TRAFIKVERKET

FÖRSTUDIE

Elproduktion i anläggningen, möjligheter och Trafikverkets roll

Trafikverket
Postadress: Trafikverket,
781 89 Borlänge
E-post: trafikverket@trafikverket.se
Telefon: 0771-921 921

Dokumenttitel: Förstudie, Elproduktion i anläggningen, möjligheter och Trafikverkets roll
Författare: Uppdragsledare Lina Wideberg, ÅF Infrastructure AB
Dokumentdatum: 2019-02-22
Ärendenummer: TRV 2018/80266
Version: 1.0
Kontaktperson: Håkan Johansson, Planering, Trafikverket

Publikationsnummer: 2019:071
ISBN 978-91-7725-421-8

TMALL 0004 Rapport generell v 2.0

Förord

Transportsektorn och samhället står för inför en stor utmaning att minska klimatpåverkan och ställa om från fossila till förnybara drivmedel. Förutom att minska energianvändningen behöver också produktionen av hållbara biodrivmedel och el från förnybara energikällor öka. Enligt energiöverenskommelsen från 2016 ska elproduktion 2040 vara 100 procent förnybar.

Trafikverket köper årligen in stora mängder el till både vägar och järnvägar. För järnvägen går stor del av detta till drift av tåg. Längs vägar och järnvägar finns också stora ytor som skulle kunna användas för produktion av förnybar el från solceller. Genom sådan elproduktion skulle Trafikverket kunna minska behovet av inköp av el samtidigt som verket skulle bidra till det nationella målet om 100 procent förnybar elproduktion.

Denna rapport är resultatet av en förstudie som Trafikverket initierade inom ramen forskningsportföljen strategiska initiativ under 2018. Syftet med förstudien är att ge Trafikverket underlag för hur verket ska gå vidare i frågan om storskalig elproduktion i den statliga väg- och järnvägsanläggningen.

Förstudien har genomförts av ÅF Infrastructure med stöd av en referensgrupp med personer från Trafikverkets verksamhetsområden Planering, Juridik och Planprövning, Underhåll, Inköp och logistik, Ekonomi och styrning samt Kommunikation. Dessutom har en representant för Jernhusen ingått i referensgruppen.

Rapporten kommer utgöra ett viktigt underlag för Trafikverkets fortsatta arbete inom området. Samtidigt är det viktigt att påpeka att slutsatserna och förslagen i rapporten är konsultens.

Innehåll

SAMMANFATTNING 6
1. BAKGRUND 7
1.1. Affärsmodeller 8
2. SYFTE 8
2.1. Mål 8
2.2. Frågeställningar 9
3. AVGRÄNSNINGAR 9
4. METOD 11
5. BAKGRUND JURIDISKA HINDER OCH MÖJLIGHETER 12
5.1. Kort introduktion lagar, föreskrifter och regelverk 12
5.2. Utmaningar och möjligheter för elproduktion 15
6. AFFÄRSMODELLER 17
6.1. Om Trafikverkets elhandel idag 17
6.2. Trafikverket äger solcellsanläggningen på egen mark 19
6.3. Trafikverket äger solcellsanläggningen på annan aktörs mark 21
6.4. Trafikverket upplåter mark där annan aktör äger solcellsanläggningen 22
7. INTRODUKTION EKONOMI OCH LÖNSAMHET 22
8. INTRODUKTION TILL TEKNISKA SYSTEM 24
8.1. Tekniska aspekter vid anslutning 27
9. INTRODUKTION BYGGNADSINTEGRERAT MONTAGE 34
10. ANLÄGGNINGSTYPER 37
10.1. Bullerskydd vid järnväg 37
10.1.1. Tekniska och juridiska hinder bullerskydd järnväg 46
10.1.2. Affärsmodeller bullerskydd järnväg 47
10.1.3. Ekonomi och lönsamhet bullerskydd järnväg 48
10.2. Vägar och elvägar - bullerskydd 49
10.2.1. Potential vägar 52
10.2.2. Tekniska och juridiska hinder vägar 54
10.2.3. Affärsmodeller vägar 56
10.2.4. Ekonomi och lönsamhet vägar 57
10.3. Tunnelanläggning 59
10.3.1. Potential tunnelanläggning 59
10.3.2. Tekniska och juridiska hinder tunnelanläggning 60
10.3.3. Affärsmodeller tunnelanläggning 61

10.3.4. Ekonomi och lönsamhet tunnelanläggning ... 61

10.4. Jernhusen stationshus/depåer ... 62
10.4.1. Potential stationshus/depåer i Sverige ... 63
10.4.2. Tekniska och juridiska hinder stationshus/depåer ... 64
10.4.3. Affärsmodeller stationshus/depåer ... 65
10.4.4. Ekonomi och lönsamhet stationshus/depåer ... 66

10.5. Perrongtak ... 68
10.5.1. Potential perrongtak ... 69
10.5.2. Tekniska och juridiska hinder perrongtak ... 70
10.5.3. Affärsmodeller perrongtak ... 71
10.5.4. Ekonomi och lönsamhet perrongtak ... 71

10.6. Parkeringstak vid station ... 72
10.6.1. Potential parkeringstak vid station ... 72
10.6.2. Tekniska och juridiska hinder parkeringstak vid station ... 74
10.6.3. Affärsmodeller parkeringstak vid station ... 74
10.6.4. Ekonomi och lönsamhet parkeringstak vid station ... 75

10.7. Solelparker på restytor ... 76
10.7.1. Potential solelparker ... 77
10.7.2. Tekniska och juridiska hinder solelparker ... 78
10.7.3. Affärsmodeller solelparker ... 79

10.8. Ballastfritt spår ... 79
11. SAMMANFATTNING POTENTIALEN I SVERIGE ... 81
12. INTERNATIONELLA ERFARENHETER ... 83
13. INTERN STYRNING ... 89
14. SAMHÄLLSEKONOMISK KOSTNADSEFFEKTIVITET ... 90
15. DISKUSSION OCH SLUTSATSER ... 94

15.1. Solceller ägande, affärsmodeller och lämpliga anläggningstyper ... 95
15.1.1. Solcellsanläggningar i direkt anslutning till järnvägs- eller väganläggningen ... 96
15.1.2. Solcellsanläggningar i anslutning till järnvägs- eller väganläggningen ... 96

15.2. Slutsatser och rekommendationer ... 97
15.2.1. Vidare utredning ... 99

Sammanfattning

Projekts syfte är att ge ett underlag inför beslut om hur Trafikverket ska gå vidare i fråga om storskalig elproduktion från solceller i deras anläggningar.

Projektet har genomförts av ÅF Infrastructure med stöd av en referensgrupp med personer från Trafikverkets verksamhetsområden Planering, Juridik och Planprövning, Underhåll, Inköp och logistik, Ekonomi och styrning samt Kommunikation. Dessutom har en representant för Jernhusen ingått i referensgruppen.

Projektet har tittat på typer av solcellsanläggningar som skulle kunna vara intressanta för Trafikverket, deras tekniska potential till elproduktion, tekniska och juridiska hinder för installation och drift, lämpliga affärsmodeller, lönsamhet ur företagsekonomiskt och samhällsekonomiskt perspektiv, Trafikverkets roll, internationella erfarenheter samt vidare behov av utredning.

Den tekniska potentialen till produktion längs statliga vägar och järnvägar ligger enligt rapporten på en årlig energiproduktion i solcellsanläggningar på 0,8-1,4 TWh vilket motsvarar 30 till 50 procent av den el som Trafikverket köper in inklusive el till tågdrift.

Det finns dock en begränsning i att Trafikverket per elområde inte får producera mer el än vad de förbrukar. Studeras Trafikverkets elförbrukning ner på timnivå innebär det en begränsning till en produktion på 125 MW installerad effekt vilket innebär en elproduktion på 115 GWh per år motsvarande ca 4 procent av Trafikverkets elanvändning. Investeringskostnaden skulle uppgå till ca 1 000 miljoner sek.

Tas elförbrukningen i beaktning under den tiden på dygnet som solcellerna producerar som mest kan solcellsanläggningar på totalt 250 MW installeras. Detta ger en solelproduktion på ca 230 GWh, ca 8 % av Trafikverkets elanvändning. Investeringskostnaden skulle uppgå till ca 2 000 miljoner sek.

Som exempel på lönsamhet så kan nämnas att rapporten anger en återbetalningstid på solceller integrerade i bullerplank längs järnväg på 14 år utan bidrag. Livslängden på solceller är inte helt känd men det utifrån anläggningar som ännu är i drift så bedöms den vara 30 år eller mer.

Primärt är det mest intressant med solcellsanläggningar där Trafikverket själv har hög egen förbrukning. Då kan Trafikverkets egna nät användas för inmatning. Det innebär att t ex. solcellsanläggningar integrerade i bullerskydd för järnväg har en bra potential även om de stora anläggningarnas placering begränsas av att de bör placeras på platser nära en omformarstation. Jernhusens depåer har också bra potential om kontaktledningen eller närliggande omformarstation matas. Tunnelanläggningar är små men lönsamma anläggningar eftersom energianvändningsprofilen matchas perfekt då belysningen ökar när solen skiner som mest. Solceller kan även integreras i bullerplank längs med vägar men eftersom Trafikverket själv inte har så stor förbrukning måste ett anslutningsavtal tecknas med nätägaren. Alternativt så kan matning ske direkt till laddstationer för elbilar eller elfärjor. I framtiden kan även solcellsanläggningar invid framtida elvägar ha bra potential.

Vilken affärsmodell som är mest lämplig beror på olika faktorer så som placering och närhet till stora laster och skiljer sig beroende på anläggningstyp. Troligen kommer en blandning av olika affärsmodeller vara mest lämplig i framtiden.

1. Bakgrund

Klimatmålen
I Sverige finns det generellt ett behov av att öka andelen förnybar energi som produceras om det ska vara möjligt att nå de nationella och globala klimatmålen. Trafikverket har uppdraget att bidra till de transportpolitiska målen, där klimatmålen också ingår. Trafikverket har stora markytor i sin ägo, vilket potentiellt kan användas för elproduktion från förnybara källor och på så sätt minska Trafikverkets behov av att köpa in el.

I järnvägssystemet finns, förutom mark, också många större byggnader, bland annat stationshus, depåer samt kraftförsörjningsanläggningar. Stationshusen och depåerna ägs och förvaltas som regel av Jernhusen, ett statligt ägt bolag. Dessa byggnader utgör också potential för elproduktion av förnybara källor.

Som en förebild har RWS och ProRail i Nederländerna satt upp målet att vara energineutrala till år 2030. Att vara energineutral innebär att de ska producera lika mycket hållbar el i anläggningen som de själva använder. Detta inkluderar inte el som nyttjas för tågdrift, utan endast den el som används av infrastrukturen. Det här har lett till att RWS och ProRail nu satsat på storskalig solelproduktion och har till exempel utrustat järnvägsstationen i Utrecht med solceller på alla plattformstak.

Figur 1 I Sverige finns stor potential att producera förnyelsebar energi.

Solceller
Då kostnaderna för solceller har minskat konstant det senaste årtiondet finns det nu möjlighet att minska livscykelkostnaderna för järnvägsanläggningarna genom att investera i och installera just solceller. Att satsa på solceller, särskilt sådana som är väl synliga, skulle också kunna bygga på Trafikverkets varumärke som den hållbara infrastrukturhållaren.

Installation av solceller kan motiveras av många anledningar; de har få rörliga delar och därmed lågt eller inget underhåll, de kan ersätta ett annat byggnadsmaterial i exempelvis tak eller bullerskydd och producera el när den behövs som mest i en tunnel på dagtid.

För Trafikverket kan det dels motiveras av att det är ett sätt att lösa elförsörjningen i mindre anläggningar där strömförsörjning via ortsnät är ett problem, dels att det är ett sätt att bättre utnyttja tomma ytor runt omkring Trafikverkets större anläggningar för förnybar elproduktion med tillgång till anslutande elnät och därigenom öka tillgängligheten av förnyelsebar el för övriga konsumenter.

1.1. Affärsmodeller

Då Trafikverket tidigare utrett och utreder potentialen för solceller på mindre anläggningar ska denna studie fokusera på förutsättningarna för större anläggningar. Rapporten redovisar utredning av affärsmässiga förutsättningar, men också tekniska och juridiska förutsättningar.

2. Syfte

Utredningens syfte är att ge ett underlag inför beslut om hur Trafikverket ska gå vidare i fråga om storskalig elproduktion från solceller i deras anläggningar.

I detta ingår att presentera möjliga anläggningstyper, vilken potential de har för elproduktion samt om det finns tekniska och juridiska hinder för deras utförande. Även parametrar såsom affärsmodeller, lönsamhet och samhällsekonomisk kostnadseffektivitet undersöks. Centralt är att komma fram till vilken roll Trafikverket och andra aktörer kan ha. En internationell utblick ingår för att få erfarenheter hur man löst frågorna i andra länder t ex Nederländerna.

2.1. Mål

Målet för utredningen är att studera möjligheter till elproduktion i större skala i väg- och järnvägsanläggningar för att bidra till Sveriges transportpolitiska klimatmål. Målet är också att finna svar på frågan om vilken roll infrastrukturhållaren kan ha i detta.

2.2. Frågeställningar

- Vilka typer av solcellsanläggningar är intressanta för elproduktion i Trafikverkets anläggningar?
    - Hur stor är den tekniska potentialen för elproduktion?
    - Finns det tekniska och juridiska hinder för installation och drift?
    - Hur kan affärsmodellen se ut för installation och drift?
    - Hur ser lönsamheten ut ur ett företagsekonomiskt perspektiv samt för samhällsekonomisk kostnadseffektivitet?
- Vilken roll ska Trafikverket ha?
- Vad finns det för internationella erfarenheter?
- Vad ska vidare utredning fokusera på?

3. Avgränsningar

Utredningen avgränsar sig mot följande:

- Endast storskaliga solcellsanläggningar. Storskaligheten kan uppnås på två olika sätt:
    - Genom en (1) stor solcellsanläggning.
    - Genom flertalet mindre likartade anläggningar vars effekt adderas ihop och skapar storskalighet.
- Tekniska potentialberäkningar utförs på övergripande nivå. Solcellers produktion varierar beroende på var i landet de placeras. Det ryms inte inom ramen för denna utredning att utföra en platsspecifik beräkning. Beräkningarna baseras på medelvärden samt antagna koefficienter för förluster.
- I första hand utreds solcellsanläggningar i närheten av befintliga elnät som kan nyttjas för anslutning. Bland de befintliga elnäten prioriteras att undersöka anslutningar till Trafikverkets egna elkraftsystem för järnvägssystemet, i andra hand för vägnätet. Detta motiveras av att det för järnvägen finns etablerade elkraftsystem samt stora förbrukare, någon som i utredande stund ännu inte är etablerat för vägnätet.
- Off-Grid lösningar ingår ej då detta utretts tidigare.

Begreppsförklaringar

En aktör är en part på elmarknaden som agerar under affärsmässiga former. Marknadens aktörer kan delas upp i:

- elproducenter
- elnätsföretag; Ansluter elanläggningar och överför el. Benämns nätkoncessionshavare i ellagen.
- elanvändare; köpare av el, tex. elhandelsföretag som köper el, elanvändare som köper el av elhandelsföretaget
- elhandelsföretag; företag som köper och säljer el. Benämns elleverantör i ellagen.
- elbörsen- Nord Pool
- systemansvarig; Ansvarig för drift och balanshållning i det nationella systemet, Svenska Kraftnät har denna roll.

Trafikverket är registrerat på Ediel portalen som leverantör av el.

Elområden:

Sedan den 1 november år 2011 delar Svenska Kraftnät in Sverige i fyra elområden. Svenska Kraftnät driver det svenska stamnätet och ser till att det råder balans mellan tillgång och efterfrågan på el. Gränserna mellan elområdena går där elnäten behöver byggas om för att kunna transportera mer el inom Sverige. Elområdena kan ha olika elpriser – områdespriser – vid olika tillfällen. Beslutet om att införa elområden är en lösning i linje med EU:s strävan att skapa en gemensam europeisk elmarknad, som också ska ge ett starkare elnät.

Elpriset styrs av tillgång och efterfrågan på el samt elnätens förmåga att transportera el inom Sverige. Högre elpriser i söder innebär att fler kraftverk kan byggas där, medan lägre elpriser i norr betyder att fler industrier kan byggas där. Dessutom blir det tydligt var Svenska Kraftnät behöver förstärka elnäten.

Effekt:

En solcellspanel definieras av dess märkeffekt (Wp, W-peak) som beräknas under Standard Test Conditions (STC). Effekten mäts i Watt (W). En solcellsanläggnings effekt anges som antal paneler multiplicerat med panelens märkeffekt. Märkeffekt kallas ofta för toppeffekt men detta är något missvisande då en panels effekt kan överstiga märkeffekten. Den momentana effekt en solcellspanel producerar beror på många faktorer varav momentan solinstrålning är den viktigaste.

Systemeffektivitet:

För att kunna jämföra olika system används begreppen Specifik elproduktion vilket även benämns utbyte eller systemeffektivitet. Detta används för att kunna jämföra hur bra olika system är, oberoende av storleken. Specifik elproduktion anges i kWh/kWp, alltså hur mycket energi varje kilowatt installerad effekt systemet producerar.

Figur 2 Karta framtagen av Energiföretagen om produktion, överskott resp underskott på el i Sverige. Källa: Energiföretagen

4. Metod

Arbetet har genomförts genom:

- Översiktlig inventering av järnvägssystemet, dess omgivande ytor och byggnader för att identifiera möjliga anläggningstyper.

- Översiktlig inventering av europavägar i Sverige och dess tunnelanläggningar för att identifiera möjliga anläggningstyper.

- Simulering av solcellsanläggningar.

- Simulering och beräkning av potentiella mängder för identifierade anläggningstyper i Sverige.

- Diskussioner med sakkunniga för att identifiera tekniska och juridiska hinder. På samma sätt har utmaningar och möjligheter för olika typer av affärsmodeller beaktats.

- Lönsamhetskalkyl för att ta fram en ekonomisk potential av identifierade anläggningstyper.

En projektgrupp från ÅF Infrastructure har tillsammans med en referensgrupp från Trafikverket arbetat med uppdraget.

Projektgruppen från ÅF har bestått av:
Elin Elmehag, Camilla Fransson, Bo Juslin, Patrik Lundberg, Anna Olsson, Magnus Sundling, Maria Svanberg, Martina Thalwitzer och uppdragsledare Lina Wideberg.

Referensgruppen från TrV har bestått av:
Olle Bergsten (JPjm), Lars Johansson (ILvte), Mats Olsson, (UHvätb), Maarten Reijm (UHje), Joakim Frank (UHteö), Mats Andersson (IVttn), Torbjörn Bengtsson (Evs) och Lotta Andersson (KMn).

5. Bakgrund juridiska hinder och möjligheter

I denna utredning studeras olika typer av anläggningar som kan vara intressanta för produktion av solel. Vi belyser dessa med flera olika aspekter som potentialen för produktion, kostnader och kostnadseffektivitet, tekniska och juridiska hinder.

I detta kapitel sammanfattas de lagar och förordningar Trafikverket måste förhålla sig till samt hinder och möjligheter som finns för produktion av solenergi.

5.1. Kort introduktion lagar, föreskrifter och regelverk

Trafikverket har till uppgift att anlägga, förvalta och underhålla järnvägs- och väginfrastrukturen. Uppdraget som infrastrukturförvaltare styrs bland annat av järnvägslagen (2004:519), väglagen (1971:948), europaparlamentets och rådets direktiv 2012/34/EU, årliga regleringsbrev och förordningen (2010:185) med instruktion för Trafikverket.

I Trafikverkets uppgifter som järnvägsinfrastrukturförvaltare ingår, enligt järnvägslagen, kraftförsörjning av tåg. Anläggningar för överföring av elkraft för tågdrift är en del av järnvägsinfrastrukturen. Järnvägens kraftförsörjningssystem, inklusive koncessionerade matarledningar utanför trafikområdet, är därför optimerat för tågdrift.

Nedan beskrivs lagar och förordningar som är relevanta för byggnation, drift och underhåll av elkraftanläggningar. Samtliga lagar och förordningar kan läsas i sin helhet på www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/. Källa: Energimarknadsinspektionen (www.ei.se)

Förordning (2010:185) med instruktion för Trafikverket

I förordningen med instruktioner för Trafikverket står beskrivet Trafikverkets ansvar och uppdrag.

Ellagen (1997:857)

Ellagen (1997:857) innehåller föreskrifter om elektriska anläggningar och om handel med el i vissa fall.

I kapitel 2-3 i ellagen finns regler om nätkoncession och nätverksamhet. Utgångspunkten i ellagen är att alla starkströmsledningar kräver nätkoncession, det vill säga tillstånd av Energimarknadsinspektionen som även bevakar nätkoncessionen.

Med en nätkoncession följer ett antal skyldigheter. Som nätföretag ansvarar man för drift och underhåll, och vid behov utbyggnad, av sitt ledningsnät, i tillämpliga fall även för anslutningen till andra ledningsnät. Man ansvarar också för att ledningsnätet är säkert, tillförlitligt och effektivt, och för att det på lång sikt kan uppfylla rimliga krav på överföring av el.

- Avgränsning och åtskild redovisning av nätverksamhet (åtskillnadsplikten)

En juridisk person som bedriver nätverksamhet får inte bedriva produktion av eller handel med el. Nätverksamhet ska ekonomiskt redovisas skilt från annan verksamhet.

- Skyldighet att ansluta en anläggning (anslutningsplikt)

Koncessionären är, om det inte finns särskilda skäl, skyldig att på skäliga villkor ansluta en elektrisk anläggning till ledningen.

- Skyldighet att överföra el (överföringsplikten)

Den som har nätkoncession är skyldig att på skäliga villkor överföra el för annans räkning. Överföring av el för annans räkning ska vara av god kvalitet.

- Fastställande av intäktsram (rapporteringsskyldighet)

En intäktsram ska fastställas i förväg för varje tillsynsperiod. En nätkoncessionshavare ska till nätmyndigheten lämna de uppgifter som behövs för att fastställa en intäktsram.

Förordning (2007:215) om undantag från kravet på nätkoncession enligt ellagen

Vissa elledningar är undantagna från kravet om nätkoncession och får byggas utan tillstånd. Detta kallas för icke koncessionspliktiga nät och förkortas IKN. I 15§ i IKN förordningen behandlas bland annat järnvägsdrift. Ett internt nät inom trafikområdet för järnvägs-, spårvägs-, tunnelbane- eller trådbussdrift och som används för att tillgodose trafikens behov får byggas och användas utan nätkoncession.

Undantagen i IKN-förordningen gäller automatiskt och det spelar ingen roll om det interna nätet har en stor utbredning när det gäller det här undantaget.

Elförordningen (2013:808)

I elförordningen finns kompletterande bestämmelser till ellagen.

Miljöbalken (1998:808)

I miljöbalkens andra till sjätte kapitel finns regler om bland annat prövning och miljökonsekvens-beskrivningar.

Plan- och bygglagen (2010:900)

I plan- och bygglagen anges bestämmelser för planläggning av mark, vatten och byggande. Bestämmelserna syftar till att, med hänsyn till den enskilda människans frihet, främja en samhällsutveckling för jämlika och goda sociala levnadsförhållanden samt en god och långsiktigt hållbar livsmiljö för människorna i dagens samhälle och för framtida generationer.

Lagen reglerar bland annat att det är på kommunal nivå som planläggning av mark, vatten och byggande ska ske.

Lagen om offentlig upphandling (2016:1145)

Lagen om offentlig upphandling reglerar upphandlingar som utförs av en myndighet. Med upphandling menas de åtgärder som vidtas i syfte att anskaffa varor, tjänster eller byggentreprenader genom tilldelning av kontrakt.

Kapitalförsörjningsförordningen (2011:210) 2 kap. 7§

I kapitalförsörjningsförordningen regleras delar av statens likviditetsstyrning. Förordningen fastställer att myndigheterna ska ta upp lån hos Riksgälden till anläggningstillgångar och att rörelsekapital i statens verksamhet finansieras via räntekontokrediter. Även myndigheternas räntekonton och anslagsutbetalningar regleras i förordningen.

Under sjunde paragrafen står det att en myndighet inte utan regeringens medgivande får förvärva aktier eller andelar i ett företag, göra kapitaltillskott eller på annat sätt öka statens röst- eller ägarandel i ett företag. En åtgärd enligt första stycket ska finansieras med anslag.

Föreskrifter och standarder

- Trafikverkets regelverk TDOK - TDOK är Trafikverkets styrande och stödjande dokument.

- Elsäkerhetsföreskrifter - Allt montage av solceller ska ske av företag registrerat för installation av solcellsanläggningar. Företaget som är registrerat måste ha ett egenkontrollprogram som de anställda är utbildade inom.

5.2. Utmaningar och möjligheter för elproduktion

Utifrån de lagar, förordningar och regelverk som beskrivits i kapitel 5.1 finns ett antal utmaningar och möjligheter vad gäller elanläggningars byggnation, drift och underhåll. Den största utmaningen är förmodligen risken att Energimarknadsinspektionen, som är tillsynsmyndigheten för den svenska energimarknaden, bedömer att Trafikverket bedriver nätverksamhet och därmed lyder under åtskillnadsplikten.

Trafikverkets rättigheter och skyldigheter inom elhandel idag

I Trafikverkets uppgifter som järnvägsinfrastrukturförvaltare ingår som nämnts ovan kraftförsörjning av tåg mot en avgift. Även om avgiftens storlek speglar bland annat den faktiska elförbrukningen är det enligt Trafikverket inte fråga om elhandel utan en fråga om att uppfylla EU-rättens krav på rättvist och icke diskriminerande tillträde till infrastrukturen.

I Trafikverkets remissyttrande gällande den nya elmarknadslagen betonar man att järnvägens kraftförsörjningssystem inte är en del av det svenska elnätet på grund av den tekniska konstruktionen och därför inte kan anpassas för att ansluta abonnenter enligt vad som anges i ellagen och i den föreslagna elmarknadslagen.

Trafikverket anser att matarledningarna utgör ett internt överföringssystem av energi för tågdriften och bör därför betraktas som en egen industrialiserad process där ledningar, omformarstationer, transformatorer och fordon samverkar. Kraftförsörjningssystemet kan inte användas för andra ändamål och kompletteras därför med ett hjälpkraftnät för att försörja järnvägsverksamhet som inte är drift av tåg. Detta är då att betrakta som ett internt nät inom trafikområdet för järnvägsdrift och därmed lydande under IKN förordningen.

Om Trafikverket skulle anses bedriva nätverksamhet skulle åtskillnadsplikten medföra att Trafikverket måste bilda ett separat bolag för att kunna producera eller sälja el. Det är fullt möjligt att göra men kräver regeringens medgivande.

Bygglov för solenergianläggningar

Enligt plan och bygglagen krävs det generellt inte bygglov från kommunen om lutningen på solcellerna följer takets befintliga lutning. Denna rapport undersöker dock storskaliga lösningar på solcellsanläggningar och därför bör kommunen alltid konsulteras i fråga om bygglov för installation av solceller.

Upphandling av solenergianläggningar

Då lagen om offentlig upphandling gäller för Trafikverket är det av stor vikt att de affärsmodeller man väljer för byggnation, installation och drift är öppna för hela marknaden. LOU påverkar alltså val av affärsmodell för anläggningarna.

Påverkan på och av föreskrifter och standarder

Trafikverkets regelverk för t.ex. elkraftanläggningar och kontaktledningar är framtaget med hänsyn till att Trafikverket köper in all efterfrågad el och alltså inte för att konstruera anläggningar som ska ta hand om egenproducerad el eller försäljning av el till extern part. Särskilt kan nämnas TDOK 2010:372 ”Trafikverkets strategi för tjänsteutbud, kapacitetstilldelning och prissättning” som beskriver Trafikverkets ansvar som infrastrukturförvaltare, väghållare och myndighet. Denna beskriver bl.a. att Trafikverket inte ska erbjuda tjänster som bör kunna erbjudas av andra aktörer, om det inte är särskilt beslutat att Trafikverket ska erbjuda tjänsten.

Detta innebär troligtvis inte något hinder i sig, däremot behöver regelverket för t.ex. elkraftanläggningar och kontaktledningar ses över och anpassas till att större solcellsanläggningar ska kunna anslutas i Trafikverkets anläggningar, om Trafikverket beslutar att detta ska tillhöra byggstandard för regelverket i framtiden.

Figur 3 Markanläggningar blir allt vanligare i Sverige.

6. Affärsmodeller

I det föregående kapitlet beskrivs de juridiska utmaningar och möjligheter som finns vad gäller produktion av solenergi för Trafikverket. Med detta som grund har i detta kapitel förslag till affärsmodeller för produktion av solenergi tagits fram. Utgångspunkt i arbetet är utifrån ägandet av mark för solcellsanläggningen och ägandet av själva anläggningen och presenteras med tre huvudinriktningar som beskrivs nedan.

- Trafikverket äger solcellsanläggningen på egen mark
- Trafikverket äger solcellsanläggningen på annan aktörs mark
- Trafikverket upplåter mark där annan aktör äger solcellsanläggningen

För vissa applikationer är ingen utav dessa tre affärsmodellen tillämpliga och det har för dessa presenterats en alternativ affärsmodell. Det gäller tex möjligheter att Jernhusen äger solcellsanläggningen på sin egen mark eller fastighet för eget bruk eller att ett energibolag äger solcellsanläggningen på mark som ägs antingen av kommunen eller annan aktör som inte är Trafikverket, gäller tex. parkeringar vid stationshus.

6.1. Om Trafikverkets elhandel idag

Trafikverket handlar idag el på den nordiska elbörsen med hjälp av en portföljförvaltare och elen köps in till spotpris timme för timme. Elen handlas upp till fyra geografiska elområden. Förutom detta köper Trafikverket även finansiella prissäkringskontrakt för att låsa priset och dämpa prisvariationerna över åren och även under innevarande år. Dessa prissäkringar tecknas upp till fem år i förväg och Trafikverket köper då cirka 20 procent av sin årsförbrukning från år ett till fyra framåt i tiden.

Elenergi som Trafikverket levererar till järnvägskunder, och som används för tågdrift, produceras uteslutande av vattenkraft i enlighet med Järnvägsnätsbeskrivningen. Sedan 2018 upphandlas speciella ursprungsgarantier (GoO, Guarantees of Origin) som avser ursprungsmärkning av el producerad av vattenkraft för all elenergi som Trafikverket upphandlar.

Trafikverket debiterar, i enlighet med Järnvägsnätsbeskrivningen, drivmotorström per timme och elområde för de fordon som har Trafikverkets elmätare. Övriga fordon får ett medelpris som beräknas enligt en fastställd schablon där avgiften för drivmotorströmmen är baserad på självkostnadsprincipen utifrån den faktiska kostnaden att tillhandahålla tjänsten.

När det gäller produktionen av solenergi är det viktigt att Trafikverket inte blir nettoproducent sett per prisområde. De riskerar då att behöva hantera åtskillnadsplikten. Trafikverket äger de koncessionerade matarledningar som försörjer järnvägen med el och som beskrivits i kapitel 5. Trafikverkets tolkning av frågan är att de inte bedriver nätverksamhet. Detta är under utredning och om Trafikverket bedöms bedriva

nätverksamhet så kan verket inte i samma juridiska person producera och sälja el. Endera verksamheten måste i så fall ske inom ramen för en annan juridisk person enligt kapitalförsörjningsförordningen.

All järnvägsverksamhet är skattebefriad.

Trafikverkets årliga inköpsvolym för el uppgår till ca 2 750 GWh, varav 2 250 GWh för tågdrift (drivmotorström) och 500 GWh för Trafikverkets egna anläggningar.

Förbrukningen är fördelad på de olika elområdena enligt tabell nedan:

Elområde	Elförbrukning [GWh/år]	Min-effekt [MW]	Max-effekt [MW]
SE1	245	10	50
SE2	322	10	70
SE3	1714	60	350
SE4	489	20	90
Summa:	2770	100	560

Tabell 1 Elförbrukning fördelad på olika elområden i Sverige 201171201-20181130

Trafikverkets baseffekt [MWh/h] i hela Sverige varierar mellan 100 och 560 MW men absolut störst förbrukning och baseffekt har elområde SE3 som inkluderar Stockholm och Göteborg.

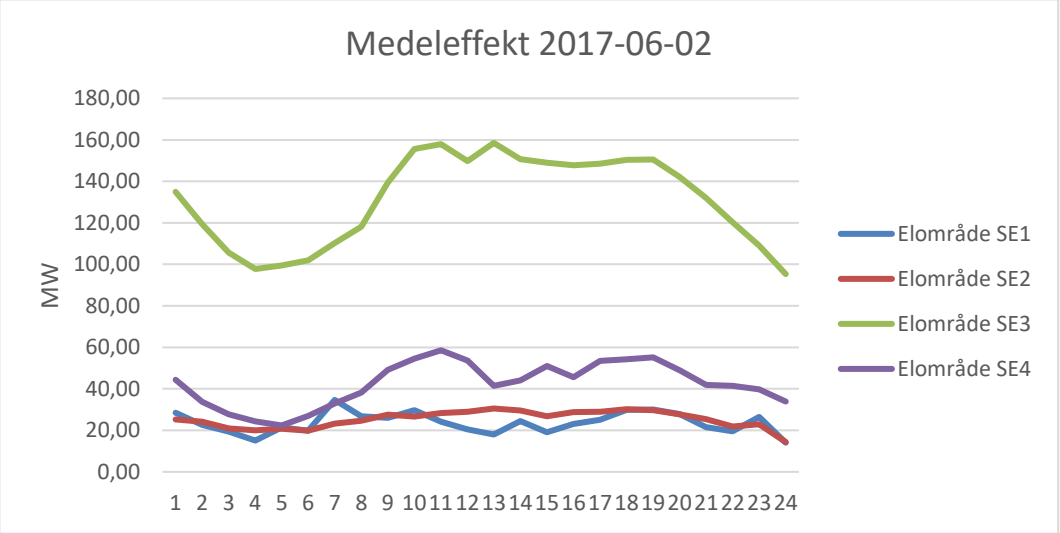
Förbrukningen är relativt jämn över året men något lägre under sommarhalvåret. SE1 har den lägsta förbrukningen och även den lägsta effekten, som varierar mellan 10–50 MW. Förbrukningen är jämn över året och veckorna. SE2 har något högre förbrukning och lite större effektspann jämfört med SE1, den varierar mellan 10–70 MW. Variationerna är större och det skiljer mer från dag till dag. Det är även markant lägre på sommarhalvåret. SE3 är det område med absolut största förbrukningen, 4 till 7 gånger så stort som de andra och står för drygt 60 % av Trafikverkets totala elanvändning. Effekten varierar mellan 60 och 350 MW. Förbrukningen är något lägre på sommarhalvåret och förbrukningsprofilen visar tydligt att förbrukningen är lägre på helger, troligen på grund av pendlartrafiken. SE4 har en effekt som varierar mellan 20 och 90 MW och förbrukningen är väldigt jämn över året och har dippar över helgerna men inte lika tydligt som i SE3.

Solcellsanläggningar producerar som mest mitt på dagen men når sällan upp till den installerade effekten [kWp] där bokstaven p betecknar toppeffekt. Generellt dimensioneras

därför växelriktarnas AC-effekt (i Sverige) till runt 80 % av solcellernas DC-effekt för att optimeras mot solelproduktionen. Det innebär att solcellernas DC effekt kan vara 125 MWp medan växelriktarnas AC- effekt är 100 MW och således kan solcellsanläggningarna aldrig mata ut mer än 100 MW trots att den installerade effekten är högre.

Studeras Trafikverkets elförbrukning mer detaljerat syns att de lägsta effekterna uppstår på nätterna dvs. inte när solcellerna producerar el. Undersöks Trafikverkets elförbrukning mellan kl 11-14 då solcellsanläggningarna producerar som mest kan ses att den lägsta förbrukningen är 200 MW samt med väldigt få värden mellan 200 MW och 250 MW. Utifrån ovanstående resonemang är det rimligt att installera solcellsanläggningar med en sammanlagd AC-effekt på 200 MW och DC-effekt på 250 MWp utan större risk för överproduktion inom ett elområde.

Ifall det skulle vara strikt krav på att ingen risk för överproduktion får inträffa under någon tidpunkt måste mätningen göras mer exakt dvs ner på sekundnivå för att få med snabba variationer och då skulle en betydligt mindre total potential kunna installeras. Troligen i storleksordningen 125 MWp DC-effekt



Figur 4 Timvärden elanvändning olika elområden

6.2. Trafikverket äger solcellsanläggningen på egen mark

I järnvägssystemet finns, förutom mark, också många större byggnader som utgör en potential för elproduktion av förnybara källor. Att integrera solceller i byggnader, järnvägsanläggningen eller att inom Trafikverkets egna fastigheter anlägga solcellsanläggningar är därför ett bra alternativ. Solcellsanläggningen ägs av Trafikverket som även äger den mark/fastighet som anläggningen står på.

Att koppla solceller till Trafikverkets egna anläggning bör inte innebära några juridiska hinder för själva anläggandet utan det kommer mer att handla om elsäkerhet och teknik. Att

ansluta solcellsanläggningen direkt mot omformar- och fördelningsstationer bedöms vara ett fördelaktigt alternativ då dessa har hög förbrukning.

Trafikverket får dra anslutningskablar som de vill på sin egen mark. Det vore bra om möjlighet finns att ansluta solcellsproduktionen till kraftleverantörens nät istället för till omformarstationen i de fall där det är det bästa alternativet.

I det fall det finns motsägelser i Trafikverkets regelverk för möjligheten att ansluta solceller till omformarstationen, bör detta utredas vidare. Det är mycket möjligt att det går, men det är inte tidigare utrett samtidigt som regelverket inte är utformat med detta i åtanke.

Tågoperatörerna påverkas inte om elen levereras som "vanligt" eller som solel. En större utmaning finns troligtvis i anslutningsavtalen mellan kraftleverantör och Trafikverket. Detta kan påverka val av affärsmodell. I anslutningsavtalen är bland annat elkvaliteten reglerad, vilken måste tas hänsyn till vid projektering av solcellsanläggningen. Hänsyn måste också tas till möjligheterna för nätägaren att ta emot överskottseffekt och var detta är möjligt att göra.

Nedan beskrivs tre möjliga affärsmodeller där Trafikverket är ägare av anläggningarna.

Trafikverket producerar el för i huvudsak egen användning

I denna modell matar solcellsanläggningen ut el till Trafikverkets egen anläggning. Någon ändring i Trafikverkets instruktion behövs inte, eftersom elproduktionen är en del av driften av vägen/järnvägen. Inte heller bör åtskillnadsplikten aktualiseras.

Trafikverket kan ur ett juridiskt perspektiv låta återmata den el som genereras i järnvägssystemet till en kraftleverantör. När Trafikverket ansluter sig mot en kraftleverantörs nät tas det fram ett anslutningsavtal. I anslutningsavtalet är idag (i de flesta fall) endast en uttagstariff inkluderat eftersom inga större mängder el matas tillbaka från Trafikverket till kraftleverantören. Idag är det endast aktuellt då tåg genererar el vid bromsning, vilket inte leder till några större energimängder.

Vi ser inte några problem med den direkta avsättningen för den el som produceras vid storskalig produktion. Det krävs stora solcellsanläggningar för att Trafikverket skulle bli nettoproducent momentant och alltså behöva sälja el, särskilt för elområde 3 (SE3). För de övriga tre elområdena gäller det att göra en utredning kring matchningen av baslasten för ett visst elområde i förhållande till installerad effekt för den planerade solcellsanläggningen så att produktionen av el för Trafikverket per elområde alltid kommer att understiga användningen av el. Någon överskottsproduktion blir alltså under dessa förutsättningar inte aktuellt eftersom det ingår i Trafikverkets instruktion att tillhandahålla el till lokens framdrift. Överskottsproduktion av el definieras i detta sammanhang som överskott av producerad solel inom hela elområdet som solelen har producerats i. Detta innebär att den totala potentialen för utbyggnad av solcellsanläggningar inom denna affärsmodell begränsas av baslasten för elområdet och att de flesta solcellsanläggningar med denna affärsmodell bör planeras inom SE3.

Elen som tidvis behöver matas ut på angränsande nätet om solcellsanläggningens momentana effekt tillfälligt överstiger den momentana lasten i uttagspunkten kan kvittas mot den köpta elen under samma timme i samma elområde. Detta under förutsättning att

Trafikverket redovisar i förväg hur mycket el de förväntas använda respektive producera under de kommande timmarna. Detta går att förutse med hjälp av beräkningar kopplade till väderprognoser för aktuell plats. Då elen som matas ut på nätet kvittas mot köpt el räknas elen inte juridiskt som överskottsproduktion eftersom den aldrig säljs. Rent tekniskt blir det dock en överskottsproduktion som måste kunna tas omhand av nätägaren i anslutningspunkten.

Trafikverket producerar el i stor skala för försäljning

Till att börja med behöver frågan om Trafikverket bör bedriva sådan verksamhet utredas. Det behövs i så fall en ändring i Trafikverkets instruktion. Vidare behöver åtskillnadsplikten (5.1.8) hanteras.

Trafikverket äger koncessionerade matarledningar som försörjer järnvägen med el. Trafikverket har i andra sammanhang gjort gällande att detta inte utgör nätverksamhet, men med hänsyn till ellagens definition kan den bedömningen ifrågasättas.

Om Trafikverket bedriver nätverksamhet så kan verket inte i samma juridiska person producera eller sälja el. Endera verksamheten måste i så fall ske inom ramen för en annan juridisk person, som Trafikverket i och för sig kan äga. För det krävs regeringens medgivande.

Trafikverket säljer el via ett eget bolag

I denna rapport ifrågasätts om det är ett rimligt scenario att Trafikverket äger ett eget bolag för att kunna sälja överskottsel i stor skala och eventuellt göra vinst. Det är fullt möjligt att göra men kräver regeringens medgivande. För att bedriva elbörsverksamhet inom Europeiska unionen krävs ett tillstånd enligt "Kommissionsförordningen om fastställande av riktlinjer för kapacitetstilldelning av hantering av överbelastning". Kriterierna för detta beskrivs i nämnda förordning.

6.3. Trafikverket äger solcellsanläggningen på annan aktörs mark

I järnvägssystemet finns, förutom mark, också många större byggnader, bland annat stationshus, depåer och kraftförsörjningsanläggningar. Stationshusen och depåerna ägs och förvaltas som regel av Jernhusen, ett statligt ägt bolag.

Även kommuner och privata ägare av fastigheter med närliggande mark kan bli aktuella för potentiell placering av Trafikverkets solcellsanläggningar. Framför allt gäller detta längs med vägnätet där Trafikverket har vägrätt på närliggande mark och alltså inte äger marken.

Trafikverket måste upprätta markupplåtningsavtal med de aktuella fastighetsägarna men ur ett elmarknadsperspektiv skiljer sig detta inte från alternativen där Trafikverket äger marken, så länge de håller sig inom trafikområdet för järnvägsdrift respektive området för vägen. Men om solcellsanläggningen placeras utanför dessa områden kommer det att krävas nätkoncession för den elledning som överför elen till Trafikverkets nät.

6.4. Trafikverket upplåter mark där annan aktör äger solcellsanläggningen

I detta alternativ upplåter Trafikverket mark eller fastigheter till en annan aktör som anlägger och ansvarar för drift och underhåll av solcellsanläggningen. I detta fall blir det en ren markupplåtelse, genom avtal.

Frågan är om det är säkerhetsmässigt lämpligt med ett upplägg där en extern part agerar i järnvägssystemet på detta sätt med eventuell påverkan på trafiken med underhåll längs med järnvägen. Allt ansvar måste utredas och det måste säkerställas att trafik, elsäkerhetsrisker och underhåll kan hanteras på ett tillförlitligt sätt. Vidare behövs tillstånd enligt väglagen i förekommande fall.

Den producerade elen kan antingen säljas av aktören externt eller handlas upp i en funktionsupphandling av Trafikverket.

Aktören säljer el externt

Ett rent affärsmässigt upplägg där ägaren av solcellsanläggningen ansvarar för anläggningen i alla steg vilket även innebär anslutning till externt elnät. Kravet på nätkoncession kan bli ett hinder för den externa parten men det hanteras av den i sådant fall.

Funktionsupphandling

En extern aktör äger anläggningen och Trafikverket köper ”tjänsten solel”. Upplägget innebär att Trafikverket genom avtal förbinder sig/garanteras att köpa en bestämd volym el till ett visst pris per kWh. Detta upplägg är svårt att få ekonomiskt lönsamt då volymerna per anläggning blir små relativt den stora elupphandling med prissäkrade volymer som Trafikverket idag gör för hela landet.

Priset för den köpta solelen blir troligen, sett över en längre tidsperiod, högre än vad Trafikverket kan köpa el för på elbörsen eftersom det i en sådan här affärsmodell finns investerare som vill ha avkastning på sin investering. Det kommer därför alltid vara mer lönsamt att äga sin anläggning själv och ta del av avkastningen på investeringen.

7. Introduktion ekonomi och lönsamhet

Trafikverket köper årligen ca 2750 GWh el dels för spotpris timme för timme, dels som prissäkringskontrakt som köps in flera år i förväg. Priset för köpt el har hämtats från Trafikverkets hemsida för oktober och var då ca 0,49 kr/kWh inkl. elcertifikat och rörlig del för elnät. Detta pris kommer att användas i kalkylerna i denna rapport. I de fall där Trafikverket producerar el och inte själv har någon användning för elen på aktuell plats kommer priset utan den rörliga delen för elnät användas i kalkylerna.

All köpt el är energiskattefri förutom den del som inte går till järnväg eller framdrift. Utav 2750 GWh el så är det ca 150 GWh el som är belagd med energiskatt. De behöver inte handla med moms. För den del som är belagd med energiskatt tillkommer en kostnad på 0,35

kr/kWh och detta kommer inkluderas i kalkylerna för den elen. Det gäller el till vägdrift, lokaler och plattformsbelysning.

Investeringsstöd

Det finns ett statligt stöd för installation av solceller. Det ekonomiska stödet gäller alla typer av aktörer, såväl företag och offentliga organisationer som privatpersoner.

Maxbeloppet var 2018 30 % av investeringskostnaden (beräknas minska till 15% 2019) och maximalt 1,2 miljoner kronor per solcellssystem. De stödberättigade solcellskostnaderna får uppgå 37 000kr + moms/installerad kWp (toppeffekt).

Stödet får sökas en gång per fastighet. Då Trafikverkets planer ligger längre fram i tiden och nuvarande stöd finns beslutat om till 2020 så har inget stöd inkluderats i beräkningarna.

Elcertifikat

Elcertifikat kan fås för produktion av förnyelsebar energi under 15 år. Priset för elcertifikat är i denna förstudie satt till 150 kr per elcertifikat vilket motsvarar värdet 0,15 kr/kWh i intäkt utöver besparingen för den el som inte behöver köpas in. Värdet på framtida elcertifikat är oviss, de har historiskt varit uppe på som högst 280 kr. Under 2018 har priset för elcertifikat ökat, månadssnittet för 2018 är fram till 1 november 2018 ca 153 kr. Det uppstår en administrativ kostnad för hantering av elcertifikat på ca 2 000 kr per år per anläggning.

Kvotplikt innebär att en andel av elcertifikaten måste annulleras för större producenter. Kvoten ligger runt 30 % vilket innebär att 70 % av elcertifikaten kan säljas och ersättningen blir då ca 0,1 kr/kWh i intäkt.

Det totala värdet på egenproducerad solel blir då värdet på besparingen plus värdet på sålda elcertifikat; 0,49+0,1=0,59 kr/kWh eller 0,49+0,1+ 0,35=0,94 kr/kWh

Energiskatt för solcellsanläggningar

För solcellsanläggningar över 255 kWp per anslutningspunkt måste energiskatt betalas för den andel el som används i det egna elnätet. Då Trafikverket är undantagna energiskatt på köpt el bör det utredas eller prövas vad som gäller i detta specifika fall. Det finns dock en möjlighet att solel blir helt energiskattebefriad i framtiden.

Trafikverkets anläggningar som används för järnvägens framdrift är energiskattebefriade. I detta inkluderas drivmotorström, signaler, värme till växlar, bangårdsbelysning, teknikhus, växlar m.m. Den förbrukning som Trafikverket betalar energiskatt för är det som går till vägdrift, lokaler och plattformsbelysning vilket motsvarar 5 % av Trafikverkets elförbrukning. Eftersom det är en mycket liten andel av Trafikverkets anläggningar kring järnväg som inte används till järnvägens framdrift så görs antagandet att all el till järnväg är energiskattebefriad. Elanläggningar vid vägnätet är dock belastade med energiskatt.

8. Introduktion till tekniska system

Järnvägens elkraftsystem

Elkraftsystemet för den svenska järnvägen består övergripande av två delsystem, ett banmatningssystem för kraftförsörjning av tågdriften och ett hjälpkraftsystem för kraftförsörjning av anläggningar längs banan så som signalsystem, växlar, belysning, lok och tågvärme osv.

Inom banmatningssystemet är huvudkomponenterna:

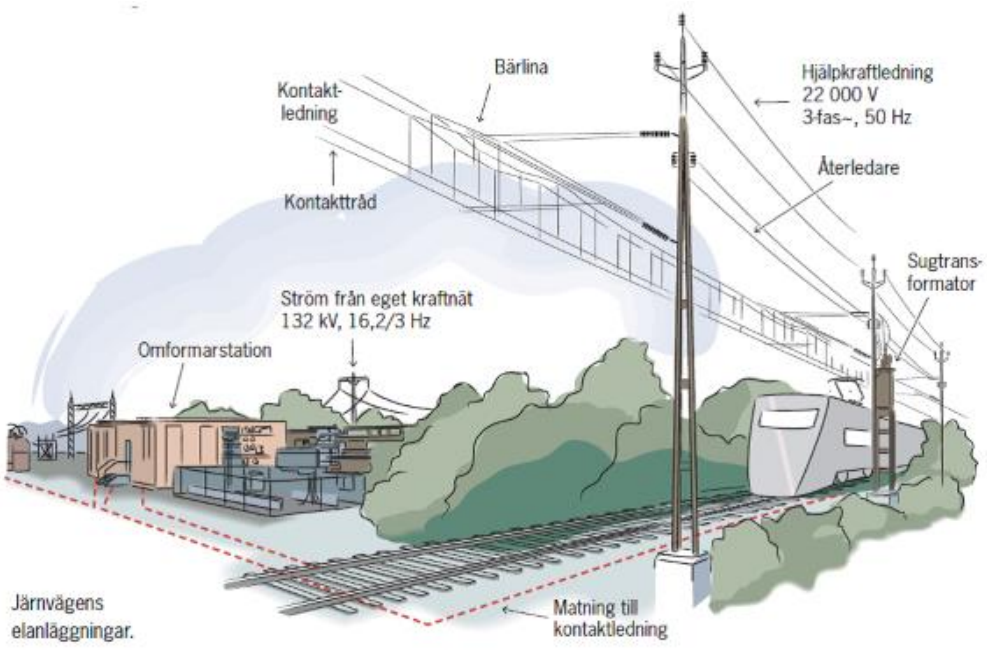
- **Omformarstationer** med omformare och tillhörande utrustning för omvandling av elkraften från kraftleverantörens nät till rätt frekvens och spänning.

- **Överföringssystemet** för överföring av elkraft till tågen, bestående av kontaktledningsanläggningen, matarledningar, transformatorer och ställverk. Systemet kallas även kontaktledningssystemet.

Hjälpkraftsystemets huvudkomponenter är hjälpkraftledningen med tillhörande fördelningsstationer, transformatorer och ställverk. Som komplement till hjälpkraftledningen används även ortsnät (lågspänning) och batterisystem för avbrottsfri kraft.

Kontaktledningssystemet använder systemfrekvensen 16,7 Hz och nominell spänning 16,5 kV och är ett enfasigt system, AT-systemet är tvåfasigt med en systemspänning på 30 kV (beskrivs i avsnitt nedan). Hjälpkraftsystemet använder systemfrekvens 50 Hz och nominell spänning 10 eller 20 kV och är ett trefasigt system.

Nedan beskrivs några av de ingående komponenterna mer detaljerat och slutligen följer ett resonemang kring anslutning av ett solcellssystem.



Figur 5 Järnvägens elkraftsystem av typ BT -system. Källa: Trafikverket

Överföringssystem

Rälsen har ett visst elektriskt motstånd mot marken vilket kan resultera i att returströmmar tar olika vägar genom marken, detta kallas vagabonderande strömmar och kan motverkas genom två alternativ.

Det finns två möjliga alternativ vid val av överföringssystem; Sugtransformatorer (Booster Transformer eller BT-system) eller autotransformatorer (Auto Transformer eller AT-system). Dessa system är anpassade för kraftförsörjning av tågdrift och är uppbyggda för att förhindra att störströmmar går genom marken till närliggande bebyggelse eller andra utsatta delar.
Både BT- och AT-systemet är representerade i Trafikverkets anläggningar samt andra europeiska länder såsom Tyskland, Österrike och Norge.

Nedan beskrivs de båda systemen översiktligt samt deras för- och nackdelar.

Sugtransformatorsystem (BT-system)

Sugtransformatorsystemet utvecklades i början av 1900-talet och består av transformator med omsättningen 1:1 som är ansluten mellan kontaktledningen och återledaren. På det här sättet tvingas en lika stor ström tillbaka till återledaren som i kontaktledningen, vilket minimerar riskerna för vagabonderade strömmar.

Autotransformatorsystem (AT-system)

Autotransformatorsystemet är ett nyare system som infördes i Sverige i slutet på 1990 talet. Istället för sugtransformatorer används istället sparkopplande transformatorer med två faser som är motriktade varandra, för att tvinga tillbaka en lika stor ström i återledaren som i kontaktledningen. På det här sättet blir spänningen mellan kontaktledning och återledning dubbelt så stor (30 kV), vilket sänker impedansen i systemet.

Jämförelse mellan AT- och BT-system

Ett AT-system ger mindre spänningsfall, högre effektkapacitet och möjlighet till längre avstånd mellan inmatningspunkterna jämfört med ett BT-system. Impedansen i ett AT-system är 4–7 gånger lägre än ett BT-system, vilket ger en väsentlig skillnad i möjlig överförbar effekt. Den lägre siffran (4) är i jämförelse med ett BT-system med den bästa prestandan, medans den högre siffran (7) gäller för det sämsta alternativet.

AT-systemet är det primära systemet som används i Sverige och i övriga europeiska länder vid elektrifiering av befintliga och nya banor. Trafikverket har sedan år 2009 beslutat att framtida banmatningssystem (T ex Botniabanan, Ådalsbanan, Malmbanan, Blekinge kustbanan osv.) i första hand ska byggas med AT-system samt att i vissa områden uppgradera befintliga BT-system till AT-system. Även Bane Nor i Norge har under senare år infört motsvarande strategiinriktning.

Frekvensomvandling

Det allmänna stamnätet använder frekvensen 50 Hz, och eftersom frekvensen på kontaktledningssystemet är 16,7 Hz behövs en frekvensomvandling för en anslutning mot det allmänna nätet.

Frekvensomvandlingen sker i så kallade omformarstationer, dessa är ca 50 till antalet i Sverige. Utformningen av omformarstationer kan se olika ut och ett resonemang kring detta förs i detta avsnitt.

Omformarstationer

I stationerna finns det huvudsakligen två typer av omformare som delas in som roterande omformare och statiska omriktare. De roterande omformarna består av en motor på primärsidan och en generator på sekundärsidan medan de statiska omriktarna byggs upp av styrbar kraftelektronik.

Roterande omformare samt en del statiska omriktare kan skicka effekt i båda riktningar, alltså även regenererad effekt från tågen till regionnätet. Distansen mellan omformarstationer kan variera mellan allt från 40 till 160 km, detta beror på hur belastningen är på sträckan samt om det finns 132 kV matarledning med transformatorstationer eller inte.

När ett tåg befinner sig mellan två omformarstationer är det optimalt ifall de två stationerna delar på lasten proportionellt mot avståndet till respektive omformarstation. I detta fall minimeras överföringsförlusterna. Eftersom omformarstationerna i Sverige är av olika typ med olika storlekar på effektinmatning finns det svagare och starkare omformarstationer, och lastdelningen går inte alltid till på detta optimala sätt. Det kan också vara så att det inte bara är de närmsta två omformarstationerna som delar på lasten utan fler närliggande omformarstationer hjälper till.

Hjälpkraft för övrig infrastruktur

Utöver kraftförsörjningen till tågdriften finns andra delar i infrastrukturen som behöver kraftförsörjning. Exempelvis värme till växlar, belysning, signalsystem osv, vilket kan realiseras på olika sätt.

I Sverige nyttjas i huvudsak ett separat högspänningsnät (10–20 kV, 50 Hz) som placeras i samma stolpe som kontaktledningen. Som redundans till detta hjälpkraftnät används vanligtvis ortsnät. För järnvägen i Norge (Bane Nor) används uteslutande ortsnät (lågspänningsanslutningar) tillsammans UPS som reservkraft. Det finns även banor inom Trafikverkets anläggningar som följer det norska byggsättet, t ex delar av Malmbanan (Kiruna – Riksgränsen).

Anslutning av solceller till järnvägen

Att ansluta en solcellsanläggning till järnvägssystemet finns det inga tidigare exempel på varken i Sverige eller i övriga världen. Däremot sker det i allt större skala till det allmänna nätet vilket betyder att kompetens och utrustning utvecklas väldigt snabbt. Även juridiska hinder ses över för uppbyggnad av så kallade mikronät (lokala nät där ett samhälle gemensamt kan producera och konsumera el).

Utredningen utgår från att det för järnvägssystemet finns två sätt att ansluta en solcellsanläggning:

- Centraliserad inmatning via omformar- och fördelningsstationer
- Decentraliserad inmatning via kontaktlednings- och hjälpkraftsystemet

Nedan presenteras dessa alternativ samt ett resonemang om deras för- och nackdelar men först presenteras de tekniska aspekter man måste ha i åtanke vid anslutning av en solcellsanläggning till Trafikverkets kraftmatningssystem.

8.1. Tekniska aspekter vid anslutning

Överföringsförluster

Överföringsförluster beror på hur långt avståndet är från solcellsanläggningen till förbrukaren. Ju längre avståndet är desto högre blir överföringsförlusterna i systemet. Detta

ger en begränsning i hur långt bort från anslutningspunkten som solcellsanläggningen kan placeras, men också på hur långt bort ett elförbrukande tåg är när solelen produceras. För att optimera detta kan lagringsenheter, vanligtvis i form av batterier (men finns även i andra former såsom vätgas), användas.

Spänningshållning

Trafikverkets kontaktledningsnät har en nominell spänning om 16,5 kV och hjälpkraftnätet 11 eller 22 kV Spänningsnivån sjunker om effektöverföringen, alltså strömstyrkan, ökar och vice versa. Det betyder att i praktiken går spänningsnivån upp och ner i nätet beroende på tågtrafiken i närheten. Detta skapar inga problem så länge spänningsnivån håller sig inom ca ± 10–15 % av den nominella spänningen, över- eller understiger spänningen dessa givna värden stryps strömtillförseln till tågen och de kan inte längre hålla samma hastighet vilket kan leda till förseningar. Inmatning av solel till Trafikverkets elnät ökar potentiellt effektöverföringen i nätet och kan påverka spänningshållningen.

Skydd

Kraftmatningssystemet är uppbyggt med ett system som ska skydda apparater och människor om det skulle uppstå ett fel, ett så kallat skyddssystem. Ett exempel på fel är kortslutning då en stor ström, så kallad felström, flödar från inmatningspunkten till felpunkten. Vanligtvis upptäcks detta av skyddssystemet vilket då arbetar för att isolera sektionen av banan där felet uppstått. Skydden som används är dimensionerade för att hantera en maximal felström och om strömmen överstiger detta värde kommer inte skyddssystemet att fungera som det ska. Inmatning av solel i Trafikverkets elnät kommer potentiellt ändra strömstyrka och strömriktning i kraftmatningssystemet vilket kan påverka skyddssystemet. Detta kan vara hanterbart genom att byta komponenter (bl.a. mättransformatorer), däremot får inte ledningars och ställverks märkström överstigas.

Elkvalitet

En källa för elproduktion kan generera el av olika kvalitet. En god elkvalitet skapar stabilitet i ett elnät. Om en källa för elproduktion genererar el av mindre god kvalitet kan detta ge upphov till oönskade fenomen i systemet. Exempel på detta är flimmer och övertoner, vilket kan skada apparater. Det är därför viktigt att den producerade elen från solcellsanläggningen uppfyller ställda krav på elkvalitet vilket kan medföra att extra utrustning blir nödvändig.

Elsäkerhet

Att projektera ett kraftmatningssystem som är elsäkert för både apparater och människor är av största prioritet. Arbetet med att addera funktioner och komponenter till ett befintligt system måste följa gällande elsäkerhetslagstiftning, det måste också anpassas till gällande nivåer i befintligt elnät.

Drift och underhåll

Drift och underhåll kommer potentiellt behöva utföras i järnvägsområdet vilket ställer höga krav på kompetens hos utföraren. Solcellsanläggningen samt dess anslutning till befintliga system får inte påverka elkraftsystemets befintliga möjligheter till drift och underhåll. Solcellsanläggningen är en komplettering till befintligt system, huvudsyftet med elkraftsystemet är att framföra tåg.

Centraliserad inmatning

Centraliserad inmatning innebär att anslutningarna av solcellsanläggningar sker där det redan idag finns inmatningspunkter till Trafikverkets elnät. Dessa inmatningspunkter finns vid så kallade omformarstationer och fördelningsstationer.

Omformarstationerna är de huvudsakliga inmatningspunkterna och det finns ca 50 till antalet i utredande stund. Dessa har en installerad effekt som varierar mellan ca 10-100 MVA beroende på var i landet de är placerade. Via omformarstationerna matas elen ut till kontaktledning- och hjälpkraftsystemet enligt beskrivningen ovan. Utredningen förordar att i första hand utreda hur en anslutning av solcellsanläggningar till dessa kan konstrueras. Med noggrann planering borde detta alternativ innebära minst påverkan på befintliga system enligt ovan beskrivna aspekter.

Trafikverket innehar också så kallade fördelningsstationer. Dessa är mindre sett till elektrisk storlek, varierar mellan ca 1-7 MVA i installerad effekt, och matar endast in el till hjälpkraftsystemet. För solcellsanläggningar skulle dessa kunna vara bra anslutningspunkter med samma resonemang som för omformarstationer dock är begränsningen på solcellsanläggningens storlek större.

Centraliserad inmatning bedöms ge minst påverkan på befintliga elkraft- och skyddssystem, men innebär en begränsning då solcellsanläggningarna måste anläggas i närheten av omformar- och fördelningsstationerna för att inte få för stora överföringsförluster.

Decentraliserad inmatning

Decentraliserad anslutning innebär att solcellsanläggningarna ansluts till närmaste tillgängliga punkt på en kontaktledning eller hjälpkraftledning. På så sätt finns anslutningspunkter tillgängliga med jämna mellanrum längst med landets järnvägar. Denna typ av anslutning innebär dock en stor omställning för kraftsystemet rörande samtliga av aspekterna presenterade ovan. Både kontaktledning- och hjälpkraftsystemet driftas med höga spänningar (10–20 kV) relaterat till vad som kommer ur en solcellsanläggning (700–1000 V), vilket påverkar lönsamheten eftersom upptransformering av spänningen måste ske vid alla anslutningsplatser. Det ryms inte inom ramen för denna utredning att gå in på sådan detaljnivå som är nödvändig för att kunna konstatera om detta är möjligt eller inte.

Solceller till elväg

En av Sveriges första demonstrationsanläggningar för elvägar för lastbilar finns utanför Sandviken på sträckan Trafikplats Hillsta (Kungsgården) till Trafikplats Sandviken Västra.

Kraftförsörjningssystemet består där av en kontaktledning som hålls upp över den fil där lastbilarna kör, under en sträcka på ca 2 km. Lastbilarnas elmotorer får sedan ström via en strömavtagare, likt systemet för trådbussar.

Ett vanligt sätt att koppla samman solcellsmoduler är att seriekoppla ett antal moduler tills en spänningsnivå om 700–1000 V uppnås. Elen från sådana solelsystem brukar vanligtvis omvandlas till växelström 400/230 V, 50 Hz för att matas ut till elnätet.

Elsystemet för elvägen i Sandviken har en spänning på 700 V likström. Detta är i samma härad som den spänningen de sammankopplade solpanelerna vanligtvis brukar ha och därför kan solelen i ett sådant system direkt kopplas till elvägens elsystem utan konvertering från likström till växelström. Dock kan ett steg likriktning behövas för att matcha exakt spänningsnivå. På detta sätt kan förluster i konverteringsstegen minskas och en hög total effektivitet uppnås.

Eftersom solelsystemet tidvis ger mer effekt än den som används i systemet kan det vara fördelaktigt att sälja överskottselen till andra konsumenter via det vanliga elnätet. Detta kräver dock en konvertering till 400/230 V, 50 Hz. För ett solcellssystem kopplat till nätet skulle överskottet mitt på dagen kunna säljas till andra konsumenter och det extra behovet på eftermiddag och kväll skulle kunna tillföras från det allmänna nätet (från andra kraftkällor). Ett alternativ skulle kunna vara att lagra överskott av solel lokalt vid elvägen för användning då solelproduktionen är för liten.

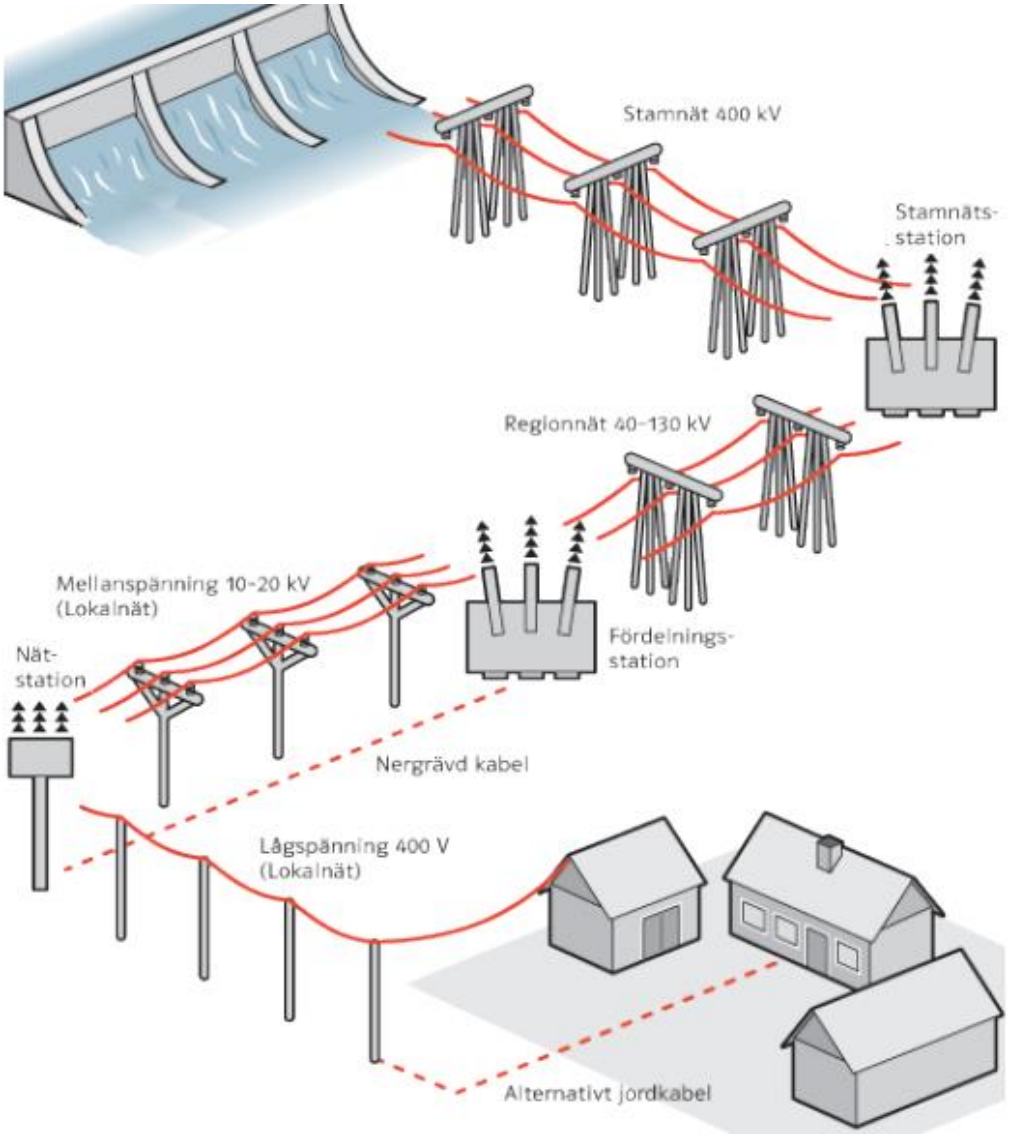
Rekommendationen är att koppla in sig direkt på kontaktledningen eftersom elanvändningen är stor dagtid när solen skiner. Detta kan ske via de transformatorstationer som finns placerade med ca 2 km mellanrum.

Spårvagnsnäten i Göteborg, Norrköping och Lund, vilka matas med 750 V likspänning, liknar elvägen i Sandviken i dess uppbyggnad. För de tre systemen finns potential för solelproduktion då omvandling till AC kan undvikas och därmed omvandlingsförluster minimeras. Eftersom de tre systemen liknar varandra finns också potential att utveckla ett solcellssystem för en bana som sedan kan appliceras på de övriga två.

Det allmänna nätet - Uppbyggnad och aktörsstruktur

Strukturen för allmänna nätet består idag av ett stamnät, regionnät och distributionsnät (se Figur 6). Idag byggs denna struktur upp av en centraliserad produktion samt storskalig och hierarkisk distribution. Det är kraftproducenterna som står för produktionen av elen som når konsumenterna via en förgrening av de tidigare nämnda elnäten. De lokala eloperatörerna är de som äger och sköter drift samt underhåll av det lokala distributionsnätet. Till distributionsnäten kommer elen via transformatorstationer från regionnäten där elen transformeras ner från 100–230 kV till cirka 10 kV. Regionnäten är i sin tur kopplade till stamnätet som är ryggraden i systemet. De största kraftproducenterna

levererar elkraft från framförallt vattenkraft och kärnkraft direkt in på stamnätet. Stamnätet har en spänningsnivå på 220-400 kV och där är det Svenska Kraftnäts roll som balansansvarig att övervaka tillgången och efterfrågan på el.



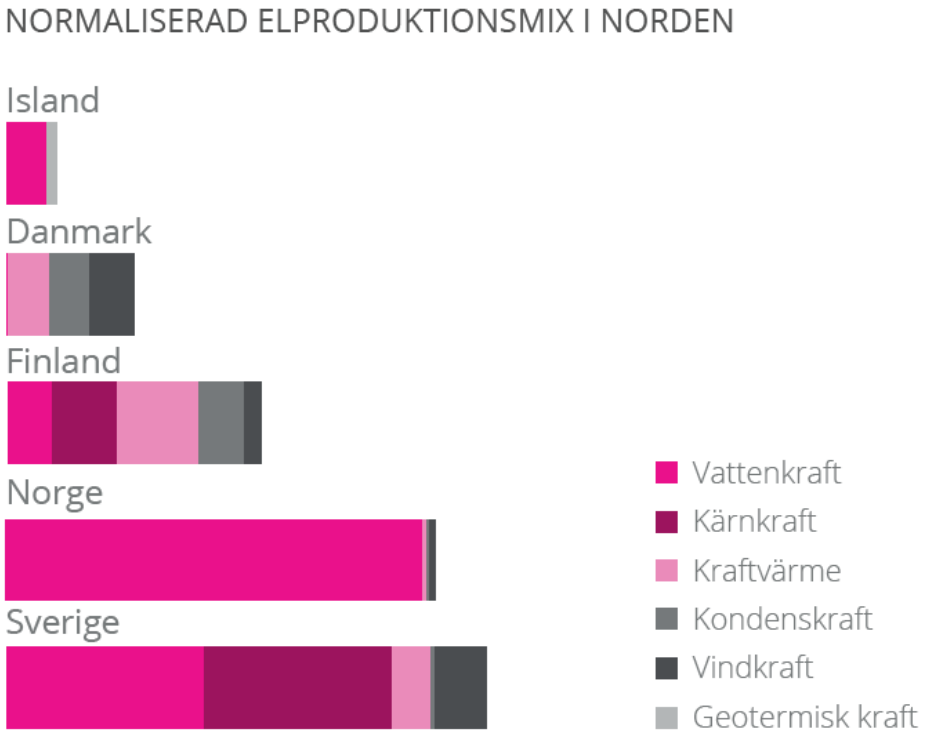
Figur 6 Det allmänna nätets struktur. Källa: E.ON (2016)

Nästan all handel av el inom Norden och 90% av den svenska årliga elproduktionen går via den nordiska elbörsen Nord Pool där elpriset sätts timme för timme. Den oreglerade elprismarknaden gör att elhandelsföretagen själva sätter priset på el vilket vanligtvis sker med utgångspunkt från just marknadspriset på Nord Pool. Att så stor andel använder Nord Pool ger en trovärdighet till den nordiska marknaden enligt Svensk Energi.

Nord Pool är en tvådelad fysisk marknad. Den ena delen kallas Elspot och är en 24-timmarsmarknad för kortsiktig handel. Den andra delen kallas Elbas och är en justeringsmarknad för kontinuerlig handel med timkontrakt. Där sker handel upp till en

timme innan leverans under dygnets alla timmar. Via Nasdaq OMX Commodities finns en finansiell marknad där priset kan säkras mot variationer i det dagliga satta spotpriset. Detta kan exempelvis göras med terminer eller optioner och priset går att säkra upp till tio år framåt i tiden.

Figur 7 visar hur produktionen av energi skiljer sig åt mellan de nordiska länderna. Den nordiska elmarknaden och utbytet av el länderna emellan är en förutsättning för elförsörjningen i Sverige. Med ökad elproduktion från intermittenta källor ökar behovet av mer kortsiktig reglering av kraftbalansen. Detta leder till mer utbyten mellan länderna av el, vilket kan byta riktning flera gånger per dygn (Elföretagen Sverige).



Figur 7 Skillnaden i elproduktion mellan de nordiska länderna. Källa: Energiföretagen Sverige, Energiåret 2017: Elproduktion.

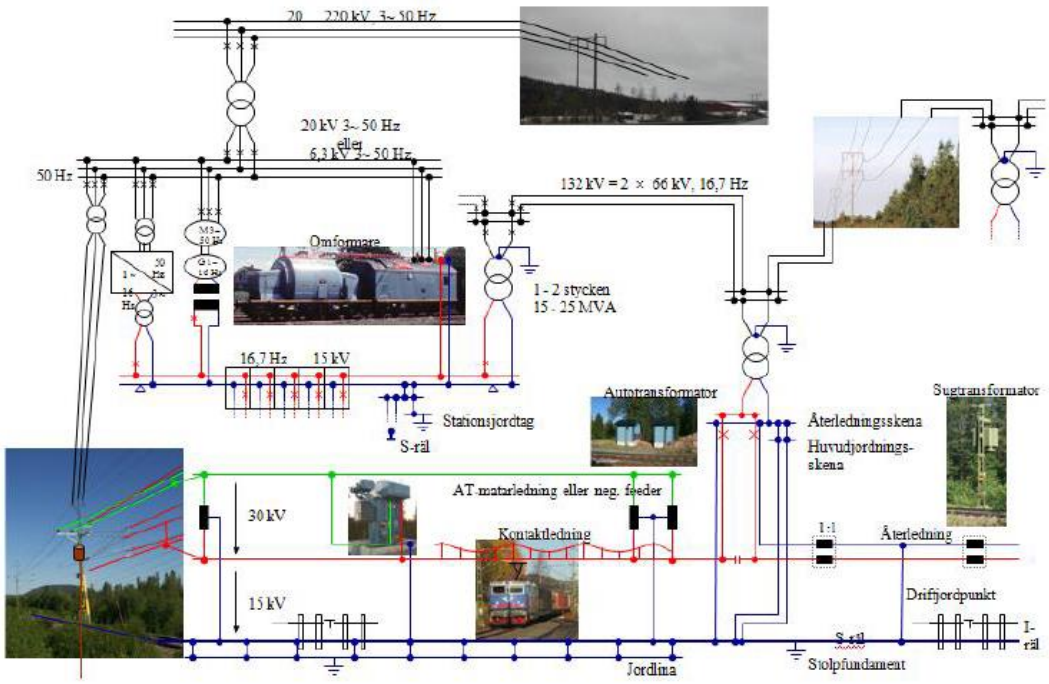
Energimätare

Med hjälp av en energimätare lagras data om hur mycket elkraft som konsumerats av en kund och den 1 juli 2009 tog Regeringen ett beslut om att mätning måste ske åtminstone på månadsbasis. Idag är dessutom mätning på timbasis tillgänglig i vissa mätare och utvecklingen går mot en implementation av realtidsmätning. Mer detaljerad mätning av elanvändningen är nyttigt både för kund och elleverantör. För kunden innebär det en ökad medvetenhet och möjlighet till att i större utsträckning påverka användningen. Elleverantören får tillgång till information om deras kunders användningsmönster och kan med det förbättra sin verksamhet.

Energimätare utgör grunden för det tariffsystem som Trafikverket har mot tågoperatörerna. Denna mäter använd energi baserat på tågets ström- och spänningsnivåer.

Skillnader mellan järnvägens elnät och det allmänna nätet

För att få en förståelse för hur sammankopplingen mellan näten ser ut ger figur 9 en schematisk bild av detta. I figuren visas kopplingen mellan stamnät och regionnät som sedan kopplas samman med banmatningssystemet. Till höger i figuren visas Trafikverkets matarledningssystem (132 kV, 16,7 Hz) och dess koppling till banmatningssystemet och till vänster i bild visas hjälpkraftledningarna. Till skillnad från det allmänna nätet som mestadels upplever statiska laster upplever banmatningssystemet intermittenta laster (tåg) som rör på sig i både tid och rum. Däremot är det enklare att förutspå lasten för banmatningssystemet eftersom det finns en tidtabell som tågen följer. För det allmänna nätet används istället meteorologiska data samt användningsmönster för att förutspå efterfrågan på elkraft, vilka i sig innehåller stora osäkerheter. Tågen som last kan dessutom regenerera ström vid bromsning och tåget kan snabbt gå från att agera som en last till att agera som en producent. På några få sekunder kan tågen gå från att konsumera 10 MW till att generera 8 MW, något som det allmänna nätets laster inte kan.



Figur 8 Visar sammankopplingen mellan regionnät och banmatningssystem. Hjälpkraftledningar är inkluderade i denna figur. Källa: Trafikverket, Peter Deutschmann.

9. Introduktion byggnadsintegrerat montage

Idag kan solcellsmoduler ersätta vissa byggnadsmaterial, såsom fasadskivor, glastak och bullerskydd. Exempel på typer av anläggningar där byggnadsintegrerade solcellsmoduler kan implementeras är perrongtak, parkeringstak, bullerskydd, tak över elvägar, integrerade i fasader samt tak på byggnader där solcellsmodulerna kan ersätta det yttersta lagret i konstruktionen.

Solcellsmodulerna tillverkas antingen med transparens eller helt ogenomsläppliga för ljus.

Integrerade solceller innebär att solcellsmodulen fyller en ytterligare funktion på byggnaden, utöver att generera el.

Ofta byts en del av klimatskalet för ett tak eller en fasad ut mot solcellsmoduler, som då är den yttersta, väderskyddande byggnadsdelen. Men även solskydd, balkongräcken och bilparkeringar klassas som byggnadsintegrerade solceller enligt den nya svenska standarden som publicerades 2016.

Fördelen med byggnadsintegrering är att man sparar in materialkostnader vid nybyggnation samt vid omläggning av befintlig fasad eller tak. Dessutom tycker många att integrerade solceller är att föredra ur estetisk synpunkt eftersom solcellerna smälter in i byggnaden och syns mindre eller inte alls.

Nackdelen med byggnadsintegrering är att man i dagsläget vet för lite om teknikens konsekvenser och det finns stora oklarheter om dess negativa påverkan på solcellsanläggningen som behöver utredas vidare.

T ex blir solcellerna väldigt varma när de producerar el och solceller instängda i väggen eller taket utan cirkulation av kall luft skulle kunna innebära vissa risker, exempelvis brand. Dessutom minskar solcellernas verkningsgrad när de blir varma och det i sin tur kan göra att utbytet av el i kWh/kW blir lägre jämfört med utanpåliggande solcellsmoduler. Det kan även finnas andra risker, tex fuktproblem om det inte blir helt tätt mellan solcellspanelerna då de monteras som yttersta fasadmaterial eller takmaterial.

Dessa farhågor är i första hand aktuella där solcellsmoduler byggs in i byggnader. Där solceller är fristående, exempelvis bullerskydd, perrongtak etc., är ventilationen ofta optimal och solcellsmodulerna producerar mer än om de sitter monterade ovanpå ett tak. Detta på grund av att en kallare solcell har större chans att uppnå sin toppeffekt än en varm.

Implementering av byggnadsintegrerade anläggningar i transportsystemet kan utföras på olika sätt. Den största fördelen är en kostnadsbesparing i och med att andra byggnadsmaterial ersätts med solcellsmoduler. Exempelvis kan fasadskivor i glas eller stora glaspartier helt eller delvis ersättas med solcellsmoduler utförda i glas.

Figur 9 Exempel på byggnadsintegrerade halvtransparenta färgade tunnfilmssolceller. Foto: Soltech Energy

BIPV (Building integrated Photovoltaic) och BAPV (Building applied Photovoltaic) definieras utifrån en ny svensk standard, som fastställdes 11 maj 2016, SS EN-50583 - Byggnadsintegrerade solceller. Den nya standarden är en europeisk standard, framtagen inom den europeiska standardiseringsorganisationen CENELEC. Det innebär att den är likadan i 33 europeiska länder, även i t ex Norge och Turkiet.

Standarden består av två delar del 1: moduler och del 2: system. Den behandlarbyggnaden och solcellen som ett helt system och innehåller kombinerade elektriska och byggnadstekniska krav. De standarder för solceller som finns sedan tidigare handlar om de optiska och elektriska egenskaperna och hur de provas, eller beskriver vissa konstruktionsmaterial och deras egenskaper, särskilt miljötålighet. Det har hittills saknats en beskrivning av de byggnadstekniska kraven.

Figur 10 Parkeringstak av solcellsmoduler på Skaraborgs Sjukhus i Skövde. Foto: Mikael Wallander ÅF

Byggnadsintegration bygger enligt standarden på att solcellsmodulen ska fylla enfunktion i byggnaden och definieras som en byggprodukt enligt byggproduktförordningen. Vid nedmontering måste modulen därför ersättas med ett likvärdigt byggnadsmaterial.

En eller flera av följande funktioner måste uppfyllas av solcellsmodulen för att den ska klassas som byggnadsintegrerad, BIPV:

- Mekanisk styvhet eller strukturell integritet
- Primärt väderskydd (regn, vind, snö, hagel)
- Energihushållning (isolering, skuggning, dagsljus)
- Brandskydd
- Bullerskydd
- Säkerhet och skydd
- Separation mellan utomhus- och inomhusmiljöer

Eftersom solcellsmodulerna oftast placeras på tak ägnas särskild uppmärksamhet åt hur man provar deras förmåga att inte släppa igenom regn. Den första delen i standarden behandlar modulerna som byggnadselement och beskriver olika krav på modulerna, både på sådana med och utan glas. Den andra innehåller krav som styrs av placeringen på byggnaden, som del av vägg eller tak eller som t ex solskydd. Solcellsmodulerna förutsätts i övrigt följa standarden SS-EN 61730 (IEC 61730) med säkerhetsfordringar på solcellsmoduler samt SS-EN 61215 (IEC 61215) för moduler med solceller av kristallint kisel eller SS-EN 61646 (IEC 61646) för moduler med solceller i tunnfilmsteknik. Om kriterier i ovanstående avsnitt inte uppfyllts och byggnadsmonterade solcellsmoduler inte fyller någon funktion, anses de vara byggnadsapplicerade, BAPV. Kraven för att tillföra en funktion i byggnaden är inte uppfyllda om solcellen endast genererar elektricitet.

Figur 11 Vid nybyggnation är det extra lämpligt att ersätta ett byggnadsmaterial (takpannor) med solcellsmoduler. Foto: Soltech Energy

10. Anläggningstyper

Flera olika anläggningstyper har utretts utifrån dess möjligheter att leverera elkraft till järnväg och bilväg, samt ut till elnätet.

Anläggningstyperna är:

- Bullerskydd längs järnväg
- Bullerskydd vid vägar
- Tunnelanläggningar
- Jernhusens stationshus och depåer
- Tak över perrong
- Parkeringstak vid station
- Solelparker på restytor
- Ballastfritt spår

De olika anläggningar har utvärderats utifrån tekniska och juridiska hinder samt vilka affärsmodeller som kan vara lämpliga för respektive anläggningstyp.

10.1. Bullerskydd vid järnväg

I detta scenario föreslås att solcellerna placeras vid sidan av järnvägen, exempelvis som bullerskydd.

Bullerskydd kan utformas på olika sätt, som ger olika sorters ljuddämpning.

Forskning har visat att ett bullerskydd med solcellsmoduler skapar en tyst zon eller en så kallad ljudskugga, som är lik den som ett konventionellt bullerskydd skapar. Andra studier visar att solcellsbullerskydd kan skapa en liten ökning av buller på motsatta sidan av vägen, men som kan begränsas med hjälp av noggrann projektering av bullerskyddets vinklar och eventuell plantering av växtlighet. (Corfield 2012)

När ett bullerskydd ska anläggas är den primära uppgiften att dämpa buller. Avstånd från bullerkällan och dimensionerna på skyddet är de viktigaste parametrarna att beakta.

Valet av bullerskyddets utformning behöver vägas mot andra krav som estetik och gestaltning, investeringskostnader, att skyddet ska gå att underhålla under hela dess livslängd, eventuell påverkan på trygghetsfrågor, påverkan på kulturmiljö etc.

Utgångspunkten är att genomföra en lokal bullerutredning som ser till den aktuella platsens förutsättningar. Hur buller sprids och reflekteras är komplicerat och även till synes mindre avvikelser från utformning kan ofta kräva en reviderad, fördjupad eller kompletterande bullerutredning.

Ett bullerskydd kan konstrueras på många olika sätt. Jordvallar kan vara ett kostnadseffektivt alternativ där det finns tillgång till jordmassor, men de tar stor yta i anspråk. Plank och murar är utrymmessnåla. En klassisk murverkskonstruktion ger bra skydd mot buller men riskerar också att reflektera ljudet. Gabion är en mur med inbyggd dämpning som kräver väldigt lite underhåll och som kan kombineras med växtlighet. Ibland kan en kombination av olika konstruktioner och material ge den bästa totallösningen.

Bullerskydd innebär ofta en stor visuell miljöpåverkan. Därför är gestaltningen av bullerskyddet på den aktuella platsen viktig.

Källa: www.tekniskhandbok.helsingborg.se/konstbyggnader/bullerskydd/

Ett vertikalt bullerskydd kan utformas så att solcellerna får en högre energiproduktion genom att de vinklas ca 30-45 grader mot horisontalplanet.

En möjlig synergieffekt skulle kunna vara den satsning på suicidalstängsel som just nu genomförs i ett 70-tal kommuner i Sverige. Ett högt bullerskydd har liknande avgränsande funktion som ett stängsel.

Dessutom skulle liknande solcellsinstallationer kunna ersätta befintlig stängsling runt olika områden i anslutning till järnvägen, exempelvis bangårdar, lokstallar och omlastningsstationer. Dessa kan då även utgöra insynsskydd, baksidorna kan vara försedda med växter och solcellerna riktas in mot banområdet.

Idag finns enligt uppgift från Trafikverket cirka 182 km befintlig bullerskärm längs med järnväg i Sverige. Teoretiskt kan de gå att eftermontera solcellsmoduler på vissa typer av bullerskydd, men potentialen för detta har inte tagits med i denna utredning. Dels på grund av att det är oklart om dess konstruktion klarar att bära ytterligare tyngd från solcellsmoduler, dels på grund av att utredningen har gjort bedömningen att anslutning direkt mot omformar- och fördelningsstationer är mest fördelaktigt framför att ansluta sig mot kontaktlednings- eller hjälpkraftsystemet samt för att minimera förluster i kablar och onödigt lång kabeldragning. Därför är det viktigt att även ta hänsyn till var befintliga omformarstationer är belägna och då har närheten till dessa omformarstationer prioriterats, oavsett om det finns bullerskydd på platsen idag eller inte.

Simuleringarna i detta kapitel har gjorts i PV Sol med en kiselsolcellsmodul om 275W/modul som upptar ytan 1,65 m² per modul.

Två exempel har utretts mer noggrant; Alingsås och Olskroken.

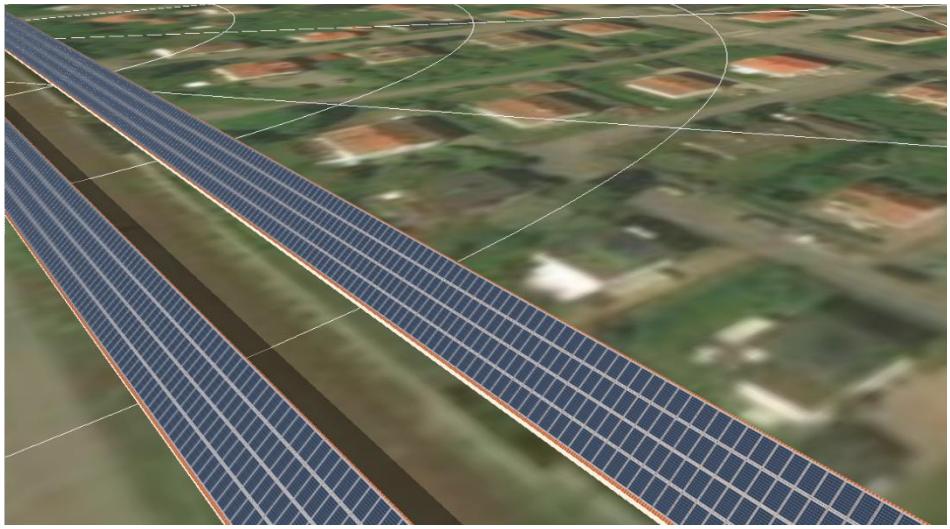
Simulering vid Alingsås omformarstation

Utifrån en karta har en sträcka valts ut för att den ligger nära omformarstationen, för att den är fri från annan bebyggelse samt för att den är någorlunda fri från skuggning. Sträckan

längs med tågrälsen mellan omformarstationen och tågstationen är ca 1 km och sträcker sig nästan exakt i väst-östlig riktning. Därav lämpar den sig perfekt för att montera bullerskydd med solceller längs med banvallen.

Bullerskydd 45 graders lutning

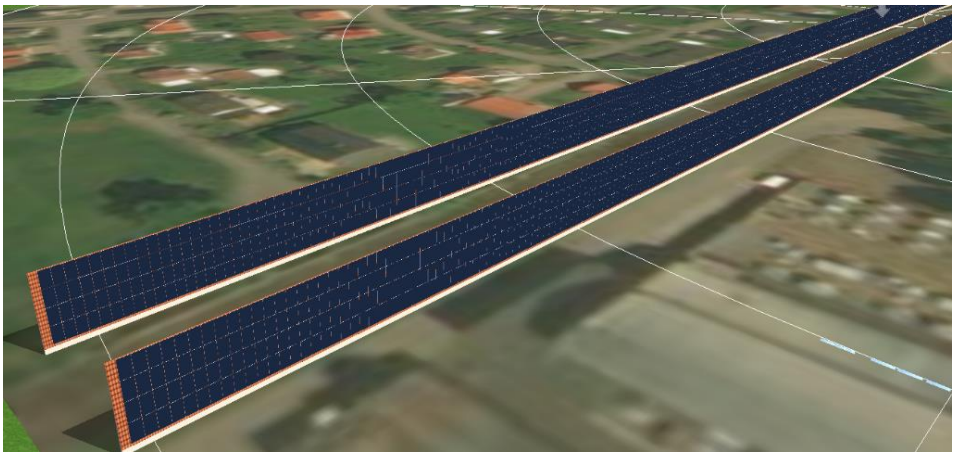
Det får plats ett bullerskydd på varje sida om spåret och varje 2*500 m bullerskydd motsvarar 1078 kWp och 1021 MWh elproduktion per år. Solcellsmodulerna placeras då som ett högt plank som lutar 45 grader mot horisontalplanet där 4 solcellsmoduler placeras i porträttläge ovanpå varandra dvs det lutande bullerskyddet blir ca 6,6 m högt. 1 km dubbelt bullerskydd skulle kunna ge 2156 kWp och 2042 MWh elproduktion per år.



Figur 12 Simulering av bullerskydd bestående av solcellsmoduler i 45 graders lutning.

Bullerskydd 90 graders lutning

Om bullerskyddet istället skulle monteras helt lodrätt förloras 28 % av elproduktionen per år samt att endast bullerskydd på ena sidan av spåret förslås pga. ökade skuggningsförluster.



Figur 13 : Simulering av bullerskydd bestående av solcellsmoduler i 90 graders lutning

En befintlig produkt på marknaden är ett bullerskydd som är konstruerat i 90 grader men där solcellsmodulerna är vinklade 30 grader, Solar Sound Panel. Även ett sådant alternativ har tagits med i beräkningarna. Solcellerna är placerade på ytor mot solen, det innebär att jämfört med de andra systemen får det plats mindre yta solceller per löpmeter bullerskydd.

Figur 14 Bullerskydd med solceller från Italien. Foto: Sound Solar Panel

Simulering vid Olskroken omformarstation

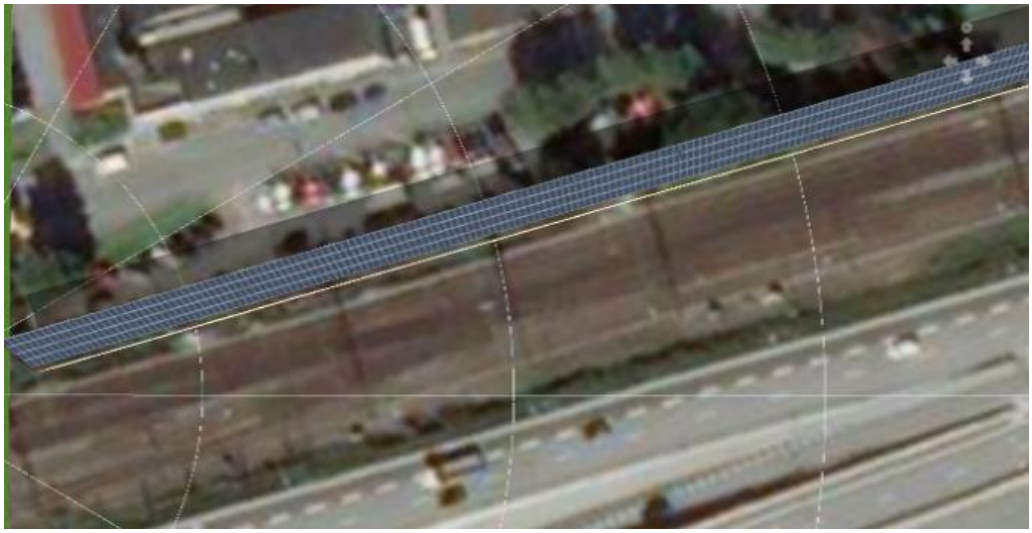
I området kring Olskrokens omformarstation i figur 15 visas förslag till ytor där bullerskydd med solceller skulle kunna placeras. I bilden visas en sträcka som är 2 km lång, men om båda sidor om motorvägen samt andra sidan om bangården utnyttjas kan sammanlagt 5 km

sträckning i nära väst-östlig riktning föreslås så att solcellsmodulerna blir orienterade nästintill rakt i söderläge.

Figur 15 Kartbild över förslag aktuella sträckor Olskroken

Bullerskydd 45 graders lutning

Solcellsmodulerna placeras, precis som i förslaget i Alingsås, som ett högt plank som lutar 45 grader mot horisontalplanet där 4 solcellsmoduler placeras i porträttläge ovanpå varandra dvs det lutande bullerskyddet blir ca 6,6 m högt. 1 km enkelt bullerskydd skulle kunna ge 1080 kWp och 1052 MWh elproduktion per år. Produktionen blir något högre per km i detta förslag än i Alingsås eftersom avståndet mellan bullerskydden blir längre och därför inte skuggar varandra. 5 km enkelt bullerskydd skulle kunna ge 5400 kWp (dvs 5,4 MW) och 5260 MWh elproduktion per år.



Figur 16 Simuleringsbild bullerskydd från Pv Sol.

Tabell Olskroken

Plats Olskroken omformarstation	Vinkel solcellsmodul	Effekt kWp	Årsenergi MWh
1 km enkelt vinklat bullerskydd	45	1080	1052
5 km enkelt vinklat bullerskydd	45	5400	5260

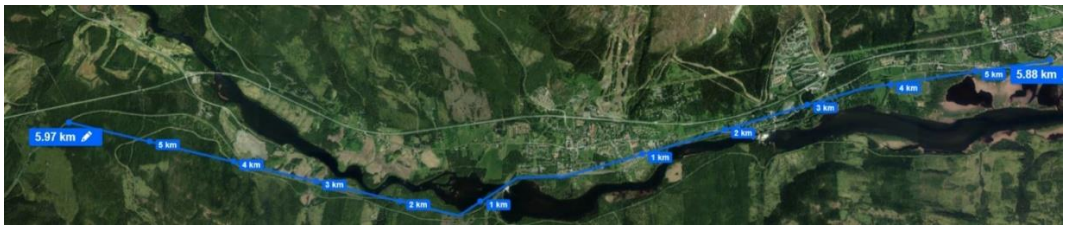
Tabell 2 Potential Olskroken. Beräkningar av olika montagealternativ för solcellsanläggningar vid Olskrokens omformarstation

Potential bullerskydd järnväg i Sverige

Potentialen för bullerskydd har beräknats med följande avgränsningar:

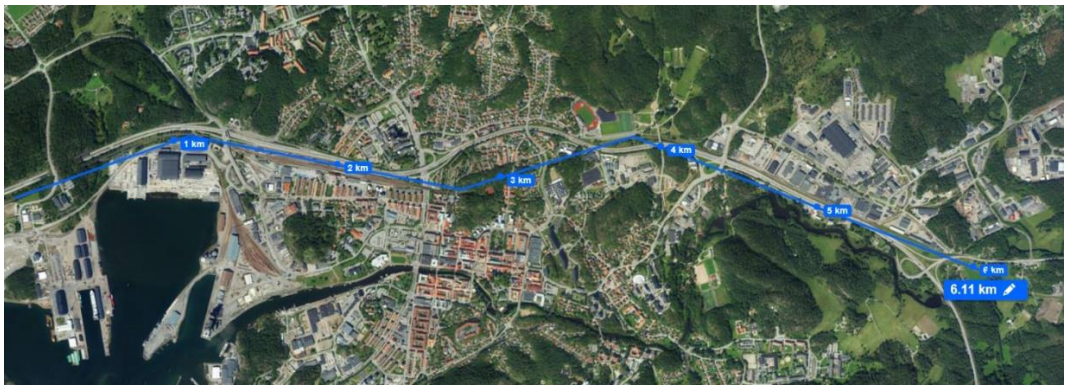
- Placering i närheten av Trafikverkets befintliga omformarstationer.
- Placering vid sidan av järnvägar i öst-västlig riktning.
- Placering på enbart ena sidan av spåret, alltså antingen på söder- och norrsida.
- Placering upp till 6 km på vardera sida av omformarstationen, för att begränsa överföringsförluster i kablage.
- Beräkningen tar inte hänsyn till var i landet solcellsanläggningarna placeras.

Kartunderlaget i Figur 17 - Figur 19 illustrerar några av dessa placeringar.



Figur 17 Placering i närheten av omformarstationen i Duved. Källa: Eniro.se [2018-10-02]

Figur 18 Placering i närheten av omformarstationen i Hallsberg. Källa: Eniro.se [2018-10-02]



Figur 19 Placering i närheten av omformarstationen i Uddevalla. Källa: Eniro.se [2018-10-02]

En simulering är gjord för 1000 m dubbelt bullerskydd i tre olika utföranden; upprätt bullerskydd med upprätta solceller (90 grader), vinklat bullerskydd med vinklade solceller (45 grader) och upprätt bullerskydd med vinklade solceller (33 grader). Simuleringsresultatet har sedan multiplicerats med antalet identifierade kilometrar bullerskydd.

Totalt har 25 sträckor i närhet till omformarstationer simulerats. Dessa 25 har valts ut baserade på avgränsningarna som tidigare är nämnda. Sträckan utmed järnväg vid respektive omformarstation är beräknad genom att kolla på hur mycket tätbebyggelse som finns utefter spåret. Den totala sträckan som är utvald och har simulerats är 195 km.

I tabellen nedan visas jämförelsevärden för de 3 lösningarna.

Hur mycket installerad solcellseffekt får plats per kilometer bullerskydd, vilken solcellsyta det motsvarar samt vilken specifik elproduktion som simulerats. Den specifika

elproduktionen anger hur många kilowattimmar elproduktion som varje installerad panel ger mätt i installerad kWp och är ett jämförelsetal som visar på systemets effektivitet.

	kWp -1 km	m2- 1 km	Specifik elproduktion kWh/kWp
Bullerskydd 33 grader	501	3060	902
Bullerskydd 45 grader	1078	6600	1009
Bullerskydd 90 grader	1078	6600	759

Tabell 3 Potential bullerskydd olika vinklar

I tabell 5 nedan anges den totala simulerade längden för de 25 utvalda platserna, total installerad effekten och solcellsytan för respektive förslag.

I simuleringarna i tabell 5 och tabell 6 nedan har endast 1 rad med bullerskydd längs järnvägen bestyckas med solceller då det antas att den bakre skuggas för mycket.

Vid nybyggnation av bullerskydd är dock rekommendationen att studera tilläggskostnaden för att placera solceller på skyddet och jämföra mot produktionen på det bakre mer skuggade skyddet.

	Totallängd bullerskydd	Total installerad effekt, kWp	Total yta solceller [m2]
Bullerskydd 33 grader	195 km	97 700	600 000
Bullerskydd 45 grader	195 km	210 210	1285 000
Bullerskydd 90 grader	195 km	210 210	1285 000

Tabell 4 Potential 25 utvalda platser

Resultat

Potential solceller som bullerskydd i Trafikverkets anläggningar		**Bullerskyddets/solcellernas vinkel [grader] - en sida om spåret**					
		33		**45**		**90**	
Omformarstation	**Sträcka bullerskydd [km]**	**Effekt [kWp]**	**Års-energi [MWh]**	**Effekt [kWp]**	**Års-energi [MWh]**	**Effekt [kWp]**	**Års-energi [MWh]**
Tornehamn	7	3 507	3 163	7 546	7 614	7 546	5 727
Stenbacken	12	6 012	5 423	12 936	13 052	12 936	9 818
Kiruna	2	1 002	904	2 156	2 175	2 156	1 636
Kalix	2	1 002	904	2 156	2 175	2 156	1 636
Boden	6	3 006	2 711	6 468	6 526	6 468	4 909
Bastuträsk	6	3 006	2 711	6 468	6 526	6 468	4 909
Mellansel	6	3 006	2 711	6 468	6 526	6 468	4 909
Duved	12	6 012	5 423	12 936	13 052	12 936	9 818
Ånge	9	4 509	4 067	9 702	9 789	9 702	7 364
Järna	7	3 507	3 163	7 546	7 614	7 546	5 727
Sköldinge	12	6 012	5 423	12 936	13 052	12 936	9 818
Hallsberg/Tälle	12	6 012	5 423	12 936	13 052	12 936	9 818
Nyköping	6	3 006	2 711	6 468	6 526	6 468	4 909
Kil	6	3 006	2 711	6 468	6 526	6 468	4 909
Uddevalla	6	3 006	2 711	6 468	6 526	6 468	4 909
Göteborg	6	3 006	2 711	6 468	6 526	6 468	4 909
Alingsås	6	3 006	2 711	6 468	6 526	6 468	4 909

Sjömarken	12	6 012	5 423	12 936	13 052	12 936	9 818
Falköping	6	3 006	2 711	6 468	6 526	6 468	4 909
Mjölby	6	3 006	2 711	6 468	6 526	6 468	4 909
Alvesta	6	3 006	2 711	6 468	6 526	6 468	4 909
Emmaboda	12	6 012	5 423	12 936	13 052	12 936	9 818
Åstorp	6	3 006	2 711	6 468	6 526	6 468	4 909
Malmö	12	6 012	5 423	12 936	13 052	12 936	9 818
Ystad	12	6 012	5 423	12 936	13 052	12 936	9 818
Totalt	195	97 695	88 120	210 210	212 102	210 210	159 549

Tabell 5 Total potential bullerskydd vid järnväg i Sverige

Trafikverket köper årligen in ca 2750 GWh el och en grov uppskattning av energibehovet för en resa mellan Göteborg och Stockholm med ett X2000 tåg är 4,5 MWh (Beräknad på en hastighet om mellan 150 - 200 km/h på plan mark). Resultatet visar att simulerade bullerskydd av storleken i tabell ovan kan generera en solelsproduktion motsvarande:

- **Bullerskydd 33 grader,** 88 GWh/år
  3,2 % av Trafikverkets årliga inköp av el eller 19 500 resor med ett X200 mellan Stockholm och Göteborg.

- **Bullerskydd 45 grader,** 212 GWh/år
  7,7 % av Trafikverkets årliga inköp av el eller 47 100 resor med ett X200 mellan Stockholm och Göteborg.

- **Bullerskydd 90 grader,** 160 GWh/år
  5,8 % av Trafikverkets årliga inköp av el eller 35 500 resor med ett X200 mellan Stockholm och Göteborg.

10.1.1. Tekniska och juridiska hinder bullerskydd järnväg

Om bullerskydd behöver byggas längs med järnväg är det en mycket god idé att utföra dessa med solceller. Beroende på hur bred yta som finns tillgänglig kan bullerskyddet utföras på olika sätt vilket utreds i projektering av respektive plats.

Ur ett bullerperspektiv tyder forskningsresultat på att bullerskydd med solceller är i stort sett lika effektiva som traditionella bullerskydd (Highways Agency 2013). Andra studier har

observerat att bullerskydd med solceller kan resultera i en liten ökning av buller på vägens sida mitt emot PV-installationen (Corfield 2012).

Ifall solcellspaneler monteras utanpå ett befintligt bullerskydd uppstår belastningar på detta. Det måste då först utredas ifall konstruktionen tål denna belastning.

En solcellsanläggning som bullerskydd kan utföras som en centraliserad inmatning via omformar- och fördelningsstationer eller som en decentraliserad anslutning via kontaktlednings- och hjälpkraftsystemet till Trafikverkets elnät alternativt kan en solcellsanläggning anslutas till nätägarens elnät.

En solcellsanläggning som ansluts till hjälpkraften i t.ex. en omformarstation och därmed nyttjas till tågdriften, kan inte dimensioneras högre än vad transformator och ställverk för hjälpkraften är dimensionerat för. Transformatorerna (10 - 20/0,4 kV) är oftast i storleksordningen 500 kVA eller mindre. Dessutom kan reläskydd och säkringar behöva anpassas till omvänd strömriktning från solcellerna.

En betydligt större solcellsanläggning kan utföras om den ansluts till en egen transformator 0,4/10–20 kV. Solcellsanläggningens storlek begränsas härmed endast av nätägarens transformator t.ex. 130/20 kV, ställverk och kabelförband.

Decentraliserad imatning ställer stora krav på kraftsystemet och påverkar lönsamheten negativt då stora anpassningar måste göras.

Bullerskydd med solceller kan i princip nyttjas oberoende av vägens eller järnvägens riktning men utformning av anläggning samt solelproduktionen varierar med förutsättningarna.

Vid järnvägar i nord-sydlig riktning kan vertikala sk bifacial moduler nyttjas som har solceller på båda panelens sidor. Dessa är väldigt priseffektiva per installerad W och är kan därmed bli lönsamma i denna typ av installation.

Dessa moduler kan producera el från båda sidorna, vilket ökar den total energiproduktion. De är dessutom ofta mer slitstarka eftersom båda sidorna är UV-resistenta.

Det finns alltid en risk med klotter. Eftersom solpanelernas framsida utgörs av en glasyta är klottersanering lätt att utföra. Är bullerskydden utförda med bifacial moduler är även baksidan av glas.

Stora och utdragna ytor är en nackdel ifall övervakning behövs på området.

10.1.2. Affärsmodeller bullerskydd järnväg

Bullerskydd för järnväg kan som vi beskriver ovan placeras i närheten av befintliga omformastationer och anslutas till dessa eller via en decentraliserad anslutning via kontaktlednings- och hjälpkraftsystemet alternativt till nätägarens elnät.

Bullerskydden finns oavsett vilket alternativ man väljer inom Trafikverkets område vilket innebär att Trafikverket äger marken som solcellsanläggningen uppförs på. Själva anläggningen kan ägas av Trafikverket eller av någon extern part. Att ansluta solcellsanläggningen direkt mot omformar- och fördelningsstationer bedöms som ett fördelaktigt alternativ.

Som det beskrivs i kapitel 6.2 innebär en uppkoppling av solceller till Trafikverkets egna anläggning inte några juridiska hinder. I det fall man väljer att ansluta anläggningen till ett externt kraftnät bör ett anslutningsavtal upprättas för att reglera in och utflöden från anläggningen.

Att en extern part, exempelvis ett energibolag äger en solcellanläggning längs med järnvägen är både tekniskt och juridiskt möjligt. Trafikverket upplåter marken till den externa aktören. Drift och underhåll som utförs av en extern part i järnvägsanläggningen måste i detta fall säkras. Det är av största vikt att ansvaret för trafik, elsäkerhetsrisker och underhåll kan hanteras på ett tillförlitligt sätt.

10.1.3. Ekonomi och lönsamhet bullerskydd järnväg

Identifierade affärsmodeller för bullerskydd vid järnväg är att Trafikverket äger anläggningen eller att mark upplåts till en extern part tex ett energibolag.

Ungefärlig kostnad per kWp för att montera en solcellsanläggning utanpå ett befintligt bullerskydd uppskattas till 8 000 kr/kWp för en stor anläggning över 1 MWp. Samma kostnad bedöms vara lämplig att använda som tilläggskostnad för ett nytt bullerskydd med integrerade solcellsmoduler i, jämfört med ett konventionellt bullerskydd utan solceller. Därför används samma kostnad för ekonomiska beräkningar oavsett om det gäller nya eller befintliga bullerskydd med solceller.

Eftersom Trafikverket är nästintill helt undantagna energiskatt (större delen av energianvändningen dvs den del som används för järnväg är undantagna energiskatt) så blir elpriset lägre vilket också medför lägre intäkter. Intäkterna blir dock nästintill desamma oavsett om elen matas ut på nätet eller används direkt för att mata en omformarstation och motsvarar i skrivande stund ett värde av 0,49 kr/kWh. Inklusive elcertifikat blir värdet således 0,59 kr/kWh. Om Trafikverket inte är skyldiga att betala energiskatt för solel från anläggningar över 255 kWp eftersom de är energiskattebefriade på all el som används till järnvägen så kan Trafikverket bygga stora anläggningar över 255 kWp med samma lönsamhet som mindre anläggningar.

Som ett räkneexempel har lönsamheten för en solcellsinstallation för ett fem km långt bullerskydd beräknats, med siffror från kapitel 10.1.

Trafikverket äger anläggningen och använder elen

Potentiell installerad effekt 5,4 MWp

Potentiell energiproduktion: 5260 MWh/år

Kostnad installation: 43 miljoner

Intäkter per år: 3,1 miljoner

Rak pay off: 14 år utan bidrag

Om ett energibolag hade valt att göra motsvarande solelinstallation på Trafikverkets mark så hade lönsamheten blivit något sämre, eftersom värdet av den producerade solelen bara är lika med värdet av aktuellt spotpris plus elcertifikatens värde. Det som skiljer mot värdet av solelen i denna beräkning jämfört med beräkningen för Trafikverket ovan är i princip värdet av den rörliga nätavgiften som sparas in. Här görs för jämförelsens skull antagandet att värdet av solel som ett energibolag kan sälja är 0,45 kr/kWh inkl. värdet av tillhandahållna elcertifikat. Detta ger med motsvarande siffror:

Energibolaget äger anläggningen och säljer elen

Potentiell installerad effekt 5,4 MWp

Potentiell energiproduktion: 5260 MWh/år

Kostnad installation: 43 miljoner

Intäkter per år: 2,3 miljoner

Rak pay off: 19 år utan bidrag

I framtiden förutspås elpriset att öka vilket gör att återbetalningstiden för ett motsvarande projekt sjunker markant. Ev. underhåll samt kostnader för matning och transformatorstationer har inte tagits med i kalkylerna.

10.2. Vägar och elvägar - bullerskydd

Buller är idag ett tilltagande problem i närheten av större och hårt trafikerade vägar. I takt med att städer förtätas, byggs allt fler bostadshus och kontor där trafikbuller når höga nivåer.

Bullerskydd vid väg kan ha många olika användningsområden och nyttjas på flera olika sätt. Den främsta anledningen till att investera i bullerskydd är för att minska buller för människor men det har även visat sig ha stor betydelse för djurlivet. Bullerskydd har även en säkerhetsaspekt då det skyddar människor och djurlivet att komma i fysisk kontakt med vägarna. Bullerskydd av solceller producerar dessutom el som ger investeringen en återbetalning som kan motivera att installera bullerskydd där det tidigare varit svårt att motivera.

Bilväg

Det finns stora behov att minska buller från anläggningen för att skydda djurlivet. Bullerskydden kan med fördel beläggas med solceller och sättas upp längs väg och ansluta

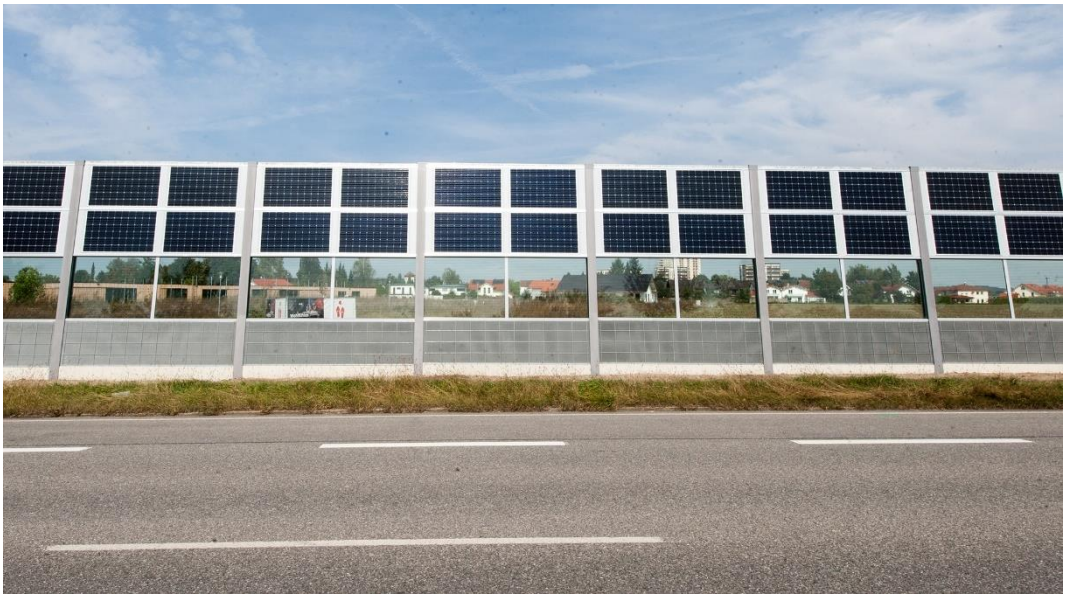
till närmaste ortsnät, till en transformatorstation som ägs av nätbolaget i området. Det kan även finnas transformatorstationer som försörjer gatubelysning att ansluta till. Viktigt att tänkt på är dock att eftersom effekterna från solceller kan bli mycket höga då sträckorna med bullerskydd blir långa så måste det finnas kapacitet att ta hand om elen som produceras. Därför är det mest lämpligt att anlägga dessa solcellsbullerskydd i närheten av större städer med mycket bebyggelse nära vägen vilket också brukar vara just där som behovet av bullerskydd är som störst. Även i närheten av framtida laddstationer för elbilar är lämpliga placeringar av sådana anläggningar samt i närheten av laddstationer för elfärjor.

Trafikverket har analyserat påverkan bland annat i rapporten "Trafikbuller i värdefulla naturmiljöer– metodbeskrivning" (ISBN: 978-91-7467-923-6.)

Där har vägar med 3000 fordon eller fler i årsdygnstrafik (ÅDT)23 och med en skyltad hastighet på 70 km/h eller mer tas med. Förutom dessa vägar tas också alla fyrfältsvägar med (motorväg, motortrafikled och fyrfältsväg) i bulleranalysen. Järnväg är inte med i analysen.

Högre bullernivåer i miljöerna gör att djuren störs i högre grad. En höjning av bullernivån motsvarar en kvantifierbar habitatförsämring. I TDOK 2014:1021 finns riktlinje för buller och här gäller riktvärdet 50 dB(A)Leq24h vilket ger 30 % försämring i habitatkvalitet vilket även ökar med ljudnivån.

Bullerskydd vid bilväg med hänseende på djurlivet kommer inte att analyseras vidare i denna rapport men vår rekommendation är att ha bullerskydd med solceller i åtanke för att motivera investering i bullerskydd där djurlivet är utsatt.



Figur 20 Bullerskydd längs med bilväg. Foto: Kohlhauer

Elväg

I takt med att elvägar byggs och testas i Sverige och runt om i världen, prövas tanken att skapa solcellsanläggningar över och bredvid vägen för att bidra till fordonens elanvändning. I Sverige finns i dag ett fåtal elvägar som alla är demonstrationsanläggningar.

I Sandviken testas världens första elväg i befintligt vägnät. Demonstrationssträckan på två kilometer ligger på E16 mellan Sandvikens västra utfart och Kungsgården.

Källa: www.sandviken.se/trafikinfrastruktur/gatorochsnorojning/elvage16.4.1788de93151861ab2972e10.html.

Målsättningen med projektet är att skapa kunskap, erfarenhet och förutsättningar för ett beslutsunderlag som kan utgöra en plattform för elektrifiering av de större transportstråken i Sverige.

E-Road Arlanda kallas elvägen som är två kilometer lång och går mellan Rosersberg logistikområde och Arlanda på väg 893. Källa: www.eroadarlanda.se.

Figur 21 Lastbil på E-road Arlanda. Foto: E-road Arlanda

Elen matas genom en skena i vägen via en strömavtagare på lastbilen till drivlinan. Tanken är att den ombyggda distributionslastbilen ska köra 13 turer per dag med postleveranser mellan logistikcentralen och Arlanda.

Både elvägen i Sandviken och E-Road Arlanda ingår i Trafikverkets förkommersiella upphandling.

Bullerskydd kan utformas på olika sätt och finns på marknaden i olika lutningar för solcellsmodulerna. Dessa kan utformas på olika sätt precis som i kapitlet för järnväg och skulle kunna mata elkraft till olika anslutningspunkter och framtida elvägsdrift på sträckorna som simulerats.

Tak över elvägar

Ett solcellstak skulle kunna byggas över kontaktledningen på elvägen utanför Sandviken genom att använda sig av befintliga stolpar och balkar. Stolparna står med 60 meters mellanrum idag så på grund av att solcellsmoduler av kisel är väldigt tunga skulle stolparna behöva stå tätare och dimensioneras för att klara den ökade tyngden. Om extremt tunna tunnfilmssolcellsmoduler belagda på en flexibel plast används, är dessa betydligt lättare och den bärande konstruktionen behöver inte vara lika kraftig, men behöver fortfarande ta hänsyn till eventuell snö- och vindlast.

Då detta med solcellstak alternativ bedöms som olönsamt och svårt att genomföra i dagsläget, ingår det ej i den vidare simuleringen och beräkningar för potential.

10.2.1. Potential vägar

Potentialen för solcellsanläggningar placerade i anslutning till en väg, har beräknats med följande avgränsningar. Samma förutsättningar gäller oavsett om bullerskydden placeras invid en vanlig väg eller en elväg:

- Sveriges större vägar med tung lastbilstrafik har valts ut. Avgränsning har gjorts mot europavägar samt riksväg 40 i Sverige.

- Grov uppskattning av längden för väst-östlig riktad europaväg har genomförts med hjälp av Eniros kartverktyg.

- Placering av solcellsanläggning som bullerskydd bedöms kunna ske på fria ytor utan skuggning.

En simulering är gjord för 2 km bullerskydd placerad längst med en väg med högpresterande svarta solceller. Simuleringsresultatet har sedan multiplicerats med uppskattad längd väst-östlig riktad europaväg.

Solcellsanläggningar anslutna till vägar med eldrift ger en närliggande avsättning för den producerade elen. Att alla de utvalda vägarna ska bli elvägar är ett framtidsscenario. Simulering har gjorts dels på urvalet europavägar i Tabell 6, dels enbart på fem europavägar som har valts ut baserat på att de har mycket trafik och därmed kan tänkas vara prioriterade i elvägsbyggnation i framtiden, samt riksväg 40 som är tilltänkt sträcka för nästa demonstrationsanläggning för elväg. Även om vägarna inte byggs som elvägar, kan det finnas möjligheter att utnyttja samma ytor för solenergi om det finns en lämplig anslutningspunkt i närheten.

Resultat

Europaväg i Sverige	Längd [km]	Ca sträcka i väst-östlig riktning	~%	Installerad effekt [kWp]	Årsenergi [MWh]
E4	1590	310	20	248000	186000
E6 (inkl. Gbg söderut)	490	40	10	32000	24000
E10	470	90	20	72000	54000
E12	460	150	30	120000	90000
E14	355	170	50	136000	102000
E18	512	240	45	192000	144000
E20 (exkl. Gbg söderut)	770	210	25	168000	126000
E22	560	130	25	104000	78000
E45	1690	490	30	392000	294000
E65	58	50	85	40000	30000
Väg 40	321	260	80	208000	156000
Totalt:	**5196**	**1790**	**30**	**1432 000**	**1074000**

Tabell 6 Resultat av simulering av potential för bullerskydd för 11 st europavägar samt rv 40.

Europaväg i Sverige	Längd [km]	Ca sträcka i väst-östlig riktning	~%	Installerad effekt [kWp]	Årsenergi [MWh]
E4	1590	310	20	248 000	186 000
E10	470	90	20	72 000	54 000

E18	512	240	45	192 000	144 000
E20 (exkl. Gbg söderut)	770	210	25	168 000	126 000
Väg 40	321	260	80	208 000	156 000
Totalt	**3663**	**1110**	**30**	**890 000**	**670 000**

Tabell 7 Summering potential för bullerskydd vid sex vägsträckor i Sverige.

Trafikverket köper årligen in ca 2750 GWh el och en grov uppskattning av energibehovet för en resa mellan Göteborg och Stockholm med X2000 är 4,5 MWh (Beräknad på en hastighet om mellan 150 - 200 km/h på plan mark). Resultatet visar att simulerade bullerskydd längs med vägar kan generera en solelproduktion motsvarande:

- **Bullerskydd, alla europavägar samt riksväg 40:** 1 100 GWh/år
  40 % av Trafikverkets årliga inköp av el eller 240 000 resor med X2000 mellan Stockholm och Göteborg.

- **Bullerskydd, urval fem europavägar samt riksväg 40**: 670 GWh/år
  24 % av Trafikverkets årliga inköp av el eller 150 000 resor med X2000 mellan Stockholm och Göteborg.

10.2.2. Tekniska och juridiska hinder vägar

En solcellsanläggning som utförs som t.ex. bullerskydd inom Trafikverkets vägområde, kan anslutas för drift av t.ex. Trafikverkets vägbelysning alternativt till en närliggande omformarstation eller en stationsbyggnad. Men eftersom vägbelysningen normalt inte är tänd dagtid kommer den producerade solenergin i huvudsak inte att kunna nyttjas samtidigt som den produceras. Därför anses det mer lämpligt att istället ansluta till ett närliggande ortsnät med kapacitet att ta emot en stor effekt med solelproduktion i till exempel bebyggelse eller industrier. Elen kan då matas ut direkt och säljas till ett energibolag utan att användas i Trafikverkets anläggningar.

Då utbyggnaden av laddstationer för elbilar går framåt finns det stora möjligheter att rastplatser längs våra stora riksvägar bestyckas med laddstationer i framtiden som på dagtid har ett stort effektbehov. Detta effektbehov kan matchas mot en närliggande solcellsanläggning och nyttan blir stor. Då snabbladdare kan behöva ha en maxeffekt på mer än 100 kW styck och många snabbladdare kommer att behövas på varje rastplats så kan stora solcellsanläggningar anslutas direkt till dessa och eftersom matningen till laddstationerna redan finns dragen till platsen så kan samma matarkabel används för att leverera överskottsel tillbaka till allmänna elnätet ifall det inte skulle finnas någon elbil som laddar just när solen skiner som mest.

Samma resonemang som ovan kan användas för solcellsanläggningar direkt anslutna till laddstationer för elfärjor men eftersom det är samma förutsättningar både tekniskt,

juridiskt och ekonomiskt som för laddstationer till elbilar benämns i fortsättning bara laddstationer för båda dessa anläggningstyper i den fortsatta texten.

Anläggningar anslutna till laddstationer för elbilar eller elfärjor kan även kombineras ett större energilager i form av batterier för att kunna kapa effekttoppar samt för bättre utnyttjande av solel för egen användning. Då batterier idag är förknippade med höga investeringskostnader är det idag inte lönsamt ekonomiskt att sätta in batterier enbart för att kapa effekttoppar men i framtiden då effektavgifter förväntas öka kan det bli intressant.

Om en solcellsanläggning av eller på ett bullerskydd utförs i anslutning till en vägtunnel med belysning kan den producerade solenergin användas, eftersom belysningen är tänd dagtid. Belysningen i vägtunnlar är dessutom högre vid starkt solsken. Se avsnitt 10.3Tunnelanläggning.

Elsystemet för elvägen utanför Sandviken har en spänning på 700 V likström. Ett solcellssystem som ansluts till växelriktare utförs normalt för en likspänning på 700 - 1 000 V. Därför kan ett solelsystem som utförs som bullerskydd, elvägstak etc. kopplas direkt till elvägens elsystem utan konvertering. På detta sätt kan förluster i konverteringsstegen undvikas och en hög total systemeffektivitet uppnås. Därför anses solcellsanläggningar kopplade till elvägens elsystem vara en bra framtida lösning.

Rekommendationen är att inkoppling av ett solcellssystem utförs direkt till kontaktledningen eftersom elanvändningen är stor dagtid när solen skiner och då trafiken är som störst. Detta kan ske via de transformatorstationer som finns placerade med ca 2 km mellanrum. Det kan bli potentiellt stora anläggningar eftersom transformatorstationerna står så tätt och därför blir inte den användbara ytan lika begränsad till vissa platser som i kapitlet för järnväg.

Eftersom solelsystemet tidvis ger mer effekt än den som används i elvägsystemet kommer överskottselen att matas ut på det allmänna elnätet via dessa transformator-/likriktarstationer.

Storleken på dessa kommer då att utgöra en effektbegränsning av ett solcellssystem. Därav skulle det vara fördelaktigt att även ansluta solcellssystemet via standardväxelriktare till 400/230 V:s elnätet i respektive transformator-/likriktarstation.

Solelproduktionen från bullerskydd med solceller PVNB (Photovoltaic Noise Barrier) längs vägar kan reduceras p.g.a. damm och smuts från biltrafiken. Detta gäller speciellt vid lågt monterade solceller nära vägbanorna.

Figur 22 Strömavtagare på lastbil på elvägen E-road Arlanda. Foto: E-road Arlanda

10.2.3. Affärsmodeller vägar

När det gäller vägar är förutsättningarna för markägandet lite annorlunda jämfört med järnvägens. Trafikverket äger inte marken men har enligt väglagen (1971:948) vägrätt vilket innebär rätt för väghållaren att nyttja mark eller annat utrymme som behövs för en väg, trots den rätt som någon annan kan ha till fastigheten.

I den mån någon inskränkning inte har gjorts i vägplanen, i en skriftlig överenskommelse eller i ett beslut om förändring av enskild väg till allmän, ger vägrätt även i övrigt väghållaren rätt att i fastighetsägarens ställe

- Bestämma över markens eller utrymmets användning under den tid en består, och
- Tillgodogöra sig alster och andra tillgångar som kan utvinnas ur marken eller utrymmet.

För att uppföra solcellsanläggningar i väganläggningen är det därför viktigt att anläggningen räknas som en del av väganläggningen. Elvägar och anläggningar i anslutning till dem är relativt nytt och juridiken kring detta måste sannolikt prövas.

Trafikverket har idag ingen stor elanvändning vid vanliga vägar men om Trafikverket börjar bygga ut laddstationer vid rastplatser ökar dess elanvändning vid vägar markant och i dessa platser bör Trafikverket äga anläggningen. Affärsmodeller där en extern part tex ett energibolag erbjuds att sätta upp en solcellsanläggning i form av ett bullerskydd vid en väg kan bli aktuellt, om det finns en anslutning till ortsnät i närheten. Även Trafikverket skulle kunna äga anläggningen och ansluta den direkt mot ett ortsnät i närheten. Ett anslutningsavtal måste då upprättas eftersom Trafikverket då inte kommer att använda elen själva utan skickar ut all el på det allmänna elnätet. Det som i så fall behöver beaktas är att producerad el som levereras till det externa elnätet får varje timme inte överstiga den mängd

el som Trafikverket inom ett visst elområde köper under samma timme för att undvika att bli nettorproducent av el.

Elvägar kan antas komma att få en stor elanvändning i framtiden men i dagsläget är det endast demonstrationsanläggningar som finns. För elvägar rekommenderas att Trafikverket äger anläggningen och matar kontaktledningen via transformatorstationerna eftersom elen då kommer Trafikverket direkt tillgodo och framdriften av lastbilarna som använder elvägen sker med närproducerad förnybar el.

10.2.4. Ekonomi och lönsamhet vägar

När lönsamhet ska beräknas för solcellsanläggningar placerade nära en väg måste två scenarier beaktas. Dels att elen inte används i Trafikverkets elanläggning utan matas ut på externt elnät och dels att Trafikverket använder elen i eget nät. I det fall när Trafikverket inte använder elen blir lönsamheten något sämre eftersom varje producerad kWh inte ger upphov till en besparing i den rörliga nätavgiften som annars sparas in när elen används som energieffektivisering i eget nät. Elen som levereras ut på externt elnät har därför ett mindre värde än elen som används i tex en elväg eller en laddstation som Trafikverket själva äger. I denna kalkyl antas att Trafikverket får samma ersättning för levererad el som ett externt energibolag skulle få dvs spotpriset vilket här sätts till 0,45 kr/kWh inkl värdet av tillhandahållna elcertifikat. Detta ska jämföras med att värdet av den producerade solelen blir 0,59 öre för fallet nedan där elen används av Trafikverket själva.

Som ett räkneexempel har lönsamheten för en solcellsinstallation för ett fem km långt bullerskydd beräknats, med samma produktionssiffror som i kapitel 10. Uppskattad investering sätts på samma sätt till 8 kr/Wp för en stor anläggning över 1 MWp. Man bör vi nyproduktion av bullerskydd räkna bort kostnad för traditionellt skydd vid beräkning av lönsamhet för att få en rättvisande bild vilket är gjort här.

Trafikverket eller externt energibolag äger anläggningen och säljer elen till spotpris

Potentiell installerad effekt 5,4 MWp

Potentiell energiproduktion: 5260 MWh/år

Kostnad installation: 43 miljoner

Intäkter per år: 2,3 miljoner

19 års rak pay off exkl bidrag

När det gäller solcellsanläggningar i anslutning till elvägarna eller till en laddstation med snabbladdare bedöms att Trafikverket bör äga solcellsanläggningen och mata den mot elvägens kraftnät respektive laddstationerna. Trafikverket betalar energiskatt för all el som går till vägar och det antas att även el till elvägar kommer att belastas med energiskatt. Detta borde medföra ökad lönsamhet pga besparad energiskatt för denna typ av projekt. Men

eftersom gällande lagar för energiskatt på solel medför att Trafikverket för större anläggningar över 255 kWp skulle behöva betala energiskatt för den egenanvända solelen och därför blir beräkningen och lönsamheten samma som för järnvägar. Värdet av den producerade solelen blir 0,59 öre inklusive värdet av tillhandahållna elcertifikat för fallet nedan där elen används av Trafikverket själva.

Trafikverket äger anläggningen och använder elen

Potentiell installerad effekt 5,4 MWp

Potentiell energiproduktion: 5260 MWh/år

Kostnad installation: 43 miljoner

Intäkter per år: 3,1 miljoner

14 års rak pay off exkl bidrag

Summering
Det är mer ekonomiskt lönsamt att Trafikverket äger anläggningen och hittar en stor last som kan effektmatchas mot solcellsanläggningens toppeffekt tex en laddstation med snabbladdare eller en elväg. På dessa platser är det mest lönsamt att bygga solcellsanläggningen i närheten av en bilväg.

10.3. Tunnelanläggning

Trafikverket har byggt en 10 kW markmonterad solcellsanläggning vid en bilvägstunnel i Enköping, Ullbrotunneln, som förser belysningen inne i tunneln med elkraft (Mats Andersson, Trafikverket, presentation April 2018). När solen skiner starkt, höjs ljusstyrkan inne i tunneln, vilket innebär att användningen matchar produktionskurvan på ett bra sätt. I denna utredning har en förenkling gjorts med antagandet om att belysningen är lika stark i infartzon som i inre zon i tunneln. Vid projektering för att gå vidare med denna anläggningstyp bör detta utredas vidare mer i detalj för att på rätt sätt matcha effektbehovet i tunneln genom att studera belysningens energianvändning timme för timme.

10.3.1. Potential tunnelanläggning

Potentialen för solcellsanläggningar placerade i anslutning till tunnelanläggningar i vägnätet beräknats med följande avgränsningar:

- Inventering av tunnelanläggningar med belysning har avgränsats till europavägar samt riksväg 40 i Sverige.
- Tunnelbelysning antas finnas i alla vägtunnlar längre än 100 m.
- Placering av solcellsanläggning till tunnelbelysning bedöms kunna ske på fria ytor utan skuggning.

En simulering för tunnelbelysning om 10 kWp är gjord för ca 30 m tunnel. Simuleringsresultatet har sedan multiplicerats med uppskattad längd tunnel längst med europavägarna, samt riksväg 40, i Sverige.

Baslasten per meter tunnel beräknas vara ca 0,3 kW.

Resultat

Tunnelnamn	Väg	Längd [m]	Installerad effekt [kWp]	Årsenergi [MWh]
Jerikotunneln	E20	110	36	33
Åretunneln	E14	135	45	41
Grindtunneln	E6	149	49	45
Fredhällstunneln	E4/E20	210	69	63

Gårdstenstunneln	E6	235	78	71
Ullbrotunneln	E18	235	78	71
Gerumstunneln	E6	250	83	75
Norra Brobytunneln	E18	260	86	78
Värötunneln	E6/E20	265	87	80
Blekholmstunneln	E4	350	116	105
Ulricehamnstunneln	Väg 40	400	132	120
Eugeniatunneln	E4	440	145	132
Tingstadstunneln	E6	454	150	136
Gnistängstunneln	E6	712	235	214
Söderledstunneln	E4	1580	521	474
Götatunneln	E45	1600	528	480
Lundbytunneln	E6	2060	680	618
Norra länken	E20	3695	1219	1109
Förbifart Stockholm	E4	17000	5610	5100
Totalt		**30100**	**10 000**	**9 000**

Tabell 8 Potential tunnlar

Trafikverket köper årligen in ca 2750 GWh el och en grov uppskattning av energibehovet för en resa mellan Göteborg och Stockholm med X2000 är 4,5 MWh (Beräknad på en hastighet om mellan 150 - 200 km/h på plan mark). Resultatet visar att simulerade tunnelanläggningar kan generera en solelproduktion motsvarande:

Tunnelbelysning, europavägar + väg 40: 9 GWh/år

0,3 % av Trafikverkets årliga inköp av el eller 18 000 resor med X2000 mellan Stockholm och Göteborg.

10.3.2. Tekniska och juridiska hinder tunnelanläggning

Solcellsanläggningar i kombination med tunnelanläggningar är fördelaktigt då produktionen matchar förbrukningsprofilen mycket bra eftersom belysningen är tänd under

dagtid, till skillnad från gatubelysningen, samtidigt som styrkan på belysningen ökar när solen skiner som starkast.

Solcellsanläggningen ansluts till elsystemet i tunneln och optimeras mot lasten genom timvärdesmatchning där solcellsanläggningens toppeffekt matchas mot belysningsanläggningens förbrukningsprofil. Eftersom solelproduktionen matchar förbrukningsprofilen så bra kommer även effekttoppar kunna kapas under soliga dagar och det i sin tur kan ge besparingar i form av sänkta effektavgifter vilket gör att ekonomiska lönsamheten öka. Ur elektrisk aspekt är anslutningen inget bekymmer.

Juridiskt behöver utredas vad som gäller angående nätkoncession. Det kan vara olika ägare av tunneln och marken ovan tunneln vilket kan innebära att kablas dras mellan fastigheter. Ifall IKN- förordningen kan användas och anläggningen ses som en del av tunnelanläggningen behöver prövas.

Det behöver även fastställas om solcellsanläggningen är inom ytan för vägrätt eller inte. Oavsett så placeras solcellsanläggningen på mark som ägs av annan aktör och oavsett vilket alternativ så kommer utredning krävas för att fastställa vad som gäller, och ifall solcellsanläggningen då kan ses som en del av vägnätet.

10.3.3. Affärsmodeller tunnelanläggning

Eftersom dessa solcellsanläggningar dimensioneras för att matcha tunnelbelysningens elanvändning momentant så kommer inget överskott att behöva skickas ut på externt elnät. Därför blir det enkelt att bestämma lämplig affärsmodell för denna anläggningstyp vilket blir att Trafikverket äger anläggningen på annan aktörs mark.

- Markupplåtningsavtal behövs
- Räknas anläggningen som att den är väsentlig del av vägens drift? Eller kan markägaren neka rätt att uppföra dessa?

10.3.4. Ekonomi och lönsamhet tunnelanläggning

Eftersom dessa solcellsanläggningar dimensioneras för att matcha tunnelbelysningens elanvändning momentant så kommer inget överskott att behöva skickas ut på externt elnät. Lönsamheten för ett projekt blir därför lätt att beräkna. Anläggningarna är relativt små men eftersom anslutningen blir enkel med matning för belysningen är kostnaderna antagna till 10000 kr/kWp.

Eftersom Trafikverket betalar energiskatt för all el som används till vägdrift så blir värdet av producerad solel inklusive elcertifikat högre än tidigare dvs 0,59+0,35=0,94 kr/kWh.

Som exempel beräknas lönsamheten för en anläggning med storleken 80 kWp, markmonterad på pålar.

Trafikverket äger anläggningen och använder elen

Potentiell installerad effekt 80 kWp

Potentiell energiproduktion: 73 MWh/år

Kostnad installation: 0,8 miljoner

Intäkter per år: 69 000 kr

Rak pay off: 12 år utan bidrag

Som exempel på ett system där anläggningen är större än 255 kWp och då blir energiskattepliktig beräknas lönsamheten för en anläggning med storleken 800 kWp, markmonterad på pålar.

Värdet av producerad solel inklusive elcertifikat blir då samma som för järnvägsdrift dvs 0,59 kr/kWh.

Trafikverket äger anläggningen och använder elen

Potentiell installerad effekt 800 kWp

Potentiell energiproduktion: 730 MWh/år

Kostnad installation: 8 miljoner

Intäkter per år: 430 000 kr

Rak pay off: 18 år utan bidrag

10.4. Jernhusen stationshus/depåer

Jernhusen AB äger och förvaltar fastigheter som är eller har varit knutna till Sveriges järnvägsnät. Detta innefattar järnvägsstationer, kontorsfastigheter, terminaler och tågverkstäder. Merparten av fastigheterna ligger i eller omkring större städer.

Jernhusen AB bildades i januari 2001 efter Statens Järnvägars avknoppning. Tidigare hade man bestått av divisionen SJ Fastigheter. Jernhusen ägs helt av Svenska staten. Jernhusens uppdrag från staten är att medverka till att stationer och verkstäder utvecklas och ställs till förfogande för trafikoperatörer, resenärer och andra användare på konkurrensneutrala villkor.

Jernhusens långsiktiga mål är att inköpt energi ska minska med 50% till år 2030 relativt år 2008. I dagsläget köper Jernhusen cirka 25% av sin el av Trafikverket.

Anledningen till att Jernhusens byggnader i denna rapport behandlas som en anläggningstyp som kan vara intressant för Trafikverket, är att Jernhusens depåer potentiellt rymmer stora solcellsanläggningar och det kan finnas en möjlighet att Jernhusen själva inte har användning för all den producerade energin.

Det skulle då eventuellt kunna öppna för ett samarbete mellan de två aktörerna kring solel.

Figur 23 Sävenäs depå. Foto: Jernhusen

10.4.1. Potential stationshus/depåer i Sverige

I en rapport som Jernhusen har låtit ta fram har en inventering gjorts av byggnadsbeståndet inom företaget.

Den totala potentiella takyta har beräknats till 400 000 m² varav 240 000 m² är lämpligt för solceller och är yta med hög instrålning. Totalt 126 byggnader har utvärderats.

Potential för installerad effekt: 26,7 MWp

Potential för solelproduktion: 24 GWh/år

Jernhusens elinköp uppgick till 84 GWh under 2017, potentiell producerad solel enligt ovanstående motsvarar 25 % av elförbrukningen.

Den totala investeringskostnaden på lämpliga tak skulle vara uppskattningsvis 266 miljoner kronor.

Avgränsningar

Studien är enbart genomförd ur ett tekniskt perspektiv; vilka byggnader har tak och takmaterial som lämpar sig för solceller. Andra aspekter, såsom lämplighet för verksamheten, eventuella K-märkningar eller Jernhusens strategiska planer för fastigheten

är inte invägda i studien. Därför är det inte säkert att alla föreslagna byggnader lämpar sig för solceller.

Tågstationer är ofta k-märkta och därmed ofta olämpliga.

Endast byggnader har utvärderats, dock äger Jernhusen även stora markytor. Area av dessa är ej levererade från Jernhusen. Här kan finnas stor potential, som dock bör utredas vidare.

Trafikverket köper årligen in ca 2750 GWh el och en grov uppskattning av energibehovet för en resa mellan Göteborg och Stockholm med X2000 är 4,5 MWh(lägg in fotnot). Resultatet visar att simulerade tak kan generera en solelsproduktion motsvarande:

Högpresterande svarta solceller 24,2 GWh/år
0,9 % av Trafikverkets årliga inköp av el eller 5400 resor med X2000 mellan Stockholm och Göteborg.

10.4.2. Tekniska och juridiska hinder stationshus/depåer

Anslutning av solcellssystem på Jernhusen byggnader bör utföras till fastighetens elnät, efter fastighetens elmätare.

Jernhusens byggnader strömförsörjs med servisledning 400/230 V, 50 Hz av den nätägare som har koncessionsrätten i området. Det är även nätägaren som ombesörjer så att elmätaren kan mäta både inkommande och utgående el.

Solcellsentreprenören ska göra en föranmälan innan entreprenaden påbörjas och en färdiganmälan när entreprenaden är slutförd. Driftsättning får endast ske efter godkännande från nätägaren.

Den producerade elen kommer att nyttjas till fastighetens eldrift såsom allmän kraft, belysning, ventilation, pumpar, kyla etc. Om belysningen på perrongen är ansluten till Jernhusens elmätare, kommer även denna att strömförsörjas från den producerade solelen, även om denna oftast är helt släckt under den tid då solelproduktion förekommer.

Vid beräkning och projektering av respektive solcellsanläggnings storlek, bör därför hänsyn tas till fastighetens elanvändningsprofil för att minimera överproduktion ut i elnätet.

Laddstationer för bilar på egen tomtmark kan med fördel installeras tillsammans med en solcellsanläggning.

Om taken på stationsbyggnader och depåer har en god solinstrålning med rätt lutning och riktning utan skuggande föremål är nästa steg att kontrollera takens hållfasthet och skick.

Den tillkommande vikten för solpaneler inkl. montagesystem är på lutande och platta tak utan ballast ca 20 kg/m². Normalt brukar det inte vålla några problem med denna tillkommande vikt på lutande tak. Taken på gamla byggnader med platta tak är dock många gånger underdimensionerade enligt dagen skärpta konstruktionskrav och medger därmed inte en ökad vikt med solceller.

Det enklaste montagesättet på platta tak är med ballast om takkonstruktionen medger detta.

Beroende på byggnadens höjd och vindförhållanden kan ballasten på ytterkanter uppgå till ca 40 kg eller mer. I dessa fall kan en kombination med svetsade fästplattor och ballast vara nödvändig.

Eftersom en solcellsanläggning har en teknisk livslängd på 30 år eller mer, bör takets tätskikt vara i så gott skick att det inte behöva läggas om inom de närmaste åren.

Vid låga ostörda byggnader bör risken för skadegörelse bedömas. Man bör se till och försvåra så att inga obehöriga kan ta sig upp på byggnadens tak.

Varningsskyltar för livsfarlig hög likspänning ska uppsättas vid tillträdelsevägar till tak, såsom stegar, uppstigningsluckor och dörrar. Dessutom ska skyltning utföras på tak och väggar längs ledningsstråk.

10.4.3. Affärsmodeller stationshus/depåer

Stationshusen ligger vanligtvis i anslutning till järnvägens kraftsystem och lämpliga anslutningspunkter.

Depåerna kan däremot ligga längre bort i vissa fall men eftersom tågen kör in i depåerna finns det en anslutningspunkt att ansluta mot Trafikverkets anläggning. Då Trafikverket har koncessionsrätt att dra elnät för alla nät som behövs för järnvägsdrift samt längs med vägar bör detta inte vara något som ställer till det juridiskt. Om depåerna är kopplade till Trafikverkets elnät så är det dessutom möjligt att mata in elen direkt i kontaktledningen via en omformarstation eller i hjälpkraftsnätet. Depåerna kan med sina stora takytor ge plats åt mycket stora solcellsanläggningar (1-2MW).

Stationshus och depåer ägs normalt av Jernhusen eller Trafikverket. Detta innebär att det uppstår några olika varianter av ägandeformer/affärsmodeller för en solcellsanläggning vilket beskrivs nedan.

- I det fall Trafikverket äger både fastighet och solcellsanläggning finns inga juridiska hinder till att koppla upp den mot det egna kraftnätet. I det fall man väljer att ansluta anläggningen till ett externt kraftnät bör ett anslutningsavtal upprättas för att reglera in- och utflöden från anläggningen.

- Om istället Trafikverket äger anläggningen på Jernhusens fastighet måste Trafikverket upprätta markupplåtningsavtal med Jernhusen men ur ett elmarknadsperspektiv skiljer sig detta inte från alternativen där Trafikverket äger marken.

- Om Jernhusen anlägger en solcellsanläggning på sin egna fastighet ser vi inga juridiska hinder att ansluta en solcellsanläggning till fastighetens elnät. Det är dock osäkert vilken lönsamhet Jernhusen kan få om de får överskott och måste mata ut el

på nätet. Hänsyn bör därför tas till fastighetens elanvändningsprofil för att minimera överproduktion ut i elnätet.

- Jernhusen äger solcellsanläggning på Trafikverkets fastighet.

10.4.4. Ekonomi och lönsamhet stationshus/depåer

För stationshus och depåer finns två alternativa ägare av solcellsanläggningen föreslagna, dels att Jernhusen äger solcellsanläggningen och dels att Trafikverket äger anläggningen. I fallet att Trafikverket äger anläggningen är det mest lämpligt att solelen matas direkt mot kontaktledningen via en omformarstation som har en hög baslast dagtid. Troligen kommer effektbehovet i omformarstationen att vara större en den effekt som motsvarar den anläggning som ryms på de största depåtaken. Fördelen med detta alternativ är att inget överskott måste matas ut från anslutningspunkten tillbaka till det externa elnätet.

I fallet att Jernhusen äger anläggningen behöver fastighetens energianvändningsprofil tas fram för att beräkna hur stor andel av elen som Jernhusen kan använda direkt för egna behov i byggnaden respektive hur mycket som måste säljas till det externa elnätet.

Beräknad egenanvändningsgrad för detta alternativ blir med simuleringsprogrammet PV Sol 37% med antagandet att den potentiella solelproduktionen per år på en depå är lika stor som årselanvändningen. I verkligheten måste baslasten tas fram för aktuell depå för att kunna bedöma korrekt egenanvändningsgrad men i denna utredning har energianvändning och information om baslaster per varje fastighet som Jernhusen äger saknats. Liknande antaganden om egenanvändningsgrad kan göras för stationsbyggnaderna.

Antaganden görs också kring de elpriser som Jernhusen betalar för sin elanvändning. Jernhusen är inte energiskattebefriade och därför antas elpriset för köpt el vara kring 1 kr/kWh i skrivande stund. Om ett överskott bildas momentant från en solcellsanläggning måste det säljas till ett elhandelsbolag och i denna utredning antas att värdet av den sålda elen är 0,4 kr/kWh. Till detta adderas värdet från försäljning av elcertifikat som i dagsläget beräknas vara 0,1 kr/kWh.

Värdet av den producerade solelen blir då:

Egenanvänd solel: 1,1 kr/kWh

Såld solel: 0,5 kr/kWh

Viktat värde av en producerad kWh med egenanvändningsgrad 37% blir således: 0,72 kr/kWh

Som räkneexempel används verkstadsdepån Fjällbo utanför Göteborg. Installationskostnaden för en solcellanläggning av den här storleken bedöms till 8000 kr/kWp exkl moms.

Jernhusen äger anläggningen och använder elen (utan att betala energiskatt för egenanvänd solel)

Potentiell installerad effekt 2,2 MWp

Potentiell energiproduktion: 1890 MWh/år

Kostnad installation: 17,6 miljoner

Intäkter per år: 1,4 miljoner

Rak pay off: 13 år utan bidrag

Om nuvarande lagar kring energiskatt för solelproduktion förväntas finnas kvar med samma nivåer och belasta solelproduktion från anläggningar över 255 kWp så måste värdet av produktionen från denna anläggning minskas med energiskatten för den egenanvända andelen av produktionen. Värdet för egenanvänd solel minskar då från 1,1 kr/kWh till 0,75 kr/kWh och det viktade värdet blir istället 0,59 kr/kWh. Med kravet på energiskatt på solel blir således motsvarande beräkning:

Jernhusen äger anläggningen och använder elen (och betalar energiskatt för egenanvänd solel)

Potentiell installerad effekt 2,2 MWp

Potentiell energiproduktion: 1890 MWh/år

Kostnad installation: 17,6 miljoner

Intäkter per år: 1,1 miljoner

Rak pay off: 16 år utan bidrag

I fall 2 där Trafikverket äger solcellsanläggningen blir värdet på solenergin annorlunda.

Eftersom Trafikverket är nästintill helt undantagna energiskatt (större delen av energianvändningen till järnvägen lyder under undantaget) så blir elpriset lägre vilket också medför lägre intäkter. Intäkterna blir dock desamma oavsett om elen matas ut på nätet eller används direkt för att mata kontaktledningen via en omformarstation och motsvarar i

skrivande stund ett värde av 0,49 kr/kWh. Inklusive elcertifikat blir värdet således 0,59 kr/kWh.

Trafikverket äger anläggningen och använder elen

Potentiell installerad effekt 2,2 MWp

Potentiell energiproduktion: 1890 MWh/år

Kostnad installation: 17,6 miljoner

Intäkter per år: 1,1 miljoner

Rak pay off: 16 år utan bidrag

Summering

Med dessa antaganden och med antagandet om att energiskatt på egenanvänd solel kommer att finnas kvar i framtiden så blir lönsamheten ungefär densamma för om Jernhusen eller Trafikverket äger anläggningen. Om energiskatt på egenanvänd solel tas bort i framtiden blir det mer lönsamt om Jernhusen äger anläggningen. Det finns dock fördelar med att solelen används för att mata kontaktledningen via en omformarstation eftersom den momentana baslasten bättre motsvarar toppeffekten på den solcellsanläggning som skulle kunna få plats på ett större depå tak.

10.5. Perrongtak

Intro perrongtak

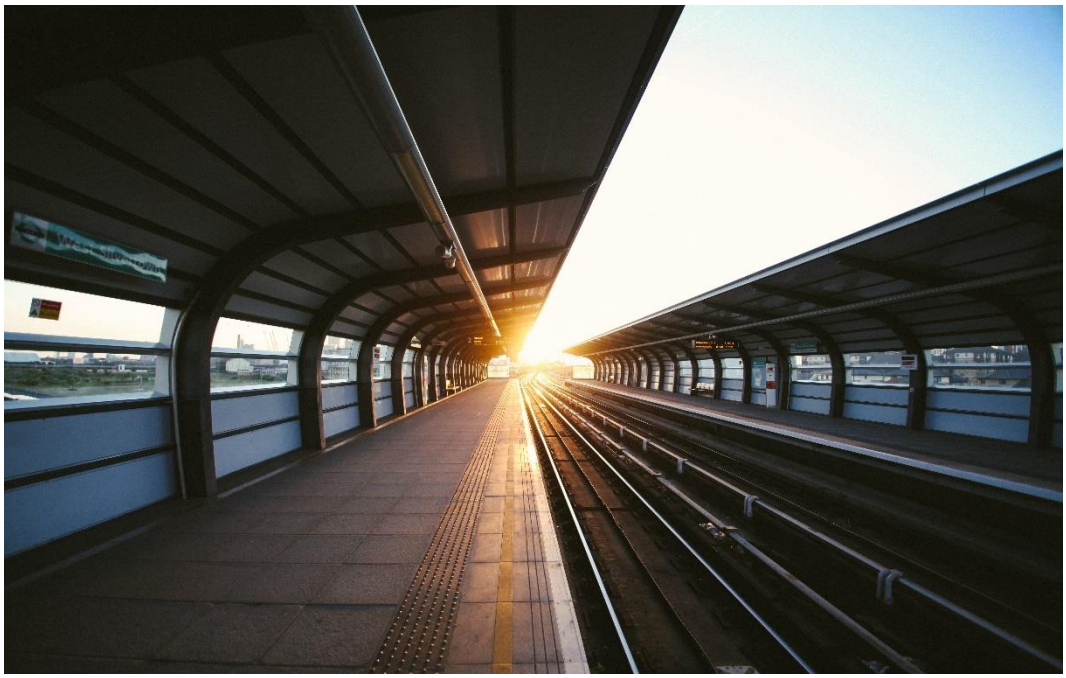
Tak över stationsplattformar kan erbjuda möjligheter att montera solcellsmoduler.

I Nederländerna har tre toppmoderna plattformstak byggts till järnvägsstationen i Utrecht. Taken är halvtransparenta och består av laminerat glas med integrerade solceller.

I Sverige finns många plattformstak, med både modernt och äldre utseende.

Själva takskiktet skulle kunna ersättas med solcellsmoduler på befintlig konstruktion. Det finns moduler med olika transparensgrad och solcellstekniker. Vid krav på antikvariska bevarandekrav finns idag solcellsmoduler som till utseendet liknar äldre takbeläggningar.

Det kan därför finnas goda möjligheter att i samband med nybyggnation eller renovering enligt underhållsplan, utvärdera möjligheten med solcellsmoduler på plattformstak.



Figur 24 Plattformstak kan utformas på många olika sätt. Foto: Pixabay

10.5.1. Potential perrongtak

Potentialen för solcellsanläggningar placerade på perrongtak har beräknats med följande avgränsningar:

- Perrongtak för centralstation i var och en av Sveriges kommuner med över 100 000 invånare har studerats (18 stycken)
- Ett uppskattat medelvärde för ett perrongtak på centralstationer i kommuner med invånarantal mellan 25 000 - 100 000 har beräknats (87 stycken)
- Kommuner med invånarantal under 25 000 bedöms inte ha perrongtak med möjlighet för installation av solceller
- Ett perrongtak har ett sadeltak med lutning om ca 10 grader och är ca 3,6 m brett
- Perrongtaken bedöms vara placerade på stora fria ytor utan skuggning

En simulering är gjord för 100 m perrongtak med solceller placerade på båda sidorna av sadeltaket. Två typer av solceller har simulerats: högpresterande svarta solceller samt halvtransparenta. De halvtransparenta passar att använda som byggnadsintegrerade solceller istället för en takkonstruktion då de också släpper igenom ljus. Simuleringsresultatet har sedan multiplicerats med längden uppskattade perrongtak i Sverige.

Resultat

Anläggningstyp	Total längd (m)	Installerad effekt [kWp]	Årsenergi [MWh]
Storstad, högpresterande svarta moduler	2755	14 100	12 000
Storstad, halv-transparenta moduler	2755	10 800	8 800
Mindre stad, högpresterande moduler	2390	22 700	19 400
Mindre stad, halv-transparenta moduler	2390	17 500	14 500
Totalt högpresterande moduler	**5145**	**36 800**	**31 400**
Totalt halv-transparenta moduler	**5145**	**28 300**	**23 300**

Tabell 9 Potential perrongtak

Trafikverket köper årligen in ca 2750 GWh el och en grov uppskattning av energibehovet för en resa mellan Göteborg och Stockholm med X2000 är 4,5 MWh (Beräknad på en hastighet om mellan 150 - 200 km/h på plan mark). Resultatet visar att simulerade perrongtak kan generera en solelsproduktion motsvarande:

- **Högpresterande svarta solceller** 31 GWh/år
  1,1 % av Trafikverkets årliga inköp av el eller 7 000 resor med X2000 mellan Stockholm och Göteborg.

- **Halvtransparenta solceller** 23 GWh/år
  0,8 % av Trafikverkets årliga inköp av el eller 5 000 resor med X2000 mellan Stockholm och Göteborg.

10.5.2. Tekniska och juridiska hinder perrongtak

Stationsperronger och tak över perronger ägs och sköts i huvudsak av Trafikverket. El förbrukas främst till belysning och skyltar. Strömförsörjning till perronger är oftast anordnad från Jernhusens fastighetscentral. Jernhusen står då för abonnemanget och Trafikverket köper sin el till perrongerna via undermätare i Jernhusens elcentraler.

Solcellsanläggning på perrongtak kan antingen anslutas till elcentral i Jernhusens fastighet eller inkopplas och nyttjas till tågdriften. Anslutningen kan då ske mot ett 50 Hz högspänningsställverk i en omformarstation eller fördelningsstation.

Solcellsanläggningens effektbegränsning utgörs då av storleken på elcentral/ställverk i fastigheten, transformator, omformarstation eller fördelningsstation.

För anslutning av en solcellsanläggning direkt till hjälpkraften 400 V i en omformarstation kan transformator och ställverk vara underdimensionerade för solcellsanläggningens storlek. Transformatorerna för hjälpkraften (10 - 20/0,4 kV) är oftast i storleksordningen 500 kVA eller mindre. Dessutom kan reläskydd och säkringar behöva anpassas till omvänd strömriktning från solcellerna.

En betydligt större solcellsanläggning kan utföras om den ansluts till en egen transformator, 10-20 / 0,4 KV i omformarstation eller fördelning för hjälpkraft. Transformatorn kan då anpassas till solcellsanläggningens storlek.

10.5.3. Affärsmodeller perrongtak

Perrongtaken ägs och drivs i huvudsak av Trafikverket och finns inom järnvägsområdet. Juridiskt skulle man därför kunna använda den producerade solenergin till tågdriften. Detta förutsätter dock att det finns en bra anslutningsmöjlighet i närheten i t.ex. en bra anslutning till kontaktledningen via en omformarstation.

På bangårdar med uppställningsplatser för lastning/lossning, städning etc. har Trafikverket oftast ett eget elabonnemang 230/400 V, som används för perrongbelysning, värme till växlar och allmän kraft. En solcellsanläggning skulle då kunna kopplas in till detta system, utan juridiska hinder. Det är dock osäkert om detta är tekniskt möjligt se kapitel 10.3.2.

Om en solcellsanläggning på t.ex. perrongtak ansluts till Jernhusens elcentral kan den producerade solenergin inte användas av Trafikverket utan enbart nyttjas av Jernhusen för drift av stationsbyggnad och perrong.

10.5.4. Ekonomi och lönsamhet perrongtak

- Liknar förra exemplet om byggd ovanpå befintligt tak dvs 16 års rak pay off
- Troligen dubbel kostnad och lönsamhet för ett nytt eller befintligt tak med integrerade transparenta solceller.

10.6. Parkeringstak vid station

En möjlighet att använda mark i anslutning till stationer till solenergiproduktion, är att montera solcellsmoduler på ställningar på parkeringsplatser. Solcellsmodulerna får hög produktion på grund av god ventilation.

Om solcellsmoduler med transparent glas används, släpper taket igenom en viss mängd solljus och parkeringen upplevs då ljus och luftig.

Parkeringsplatser under solcellstak uppskattas ofta av bilförare som slipper sopa bort snö från bilen på vintern och kan köra en sval bil på sommaren.

Behovet av laddplatser för elbilar ökar allt mer och många använder bilen för att ta sig till närmaste pendlarparkering vid järnvägsstationer.

På Skaraborgs Sjukhus i Skövde är parkeringsplatser under solcellstak de mest populära bland personal och besökare. Sjukhuset har satsat stort och täcker nu ungefär halva sin baslast en solig sommardag med närproducerad förnyelsebar solel.

Figur 25 Parkeringstak på Skaraborgs Sjukhus, Skövde. Foto: Mikael Wallander, ÅF.

Till en början dimensionerades stålställningarna efter en snöröjningsmaskins höjd, vilket gjorde att det blev onödigt dyrt och som påverkade totalekonomin betydligt. Senare i projektet kapades höjderna något.

Eftersom anläggningarna är belägna vid sjukhusets huvudentré och är synliga för alla förbipasserande har de även ett stort marknadsföringsvärde.

10.6.1. Potential parkeringstak vid station

Potentialen för solcellsanläggningar placerade på parkeringstak har beräknats med följande avgränsningar:

- Parkeringstak för centralstation i var och en av Sveriges kommuner med över 100 000 invånare har studerats (18 stycken)

- Ett medelvärde för ett parkeringstak på centralstationer i kommuner med invånarantal mellan 25 000 - 100 000 har beräknats (87 stycken)

- Kommuner med invånarantal under 25 000 bedöms inte ha parkeringstak med möjlighet för installation av solceller

- Parkeringstaket täcker en yta om 5 x 2,5 m där solcellernas lutning kan optimeras beroende på parkeringsplatsens lokala förhållanden.

- Parkeringsplatserna bedöms medge stora fria ytor utan skuggning.

En simulering är gjord för 25 m parkeringstak, motsvarande 10 parkeringsplatser, med högpresterande svarta solceller, i detta fall utan transparens. Simuleringsresultatet har sedan multiplicerats med uppskattat antal parkeringsplatser vid Sveriges centralstationer.

Resultat

Anläggningstyp	Antal parkerings-platser	Installerad effekt [kWp]	Årsenergi [MWh]
Stor kommun	2 483	5 300	4 800
Mellanstor kommun	8526	17 600	16 000
Summa	**11 009**	**22 900**	**20 900**

Tabell 10 Potential parkeringstak

Trafikverket köper årligen in ca 2750 GWh el och en grov uppskattning av energibehovet för en resa mellan Göteborg och Stockholm med X2000 är 4,5 MWh (Beräknad på en hastighet om mellan 150 - 200 km/h på plan mark.). Resultatet visar att simulerade parkeringstak kan generera en solelsproduktion motsvarande:

- **Högpresterande svarta solceller** 21 GWh/år
  0,7 % av Trafikverkets årliga inköp av el eller 4 500 resor med X2000 mellan Stockholm och Göteborg.

10.6.2. Tekniska och juridiska hinder parkeringstak vid station

En solcellsanläggning som utförs som tak över en parkeringsplats vid järnvägsstation kan om parkeringsplatsen står på stationens tomtmark anslutas till stationsbyggnadens befintliga elcentral eller till en egen ny servisledning om parkeringsplatsen står på t.ex. kommunal mark.

Ny servisledning ombesörjs av nätägaren med koncessionsrätt inom respektive område. Anläggningen får då eget el abonnemang. Till denna servis bör då förbrukningsobjekt såsom ladd stationer, belysning etc. anslutas.

Då parkeringsplatser ofta är relativt stora finns möjlighet att göra en stor solcellsanläggning. Ifall anläggningen ansluts till stationshuset eller till en egen servis blir överproduktionen troligen väldigt stor. Men då fler och fler offentliga parkeringar får laddplatser för elbilar kommer elanvändningen vid en parkeringsplats öka i framtiden.

Anläggningen kan optimeras till antalet laddstationer och ha batterilager för att jämna ut effekttoppar och energiåtgången över dygnet. Smart styrning är väldigt viktigt. Då parkeringsplatser vid stationer oftast är belagda under dagtid blir matchningen mot solelproduktionen bättre än traditionell parkering vid bostäder.

Blir produktionen mycket högre än förbrukningen kan problem uppstå och anläggningen tolkas som producent vilket medför nya frågeställningar.

På samma sätt som solceller på perrongtak så kan solceller över en parkeringsplats i närheten av en station anslutas till antingen hjälpkraften eller en omformarstation. Då anläggningar över parkeringsytor tenderar att bli mycket större än solceller som perrongtak kan det vara bekymmersamt att ansluta till de mindre transformatorerna för hjälpkraft, vilket måste ses över i detalj för varje enskild anläggning.

Det är bättre lämpat att ansluta till en egen transformator i en omformarstation då storleken lättare kan anpassas efter solcellsanläggningen.

10.6.3. Affärsmodeller parkeringstak vid station

För parkeringstak vid station är antingen Jernhusen eller kommunen ägare av marken. Här kan solcellsanläggningen ägas av Jernhusen, Trafikverket eller kommunen.

Om Jernhusen äger marken och solcellsanläggnigen kan en solcellsanläggning som parkeringstak anslutas juridiskt till stationsbyggnaden som ägs av Jernhusen. Den producerade solenergin nyttjas då av Jernhusen.

Om parkeringstaket står på kommunal mark måste det anslutas med egen servis och abonnemang. Solcellsanläggningens tak får därför juridiskt endast anslutas till denna servis. Ny servisledning ombesörjs av nätägaren med koncessionsrätt inom respektive område.

Om Trafikverket anlägger en solcellsanläggning på kommunens eller Jernhusens mark ansluts den lämpligtvis till Trafikverkets eget kraftnät om ett sådant finns i närheten. Trafikverket måste upprätta markupplåtningsavtal med Jernhusen men ur ett elmarknadsperspektiv är detta inte något problem.

Vilken affärsmodell som är lämpligast beror på storleken på solcellsanläggningen, vem som äger marken samt vilka resurser som finns tillgängliga att ansluta till. En stor anläggning bör lämpligen anslutas till Trafikverkets nät, ifall det är juridiskt möjligt med hänsyn till nätkoncessionen och vem som äger marken. För mindre anläggningar i närheten av stationshus är det bättre lämpat att ansluta till elcentral i stationshuset, speciellt om Jernhusen äger både mark och stationshus.

10.6.4. Ekonomi och lönsamhet parkeringstak vid station

Som ett räkneexempel har lönsamheten för en solcellsinstallation som parkeringstak om 1 MW solcellseffekt antagits. (Parkeringsplatsen vid centralstationen i Göteborg skulle kunna rymma en anläggning i denna storlek). För en så stor anläggning är det enbart av intresse för Trafikverket att äga anläggningen eftersom det skulle bli ett stort överskott ifall elen istället matas in i stationsbyggnaden. Här antas att elen matar en omformarstation eller hjälpkraftsledningen i närheten utan att överskott måste matas till externt elnät. Som i tidigare kapitel antas solelens värde vara 0,59 kr/kWh när Trafikverket äger anläggningen och använder elen direkt. Kostnaden per installerad kWp blir mycket hög pga att det behövs mycket stål samt betong för grundläggning av de tunga stativen.

Trafikverket äger anläggningen och använder elen

Potentiell installerad effekt 1 MWp

Potentiell energiproduktion: 915 MWh/år

Kostnad installation: 40 miljoner

Intäkter per år: 0,54 miljoner

Rak pay off: 74 år utan bidrag

För exemplet Jernhusen antas en mycket mindre anläggning vara lämplig, för att bättre matcha stationsbyggnadens elanvändningsprofil och baslast för att minska överskottsproduktion. En anläggning på max 255 kWp antas för att slippa betala energiskatt för egenanvänd solel. Egenanvändningsgraden antas vara 37% precis som i kapitel 10.2.4.

Värdet av den producerade solelen blir då:

Egenanvänd solel: 1,1 kr/kWh

Såld solel: 0,5 kr/kWh

Viktat värde av en producerad kWh med egenanvändningsgrad 37% blir således: 0,72 kr/kWh

Jernhusen äger anläggningen och använder elen

Potentiell installerad effekt 0,25 MWp

Potentiell energiproduktion: 229 MWh/år

Kostnad installation: 10 miljoner

Intäkter per år: 0,16 miljoner

Rak pay off: 60 år utan bidrag

Till sist görs för jämförelsens skull en beräkning för alternativet att kommunen eller ett energibolag äger anläggningen. Precis som i kap 10.1.4 görs antagandet att värdet av solel som ett energibolag kan sälja är 0,45 kr/kWh inkl. värdet av tillhandahållna elcertifikat. Detta ger med motsvarande siffror för en 1-MW-anläggning:

Energibolag äger anläggningen och säljer elen

Potentiell installerad effekt 1 MWp

Potentiell energiproduktion: 915 MWh/år

Kostnad installation: 40 miljoner

Intäkter per år: 0,41 miljoner

Rak pay off: 98 år utan bidrag

10.7. Solelparker på restytor

I och omkring Trafikverkets anläggningar finns stora ytor som inte nyttjas för själva infrastrukturen och som inte heller kan nyttjas för annat ändamål utifrån samhällets perspektiv. Det kan vara ytor som ligger mellan två infrastrukturer såsom på/avfartsramper, områden mellan väg och järnväg etc. Dessa så kallade rest ytor kan vara potentiella ytor för solelparker.

En markanläggning kan utföras så att marken kan återställas till sitt tidigare användningsområde med exempelvis markskruv. Exempelvis solcellsparken "Solsidan" i Varberg ligger utmed E6 och matar ut sin producerade el via närliggande vindkraftverks kabelsystem. Solcellsparken ägs av det kommunala energibolaget i Varberg och elen matas direkt in på elnätet. Marken är tidigare åkermark och är nu stängslad med högt stängsel. På marken betar får som ägs av närliggande lantbruk, och därmed hålls vegetation nere.

Figur 26 Solparken Solsidan utanför Varberg under byggnation. Foto: Solkompaniet

10.7.1. Potential solelparker

Potentialen att installera solcellsparker på restytor i närhet till Trafikverkets anläggningar är stor men har inte i denna utredning kunnat detaljstuderas.

Ett exempel på anläggningar längs Norrbotniabanan har beräknats och presenteras nedan.

Figur 27 Möjlig placering av solelpark i närheten av planerad driftplats väster om Båtvikstjärn för Norrbotniabanan mellan Umeå och Skellefteå. Området är ca 19 000m2. Källa: Eniro.se [2018-11-21]

Trafikverket köper årligen in ca 2750 GWh el och en grov uppskattning av energibehovet för en resa mellan Göteborg och Stockholm med ett X2000 tåg är 4,5 MWh. Resultatet visar att simulerade solelparker kan generera en solelproduktion motsvarande:

- **Solelparker, Norrbotniabanan** 26 GWh/år
  0,7 % av Trafikverkets årliga inköp av el eller 5 700 resor med X2000 mellan Stockholm och Göteborg.

10.7.2. Tekniska och juridiska hinder solelparker

Järnvägslagen säger att Trafikverket inte får ta mer mark i anspråk än vad som krävs för järnvägen och för drift och underhåll av densamma. Då solenergiparker traditionellt inte anläggs utifrån järnvägens behov behöver frågan tas internt inom Trafikverket tillsammans med planprövning för att se på möjligheterna för detta utifrån ett juridiskt perspektiv. Det finns starka motiv för att solcellsparker utgör en del av järnvägsanläggningen sett till de mål som är ställda i samhället. I miljömålet om begränsat klimatpåverkan har riksdagen tagit beslut om en vision om att Sverige inte ska ha några nettoutsläpp av växthusgaser till år 2045. Trafikverket har en viktig del i detta arbete och där kan solcellparker vara en del för att uppnå denna vision.

Det finns risk för stölder på grund av att det är ett utsatt och oövervakat läge. Risk för vandalisering finns också.

Finns ingen matarkabel/service/transformatorstation i närheten så kan det bli väldigt kostsamt att dra fram. Bra om det går att kombinera med tex. en vindkraftpark. Eftersom parkerna oftast blir stora bör dessa kopplas antingen till en omformarstation eller till ett energibolags elnät, tex framdraget till vindkraftverk. När det blåser skiner ofta inte solen och vise versa vilken medför att matarkabeln för kombinationen inte behöver vara dubbelt så stor ifall dessa energislag inte producerar samtidigt.

Figur 28 Solcellsparker kan placeras på restytor nära bilvägar och järnvägar. Foto: Pixabay

10.7.3. Affärsmodeller solelparker

Den mark som finns i och omkring driftplatserna ägs av Trafikverket, vid planerande av ny järnväg tas mark för drift och underhåll med i järnvägsplanen. Detta gör att det inte finns några hinder för Trafikverket att driva solcellsparkerna i egen regi. Då Trafikverket har eget abonnemang 400/230 V för elförsörjning till driftplatserna, antingen via hjälpkraft eller via lokalnät kan solcellsparker kopplas in dessa.

Ekonomi och lönsamhet solelparker

- Samma resultat som för bullerskydd vid järnväg
- Uppskattad investering 8 kr/Wp
- Trafikverket äger anläggningen för egen användning
    - 14 års rak pay off exkl. bidrag
- Externt elbolag äger anläggningen
    - 19 års rak pay off exkl. Bidrag

10.8. Ballastfritt spår

Ballastfritt spår (eng. slab track) är en variant på spåranläggning. I Sverige anläggs vanligtvis de två rälerna på så kallade slipers, som packas fast i makadam. Ett ballastfritt spår byggs istället upp av en längsgående betongplatta som ersätter slipers och makadam. Ett ballastfritt spår ger som regel ett bättre spårläge och ett mindre behov av återkommande underhåll. Till nackdelarna hör att det ökar bullret från spåranläggningen samt att det vid exempelvis urspårning tar längre tid att laga ett betongplattespår.

Under arbetet med de nya höghastighetsbanorna i Sverige (Ostlänken, Göteborg - Borås, Hässleholm - Lund) har ballastfritt spår varit ett förslag till byggstandard. Under denna utrednings gång har det dock beslutats att Ostlänken samt sträckan Göteborg - Borås ska byggas på traditionellt sätt med ballasterat spårsystem.

Det ballastfria spåret är en del av denna utredning eftersom den platta betongytan mellan rälerna potentiellt skulle kunna användas för att integrera solceller. Det finns dock uppenbara nackdelar med detta då solcellerna placeras platt mot marken vilket försämrar verkningsgraden samt att det ger upphov till ett omfattande behov av renhållning. Solcellerna täcks vanligtvis med glas vilket för det här fallet skulle innebära att det finns en stor risk för att detta går sönder vid underhåll av rälsen, om inte annat material används. Arbetsmiljö för underhållsåtgärder, skuggning samt uppvärmning då solpanelerna inte naturligt kyls av vinden är andra nackdelar som uppstår med detta byggsätt.

Utredningen finner det inte lämpligt att fortsätta utreda denna typ av solcellsanläggning.

Figur 29 Ballastfritt spår. Foto: Hannes Ortlieb

11. Sammanfattning Potentialen i Sverige

Trafikverket använder ca 2750 GWh el per år till en kostnad av ca 1,347 miljarder sek.

Tabell 11 presenterar de förslag som utretts i denna förstudie och inte Trafikverkets totala potential. Tex. inkluderar kapitlet om restytor enbart restytor längs Norrbotniabanan då arbetet med att identifiera alla möjliga restytor längs all järnväg i Sverige är för omfattande för denna förstudie och därför har endast en exempelsträcka studerats.

Trafikverkets sammanlagda totala potential skulle kunna överstiga Trafikverkets totala elanvändning med råge och en avgränsning har därför gjorts för att lyfta fram de ytor som av olika anledningar har utsetts som mest lämpliga och dessa har studerats närmare i denna förstudie.

För att producera 2750 GWh solel behövs en total installerad effekt på ca 3000 MWp. Att installera 3000 MWp solcellsanläggningar beräknas kosta ungefär 24 miljarder sek

För att aldrig riskera att få överskottsproduktion inom ett elområde behöver baslasten i varje elområde vara styrande för solcellsanläggningarnas totala storlek. Den totala installerade effekten på solcellsanläggningarna som ska ägas av Trafikverket och matas mot Trafikverket nät bör därför inte uppgå till mer än 125 MW vilket ger ca 115 GWh, ca 4 % av Trafikverkets elanvändning. Investeringskostnaden skulle uppgå till ca 1 000 miljoner sek.

Då elförbrukningen studeras vidare ses att det under dagtid när solcellsanläggningarna producerar som mest är elförbrukningen högre, tas detta i beaktning kan solcellsanläggningar på totalt 250 MW installeras. Detta ger en solelproduktion på ca 230 GWh, ca 8 % av Trafikverkets elanvändning. Investeringskostnaden skulle uppgå till ca 2 000 miljoner sek.

Den ackumulerade installerade kapaciteten solcellsanläggningar totalt i Sverige i slutet på 2018 beräknas vara ca 400 MWp.

Potentialen för Trafikverket att installera solceller storskaligt inom de anläggningstyper som behandlats i denna förstudie överstiger Trafikverkets baseffekt. De mest lönsamma anläggningstyperna eller anläggningar där synergieffekter uppstår bör därför väljas ut från de möjliga alternativen.

Placering	Typ av solcellsanläggning	Installerad effekt [kWp]	Årsenergi [MWh]	% av Trafikverkets årliga elinköp	Antal resor X2000 Gbg-Sthlm
Bullerskydd vid järnväg	33 gradig lutning	97 700	88 000	3%	19 500
	45 gradig lutning	210 000	212 000	8%	47 100
	90 gradig lutning	210 000	160 000	6%	35 500
Vägar	Bullerskydd, europavägar	1 400 000	1 100 000	40%	240 000
	Bullerskydd, urval europavägar	890 000	670 000	24%	150 000
	Tunnelbelysning	10 000	9 000	0,3%	18 000
Jernhusens fastigheter	Stationshus & depåer	26 700	24 200	0,9	5 400
Perrongtak	Högpresterande svarta	37 000	31 000	1,1%	7 000
	Halvtransparenta	28 000	23 000	0,8%	5 000
Parkeringstak	Högpresterande svarta	23 000	21 000	0,7%	4 500
Fria ytor - Trafikverkets mark	Solcellspark	27 000	25 650	0,7	5 700

Tabell 11 Summa potential olika anläggningstyper

12. Internationella erfarenheter

En utblick över hur andra länder arbetar med solenergi i transportsystem med fokus på Nederländerna som satsar stort.

Chile
I Chile invigdes en 110 MW stor solcellspark för att kunna leverera 300 GWh till Metro de Santiago, som är staden Santiagos tunnelbanesystem. Solcellsanläggningen beräknas leverera 42% av tunnelbanans energianvändning årligen. Parken består av strax över 250 000 solcellsmoduler och ryms på 174 hektar mark utanför Santiago.

Tunnelbanan i Santiago räknas som ett av de modernaste i Latinamerika, och är världens sjunde största system.

Årligen används tunnelbanan till 685 miljoner färder av människor i området.

Källor:

www.santiagotimes.cl/2018/01/12/chile-inaugurates-100-mw-solar-park-to-power-metro-de-santiago-video/

www.en.wikipedia.org/wiki/Santiago_Metro

Marocko
I Marrakesh, Marocko, har en 1 MW stor strålningskoncentrerande solcellsanläggning byggts, som förser stadens nya elbussar med delar av fordonens elanvändning.

Marocko har åtagit sig att öka sin del av förnyelsebar energi i sin elmix till 42% till år 2020.

Källa: www.uitp.org/news/solar-solutions-public-transport

Dubai
I Dubai presenterade transportmyndigheten RTA en så kallad abra-båt, som utrustats med solceller på taket för att förse elmotorerna med ström.

Solcellsanläggningen kan ladda båtens batteri till 100% under dagen och batteriet kan därefter driva båten i upp till 5h i 3–4 knop.

Projektet delfinansieras av FN som en del av en större satsning på solcellsdrivna vattentransporter i området.

Källa: www.uitp.org/news/solar-solutions-public-transport

Australien
I Melbourne, Australien, kommer från januari 2019 stadens spårvagnar att drivas helt av solenergi från flera stora solcellsanläggningar i området. Melbourne har världens största

spårvagnsnät med 250 km dubbelspår och transporterar årligen 200 miljoner passagerare varje år.

Detta kommer att spara 80 000 ton koldioxid varje år.

Källa: www.uitp.org/news/10-facets-melbourne-part-one

Sommaren 2007 började The Roads Corporation of Victoria (VicRoads) i Australien att sälja förnyelsebar el till det lokala elnätet från ett bullerskydd med solcellsmoduler som installerats i närheten av Melbournes flygplats.

VicRoads bulleranalyser hade visat att ett bullerskydd skulle behövas på den aktuella platsen och 500 m av den aktuella sträckan bestyckades med 210 st. amorft kiselsolcellsmoduler längst upp på en betongmur.

Muren är 4 meter hög och solcellsmodulerna installerades vertikalt, och uppfyller samma funktion som om den varit tillverkad helt i betong. Anläggningen levererar enligt plan och har inte visat sig ha någon störningspåverkan på trafiken.

VicRoads hade 2017 inga ytterligare planer på att bygga solcellsanläggningar, då det var svårt att få lönsamhet i projektet. I Australien är inmatningstarifferna för solel mycket låga. VicRoads hade ingen egen användning av den producerade elen i närheten av anläggningen. VicRoads utreder istället byggnation av större markanläggningar i framtiden.

Källa:
www.fhwa.dot.gov/environment/sustainability/energy/publications/photovoltaic/fhwahep17088.pdf

Figur 30 Bullerskydd monterade på bullerskydd av betong. Foto: VicRoads

Solcellsdrivet tåg i Byron Bay

Sedan slutet av 2017 rullar ett helt solcellsdrivet tåg i Byron Bay i New South Wales. Tåget har solcellsmoduler på taket som laddar tåget under färd, samt snabbladdning av dess batteri på 77 kWh vid stationen. Tåget kör en sträcka på 3 km helt på förnyelsebar energi.

Källa: www.futurism.com/worlds-first-fully-solar-powered-train-left-station

Figur 31 Byron Bay solcellsdrivet tåg som går helt på energi från solceller på perrongernas tak och tågets tak. Foto: Byron Bay Railroad Company

Indien

På järnvägsstationen i staden Guwahati i Indien har 2353 st. solcellsmoduler med en total effekt på 700 kW installerats på stationens tak.

För några år sedan beräknades att mer än 23 miljoner passagerare använder de indiska järnvägarna som ett sätt att pendla. För att tillgodose behoven hos detta stora antal personer är järnvägarna för närvarande landets största konsument av el och diesel.

För att ta itu med detta problem och sänka kostnaderna har statens regering i Guwahati installerat solcellsmoduler på stadens stora järnvägsstation. Projektet beställdes i april 2017, och uppmärksammades som den första kompletta soldrivna järnvägsstationen i nordöstra delen av landet.

En intressant aspekt av detta system är att det inte är ett "fristående" utan nätanslutet system. Det betyder att när det finns brist på solenergiproduktion dras kraft från nätet och vice versa.

I juli 2017 testades en uppsättning tågvagnar med solpaneler på taket av regeringen. Denna installation gav ström till alla bekvämligheter och system inuti tågen.

År 2025 planerar de indiska järnvägarna att 25% av dess energibehov ska skapas som förnybar energi, och man vill installera 5000 MW solkraft i järnvägsstationen.

Källa: www.evolving-science.com/environment/first-solar-powered-railway-station-india-00690

Storbritannien
En rapport som publicerades i december 2017 visar att solpaneler kopplade direkt till järnvägar i Storbritannien skulle kunna leverera en betydande del av elbehovet.

Författarna till en rapport från Imperial College i Londons Energy Futures Lab och organisationen 10:10 har utrett att elektriska järnvägar kan drivas av osubventionerad solenergi. Teamet har undersökt möjligheten att ansluta solpaneler direkt till de transformatorer som ger ström till järnvägssystemet. Detta system skulle använda anpassade elsystem och kringgå elnätet helt och hållet.

Utredningen fann att solcellsanläggningar och integrerade energilagring skulle kunna leverera cirka 10% av den energi som krävs för att driva tåg på Storbritanniens järnvägar varje år. Forskningen visar att denna förnybara el kan levereras till en lägre kostnad än den el som levereras via nätet idag.

Den största möjligheten som identifieras i studien är på pendeltågsnätet söder om London. Om 200 små solelparker installeras bredvid järnvägslinjer, kan dessa ge 15% av den elkraft som krävs för att framföra tåg på dessa sträckor. En analys av projektpartnerna, Community Energy South, visar att det finns runt 400 platser som kan vara lämpliga för solkraftprojekt i regionen.

Teamet fann att ett liknande system skulle kunna ge 6% av den energi som används på London Underground och 20% av den el som används av Merseyrail-nätverket i Liverpool. Prognoserna är ännu bättre för elektriska järnvägar närmare ekvatorn, dessa kunde drivas helt på solenergi utan att behöva förlita sig på det lokala elnätet.

Projektpartnerna söker nu finansiering för att utveckla en prototyp för den nya kraftelektroniken som behövs och för att befästa konceptet med cirka sex till tio samhällsägda pilotprojekt.

Dessa kommer att vara på utvalda platser längs järnvägslinjer i Sydost.

Källa: www.imperial.ac.uk/news/183477/imperial-research-finds-electric-railways-could/

Tyskland
Dr. Markus Auerbach arbetar på Bast; Bundes-Anstalt für Straßen-Wesen som är en forskningsinrättning och hör till Bundesministeriet för Trafik och digital Infrastruktur.

Han berättar i en telefonintervju att det i Tyskland idag används en affärsmodell som går ut på att externa intressenter äger solcellsanläggningar på mark som tillhör respektive Bundeslands "Amt für Strassen".

Just nu byggs inte många solcellsanläggningar eftersom de generösa feed-in tarifferna fasats ut och det inte är lika lönsamt längre att bygga och driva solcellsanläggningar i Tyskland.

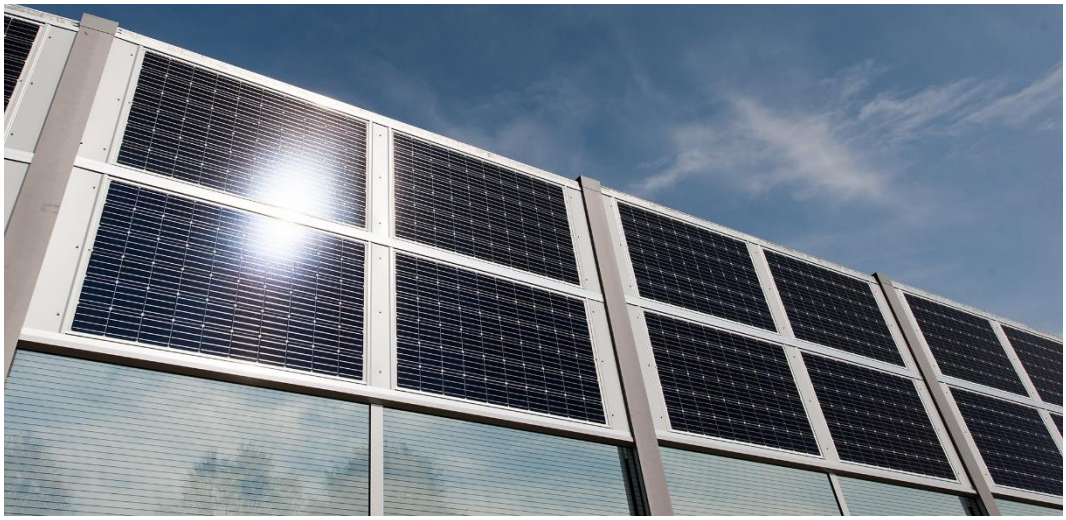
Markus noterar stor skillnad mellan Tyskland och Nederländerna, där det satsas stort på solceller i transportsystem.

I Tyskland finns ett avancerat anbudsförfarande för externa parter som vill bygga på mark i anslutning till vägar. När större väg ska byggas om eller byggas ny, utförs en bullerutredning och i upphandling av entreprenör för bullerskyddet kan även solcellsproducerande bullerskydd vara aktuella.

Inga större problem har rapporterats i Tyskland för solcellsbullerskydd.

Den dyraste delen är underkonstruktionen, idag är solcellsmoduler billiga och har hög effekt. I Tyskland har flera olika typer av solcellsmoduler använts i olika konstruktioner. Den största är en 2MW stor anläggning som monterats liggande på en stor jordvall.

Ett bullerskydd kan antingen enbart reflektera ljud eller även absorbera. Markus berättar att nya bullerskydd med solceller utvecklas som har båda funktioner samt att även Bifacial-moduler börjar användas. All el som produceras, matas in på elnätet.



Figur 32 Bullerskydd från företaget Kohlhauer. Foto: Kohlhauer

Schweiz

I Schweiz finns ett flertal solcellsanläggningar som byggts som bullerskydd utmed större bilvägar och järnvägsspår.

Thomas Nordmann driver konsultbyrån TNC i Schweiz som arbetar med solenergi och har medverkat i arbetet med flera solcellsanläggningar utmed bilväg och järnväg. Han utarbetade världens första bullerskydd med solceller 1989, längs med motorvägen A13 vid Domat/Ems bei Chur.

I Schweiz har vi platsbrist, så vi har inte möjlighet att installera stora markanläggningar på exempelvis åkrar, berättar Thomas Nordmann under en intervju via Skype. Därför är bullerskydd en väl lämpad yta för solcellsmoduler.

Han visar upp flera olika konstruktioner för hur solcellsmoduler dels kan installeras i efterhand, dels från början integreras i konstruktionen.

Nyligen har ansvaret för vägnätet flyttats från regional nivå till nationell nivå. Eftersom Schweiz lägger ner sin kärnkraft, har ett nationellt mål tagits fram att 20% av all energi som används inom statliga och kommunala verksamheter ska komma från förnyelsebara källor. Thomas Nordmann beskriver den statliga transportorganisationen som konservativ vilket göra att det just nu inte händer särskilt mycket på solenergifronten i transportsystem i Schweiz.

Inom vägnätet står Schweiz många och långa tunnlar för stora delar av elanvändningen. De långa tunnlarna har belysning och energikrävande ventilation. I framtiden kan behovet av el vid rastplatser öka på grund av elbilladdning.

I Schweiz ägs ca 50 m på varje sida av en motorväg av staten. Det gör att man kan hyra ut mark för externa parter att bygga solenergianläggningar på, i första hand på av staten ägda bullerskydd.

Problemet är inte tekniskt utan ekonomiskt, säger Thomas Nordmann. Feed-in tarifferna är idag så låga att det är svårt att få lönsamhet i sådana projekt.

Nederländerna

För information om hur Nederländerna arbetar solelsproduktion, har information inhämtats från anställda genom frågeställning per mail till Rijkswaterstaat och ProRail.

Rijkswaterstaat (RWS) är ansvariga för design, konstruktion, drift och underhåll av den huvudsakliga infrastrukturen i Nederländerna. Det inkluderar nätverket av huvudvägar och vattenvägar samt vattensystem.

Källa: www.rijkswaterstaat.nl/english/index.aspx

ProRail ansvarar för det statliga järnvägsnätet.

RWS har som mål att vara energineutrala 2030, det vill säga att de producerar lika mycket förnyelsebar energi som de använder. Energiskiftet kommer att äga rum på deras egen mark där de bygger 30 nya vindkraftverk. Sedan arbetar de med att hyra ut så mycket som möjligt av sin mark till tredje part, med avsikten att marken ska användas för solelparker. Risken för solelparkerna ligger då hos tredje part.

När de väljer vilka anläggningar som är intressanta för solel är ekonomi och kärnverksamhet avgörande. Det var svårt att få svar på vilka problem de stött på under utveckling.

Varje gång det tas fram beslutsunderlag för uppförande av nya anläggningar diskuteras hållbarhetsbegreppet.

ProRail har som mål att bli 30% mer energieffektiva till 2030, jämfört med år 2010.

För solelsproduktion har ProRail följande mål:

2020: 2 GWh/år

2030: 100% av elen som används av ProRail

Faktorer som avgör var ProRail väljer att installera solcellspaneler på är trygga platser, under € 0,12 p/kWh och lätta att göra underhåll på. Idag har de totalt 14 installationer med en total installerad kapacitet på 1,3 MWp.

Tyvärr producerar panelerna endast 2/3 av toppeffekten. En del av panelerna är gamla, andra har underhållsproblem. Panelerna har varit utsatta för stöld och vandalism, det har varit tekniska problem med defekta paneler och växelriktare samt vissa har blivit dåligt installerade. De problemen har lösts med underhållskontrakt med expertföretag inom solenergi, efter en tredjeparts besiktning.

Panelerna är monterade på stationstak, kontorsbyggnader och bullerskydd. På tak och bullerskydd har man installerat traditionella solpaneler, vissa tak har man installerat tunnfilm på och BIPV (building integrated PV) har installerats på glastak.

ProRail äger inte alla installationer, några installationer är placerade på deras mark men ägs av andra aktörer t ex. de på bullerskydd.

Panelerna på stationshusen är kopplade till stationens elnät, andra installationer levererar till det offentliga nätet vid överproduktion.

13. Intern styrning

Nedan beskrivs idéer till hur Trafikverket kan arbeta med energieffektivisering internt. Det är viktigt att varje övergripande mål fördelas ned i tydliga delmål och ansvarsområden, så att var och en vet vilket ansvar som vilar på dem. Att sätta mål som ligger långt fram i tiden kan ibland leda till att man väntar med att styra mot målen eftersom de känns långt borta. Det får ofta till följd att målen inte hinner uppnås i tid och att de istället måste flyttas ytterligare längre fram i tiden.

Det finns en energiöverenskommelse från 2016 mellan Socialdemokraterna, Moderaterna, Miljöpartiet de gröna, Centerpartiet och Kristdemokraterna som innefattar ett mål om 100% förnybar elproduktion 2040. Under 2018 presenterade regeringen en proposition *2017/18:228 Energipolitikens inriktning* där målet upprepas. I propositionen anges trender som att den tekniska utvecklingen är snabb i alla delar av energiområdet och att kostnaderna för ny teknik minskat kraftigt både i Sverige och globalt. Andelen förnybar energi (vatten, vind, sol och bioenergi) av den slutliga energianvändningen har ökat kraftigt och uppgick 2016 till 53,8 % i Sverige vilket är den högsta andelen inom EU.

Klimatpolitiken och energipolitiken är tätt sammankopplade, och de klimatpolitiska målen är även en utgångspunkt för utvecklingen av energisystemet. En fördel med att energieffektivisera väg- och järnvägsanläggningar, till exempel med solenergi är att överföringsförlusterna i det nationella elnätet blir mindre. Elen som produceras när solen skiner används i nära anslutning till produktionen och transporteras inte långa sträckor. Energieffektiviseringen består i att mindre mängd el behöver köpas in.

Riksdagen har antagit ett klimatpolitiskt ramverk för Sverige som innehåller nya klimatmål, en klimatlag och ett klimatpolitiskt råd. Ramverket baseras på en överenskommelse inom den parlamentariska Miljömålsberedningen.

Sverige har övergripande klimatmål som är en del av Sveriges klimatpolitiska ramverk: Senast år 2045 ska Sverige inte ha några nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären, för att därefter uppnå negativa utsläpp. Trafikverket har tolkat detta som att utsläppen från infrastrukturen inklusive använda material och energi ska vara noll sett ur ett livscykelperspektiv.

När Trafikverket energieffektiviserar minskar utsläppen av växthusgaser vilket bidrar till att Sveriges nettoutsläpp av växthusgaser minskar.

Trafikverket kan genom de ytor som finns både bidra till att minska behovet av inköpt el och till det nationella målet om 100 procent förnybar elproduktion 2040.

Trafikverket bör långsiktigt sikta mot att bli energineutrala på årsbasis, vilket innebär att egenproducerad el under ett år motsvarar elanvändningen under samma år, och resultaten i denna rapport visar på att det är tekniskt möjligt men inte juridiskt möjligt i dagsläget. En sådan omställning tar naturligtvis tid men med god vilja och bra styrning, speciellt i tidiga skeden, så skulle detta kunna uppnås till 2040. Trafikverket skulle då bidra till det nationella målet om 100% förnybar elproduktion 2040. Som jämförelse kan nämnas att RWS i Nederländerna har som mål att vara energineutrala 2030.

14. Samhällsekonomisk kostnadseffektivitet

Samhällsekonomiska analyser
I en samhällsekonomisk analys är ambitionen ofta att beräkna eller bedöma de kostnader och nyttor som sker på grund av en investering och relatera storleken på investeringen till effekterna under en lämplig tidsperiod. Trafikverket avgränsar sig vanligen till att beräkna effekter inom Sveriges gränser. Inom Sveriges gränser finns också kalkylvärden för effekter som inträffar inom transportsektorn. Liknande metodik kan användas även för investering i elproduktion, men olikheterna måste beaktas.

Generella förutsättningar
Till metodiken för samhällsekonomiska analyser följer hanterandet av mer generella förutsättningar, vilket visas med några exempel nedan:

- Prisnivå
- Byggtid

- Livslängd och kalkylperiod (för solceller möjligen 20–25 år)
- Kalkylränta (vanligen 3,5% för Trafikverkets infrastrukturinvesteringar)
- Kalkylvärden enligt exempelvis ASEK

Vad är jämförelsealternativet?

Jämförelsealternativet är vad som sker under kalkylperioden om man inte gör föreslagen åtgärd. Det är inte alltid så självklart hur utvecklingen kommer att se ut om en åtgärd inte utförs och det kan finnas flera jämförelsealternativ som är intressanta att nyttja.

Har jämförelsealternativet också någon investeringskostnad och underhållskostnad?

Kräver det mest sannolika alternativet även kostnader i form av investering? Om alternativet också har investeringskostnader behöver dessa preciseras.

Hur nyttjas marken/platsen?

Här kan exempelvis mark intill järnvägsspår nyttjas som inte har några större nyttor i alternativ markanvändning, vilket innebär att denna fråga i så fall inte är så viktig. Det går alltid att finna skillnader i hur markvegetation mm påverkas, men det kräver djupare analyser och kan förmodligen bara beskrivas som möjliga mindre effekter.

Jämföra med att ingen el produceras?

Är alternativet till elproduktionen att ingen motsvarande mängd el produceras i Sverige?

Jämföra med ny elproduktion av andra slag? Om så, vilken/vilka?

Det finns svårigheter med att jämföra med ny elproduktion från andra energislag, exempelvis anläggningar som tar lång tid att få på plats. Det alternativ som är påminner mest om storskalig elproduktion från solceller är vindkraft.

Var produceras alternativ el? Överföringsförluster och anpassning av el-infrastruktur?

Alternativet till att själv producera nära förbrukaren är rimligen att elproduktionen sker längre från användandet av elenergin. Överföringsförlusterna för elenergi som nyttjas av Trafikverkets anläggningar kan väntas vara högre utan egen elproduktion.

Utredningsalternativet

Vad innehåller projektet/projekten? Investeringsbehov och förändrat underhållsbehov behöver beaktas. Hur mycket elproduktion kan genereras och när genereras den? Det finns många delar och frågor kring funktionen i utredningsalternativet. En stor bit är de mera företagsekonomiska bitarna med investering, underhåll och minskat behov av att köpa in elenergi samt inkomster från eventuell försäljning. Nedan belyses några viktiga aspekter.

Helhetsperspektiv och livscykelanalys

Det är intressant att veta hur investeringen påverkar i ett helhetsperspektiv där det tas hänsyn till mer än bara produktionsperioden. Därför är det intressant med livscykelanalys, men i praktiken svårt att utföra eftersom produktionen och insatsvarorna till produktionen vanligen sker i andra länder, ofta i Asien, där osäkerhet kring ursprung är större och ibland saknas helt. Det finns visserligen olika bedömningar av vad solcellsanläggningar har för CO_2 utsläpp per kWh i livscykelperspektiv, men om de nyttjas behöver motsvarande analys också göras för jämförelsealternativet.

Var produceras alternativ elenergi? Överföringsförluster och anpassning av el-infrastruktur?

Den elenergi som kan nyttjas direkt och lokalt i Trafikverkets anläggningar ger mycket små överföringsförluster. Men eftersom elenergi producerad från sol har stor variation i produktion över dygnet och även i skillnad mellan sommar och vinter kan storskalig produktion betyda att det periodvis produceras mer än vad som behövs lokalt. Förenklat kan antas att ju längre elen transporteras desto större blir överföringsförlusterna. Produceras elen i en region med stort elöverskott redan idag kan det antas att mer av produktionen blir överskott som behöver överföras. Lokaliseringen har alltså betydelse för mer än hur mycket el som produceras.

Egen lagring? Lagring ger reglerkraft

Ett alternativ till att sälja eventuellt överskott av elproduktionen direkt är att själv lagra elen för senare användning, eller sälja när priset är bättre. Istället för elenergi som måste nyttjas när solen skiner fås då genom tex batterilagring (vätgaslagring och vattenmagasin är andra exempel) reglerkraft som kan sättas in när man som bäst behöver det. Reglerkraft är alltså klart fördelaktigt jämfört med intermittent kraft från sol och vind. Det finns naturligtvis kostnader med att lagra elen i exempelvis batterier. Kostnaderna för batterilagring är höga, men priset på batterier är snabbt sjunkande och storskaliga batterifabriker etableras i snabb takt världen över. Skalan på produktionen pressar priserna och teknikutvecklingen bidrar till billigare batterier med bättre egenskaper.

Utvärdering/analys

Påverkas handeln med andra länder? Påverkas i så fall prisnivån vid inköp eller försäljning?

Ökad elproduktion kan väntas innebära ökad elförsäljning och vara en positiv effekt för Sveriges handelsbalans. Det är intressant att analysera hur prisnivåerna kan förväntas ligga för såld elenergi producerad av solceller jämfört med priser på inköp. Hur matchar sol-elen vårt elbehov och grannländers elbehov?

Vid jämförelse med att motsvarande el produceras på annat sätt i Sverige blir en jämförelse med inköps- och försäljningspris för olika sätt att producera elenergi intressant.

Jämföra med svensk medel-el? Nordisk el-mix? Marginal-el exempelvis kolkraft?

Det blir stora skillnader på resultatet mellan olika sätt att analysera, exempelvis finns betydande skillnad mellan svensk medel-el och nordisk el-mix. Den svenska el-mixen är

klart renare och släpper ut relativt små mängder CO_2 per producerad kWh. En jämförelse med marginal-el och antagandet att det som ersätts är det på marginalen dyraste och smutsigaste, ofta kolkondenskraft med mycket höga CO_2 utsläpp per producerad kWh, skiljer sig resultatet mycket från jämförelser med för Sverige relevanta elmixer.

Elcertifikat

Elcertifikatsystemet är ett marknadsbaserat stödsystem som ska öka produktionen av förnybar elenergi på ett kostnadseffektivt sätt. Sedan den 1 januari 2012 har Sverige och Norge en gemensam elcertifikatmarknad. Inom den gemensamma marknaden är målet att öka elproduktionen med 28,4 TWh från 2012 till och med 2020. Sverige har även som mål att öka den förnybara elproduktionen med ytterligare 18 TWh till 2030. Kvotnivåer finns fastställda fram till år 2045. Priset på elcertifikat varierar vilket påverkar investeringens lönsamhet. Systemet kan förändras eller fasas ut och det kan ske förändringar under projektens ekonomiska livslängd. Priserna på elcertifikat påverkar också lönsamheten för mindre hållbara sätt att producera elenergi. Antas Trafikverkets nya elproduktion ske utöver andra satsningar i Sverige påverkas också priset på elcertifikaten på marginalen och därmed lönsamheten för olika sätt att producera elenergi och förmodligen även hur elenergi produceras.

Reell prisutveckling på elenergi

Hur priset på elenergi utvecklas över tid är något som beaktas i den företagsekonomiska kalkylen, detta kan nyttjas även för samhällsekonomiska analys.

Hur kan vi värdera klimatpåverkan?

Trafikverket räknar med en kostnad på 1,14 kr per kg CO_2e för 2014 och 1,68 kr per kg CO_2e för 2040. Vanligen görs också en känslighetsanalys med 3,50 kr/kg CO_2e åtminstone för större projekt. Värderingen har ursprung i politiska mål för transportsektorn, vilket gör det lite knepigt när de används för elproduktion, men det är intressant att se hur det samhällsekonomiska resultatet blir när samma kalkylvärden nyttjas som Trafikverket vanligtvis använder vid infrastrukturinvesteringar.

En stor klimatnytta kan finnas om vi ökar exporten till länder med höga utsläpp av koldioxid i sin elproduktion och det får följden att exempelvis mindre kolkraft nyttjas där. Normalt värderar Trafikverket endast effekterna inom Sveriges gränser för investeringar i infrastruktur, men här kan det bli konstigt eftersom helan nyttan kan ske utomlands i en fråga som i grunden är global.

Effekter av storskalig elproduktion

På kostnadssidan finns:

- Investeringen

- Räntekostnader om investeringen lånefinansieras
- Eventuella åtgärder i kraftnäten och infrastrukturen kring dem.

På nyttosidan finns:

- Intäkter från elförsäljning inom Sverige
- Ökade intäkter från försäljning till andra länder
- Minskad miljöpåverkan, bland annat minskade CO2 utsläpp
- Kostnadsbesparing för investeringen genom elcertifikat
- Nyttan av att producera elen precis intill där den behövs och minska överföringsförlusterna

Förutom direkta ekonomiska och miljömässiga effekter har dessa installationer indirekta samhällsekonomiska effekter som tex:

- Det är en effektivisering att en produkt kan ha flera användningsområden än ett, tex kombinerade bullerskydd med solceller eller byggnadsintegrerade solceller som ersätter tex. en fasadskiva i en stationsbyggnad
- Solcellerna har flera nyttor än att bara producera el tex. väderskydd över parkeringsplatser eller väderskydd över perronger
- Oanvändbar mark kan ges ett värde som elproducent
- Andra aktörer kan motiveras att investera i solenergi när de ser Trafikverkets satsning vilket ger en spin-off effekt
- Det är många personer som färdas längs väg och järnväg vilket ger en stor spridning
- Kan fler personer motiveras att åka tåg istället för flyg?
- Bullerskydd gör att de som bor nära får bättre livsmiljö, gynnar även djurlivet
- Goodwill för Trafikverket!

15. Diskussion och slutsatser

I Trafikverkets uppdrag ingår att anlägga, förvalta och underhålla järnvägs- och väginfrastrukturen. Enligt järnvägslagen innefattar detta även kraftförsörjningen av tåg. Trafikverkets handlar därför årligen upp 2 750 GWh el, varav 2 250 GWh för tågdrift (drivmotorström) och 500 GWh för Trafikverkets egna anläggningar. Elenergin som Trafikverket handlar upp för tågdrift säljs sedan till tågoperatörerna enligt en tariff som är baserad på självkostnadsprincipen.

I Sverige finns det generellt ett behov av att öka andelen förnybar energi som produceras om det ska vara möjligt att nå de nationella och globala klimatmålen. Trafikverket har uppdraget att bidra till de transportpolitiska målen, där klimatmålen också ingår. Trafikverket kan bidra till målet om 100 procent förnybar elproduktion 2040 genom att producera en större andel av sin elanvändning själva. I denna rapport har vi beskrivit och utvärderat olika möjligheter till storskalig produktion av el i solcellsanläggningar i väg- och järnvägsnätet eller i anslutning till dessa.

Den största utmaningen rent affärsmässigt och juridiskt är förmodligen tolkningen av förslaget till ny Elmarknadslag. Idag lyder Trafikverkets elnät under förordningen om undantag från kravet på nätkoncession enligt ellagen som undantar ett ”internt nät inom trafikområdet för järnvägsdrift som används för att tillgodose trafikens behov” vilket får byggas och användas utan nätkoncession.

Om det nya lagförslaget innebär att Trafikverket bedöms bedriva nätverksamhet och därmed inte längre lyder under undantaget för nätkoncession innebär detta ett antal förpliktelser som bland annat skulle medföra att Trafikverket måste skilja sin nätverksamhet och bilda ett eget bolag för att kunna sälja elen vidare till tågoperatörerna. Detta är fullt möjligt att göra men kräver regeringens medgivande. Hela denna process pågår oavsett valet av satsning i storskaliga solcellsanläggningar men kan komma att påverka dessa satsningar negativt då hela förfarandet kring elhandel och produktion blir med komplext.

15.1. Solceller ägande, affärsmodeller och lämpliga anläggningstyper

Översynen av möjliga affärsmodeller för solcellsanläggningar i stor skala utgår från att Trafikverket fortsätter att lyda under undantagsförordningen ovan. Med detta antagande har ägandet av marken och solcellsanläggningen varit grunden för utvärderingen av möjliga affärsmodeller för produktion av solenergi i ett antal olika anläggningstyper.

Oavsett anläggningstyp är det av stor vikt att Trafikverket inte bli nettoproducent sett per upphandlingsområde av el (se kapitel 6.1).

Att koppla solceller till Trafikverkets egna anläggning och att sedan ansluta solcellsanläggningen direkt mot omformar- och fördelningsstationer är ett fördelaktigt alternativ. Närheten till järnvägssystemet blir då en stor fördel och att integrera solcellspaneler i exempelvis bullerskydd, stationshus, depåer, perrong- eller parkeringstak är därför intressanta alternativ.

Att bygga och ansluta solcellsanläggningar i närheten av tunnlar och att använda rest ytor exempelvis i anslutning till driftplatser är också mycket goda alternativ. Även större solcellsparker i närheten av järnvägen som skulle kunna klassas som en del av järnvägsanläggningen är av intresse. Här bör en prövning av vad som kan anses ingå i järnvägsanläggningen göras för att säkerställa detta.

Ägare av marken/fastigheterna som är aktuella för ovanstående solcellsanläggningar är vanligtvis Trafikverket, Jernhusen eller en kommun. Bedömningen är då att

solcellsanläggningen lämpligtvis ägs av någon av dessa parter. Självklart kan anläggningen ägas av en tredje part exempelvis ett energibolag. Detta kräver dock en varsamhet och styrning då den externa parten kommer att befinna sig i järnvägsanläggningen med den risk för trafik, säkerhet och underhåll som måste tas hänsyn till.

15.1.1. Solcellsanläggningar i direkt anslutning till järnvägs- eller väganläggningen

Bullerskydd är en del av både järnvägs- och väganläggningen. Marken för järnvägen ägs av Trafikverket vilket innebär att det inte bör finnas några juridiska hinder att installera solceller i bullerskydden. I väganläggningen har Trafikverket endast vägrätt vilket innebär att rätten att bygga om i anläggningen sannolikt måste prövas juridiskt.

För järnvägens bullerskydd är det möjligt att ansluta direkt till omformarstationer eller via hjälpkraftsystemet till en nätägares elnät. Det senare alternativet kräver någon typ av anslutningsavtal som reglerar både in- och utmatning av el mellan parternas nätverk.

När det gäller den vanliga väganläggningen finns inte så stora behov idag förutom vid tunnlar där tunnelbelysningen med fördel kan försörjas av en solcellsanläggning i anslutning till tunneln. Med framtida laddstationer och elvägar kommer behovet att förändras och solcellsanläggningar kan vara ett bra alternativ för en hållbar energiförsörjning för transportsektorn. Vägrätten behöver som nämnts ovan prövas för att säkerställa att solcellsanläggningar som integreras i till exempel bullerskydd kan betraktas som en del av anläggningen.

15.1.2. Solcellsanläggningar i anslutning till järnvägs- eller väganläggningen

Taken till de olika fastigheter som finns i anslutning till järnvägsanläggningen är intressanta för solcellsanläggningar.

Då Trafikverket äger perrongerna är detta kanske det enklaste fallet rent juridiskt men det kräver att det finns en bra anslutningsmöjlighet i närheten exempelvis till en omformarstation då en anslutning till de lågspänningssystem som finns på perrongområdet kan bli problematiskt då de ofta inte är dimensionerade för att kunna ansluta större solcellsanläggningar.

Stationshus, parkeringstak vid stationer och depåer erbjuder också stora fria ytor lämpliga för solcellsinstallationer. Depåerna som vanligtvis ägs av Jernhusen har stor potential med stora takytor och ligger nära järnvägsanläggningen eftersom tågen kör in i depåerna. Trafikverket har juridiskt rätt att dra kablar som är nödvändiga för tågdriften och om depån är kopplad till Trafikverkets elnät är det möjligt att mata in elen direkt i kontaktledningen via en omformarstation eller i hjälpkraftsnätet. Om det är Jernhusen som äger depån upprättas ett markupplåtelseavtal och elmarknadsmässigt spelar det ingen roll om detta blir fallet.

För stationshusen som vanligtvis ägs av Jernhusen blir fallet detsamma som för depåerna och även här ligger fastigheten i anslutning till järnvägens fastighetssystem så lämpliga anslutningspunkter finns ofta i närheten. Ett möjligt scenario är också att Jernhusen anlägger en solcellsanläggning på sin egen fastighet men detta blir en affär helt i Jernhusens regi.

Stationsparkeringarnas tak har också potential till installation/integration av solceller men här kan förutom Jernhusen även kommunen vara ägare av marken. För Trafikverket finns möjligheten att skriva markupplåtningsavtal med Jernhusen eller kommunen för att anlägga solceller precis som för depåer eller stationshusen. Möjligheterna till anslutning till järnvägens kraftnät blir här avgörande.

Solcellsparker i anslutning till järnvägs- eller väganläggningen skulle i framtiden kunna vara en del av järnvägens elkraftsförsörjning. Då solelparker traditionellt inte anläggs utifrån järnvägens behov behöver frågan tas internt inom Trafikverket tillsammans med planprövning för att se på möjligheterna för detta utifrån ett juridiskt perspektiv.

Figur 33 Solcellsparker kan byggas på olika typer av mark, här har markskruv använts. Foto: Unsplash

15.2. Slutsatser och rekommendationer

En slutsats som kan dras i denna utredning är att solcellsanläggningar gör mycket nytta och har bäst ekonomisk lönsamhet då de kan anslutas direkt mot en stor last. Då solcellsanläggningens toppeffekt matchas mot baslasten genom timvärdesmatchning eller vid detaljerad projektering minutvärdesmatchning kan man vara säker på att det finns kapacitet i befintligt elnät att ta emot stora effekter från solcellsanläggningen utan att behöva förstärka nätet.

De anläggningstyper som har störst potential sett till storlek på solcellsanläggningar är när solceller monteras på bullerskydd vid våra vägar. Bäst ekonomisk lönsamhet uppnås när solcellsanläggningen installeras i närheten av en plats med laddstationer för elbilar eller elfärjor eftersom elen då kan användas av Trafikverket. Fallet att Trafikverket inte har en hög elanvändning i närheten av en solcellsanläggning i form av bullerskydd längs våra vägar har också studerats och det är fullt möjligt att mata ut elen till närliggande ortsnät i närheten av bebyggelse eller industrier. Dock blir ekonomiska lönsamheten något sämre för dessa anläggningar samt att nätkoncession måste beaktas.

Solceller som bullerskydd placerade invid framtida elvägar har också stor potential pga. att de förväntas få väldigt hög elanvändning i framtiden samt att det kommer att finnas transformatorstationer tätt, t ex. varje 2 km dvs det blir relativt enkelt att mata solelen längs med hela sträckan. Det i sin tur gör att antalet solcellsanläggningar kan bli många och

medför att man kan bygga solcellsbullerskydd längs med hela elvägen i framtiden när det finns en högre elanvändning från många samtidiga eldrivna fordon. Det förenklar även byggprocessen och ökar lönsamheten ifall bullerskydd med solceller finns med i byggprojektet redan från början.

Även solcellsanläggningar integrerade i bullerskydd för järnväg har en bra potential även om de stora anläggningarnas placering begränsas av att de bör placeras på platser nära en omformarstation. Den företagsekonomiska lönsamheten för dessa anläggningar är något lägre än för solcellsanläggningar nära vägar eftersom elen som används i järnvägen är energiskattebefriad vilket minskar besparingen i kronor. Men sett till totala potentialen för att spara mängden köpt energi och att öka andelen förnybar elproduktion är bullerskydd invid järnvägar minst lika bra som för vägar.

Jernhusens depåer har också bra potential om kontaktledningen via en närliggande omformarstation matas. Lönsamheten blir ungefär densamma oavsett om Jernhusen eller Trafikverket äger anläggningen baserat på dagens skatteregler för egenproducerad solel.

Tunnelanläggningar är ofta små men lönsamma anläggningar eftersom energianvändningsprofilen matchas perfekt då belysningen ökar när solen skiner som mest. Lönsamheten påverkas positivt eftersom elanvändningen är belastad med energiskatt vilket ökar besparingen i kronor.

Vilken affärsmodell som är mest lämplig beror på olika faktorer så som placering och närhet till stora laster och skiljer sig beroende på anläggningstyp. Troligen kommer en blandning av olika affärsmodeller vara mest lämplig i framtiden.

Utredningen ser inte några problem med den direkta avsättningen för den el som produceras vid storskalig produktion. Det krävs stora solcellsanläggningar för att Trafikverket ska bli nettoproducent momentant och alltså behöva sälja el, särskilt för elområde 3 (SE3). En effektmatchning behövs göras för att se till att produktionen av el per elområde alltid understiger användningen av el. Någon överskottsproduktion blir under dessa förutsättningar inte aktuellt eftersom det ingår i Trafikverkets instruktion att tillhandahålla el till lokens framdrift. Detta innebär att den totala potentialen för utbyggnad av solcellsanläggningar inom affärsmodellen ”Trafikverket producerar el för egen användning” begränsas av baslasten för elområdet och att de flesta solcellsanläggningar med denna affärsmodell bör planeras inom SE3 där baslasten är som störst.

Om det skulle bli aktuellt för Trafikverket att bygga solcellsanläggningar som tillsammans har en installerad toppeffekt som överskrider dess baslaster per elområde behöver frågan om Trafikverket bör bedriva sådan verksamhet utredas. Det behövs i så fall en ändring i Trafikverkets instruktion. Vidare behöver åtskillnadsplikten hanteras.

Det svenska elnätet står inför stora effektutmaningar och södra Sverige är den region som är mest drabbad. Redan idag behöver el köpas in från grannländerna för att täcka effektbehovet i södra Sverige under perioder, vilket kan bero på plötsliga driftavbrott eller att industrin går för fullt när det samtidigt är väldigt kallt och vindstilla. Storskaliga solcellsanläggningar i södra Sverige och inom SE4 är därför fördelaktigt i ett större perspektiv och gynnsamt ur ett samhällsekonomiskt perspektiv.

Anläggningar som lyder under en annan affärsmodell där t ex. ett energibolag eller Jernhusen äger anläggningen begränsas inte på samma sätt av Trafikverkets baslaster och därför kan den totala potentialen redovisad i denna rapport överskrida Trafikverkets baslaster per elområde.

Det finns sammanfattningsvis mycket att tjäna på att Trafikverket eller annan aktör börjar installera solcellsanläggningar i eller i närheten av sina elanläggningar. I litteraturstudien från andra länder framgår att flera länder har anammat solenergiproduktion i anslutning till järnvägs- eller vägnätet för att antingen minska kostnaderna eller för att minska sin miljöpåverkan. Många länder har satsat på kombinerade bullerskydd med integrerade solceller i för att bättre utnyttja yta som annars inte kan användas till något annat. På så sätt kan även elen närproducerats vilket minskar överföringsförluster.

Trafikverket skulle genom en satsning på storskaliga solcellsanläggningar kunna påverka Sveriges totala energimix positivt samt även marknaden, lagar och styrmedel samt allmänhetens syn på solel som en naturlig del av energisystemet. I framtiden kommer andelen solel behöva vara mycket större i Sveriges energisystem för att kompensera för nedstängda kärnkraftverk och en ökad elektrifiering av fordonsflottan och Trafikverket kan här spela en avgörande roll som ägare av solcellsanläggningar på mark som inte kan eller behöver användas till annat.

15.2.1. Vidare utredning

Då denna utredning har behandlat många områden översiktligt och lämnar därför utrymme för utökad utredning inom flera områden. Ett antal förslag på vad som kan vara nästa steg nämns i punktlistan nedan:

- Utökad utredning kring samhällsekonomisk kostnadseffektivitet

- Utökad utredning kring mål och intern styrning

- Välja ut en anläggningstyp, affärsmodell samt placering att börja med för att starta ett pilotprojekt och påbörja en detaljprojektering med lösningar enligt denna rapport. Förslagsvis kan detta pilotprojekt förläggas i ett område där det idag är risk för effektbrist i framtiden för att stärka energiförsörjningen där.

- Att i nybyggnadsprojekt så som höghastighetsbanan eller ett kommande elvägsprojekt få med projektering av solcellsanläggningar i ett tidigt skede och på så sätt pröva någon av anläggningstyperna nämnda i denna studie i ett verkligt projekt.

Konsulter från ÅF som medverkat i uppdraget:

Elin Elmehag

Camilla Fransson

Bo Juslin

Patrik Lundberg

Anna Olsson

Magnus Sundling

Maria Svanberg

Martina Thalwitzer

Lina Wideberg

TRAFIKVERKET

Trafikverket, 781 89 Borlänge. Besöksadress: Röda Vägen 1.
Telefon: 0771-921 921, Texttelefon: 020-600 650

www.trafikverket.se