

Examensarbete 15 högskolepoäng C-nivå

# ELVÄGAR

- Energidistribueringsystem och energiutvinningsystem

Eric Lundgren och Josef Algotsson

Byggnadsingenjörprogrammet 180 högskolepoäng

Örebro vårterminen 2019

Handledare: Amir Sattari, lektor, Örebro universitet  
Tomas Luthman, gruppchef samhällsbyggnad, Sweco Civil Örebro

Examinator: Camilla Persson, lektor, Örebro universitet

**ELECTRIC ROADS**

- Energy distribution systems and energy harvesting systems

Örebro universitet  
Institutionen för naturvetenskap och teknik  
701 82 Örebro



Örebro University  
School of Science and Technology  
SE-701 82 Örebro, Sweden



## **FÖRORD**

Användandet av fossila bränslen i trafiken belastar miljön och alternativa drivmedel kan bespara miljön på resurser.

Denna litteraturstudie genomförs för att undersöka vilka energiutvinnings- och energidistributionsystem det finns och om de går att implementera i Sveriges vägnät.

Rapporten är skriven av byggnadsingenjörstudenterna Eric Lundgren och Josef Algotsson från Örebro universitet med handledning av Thomas Luthman på Sweco civil och lektor Amir Sattari vid Örebro universitet.

## **SAMMANFATTNING**

För att nå utsatta klimatmål i Sverige och på EU-nivå är begränsningen av fossil fordonstrafik en hörnsten. Lösningen kan vara eldrift, men dilemmat vid långa transporter är påfyllnad av drivmedel. Utmaningen blir att tillgodose den ökade efterfrågan på energi – både gällande distribution och produktion – på ett miljömässigt försvarbart sätt.

En litteraturstudie samt en intervju utförs för att undersöka om vägar kan göras smartare för att främja en grönare, eldriven fordonstrafik och ge möjlighet för energiutvinning i vägområdet samt elektrisk energidistribution till fordon under färd.

Teknologin till energidistribution och energiutvinningssystem finns, men den kan alltid utvecklas för billigare tillverkning och effektivare produkter. Studerade energidistribueringssystem är induktion och konduktion. Energiutvinningssystemen som har behandlats är solenergi, piezoelektricitet och vindkraft. Pilotprojekt inom de bägge områdena existerar och fler projekt är under utveckling.

Nyckelord: Elvägar, smarta vägar, induktion, konduktion, piezoelektricitet.

## **ABSTRACT**

Sweden and the EU has a lot of climate goals, to achieve these goals the use of fossil fuels must be reduced. One solution can be electric powered vehicles, when travelling long distances there is a problem to replenish fuel. The challenge is to meet the increased demand for energy - both in terms of production and distribution - in an environmentally sound manner.

A literature study as well as an interview is carried out to investigate whether roads can be made smarter to promote a greener, electric vehicle traffic and the possibility of energy harvesting systems and energy distribution in the road area.

The technology for energy harvesting systems and energy distribution is available, but it can always be further developed for cheaper manufacturing and more efficient products. Energy distribution systems studied are induction and conduction. The energy harvesting systems in this report are solar energy, piezoelectricity and wind power. Pilot projects in both areas exists and more projects are under development.

Keywords: Electrified roads, smart roads, induction, conduction, piezoelectricity.

# INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD .....	i
SAMMANFATTNING .....	ii
ABSTRACT .....	iii
1 INLEDNING.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte .....	1
1.3 Frågeställningar.....	1
1.4 Avgränsning .....	2
1.5 Metod .....	2
2 TEORI.....	3
2.1 Energidistribution .....	3
2.1.1 Induktion som distribueringsystem .....	3
2.1.2 Konduktion som distribueringsystem.....	3
2.2 Energiutvinning.....	3
2.2.1 Termisk solenergiutvinning på körbanan.....	3
2.2.2 Energiutvinning med solceller på vägen.....	4
2.2.3 Solpanelstak över väg .....	4
2.2.4 Piezoelektricitet som energiutvinningsystem .....	4
2.2.5 Vindkraft som energiutvinningsystem .....	5
3 LITTERATURSTUDIE.....	6
3.1 Energidistribution .....	6
3.1.1 Induktion som distribueringsystem .....	6
3.1.2 Konduktion som distribueringsystem.....	6
3.2 Energiutvinning.....	8
3.2.1 Termisk solenergiutvinning .....	8
3.2.2 Energiutvinning med solceller .....	8
3.2.3 Piezoelektricitet som energiutvinningsystem .....	9
3.2.4 Vindkraft som energiutvinningsystem .....	10
3.3 Slitage .....	10
3.4 Regelverk och standarder.....	12
3.4.1 Landskapet .....	12
3.4.2 Markåtkomst .....	12
3.4.3 Starkströmsanvändande .....	12
3.4.4 Distribution av el.....	13
3.4.5 Elnätets utbyggnad.....	13

4 INTERVJU .....	14
5 ANALYS .....	15
5.1 Energidistribution .....	15
5.1.1 Induktion som energidistribueringsystem .....	15
5.1.2 Konduktion som energidistribueringsystem.....	15
5.2 Energiutvinning.....	15
5.2.1 Termisk solenergiutvinning .....	15
5.2.2 Energiutvinning med solceller .....	16
5.2.3 Piezoelektricitet som energiutvinningsystem.....	16
5.2.4 Vindkraft som energiutvinningsystem .....	16
6 DISKUSSION OCH FORTSATT ARBETE .....	17
6.1 Samverkan mellan tekniker.....	17
6.2 Solcellers effektivitet .....	17
6.3 Underhåll.....	17
6.4 Betalning.....	18
6.5 Svenskt klimat.....	18
6.6 Ekonomi.....	18
7 SLUTSATS.....	19
8 REFERENSER .....	20
9 BILAGOR.....	23

# 1 INLEDNING

## 1.1 Bakgrund

Idag är klimatfrågan en av de mest aktuella frågorna i samhället. EU har som mål att minska sina utsläpp med 80-90 procent till 2050 jämfört med 1990 (Europeiska kommissionen 2014). Riksdagen har satt ännu högre mål genom att Sveriges nettoutsläpp ska vara noll 2050 (Naturvårdsverket 2018) samt att våra transporter ska till 2030 minska sina utsläpp med 70% (Lövin 2017). Utöver detta ska Sverige även vara världens första fossilfria välfärdsland (Regeringskansliet 2018). För att möta dessa krav går allt fler från fossildrivna till alternativa drivmedel däribland eldrivna bilar, vi undviker gärna kol- och kärnkraft och vi tar i allt större utsträckning tåget före flyget.

I Sverige finns det ungefär 21 500 mil väg (Trafikverket 2018), väg som inte används till något annat syfte än att köras på. Pondera att man förutom att köra på vägen kan utnyttja den redan exploaterade marken till att exempelvis installera energiskördningssystem, hur det skulle kunna se ut undersöks i denna rapport.

Eldriven fordonstrafik är inget nytt. En av anledningarna till att det inte slagit igenom är den begränsade räckvidden med hänsyn till tidsaspekten vid påfyllnad av drivmedel under färdens gång (Strömfelt 2017). Till följd av att fordonen elektrifieras uppstår ett laddningsbehov vid längre färder. De idag marknadsledande personbilarnas räckvidd är cirka 40 mil och bilarna kan på utvalda platser snabbbladdas på 30 minuter (Mattias Rabe 2019). För längre, kontinuerliga transporter är snabbbladdning inte ett alternativ, speciellt inte när det gäller yrkestrafik då det blir för många och för långa laddningspauser (Söderholm 2018).

Om elfordon ska användas i större utsträckning bör de laddas med el utvunnen på hållbart sätt för att få en mindre påverkan på klimatet jämfört med fossildrivna förbränningsfordon. Utmaningen för en hållbar elbilstrafik blir att tillgodose den ökade efterfrågan på energi – både gällande distribution och produktion – på ett miljömässigt försvarbart sätt.

## 1.2 Syfte

Syftet med detta arbete är att undersöka huruvida vägar kan utvecklas och göras smartare för att främja en grönare, eldriven fordonstrafik genom möjlighet till energidistribution och energiutvinning i vägområdet.

## 1.3 Frågeställningar

- Vad finns det idag för möjligheter till energidistribution i vägområdet?
- Vad finns det idag för möjligheter till energiutvinning i vägområdet?
- Vilka framtida projekt finns det för energidistribution i vägområdet?
- Vilka framtida projekt finns det inom energiutvinning i vägområdet?



## **1.4 Avgränsning**

Rapporten fokuserar på elektrisk energidistribution och energiutvinning på körbanan och i vägens direkta närhet, det vill säga i vägområdet. Arbetet behandlar elvägar gällande energidistribution och energiutvinning. Konduktion och induktion är energidistributionssystem som presenteras. Piezoelektricitet, solceller i väg, vindkraft, termisk solenergiutvinning samt solpanelstak över väg är energiutvinningsystemen som behandlas.

## **1.5 Metod**

En litteraturstudie som behandlar tidigare, pågående och framtida projekt inom energidistribution och energiutvinning vid körbanan har genomförts. Utöver detta har intervjuer utförts med svenska aktörer. Genomförbarheten hos de olika teknikerna undersöks med hänsyn till Sveriges klimat och Trafikverkets Vägar och gators utformning (VGU). Informationen bearbetas, analyseras och sammanställs till ett antal olika tänkbara scenarier för att implementera teknikerna i samspelet mellan såväl urbana som lantliga miljöer.

## 2 TEORI

I detta kapitel förklaras i korthet teorin bakom hur respektive teknik inom energidistribution till fordon fungerar samt hur energi i vägområdet kan utvinnas.

### 2.1 Energidistribution

#### 2.1.1 Induktion som distribueringsystem

Induktion är ett sätt att trådlöst överföra energi mellan källa och mottagare. Det är ett system som är vanligt förekommande i våra hushåll; induktionsspis och trådlösa telefonladdare är exempel på detta. Induktionstekniken används för att ladda bilen på samma sätt som telefonen, det görs i dagsläget med statisk induktion vilket innebär att både källa och mottagare är stilla under energiöverföringen. Det som däremot är under utveckling är att använda liknande teknik med skillnaden att mottagaren – i det här fallet fordonet – är i rörelse, därmed fås dynamisk induktion. Denna teknik fungerar i stort sett på samma sätt som statisk induktionsladdning, svårigheten ligger i att säkerställa säkerheten. En väg med integrerad induktionsladdare får endast vara strömförande där det strömavtagande fordonet befinner sig (Olsson 2014).

#### 2.1.2 Konduktion som distribueringsystem

Konduktion är motsatsen till induktion och handlar om energiöverföring via fysisk kontakt mellan källa och mottagare. Det finns tre sätt att konduktivt ladda fordon under färd; strömkälla ovanför vägen, strömkälla bredvid vägen och strömkälla i vägen. De två alternativ som undersöks mest är ovan väg och i väg. Principen går att likna vid eldrivning av tåg, en arm fälls ut och är i kontakt med strömkällan samtidigt som fordonet är i rörelse. Det finns dock en skillnad att ta i beaktning, nämligen att tåg kan ta el uppifrån och leda tillbaka via rälsen. För fordon på vägar finns inte den möjligheten då dessa rullar på asfalts- eller betongvägar med gummibeklädda hjul. Därmed måste ett fordon som laddas konduktivt under färd förses med en anordning som leder tillbaka strömmen till elnätet. En annan svårighet med konduktion – speciellt med strömavtagare ovan vägen – är att lastbilar och personbilar har stora höjdskillnader. En personbil skulle behöva en lång arm för att nå upp till samma strömledning som lastbilar skulle ta sin ström från (Edling 2019).

### 2.2 Energiutvinning

Mark är en värdefull tillgångskälla. Bördig jordbruksmark är eftertraktad och skogsmark är bra för anskaffning av timmer samt att träd binder koldioxid. I vägområdet finns ytor som kan användas till att utvinna solenergi för att sedan distribuera energi till omkringliggande elektricitetkrävande trafikutrustning eller för att sälja energi till elnätet. Solenergi kan tas tillvara på olika sätt och metoderna kommer att tas upp var för sig för överskådlighet. Förutom möjligheten med solenergi finns möjlighet till piezoelektricitet och vindkraft.

#### 2.2.1 Termisk solenergiutvinning på körbanan

Det finns en termisk variant av energiutvinning där rör fyllda med ett cirkulerande värmemedium bestående av vatten och glykol är nedlagda under körbanan. Värmemediet värms upp av att solen värmer asfalten och får vätskan att cirkulera och agerar primärvärmekälla till exempelvis bostäder. Under varma dagar ger värmemediet en kylande effekt på asfalten då värmen på asfaltens yta avges till vätskan. Detta är fördelaktigt då en varm asfalt lättare deformeras vilket medför spårbildning på vägbanan. En varm yta bidrar även till att

bindemedlet bitumen oxiderar, vilket ger en påskyndad föråldring av materialet (Trafikverket 2012).

Den av solen uppvärmda vätskan kan lagras i närliggande berggrund för senare användning till uppvärmning av byggnader eller halkbekämpning av väg vintertid. Magasinet i berggrunden lagrar värme så länge asfalten är varmare än berget. När lufttemperaturen understiger  $+4^{\circ}\text{C}$  ändras flödesriktningen och värmemediet värmer istället vägen; detta för att förhindra isbildning på körbanan, målbilden är att körbanan inte understiger  $+3^{\circ}\text{C}$ . Systemet är dock känsligt för skador vid installation samt att tunga transporter kan orsaka sprickbildning i bärlagret vilket kan skada rörlagningen (Jägerbrand och Hellman 2014) (Trafikverket 2012).

### **2.2.2 Energiutvinning med solceller på vägen**

Väg är markyta som kan användas till mer än att bara transporteras på. Det finns ett antal försök med att ha solceller på vägarna. Solar Roadways (2019) och Solaroad (2019) är två företag med liknande teknik där solpanelerna består av ett tjockt stryktåligt glas med struktur för bättre fäste. Innanför glaset finns solceller, lysdioder och elektronik. De sistnämnda möjliggör för individuellt mönster eller text på varje enskild panel för ljuseffekter eller budskap till trafikanter. Solpanelen ska fånga in energi för att försörja närliggande trafikljus, digitala skyltar, bostäder eller sälja energin ut i elnätet. Solpanelen kan även bidra till en säkrare färd tack vare trycksensorer som gör att panelen kan känna av om vilt befinner sig på vägen och meddela en ankommande förare (Jägerbrand och Hellman 2014).

Wattway (2019) har en liknande, tekniskt enklare lösning där en några millimeter tjock panel fästs på befintlig asfalt istället för att vägbanan behöver byggas om. Mer om försök på dessa produkter i avsnitt 3.2.2

### **2.2.3 Solpanelstak över väg**

Den asfalterade vägen är förlorad mark, istället för att placera solpaneler på sidan av vägen eller direkt på vägen kan solpanelerna placeras ovanför körbanan (Sharma och Harinarayana 2013).

Att framföra sin bil på en väg belägen i skuggan har sina fördelar; under varma dagar behöver bilens luftkonditionering arbeta mindre, däcken håller en lägre arbetstemperatur och får därmed längre livslängd samt att vägen får lägre reparationskostnader. Detta samtidigt som elektricitet utvinns från solpanelerna (Sharma och Harinarayana 2013).

### **2.2.4 Piezoelektricitet som energiutvinningsystem**

Piezoelektricitet är en egenskap hos vissa kristallina material, exempelvis kvarts. När de deformeras omvandlas kinetisk energi till elektricitet och vice versa. Detta skapar möjligheter att skörda elektricitet på platser där vibrationsenergi annars går förlorad, till exempel i vägar. För att utvinna energi byggs detta piezoelektriska mineral in i en generator som placeras tio generatorer per meter väg (Innowattech 2016). Generatorerna ansluts till strömledningar och hela systemet placeras inte för nära körbanan då de kan skadas men inte för långt ned då energi går förlorad. Det har gjorts försök av företaget Innowattech i Israel och av en forskargrupp i Madrid, resultat redovisas i avsnitt 3.2.3 (Moure et al. 2016) (Jägerbrand och Hellman 2014).

### **2.2.5 Vindkraft som energiutvinningsystem**

Vindkraft är ingen ny teknik, däremot är idén om att använda den i anslutning till vägar nyare. Tanken är att ta tillvara på fartvinden som passerande fordon ger upphov till och därigenom få en jämnare vind, till skillnad mot de traditionella vindkraftverken som är helt beroende av vädret. Principen är som för vanliga vindkraftverk, vinden roterar en rotor som via en generator omvandlar kinetisk energi till elektrisk. Det har gjorts försök med både horisontal- och vertikalaxlade vindkraftverk där det senare har fördelar. Vertikalaxlade vindkraftverk är tystare. Dessutom är det oberoende av vindriktning samt är mindre farliga för både djur och natur då bladen roterar långsammare än på de horisontalaxlade vindkraftverken. Mer om försök och resultat senare i avsnitt 3.2.4 (Hussein Bani-Hani et al. 2018) (Jägerbrand och Hellman 2014).

## **3 LITTERATURSTUDIE**

I detta kapitel redovisas projekt inom både energidistribution till fordon och energiutvinning i vägområdet som hittats vid litteratursökningen. Dessutom tas det regelverk upp som lösningarna måste uppfylla samt hur lösningarna skulle kunna förändra slitaget av vägbanan.

### **3.1 Energidistribution**

#### **3.1.1 Induktion som distribueringssystem**

Projektet Slide-in har med hänseende till kostnad, energieffektivitet och rimlighet utvärderat möjligheten att genom induktion överföra energi från körbanan till fordon under färd på sträckan Stockholm - Göteborg (Olsson 2014).

Systemet som har använts i detta projekt är utvecklat av Bombardier och består av 20 meter långa sektioner som installeras i vägen och aktiveras endast när ett fordon med aktiverad strömavtagare befinner sig på vägen. Tanken är att såväl tung yrkestrafik som privata fordon ska kunna ladda sina batterier och samtidigt köra på el. Om ett icke induktionskompatibelt fordon befinner sig på samma sektion samtidigt som ett kompatibelt, upphör vägen att föra över ström. Detta för att säkerställa att inga fordon – som inte är gjorda för det – körs på strömförande vägar.

En testbana om 300 meter anlades i Tyskland för att testa systemets funktion, främst med hänsyn till hur det reagerar på ojämnheter i körbanan (Olsson 2014).

Om hela motorvägssträckan mellan Stockholm och Göteborg skulle beläggas med dessa sektioner uppskattas den totala installerings- och elnätanpassningskostnaden till 28 239 miljoner kronor, vilket innebär 63 miljoner per kilometer. Denna siffra är exklusive kostnaden för kontrollsystem (Olsson 2014).

#### **3.1.2 Konduktion som distribueringssystem**

Det finns två pågående projekt på allmän väg i Sverige gällande konduktiv energiöverföring på väg; Elväg-Gävle och eRoadArlanda. Utöver det finns det Elonroad som är i testbanestadiet och Alstom-ERS som inte har blivit introducerad för allmänheten fullt ut (Pettersson et al. 2017).

Elväg-Gävle är en i dagsläget två kilometer lång allmän motorvägssträcka belägen utanför Gävle på E16 mellan Sandviken och Kungsgården. Sträckan är försedd med luftledningar sex meter ovan mark och den trafikerar av två stycken hybridlastbilar med strömavtagare på taket, se figur 1. Sträckan invigdes i juni 2016 och hittills har inga allvarliga problem uppstått. Det planeras för en betydande förlängning från Borlänge till Gävle hamn, en sträcka på 120 kilometer. Ekonomiska prognoser och utvärderingar kring detta har gjorts med slutsatsen att projektet betalar sig självt när 190 hybridlastbilar åker fyra gånger fram och tillbaka varje dag, ju fler lastbilar desto färre vändor behövs (Sundelin et al. 2018) (Edling 2018) (Pettersson et al. 2017).



Figur 1: Lastbil med konduktiv laddning på E16 mellan Sandviken och Kungsgården. (Trafikverket 2019)

eRoadArlanda är också det en två kilometer vägsträcka, däremot är ledningarna nedsänkta i vägen istället för uppe i luften, se figur 2. Detta möjliggör för såväl lastbilar som personbilar att motta energi under färd då strömavtagaren sitter under fordonet istället för på taket. Systemet som används är uppdelat i sektioner på grund av säkerhetsskäl; när ett fordon med strömavtagare kommer i kontakt med ledningen aktiveras sektionen för att sedan direkt bryta strömmen när fordonet lämnar eller stannar till. Skaparen av tekniken, Gunnar Asplund, menar att säkerhetsnivån på laddningstekniken går att likna vid ett vanligt vägguttag. Det är helt säkert att gå barfota på ledningen även om det skulle regna. Planer på utvidgning av sträckan finns även här, 20 kilometer till en början (Edling 2018) (Pettersson et al. 2017).



Figur 2: Konduktiv laddning via skena i vägbanan. (Trafikverket 2019)

Elonroad är förhållandevis likt eRoadArlanda såtillvida att det är en konduktiv ledning under fordonet som är tänkt att leverera energin, därmed finns möjligheten för både personbil och tyngre fordon att laddas under färd. Fördelen med Elonroad är att det kan installeras på en redan befintlig väg, aluminiumskenor läggs ovanpå vägen vilket möjliggör för en snabb och smidig installation. Elonroad är än så länge inte i bruk på allmän väg men en testbana finns utanför Lund (Edling 2018) (Pettersson et al. 2017).

Alstom-ERS är det fjärde systemet under utveckling i Sverige, utvecklat i samarbete mellan Volvo och Alstom. Även detta system är baserat på skenor under fordonen och tekniken har testats på en avskild testbana utanför Borås. Enligt Mats Alaküla, professor och anställd på Volvo, är tekniken redo att testas på allmän väg (Edling 2018) (Pettersson et al. 2017).

Gemensamt för de tre sistnämnda projekten är som sagt att de alla innefattar installation av en metallskena i eller på vägbanan, vilket kan innebära säkerhetsrisker med avseende på sladdrisk. Detta då metallskenan har en annan friktion än asfalt eller betong. Risken är störst för tvåhjuliga fordon. Skenan bör även upprätthålla Trafikverkets VGU-krav om en vägbanas jämnhet och inte sticka upp mer än fyra millimeter (Pettersson et al. 2017).

I Sveriges största koppardagbrott har det inletts ett projekt där fyra stycken truckar drivs med el längs en 700 meter lång bana vilket förväntas spara upp till 830 m<sup>3</sup> diesel per år. Det slutgiltiga målet är att det mesta av dagbrottets förflyttning av berg, som uppgår till cirka 70 ton/år, ska ske med eldrift (Boliden 2018).

## 3.2 Energiutvinning

### 3.2.1 Termisk solenergiutvinning

Ett pilotprojekt inom termisk solenergiutvinning genomförs för att undersöka möjligheten att hålla en bro isfri i Schweiz. Den lagrade värmen från sommaren klarar av att hålla bron isfri under vintern och elektricitet behövs endast för att driva cirkulationspumpar. Tjugo procent av solinstrålningens värme som träffar körbanan kan lagras och 65% av den energin kan användas till att värma körbanan på vintern, resten är förluster. Att värma upp körbanan kräver i detta fall 20-80 kWh/(år\*m<sup>2</sup>). Pilotprojektet hade en installationskostnad på €2500/m<sup>2</sup>, efterföljande projekt beräknar de att halvera installationskostnaderna. Detta är en teknik som även Arlanda flygplats använder sig av för att hålla flygplanens uppställningsplatser isfria (Sundberg 2012).

### 3.2.2 Energiutvinning med solceller

Ett amerikanskt företag – Solar Roadways (2019) – bygger egna solpaneler och försöker etablera sig på marknaden genom att erbjuda solpaneler till garageuppfarter, gångstråk och parkeringsplatser till privatpersoner och kommuner. Panelen består av hexagonformade prefabricerade enheter som passas ihop. Det första offentliga testet av dessa paneler gjordes på Jeff Jones Town Square i Sandpoint, Idaho. Det bestod av 30 paneler och täckte 14 m<sup>2</sup> markyta.

Liknande har SolaRoad (2019) i Holland gjort. År 2014 byggde de en 72 meter lång cykelbana bestående av prefabricerade solpaneler (Patel 2017) (Frishberg 2018). Under 2019 har de i testprojekt monterat solpaneler som vägbana till bussar och lastbilar för att testa hållbarheten över tid. Företagets aspiration är att göra detta i större skala på trafikerade vägar och kunna driva elektriska bilar med denna energi (Solaroad 2019) (Sinke 2019).

Wattway (2019) har i Frankrike gjort en vägsträcka på en kilometer. Deras system består av en panel som är några millimeter tjock och enkelt kan fästas på den befintliga asfalten (Patel 2017).

Se tabell 1 för kostnad och effekt i dessa tre projekt.

Till kritiken mot dessa tre panelfabrikanter hör:

- Att när människor och fordon vistas på panelen blockeras solljuset till solcellerna.
- Solpanelen monteras plant på marken vilket ger sämre infallsvinkel mot solen.
- Solpanelens yta för att ge fäste till fordon försämrar solgenomsläppningen.
- Solpanelens yta har en tendens att vara hal vid blött väglag.
- Kostnad för att bygga om hela USA:s vägnät skulle uppgå till 1 billion USD, en fantasisumma.
- Dyr tillverkning (Koroluk 2014).

Fördelar med vägsolcellspaneler:

- Redan bebyggd markyta används
- Kan utrustas med trycksensorer, vilket kan öka trafiksäkerheten genom att varna trafikanter när exempelvis vilt befinner sig på vägen (Frishberg 2018).

För att sätta vägsolcellspanelerna i perspektiv jämför vi dem med Europas största solfarm i Cestas, Frankrike. Tabell 1 visar att installationskostnaderna för alla vägsolcellspaneler är betydligt högre än för uppförandet av konventionella solcellspaneler. Jämför vi den uppmätta effekten per kvadratmeter i respektive system kommer solfarmen ut i topp med 160–300% större effektivitet (Patel 2017) (Frishberg 2018). Beakta att ytan utgörs av upptagen markyta, ej av faktiskt yta som solcellerna på solfarmen absorberar energi från. Konventionella solceller monteras i vinkel mot solen och ger därmed högre effektivitet, därför är inte upptagen markyta samma som effektiv yta (Buildings 2017).

Tabell 1: Olika solcellersvarianter i en effekt- och kostnadsjämförelse (Patel 2017) (Frishberg 2018).

	Upptagen markyta [m <sup>2</sup> ]	Installationskostnad [€ miljoner]	Förväntad effekt / år [MWh]	Uppmätt effekt / år [MWh]	Uppmätt effekt/ upptagen markyta [kWh/(m <sup>2</sup> *år)]	Installationskostnad / upptagen markyta [€/m <sup>2</sup> ]
Cestas solfarm	2650000	352	355000	343000	<b>129</b>	<b>133</b>
SolaRoad (Cykelbana)	122	3	8,6	9,8	<b>80</b>	<b>24500</b>
Solar Roadways (Torg)	14	0,54	0,6	okänd	(Beräknad på förväntad effekt) <b>42</b>	<b>4000</b>
Wattway (Vägsträcka)	2800	5	280	150	<b>54</b>	<b>1800</b>

### 3.2.3 Piezoelektricitet som energiutvinningsystem

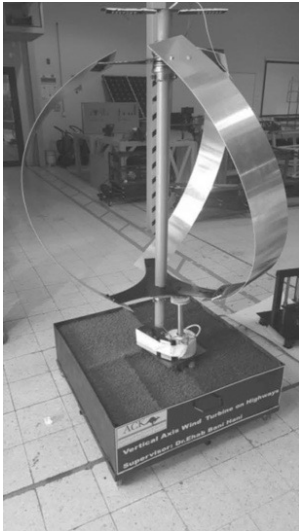
I Madrid har det för första gången testats med piezoelektriska energiutvinningsystem i asfalt för att användas på vältrafikerade vägar. Moure et al. (2016) tog fram den mest effektiva designen för att testa kapaciteten på systemet. Deras arbete visar att detta är en användbar och effektiv teknik som i Madrid skulle kunna täcka 10% av det totala energibehovet genom att installeras i 0,6% av vägarna i samma region. Vikt ska läggas vid att placera både generatorer och anslutningar på rätt avstånd – i detta fall 2 cm – från körbanan (Moure et al. 2016).

Liknande försök har gjorts av företaget Innowattech (2019), de menar att deras teknik inte gör att de trafikerande fordonen använder mer energi. Beläggningen har lika stort rullmotstånd som vanlig asfalt och därmed blir all energi som utvinns från generatorerna bonus. Det går att effektivisera energiutvinningen där man vill att fordon ska rulla långsammare som inför trafikljus, rondeller och andra platser som kräver nedsänkt hastighet. Därigenom får man ut mer energi från förbipasserande fordon samtidigt som de får gratis inbromsning (Jägerbrand och Hellman 2014).



### 3.2.4 Vindkraft som energiutvinningsystem

Ehab Hussein Bani-Hani et al. (2018) vid Australian University of Kuwait har undersökt möjligheten att med hjälp av vindkraft från trafik kunna förse gatubelysning och vägskyltar med elektricitet. De har utvecklat en vertikalaxlad vindturbin som är tänkt att stå vid sidan av vägen, se figur 3. Anledningen till att det anses bäst med vertikalaxlade istället för de traditionella horisontalaxlade är att de vertikala turbinerna är tystare, oberoende av vindriktning samt mindre farliga för både djur och natur då bladen roterar långsammare än för de horisontalaxlade vindturbinerna.



Figur 3: Vertikalaxlad vindturbin (Hussein Bani-Hani et al. 2018).

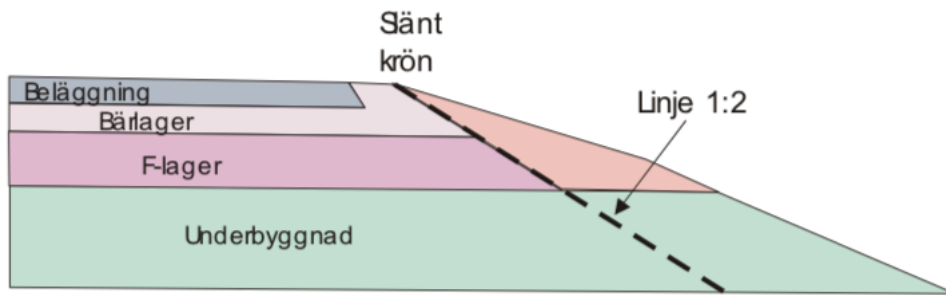
Längs King Fahad Bin Abdul Aziz highway i Kuwait har dessa vindturbiner kunnat träffas av genomsnittliga fartvindar på 5,6 m/s vilket i teorin motsvarar 60 W av skördad energi per turbin. Resultatet i studien visar på en verkningsgrad om 34,6 %, något som anses positivt och ett incitament till att utreda detta vidare (Hussein Bani-Hani et al. 2018).

Jägerbrand och Hellman (2014) menar att i närheten av vägar kan endast små vindturbiner användas, av säkerhetsskäl. Med en rotor på ca 3 meter i diameter skulle en sådan vindturbin i Sverige kunna producera ungefär 3000 kWh/år vid en vindstyrka på 6 m/s (Jägerbrand och Hellman).

### 3.3 Slitage

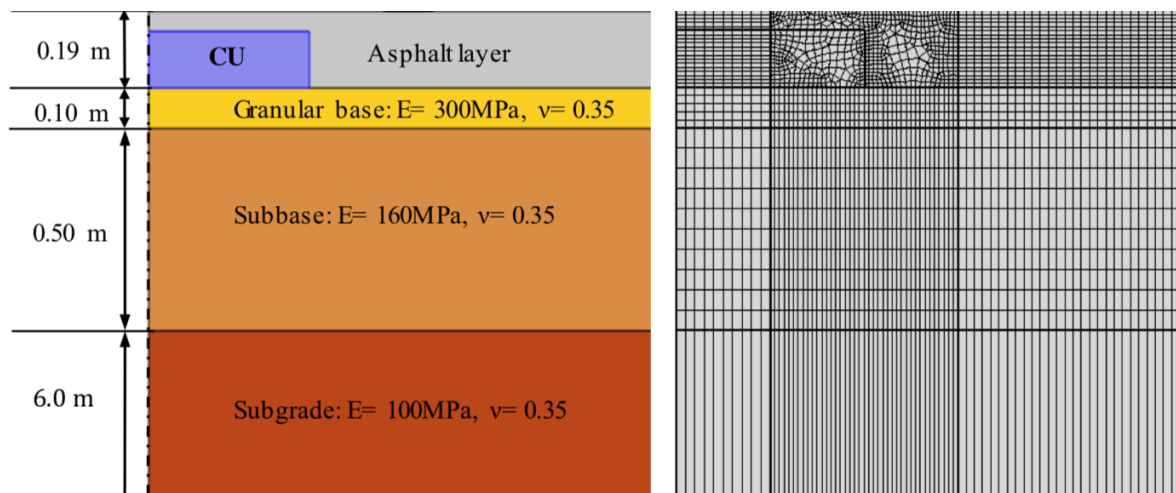
Något som dyker upp i diskussionen kring implementering av smarta vägar är slitage (Chen 2016). Hur förändras vägens slittålighet när man installerar induktionsutrustning och blir det ett större problem med spårbildning om/när autonoma bilar börjar rulla på vägarna?

En väg är traditionellt uppbyggd för att fördela krafter från fordonets hjul och ner i marken, vilket görs genom olika lager (slitlager, bärlager, förstärkningslager, skyddslager och terrass), se figur 4. När det görs på rätt sätt sprids lasterna ut jämnt och vägen håller länge (Trafikverket 2011).



Figur 4: Traditionell väguppbyggnad (Trafikverket 2011).

Det är känt sedan tidigare att det kan uppstå problem när vägar byggs upp av sammansatta material (Baek 2010), vilket är fallet med elektrifieringen av vägar. Strukturen på elvägen blir inte den traditionella vägen med olika, helt åtskilda lager och kommer därför att utsättas för mer komplexa laster som riskerar att skada eller förstöra vägen om inte hänsyn till detta tas. I figur 5 visas hur en induktionsladdningsenhet installerad direkt i asfaltslaget utsätts för laster vid det skarpa hörnet.



Figur 5: Dynamisk induktionsladdare inbyggd i vägen (Chen 2016)

Förslag på lösningar finns dock redan idag, Feng chen m.fl. har studerat detta vidare och menar att om man utformar laddningsenheten med rundade hörn så utsätts vägen för mer hanterbara laster (Chen 2016).

Spårbildning är det andra slitageproblemet att ta hänsyn till. När ett fordon ska laddas dynamiskt bör det åka på ett sådant sätt att det alltid håller optimalt avstånd till laddningsenheten vilket uppmuntrar till att köra på exakt samma ställen hela tiden. Detta är något som bör tas i beaktning när det planeras för smarta vägar (Chen 2016).

### **3.4 Regelverk och standarder**

Problem och utmaningar som kan uppstå vid elektrifiering av vägar gällande regelverk och standarder behandlas nedan

#### **3.4.1 Landskapet**

Trafikverket har en policy som understryker vikten av god arkitektur samt att Trafikverket eller annan ansvarig aktör dessutom ska ta hänsyn till lagkrav som uttrycks i kulturmiljölagen och miljöbalken. Med dessa krav i beaktning bör en god gestaltning eftersträvas och hänsyn till stads- och landskapsbild tas. Elskåp för att förse vägområdet med elektricitet, transformatorstationer till spänningsförändringar eller hängande ledningar vid konduktiv laddning kan upplevas störande i landskapet (Pettersson et al. 2017).

Djur som anses navigera med hjälp av elektromagnetiska fält, till exempel vandrande fiskar och fladdermöss kan bli störda av den ökade förekomsten av elektromagnetiska fält det innebär att elektrifiera vägar (Pettersson et al. 2017).

#### **3.4.2 Markåtkomst**

Svenska staten har via Trafikverket rätt att lägga anspråk på mark där väg ska byggas med stöd i en fastställd vägplan, denna nyttjanderätt kallas vägrätt. För elvägar behöver troligen regelverket ses över och att vägplanerna behöver uppdateras för att säkerställa markåtkomsten för hela processen vid byggandet av denna infrastruktur (Pettersson et al. 2017).

Om tekniken med konduktiv laddning ovanför väg blir aktuell kan Trafikverket behöva åtkomst till mark utanför vägområdet för att förebygga olyckor där träd skadar elledningen. Vägrätten kan i detta fall bli otillräcklig då den i dagsläget saknar mandat att ge Trafikverket åtkomst samt befogenheter att beskära träd som befinner sig för nära en eventuell ledning utanför vägområdet (Pettersson et al. 2017).

Elvägen i sig behöver inte ta upp mer markutrymme än vägarna som finns idag. Däremot kan transformatorstationer behöva placeras utanför vägområdet då oeftergivliga föremål ej får befinna sig där (Pettersson et al. 2017).

#### **3.4.3 Starkströmsanvändande**

Idag finns en begränsning i användandet av starkström och dess nät. Om Trafikverket bygger och äger elnätet kring vägarna är de ej tillåtna att sälja el via samma nät, vilket kallas koncessionsplikt. Det finns eventuellt undantag som går att utnyttja, exempelvis att Trafikverkets nät skulle klassas som ett internt nät och därmed inte begränsas av koncessionsplikten. Ett sådant nät skulle dock ha begränsningar i teknikval då det endast kan baseras på lågspänning. Det råder många oklarheter i hur byggandet och förvaltningen av elnätet ska ske och förändring i lagar och undantagsförordningar kan behövas för att möjliggöra elvägar (Pettersson et al. 2017).

#### **3.4.4 Distribution av el**

I Sverige har man i sina bostäder rätt att välja el från vilken elleverantör man vill, elmarknaden är konkurrensstyrd. I diskussionen kring elvägar råder det divergerande åsikter i frågan huruvida elen ska komma från en och samma leverantör eller om den marknaden också ska vara konkurrensstyrd. Om tekniken finns för att olika elleverantörer ska kunna leverera el även till vägnätet kan det vara svårt att motivera Trafikverkets monopol på detta (Pettersson et al. 2017).

#### **3.4.5 Elnätets utbyggnad**

Ytterligare forskning behövs för att klargöra kraft- och energibehovet till att försörja elvägar, ansvariga myndigheter är Trafikverket och Energimyndigheten. Transformatorstationer för spänningsomvandlingar kommer att behövas placeras ut med några kilometers mellanrum. Generellt gäller det att tekniken som gynnar en billigare fordonstillverkning kräver en mer kostsam och energiineffektiv infrastruktur. Skillnad på billig och dyr fordonstillverkning grundar sig på spänningsförhållanden. Om fordonen drivs på lågspänning ger detta en lägre fordonskostnad men högre infrastrukturkostnad. Högspänning ger det omvända förhållandet (Pettersson et al. 2017).

## 4 INTERVJU

En intervju har genomförts med programchefen för elvägar på Trafikverket<sup>1</sup>, se utskrift i bilaga 1. Svar på information om vad som görs inom området, vilken teknik de tror på och när elvägnätet tros vara väl utbyggt efterfrågades.

Programchefen klargör för Trafikverkets planering inför utbyggandet av elvägar genom att meddela; ”Vi kommer föreslå ett första utbyggnadssteg i samband med infrastrukturplanens uppdatering 2022 och sedan följer naturligtvis en period av planering och byggande och sedan tar vi det steg för steg under de efterföljande åren”. Vidare berättar han att den största utmaningen med elvägar är standardisering och att säkerställa alla legala aspekter såsom elnätskoncessioner, övervakning och betalning med flera.

Trafikverkets huvudfokus är tung trafik men det är möjligt att en lösning även kan användas av personbilar om induktiva eller konduktiva markskenelösningar väljs. Trafikverket ser störst framsteg inom de induktiva lösningarna, inte minst i Kina som har tagit ett strategiskt beslut att fokusera på induktion. Även USA ligger i framkant inom induktion.

Trafikverket fokuserar inte på någon energiutvinning i vägområdet då Sverige har ett bra, stabilt och väl utbyggt elnät.

---

<sup>1</sup> Mailintervju med Jan Pettersson, Programchef elvägar på Trafikverket. (2019-05-08)

## 5 ANALYS

I tidigare kapitel presenteras hur tekniker för energidistribution och energiutvinning används i Sverige och världen. Här ges våra tankar kring tänkbara scenarier för optimering av energidistribution och energiutvinning i och kring våra vägar. Vidare studier behövs för att klargöra vilka av teknikerna som kan användas tillsammans.

### 5.1 Energidistribution

#### 5.1.1 Induktion som energidistribueringsystem

Eldrivna fordon som färdas långa sträckor har behov av laddning under färd. Optimalt vore om fjärtrafikleder – exempelvis europavägar – elektrifierades. Fordon kan åka längs leden och ladda batteriet för att sedan vika av och klara sig på batteridrift till sin destination.

Ett elfordon som färdas endast några kilometer för att nå sin destination har inte samma behov av laddning under färd, utan bör klara sig på batteridrift. Då är det bättre om goda laddningsmöjligheter finns på parkeringarna.

Utbyggnaden av induktion på en flerfilig motorväg kan tänkas utföras endast i det högra körfältet, dels för att spara på installationskostnad och dels för att övriga körfält kan hållas öppna för trafik under byggnation. Dessutom läggs mest körtid i körfältet längst till höger, vill man ladda sin bil blir det ett invariant körmönster att ligga i den högra filen.

#### 5.1.2 Konduktion som energidistribueringsystem

Konduktiv laddning, i synnerhet konduktiv laddning ovan väg, bör användas längs sträckor där regelbunden tung trafik förekommer. Lastbilar som åker samma rutt varje dag mellan fabrik och hamn är ett bra exempel på detta. Även det tidigare nämnda projektet vid Aitikgruvan, där tunga truckar som dagligen åker samma rutt i dagbrottet får sin energiförsörjning från konduktiva ledningar verkar lovande.

Ser vi istället till konduktiv laddning i väg är det en teknik som även privata fordon skulle kunna använda sig av. Där skulle samma idéer som vid induktiv laddning kunna implementeras; elektrifiera fjärtrafikleder och låt fordonen gå på batteridrift resterande del av färden.

### 5.2 Energiutvinning

#### 5.2.1 Termisk solenergiutvinning

I urban miljö är värmebehovet störst och här vistas den största delen av befolkningen. Minst transmissionsförluster uppnås om värmeutvinning sker i närheten av där den behövs mest. Ett scenario för vägar i stadsmiljö kan då vara termisk solenergi, där vägar och torg kan hållas isfria via den lagrade värmen i berggrunden och även primärvärme till byggnader kan levereras.

I en olycksdrabbad kurva på landsbygden kan termisk solenergi installeras för ökad trafiksäkerhet genom halkbekämpning, finns närliggande byggnader kan systemet även hjälpa till att värma upp dessa. På landsbygden i övrigt är förmodligen installationskostnaden sett till nyttan ej försvarbar. Där får snöröjning och uppvärmning av byggnader ske på annat sätt.

### **5.2.2 Energiutvinning med solceller**

Mycket tyder på att solceller på vägbanan är så pass ineffektiva i förhållande till kostnaden att dessa inte bör användas. Däremot är ytan mellan körriktningarna på en motorväg en outnyttjad tillgång till mark och kan vara en gynnsam placering av traditionella solcellspaneler. Även solceller på tak ovanför vägen är ett intressant alternativ.

### **5.2.3 Piezoelektricitet som energiutvinningsystem**

I tätbebyggt område vore det gynnsamt att installera piezoelektriska generatorer. Man kan tänka sig ett testprojekt på en kraftigt trafikerad yta av fotgängare, till exempel att på Stockholm centralstation installera en yta med piezoelektriska generatorer i en avvikande färg eller form som väcker uppmärksamhet. På en stor lättläst skylt skrivs sedan de uppmuntrande orden ”Gå på ytan för att hjälpa oss att ladda tåget som tar dig hem”.

Piezoelektriska generatorer är ett bra alternativ på motorvägar och i stadsmiljö med hög trafikintensitet. På landsbygden och i bostadsområden blir troligen energiutvinningen för låg för att gynnsamhet ska uppnås.

### **5.2.4 Vindkraft som energiutvinningsystem**

Att fordon färdas som snabbast på motorvägen kan vara ett argument till att där placera vertikalaxlade vindkraftverk – företrädesvis mellan körriktningarna – ämnade att tillvarata den annars förlorade fartvinden. Allra mest effekt skulle kunna fås om dessa vindkraftverk strategiskt placerades ut på motorvägssträckor med ett högt, jämnt flöde av förbipasserande fordon. Vindkraftverk vid vägkanten fungerar inte lika bra i områden med låg trafikintensitet och lägre hastighet.

## 6 DISKUSSION OCH FORTSATT ARBETE

### 6.1 Samverkan mellan tekniker

I analysen redovisades var respektive teknik är fördelaktig men inte hur de fungerar tillsammans. Här följer en tanke om hur olika tekniker kan kombineras.

Vid byggnation av solpanelstak över väg skulle den konstruktionen även kunna användas till att montera hängande ledningar under taket för konduktiv laddning. I detta fall kombineras då energiutvinningssystem med energidistributionssystem.

Ser vi istället till piezoelektriska generatorer kan det tänkas att generatorerna placeras där fordonens hjul är ämnade att rulla medan en induktiv laddningsenhet placeras mellan hjulspåren, därtill monteras små vindkraftverk utmed vägbanan. Detta ger ett system som både genererar och levererar ström till fordon.

Att kombinera tekniker kan leda till utrymmesbrist gällande placeringen av komponenter, även ledningsdragning och strömanvändning kan behöva anpassas. Mer forskning behövs för att undersöka vilka tekniker som är möjliga och optimala att kombinera.

### 6.2 Solcellers effektivitet

Tidigare i rapporten nämndes tekniken med solceller i vägen, i tabell 1 visades att effekten är avsevärt mycket lägre än en traditionell solcellsfarm. Detta kan ses som en anledning att inte använda sig av solceller i väg överhuvudtaget men faktum är att lite energiutvinning är mer än ingen energiutvinning, vilket bör tas i beaktning innan fördömandet av solceller i väg görs. Men med det sagt bör man se på möjligheten att installera konventionella solcellspaneler till en lägre kostnad som dessutom utvinmer mer energi och låta körytan vara som den är eller göra plats till en annan teknik.

### 6.3 Underhåll

Eftersom energiutvinning och energidistribution i vägområdet ännu inte är väl utbrett är underhållet oklart. En fundering kan vara angående reparation, hur länge håller teknikerna innan de behöver repareras?

Som tidigare nämnt utsätts en väg för mer komplexa laster när laddningsenheter installeras i vägbanan. Därmed behöver förmodligen en elektrifierad väg mer underhåll om den byggs på samma sätt som visats tidigare i figur 5. Dels blir det säkerligen dyrt att underhålla men också en utmaning att få trafiken att fungera under reparationer. Man skulle kunna tänka sig att problem uppstår om det högra, elektrifierade körfältet på en viss motorvägssträcka måste genomgå en omfattande reparation samtidigt som större delen av fordonsflottan är beroende av laddning under färd, laddning som uteblir då det elektrifierade körfältet ej är i bruk. Detta får kanske ses som ett argument till att elektrifiera båda körfälten för att undvika att fordon står helt utan laddningsmöjlighet under färd när underhåll av vägen sker.

Vidare forskning behövs för att fastställa om och i sådant fall hur reparationer kommer att behöva utföras i och med elektrifiering.



## 6.4 Betalning

En fråga som uppstår och inte behandlas ordentligt i någon tidigare studie är hur fordonens använda energi ska betalas. Med laddning under färd blir det annorlunda jämfört med dagens stillastående laddning och tankning där betalning sker innan avfärd. Vid användning av laddningssystem vid transport på väg bör säkra, individuell betalning av konsumerad elektricitet möjliggöras. En tanke är att någon form av loggfunktion som möjliggör betalning för konsumerad el kan vara ett steg i rätt riktning. Ett sådant system bör däremot vara väl skyddat från IT-angrepp så att inte eftermarknadsprylar kan säljas som möjliggör en sorts anonym körning, där använd el ej registreras.

## 6.5 Svenskt klimat

Det svenska klimatet med stor andel av landet snötäckt under flera månader ställer krav på snöröjning. Man kan tänka sig att det kan behövas specialbyggda plogbilar till sträckor med konduktiv markskena, detta kan skapa arbetstillfällen för lastbils- och tillbehörstillverkare. Det behövs dock utredas i detalj hur/om en konduktiv markskena går att få tillräckligt fri från snö och is under de kargaste månaderna. En möjlighet skulle kunna vara en eluppvärmd skena, dock kan det bli ett stort energislöseri. En annan möjlighet kan vara att den konduktiva armen är så pass styv att den rensar skenan efter fordonet, detta kan ses som fördelaktigt då löv och annan smuts kan hamna i skenan under de varmare årstiderna då ingen väghållning sker. Mer forskning krävs.

Sverige är inte ett land med hög solinstrålning, men användandet av solpaneler är inte att förkasta ändå. Om solpaneler endast placeras i solrika länder kommer transmissionsförlusterna vara för stora för att transportera elen. Med det sagt kan man argumentera för att solpaneler bör finnas i stort sett överallt där solen lyser, all energi som panelen kan bidra med är ett plus. Att det även går att räkna hem solpaneler ekonomiskt på bara några år är ännu en fördel samt att transmissionsförlusterna går ner avsevärt om solpanelen befinner sig där elen ska konsumeras.

En fråga som väcks är hur induktionsladdning klarar av snö och is. Å ena sidan är allt material som är i vägen för induktionsladdningens magnetfält till nackdel för verkningsgraden, å andra sidan bör vi ha i åtanke att induktionsladdningsenheten redan är placerad några centimeter ner i asfalten, så vad gör lite snö för skillnad?

## 6.6 Ekonomi

En viktig aspekt att ha i åtanke är huruvida det är ekonomiskt genomförbart att elektrifiera Sveriges vägnät och om det finns ekonomiska vinningar med det. En vinning skulle förmodligen vara den miljömässiga, genom minskade utsläpp, vilket leder till slutförda EU- och nationella mål. De ekonomiska kostnaderna för ovan nämnda tekniker är enorma, men å andra sidan är de kanske ett måste för att uppnå uppsatta miljömål och begränsa användandet av fossilbränslen. Dessutom kan man tänka sig ett scenario där den som är först med innovativ teknik har goda marknadsfördelar. Varje teknik kräver olika ekonomiska förutsättningar men gemensamt för alla är att ju mer tekniken utvecklas desto billigare blir den.

## **7 SLUTSATS**

Syftet med detta arbete var att undersöka huruvida vägar kan utvecklas och göras smartare för att främja en grönare, eldriven fordonstrafik samt möjligheten för energiutvinning och energidistribution i vägområdet.

Teknologin till energiutvinningsystem och energidistribution finns, men den kan alltid utvecklas för billigare tillverkning och effektivare produkter. Pilotprojekt inom de bägge områdena existerar och fler projekt är aktuella.

## 8 REFERENSER

- A. Moure, M.A. Izquierdo Rodríguez, S. Hernández Rueda , A. Gonzalo, F. Rubio-Marcos, D. Urquiza Cuadros, A. Pérez-Lepe, J.F. Fernández. 2016. Feasible integration in asphalt of piezoelectric cymbals for vibration energy harvesting. *Energy conversion and management*, 112: 246-253
- Baek, Jongeoun. 2010. *Modeling reflective cracking development in hot-mix asphalt overlays and quantification of control techniques*. University of Illinois at Urbana-Champaign. <https://core.ac.uk/download/pdf/4824544.pdf> (Hämtad 2019-05-02)
- Boliden. 2018. *Sanningens minut för elektrifieringen i Aitik*. <https://www.boliden.com/sv/nyheter/el-trolley-aitik> (Hämtad 2019-05-08)
- Buildings. 2017. Tweak Solar Panel Angles to Harvest More Energy. *Buildings*, 111(6): 10
- Chen, Feng. 2016. *Sustainable Implementation of Electrified Roads: Structural and Material Analysis*. Diss., Kungliga Tekniska Högskolan. <http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1044961/FULLTEXT02.pdf> (Hämtad 2019-04-27)
- Edling, Lars. 2018. Electric avenue. *Commercial Motor*, 229(5773), pp. 36-38.
- Europeiska kommissionen. 2014. *Insyn i EU-politiken, klimatåtgärder*. [https://europa.eu/european-union/file/775/download\\_sv?token=pBB4\\_F3y](https://europa.eu/european-union/file/775/download_sv?token=pBB4_F3y) (Hämtad 2019-04-09).
- France Power Report - Q2 2016*. 2016. London: Fitch Solutions Group Limited. [https://search-proquest-com.db.ub.oru.se/docview/1773375320?rfr\\_id=info%3Aaxri%2Fsid%3Aprimo](https://search-proquest-com.db.ub.oru.se/docview/1773375320?rfr_id=info%3Aaxri%2Fsid%3Aprimo) (Hämtad 2019-04-25)
- Frishberg, Manny. 2018. Pavement Power.(News and Analysis of the Global Innovation Scene)(solaroad (evaluation)). *Research-Technology Management*, 61(1): 2-9.
- Hussein Bani-Hani, Sedaghat, Al-Shemmary, Hussain, Alshaieb, Kakoli. 2018. Feasibility Of Highway Energy Harvesting Using A Vertical Axis Wind Turbine. *Energy Engineering* 115, (2): 61-74
- Jägerbrand, Annika K & Hellman, Fredrik. 2014. *Energiutvinning ur vägar och vägmiljöer: en kunskapsöversikt: a literature review*. <http://vti.diva-portal.org/smash/get/diva2:719673/FULLTEXT01.pdf> (Hämtad 2019-05-02)
- Koroluk, Korky. 2014. Can solar roadways lead somewhere? *Daily Commercial News*, 87(124): 1-2 [https://search-proquest-com.db.ub.oru.se/docview/1544154385?rfr\\_id=info%3Aaxri%2Fsid%3Aprimo](https://search-proquest-com.db.ub.oru.se/docview/1544154385?rfr_id=info%3Aaxri%2Fsid%3Aprimo) (Hämtad 2019-04-24)
- Lopes Fereira, Adelino Jorge. 2012. Briefing: Recent developments in pavement energy harvest systems. *Municipal engineer*, 165 (4): 189-192

Lövin, Isabella. 2018. *Regeringens skrivelse 2017/18:238 en klimatstrategi för Sverige*. Riksdagen. <https://data.riksdagen.se/fil/D174A484-BB67-403F-AF5B-488D56B7289D> (Hämtad 2019-04-03)

Naturvårdsverket. 2018. *Fördjupad analys av svensk klimatstatistik 2018*. <https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer6400/978-91-620-6848-6.pdf?pid=23767> (Hämtad 2019-04-09).

Olsson, Oscar. 2014. Slide-in Electric Road System, inductive project report, Phase 1 <http://ri.diva-portal.org/smash/get/diva2:1131846/FULLTEXT02.pdf> (Hämtad 2019-05-03)

Patel, Sonal. 2017. New solar roads unveiled. *Power*, 161(2): 10-15

Pettersson, Lindgren, Berndtsson, Viklund, Andersson, Öhrnberg, Söderberg, Eriksson, Grudemo, Hasselgren, Andersson, Bülund, Andersson. 2017. *Nationell färdplan för elvägar*. Trafikverket. [https://www.trafikverket.se/contentassets/b1c845c023e04a3fb61280d072e832cc/nationell-fardplan-for-elvegar\\_slutlig.pdf](https://www.trafikverket.se/contentassets/b1c845c023e04a3fb61280d072e832cc/nationell-fardplan-for-elvegar_slutlig.pdf) (Hämtad 2019-05-07)

Rabe, Mattias. 2018. Elbilarna med längst räckvidd 2019. *Teknikens värld*. 16-11-2018. <https://teknikensvarld.se/elbilarna-med-langst-rackvidd-2019/> (Hämtad 2019-05-02)

Regeringskansliet. 2018. *Handlingsplan Agenda 2030 – 2018-2020*. <https://www.regeringen.se/49e20a/contentassets/60a67ba0ec8a4f27b04cc4098fa6f9fa/handlingsplan-agenda-2030.pdf> (Hämtad 2019-04-03)

Sharma, Pragya & Harinarayana, T. (2013). Solar energy generation potential along national highways. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*. 4(16)

Sinke, Wim. 2019. *Solarroad's new phase: A motorway that also generates electricity*. TNO – Innovation for life. <https://www.tno.nl/en/tno-insights/articles/solaroad-s-new-phase-a-motorway-that-also-generates-electricity/> (Hämtad 2019-04-11)

Solaroad. 2019. *About Solaroad* <https://www.solaroad.nl/about/> (Hämtad 2019-04-11)

Strömfält, Gordon. 2017. *Laddinfrastruktur för elfordon*. Länsstyrelsen Västra Götalands län. <https://www.lansstyrelsen.se/download/18.728c0e316219da8135bfb36/1526067863219/2017-43.pdf> (Hämtad 2019-05-10)

Sundberg, Jan. 2012. *Halkfria vägar - Förstudie Solvärme och varmelagring för miljöanpassad halkbekämpning*. Trafikverket. [https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/11989/RelatedFiles/2014\\_120\\_halkfria\\_vagar\\_forstudie\\_solvarme\\_och\\_varmelagring\\_for\\_miljoanpassad\\_halkbekampning.pdf](https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/11989/RelatedFiles/2014_120_halkfria_vagar_forstudie_solvarme_och_varmelagring_for_miljoanpassad_halkbekampning.pdf) (Hämtad 2019-04-24)

Sundelin, Linder, Mellquist, Gustavsson, Börjesson, Pettersson. 2018. *Business case for electric road*. RISE viktoria. <http://ri.diva-portal.org/smash/get/diva2:1284330/FULLTEXT01.pdf> (Hämtad 2019-05-06)

Söderholm, Erik. 2018. *Mercedes visar ny eldriven lastbil – och tror inte på Teslas planer*. Mestmotor.se. <https://www.mestmotor.se/recharge/artiklar/nyheter/20180222/mercedes-visar-ny-eldriven-lastbil-och-tror-inte-pa-teslas-planer/> (Hämtad 2019-05-10)

Trafikverket. 2011. *Trafikverkets tekniska råd vägkonstruktion*. [https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/10751/RelatedFiles/2011\\_073\\_TRVR\\_vag\\_3.pdf](https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/10751/RelatedFiles/2011_073_TRVR_vag_3.pdf) (Hämtad 2019-04-15)

Trafikverket. 2018. *Sveriges vägnät*. <https://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/vag/Sveriges-vagnat/> (Hämtad 2019-04-25)

## 9 BILAGOR

### Bilaga 1

Mailintervju med Jan Pettersson, Programchef elvägar på Trafikverket. (2019-05-08)

*När tror du att vi i Sverige har ett väl utbyggt elvägsnät?*

Vi kommer föreslå ett första utbyggnadssteg i samband med infrastrukturplanens uppdatering 2022 och sedan följer naturligtvis en period av planering och byggande och sedan tar vi det steg för steg under de efterföljande åren.

*Vad är största utmaningen med elvägar?*

En stor utmaning är standardisering och säkerställa alla legala aspekter för en utbyggnad såsom elnätskoncessioner, övervakning, betalning mm.

*Inom vilken sektor ligger störst fokus, tung transport eller personbil?*

Vårt huvudfokus är tung trafik men det är inte otroligt att en lösning även kan användas av personbilar om vi väljer induktiva eller konduktiva markskenelösningar.

*Vilken teknik tror ni mest på, induktion eller konduktion?*

I dags läget är vi öppna för test av alla tekniker men vi ser dock att induktiva lösningar utvecklas i en rasande takt, inte minst i Kina som har tagit ett strategiskt beslut att fokusera på induktion (även i USA händer det saker kring induktion).

*Funderar ni i samma veva på energiutvinning i vägområdet eller är det en annan fråga?*

Nej, vi funderar inte i dagsläget på energiutvinning i vägområdet. Vi har dock studerat Kina deras arbete med microgrids där de använder sol och vind, men vi har dock en mycket bättre situation med ett hyfsat bra och stabilt utbyggt elnät.