förvaltas och drivs av Svenska Kraftnät. Transmissionsnätet består vanligen av 400 kV och 200 kV luftledningar med stationer där växelström är den dominerande överföringstekniken. I mindre utsträckning används högspänd likström för transport av stora mängder el över längre sträckor, då är den oftast mark- eller sjöbelagd. Transmissionsnätet sammanbinder regionnät och brukar ofta liknas vid elens motorvägar. Det är genom transmissionsnätet som sammankopplingen med utlandet sker, vilket möjliggör handel och överföring av el över landsgränserna. Transmissionsnätet i Sverige består till största del av luftledningar (avsnitt 3.3), men det finns även mark- och sjökablar, vilka främst används vid utlandsförbindelser (se avsnitt 3.4 och 3.5). Då Svenska Kraftnät genomför investeringar i transmissionsnätet är luftledningar alltid förstahandsvalet, främst på grund av den ökade driftsäkerheten i och med förenklat underhåll av luftledningar jämfört med markkablar (Svenska Kraftnät, 2014).

De nordiska stamnätsföretagen har enat sig om fem större ledningsprojekt för att göra det nordiska elnätet mer robust samt för att förbättra förutsättningarna för elhandeln i Norden. Ett projekt är en ny 400 kV-ledning Närke – Skåne (SydVästlänken). Med den nya ledningen mellan Närke och Skåne minskar risken för stora elavbrott i regionen. I Stockholmsregionen förstärks och förnyas transmissionsnätet genom projektet Stockholms Ström där Svenska Kraftnät, Vattenfall och Ellevio samverkar för att möta framtidens behov av säkra elleveranser (Svenska Kraftnät, 2016).

Regionnäten ansluter till transmissionsnätet för el och har vanligen spänningsnivåer på mellan 130 och 30 kilovolt (kV). Regionnätens huvudsakliga funktion är att överföra el mellan transmissionsnätet och lokalnäten, som har lägre spänningsnivåer. Tre nätföretag – E.ON Elnät Sverige AB, Vattenfall Eldistribution AB och Ellevio AB – äger idag större delen av de svenska regionnäten

Ett **lokalnät** förbinder regionnäten med konsumenter/förbrukningsanläggningar. Lokalnäten har normalt en spänning från 400/230 V upp till 20 kV.

Investeringar i större elledningar är kostsamma och innebär ofta stora ingrepp i mark och miljö. Processen att bygga nya elledningar och stationer består av många olika steg och det tar ofta cirka 10 år från det att behovet av en transmissions- eller regionledning konstateras tills den nya ledningen kan tas i drift. När en kraftledning ska byggas med tillhörande tillstånd (nätkoncession) ska hänsyn till miljön säkerställas genom att ansökan om nätkoncession för linje ska innehålla en miljökonsekvensbeskrivning (MKB). Innan en MKB och tillståndsansökan upprättas ska nätföretaget samråda med de som berörs av den planerade ledningen. Vid prövningen ska sedan miljöbalkens (MB) allmänna hänsynsregler (2 kap.), allmänna och särskilda hushållningsbestämmelser (3–4 kap.) samt miljö kvalitetsnormer (5 kap. 3–5 och 15 §§) tillämpas. Nätföretaget ska skaffa sig den kunskap och vidta de försiktighetsåtgärder som behövs för att skydda människors hälsa och miljön mot skada och olägenhet. Nätföretaget ska också använda bästa möjliga teknik och välja den plats som är lämplig med minsta intrång och olägenhet för människors hälsa och miljön (SOU, 2019:30). I en MKB utförs bland annat naturvärdesinventeringar, riktade artinventeringar och kartläggning av skyddsvärda träd för att säkerställa att skyddade och värdefulla miljöer så långt möjligt undviks (Naturvårdsverket, 2020).

1.2.2 Nationella miljömål

I april 1999 fastställde riksdagen 15 nationella miljö kvalitetsmål. Systemet har under årens lopp genomgått vissa förändringar. Numera består det svenska miljömålssystemet av ett generationsmål, 16 miljö kvalitetsmål som anger de egenskaper som vår natur- och kulturmiljö måste ha för att samhällsutvecklingen ska vara ekologiskt hållbar och 24 etappmål (Fig. 1). Varje miljö kvalitetsmål beskrivs genom ett antal preciseringar som förtydligar målen och används i uppföljningen av dem. Generationsmålet anger inriktningen för den samhällsomställning som behöver ske inom en generation för att miljö kvalitetsmålen ska nås.



Figur 1. Sveriges 16 nationella miljö kvalitetsmål.

För att underlätta möjligheterna att nå generationsmålet och miljö kvalitetsmålen fastställer regeringen etappmål inom prioriterade områden. Etappmålen ska tydliggöra de samhällsförändringar som behövs för att miljö kvalitetsmålen och generationsmålet ska kunna nås. Miljö målen ska vara riktmärken för allt svenskt miljöarbete oavsett var och av vem det bedrivs. För varje miljö kvalitetsmål finns en utsedd ansvarig nationell myndighet, som bl.a. ska utveckla lämpliga indikatorer för miljö målsarbetet tillsammans med de organisationer och företag som verkar inom olika områden. Länsstyrelserna har ansvar för regional anpassning av målen och för regionala åtgärder. Många kommuner tar även fram egna lokala mål och åtgärder.

1.2.3 Regionala miljö mål

Länsstyrelserna och Skogsstyrelsen gör varje år en uppföljning av möjligheten att nå 13 av de 16 miljö kvalitetsmålen inom varje län, enligt anvisningar från Naturvårdsverket. *Hav i balans samt levande kust och skärgård* och *Storslagen fjällmiljö* ingår bara i 14 respektive fyra län, övriga miljö kvalitetsmål i samtliga 21 län. För *Begränsad klimatpåverkan*, *Skyddande ozonskikt* och *Säker strålmiljö* görs ingen regional bedömning. Det finns med andra ord en mycket omfattande kunskapsbas om den regionala miljö målsstatusen.

Målbedömningen avser om målet kommer att uppnås senast 2020 och besvaras med "ja", "nära" eller "nej". Miljö tillståndet beskriver den rådande trenden och beskrivs som positivt, negativt eller stabilt (egentligen en uppåtriktad, nedåtriktad respektive horisontell pil). I praktiken beskrivs statusen för miljö kvalitetsmålen utifrån en niogradig skala, från "ja, positiv" till "nej, negativ". I figur 2 redovisas vilka regionala miljö kvalitetsmål som enligt 2019 års uppföljning inte bedömde uppnås senast 2020 (rödfärgade rutor). Observera att *Begränsad klimatpåverkan* ingår i vår analys även om det saknar regionala miljö målsbedömningar.

| Blekinge | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Dalarna | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Gotland | ✗ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Gävleborg | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Halland | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Jämtland | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ | ✓ | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Jönköping | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Kalmar | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Kronoberg | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Norrbottn | ✗ | ✓ | ✓ | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Skåne | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Stockholm | ✗ | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Södermanland | ✗ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Uppsala | ✗ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Värmland | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Västerbotten | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ |
| Västernorrland | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Västmanland | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Västra Götaland | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Örebro | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Östergötland | ✗ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |

Figur 2. Regionala miljö kvalitetsmål som ej uppnås (rödfärgade rutor) enligt 2019 års utvärdering. Efter RUS, 2020. Gröna rutor visar att miljömålet är uppfyllt och vitmarkerade rutor visar att miljömålet inte är aktuellt för länet.

1.3 Metod och genomförande

Förstudien av miljökonsekvenser för utbyggnad av elnät och energilagring baseras på en genomgång av publicerade rapporter, vetenskapliga artiklar och miljökonsekvensbeskrivningar.

Uppdraget har genomförts i tre, delvis parallella steg. I steg 1 har vi kartlagt och sammanställt miljöpåverkan från elnät och olika tekniker för energilagring. I steg 2 använde vi underlaget vi fick fram i steg 1 för att bedöma vilka svenska miljö kvalitetsmål som berörs. I steg 3 har vi gjort en sammanfattande analys av miljöpåverkan. Vi presenterar också i denna del slutsatser och förslag till kommande arbete.

I den mån det är möjligt beskriver vi miljöpåverkan för olika delar av livscykeln för utbyggnad av elnät och olika energilagringstekniker, dvs. tillverkning inklusive råvaruproduktion, anläggning, drift och underhåll samt kvittblivning inklusive återanvändning och återvinning. För vissa av teknikerna, till exempel elnät och vissa energilagringstekniker (t.ex. batterier och vätgas) har det varit lättare att hitta rapporter och kunskapssammanställningar som beskriver miljöpåverkan för alla delar i livscykeln samt miljöpåverkan i den lokala naturmiljön. För andra tekniker som är i ett tillväxtskede i innovationscykeln har det varit mer utmanade att hitta information som utförligt beskriver miljöpåverkan i olika steg och på olika skalor.

Arbetet med uppdraget har avgränsats till att beskriva miljökonsekvenser av utbyggnad av nya elnät och förstärkning av befintliga elnät samt av olika lagringstekniker, inklusive "inbyggd" miljöpåverkan i material och produkter som kan ha betydelse i Sveriges framtida energisystem. Förstudien beskriver inte miljökonsekvenser från elproduktion då denna redan är relativt välstuderad. Studien syftar inte heller till att vara en vägledning för olika miljökonsekvensbeskrivningar.

I första hand beskriver vi miljöpåverkan av följande tekniker:

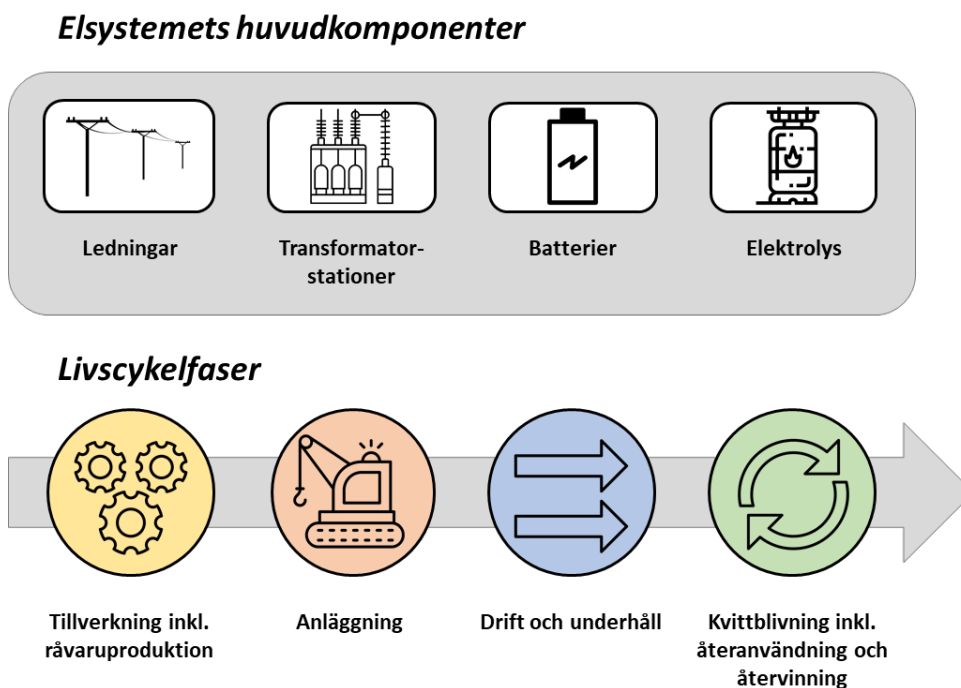
- luftledning i naturmiljön respektive mark- och sjökabel
- transformatorstationer
- batterier
- elektrolys och vätgaslager

I andra hand gör vi en mera översiktlig analys av miljöpåverkan för följande tekniker:

- termisk lagring i fjärrvärmenät
- lagring av komprimerad tryckluft
- pumpvattenkraft
- svänghjul
- saltlager för termisk solkraft
- superkondensatorer

2 Konceptuell analys

För att uppnå det energipolitiska målet om ett 100 % förnybart elsystem 2040 kommer det att krävas både att elproduktion och elnät byggs och att flexibiliteten i systemet ökar (Energimyndigheten, 2019). Hur elsystemet, inklusive elnätet och energilagring, kommer att utformas beror på en kombination av politiska, tekniska, ekonomiska och juridiska beslut och hänsynstaganden på olika nivåer. Därför är det bara möjligt att göra generella bedömningar av dess miljöpåverkan. Klart är att tillverkningen, anläggningen, driften och kvittblivningen av ett utbyggt ledningsnät tar resurser i form av råvaror, energi, mark och vatten i anspråk. Figur 3 illustrerar analysens huvudsakliga avgränsningar, det vill säga elsystemets huvudkomponenter och livscyklifaser.



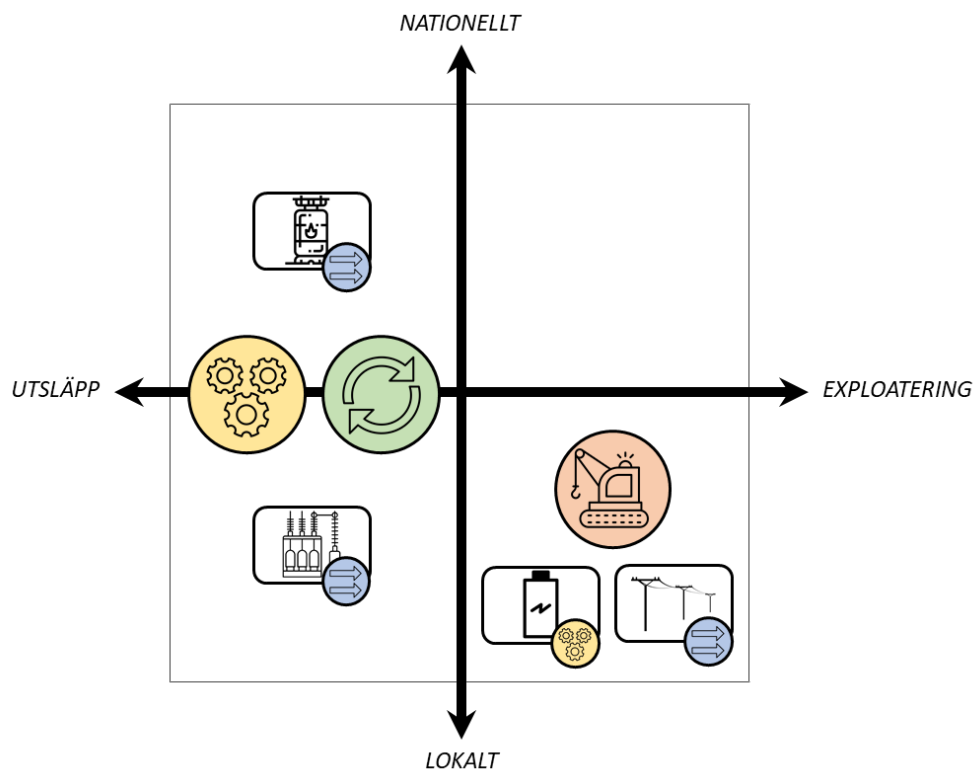
Figur 3. Analysens huvudsakliga avgränsningar. De fyra huvudkomponenter i det framtida fossilfria elnätet som ingår är ledningar (kapitel 3.3–3.5), transformatorstationer (kapitel 3.6), batterier (kapitel 4.2) och elektrolys (kapitel 4.3). Dessa komponenter bedöms bli de mest betydelsefulla framöver. Utöver dessa beskrivs övriga energilagringstekniker kortfattat i kapitel 4.4. Miljöpåverkan från huvudkomponenterna bedöms för hela livscykeln, det vill säga tillverkning inklusive råvaruproduktion, anläggning, drift och underhåll samt kvittblivning inklusive återanvändning och återvinning.

2.1 Elnätets och energilagringens påverkanstryck på miljökvalitetsmålen

För att få en överblick av det framtida elnätets miljöpåverkan är det önskvärt att kartlägga dess kopplingar till de nationella miljökvalitetsmålen. Det kan ge en ram för fördjupade miljöbedömningar. I den här förstudien har vi valt ansatsen att beskriva kopplingarna i form av påverkanstryck:

- Lokalt eller nationellt: Kan påverkan härledas till en definierad lokalisering eller ej? Är konsekvensen av påverkan avhängig den exakta lokaliseringen eller ej?
- Utsläpp eller exploatering: Sker miljöpåverkan främst genom utsläpp eller i form av en förändrad markanvändning?

Elnätets och energilagringens olika komponenter utövar olika typer av påverkanstryck under olika faser av livscykel. Tillverkningsfasen ger upphov till utsläpp till mark, luft och vatten ofta långt från den plats där komponenten lokaliseras, medan anläggning av till exempel elledningar orsakar en lokal förändring i markanvändningen. Miljökvalitetsmålen, genom sina preciseringar, är i sin tur känsliga för olika typer av påverkanstryck. *Giffri miljö* påverkas primärt genom olika typer av utsläpp, medan *Storlagen fjällmiljö* är känsligare för exploatering och förändrad markanvändning, *Begränsad klimatpåverkan* påverkas oberoende av var utsläppen av växthusgaser sker medan *Grundvatten av god kvalitet* avser lokalt definierade grundvattentäkter. Genom att systematiskt beskriva elnätets komponenter och livscykel faser respektive miljökvalitetsmålen i termer av påverkanstryck kan de viktigaste kopplingarna kartläggas (Figur 4). Hur betydelsefullt detta påverkanstryck kan komma att bli för möjligheterna att uppfylla miljökvalitetsmålen beror på en mängd faktorer, bland annat omfattning och exakt lokalisering av det framtida elnätet och ellagringen, miljökvalitetsmålets status och påverkanstryck i övrigt. Detta belyses i någon mån i kapitel 3 och 4.

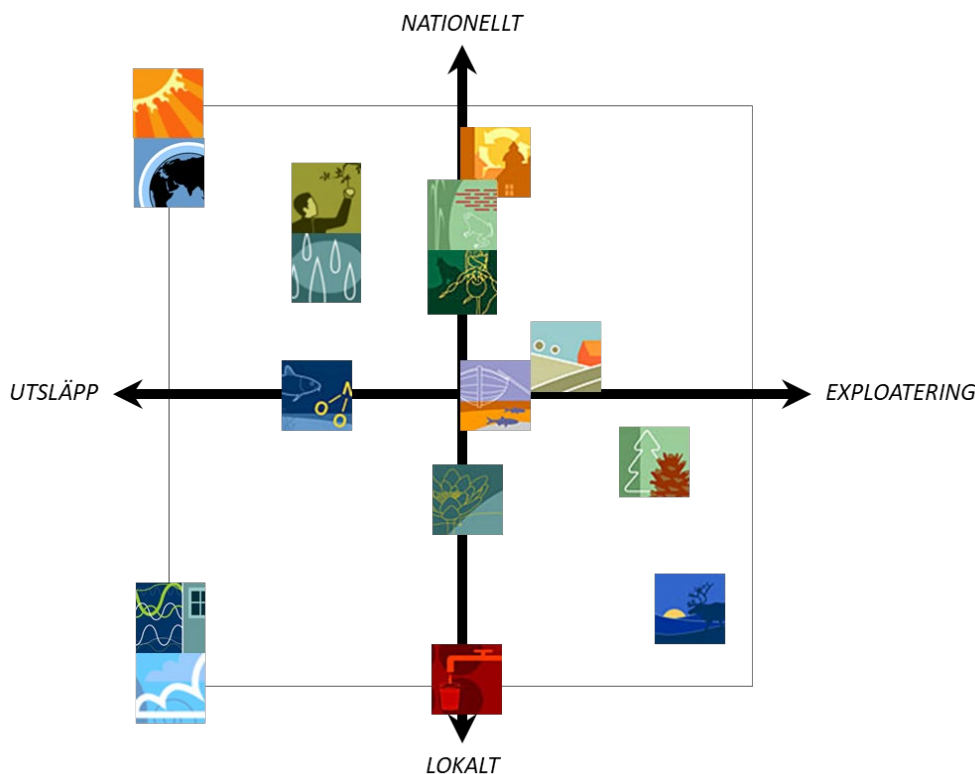


Figur 4. Konceptuellt påverkanstryck av elnätets olika komponenter och livscykel faser. Symbolerna förklaras i figur 3. Observera att den inbördes storleken av påverkanstrycken inte framgår av figuren.

Tillverkning ger generellt upphov till både lokala och nationella utsläpp till luft, mark och vatten inklusive växthusgaser. Inkluderas brytning av batterimineral i tillverkningsfasen ger det även upphov till lokal exploatering i form av gruvor. Detta gäller förvisso samtliga betraktade komponenter, men frågan om försörjningen av batterimineral står i särskilt fokus bland annat genom det pågående regeringsuppdraget att utveckla myndighetssamverkan för Sveriges delar av

en hållbar europeisk värdekedja för batterier (Regeringskansliet, 2020). Även anläggningen av elnätets komponenter ger generell upphov till lokal exploatering. Påverkanstrycket under driftsfasen skiljer sig delvis åt för de olika komponenterna. Transformatorstationer kan orsaka lokala utsläpp till mark och vatten. Elledningar kan vidmakthålla en förändrad markanvändning, beroende på skötselåtgärder, medan elektrolys orsakar utsläpp av växthusgaser, vars storlek beror på hur den förbrukade elen produceras. Driften av batterier bedöms inte ge upphov till något betydande påverkanstryck. Kvittblivning orsakar generellt utsläpp till mark, vatten och luft inklusive växthusgaser. Liksom för tillverkningsfasen uppstår lejonparten av den här miljöpåverkan ofta långt från platsen där komponenten var lokaliserad under driftsfasen.

MERIT-projektet (Lindblom och Malmaeus, 2020) har karakteriserat samtliga preciseringar för 14 studerade miljö kvalitetsmål med avseende på om uppfyllandet av preciseringen ifråga primärt motverkas av ett lokalt eller nationellt påverkanstryck respektive påverkanstryck från utsläpp eller exploatering. Karakteriseringen har gjorts genom expertbedömningar. Genom att på samma vis karakterisera preciseringarna för miljö kvalitetsmålen *Skyddande ozonskikt* och *Säker strålmiljö*, som inte ingick i MERIT-projektet, kan samtliga miljö kvalitetsmåls känslighet för olika typer av påverkanstryck illustreras, se figur 5. Ju fler av preciseringarna som bedömts vara primärt känsliga för utsläpp snarare än exploatering, desto längre till vänster på den skalan har det miljö kvalitetsmålet placerats. Samma aggregering har skett längs skalan nationellt-lokalt. Observera att den här bedömningen görs med avseende på miljö kvalitetsmålens preciseringar och inte på alla tänkbara miljö aspekter. Till exempel kan påverkan från det framtida elsystemet nå andra länder, vilket inte ryms i miljö kvalitetsmålens preciseringar. Det gäller inte minst *Begränsad klimatpåverkan* och *Skyddande ozonskikt* som båda är globala till sin natur.



Figur 5. Karakterisering av Sveriges 16 miljö kvalitetsmål med avseende på om de primärt är känsliga för påverkanstryck i form av utsläpp eller exploatering, respektive nationellt eller lokalt. Efter Lindblom och Malmaeus, 2020. Symbolerna förklaras i figur 1.

2.2 Utmaningar med att bedöma och hantera miljöpåverkan av en delmängd av elsystemet

Att betrakta elnät och lagring separerat från elproduktionen och elkonsumtionen innebär att miljöpåverkan framstår som mer negativ än vad som vore fallet vid en samlad betraktelse. Elnät och lagring tillhandahåller nödvändiga funktioner för att möjliggöra mer förnybar elproduktion, ökad elektrifiering av transportsektorn och industrin samt ökad flexibilitet. De är med andra ord omistliga delar av det energipolitiska målet och omställningen till ett mer hållbart samhälle för att motverka klimatförändringarna. Den negativa miljöpåverkan i form av bland annat ändrad markanvändning, energi- och råvaruförbrukning som elnät och lagring orsakar kan sällan motiveras enbart med de lokala och direkta positiva effekter de också kan ge upphov till. Ett sådant exempel är att ledningsgator kan vara värdefulla miljöer och spridningskorridorer för bland annat fjärilar. Istället bör miljöpåverkan från elnät och lagring, tillsammans med miljöpåverkan från elproduktionen, ställas mot nyttan hela elsystemet ger upphov till. I de enskilda fallen kan den här kopplingen vara svår att konkretisera. Eftersom elnätet är så väl integrerat och sammanbundet blir det ofta ottydligt vilken el som överförs genom en viss ledning. Hur har just den delströmmen producerats? Vilket annat energilag ersätter den vid konsumtion? Det här förstärks av att den övergripande nyttan – minskade utsläpp av växthusgaser – är global och att varje enskilt bidrag till utsläppsminskningen i stort sett är omöjligt att urskilja.

Den här situationen blir ofta tydlig vid tillståndsprovningar av nya elledningar. Trots, eller snarare på grund av, att ledningen är en komponent i ett komplext system tenderar fokus att läggas på de direkta och lokala effekterna. Tydliga lokala negativa effekter av den förändrade markanvändningen inklusive biologisk mångfald och intrånget på privat mark står emot diffusa globala positiva effekter. Det innebär en asymmetri som ofta framstår som svår att hantera på ett effektivt vis. Enligt Energiföretagen och Fossilfritt Sverige (2020) är det därför nödvändigt att *”korta tillståndsprocesserna radikalt för elnät, elproduktion och industri som ska ställa om från fossila bränslen. Långa och oförutsägbara tillståndsprocesser är ett av de främsta hindren för omställning.”* De redovisar erfarenheten att tillståndsprovningen av en ny ledning är den enskilt viktigaste orsaken till att det kan ta upp emot tio år att slutföra ett ledningsprojekt. För närvarande pågår både klimaträttsutredningen (M 2019:05) som ska slutredovisas i maj 2022 och miljöprövningsutredningen (M 2020:06) som ska slutredovisas i december 2021. Dessa utredningar ska se över all relevant svensk lagstiftning och skapa bättre förutsättningar för att nå Sveriges klimatmål, respektive föreslå ändringar och åtgärder för att uppnå en modernare och mer effektiv miljöprövning.

Ekologisk kompensation är ett instrument med potential att både minska negativ miljöpåverkan och därmed underlätta uppfyllandet av miljö kvalitetsmålen och motverka konflikter mellan verksamhetsutövare och berörda markägare. Det skulle kunna effektivisera de ofta utdragna och kostsamma tillståndsprocesserna. Miljöbalken ställer krav på kompensation i ett antal specifika och avgränsade fall av intrång, men ger även möjlighet för prövningsmyndigheten att kräva det också vid intrång i vardagslandskapet (16 kap. 9 § miljöbalken). Trots att möjligheten har funnits länge har den använts mycket sparsamt. SOU 2017:34 har lämnat förslag på åtgärder för att åstadkomma en effektivare och mer konsekvent tillämpning av ekologisk kompensation i syfte att motverka nettoförluster av biologisk mångfald och ekosystemtjänster. Ett av förslagen är att starta en försöksverksamhet med så kallade kompensationspooler. I korthet innebär det att markägare, eller

annan aktör, skapar naturvärden som sedan kan säljas via kompensationspoolen till verksamhetsutövare i samband med större exploatering och ingrepp i värdefulla mark- och vattenområden. Det skulle underlätta för verksamhetsutövare att identifiera lämpliga kompensationsprojekt, jämfört med att som i dagsläget utforma dem i egen regi. Vidare kan tiden mellan beslutad kompensation och uppnått resultat kortas drastiskt, med minskad osäkerhet om faktisk miljönytta. Dessutom kan det motverka konflikter i och med att betalningen för kompensationen går till markägare, det vill säga samma grupp av intressenter som utsätts för intrånget. Ekologisk kompensation, med eller utan kompensationspooler, är en av flera möjligheter att minimera negativ miljöpåverkan av elnät och ellagring.

3 Miljöeffekter från elledningar och transformatorstationer

Mer sol- och vindkraft kommer framöver att kräva mer lagringskapacitet, efterfrågefleksibilitet och effektreserv. För att hantera denna stora strukturella förändring av elproduktion och elanvändning som vi går igenom de närmaste 20–30 åren behöver transmissionsnätet byggas ut. En sådan utbyggnad påverkar miljön utifrån materialframställning, byggnation, drift och avveckling. Dessutom påverkas den lokala naturmiljön vid själva ledningsdragningen (IVA, 2016).

3.1 Berörda miljö kvalitetsmål

I figur 6 nedan visas de svenska miljö kvalitetsmål som berörs av utbyggnad av elledningar (luftledningar, mark- och sjökabel) samt transformatorstationer som beskrivs i detta kapitel. Bedömningen är uppdelad på olika faser i livscykeln, dvs. tillverkning inklusive råvaruproduktion, anläggning, drift och underhåll samt kvittblivning inkl. återanvändning och återvinning. Enligt figur 6 nedan är påverkan från elledningar och transformatorstationer på miljö kvalitetsmålen i huvudsak negativ, svårbedömd eller bedöms orsaka både positiva och negativa effekter. Detaljer om de miljö aspekter som påverkar respektive miljö mål i olika faser beskrivs i följande avsnitt.

| | LMS T | LMS T | LMS T | | | | | | | | | |
|--|----------|----------|----------|----|-----|---|---|-----|-----|----|----------|----------|
| | LMS T | | | | LMS | M | S | LMT | LMT | LM | LMS T | LMS T |
| | LMS T | | | LM | | | S | | | LM | LMS T | L |
| | LMS T | LMS T | LMS T | | | | | | | | | |

Figur 6. Svenska miljö kvalitetsmål som berörs av luftledning, markledning, sjöledning och transformatorstationer. L = luftledning, M = markkabel, S = sjökabel, T = transformatorstation. Röd färg indikerar att aspekten ifråga är övervägande negativ ur ett miljöperspektiv, grön att den är positiv och gul att den är svårbedömd alternativt bedöms orsaka både positiva och negativa effekter. Symbolerna förklaras i figur 1 och 3.

3.2 Generell miljöpåverkan ur ett livscykelperspektiv

För utbyggnad av elnät är det generellt materialframställning och utvinning av råvaror och produktion av material samt byggnationsfasen med avverkning av skog, anläggning och materialtransport som står för den största resurs- och miljöpåverkan samt utsläpp av växthusgaser (IVA, 2016). Även lokal miljöpåverkan i form av påverkan på landskapsbild, skogs- och jordbruk samt påverkan på biologisk mångfald och buller kan vara betydande och beror mycket på i vilken typ av naturmiljö som ledningen anläggs. Även teknikval samt om ledningen är luftburen, går under mark eller är havsbaserad har en stor betydelse för den lokala miljöpåverkan. En ledning som tydligt medför anslutning av förnybar elproduktion möjliggör även en positiv klimatpåverkan.

Enligt EEA (2019) kan ett förändrat klimat leda till fler värmeböljor vilket kan medföra tillfälliga kapacitetsförluster i näten. Extremare väder kan även tillfälligt öka antalet stormar men enligt IVA (2015) bedöms vindstyrkor inte öka nämnvärt och därmed inte leda till ökade kraven och robusthet för transmissions- eller distributionsnäten.

3.2.1 Tillverkning och anläggning

Byggandet av ny luftledning ger upphov till växthusgasutsläpp främst vid utvinning av råvaror och produktion av ingående material samt i byggnationsfasen. Byggandet av nya elnät syftar bland

annat till att omhänderta en ökad elproduktion från förnybar energi som minskar koldioxidutsläppen från elproduktionen jämfört med användandet av fossil energi.

Enligt en livscykelanalys gjord för Svenska Kraftnät för att bedöma miljöpåverkan vid investeringar i det svenska transmissionsnätet (Andersson, 2016) har driftsfasen ett litet bidrag på cirka 10 procent i de två luftledningsfallen (växelström och likström). Avvecklingsfasen har endast en marginell effekt på miljöpåverkan. I slutvärderingen för samtliga tekniker står resursutnyttjandet i bygg-, drift- och rivningsfasen för 85–95 procent av den totala miljöpåverkan.

För luft- och markledningar är det generellt materialframställning och utvinning av råvaror och produktion av material samt byggnationsfasen med anläggning och materialtransport som står för den största resurs- och materialåtgången. Även för ledningar i hav är det generellt materialframställning och utvinning av råvaror och produktion av material samt byggnationsfasen med anläggning och materialtransport som står för den största miljöpåverkan och de största utsläppen av växthusgaser. Vad gäller påverkan på den lokala miljön är det också främst i byggskedet som påverkan på botten- och vattenförhållanden är som störst.

I samma LCA-studie av Andersson (2016) ger en markkabel för växelström den största miljöpåverkan under livscykeln. Anledningen till detta är den stora påverkan som materialet till kabeln ger, framförallt från mängden koppar i ledaren. Den minsta spänningsnivån för luftledningar, 220 kV växelström ger den lägsta miljöpåverkan. Materialframställningsfasen har den absolut största påverkan på den totala miljöpåverkan under livscykeln för samtliga lednings- och kabeltekniker (Andersson, 2016).

3.2.2 Drift

Jämfört med markkablar har luftledningar en större miljöpåverkan i drift då det krävs ett större ytanspråk för kraftledningsgatorna (Energimyndigheten, 2016), vilket därför påverkar jord- och skogsbruk i större omfattning jämfört med markkabel.

Valet mellan markkabel och luftledning styrs av många faktorer och är ofta en avvägning mellan ekonomi, driftsäkerhet och miljö. Anledningar att välja markkabel framför luftledning är att påverkan på människors miljö och hälsa i form av problematiken med höga magnetfält och påverkan på landskapsbilden ofta är mindre. Markkablar är även skyddade från yttre påverkan som snö, is och vind och tar mindre mark i anspråk, speciellt vid samläggning med annan infrastruktur.

3.2.3 Kvittblivning

Återvinning av metaller från luftledningar är i regel stor då all koppar, aluminium, bly och stål som ingår i olika komponenter i transmissionsnätet lämnas till materialåtervinning. För jordkablar behöver återvinningsmetoderna utvecklas för att säkerställa en hög återvinningsgrad (Andersson, 2016). Enligt Svenska Kraftnät (2020) kommer ingående materialkomponenter i sjökablar, material eller energiåtervinnas vid eventuell upptagning i framtiden.

3.3 Luftledning

3.3.1 Inbyggd miljöpåverkan i material

I transmissionsnätet används ofta betong som fundament till nya stolpar. Ibland är detta inte möjligt till följd av känsliga markförhållanden. Under lång tid har fundament av kreosotimpregnerade träslipers varit ett alternativ och undantagsvis använts i förankringar och fundament.

I Sveriges elnät finns totalt cirka 925 000 stolpar, varav cirka 630 000 är kreosotstolpar. Huvuddelen av alla kreosotstolpar, cirka 75 procent, finns inom lokalnätet. Kreosot är ett impregneringsmedel mot träröta, en sorts tjära framställd ur stenkol. Kreosot innehåller flera ämnen med hälsofarliga egenskaper och är klassat som cancerframkallande, samt är giftigt för vattenlevande organismer. Kreosot har länge använts som träimpregnering för att skydda mot angrepp av rötsvamp (Vattenfall, 2017).

De flesta elnätsbolag använder inte trästolpar med träskyddsmedlet kreosot längre. Många har övergått till andra material, exempelvis trästolpar med andra träskyddsmedel eller kompositstolpar. I samband med tillståndsprocesser behöver elnätsbolag och ledningsägare känna till och kunna visa vilken miljöpåverkan de nya materialen som används har.

En stor del av stolparnas totala miljöpåverkan uppkommer vid utvinning och tillverkning av råmaterial. Men även läckage av metaller och organiska föroreningar under användningsfasen samt hur stolparna hanteras efter livslängdens slut har stor påverkan på miljön.

Enligt en rapport från Energiforsk (2020) är en trästolpe klädd med polyeten den stolpe som resulterar i lägst miljöpåverkan. En anledning till det är att stolpen tillverkas av förnybar träråvara och delvis återvunnen polyeten. Stolpen är även designad för att både trä- och plastråvara ska återanvändas. Stolpen har också en låg påverkan under användningsfasen eftersom den inte släpper ut metaller eller organiska föroreningar.

Högst miljöpåverkan har kompositstolpen bestående av glasfiber, vilket framförallt beror på produktionen av råmaterialen. Fördelen med glasfiberkompositstolpar är att de inte läcker ut metaller eller organiska föroreningar under användningsfasen.

Trästolpar som impregneras med antingen kreosot eller kopparbaserade impregneringsmedel har lägre klimatpåverkan än kompositstolparna. För dessa är det främst impregneringsprodukterna som bidrar till miljöpåverkan. Det är både framställningen av produkterna, men även läckage av impregneringsmedel under användningen och utsläpp vid avfallshantering som påverkar miljön. Fördelarna är att de till stor del tillverkas av förnybar träråvara.

3.3.2 Landskapsbild och ekologisk konnektivitet

Luftledningsstråk och höga stolpar kan medföra stor påverkan på landskapet och de kvaliteter som människor vill slå vakt om samt känsliga natur- och kulturmiljöer. Därför är det viktigt att ledningar lokaliseras med omsorg och utformas med hänsyn till de natur- och kulturvärden som finns i landskapet (Svenska Kraftnät, 2014). Det är främst miljömålen *Ett rikt växt djurliv*, *Ett rikt*

odlingslandskap, Levande skogar samt *God bebyggd miljö* som berörs av förändringar i landskapsbilden till följd av nya luftledningar.

Nya elledningar förändrar landskapets karaktär och påverkar hur man kan uppleva, läsa av och ta till sig ett landskaps värden. Denna påverkan beror på landskapstyp, topografi och vegetation samt landskapets karaktär och innehåll.

Stora sammanhängande mark- och vattenområden, som inte tidigare har skurits sönder av t.ex. trafikleder eller elledningar är särskilt skyddsvärda. Särskild hänsyn ska även tas till områden av riksintresse och andra skyddade områden (nationalparker, naturreservat, biotopskyddsområden m.fl.) enligt miljöbalken. I 4 kap. MB utpekade ett antal större områden som har så stora natur- och kulturvärden att de i sin helhet är av riksintresse. Det gäller i första hand kust-, skärgårds- och fjällområden samt vissa outbyggda älvar.

Det är viktigt att man i lokaliserings- och utformningsfasen tar hänsyn till det unika landskapets element, struktur och karaktär, liksom att man beaktar olika landskapskaraktärens känslighet. Elledningar bör, för att inte dominera i landskapet, lokaliseras till platser där elledningen kan inordna sig i landskapets karaktär (Svenska Kraftnät, 2014). Rätt placerade och väl utformade stolpar betyder mycket för att en luftledning i möjligaste mån ska smälta in i landskapet. Om en gammal ledning ska rivas är det ofta fördelaktigt att bygga den nya ledningen i den ledningsgata som redan finns eller dra en ny ledning parallellt med en gammal. Nya angreppssätt och placeringar kan dock behöva göras framöver till följd av klimatförändringar såsom ökad brandrisk, översvämning, skredrisk mm.

3.3.3 Biologisk mångfald

Nyanläggning och byggande av luftledningar tar mark i anspråk och kan förändra arters livsmiljöer. Detta innebär lokala förluster av biologisk mångfald och värdefulla naturmiljöer och kan påverka rödlistade/skyddade arter.

Hur stor påverkan på den biologiska mångfalden blir beror på hur mycket mark en kraftledning tar i anspråk och vilken typ av mark som ledningen går igenom. I åkermark utgörs markbehovet av de ytor ledningsstolparna samt eventuella stag tar i anspråk. I skogsmark krävs en ledningsgata som är fri från högväxande träd- och buskvegetation. För att begränsa påverkan på natur och miljö ska stolpar helst inte placeras i känsliga miljöer t.ex. intill vattendrag, i våtmarker eller i värdefulla växtlokaler. Elledningar kan vara riskabla för fåglar, som kan brännas ihjäl genom kortslutning om de kolliderar med linorna. Det är främst större fåglar med sämre manövreringsförmåga som drabbas (Ottwall och Green, 2020).

Enligt en livscykelanalys gjord för Svenska Kraftnät för att bedöma miljöpåverkan vid investeringar i det svenska transmissionsnätet (Lövebrant, 2012) har biologisk mångfald en mycket liten inverkan på slutvärderingen. Detta beror på att antalet arter som försvinner i ett område till följd av en kraftledning i transmissionsnätet är mycket litet.

Kraftledningsgator har å andra sidan en positiv betydelse för biologisk mångfald och bevarandet av arter och miljöer framförallt i skogslandskapet. Den regelbundna röjningen gör att kraftledningsgator blir en viktig biotop för arter knutna till öppna miljöer och utgör viktiga spridningskorridorer för olika habitat (Berg m.fl. 2015). I kantonerna utvecklas i regel en flora som är mer varierad än i den angränsande skogen och i skogsbrynen längs gatan blir vegetationen atrikare och ymnigare. Många energibolag bedriver olika samverkansprojekt och insatser som

bidrar till att öka biologisk mångfald och ekosystemtjänster i kraftledningsgator genom bland annat olika skötselmetoder. Huruvida den totala påverkan på biologisk mångfald är positiv eller negativ vid anläggande av elnät är platsstyrd och beror vilken tidsskala som bedömningen görs och om nya ledningsgator behöver tas i bruk. I vissa fall kan en kraftledningsgata få en positiv inverkan på biologisk mångfald då vissa hotade växt- och djurarter som är beroende av öppna ängs- och hagmarker gynnas av att kraftledningsgatorna röjs från höga träd och buskar.

Hushållningsbestämmelserna i miljöbalken innebär att stora opåverkade områden så långt möjligt ska skyddas mot åtgärder som påtagligt kan påverka områdenas karaktär. Ekologiskt särskilt känsliga områden ska också så långt möjligt skyddas mot åtgärder som kan skada naturmiljön (Svenska Kraftnät, 2014). Om det blir aktuellt att dra en elledning genom dessa områden, ska det prövas genom tillstånd eller eventuellt dispens.

Den uteblivna koldioxidinlagring som härrör från byggnation och drift av elledningarna, varierar med hur stor mängd skog som avverkas. Mängden skog beror i sin tur på den avverkade arean, andelen skogsmark, befintligt virkesförråd i skogen och den årliga skogliga tillväxten på den aktuella platsen. Dessa parametrar varierar mellan olika platser (Andersson, 2016).

Generellt är biologisk mångfald svårt att uppskatta objektivt då det finns få standardiserade metoder som värderar biologisk mångfald i nuläget. Anledningen är bl.a. att det finns problem rörande vilka aspekter av biodiversitet som bör inkluderas i olika värderingsmodeller och vilken skala som bör tillämpas. Här behövs mera kunskap.

3.3.4 Elektromagnetiska fält

Kring en elledning uppstår både ett elektriskt fält och ett magnetiskt fält. Ett elektriskt kraftfält uppstår mellan föremål med olika elektrisk laddning, dvs. ur spänning. Ett magnetiskt kraftfält uppstår när laddningar rör sig, exempelvis som en ström genom en elektrisk ledare. Det elektriska fältet skapas av spänningsskillnaden mellan elledningens linor och marken. Fältets styrka beror på ledningens spänning samt avståndet till ledningen, och inbördes placering (Svenska Kraftnät, 2014).

Ett flertal sammanställningar av forskningsresultat har konstaterat att vid exponering för låga nivåer av elektromagnetiska fält under Strålsäkerhetsmyndighetens referensvärden, finns inga säkerställda hälsorisker för varken djur eller människor (IVA, 2016). Riktigt starka elektromagnetiska fält kan innebära hälsorisker och störa kroppens nervsignaler, men då krävs magnetfält som är hundratals gånger starkare än de som finns under de största kraftledningarna (Strålsäkerhetsmyndigheten, 2013). En utökning av antalet kraftledningar kan öka risken för att fler människor och djur exponeras av elektromagnetiska fält.

3.4 Markkablar

I transmissionsnätet överförs markkablar oftast likström. En markförlagd kabel är generellt dyrare och har fler tekniska begränsningar än en luftledning (Svenska Kraftnät, 2020). Därför används markkabel endast i vissa fall, till exempel om en luftledning bedöms orsaka betydande påverkan på många människor i boendemiljö, t.ex. i stadsmiljö, så att miljöbalken inte tillåter det. I landsbygdsnäten, som tidigare dominerats av luftledningar, har andelen markkabel ökat väsentligt under de senaste åren. Ungefär 47 procent av ledningarna med en spänning på 10–20 kV går ovan jord (Svenska Kraftnät, 2014).

Förläggningen av markkablar sker genom att marken schaktas med hjälp av en grävmaskin. I området kring kabeldiket tas större träd, buskar och stubbar bort för att göra plats för arbetsfordon. Kabeldiket utformas med ett bottendjup på ca 1,5 m. Bredden på kabeldiket varierar med markens material, men bottenbredden uppgår vanligtvis till ca 1 meter och bredden på kabeldiket i markplan till mellan 1,5–3 meter. Kabeldiket hålls fritt från större träd i ett område på ca 8 meter kring kabeldiket för att undvika att kablarna skadas av rötter. Buskar och mindre träd får dock växa på området och jordbruk kan även bedrivas ovanför kabeldiket (Andersson, 2016).

3.4.1 Lokal miljöpåverkan

Att anlägga en markkabel påverkar också ofta den lokala miljön på samma sätt som en luftledning. Nyanläggning och byggande av kabelförläggningar tar mark i anspråk och kan förändra arters livsmiljöer. Detta kan innebära lokala förluster av biologisk mångfald och värdefulla naturmiljöer och kan påverka rödlistade/skyddade arter. Påverkan och konsekvenser blir störst i byggskedet. Störningar i form av hinder för trafiken, buller, dammbildning och tillfällig negativ påverkan på grundvatten och ytvatten kan uppstå. Grävarbeten kan även påverka forn- och kulturlämningar i marken. Under byggtiden kan träd och buskar komma att behöva tas bort, vilket kan försämra boendemiljön. Buskar och mindre träd kan återplanteras i viss mån, men stora träd får inte växa över elförbindelsen (Svenska Kraftnät, 2016).

Det statiska elektromagnetiska fält som uppkommer kring en markförlagd likströmskabel är av samma typ som det jordmagnetiska fältet, och inga förhöjda magnetfält uppkommer kring närliggande byggnader. Nedgrävning av kabel framför luftledning innebär en smalare ledningsgata, vilket skapar möjlighet för tidigare nedhuggen skog att växa upp, vilket kan påverka virkesproduktion och kollagring positivt. Att ersätta luftledningar med markkabel innebär att befintliga luftledningar kan rivas och därmed frigörs mark till förmån för till exempel bebyggelseutveckling, brukande av naturresurser såsom skogs- och jordbruk eller annan markanvändning. Detta medför även indirekta, positiva konsekvenser för boendemiljön, landskapsbilden, rekreation och friluftslivet när den fysiska luftledningen och magnetfältet kring luftledningen försvinner (Svenska Kraftnät, 2016).

Exempel på större likströmsförbindelser där delar består av landbaserad markkabel utgör en del av förbindelsen är Sydvästlänken, NordBalt och Hansa PowerBridge.

3.5 Sjökablar

Sjökablar med likström används främst när syftet är att överföra el på långa sträckor längs med havsbotten för att knyta ihop olika kraftsystem, till exempel två växelströmsystem som inte är synkrona med varandra (Svenska Kraftnät, 2014).

Exempel på likströmsförbindelser i Sverige där stora delar utgörs av sjökablar är de kablar som förbinder Gotland med fastlandet och förbindelserna mellan Sverige och Finland, eller mellan Sverige och kontinenten. Utöver dessa pågår byggandet av tre nya likströmsförbindelser, den ena mellan Nässjö-trakten och Skåne (SydVästlänken), den andra mellan Sverige och Litauen (NordBalt) och den tredje mellan Sverige och Tyskland (Hansa PowerBridge).

Sjökablar behöver, till skillnad från markkablar, inte grävas ner utan kan läggas direkt på sjöbotten. Vid strandkanten grävs eller sprängs dock ett kabeldike för att ge ett ökat skydd för både människor och kablarna. Vid platser där det krävs ett ökat skydd för kablarna även på större

djup kan de täckas över med sten eller läggas i ett kabeldike som då har spolats i bottensedimentet (Svenska Kraftnät, 2014; Andersson, 2016).

Anläggning av sjökabel sker med speciella fartyg som kan hantera den stora vikten från kablarna och kabeltrummorna. Detta fartyg placerar ut kabeln på havsbotten och ett mindre fartyg gräver eller spolar sedan ner kabeln i ett kabeldike för extra skydd.

3.5.1 Bottenmiljön

Fiskars lekbottnar och bottenfaunan kan påverkas av sjökabelförläggning. Sjøkablur innebär ofta en påverkan på sjöbotten vid själva anläggningsfasen i form av en fysisk störning genom en direkt borttagning av sediment vid nedgrävning eller nedspolning. Denna påverkan som sker vid bygg-, underhålls- och reparationsarbete är i princip helt begränsad till kabelkorridoren och påverkar främst flora samt djur som lever fast vid ett underlag (Näslund och Bruteig, 2011).

Sjøkablur som ligger direkt på botten innebär att en ny hård struktur tillkommer vilket gör att en lokal "reffeekt" skapas, där hårdbottenarter kan kolonisera ytan på sjökabeln och attrahera fiskar i själva driftsfasen, vilket leder till lokala förändringar i artsammansättning. Vågrörelser kan förflytta kabeln och få till följd att havsbottnens struktur förändras genom skavningsrörelser. Om kabeln grävs ned eller täcks med samma substrat som omgivningen förväntas inte kabelns fysiska struktur ha någon påverkan på omkringliggande miljö (Näslund och Bruteig, 2011).

3.5.2 Buller och vibrationer

Buller och vibrationer kan ha olika effekter på marina arter. Potentiella effekter från bygg-, underhålls- och reparationsarbete för sjökablur är begränsade till ljud orsakade av ökad sjötrafik samt ljud orsakad av grävningsarbeten. I dagsläget finns inga indikationer på att dessa ljud och bullernivåer skulle innebära en hög risk för negativa effekter på marina arter (Näslund och Bruteig, 2011).

3.5.3 Elektromagnetiska fält

Studier har visat att ett antal olika marina arter kan detektera elektromagnetiska fält. En del av dessa arter använder jordens naturliga magnetfält för orientering och migrering samt för att detektera bytesdjur. Därför är det möjligt att kraftfält vid kablar skulle kunna leda till att arter som är känsliga för elektriska eller magnetiska fält kan påverkas genom att de till exempel undviker eller attraheras av magnetfält. Magnetfältets styrka och storlek beror på vilken teknik som används och mängden elektricitet som överförs. Magnetfälten som bildas kring likströmskablar är kraftigare än för motsvarande växelströmskablar. Magnetfältets styrka minskar med avståndet, vilket innebär att en sjökabel som är nedgrävd, leder till att organismer på sedimentytan eller i vattenmassan exponeras i mindre grad än för en motsvarande friliggande kabel (Näslund och Bruteig, 2011).

När Havs och vattenmyndigheten (tidigare Fiskeriverket) undersökte hur likströmsförbindelsen mellan Sverige och Polen (SwePol Link) inverkat på fisket under en sexårig provotid, fann verket inga tecken på att magnetfältet från kabeln påverkade fiskarnas rörelsemönster och simbeteende negativt (Svenska Kraftnät, 2014). I övrigt fanns en liten påverkan på makrovegetationen i direkt anslutning till kabelgraven i samband med grävningsarbeten och ett år efter kabelläggningen.

3.5.4 Sediment- och vattenkvalitet

Förutom att sediment grävs upp och flora och fauna flyttas och skadas i och med detta så sprids även suspenderade sedimentpartiklar bort med strömmar. Sedimentplymer kan påverka både flora och viss fauna framförallt genom övertäckning medan däremot mobil fauna kan påverkas genom förändrade rörelsemönster (Näslund och Bruteig, 2011).

Vid arbete med sediment som innehåller miljögifter riskeras uppslamning av giftigt sediment. I Hansa PowerBridge projektet mellan Skåne och Tyskland bedöms påverkan på miljön vid havsbotten vara kopplad till spridning av förorenat sediment genom grumling i byggskedet (Svenska Kraftnät, 2020).

3.6 Transformatorstationer

Transformatorstationer används för att omvandla elen mellan olika spänningsnivåer. Stationerna varierar i storlek, från stora transmissionsnätstationer till små nätstationer. En transformatorstation innehåller dels ställverk (med utrustning för koppling, övervakning och styrning) dels en eller flera transformatorer.

Transformatorstationer har olika benämningar beroende på vilka ledningar som är anslutna till stationen:

- Transmissionsnätstation – station som är ansluten till en transmissionsnätledning.
- Regionstation – station som enbart är ansluten till regionnätledning.
- Fördelningsstation – station som matar högspänningsledningar i lokalnätet från regionnätet.
- Nätstation – station som transformerar högspänning till lågspänning i lokalnätet.

Större transformatorstationer tar omfattande ytor i anspråk och gör stora intrång i landskapet. Markbehovet för en station beror till stor del på vilken typ av station det rör sig om, vilken transformering som är aktuell och hur många transformatorer stationen består av (Svenska Kraftnät, 2014). Tabell 1 beskriver olika varianter av transformatorstationer och hur mycket mark de tar i anspråk.

Tabell 1. Olika varianter av transformatorstationer och dess markanspråk.

| | |
|---|--|
| Transmissionsnätstationer (400kV) | Stationsyta: 20 000 – 100 000 m ² |
| Transmissionsnätstationer (220kV) | Stationsyta: 10 000 – 60 000 m ² |
| Regionstationer/ Fördelningsstationer (130kV) | Stationsyta: 5 000 – 30 000 m ² |
| Regionstationer/ Fördelningsstationer (40kV) | Stationsyta: 2 000 – 5 000 m ² |
| Nätstationer (20kV) | Stationsyta: 6 – 50 m ² |

Transformatorstationer är stora anläggningar och kräver stora resurser i form av metaller och annat material. Generellt är det utvinning av råvaror och materialframställning som står för den

största miljöpåverkan (Andersson, 2016). Även byggnationsfasen innebär omfattande anläggningsarbete och materialtransport och står för relativt stor miljöpåverkan.

Större transformatorstationer isoleras med hjälp av den omkringliggande luften, så kallade luftisolerade ställverk (AIS). Vid platsbrist kan istället gasisolerade ställverk (GIS) användas, vilka minskar markbehovet med ca 70 % jämfört med ett AIS-ställverk. GIS-ställverk isoleras med hjälp av svavelhexafluorid, SF₆, som är en mycket kraftig växthusgas. 1 kg SF₆ motsvarar 22 800 kg CO₂-ekvivalenter. SF₆-gas återfinns även i de luftisolerade ställverken, bland annat som isolationsmedium i frånskiljande brytare, men i en mindre omfattning än i GIS-ställverken (Andersson, 2016). Även om det ställs särskilda krav på hanteringen av SF₆ finns det alltid en liten risk att gasen läcker ut i atmosfären i större mängder. Små läckage kan uppstå under hela brytarlivslängden, även om risken är något större under produktion och avveckling än under driftfasen. Det finns luftisolerade ställverk med vakuumbrytare som är fria från SF₆. Utrustningen för dessa ställverk tar mer plats, jämfört med ställverk med SF₆, vilket innebär att det behövs större ställverksbyggnader som i sin tur kan medföra större påverkan på miljön (Khalanski, 2016).

3.6.1 Lokal miljöpåverkan

Transformatorstationer kan medföra stor påverkan på landskapet och på natur- och kulturmiljöer. Därför är det viktigt att ledningar lokaliseras med omsorg och utformas med hänsyn till de natur- och kulturvärden som finns i landskapet (Svenska Kraftnät, 2014)

Konventionella transformatorstationer kräver mycket utrymme och bryter av mot omgivande bebyggelse. Genom att välja kompakt teknik kan utrymmesbehovet minska.

Vid etablering av transformatorstationer kommer mark tas i anspråk för nya vägar, uppställningsplatser och fundament. Detta innebär en påverkan på naturen. Nya vägar kan exempelvis innebära en ökad fragmentering i landskapet och utgöra barriärer för växter och djur.

Transformatorstationer kan ha påverkan på landskapet eller landskapsbilden genom att de ofta utgör ett storskaligt modernt tekniskt inslag i landskapet som kan förändra landskapets karaktär och därmed hur man kan uppleva, läsa av och ta till sig ett landskaps värden. Denna påverkan blir olika stor beroende på landskapstyp, topografi, vegetation, landskapets karaktär och innehåll (Svenska Kraftnät, 2014).

Transformatorstationer alstrar ljud. Ljudet från transformatorer är kontinuerligt, lågfrekvent och kan uppfattas som surrande eller brummande. Större transformatorer kan alstra förhållandevis höga ljudnivåer, en större 400/130 kV-transformator kan t.ex. ge upphov till en nivå på 55-65 dB(A) på 100 meters avstånd från transformatorn. Vid planering av bostäder, arbetsplatser och motsvarande är det därför viktigt att beakta befintliga större transformatorstationer om sådana finns i närheten. På samma sätt är det viktigt att elnätsföretag beaktar omgivningen vid planering av nya transformatorstationer. (Svenska Kraftnät, 2014).

Transformatorstationer ger på några meters avstånd mycket låg exponering för magnetfält (Boverket, 2009).

4 Miljöeffekter från energilagring

Energilagring blir allt viktigare i takt med att användandet av förnybar energi hela tiden ökar. Om det inte finns något sätt att lagra energin kan det leda till stora problem för energisystemet, där ett alternativ med stor miljöpåverkan blir att använda reservkraft som ofta drivs med fossila bränslen. I nuläget finns en rad tänkbara metoder för energilagring. Lagringsteknikerna kan delas in i mekaniska, elektriska, elektrokemiska och kemiska. (IVA, 2015). Påverkan från klimatförändringar på olika energilagringstekniker är generellt liten (EEA, 2019).

I detta kapitel beskriver vi miljökonsekvenser av olika tekniker för energilagring. Vi fokuserar vår analys av miljöpåverkan från batterier och vätgas då dessa energilagringstekniker förväntas ha en större roll i Sveriges framtida energisystem och därmed bör också dess totala miljöpåverkan vara större. För andra energilagringstekniker gör vi en översiktlig analys av miljöpåverkan. För olika energilagringstekniker beskriver vi också hur en eventuell teknikutveckling kan påverka miljöpåverkan.

4.1 Berörda miljö kvalitetsmål

I figur 7 nedan visas de svenska miljö kvalitetsmål som berörs av utbyggnad av batterier, elektrolys och vätgaslager samt övriga energilagringstekniker som beskrivs i detta kapitel, dvs. termisk lagring i fjärrvärmenät, lagring av komprimerad tryckluft och pumpvattenkraft, svänghjul, saltlager för termisk solkraft samt superkondensatorer. Bedömningen är uppdelad på olika faser i livscykeln, dvs. tillverkning inklusive råvaruproduktion, anläggning, drift och underhåll samt kvittblivning inkl. återanvändning och återvinning. Enligt figur 7 nedan är miljöpåverkan från batterier, elektrolys och vätgaslager samt övriga energilagringstekniker på miljö kvalitetsmålen i huvudsak negativ. Detaljer om de miljö aspekter som påverkar respektive miljö mål beskrivs i följande avsnitt.

| | BEÖ | BEÖ | BEÖ | | BÖ | | | | | |
|--|-----|-----|-----|---|----|---|---|---|---|---|
| | BE | BE | BE | Ö | | Ö | Ö | Ö | Ö | Ö |
| | BEÖ | | | Ö | | Ö | Ö | Ö | Ö | Ö |
| | BEÖ | | | | | | | | | |

Figur 7. Svenska miljö kvalitetsmål som berörs av batterier, elektrolys och övriga energilagringstekniker B = batterier, E = elektrolys och vätgaslager, Ö = övriga energilagringstekniker. Röd färg indikerar att aspekten ifråga är övervägande negativ ur ett miljöperspektiv, grön att den är positiv och gul att den är svårbedömd alternativt bedöms orsaka både positiva och negativa effekter. Symbolerna förklaras i figur 1 och 3.

4.2 Batterier

Ett större batteri som används som energilager, kommer bestå av flera battericeller som i sig består av två halvceller. Vid urladdning så migrerar joner mellan cellerna genom en porös separator, vilket skapar en spänning som leder elektroner genom en ledare från anoden (minuspol) och katoden (pluspol). På det sättet omvandlas den kemiska energin i cellerna till elektrisk energi. Vid laddning så sker den bakåtvända reaktionen istället där elektrisk energi lagras som kemisk energi i molekylerna. Det finns flera olika batteritekniker idag, men en nyckelaspekt i deras marknadsutveckling är deras skillnader i deras tekniska mogningsgrad men även deras prestanda och livslängd (Andwari m.fl. 2017). Storskaliga batterier kan sänka kostnader för vindkraftsparker och för batterianläggningar då de kan dela på samma infrastruktur och ge nätägaren en ökad flexibilitet. För datacenter kan batterier användas som ellagring för att ersätta fossil reservkraft (Vattenfall, 2020). För enskilda hushåll så används rimligtvis mindre batterier som kan användas för egenkonsumtion eller säljas på elnätet.

Litiumjonbatteriers höga specifika energi (energimängd per massaenhet) jämfört med andra batteritekniker har bidragit till deras produktionstillväxt de senaste åren. Det är en relativt ny uppfinning från 1980-talet som har utvecklats kontinuerligt sen dess (KVA, 2019). I dagsläget finns ett flertal variationer av litiumjonbatterier, som har olika prestanda (exempelvis effekt, specifik energi och livslängd). Variationerna mellan litiumjonbatterier kan vara att själva materialen är olika eller att andelen av material skiljer sig åt, men även att strukturen varierar till följd av skillnader i produktionstekniker. Blybatterier är en etablerad teknik för energilagring som har relativt låg specifik energi jämfört med andra batterier och även en relativt lång livslängd (Andwari m.fl. 2017). Flödesbatterier liknar bränsleceller då energin finns i ett medium som sparas i en eller flera tankar. Det forskas även på nya typer av flödesbatterier som kan nå specifika krav.

Litium-svavelbatterier är ett batteri i utvecklingsfasen som har liknande behov av litiummetall som litiumjonbatterier. (Arvidsson m.fl. 2018). Batteritypen har också visat sig vara relativt osäker då de ibland kortsluts och då utgör en explosionsrisk. *Natrium-svavelbatterier* behöver höga temperaturer för att fungera och har i snitt lite högre specifik energi än litiumjonbatterier (Zubi m.fl. 2018).

4.2.1 Miljöpåverkan vid produktion och utvinning

Cellproduktion bidrar till relativt stora växthusgasutsläpp i batteriets livscykel då batterierna måste tillverkas i miljöer med mycket låg luftfuktighet, vilket är energikrävande. Detta steg påverkas till stor grad av klimatet där produktionsanläggningen befinner sig, där torrare klimat är fördelaktigt för att sänka energibehovet för anläggningen (Ellingsen och Hung, 2018). Torkningen av lösningsmedel kan också bidra till växthusgasutsläpp då energin för dessa steg kan komma från både el, fossila bränslen som naturgas, eller biobaserade bränslen. Därför kan batteriproducenter påverka dessa växthusgasutsläpp till stor del. Vid tillverkningsprocessen används också ett antal miljöfarliga ämnen som t.ex. svavelsyra, natriumhydroxid och ammoniak vilket kan orsaka betydande utsläpp av luftemissioner till omgivningen.

Lösningssmedlet N-metyl-2-pyrrolidon (NMP) används både i litiumjonbatterier och i andra hybridbatterier som använder nickel, mangan eller litiumkobolttoxider. NMP kan bidra till negativa miljöeffekter och orsaka genetiska skador (Emilsson och Dahllöf, 2019). Vid produktion av litiumjonbatterier vid Northvolts battericellsfabriker i Västerås och Skellefteå förväntas processen där NMP hanteras vara i stort sett sluten och en stor del av nyttjat lösningssmedlet kan återföras till tillverkningsprocessen.

Utvinning av råvaror för katodframställning samt raffinering av dessa råmaterial till pulver som används för cellproduktionen är energiintensiva och kan bidra till både växthusgasutsläpp och utsläpp av föroreningar till luft. Batteritypen avgör till stor del vilka utsläpp som kan förväntas då produktionen av de olika metallerna skiljer sig åt (Emilsson och Dahllöf, 2019). Till exempel så har litium-kobolt-oxid (LCO) och nickel-mangan-kobolt (NMC) batterier märkbart större SO_x och växthusgasutsläpp än litium-järn-fosfat (LFP) och litium-mangan-oxid (LMO) batterier, eftersom LCO och NMC batterier innehåller högre mängder av kobolt och nickel (Dunn m.fl. 2015). Aluminium och koppar används också i batterier och speciellt framställning av aluminium kan orsaka höga växthusgasutsläpp. LFP batterier har stor chans att dominera i nät-kopplade lösningar, vilket är en fördel då de inte innehåller höga andelar kobolt och nickel som LCO och NMC batterier gör (Zubi m.fl. 2018).

Många av batterimetallerna utvinns idag utanför Sveriges gränser och oftast utanför EU. Tre viktiga metaller för de flesta batterityper idag är litium, kobolt och nickel. Litium som importeras till EU produceras oftast i Chile genom avdunstning av saltvattensjöar. Denna utvinningsprocess har en negativ effekt på den biologiska mångfalden i regionen. Kobolt kan antingen produceras som biprodukt av nickel- eller kopparutvinning, men i större koncentrationer finns det i arsenidmalm. Det skapar negativa effekter för både hälsa och naturmiljöer vid utvinningen, som sker nästan enbart i Demokratiska Republiken Kongo. Naturmiljön påverkas negativt i områdena där koboltbrytningen sker. Nickel används i katoden och nickelutvinning som främst sker i Australien, Kanada, Indonesien, Ryssland och Filippinerna har historiskt sett skapat höga svaveldioxidutsläpp och kontaminerat jorden med tungmetaller, minskat den biologiska mångfalden i havet, påverkat växtliv negativt och eroderat jorden (Dunn m.fl. 2015). Grafit som används i anoden kommer nästan enbart från Kina i dagsläget (Zubi m.fl. 2018).

Framtida etableringar av battericellsfabriker i Sverige kan innebära att lokal miljöpåverkan som t.ex. påverkar landskapsbilden och naturmiljön blir större i samband med exploatering, byggnation och drift av anläggningarna. I samband med denna utveckling kommer allt fler miljö kvalitetsmål att påverkas. Om tillstånd ges till gruvbrytning i Sverige för utvinning av batterimineraler och sällsynta jordartsmetaller kommer den lokala naturmiljön att påverkas av en sådan exploatering också. Inhemsk råvaruproduktion kan dock minska klimatpåverkan än om utvinningen sker utanför EU då elmixen som används i utvinningen i Sverige förväntas vara förnybar.

4.2.2 Vad händer med batterierna efter användning?

Avfallshanteringen av batterier blir allt viktigare då volymerna ökar och batterier innehåller farliga ämnen. Bättre spårbarhet kan säkerställa att avfallshanteringen görs ordentligt och det kan även vara ett sätt att säkerställa en hållbar produktion genom att materialen hamnar på rätt plats vid återvinning. Litium har en hög reaktivitet vilket innebär är farliga gaser utsöndras och att batteriet kan börja brinna eller explodera vid felaktig hantering vilket orsakat personskador och utsläpp (Bloomberg, 2021; Larsson m.fl. 2017).

Att återvinna metallerna ur litiumjonbatterier när de är uttjänta är viktigt för att minska behovet av jungfruliga råvaror. Återvinning av kobolt, nickel och koppar har i dag relativt hög effektivitet förutsatt att batterierna hamnar rätt i återvinningsystemet. Litium återvinns inte i någon större skala på grund av dess låga råvarupris, höga återvinningskostnader och låga volymer. Att återvinna batterierna kräver säker hantering av de farliga ämnen som finns och skapas. Elektrolyten innehåller volatila organiska ämnen och toxiska litiumsalter som är farliga både för människan och natur (Zhang X m. fl. 2018). I dagsläget pågår mycket forskning kring återvinning av litiumjonbatterier och de flesta återvinningsprocesserna kan klassificeras som antingen hydrometallurgiska eller pyrometallurgiska. En bra överblick på återvinningstekniker och hälsofaror ges i Zhang X m.fl. (2018).

Enligt Dahllöf (2019) kommer den stora vågen av uttjänta litiumjonbatterier från främst bilar att börja runt 2030 och då är det viktigt att ett effektivt system för återvinning är på plats. Trenden visar att batterivolymerna ökar och batterikostnaderna för framställning kommer sjunka. Med lokal återvinning så kan behovet av ny råvara sjunka och miljöpåverkan i länder där utvinning sker minska.

Miljömässiga utmaningar till ökat batterianvändande är tillgång till hållbara och etiskt utvunna metaller. En huvudkomponent i litiumjonbatterier är kobolt som idag i huvudsak utvinns i Kongo. Prospektering av kobolt pågår i EU och inte minst Sverige, där fyndigheter har hittats i bl.a. Bergslagen och Kiruna. Svårigheten att få tillstånd för gruvbrytning är ett hinder för framtida brytning av kobolt för batteritillverkning i Sverige. Gruvbrytning har en stor miljöpåverkan och kan skapa negativa miljöeffekter lokalt (Sweco, 2020). Med lokal utvinning minskar dock miljöpåverkan i andra länder.

4.3 Elektrolys och vätgaslager

I detta delkapitel diskuteras vätgas som energilager, det vill säga att överskottsel används för att producera vätgas som vid ett senare skede omvandlas tillbaka till el. Power-to-gas använder elektricitet till att producera andra energibärare som är lättare att lagra. Ofta används vätgas som energibärare eftersom elektriciteten kan användas till att spjälka vatten i en elektrolysör och produceras vätgas, s.k. power-to-gas med elektrolys (FCH,2019). Två huvudsakliga

produktionstekniker som inte släpper ut växthusgaser är: "grön" vätgas genom elektrolys av vatten med förnybar el och "blå" vätgas genom elektrolys av vatten med el från kolväten (fossila- eller biobränslen) med koldioxidinfångning och lagring (CCS). Några mindre vanliga metoder under utveckling är att producera vätgas direkt från biomassa och med hjälp av solljus och biomassa (Energy, 2020; Dai Q m.fl. 2016). Vätgas kan även metaniseras med koldioxid och omvandlas till elektrobränslen, som metan, metanol, etanol, diesel och bensin, plus överskottsvärme. Elektrobränslen kan även produceras från biogena källor (IVA, 2019). Vätgas kan även produceras genom elektrolys med fossil el eller från kolväten utan koldioxidlagring. I dessa fall så produceras växthusgasutsläpp från framställning av den fossilbaserade elen eller i samband med vätgasproduktionen.

Vid höga andelar sol- och vindkraft i energisystemet så kan produktionstoppar infalla när efterfrågan är låg och då kan det vara fördelaktigt att lagra överskottsenergin som vätgas. Den totala verkningsgraden i dagsläget för att sedan producera el med denna vätgas ligger runt 50 procent. Vätgasen går att lagra under högt tryck eller i flytande form, eller överförs till befintlig gasinfrastruktur efter metanisering (omvandling till elektrobränslen som exempelvis metan). Kolväten har generellt bättre lagringsmöjligheter än vätgas och integration i den befintliga infrastrukturen. In- och utmatningskapaciteten är den begränsande faktorn vid lagring per veckobasis medan lagervolymer begränsar säsongslagring (IVA, 2019). Idag utvecklas även vätgasdrivna gasturbiner som kan öka flexibiliteten i elsystemet genom att möjliggöra att mer el från förnybara källor kan integreras för att reducera lokal kapacitetsbrist i elnätet (IVA 2019).

Bränsleceller innehåller material som har miljöpåverkan. Katalysatorer används vid produktion av vätgas och finns även i bränsleceller som producerar el från vätgas. Då det finns ett flertal olika varianter av celler och reaktionsvägar så kan också olika katalysatorer krävas. Ofta används platinagruppermetaller som rutenium, iridium, palladium och platina som katalysatorer för elektrolys. Även katalysatorer som baseras på nickel, järn och kobolt är under utveckling (Lu X m.fl. 2020). Mer än 70 procent av de platinagruppermetaller som används i EU utvinns i Sydafrika (Europeiska kommissionen, 2020). Det finns begränsade studier på platinagruppernas miljömässiga effekter men metallerna har påvisats ha skadliga effekter för t.ex. däggdjur (Rauch och Morrison, 2008). Bränsleceller kan också innehålla PFAS ämnen, vilket är högflourerande ämnen som är svåra att bryta ner och kan ha skadliga effekter både för människa och miljö (Dai m.fl. 2016).

Elmixen som används vid själva power-to-gas processen är också en påverkansfaktor som styr mängden växthusgasutsläpp i produktionen. Denna effekt bedöms vara liten i Sverige då syftet med processen främst skulle vara att producera bränsle från överskott från förnybar elproduktion. Ur ett livscykelperspektiv kan produktion av bränsle genom power-to-gas ge en positiv klimateffekt då det kan minska utsläppen av koldioxid till atmosfären genom att ta hand om restströmmar från industriella processer (IVA, 2016). Hanteringen av vätgas måste ske enligt tydliga riktlinjer då gasen är lättantändlig.

4.4 Övriga energilagringstekniker

4.4.1 Termisk lagring i fjärrvärmenät

Inom fjärrvärmenät utgör termiska lager ett sätt att tillvarata överskott av el och restvärme. En möjlighet är att använda överskottsproduktion från framför allt sol- och vindkraft till lagrad värme i fjärrvärmenätet som kan ersätta bl.a. biobränsle. Detta möjliggör att befintlig infrastruktur

används samtidigt som bibränsleresurserna kan användas för andra ändamål (Naturskyddsföreningen, 2019).

Idag används termiska lager inom fjärrvärmebranschen som korttidslagring i centralt placerade ackumulatortankar med varmt vatten. Säsongslagring har hittills inte fått genomslag i Sverige. I Danmark däremot har säsongslagring av solvärmad varmvatten blivit allt vanligare det senaste årtiondet. Exempel på säsongslager är borrhålslager och vattenfyllda bergrum (Energiforsk, 2019). I de flesta fall har det inte visat sig vara ekonomiskt lönsamt med säsongslagring. Ett skäl till detta är att varmt vatten inte är särskilt "energiintensivt" och att det krävs mycket stora vattenmängder för att lagra relevanta energimängder. Det är alltså osäkert om värmelagring kommer att bli en användbar metod för lastutjämning. I enstaka fall skulle det dock kunna bli intressant, t.ex. vid en kombination av mycket dyr värmeproduktion vintertid, och mycket goda förutsättningar för lagring.

Energiforsk (2019) har belyst potentialen för termisk lagring i fjärrvärmebranschen och studerat olika lagers funktion, potential och miljöpåverkan i morgondagens energisystem.

Sensibla lager såsom groplager, bergrumslager, borrhålslager och andra hålrum i berggrunden hanterar oftast stora mängder varmvatten. Vid eventuella större läckage kan varmt vatten läcka ut i omgivningen. Det är därför viktigt att säkerställa att ett sådant läckage inte kommer att kunna ske och att dessa lagerutrymmen ska drivas så att risken minimeras för att grundvattennivåerna förändras till nivåer som kan vara skadliga (Thuresson, 2016), vilket bland annat kan regleras genom vattendomar. Vid borrning av borrhålslager kan intilliggande dricksvattenbrunnar få sjunkande vattennivåer eller att grundvattnet förorenas med saltvatten från närliggande havsvatten eller från fossilt saltvatten i berggrunden. Även buller och avgaser från den utrustning som används vid borrning har en negativ miljöpåverkan (Energiforsk, 2019).

Latenta och termokemiska lager består av olika typer av kemikalier som kan orsaka negativ miljöpåverkan lokalt. Kemikaliernas miljöpåverkan är beroende av framställningsmetod, livslängd och hantering av materialet då det är uttjänt.

Det är dock okänt i vilken utsträckning groplager, bergrumslager, borrhålslager och andra underjordiska hålrum påverkar marken avseende kemi, grundvattennivå och biologi eller vilka energilagring som har störst eller minst påverkan. Det finns således framtida utredningsbehov av miljöpåverkan vilket kan underlätta tillståndsprocesser för vattendomar mm.

För distribuerade lager placerade nära, eller i, bostadsområden kan nya krav på miljö och säkerhet behöva ställas för att undvika miljöstörningar och skador i närheten av folk och bebyggelse.

4.4.2 Lagring av komprimerad tryckluft

Lagring av komprimerad tryckluft eller Compressed Air Energy Storage (CAES) använder överskottsenergi från elnätet till att driva en motor som komprimerar luft i en reservoar, ofta i form av en gruva eller andra underjordiska hålrum, kärl eller rörledningar. Tryckluften kan lagras på två sätt; ovan jord eller under jord. Anläggningar där den komprimerade luften lagras ovan jord är generellt sett mindre än de som lagras under jord. Lagringskapaciteten ligger mellan 3 - 50 MWh för anläggningar ovan jord medan anläggningar under jord har en kapacitet på uppåt 400 MWh. Platsval för anläggningar ovan jord är mer flexibelt än för anläggningar under jord, eftersom dessa ställer krav på geologiska förutsättningar såsom närhet till en gruva eller andra underjordiska

hålrum. De mest kostnadseffektiva anläggningarna är de som lagrar energi under jord då energin kan lagras storskaligt och under en längre tid (IVA, 2015).

Forskning och utveckling bedrivs på CAES för att göra tekniken mer tillgänglig samt effektivisera och förbättra tekniken. Idag är det endast ekonomiskt möjligt att bygga CAES anläggningar vid närliggande underjordiska hålrum, vilket begränsar tekniken, därför görs ansträngningar för att ta fram alternativa lagringsmöjligheter. Exempelvis undersöks möjligheten att lagra komprimerad luft i ballongliknande kärl på havsbotten och i trycksatta cylindrar på marken. Tekniken bakom CAES är under fortsatt utveckling och förväntas i framtiden få störst utbredning i USA och till viss del även inom EU (Marmolin och Nydahl, 2015).

Idag finns två driftsatta CAES-anläggningar, en i Tyskland och en i USA, med en installerad effekt på 290 MW respektive 110 MW. Ingen anläggning finns ännu i bruk i Sverige, dock pågår ett pilotprojekt på Åland. Under 2016 utredde Fortum huruvida tryckluftslagring skulle kunna vara en möjlig lösning i den nya gröna stadsdelen Norra Djurgårdsstaden, Stockholm. Idén var att lagra tryckluft i berggrum under jord och använda den genererade värmen från kompressionen som fjärrvärme. De tekniska förutsättningarna visade sig vara goda, men idén tillbakavisades då den inte var ekonomiskt hållbar (NyTeknik, 2016).

I traditionella CAES-anläggningar används stora mängder naturgas för att hetta upp luften under expansionsfasen innan den förs till gasturbinen, vilket medför negativ miljöpåverkan i form av koldioxidutsläpp. I en del anläggningar används så mycket som en tredjedel av den mängd naturgas per kWh producerad el som används i ett rent naturgaskraftverk (Dahlqvist och Karlsson, 2014). En andra generationens tryckluftsteknik, Avancerad Adiabatisk CAES (AA-CAES), är dock under utveckling med fokus på att ta tillvara på värmen som alstras vid kompressionen. Denna teknik ökar energieffektiviteten och minskar miljöpåverkan eftersom värmen från kompressionen då skulle återanvändas vid expansionsfasen och därmed ta bort behovet av naturgas (Bouman m.fl. 2013).

Genom att implementera lagringstekniken kan behovet att använda fossil energi vid effekttoppar minskas. Pumpkraftverk i gruvmiljö är en kapitalintensiv energilagringsteknik och stor del av miljöpåverkan uppstår i projekterings- och anläggningsfaserna och vid anläggandet av lagringsutrymme för gasen. Miljöpåverkan är också knuten till storleken på reservoaren och konstruktionsmetoden för att ta reservoaren i bruk (Bouman m.fl. 2013). För att öka den miljömässiga potentialen i tekniken är det viktigt att bygga systemet energieffektivt och att energin som används vid driften av gasturbinen består av förnybar energi för att minska utsläppen av växthusgaser (Steen och Torestam, 2018).

4.4.3 Pumpvattenkraft

Den grundläggande tekniken bakom pumpvattenkraftverk, även kallad Pumped Hydroelectric Storage (PHS), går ut på att använda överskottsenergi från elnätet till att pumpa upp vatten från ett magasin på lägre höjd till ett annat magasin på högre höjd. På detta sätt omvandlas överskottet till potentiell energi (Tjernlund och Westman, 2018). När det sedan finns ett ökat elbehov kan pumpkraftverket fungera som ett konventionellt vattenkraftverk genom att vattnet från den högre reservoaren släpps ner genom en turbin.

Det främsta tillämpningsområdet för PHS är långsiktig energilagring för att upprätthålla nätstabilitet samt hantering av variationer i vindkraft. Fördelen med tekniken är att energin går att laga storskaligt och under lång tid. Pumpvattenkraftens effektivitet ligger mellan 70 - 85 procent

och är den mest mogna och utbredda tekniken för storskalig energilagring, bortsett från naturliga kraftverksdammar. Den korta svarstiden systemet förknippas med gör även metoden möjlig att använda för kortsiktig energilagring. Generellt sett har pumpkraftverk förmågan att kunna regleras snabbt då det har en responstid på ett par sekunder och möjlighet till att producera för fullt inom några minuter. I detta avseende lämpar sig pumpkraftverk bra som flexibilitetsresurs i exempelvis frekvensreglering och för att motverka risk för skadligt höga effekttoppar i nätet. Utöver detta kan pumpkraftverk fungera som ersättning till traditionell förstärkning av överföringskapacitet (Sweco, 2019).

Traditionellt så har behovet av pumpvattenkraft varit litet i Sverige på grund utav de möjligheter som redan finns att reglera vattenkraftsmagasin. I Sverige finns idag två aktiva pumpkraftverk i Värmland på totalt cirka 100 MW (IVA, 2015).

Pumpvattenkraften har störst potential i Kina och Indien, där lämpliga geografiska områden finns för effektiva anläggningar. Övriga länder i världen måste överväga mer okonventionell design som till exempel pumpvattenkraft med saltvatten samt användande av underjordiska vattenmagasin i berggrum. Året 2011, fanns det globalt 280 stycken anläggningar med en sammanslagen effekt på 132 GW. Runt 40 av dessa anläggningar har kapacitet på över 50 MW (IVA, 2015).

Pumpvattenkraft kan i Sverige bidra till balansering och effekt-tillräcklighet vilket sannolikt blir viktigare när annan planerbar produktion försvinner ur elsystemet (Svenska Kraftnät, 2020). De närmaste tjugo åren ska alla som bedriver vattenverksamhet för produktion av vattenkraftsel förse sin verksamhet med moderna miljövillkor. Detta kan påverka utvecklingen av pumpvattenkraftsproduktionen negativt.

Förutsättningarna för pumpvattenkraftverk, i större eller mindre skala, har inte utretts i Sverige under nuvarande förutsättningar för elsystemet. Om ytterligare pumpkraft byggs ut inom ramarna för befintliga vattenregleringar, bör konsekvenserna för miljön vara begränsade. Om helt nya och stora mark- och vattenområden behöver tas i anspråk, kan konsekvenserna snarast bli betydande (IVA, 2016).

En nackdel med pumpvattenkraftverk är att tekniken ställer krav på geografiska förutsättningar såsom höjdskillnad. Lämpliga områden ligger ofta vid platser av högt naturvärde. Därför har tekniken som sådan ofta en negativ lokal påverkan på det närliggande landskapet, speciellt vid dammarna. Dessutom behövs högspänningsledning som skär igenom områden och påverkar stora naturvärden ytterligare. Därav begränsas metodens lämplighet för småskalig energilagring (Isberg, 2020).

Precis som konventionell vattenkraft bidrar pumpvattenkraft i sig inte till några utsläpp av växthusgaser under drift. De totala (inklusive indirekta) utsläppen uppkommer i produktionen av olika beståndsdelar av anläggningen. Utsläppen beror också till största delen på hur elektriciteten som används vid pumpning har genererats och vilken typ av elproduktion som ersätts när pumpkraftverket genererar el. Pumpvattenkraft är en kapitalintensiv energilagringsteknik och stor del av miljöpåverkan uppstår i projekterings- och anläggningsfaserna. Pumpvattenkraftverk måste därför vara relativt stora för att dra nytta av de skalfördelar som tekniken erbjuder (Rensfeldt, 2017).

Eftersom pumpvattenkraftverk är stora konstruktioner som påverkar ekosystemen krävs tillstånd för sådan verksamhet. Detta innebär detaljerade förundersökningar i form av samråd och miljökonsekvensbeskrivningar, för att erhålla tillstånd vilket tar flertalet år. Förändringar av existerande

och framtida vattendomar i syfte att rätta sig efter EU:s vattendirektiv kommer sannolikt också att påverka pumpvattenkraftverk (Rensfeldt, 2017).

Konsekvenserna av ett pumpat flöde till en naturlig sjö som övre magasin påminner om de som uppstår i traditionella vattenkraftssystem. Detta medför stora ingrepp i vattensystemen, både under byggnadsskedet och under driftskedet, med skada lokalt och på vattensystemnivå på den biologiska mångfalden, till följd av de stora fysiska förändringarna av naturens normala funktion. När vatten däms upp i ett vattendrag så förändras dess nivåskillnader. Dessa förändringar påverkar främst flora och fauna i kantzonerna negativt. I dessa kantzoner befinner sig ofta insekter, växter, fisk, däggdjur och olika fåglar, och snabba förändringar i dessa områden kan påverka negativt för dessa arter. Snabba förändringar av vattenvolymer leder till att dynamiken i det naturliga vattendraget förändras. Denna dynamik kan upplevas som stressande för djur och växter i dessa miljöer, vilket leder till att dessa populationer kan skadas. Uppdämning av vatten ökar sjöarealen, vilket innebär en större solexponerad yta och lugnare vattendrag. Detta kan påverka strömlevande arter negativt (Isberg, 2020).

Ett nytt pumpkraftsprojekt skulle kunna påverka omgivande miljön enligt de miljömål som är kopplade till ekologisk hållbarhet. Snabba förändringar av vattennivåer i naturliga vattendrag påverkar målet *Levande sjöar- och vattendrag, Myllrande våtmarker*, samt *Ett rikt växt- och djurliv*. Annan förändrad markanvändning till följd av exploatering kan främst påverka miljömålet *Levande skogar* samt *En storslagen fjällmiljö*.

4.4.4 Svänghjul

Svänghjul lagrar energi i form av rörelseenergi. En rotor spinner snabbt och med litet motstånd i magnetiska kullager. När man tillför energi spinner rotorn snabbare och lagrar energi och när rotorn bromsas så utvinns energi. Svänghjultekniken har hög energidensitet, kort responstid och en effektivitet på ca 90–95%. Detta innebär att den kräver lite plats för att lagra en relativt hög effekt (IVA, 2015). Kostnaden per producerad kilowattimme är dock relativt hög (Karlsson och Dahlqvist, 2014).

Svänghjulen kan endast lagra energi en kortare tid, vilket begränsar användningsområdena. Ofta används de som reservenergi, för att förhindra korta avbrott eller för att täcka övergångsfasen mellan två strömkällor. Svänghjul passar även bra i tillämpningar där stora mängder energi behöver utvinnas snabbt som frekvensreglering i lokala elnät. Batterier har högre energitäthet och låg effekttäthet. Kombinationen mellan dessa skulle kunna utnyttjas i till exempel bilar och bussar som stannar och startar ofta och som kräver en viss genomsnittseffekt från batteriet, och ytterligare maxeffekt som skulle kunna komma från svänghjulet. Att använda svänghjul för att lagra energi från förnybara energikällor och sedan distribuera ut den är mindre lämpligt på grund av höga stand-by förluster samt stora kostnader Svänghjulen kan tillverkas mycket små och har en livslängd på uppåt 20 år (Karlsson och Dahlqvist, 2014).

Det finns få utförliga studier i Sverige eller internationellt som undersökt miljöpåverkan av svänghjulteknik.

Ur klimatsynpunkt är påverkan relativt liten för ett svänghjul, då merparten av metalldelarna som bygger upp systemet går att återvinna. Under drift sker inga stora utsläpp av växthusgaser (Bernhoff m.fl. 2005). Att använda svänghjul som energilagring i elnätet bidrar till att fler förnybara energikällor kan användas vilket bidrar till mindre växthusgasutsläpp och minskad användning av fossil energi. Den stora miljöpåverkan uppstår således i utvinning och produktionsfasen då stora

mängder järn och andra metaller går åt att tillverka magneterna till själva svänghjulen (Tjernlund och Westman, 2018).

4.4.5 Saltlager för termisk solkraft

Termisk solkraft (Concentrated Solar Power, CSP) är ett solenergisystem där linser eller speglar samlar solljus från ett stort område till en liten yta. Det koncentrerade ljuset värmer sedan upp något medium som driver en värmemaskin (såsom en ångturbin) kopplad till en elektrisk generator. Vid saltlagring värms saltet upp genom solenergin till vätskeform och leds in i en isolerad värmekammare. Där förvaras det fram till att energin behöver tas i bruk, varpå det smälta saltet leds till en ånggenerator som producerar ånga vid hög temperatur och högt tryck. Ångan driver i sin tur en vanlig ångturbin som genererar elektricitet. Efter att det har passerat ånggeneratören skickas saltet tillbaka för ny soluppvärmning, och cykeln startar på nytt (Naturvetarna, 2019).

Det finns olika varianter av termisk solkraft. En av de mest utvecklade anläggningarna finns i Marocko och genererar 580 MW. En variant av tekniken testas även av Vattenfall och företaget SaltX Technology. Genom att värma upp saltet så avdunstar vatten och saltet torkar. Det torkade saltet är då laddat, och behålls saltet torrt bevaras energin. När behov av energi finns, tillförs vattenånga till saltet och 450-gradig vattenånga frigörs. Ångan kan sedan användas till fjärrvärmesystem, industriell process eller omvandlas till elektricitet. Komponenterna i energilagret som möjliggör detta är nanobehandlat salt, laddningsreaktor, urladdningsreaktor och lagringsenheter för saltet.

Många kvarstående utmaningar finns för att man ska kunna lyckas nyttja solkraft med termisk lagring i större utsträckning. Bland annat behövs på sikt mer överföringsteknik, eftersom solkraften och möjligheterna till saltlagring sällan finns på samma ställen som där energibehovet är som störst. Tekniken är fortfarande på pilotstadiet och det finns flera frågor att besvara innan ett fullskaligt projekt kan bli verklighet, bl.a. hur saltet storskaligt kan torkas och hur man kan framställa lämpliga behållare på ett effektivt sätt.

Miljöpåverkan från tekniken är ännu inte studerad på någon detaljerad skala. Då tekniken är solbaserad är miljöpåverkan i driftsfasen låg. Som energilagring möjliggör tekniken större andel förnybar kraft. Om fossil produktion ersätts innebär energilagringstekniken en minskning av växthusgaser och utsläpp av luftföroreningar. Störst påverkan har förmodligen utvinning av råvaror för produktion av ingående material i form av metaller i byggnationsfasen. Tekniken kräver också relativt stora markanspråk och i vissa fall också sällsynta material i tillverkningsprocessen.

4.4.6 Superkondensatorer

En superkondensator är ett energilagring som liknar ett batteri och som består av en elektrolyt av laddade partiklar (joner) mellan två elektroder. Superkondensatorer har som uppgift att hålla en elektrisk laddning tills det är dags att avge den. Skillnaden från vanliga batterier är att superkondensatorer kan ladda och urladda mycket snabbare, vilket gör det möjligt att minska laddningstiden rejält. De kan klara hundratusentals, kanske miljoner, i- och urladdningscykler utan att degenerera.

Nackdelen är att både energimängden och den tid som laddningen kan hållas kvar är begränsad och den låga energikapaciteten begränsar tiden som energin kan användas. Det finns också en del

förhoppningar om att kondensatortekniken skulle kunna utvecklas så långt att de ersätter batterierna för vissa tillämpningar. Lagringskapaciteten bedöms kunna öka med mellan fem till tio gånger under de kommande åren. Exempel på en möjlig tillämpning för kondensatorteknik är att fånga upp rörelseenergi och bromsenergi som skapas när ett tåg närmar sig en station. Den lagrade energin kan sedan användas för tågets avgång och initiala acceleration. Effektivitetsvinsterna av denna relativt enkla applikation är mycket stora (Vinnova, 2012).

Applikationsområden för dagens superkondensatorer är ofta kopplade till applikationer som kräver snabb lagring eller snabb tillgång till stora mängder energi som t.ex. militär- och rymdteknik. El- och hybridbilar är en växande marknad där superkondensatorer möjligen kan bli konkurrenskraftiga i framtiden jämte dagens etablerade tekniker.

Det har gjorts få ingående studier om miljöpåverkan av superkondensatorer. Det finns redan kommersiella superkondensatorer men dessa är dyra i en energiintensiv produktionsprocess och kräver sällsynta och i bland miljöfarliga metaller eller material. Den största miljöpåverkan återfinns således i utvinnings- och produktionsfasen. Cellulosabaserade superkondensatorer kräver mindre miljö- och energibelastande insatsvaror och är därför mer miljövänliga än andra superkondensatorer (Andres, 2017).

5 Analys och slutsatser

Denna förstudie ger en överblick över den miljöpåverkan som förväntas ske från utbyggnad av elnät och energilagring i ett framtida energisystem. Elnätets och energilagringens olika komponenter utövar olika typer av påverkanstryck under olika faser av livscykeln. Det är tydligt att tillverkning, anläggning, drift och kvittblivning av elnät och energilagring tar resurser i form av råvaror, energi, mark och vatten i anspråk. En stor del av miljöbelastningen inklusive växthusgasutsläpp för både elnät, batterier, elektrolys sker i utvinningen av råvaror eller vid tillverkningsfasen. Detta ger upphov till utsläpp till mark, luft och vatten ofta långt från den plats där komponenten används, medan anläggning av till exempel elledningar orsakar en lokal förändring i markanvändningen. Sammantaget påverkar detta majoriteten, om inte samtliga, 16 miljökvalitetsmål i olika hög utsträckning. Två mål av särskild betydelse är *Begränsad klimatpåverkan* och *God bebyggd miljö*.

Luftledningarna orsakar ett större påverkanstryck under drift än mark- och sjökabel då kraftledningarna tar större yta i anspråk. Det påverkar jord- och skogsbruk, och därmed *Ett rikt odlingslandskap* och *Levande skogar* men även *Ett rikt växt- och djurliv*, i större omfattning. Även andra landskapsförändringar, påverkan på biologisk mångfald och påverkan från ljud och elektromagnetiska fält gör att miljöpåverkan är större under drift för luftledningar än för mark- och sjökabel. För mark- och sjökabel är de lokala miljöeffekterna störst i anläggningsfasen då pågående markanvändning eller bottenförhållanden påverkas stort medan påverkan är mindre i själva driftsfasen. Beroende på lokalisering kan detta påverka såväl *Grundvatten av god kvalitet* och *Levande sjöar och vattendrag*. För transformatorstationer står råvaror och tillverkning av material för en stor del av miljöpåverkan men påverkan på omkringsliggande naturmiljö och lokala utsläpp till mark och vatten kan också uppstå.

Luftledningarna orsakar ett större påverkanstryck under drift än mark- och sjökabel då kraftledningarna tar större yta i anspråk. Det påverkar jord- och skogsbruk, och därmed *Ett rikt odlingslandskap* och *Levande skogar* men även *Ett rikt växt- och djurliv*, i större omfattning. Även andra landskapsförändringar, påverkan på biologisk mångfald och påverkan från ljud och

elektromagnetiska fält gör att miljöpåverkan är större under drift för luftledningarna än för mark- och sjökabel. För mark- och sjökabel är de lokala miljöeffekterna störst i anläggningsfasen då pågående markanvändning eller bottenförhållanden påverkas stort medan påverkan är mindre i själva driftsfasen. Beroende på lokalisering kan detta påverka såväl *Grundvatten av god kvalitet, Levande sjöar och vattendrag* samt *Hav i balans samt levande kust och skärgård*. För transformatorstationer står råvaror och tillverkning av material för en stor del av miljöpåverkan men påverkan på omkringliggande naturmiljö och lokala utsläpp till mark och vatten kan också uppstå. Lokala miljöeffekter som till exempel påverkan på biologisk mångfald är svåra att uppskatta kvantitativt då det finns få metoder som värderar dessa i nuläget. Anledningarna till detta är att det finns problem rörande vilka aspekter av biologisk mångfald som bör inkluderas i olika värderingsmodeller. Vad som menas med biodiversitet är inte alltid helt självklart men måste definieras för att kunna avgöra vilka typer av indikatorer som ska användas samt vilken skala som ska utredas, exempelvis lokal, regional eller global. Här behövs mera kunskap.

Elnätet består till stora delar av konventionell teknik, med känd miljöpåverkan. Utbyggnad ger emellertid nya förutsättningar för att introducera nya tekniker eller material även för till exempel ledningsstolpar och fundament. Dessa nya tekniker och material skulle kunna minska negativ miljöpåverkan eller rentav bidra med nyttor jämfört med dagens situation. Ett tänkbart exempel är att nätägarna frivilligt eller genom reglering skulle kunna bli stora inköpare av betong och stål med lägre klimatpåverkan. Det skulle kunna ändra marknadsförutsättningarna, påskynda en omställning av teknik och utbud och få positiva spridningseffekter. Det skulle kunna bidra positivt till uppfyllandet av bland annat *Begränsad klimatpåverkan* och *Giftfri miljö*.

Många energilagringstekniker kommer i hög grad att utgöras av ny teknik. Batterier är det tydligaste och mest omtalade exemplet. För batterier uppstår den största miljöpåverkan i utvinnings- och tillverkningsfasen. Det behövs dock bättre dataunderlag, framför allt kring råvaruproduktionen, för att säkerställa batteriernas totala miljöpåverkan. Teknikval och försörjningskedjor från gruva till produkt kan se väldigt olika ut och ge upphov till olika miljöpåverkan i de olika leden. På senare tid har EU allt tydligare prioriterat att öka unionens självförsörjningsgrad av metaller och så kallade kritiska råmaterial. Det uttrycks bland annat i den nyligen lanserade European Raw Materials Alliance och den uppdaterade, fjärde, listan över kritiska råmaterial (Europeiska kommissionen, 2020). Sverige är sedan lång tid en av EU:s viktigaste gruvnationer och det finns förväntningar på att Sverige ska öppna gruvor som svar på detta. Det ger möjligheter att få stor kontroll över hela värdekedjan, men kommer att ge upphov till direkt miljöpåverkan till följd av gruvor och anrikningsverk. Gruvor innebär ett påtagligt lokalt ingrepp i miljön, med potentiell påverkan på bland annat *Levande skogar* och *Storslagen fjällmiljö*. Ur ett snävt nationellt perspektiv kan det framstå som mer gynnsamt att importera råvaror men ur ett helhetsperspektiv finns det mycket som talar för att en ökad gruvbrytning i Sverige av till exempel batterimineral skulle leda till bland annat bättre arbetsförhållanden och minskade utsläpp till luft och vatten jämfört med förhållandena i andra delar av världen. Utfallet av en sådan analys är i hög grad beroende av både vilka avgränsningar som väljs och hur olika miljö- och hållbarhetsaspekter värderas, vilket ligger utanför den här studien. Känt är emellertid att den kraftigt ökade globala användningen av sällsynta jordartsmetaller i bland annat elektronik under de senaste decennierna resulterar i ökade utsläpp av miljöstörande ämnen i alla faser av livscykeln (Balaram, 2019). För att tillgodose råvarubehovet för batterier pågår också en utveckling mot ett ökat omhändertagande och återvinning av batteriers ingående beståndsdelar, som ofta utgörs av sällsynta jordartsmetaller och andra metaller som har en stor miljöbelastning i utvinningsfasen. Samtidigt pågår en stor teknisk utveckling av att ta fram nya material som har en mindre miljöbelastning och sannolikt kommer sällsynta metaller att ersättas med andra mer miljösmarta och socialt hållbara alternativ. Kommande studier bör därför närmare kartlägga återvinningsmöjligheterna för metaller samt möjligheterna för metallutvinning i Sverige. Ahlqvist Hillforth m.fl. (2020) visar till exempel att

metalltillgången generellt kan vara en flaskhals för omställningen till ett fossilfritt samhälle och att Sveriges framtida behov kan utgöra mer än 1 % av världstillgången för flera av metallerna vilket också kan bli problematiskt i framtiden. För att uppnå regeringens mål om ett fossilfritt Sverige måste teknikutvecklingen därmed gå mot lägre metallintensitet, både inom elproduktion och för olika energilager. Detta kan få positiva miljöeffekter för både elnät och de energilager som studeras i denna rapport.

Vätgaslagars miljöpåverkan beror till stor del på hur vätgasen produceras, det vill säga om elmixen som används vid själva power-to-gas processen är fossil eller förnybar. I Sverige kommer denna miljöpåverkan vara liten då syftet med vätgasproduktion för lagring skulle vara att producera bränsle från överskottsel från förnybar produktion, vilket är gynnsamt jämfört med alternativet för bland annat *Begränsad klimatpåverkan* och *Frisk luft*. Även ingående beståndsdelar i bränslecellen avgör vätgaslagringens miljöpåverkan. I bränslecellen ingår ofta sällsynta metaller som kan ha en betydande miljöpåverkan vid utvinning och produktion. För andra energilager som kan få en viss betydelse för Sveriges framtida energisystem, som till exempel termisk lagring i fjärrvärmenät, lagring av komprimerad tryckluft och pumpvattenkraft, är miljöpåverkan ännu inte studerad på någon detaljerad skala. Generellt är miljöpåverkan i utvinnings- och tillverkningsfasen mindre för dessa energilager då befintlig infrastruktur till viss del kan användas. Lokal miljöpåverkan till följd av påverkan på närliggande naturmiljöer vid anläggning och drift kan dock vara stor.

Elnätets sammankoppling med omgivande länder, och en därmed större geografisk sammanlagring av elsystem, vidgar möjligheterna att använda flexibilitetsresurser i andra länder. Den totala miljöpåverkan ur detta perspektiv ännu inte kvantifierad i någon detaljerad skala och en sådan analys vore därför önskvärd (IVA, 2019). För att få en mer heltäckande analys av den totala miljöpåverkan vid investeringar i transmissionsnätet behöver även en analys genomföras över den förändrade miljöpåverkan som härrör från förändrade elförluster och förändrad produktionsmix som kan uppstå till följd av investeringar i transmissionsnätet.

Det finns avvägningar när det är global klimatnytta som uppkommer ur fossilfri elproduktion som ställs mot lokal påverkan av alla platsknutna värden, vilket behöver undersökas närmare i framtida studier. Den här förstudien gör en övergripande kartläggning av miljökonsekvenser från elnät och ett urval av energilager. Framöver behövs det mer systematiserade och detaljerade studier av de olika delarna av livscykeln för att kunna beskriva hela bilden. Den här förstudien behöver därför kompletteras. Slutsatserna som redovisas här ska betraktas som översiktliga och förväntas fördjupas i kommande studier.



6 Referenser

Ahlqvist Hillforth C, Andersson J, Andersson M, Aronsson F, Olofsson L, Stefansson W. 2020. Materialförsörjning för ett fossilfritt Sverige. Examensarbete i miljö- och vattenteknik, Uppsala universitet. Nr. 79.

Andersson E. 2016. Vidareutveckling av metod för bedömning av miljöpåverkan i samhällsekonomiska analyser vid investeringar i det svenska elstamnätet. Examensarbete, Institutionen för energi och teknik, SLU. 2016:01.

Andres, B. 2017. Low-Cost, Environmentally Friendly Electric Double-Layer Capacitors Concept, Materials and Production. Mid Sweden University Doctoral Thesis 267

Andwari AM et al., 2019. A review of Battery Electric Vehicle technology and readiness levels. Renewable and Sustainable Energy Reviews 78, pp. 414-430.

Arvidsson R et al. 2018. Energy use and climate change improvements of Li/S batteries based on life cycle assessment. Journal of Power Sources, 383, pp. 87-92.

Balaram, V. 2019. Rare earth elements: A review of applications, occurrence, exploration, analysis, recycling, and environmental impact, Geoscience Frontiers, Volume 10, Issue 4, 2019, Pages 1285-1303, ISSN 1674-9871, <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2018.12.005>.

Berg, Å, Bergman K-O, Wissman, J, Zhmihorski M, Öckinger, E. 2015. Betydelsen av kraftledningsgator, skogsbilvägar och naturbetesmarker för fjärilar i olika landskapstyper. CBM:s skriftserie nr 97, SLU, ISBN: 978-91-88083-07-4.

Bernhoff H, Bolund B, Leijon M. 2005. Flywheel energy and power storage systems. Uppsala University.

Bhandari R, Trudewind CA, Zapp P. 2014. Life cycle assessment of hydrogen production via electrolysis – a review. J. Clean. Prod., 85, pp. 151-163

Bloomberg, 2021. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-01-08/blast-at-chinese-recycler-shows-battery-supply-chain-risks>

Bouman, EA, Øberg MM, Edgar G, Hertwich EG. 2013. Life Cycle Assessment of Compressed Air Energy Storage (CAES). The 6th International Conference on Life Cycle Management in Gothenburg 2013

Boverket, 2009. Magnetfält och hälsorisker. https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2009/magnetfalt_och_halsorisker.pdf

Dahllöf L, Romare M, Wu A. 2019. Mapping of lithium-ion batteries for vehicles A study of their fate in the Nordic countries. Nordic Council of Ministers. Swedish Environmental Research Institute. C444.

Dai Q et al., 2016. Life Cycle Analysis of Hydrogen Production from Non-Fossil Sources. Argonne National Laboratory. <https://greet.es.anl.gov/publication-h2-nonfoss-2016> Hämtad 2020-12-11



DN, 2020. Grön Vätgas ska rädda klimatet. <https://www.dn.se/sverige/gron-vatgas-ska-radda-klimatet>. Hämtad 2020-12-11

Dunn JB et al. 2015. The significance of Li-ion batteries in electric vehicle life-cycle energy and emissions and recycling's role in its reduction. *Energy Environ. Sci.*, 2015, 8, 158-168.

EEA, 2019. Adaptation challenges and opportunities for the European energy system. No 01/2019.

Ellingsen L, Hung C. 2018. Research for TRAN Committee – Battery-powered electric vehicles: market development and lifecycle emission STUDY Part 2 Resources, energy, and lifecycle greenhouse gas emission aspects of electric vehicles. PE 617.457. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2018/617457/IPOL_STU\(2018\)617457_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2018/617457/IPOL_STU(2018)617457_EN.pdf) Hämtad 2020-12-11

Emilsson E, Dahllöf L 2019. Lithium-Ion Vehicle Battery Production Status 2019 on Energy Use, CO2 Emissions, Use of Metals, Products Environmental Footprint, and Recycling. Swedish Environmental Research Institute. C444.

Energiforsk, 2020. Livscykelanalys av ledningsstolpar. Rapport 2020:693

Energiforsk, 2019. Teknoekonomisk jämförelse av olika tekniker för termiska lager i fjärrvärmenät. Rapport 2019:598.

Energiföretagen och Fossilfritt Sverige, 2020. Färdplan för fossilfri konkurrenskraft – Elbranschen. https://www.energiforetagen.se/globalassets/dokument/fardplaner/ffs_elbranschen_webb-200123.pdf. Hämtad 2021-01-18.

Energimyndigheten, 2019. 100 procent förnybar el Delrapport 2 – Scenarier, vägval och utmaningar. ER 2019:06.

Energimyndigheten, 2018. Vägen till ett 100 procent förnybart elsystem Delrapport 1: Framtidens elsystem och Sveriges förutsättningar. ER 2018:16

Energy, 2019. Hydrogen Production: Natural Gas Reforming. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, Hydrogen and Fuel Cell Technologies Office. <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-natural-gas-reforming#:~:text=Most%20hydrogen%20produced%20today%20in,source%2C%20such%20as%20natural%20gas>. Hämtad 2020-12-10.

Energy, 2020. Hydrogen Production. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, Hydrogen, and Fuel Cell Technologies Office. <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production>. Hämtad 2020-12-10.

Europeiska kommissionen, 2020. Critical Raw Materials Resilience: Charting a Path towards greater Security and Sustainability. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0474&from=EN>) Hämtad 2021-01-17.

Europeiska kommissionen, 2020. Critical raw materials. https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_en Hämtad 2021-02-11.

FCH, 2019. Hydrogen Roamap Europe A sustainable pathway for the European Energy Transition. ISBN: 978-92-9246-331-1.



Fossilfritt Sverige 2020. Färdplan för fossilfri konkurrenskraft. Sammanfattningar 2018-2020. https://fossilfritt Sverige.se/wp-content/uploads/2020/10/ffs_sammanfattning2020.pdf

Isberg, E. 2020. Pumpkraft som energilagringsteknik. Examensarbete inom teknik, grundnivå, 15hp, Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm.

IVA, 2019. Så klarar det svenska energisystemet klimatmålen - En delrapport inom IVA:s projekt Vägval för klimatet. IVA-M 504.

IVA, 2016. Framtidens el – så påverkas klimat och miljö En delrapport. IVA-M 467

IVA, 2015. Energilagring Teknik för lagring av el. IVA-R 482.

IVL, 2018. Miljöpåverkan vid eldistribution i stadsnät – Göteborg Energi Nät AB. IVL Svenska Miljöinstitutet. B2323.

Karlsson E, Dahlqvist E. 2014. Framtidens energilagring en studie av befintliga samt potentiella metoder för lagring av förnybar el på ett hållbart sätt. MJ153x Examensarbete i Energi och miljö, grundnivå, Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm.

Khalinski, A. 2016. Livscykelanalys för olika bryartekniker på mellanspänningsnivå. Examensarbete för civilingenjörsexamen i energiteknik, 30 hp, EN1620. Umeå Universitet.

KVA, Kungliga Vetenskapsakademien 2019. Nobelpriset i Kemi 2019, Populärvetenskaplig information.

Larcher D, Tarascon JM, 2014. Towards greener and more sustainable batteries for electrical energy storage. Nature Chemistry 7, pp. 19-29.

Larsson M-O, Persson M, Romare M, Kloo H, 2020. Hållbar elektromobilitet Vad krävs för att eldrivna vägtransporter ska vara miljömässigt och socialt hållbara. IVL Svenska Miljöinstitutet. C552.

Larsson, F., Andersson, P., Blomqvist, P. et al. 2017. Toxic fluoride gas emissions from lithium-ion battery fires. Sci Rep 7, 10018. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09784-z>

Lindholm E, Malmaeus M. 2020. Kartläggning av koppling mellan miljö kvalitetsmål och tillståndspliktiga verksamheter. IVL Rapport B2397.

Lu X et al., 2020. Reversible ternary nickel-cobalt-iron catalysts for intermittent water electrolysis. EcoMat. 2020;2:e12012 DOI: 10.1002/eom2.12012

Lövebrant K. 2012. Verktyg för värdering av miljöpåverkan vid investeringar i det svenska elstamnätet. Examensarbete Civilingenjörsprogrammet i energisystem. SLU, Institutionen för energi och teknik.

Marmolin A, Nydahl, H. 2015. Smarta elnät med fokus på energilager; en lösning till hållbar tryckluftsförsörjning inom industrin. Examensarbete 30 hp, Civilingenjörsprogrammet Energi- och Miljöteknik, Karlstad universitet.

Naturskyddsföreningen 2019. Fossilfritt, förnybart, flexibelt Framtidens hållbara energisystem. ISBN: 978-91-558-0211-0



Naturvårdsverket, 2020. Miljökonsekvensbeskrivningen. <https://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning/Miljobedomningar/Specifik-miljobedomning/Miljokonsekvensbeskrivningen/>

Naturvetarna, 2019. Salt lagrar sol. <https://www.naturvetarna.se/vi-erbjuder/tidning-och-nyheter/2019/salt-lagrar-sol/>

Naturvårdsverket, 2019. Underlag till regeringens klimatpolitiska handlingsplan. Redovisning av Naturvårdsverkets regeringsuppdrag. Rapport 6879.

NEPP, 2016. Reglering av kraftsystemet med ett stort inslag av variabel produktion. <https://www.nepp.se/etapp1/pdf/reglering.pdf>

NyTeknik 2016. Tryckluftslagring testades för gröna stadsdelen. Ny teknik. <https://www.nyteknik.se/energi/tryckluftslagring-testades-for-grona-stadsdelen-6804700> (Hämtad 2020-12-14)

Näslund J, Bruteig IE. 2011. Möjliga effekter på den marina miljön vid anläggning och drift av sjökabelanläggning i Hardangerfjorden. Aquabiota Notes 2011:2

Ottwall R, Green M. 2020. Kraftledningars påverkan på fåglar – en syntesrapport. Lunds universitet.

Rauch S, Morrison GM. 2008. Environmental Relevance of the PlatinumGroup Elements. Elements 4 (4), 259-263. doi:10.2113/GSELEMENTS.4.4.259

Regeringskansliet, 2020. Uppdrag att utveckla myndighetssamverkan för Sveriges delar av en hållbar europeisk värdekedja för batterier. Diarienummer: I2020/02025/E. Publicerad 18 augusti 2020

Rensfeldt, A. 2017. Pumpvattenkraft och annan storskalig energilagring i Sverige Ekonomiska förutsättningar till år 2030. Examensarbete. Lunds Tekniska Högskola.

RUS 2020. Regional årlig uppföljning 2019. <http://extra.lansstyrelsen.se/rus/Sv/r%C3%A5u/Sidor/default.aspx>

Service RF. 2018 New generation of 'flow batteries' could eventually sustain a grid powered by the sun and wind. <https://www.sciencemag.org/news/2018/10/new-generation-flow-batteries-could-eventually-sustain-grid-powered-sun-and-wind>. Hämtad 2020-12-11.

SOU 2019:30. Moderna tillståndsprocesser för elnät. Betänkande av Nätkoncessionsutredningen Stockholm 2019.

Steen E, Torestan M. 2018. Compressed air energy storage. Process review and case study of small-scale compressed air energy storage aimed at residential buildings. Degree Project in Technology, 15 credits, KTH, Stockholm.

Svenska Kraftnät, 2020. Kraftbalansen på den svenska elmarknaden, rapport 2020. ÄRENDENR: 2020/334

Svenska Kraftnät, 2020. Hansa PowerBridge. Miljökonsekvensbeskrivning.



Svenska Kraftnät 2016. Ny 400kV ledning Örby-Snösätra. Miljökonsekvensbeskrivning.

Svenska Kraftnät 2014. Elnät i fysisk planering. Behandling av ledningar och stationer i fysisk planering och i tillståndsärenden.

Sweco, 2020. Lösningar för ökad flexibilitet i elsystemet – möjligheter och utmaningar. En rapport till Svenskt Näringsliv. https://www.svensktnaringsliv.se/material/rapporter/bu4wru_losningar-for-okad-flexibilitet-i-elsystemetpdf_1005693.html/Lsningar+fr+kad+flexibilitet+i+elsystemet.pdf
Hämtad 2020-12-07

Sweco, 2019. Flexibilitet för ökad kapacitet och effektiv nät drift. En rapport till Forum för smarta elnät. <https://www.energimyndigheten.se/om-oss/organisation/forum-for-smarta-elnat/> Hämtad 2020-12-07

Tjernman L, Westman J. 2018. Mini grids och mekanisk energilagring: En jämförande studie. KTH – Skolan för Industriell Teknik och Management Energiteknik EGI-2018

Vattenfall 2020. Decentraliserade lösningar, Storskalig batterilagring är på gång. <https://group.vattenfall.com/se/var-verksamhet/vagen-mot-ett-fossilfritt-liv/decentraliserade-losningar/batterilagringssystem>. Hämtad 2020-12-11

Vattenfall, 2017. Vattenfall fasar ut kreosotstolpar. <https://group.vattenfall.com/se/nyheter-och-press/nyheter/2017/vattenfall-fasar-ut-kreosotstolpar> Hämtad 2021-01-25.

Vinnova, 2012. Lösningar på lager. Energilagringstekniken och framtidens hållbara energiförsörjning. VINNOVA Analys VA 2012:02

Vätgas, 2020. EU-kommissionen satsar 430 miljarder euro på vätgas. <https://www.vatgas.se/2020/07/08/eu-kommissionen-satsar-430-miljarder-euro-pa-vatgas/>. Hämtad 2020-12-11

Zhang X et al., 2018 Toward sustainable and systematic recycling of spent rechargeable batteries. Chem Soc Rev., 47, pp. 7239-7302.

Zubi et al., 2018. The lithium-ion battery: State of the art and future perspectives. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 89, pp.292-308.



