



CHALMERS

Att driva transporter med elektricitet från solenergi

En studie som fokuserar på laddning av HCT-fordon mellan
Viared och Göteborgs Hamn

Kandidatarbete inom sjöfart och logistik

KASPER ANDERSSON
ALEXANDER SIMONSSON

INSTITUTIONEN FÖR MEKANIK OCH MARITIMA VETENSKAPER

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige, 2021

Att driva transporter med elektricitet från solenergi

En studie som fokuserar på laddning av HCT-fordon mellan Viared och Göteborgs Hamn

Kandidatarbete inom sjöfart och logistik

KASPER ANDERSSON
ALEXANDER SIMONSSON

Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper
Avdelningen för maritima studier
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige, 2021

Att driva transporter med elektricitet från solenergi

En studie som fokuserar på laddning av HCT-fordon mellan Viared och Göteborgs Hamn

KASPER ANDERSSON
ALEXANDER SIMONSSON

© KASPER ANDERSSON
© ALEXANDER SIMONSSON

Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper
Chalmers tekniska högskola
SE-412 96 Göteborg
Sverige
Telefon: + 46 (0)31-772 1000

Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper
Chalmers tekniska högskola
Göteborg, Sverige 2021

FÖRORD

Detta examensarbete har utförts som en sista del av utbildningen Sjöfart och logistik vid Chalmers tekniska högskola. Utbildningen är 180 högskolepoäng varav 15 av dessa omfattar denna rapport. Rapporten fick sin idé då Henrik Ringsberg som sedan blev vår handledare hade detta ämne som förslag för ett examensarbete. Avslutningsvis vill vi tacka Henrik Ringsberg som varit handledare till detta arbete.

Alexander Simonsson & Kasper Andersson
Göteborg 2021-05-04

Att driva transporter med elektricitet från solenergi

En studie som fokuserar på laddning av HCT-fordon mellan Viared och Göteborgs Hamn

KASPER ANDERSSON

ALEXANDER SIMONSSON

Institutionen för mekanik och maritima vetenskaper

Chalmers tekniska högskola

SAMMANDRAG

Dagens globaliserade värld har lett till ett ökat behov av transporter i världen och så även i Sverige. Transportsektorn släpper ut stora mängder växthusgaser och i Sverige står enbart transportsektorn för cirka en tredjedel av Sveriges totala koldioxidutsläpp. Att hitta nya lösningar för att utföra mer klimatsmarta transporter är därför av största vikt.

Solenergi är en typ av förnyelsebar energi som har utvecklats mycket under de senaste åren. Syftet med detta arbete är att undersöka om transporterna mellan Viareds företagscenter i Borås och APM Terminals i Göteborg kan ske med eldrivna HCT-fordon med energi utvunnen från solceller. I dagsläget (2021) transporteras cirka 200 containers i veckan mellan dessa terminaler. Arbetet är utfört i Göteborg och frågor som behandlas är hur mycket energi dessa transporter kräver, hur mycket det skulle kosta att installera solpaneler på taken i Viared samt hur mycket energi det skulle ge.

Resultatet visar att det är möjligt att utvinna tillräckligt med energi för att utföra ovan nämnda transporter enbart från solceller. Problem skulle kunna uppstå är under vintermånaderna då solceller knappt kan generera någon energi. Ytan som undersöktes är inte i proportion till att enbart driva dessa transporter jämfört med vad solpanelerna kan producera vilket leder till att det blir ett stort överskott genererad elektricitet. Det största frågetecknet för möjligheten att genomföra byggandet av solceller på så stor yta (870 000 m²) är den stora investeringen som krävs och vem eller vilka som ska betala för detta. Djupare tekniska aspekter inom solceller, eldrivna fordon samt hur elektriciteten ska förflyttas har utelämnats.

Nyckelord: Solceller, eldrivna lastbilar, transporter, hållbarhet, utsläpp

To power transports with electricity from solar energy

A study that is focusing on the charging of HCT – vehicles between Viared and port of Gothenburg

KASPER ANDERSSON

ALEXANDER SIMONSSON

Department of Mechanics and Maritime Sciences
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

Today's globalized world has led to increased demand for transport in the world and also in Sweden. The transport sector emits a lot of greenhouse gases and in Sweden the transport sector alone contributes to about a third of Sweden's total carbon dioxide emissions. New solutions to be able to do more climate friendly transport is therefore important.

Solar energy is a type of renewable energy that has developed a lot in the past years. The aim of this paper is to investigate if the transport between Viared företagscenter in Borås and APM Terminals in Göteborg could be driven by electrified HCT-vehicles with energy extracted from photovoltaic cells mounted on the roof of Viared företagscenter. Today (2021) around 200 containers are transported each week between Viared and APM Terminals. This work has been made in Göteborg and questions that this paper answers is how much energy these transports require, how much would it cost to install solar panels on Viareds' roof and lastly how much energy is it possible to extract from these solar cells.

The result of this study shows that it is possible to extract enough energy from the solar cells to supply the vehicles with electricity. There could be an issue during the winter months when the solar cells barely can generate any energy. The investigated area is not in proportion to only supplying these transports with electricity compared to what the solar cells could produce, which leads to a big surplus of electricity. A big concern about this study is that the possibility to install these solar cells on such a large area (870 000 m²) is that it requires a huge investment and who shall pay for this. Deeper technological aspects within solar cells, electrified vehicles and how to transfer the electricity is not included.

The report is written in Swedish.

Keywords: photovoltaic cells, electrified trucks, transports, sustainability, emissions

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. Inledning.....	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Frågeställning	2
1.4 Avgränsningar	2
2. Teori	3
2.1 Solenergi.....	3
2.1.1. Solceller.....	3
2.1.2. Lagring av solenergi.....	5
2.1.3 Sälja tillbaka el till elbolagen	5
2.2 Användning av solceller i norra Europa.....	6
2.3 Godstransporter	7
2.3.1. High Capacity Transport	8
2.3.2 Eldrivna lastbilar	8
3. Metod	12
3.1 Litteraturstudie	12
3.2 Fallstudie	13
4. Nulägesbeskrivning.....	15
4.1 Viared företagscenter	15
4.2 Utveckling av eldrivna lastbilar	15
5. Resultat.....	17
5.1. Tillgänglig takyta i Viared	17
5.2. Potentiell genererad elektricitet under ett år	17
5.3. Transportsträcka och antal transporter	19
5.4. Energikonsumtion för transporterna mellan Göteborg och Viared.....	20
5.5. Kostnaden för att montera solceller på Viared företagscenters tak.....	23
6. Diskussion	24
6.1. Teoridiskussion	24
6.2. Metoddiskussion.....	24
6.3. Resultatdiskussion.....	25
7. Slutsatser	27
7.1. Slutsats	27
7.2. Rekommendationer till fortsatt arbete.....	27
Källförteckning.....	29

FIGURFÖRTECKNING

Figur 1 beskriver hur en kiselsolcell ser ut och illustrerar hur de fungerar. (Husain et al., 2018).....	14
Figur 2 visar en graf över globalstrålning i Sverige från 1983–2020. (SMHI. 2020).....	16
Figur 3 är en översikt över rapportens litteratursökning (Andersson & Simonsson, 2021)...	24

TABELLFÖRTECKNING

Tabell 1 Illustrerar och jämför olika typer av lastbilar som drivs på el (Liimatainen et al., (2019)	19
Tabell 2 Beskriver tre olika typer av lastbilar som drivs på el och vad som skiljer de åt (Ghandriz et al.,2021).....	20
Tabell 3 Visar potentiell genererad elektricitet med hjälp av solceller monterade på Viared för tre olika scenarion (Andersson & Simonsson, 2021).....	28
Tabell 4 visar en förklaring över antal transporter per vecka och dag beroende på fyllnadsgrad och typ av lastbil (Andersson & Simonsson, 2021).....	29
Tabell 5 beskriver antal lastbilar samt hur mycket energi per år det krävs för att transportera 200 containrar mellan Viared – APM Terminals med fakta baserat från tabell 1 och 4. (Andersson & Simonsson, 2021).....	30
Tabell 6 Tabellen visar hur mycket energi och antal lastbilar som krävs för antalet transporter som krävs enligt tabell 4 med data från Tabell 2. (Andersson & Simonsson, 2021).....	31

FÖRKORTNINGAR OCH BEGREPP

Dryport	En torrhamn. Terminal som gods ankommer till, ofta för omlastning.
FN	Förenta Nationerna
GWh	Gigawatt timmar (10^9)
HCT	High Capacity Transport
kWh	Kilowatt timmar (10^3)
kWh/km	Kilowatt timmar per kilometer
kWp	Kilowatt peak – ett mått för hur effektiva solceller är vid ett testtillfälle
ISEES	The international Society for Energy, Environment and Sustainability
Medium duty trucks	Lastbilar med bruttovikt 6 – 12 ton
ROI	Return on Investment
Seaport	En terminal där fartyg ankommer
Tonkm	Ett mått som används vid beräkning av utsläpp. Ton för ekipagets vikt och km för sträckan den kör.

1. INLEDNING

Detta kapitel tar upp bakgrunden till hållbar utveckling och olika mål både nationellt och internationellt. Vidare förklaras syftet med rapporten följt av rapportens frågeställningar och avgränsningar.

1.1 Bakgrund

Ett uttryck som uppstår ofta i dagens samhälle är hållbar utveckling vilket är en bred term. Kortfattat kan den förklaras som en triangel med en del i varje hörn; ekologi, ekonomi och social hållbarhet (Förenta Nationerna, 2020). En del i arbetet med hållbar utveckling är att FN har utvecklat agenda 2030 som består av 17 olika mål där några av de är kopplat till ekologi bland annat att öka användandet av förnyelsebar energi. Mål 7 *Hållbar Energi för alla* innehåller diverse delmål som till exempel 7.2 *Öka andelen förnyelsebar energi i världen*. FN nämner också några tips för att uppnå dessa mål där *Installera Solpaneler* toppar listan. Ett annat relevant mål är nummer 9 *Hållbar Industri, Innovationer och Infrastruktur* där delmål 9.4 *Uppgradera all industri och infrastruktur för ökad hållbarhet* mycket väl kan sammankopplas med rapporten (Naturvårdsverket, 2020)

Sveriges nettoutsläpp ska vara netto-noll år 2045, ett delmål i att uppnå detta är att utsläpp från inrikestransporter ska minska 70% jämfört med 2010 exkluderat inrikesflyg (Naturvårdsverket, 2020). Naturvårdsverket arbetar med miljörelaterade frågor och är samordnade inom miljöarbetet - nationellt, inom EU och internationellt. Ett sätt att bidra till detta mål är att öka användningen av förnyelsebar energi med bland annat solceller (Mutter, 2019).

Under de senaste åren har det påbörjats en global förändring där målet är att ersätta fossila bränslen med förnyelsebar energi (Mutter, 2019). Transportsektorn har en betydande roll i detta arbete då majoriteten av världens fordon drivs av fossila bränslen. Under de senaste åren har flera olika typer av förnyelsebara alternativ för att driva fordon uppkommit. Exempel på dessa alternativ är biobränsle, vätgas och eldrift. Framförallt har eldrivna fordon fått ett stort genombrott (Monie et al., 2021). Förnyelsebar energi i olika former har ökat senaste åren och kommer förmodligen öka i framtiden också. Att producera förnyelsebar elektricitet är utmanande då det inte alltid kan matcha behovet av elektricitet samt att lagra energin eller elektriciteten då det uppstår ett överskott.

Viared har blivit ett nav för transporter genom Sverige då över 100 företag finns där (Viared, 2020). Detta leder till att det sker väldigt många transporter via Viared och således finns det utmaningar och möjligheter att bidra till en hållbar utveckling ur både ekonomiska samt miljömässiga aspekter. I Viared företagspark finns ett stort antal företag med stora byggnader vilket innebär att det finns stora ytor med möjlighet till solceller monterade på byggnader. Med eldrivna transporter finns det möjligheter att minska utsläppen och bidra till ett mer hållbart samhälle (Mutter, 2019).

För att bidra till ovanstående mål har Borås kommun, Viareds företagscenter samt distributörerna på Viared valt att undersöka möjligheten att använda sig utav solceller på företagens tak för att utvinna förnyelsebar energi. Målet är att denna solenergi ska möjliggöra för användandet av eldrivna lastbilar. Mellan Viared och Göteborgs Hamn fraktas 200 containers varje vecka vilket innebär ett stort antal lastbilstransporter varje dag. I januari 2020 startades ett projekt med High Capacity Transport (HCT) fordon i syfte att effektivisera transportflödet mellan Viared och Göteborgs Hamn (Eriksson, 2020). HCT är extra långa och tunga dragfordon som kan transportera två 40-fots containrar på en gång. Det är ett steg på

vägen mot effektivare och mer hållbara transporter, nästa stora steg kan potentiellt sett bli att elektrifiera en del av transporterna (Kharrazi et al., 2015).

1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att undersöka hur laddning av HCT-fordon är möjligt genom användning av solceller för transporterna av gods mellan Viared och Göteborgs Hamn. Rapporten undersöker om dessa HCT-fordon kan drivas genom elektricitet från solceller.

1.3 Frågeställning

Baserat på ovan syfte har följande frågeställningar utarbetats.

- Hur stor mängd energi krävs för att klara laddning av de fordon som används för HCT-transport?
- Vilka kostnader uppstår vid installation av solpaneler?
- Hur stor mängd energi går det att utvinna genom solpaneler på aktuella byggnader?

1.4 Avgränsningar

Avgränsningar inom denna rapport är att enbart undersöka transport av gods mellan Viared och Göteborg Hamn. Rapporten fokuserar främst på ekonomisk och ekologisk hållbarhet för att utelämna den sociala hållbarheten gällande godstransporter mellan Viared och Göteborgs Hamn. Rapporten fokuserar på hur mycket energi det går att utvinna från en viss yta solpaneler. Den grundläggande tekniska aspekten nämns i rapporten men djupare teknisk kunskap kommer att utelämnas. Återvinning av både solceller och batterier tar inte rapporten hänsyn till. Den tekniska detaljen om hur laddning av fordon sker kommer enbart nämnas ytligt och ingen fördjupning över olika typer av laddningsuttag eller effekt kommer att behandlas. Hur elektriciteten ska transporteras mellan området i Viared till eventuella laddningsstationer kommer inte heller att behandlas. Det finns många olika typer av elmotorer och de varierar också i antal beroende på typ av lastbilstillverkare eller vad ändamålet för den lastbilen är. Vilken typ eller hur många elmotorer behandlas inte i rapporten, däremot nämns det kort att finns olika typer och att det kan vara fler eller färre elmotorer.

Ytterligare avgränsningar i denna rapport är vad avkastningen (ROI) för att montera dessa solceller blir. Rapporten kommer endast ge en indikation på ett ungefärligt pris genom två olika metoder för att ge underlag till liknande studier. I teoridelen nämns det kort om avkastning på investering av solceller men som senare inte analyseras i resultatet utan enbart ett estimerat pris nämns. Placering av solcellerna har inte beaktats vid beräkning av priset.

2. TEORI

I denna del presenteras grundläggande teori om solceller och solenergi samt lagring av energi från solceller. Det följs upp av transportbehovet mellan Viared och Göteborgs Hamn samt utvecklingen av eldrivna lastbilar och dess utmaningar/möjligheter.

2.1 Solenergi

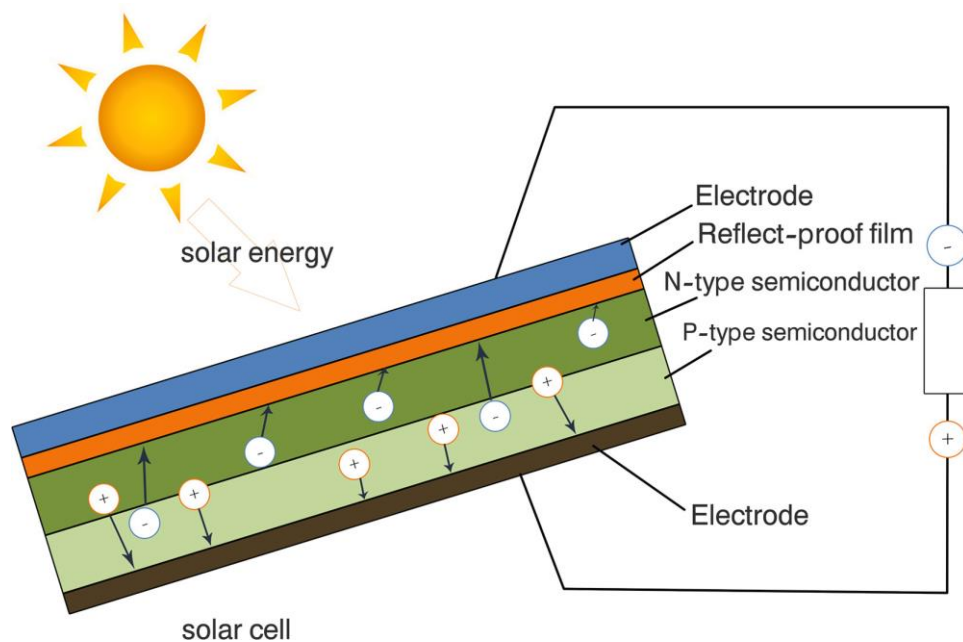
The international Society for Energy, Environment and Sustainability (ISEES) fick 2014 i uppdrag att sprida kunskap och medvetenhet om energi, miljö och hållbarhet (Tyagi et al., 2020). En del i detta arbete är att öka medvetenheten om miljöutmaningar samt hur dessa utmaningar kan lösas med bland annat solenergi. Den källan med störst potential som produceras förnyelsebar energi är solceller för att det finns tillgängligt nästan överallt, energin kan utvinnas säkert och relativt enkelt (Lokar & Virtič, 2020). En annan anledning till att solenergi är lovande är att det finns i obegränsad mängd i naturen samt att det går att använda i både stor- och småskalighet. Nackdelen med solenergi är att utvinning av energin är oregelbunden samt att det är starkt påverkat av vädret (Tyagi et al., 2020). Detta gör att solenergi inte är särskilt flexibelt och andra energikällor krävs för att komplettera energibehovet då solenergin inte kan generera tillräckligt med energi. En av dessa komplimenterande energikällor kan vara att lagra solenergi i det fall det finns överflöd av energi (Lokar & Virtič, 2020).

2.1.1. Solceller

Solceller finns i en mängd olika varianter men den vanligaste är solceller med kisel (Si) som idag (2020) står för över 90% av solcellerna (Tyagi et al., 2020). Dessa solceller med kisel har inte uppnått den önskade nivån gällande produktionspris och effektivitet, därav har flera nya forskningsprojekt med andra solceller som är mer effektiva och dessutom billigare inletts. Den vanligaste typen av solceller innehåller kisel och det utvinns från kiseloxid som är ett förekommande ämne i naturen (Aghajanpour et al., 2013). Denna process är dock energikrävande vilket har lett till att priserna för dessa solceller har varit relativt höga. På grund av vidare forskning samt konkurrens från andra tillverkningsmetoder har priserna har pressats ner, även om det fortfarande krävs mycket energi för att tillverka denna typ av solceller. Mängden energi som kan produceras från solceller beror på tre olika aspekter: hur mycket solstrålning för arean, storlek på solcellssystemet och hur effektiva solcellerna är (Yang et al., 2020). Solceller kan främst användas genom två olika sätt, antingen genom att lagra energin som utvinns på plats eller att ansluta till det befintliga elnätet som ett komplement (Wenham et al., 2012). Skillnaderna mellan dessa två är att då solceller inte är anslutna till elnätet innebär det att det inte går att förflytta energin mellan solcellerna och elnätet. Den andra metoden som är vanligare är att solcellerna är anslutna till elnätet som gör det möjligt att både köpa och sälja överskott respektive underskott av energi.

Kiselceller är anordningar som består av en tunn kiselplatta som har dopats (Aghajanpour et al., 2013). En dopad kiselplatta innebär att en kontrollerad mängd föroreningar tillsätts för att styra dess elektriska egenskaper. *Figur 1* nedan visar hur en kiselcell ser ut och hur dessa föroreningar skapar två olika skikt som kallas n- och p-skikt. När solljus träffar solcellen exciteras en elektron från kiselatomen, dessa elektroner skapar en ström. Elektronerna leds sedan tillbaka till den ursprungliga positionen för att kunna upprepa denna process. Livslängd för en kiselcell är oftast mer än 25–30 år.

Figur 1.
Kiselsolcell



Kommentar: Figur 1 är hämtad från (Husain et al., 2018) artikel A review of transparent solar photovoltaic technologies. Figuren beskriver hur en kiselsolcell fungerar samt illustrerar de olika skikten och hur elektroner förflyttar sig. Figuren finns i kapitel 1.1. i deras rapport som är hämtad ifrån <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.031>. Creative common license, (CC BY 4.0.)

Energiförluster i solceller finns huvudsakligen i tre olika fenomen (Aghajanzpour et al., 2013). Den första typen av energiförlust är svartkroppsstrålning som är den energi allt material utsöndrar ovanför den absoluta nollpunkten. Energiförlust nummer två är den energiförlust som uppstår när elektronerna rör på sig till öppna elektronhål. Båda dessa typer av energiförluster är svåra att göra någonting åt och de står för ca 17% av energiförlusten. Den tredje och huvudsakliga energiförlusten är att solceller inte kan ta upp all typ av energi från solen. Ett annat problem med solceller är att de inte får maximal verkningsgrad på alla typer av byggnader och tak (Yang et al., 2020). För att optimera energiutnyttjande ska taken ha en lutning för att inte skugga bakomvarande solceller. Skuggor från andra byggnader eller vegetation påverkar också hur mycket energi som solcellerna kan generera. De konventionella solcellerna kan inte ta upp infrarödstrålning och då är nästan hälften av energin från solen infrarödstrålning. Olika material har olika bandgap som kan ta upp olika typer av strålning (Aghajanzpour et al., 2013). För att solceller ska kunna ta upp strålning inom ett större bandgap krävs flera olika lager av solceller. Fortsättningsvis skriver Aghajanzpour et al., (2013) att teoretiskt sätt skulle en solcell med oändligt många lager ha en verkningsgrad på 87% medan de vanliga kiselcellerna teoretiskt sätt inte kan ta upp mer än 30% av energin.

För att optimera mängden energi som utvinns genom solceller krävs det att solcellerna är i rätt vinkel gentemot solen. Den optimala vinkeln är 90° till solen med en vinkel på +/-15°, uppnås detta är förlusten i princip försumbar (Aghajanzpour et al., 2013). Avviker däremot vinkeln mer än 15° blir energiförlusten snabbt större. Det finns olika paneler som vrider sig beroende på hur solljuset är riktat. Sverige är beläget på en hög latitud vilket gör att solen står lågt under vissa perioder under året (Yang et al., 2020). För att optimera placeringen och radavstånd mellan solceller måste skuggning av framförvarande solceller tas i beaktning beroende på vilken tid på året det är. Det krävs längre radavstånd mellan solcellerna när solen står lågt jämfört med om

den står högt. Fortsättningsvis skriver Yang et al., (2020) att i Västerås är den optimala vinkel 20° och radavståndet två meter för att minimera skuggning av solceller som är monterade på platt tak.

2.1.2. Lagring av solenergi

Att lagra energi kan vara komplicerat och går att göra på flera olika sätt (Tyagi et al., 2020). Några metoder som använts och undersökts för att lagra solenergi är: kemisk-, mekanisk-, värme- och elektrisk energi. Alla dessa olika typer av lagringsmetoder har sina fördelar och nackdelar och vilken typ av lagring som skall användas beror på hur solenergin tas upp. Att lagra energi genom värmeenergi är mest lämpligt vid solcellsparkar och när stora mängder energi produceras. Lagring genom kemisk energi där energin lagras i batterier är mest lämpligt när elektriciteten genereras direkt genom solceller (Gurung & Qiao, 2018). Det största problemet med solceller är avsaknad av solljus under natten och när det är molnigt. En lösning till detta problem är att lagra energin då solen lyser. Batterier kan vara lösningen till detta problem då det kan laddas upp under dagen och ladda ur under natten eller när energi behövs. Att lagra energin genom elektrisk lagring är också lämpligt då elektriciteten genereras direkt genom solceller (Tyagi et al., 2020). Det finns fler delar att ta hänsyn till så som säkerhet, kostnad och underhåll som måste beaktas.

Det finns olika typer av batterier och även flera olika sätt hur energin kan lagras. (Tyagi et al., 2020). Den typen av batteri som används mest är litiumjonbatterier, anledningen till detta är att dessa batterier har en hög energitäthet framförallt med sina föregångare bly- och nickelkadiumbatterier. En risk med att ladda batterier är att de överladdas, för att förhindra detta krävs någon form av övervakningssystem. Enligt en studie gjord av Gurung & Qiao (2018) testade de att ladda litiumjonbatterier direkt från solceller. Energiförlusten var försumbar vilket resulterade i nästan 100% laddningseffektivitet. Att använda batterilagring för solceller är vanligt då energin tas upp under dagen för att användas både direkt men framförallt vid ett senare tillfälle exempelvis under kvällen då solceller inte producerar någon energi (Tyagi et al., 2020). En annan fördel med batterilagring är att de kan vara modulära vilket innebär att det är lätt att koppla ihop fler eller koppla av batterier till det befintliga systemet.

2.1.3 Sälja tillbaka el till elbolagen

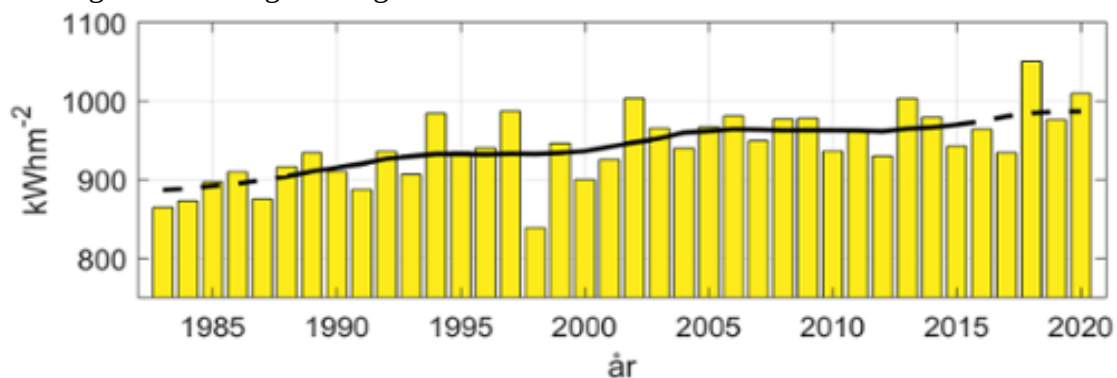
Vid vissa tillfällen produceras ett överskott av energi jämfört med vad som används, då finns möjligheten att sälja el. Enligt Jenkins & Thornycroft (2017) varierar det mellan både länder och olika elbolag hur den affären görs. En del väljer att det betalas som en premium-summa som är bestämd av regeringen enligt tariff. Priset på att sälja el till elbolag beror på hur behovet av el ser ut under den perioden som elen ska säljas (Nojavan et al., 2017). För att öka lönsamheten i att sälja el till elbolag kan både de som säljer och de som köper el använda sig olika metoder för öka lönsamheten, ett av dessa behov är ett "demand and response program" som kan öka lönsamheten mellan 5 - 10%. Fortsättningsvis skriver Nojavan et al., (2017) att detta kan öka lönsamheten för både säljaren och köparen av elen så det blir en "win-win situation". Under 2019 så kostade en kWh i genomsnitt i Sverige 40 öre (Nord Pool, 2020). Som skrivet ovan går det att sälja el som produceras genom solceller till elbolagen för ett visst pris som varierar beroende på det riktiga elpriset.

2.2 Användning av solceller i norra Europa

Enligt en studie om hur mycket elektricitet det går att få ut av solceller i Västerås under ett år gjord av Yang et al., (2020) skriver de att det spelar stor roll beroende på vilket väderstreck som solcellerna är placerade i men även om taken lutar eller om det är platta tak. Andelen energi som solceller producerar mäts i kilowatt peak (kW_p), vilket innebär toppeffekten som uppnås när solceller testas (Górniewicz & Castro, 2020). Andelen kW_p solceller beror på många olika faktorer som vilken typ av solcell, vinkeln mot solen, vilket väderstreck som solcellerna är riktad mot etcetera. I en studie om att montera solceller på alla tak i Västerås uppgick den totala effekten som går att få ut årligen genom att montera solceller på alla lutande tak till 565 GWh av en yta på $3,62 \text{ km}^2$ (Yang et al., 2020). Vidare skriver Yang et al., (2020) att solceller på platta tak med ett radavstånd på 2,5 meter och att solcellerna lutar 10° vilket gav bäst resultat skulle kunna generera 235 GWh och då av en yta på $2,06 \text{ km}^2$. Dessa solceller var monterade åt både öster och väster, en modul riktad åt väst med 10° lutning och den andra modulen med 10° lutning mot öst som tillsammans skapar en v-formad modul. I en annan undersökning som de gjorde var att rikta solcellerna mot söder med en lutning av 20° och två meters radavstånd. Dessa solceller hade högre potential jämfört med de som var i östlig och västlig riktning men färre moduler kunde installeras vilket gjorde att de solceller som var monterade i öst-västlig riktning hade större total potential. Den totala potentialen för solceller monterade i sydlig riktning hade en total potential på 155 GWh. De solcellerna som undersöktes i deras studie kunde generera 35 kW_p per system. En annan studie gjord av Górniewicz & Castro (2020) undersöker de lönsamheten med att montera solceller i Polen. I deras studie använde de sig utav solcellssystem på $36,3 \text{ kW}_p$ så fick de resultatet att investeringen av att montera ett solceller bestående av 132 moduler skulle betala sig tillbaka på sex år. Avslutningsvis skriver Yang et al., (2020) att detta skulle kunna täcka Västerås årliga energibehov upp till 70%. Denna procentsats tar inte hänsyn till varken tillfälliga energibehov under dagen eller säsongsbehovet i Västerås.

Figur 2

Graf över globalstrålning i Sverige från 1983–2020.



Kommentar: Figur 2 är hämtad från SMHI:s hemsida där de beskriver hur globalstrålning har sett ut i Sverige mellan 1983 - 2020. Hämtad från:

<http://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/stralning-1.17841>.

En studie gjord av Haegermark et al., (2017) som undersöker solceller i Göteborg med solcellspaneler som lutar 45° till solen och i sydlig riktning genererade ca 1000 kWh/kW_p årligen då arean på solcellspanel uppgick till $1,633 \text{ m}^2$. Den genererade elektriciteten varierade

stort mellan olika månader med nästan 150 kWh/kWp under sommarmånaderna medan vintermånaderna genererade ca 30 kWh/kWp. Den totala solstrålningen som träffar en horisontell yta kallas för globalstrålning (Lindahl et al., 2019). I Sverige har den globala strålningen ökat med cirka 8% från början av 1980-talet till idag (2020) (Figur 2). Likt studien av Haegermark et al., (2017) så visar mätningar från SMHI att det är främst under våren och sommaren globalstrålning träffar Sveriges yta. Totalt är den globalstrålningen cirka 1000 kWh/kvm årligen varav 150 kWh/kvm globalstrålning sker under vinter- och höstmånaderna medan resterande sker under vår- och sommarmånaderna (Lindahl et al., 2019).

En annan studie gjord av Sommerfeldt et al., (2016) förklarar att den bästa vinkeln för solpaneler i Sverige är 41 - 48°. De ska också placeras i söderläge för att uppnå sin maximala potential. I mellersta och södra Sverige om detta görs korrekt förväntas solcellerna generera 900 - 1000 kWh/ kW_p årligen. På de ställen där solen lyser mest som Skåne, Öland och Gotland kan dessa system producera upp mot 1100 kWh/ kW_p per år. Enligt studien gjord av Lindahl et al., (2019) så är återbetalningstiden på solceller mellan 13 och 30 år med ett system baserat på 5 kWp. Medel-återbetalningstiden enligt denna studie var 16 år. Med återbetalningstid menas i detta fall den tid det tar att spara in de pengar man investerat på solcellerna genom minskade el-kostnader. Studien av Sommerfeldt et al., (2016) visar också på stor variation av globalstrålning beroende på årstid där 80% infaller mellan april-oktober och endast 3% under december och januari. Yang et al., (2020) uppskattade att 25 % av ytan på industribyggnader som har platta tak så är det inte möjligt att installera solceller på grund av skorstenar, ventilation och annat som är på taket. De tar antingen plats på taken men även att de skuggar en del som gör att det inte är möjligt att installera solceller nära dessa.

I studien gjord av Lindhal et al., (2019) skriver de att priset för att montera solceller har minskat dramatiskt från 2012-2018 och fortsätter förmodligen att minska i framtiden. De har också undersökt SEK/kWp mellan små och större solcellsanläggningar. För ett system som har 5 MWp var priset 2018 5800 SEK/kWp, de tog också upp exempel för system som är större än 20 MWp men kunde inte få fram en siffra men att det skulle vara billigare än priset ovan på grund av storskalighet.

2.3 Godstransporter

Transportering av gods sker dygnet runt under alla årets dagar och främst genom fartyg, lastbil, flyg och tåg. I de flesta fall skiftas transportsättet någon gång under färden. Då kallas det för en intermodal transport. Då världens handel sker mellan alla olika kontinenter finns ett extremt stort behov av transportereringen av gods samt dess flexibilitet. Sveriges totala lastbilstransporter mätt i tonkilometer utförs över 80% av dessa med ekipage som lastar mer än 30 ton (Arnäs et al., 2013). Fortsättningsvis skriver Arnäs et al., (2013) att inrikes godstransporter i Sverige så står varugruppen styckegods och samlastat gods för den största delen av godstransporter. Begreppet styckegods och samlastat gods är svår att definiera men den största delen av denna typ av gods transporteras av de stora speditörerna (DB Schenker, DHL, Postnord, Green Cargo). Vägtransport är den dominerande transportsättet när det gäller godstransporter i många länder även Sverige (Lindqvist et al., 2020). Fortsättningsvis skriver Lindqvist et al., (2020) att en anledning till detta är den stora ökningen av e-handel, denna ökning leder till negativa konsekvenser för samhället och miljön.

2.3.1. High Capacity Transport

Nästen hälften av de totala koldioxid-utsläppen kan härledas till transportsektorn där 93% av utsläppen inom transporter av gods kommer ifrån vägtransporter (Lindqvist et al., 2020). Då Sveriges regering satt upp ett mål där växthusgas-utsläpp ska vara noll år 2045 krävs det förändringar inom vägtransporter där majoriteten av utsläppen uppstår. En del i detta arbete är HCT-fordon, med en ökad tillåten maximal vikt och längd för lastbilar som utför godstransporter finns möjligheter till en minskad negativ klimatpåverkan (Lindqvist et al., 2020). Med en högre kapacitet för varje lastbil möjliggörs mer vikt och volym per transport vilket leder till en ökad trafikeffektivitet som kan mätas i ton-kilometer (tonkm). Miljöpåverkan reduceras också eftersom energieffektiviteten per tonkm blir bättre (Arnäs et al., 2013). Kostnaden per transporterad enhet blir reducerad då det krävs färre fordon i transportkedjan men kostnaden för varje fordon-kilometer blir högre eftersom HCT-fordon kräver mer energi än en vanlig lastbil. Men med en högre lastkapacitet behövs färre fordon vilket gör att kostnaden, utsläppen samt energiförbrukningen per tonkm reduceras vid användning av HCT-fordon (Lindqvist et al., 2020).

Enligt svensk lag är den maximalt tillåtna längden för en lastbil 25,25 meter och den maximala vikten är 60 ton (Kharrazi et al., 2015). Detta gör att det uppstår problem för HCT-fordon då de överskrider dessa gränsvärden. Den som ska utföra transporter med HCT-fordon kan söka dispens för att få framföra fordonet på svenska vägar. Sveriges regering beslutade under 2018 att fordon upp till 74 ton och 34 meter är tillåtna att köra på utvalda vägar som ett led i att möjliggöra för transporter med HCT-fordon (Pålsson & Sternberg, 2018).

2.3.2 Eldrivna lastbilar

De totala utsläppen globalt från transporter är över 9000 miljarder ton. Godstransporter står för ungefär hälften av dessa. Från 2015 till 2050 beräknas att utsläpp från vägtransporter kommer öka med minst 70%, detta trots kraftiga investeringar inom energieffektivitet (Liimatainen et al., 2019). I den tyska staten Norra Rhine-Westphalia (NRW) gjordes en jämförelse över utsläpp från lastbilar som drivs av bränsleceller eller batterier och möjligheterna att reducera utsläppen kontra vid användande av dieseldrivna lastbilar. De växthusgaser som mättes var det främsta så som koldioxid (CO₂), partiklar med diameter under 10 µm (PM10) samt kväveoxid (NO_x). Studien visade på att i staten NRW uppstår följande andel av växthusgaser från vägtransporter; 12% av CO₂, 30% av NO_x och 38% av PM10 (Breuer et al., 2021). Av den totala mängd PM10 och NO_x som släpps ut från vägtransporter kommer 78% respektive 92% från dieseldrivna lastbilar. Detta trots att dieseldrivna lastbilar bara utförde 56% av den totala distansen som kördes.

Tunga batteridrivna lastbilar har inte varit ett alternativ då det krävs mycket energi och energidensiteten i batterier har inte varit tillräckligt hög (Liimatainen et al., 2019). Energidensiteten för litiumjonbatterier har fördubblats mellan 1990 till 2010 och även priserna har minskat med 20% vilket har lett till att eldrivna lastbilar idag (2020) både är tekniskt och kommersiellt möjligt (Mareev et al., 2017). Priserna för dessa batterier förväntas få en fortsatt reduktion i pris vilket kan leda till att livscykelkostnaden för tunga lastbilar som drivs på el kan bli lägre jämfört med diesellastbilar (Liimatainen et al., 2019). Elektrifierade lastbilar presterar bättre jämfört med andra alternativa bränslen gällande kostnad och utsläpp trots att det är stora inkrementella kostnader. På grund av billigare batterier samt att de presterar bättre har många olika företag börjat att tillverka elektrifierade lastbilar som *tabell 1* nedan visar.

Tabell 1*Olika typer av lastbilar som drivs på el.*

Manufacturer	Commercial name	Type	Maximum weight	Battery capacity (kWh)	Range (km)	Energy consumption (kWh/km)	Charging power (AC/DC kW)
Mitsubishi	eCanter	medium duty	7.5t	82.8	120	0.69	
BYD	T7	medium duty	11t	175	200	0.88	100/150
Freightliner	eM2 106	medium duty	12t	325	370	0.88	260
Volvo	FL Electric	rigid	16t	100–300	100–300	1.00	22/150
Renault	D Z.E.	rigid	16t	200–300	300	1.00	22/150
eMoss	EMS18	rigid	18t	120–240	100–250	1.00	22/44
Mercedes-Benz		rigid	26t	212	200	1.06	
Renault	D WIDE Z.E.	rigid	26t	200	200	1.00	22/150
Tesla	Semi	semitrailer	36t		480–800	<1.25	
BYD	T9	semitrailer	36t	350	200	1.75	100/150
Freightliner	eCascadia	semitrailer	40t	550	400	1.38	260

Kommentar: Tabell 1 kommer ifrån Liimatainen et al., (2019) rapport “The potential of electric trucks – An international commodity-level analysis. Applied Energy, 236, 804–814. Tabellen återfinns i kapitel 1. Tabell 1 beskriver och jämför olika ellastbilar angående olika parametrar som max vikt, märke och hur långt de kan köra. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.12.017>. Creative common license, (CC BY 4.0.)

Som *tabell 1* ovan beskriver skiljer det sig mycket beroende på tillverkare hur mycket vikt en lastbil kan transportera samt räckvidden för en laddning. (källa för bilden Liimatainen)

Liimatainen et al., (2019) skriver att elektrifierade lastbilar redan skulle vara en lämplig lösning för en större del av vägtransporter som sker med medium duty trucks (6 - 12 ton gross weight). Vidare utveckling av batterikapacitet och infrastruktur för laddning skulle också innebära det möjligt för större lastbilar att drivas på el. Det finns tillverkare som Tesla och Maschnefabrik Augsburg-Nürnberg (MAN) som utvecklar eldrivna semi-trailer lastbilar (Mareev et al., 2017).

Fortsättningsvis skriver Mareev et al., (2017) att tesla planerar att utveckla lastbilar som har en batterikapacitet mellan 270kWh och 400 kWh.

Enligt Ghandriz et al., (2020) blir kostnaden för varje fraktat ton cirka 2€ (10%) högre vid dieseldriven lastbil jämfört med en eldriven. Kostnaden är uppdelad i investering samt operationell kostnad. Vid dieseldriven körning är den operationella kostnaden cirka 65% medan investeringen står för 35%. Det blir en högre andel operationella kostnader jämfört med vid eldriven lastbil där investeringskostnaden är cirka 55% och den operationella kostnaden är 45%. Den största anledningen till detta är kostnaderna för batterierna.

Tabell 2

Tre olika typer av lastbilar som drivs av el och skillnader mellan dessa.

	Mission 1, (X_r^1)	Mission 2, (X_r^2)	Mission 3, (X_r^3)
Maximum working time per day (h)	16	10	10
Route	$X_r^1(1)$	$X_r^2(1)$	$X_r^3(1)$
Conventional-Electric-Hybrid	Electric	Electric	Electric
Loading capacity (ft)	80	80	40
Type of electric motor	EM ₂	EM ₂	EM ₁
Number of electric motors	6	6	4
Total number of battery packs	13	12	3
Total size of battery packs (kWh)	438.75	405	101.25
Total mass of battery packs (ton)	3.25	3	0.75
Size of IC engine (lit)	-	-	-
Recharging at Dryport (kW)	10	10	10
Recharging at Seaport (kW)	70	70	-
LU at Dryport, 1 st semitrailer	SC	SC	SC
LU at Dryport, 2 nd semitrailer	SC	SC	-
LU at Seaport, 1 st semitrailer	SC	SC	-
LU at Seaport, 2 nd semitrailer	SC	SC	-
LU at C ₁ , 1 st semitrailer	NLU	-	SC
LU at C ₁ , 2 nd semitrailer	AST	-	-
LU at C ₂ , 1 st semitrailer	NLU	-	OBW
LU at C ₂ , 2 nd semitrailer	OBW	-	-
LU at C ₃ , 1 st semitrailer	NLU	-	OBW
LU at C ₃ , 2 nd semitrailer	OBW	-	-
LU at C ₄ , 1 st semitrailer	NLU	-	AST
LU at C ₄ , 2 nd semitrailer	AST	-	-

Kommentar: Tabell 2 är hämtad från (Ghandriz et al., 2021) artikel Transportation-mission-based Optimization of Heterogeneous Heavy-vehicle Fleet Including Electrified Propulsion. Tabellen ovan beskriver tre olika lastbilar som drivs på elektricitet. Den beskriver bland annat vilken typ av motor som finns, hur många motorer, storlek på batterierna samt lastkapacitet. Tabellen återfinns på sidan 18 i deras rapport. Hämtad ifrån (Ej publicerad ännu) Creative common license, (CC BY 4.0.).

Tabell 2 ovan av Ghandriz et al., (2020) visar en jämförelse mellan tre olika eldrivna lastbilar. Nummer 1 och 2 kan transportera två 40-fotscontainers (80ft) medan nummer 3 kan lasta en 40-fotscontainer (40ft). De skiljer sig i hur stor batterikapacitet som krävs mellan de lastbilar som kan dra 80ft jämfört med den som drar 40ft, den bil med lastkapacitet 40ft har fyra el-motorer, tre batteripaket och med 101 kWh i batterikapacitet. Jämför detta med 80ft-lastbilarna som har sex el-motorer och 13 respektive 12 batteripaket. Kapaciteten för de större lastbilarna

är 438,75 respektive 400 kWh. *Tabell 2* visar också en stor skillnad på vilken laddningskraft som krävs för de olika lastbilstyperna, nummer ett och två kräver mycket större laddningskraft i “seaport” medan nummer tre kan klara sig på enbart en laddning som motsvarar tio kW i “dryport”.

3. METOD

Kapitlet beskriver rapportens metod och att den är utförda i form av en fallstudie. Hur fakta samt hur litteratursökningen har gått till återfinns också under detta kapitel.

3.1 Litteraturstudie

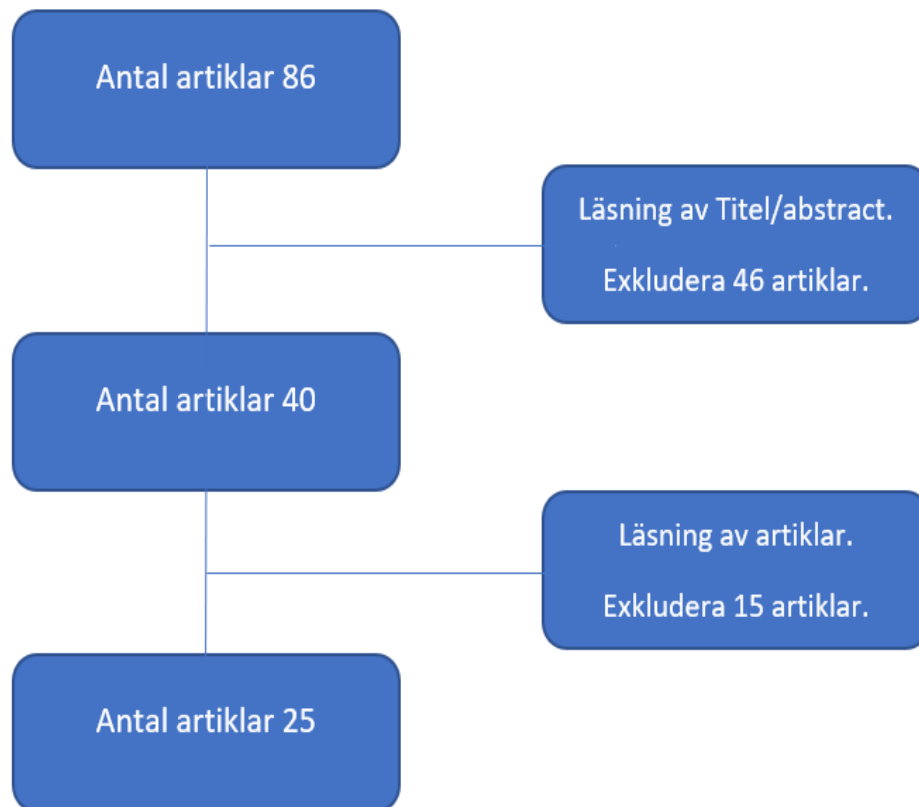
Den största delen har skett i form av litteraturstudie och den litteraturen som har hämtats är främst vetenskapliga artiklar eller tryckta böcker. Att använda sig utav dessa källor som är granskade sedan innan bidrar till att öka reliabiliteten för rapporten. Teoridelen kan delas upp i två olika delar en för solceller och en för godstransporter. Då dessa olika delar skiljer sig en del åt varandra har också insamling av data till dessa två olika områden skiljts sig en del. Det fanns även mycket mer information om solceller jämfört med extra tunga godstransporter och framförallt i kombination med eldrift.

Den främsta källan för att hitta litteratur har varit Chalmers Biblioteks sökmotor för båda delarna. Eftersom fallstudien inriktar sig emot ett ämne där mycket forskning sker och stora framsteg har skett senaste åren har i de allra flesta fall utgivningsåren för litteratur begränsats till efter 2005. Flera olika sökord har använts som nämns i två nästkommande stycken, i vissa fall har sökorden använts var för sig och ibland i kombination för att begränsa antal träffar. I några fall har även vetenskapliga källor hittats från referenslistan i de källor som har undersökts.

Sökord och litteraturstudie för den första delen i teorikapitlet som beskriver solenergi har främst varit “photovoltaic cells”, “solar cells”, “renewable energy AND storage”. Då flera av dessa källor som användes var publicerade i en journal som hette “Applied Energy” användes också denna journal mycket som sökmotor. För att få mer specifik information om solceller i Sverige och andra länder som har liknande klimat som Sverige lades sökord som “Sweden”, “Europe” och “Scandinavia” till efter de redan tidigare nämnda sökorden.

De sökord som användes för att samla information om HCT-fordon och eldrivna lastbilar var “Electrified trucks”, “High Capacity Transport”, “Sweden”, “electric vehicles”, “renewable transport” och “infrastructure”. Likt här har sökorden både använts enskilt och i kombination för att öka träffsäkerheten på sökningarna. En rapport från Chalmers och Volvo som inte har publicerats ännu (publiceras maj 2021) har också använts som vi fick tilldelad av vår handledare. Även sökningar om Viareds företagspark har samlats in och då framförallt från deras hemsida men även en artikel om Viareds utveckling ur ett historiskt perspektiv. Nedan i *Figur 3* illustreras också hur urvalet av litteratur har skett.

Figur 3.
Översikt över litteratursökningen.



Kommentar: Figur 3 är gjord av Andersson och Simonsson (2021). Den visar hur rapportens litteratursökning är utförd och hur artiklarna som använts valts ut.

3.2 Fallstudie

Rapporten är utformad och gjord som en fallstudie. En fallstudie börjar med en litteraturstudie som följs upp av noga utvald frågeställning eller fråga om problemet. Som med allt annat, finns det för- och nackdelar med en fallstudie. Vanliga områden då fallstudie används som metod är bland annat psykologi, utbildning och även ekonomi. Fallstudier används inom ekonomi då strukturen av en industri, stad eller region ska undersökas (Yin, 2009).

För att besvara tidigare nämnda frågeställningar utförs de beräkningar som krävs. Det har gjorts beräkningar på hur stor yta som finns tillgänglig till att montera solpaneler i Viared företagspark. En uppskattning över tillgänglig yta har räknats ut med hjälp av satellitbilder från Google maps och Lantmäteriet. Det ansågs som den bästa metoden utifrån tidsåtgång men även

tillförlitlighet. Ytan på varje enskild byggnad i Viaredföretagspark räknades ut med hjälp av bilder från Google Maps, se *Bilaga 2* och summerade sedan ihop alla dessa ytor för att få fram den totala ytan.

Efter att den totala ytan var uträknad fanns verktygen för att ta fram en beräkning på hur mycket energi dessa solceller skulle kunna producera och om möjligt, hur mycket det skulle kunna gå att lagra. Data som användes för att räkna ut detta är baserat från litteraturstudien. Efter diverse uträkningar gick det att ta fram ett ungefärligt svar på hur mycket energi dessa solpaneler kunde producera. För att räkna ut hur mycket energi solceller skulle kunna generera som är monterade på Viareds företagscenters tak användes tre olika scenarion. Två av dessa är baserat från andra liknande studier medan den tredje är ett företag i just Viared som har räknat på att montera solceller på deras tak.

När det fanns en siffra på hur mycket energi som kunde göras tillgänglig blev nästa steg att räkna på hur mycket energi som krävs för att köra HCT-fordon mellan Viared och Göteborgs Hamn, alltså en sträcka på 68 km. Då det är extra tunga fordon togs information från en artikel skriven av (Ghandriz et al., 2021) som har beräknat detta för eldrivna tunga lastbilar. Det har jämförts med artiklar från Chalmers databas för att öka trovärdigheten att det verkar vara rimliga beräkningar. Det är inte bara att lastbilen ska ta sig dessa 68 km, den ska även tillbaka samma sträcka för att hämta/lämna mer gods. Därför krävdes det beräkningar och svar på hur länge och hur ofta lastbilen behöver laddas för att klara pendlingen mellan Viared och Göteborgs Hamn. För att hitta svar på det har artikeln av (Ghandriz et al., 2021) studerats och tagits information från.

4. NULÄGESBESKRIVNING

Här nedan beskrivs nulägesituationen och Viared generellt. Det följs med ett avsnitt om eldrivna lastbilar och dess utveckling under de senaste åren.

4.1 Viared företagscenter

Viared ligger strax utanför Borås längs riksväg 40. I denna lilla by skedde det en stor förändring under 1970/80-talet då företag började etablera sig i Viared. Tidigare var Viared en lantlig ort där det mesta kretsade kring jordbruk. De familjer som bodde där hade sina bondgårdar och livnärde sig främst genom försäljning av matvaror. När denna transformering påbörjades var det många lokalinvanare som kämpade emot kommunens planer. Det gjorde de förgäves, under 80-talet dök de första företagen upp och odlingsmarker blev till stora företagslokaler. De första företagen som etablerade sig här var Volvo och Ellos (Svensson, 2018).

Den främsta anledningen till den stora expanderingen i Viared är det geografiska läget. Från Viared företagspark är det 25 minuter till Göteborg Landvetter Airport och 50 minuter till Göteborgs Hamn. Det är också en strategisk plats sett ur en skandinavisk synvinkel då det är ungefär samma avstånd till Stockholm, Oslo och Köpenhamn. I dagsläget finns det runt 150 företag i Viareds företagspark med totalt cirka 6500 anställda. År 2002 bildades Viared Företagsförening med syfte att få en ökad samverkan mellan företagen och dess anställda samt förstärka möjligheterna till utveckling (Eriksson, 2020).

I projektet Autofreight används High Capacity Transport (HCT) fordon för att transportera gods mellan Viared företagscenter och APM Terminals i Göteborgs Hamn. HCT är extra långa och tunga lastbilar där tanken är att kunna öka effektiviteten samt minska utsläppen för transporter. I Autofreight handlar det om en 32 meter lång lastbil som kan bära två 40-fots containrar istället för en som är det normala. Maxvikten för ekipaget är 80 ton vilket leder till en möjlighet att minska koldioxidutsläppen per tonkm med 30 procent jämfört med en standard-lastbil. Transportbehovet mellan Viared och APM-terminals är i nuläget cirka 200 containrar per vecka och enligt prognosen ser det ut att öka under kommande år (Eriksson, 2020).

Speed Group är ett företag som gjort en intressant satsning på solceller i Viared. De har vid sin nya byggnad i Viared installerat solceller på taket (Speedgroup, 2020). På byggnaden som är 83 000 kvm har det installerats solpaneler med en yta på 60 000 kvm. De beräknas producera 4 GWh årligen vilket motsvarar förbrukningen för 400 standardvillor. Det nya systemet av solceller producerar 33% mer el än vad fastigheten förbrukar vilket gör att överskottet kan säljas till elbolag eller andra lokala användare.

4.2 Utveckling av eldrivna lastbilar

Utsläppen från inrikes transporter i Sverige står för en tredjedel av de totala växthusgasutsläppen i Sverige (Naturvårdsverket, 2020). Med hänsyn till detta har Naturvårdsverket tagit fram ett miljömål där växthusgasutsläpp från inrikes transporter ska minska med 70% år 2030 jämfört med 2010. Under 2019 uppmättes transportsektorns utsläpp till 16,4 miljoner ton koldioxidekvivalenter vilket är cirka 20% mindre än 2010. Personbilar och tunga fordon står för drygt 80% av de totala utsläppen inom transportsektorn.

En stor utmaning inom miljöarbetet är givetvis att minska dessa utsläpp och en viktig del i detta är omställningen från fossila drivmedel till förnyelsebara drivmedel (Naturvårdsverket, 2021).

För att kunna driva lastbilar enbart på batterier är något som kommer vara viktigt i framtiden med hänsyn till utsläpp och att strama åt användandet av fossila drivmedel. Volvo och Scania är två företag som ligger långt fram i arbetet med eldrivna lastbilar och under 2021 kommer deras lastbilar med batteridrift rulla ut på gatorna (Volvo, 2020).

Volvo lastvagnar har tagit fram ett program med tre tunga lastbilar av modellerna Volvo FH, Volvo FM och Volvo FMX som kommer användas för transporter i Europa (Volvo, 2020). Dessa lastbilar har tågvikter på max 44 ton samt en räckvidd upp till 300 km. Till en början är tanken att de främst ska användas i stadsmiljöer för arbeten som distribution, sophämtning och regionala transporter. Volvo har ett mål att kunna ha eldrivna lastbilar för krävande och tunga fjärrtransporter under det här decenniet, dessa kommer även vara bränslecells-elektriska lastbilar. År 2040 är målet att produktsortimentet ska vara 100% fossilfritt. Eftersom det här är en väldigt omfattande förändring kommer det ske en successiv övergång till eldrift för transportföretagen som kommer ha en övergångsperiod med en blandad vagnpark av lastbilar som drivs av olika bränslen (Volvo, 2020).

Scania har lanserat sin första eldrivna lastbil under slutet av 2020. Den finns i två olika utföranden, antingen med fem eller nio batterier (Scania, 2020). Med fem batterier uppnås en kapacitet på 165 kWh och räckvidd upp till 130 km. I det kraftigare utförandet med nio batterier uppnås en kapacitet på 300 kWh och räckvidd upp till 250 km. Dessa lastbilar är utrustade för CCS-laddning från elnätet och den mindre modellen kan laddas på under en timme medan den större kan laddas upp på mindre än 100 minuter.

Infrastrukturen med laddningsstationer och dess kapacitet är den stora utmaningen vid elektrifiering av tunga lastbilar (Ziegler, 2019). I dagsläget (2020) får en chaufför köra 4.5 timmar för att sedan ha rast i 45 minuter innan den kan köra igen. Med anledning av detta krävs det batterier som klarar av att köra 4.5 timmar i sträck för att sedan ladda i 45 minuter. Det krävs en batterikapacitet på minst 500 kWh och laddningsstationer som kan ge 500 kW på kort tid för att klara av körning i ytterligare 4.5 timmar (Liimatainen et al., 2019). Dessa siffror är vad varje lastbil kräver vilket gör att det kan uppstå höjder där nästintill extrema mängder energi krävs när flera chaufförer kommer in samtidigt (Breuer et al., 2021). Diesel-bilarna har en tank på 1200 liter som gör att de inte behöver tanka särskilt ofta (Ziegler, 2019). Med hänsyn till det krävs ett nytt system med laddningsstationer längs de större vägarna för att lösa en ny form av infrastruktur. Det är ingen omöjlighet att det sker en gemensam kraftsamling från de större instanserna som regeringen, el-leverantörer, bränsle-stationer, komponent-leverantörer och kunder.

5. RESULTAT

Under detta kapitel kommer resultatet av fakta från teorikapitlet och nulägesbeskrivningen beskrivas. Flera tabeller finns med under resultatkapitlet för att illustrera resultaten och som sedan beskrivs med efterföljande text.

5.1. Tillgänglig takyta i Viared

Tillsammans utgör de 145 olika medlemsföretagen som har sina lokaler i Viared en yta av cirka 5 km². Varav dessa 5 km² är det inte byggnader överallt som *Bilaga 1* nedan också visar. Den totala ytan av byggnader i Viared företagspark är ca 870 000 m². Illustration över området Viared finns i bilagorna.

5.2. Potentiell genererad elektricitet under ett år

Solpaneler kan monteras på flera olika sätt för att maximera den totala potentialen. Några aspekter att ta hänsyn till är vilken riktning panelerna är riktade mot, vinkel på panelerna och vilket radavstånd som det är mellan solpanelerna. I detta avsnitt jämförs olika sätt att montera panelerna på och hur mycket de har potential att generera för den tillgängliga ytan i Viared.

En takyta kan inte utnyttjas till 100 % och Yang et al., (2020) estimerade att 25 % av takytan kommer det inte finnas möjlighet att montera solceller på. Speedgroup som är ett verksamt företag i Viared företagscenter har monterat solceller på deras byggnad som har en takyta av 83 000 kvm. De installerade solceller på 60 000 kvm och den beräknas producera 4 GWh årligen. Det innebär att cirka 70% av byggnadens tak skulle vara utnyttjad för solceller.

Tabell 3.

Potentiell genererad elektricitet med hjälp av solceller monterade på Viared för tre olika scenarion.

	Total Area (m ²)	Lutning	Väderstre- ck, riktning	Radavst- ånd	Utvinningsg- rad (kWh/kWp)	Potentiell installerad kapacitet (MWp)	Årlig potentiell genererad elektricitet (GWh)
Scenario A	609 000 m ²	Ej tillgängli- gt	Ej tillgängligt	Ej tillgängli- gt	Ej tillgängligt	Ej tillgängligt	40
Scenario B	609 000 m ²	10°	öst-västlig	2,5 meter	849	87	69
Scenario C	609 000 m ²	20°	Söder	2 meter	933	54	46

Kommentar: Tabell 3 är gjord av Andersson och Simonsson (2021). Den visar en jämförelse över hur mycket elektricitet som solpanelerna i Viared kan generera vid tre olika scenarion.

Enligt *tabell 3* finns det tre olika scenarion: A, B och C. Den årliga potentiella genererade elektriciteten skiljer sig en del åt mellan de olika scenarierna beroende på radavstånd, riktning etc. Scenario A som är beräknat på Speedgroups siffror som är beskrivet i stycket ovan. Den totala arean på Viared företagscenters tak är cirka tio gånger så stort jämfört med vad Speedgroup besitter. Det innebär att det finns potential att generera cirka 40 GWh per år. Om 70% av hela Viared företagsparks takyta på 870 000 kvm skulle utnyttjas till 70 % innebär det att 609 000 kvm finns tillgänglig för att montera solceller på.

Scenario B och C är baserat på Yang et al., (2020) rapport som är en liknande studie som denna. Dessa solcellsmoduler hade måtten av 0,992 m × 1956 m och varje modul i ett system bestående av 35 kW_p. I Scenario B har solcellerna en lutning på 10° åt både öst och väst som gör att det skapar en v-formad modul. Den svaga lutningen och att den är riktad mot både öster och väster gör att den inte är lika effektiv jämfört med den i Scenario C. Däremot finns det möjlighet att installera fler av dessa moduler då de sitter ihop två och två som gör att den totala potentialen blir högre. Kostnaden för att installera solcellerna i Scenario B blir högre eftersom totala antalet moduler blir fler men då blir också den potentiella genererade elektriciteten också högre. Scenario C är samma moduler som i Scenario B men där de är monterade enskilt, ett radavstånd på två meter och i sydlig riktning vilket är den som genererar mest elektricitet. Den totala potentialen i Scenario C är däremot mindre jämfört med Scenario B även om utvinningsgraden per kWp är högre. För att sammanfatta de tre olika scenarierna så har Scenario B störst potential på 69 GWh årligen medan scenario A och B har 40 respektive 46 GWh årligen. Att lägga till är att drygt 80% av globalstrålningen sker under vår- och sommarmånaderna. Detta innebär att

Scenario B-potentialen är cirka 55 GWh under våren och sommaren medan under resterande del av året enbart har cirka 14 GWh.

5.3. Transportsträcka och antal transporter

Det transporteras cirka 200 containrar i veckan mellan Viared och APM-terminal i Göteborg. Detta gör att det transporteras i genomsnitt 29 ($200/7$) stycken containrar per dag. Beroende på hur transporterna utförs delas de upp i fyra olika transportsценарion. I Transport 1 görs varje transport av en HCT-lastbil som hela tiden har tillgängliga containers att köra. Behovet som krävs blir åtta transporter per dag, då dessa lastbilar kan köra två 40-ft containrar åt gången. Åtta transporter ($50/7=7,1$) per dag uppnås om det körs två containrar tur och retur vid varje resa, i detta scenario transporteras fyra containrar vid varje resa vilket gör att 50 resor krävs för att uppnå 200 containrar transporterade på en vecka.

Eftersom det inte går att uppnå en optimal fyllnadsgrad varje transport finns Transport 2. Här kalkyleras att HCT-lastbilen kör tom eller med en container på returresan under en del tillfällen. Då kan behovet som krävs vara 100 transporter vilket motsvarar 15 ($100 / 7 = 14,2$) transporter per dag.

För att få ett mer tillförlitligt resultat över transporterna jämför vi också med mindre eldrivna lastbilar som kan transportera en 40-ft container åt gången. Där är principen samma som vid HCT-lastbilar – Transport 3 motsvarar 100% fyllnadsgrad och Transport 4 motsvarar 75% fyllnadsgrad. Anledningen att det räknas på 75% fyllnadsgrad vid transport 4 är att lastbilarna här kör en container åt gången och då känns 50% fyllnadsgrad väldigt lågt då det innebär att lastbilen körs tom vid returresan varje gång.

Tabell 4.

Förklaring över antal transporter per vecka och dag beroende på fyllnadsgrad och typ av lastbil.

(Rundresa, Viared-APM- terminals)	Transport 1	Transport 2	Transport 3	Transport 4
Sträcka (km)	140	140	140	140
Lastkapacitet (Antal 40 ft containrar)	4	4	2	2
Fyllnadsgrad	100%	50%	100%	75%
Antal containrar/vecka	200	200	200	200
Antal transporter/ vecka (Rundresa)	50	100	100	200
Transporter/dag	8	15	15	23

Kommentar: Tabell 4 är gjord av Andersson och Simonsson (2021). Här visas antalet transporter som behövs göras mellan Viared – APM Terminals varje dag vid olika mått av fyllnadsgrad med dagens transportbehov.

5.4. Energikonsumtion för transportererna mellan Göteborg och Viared

För att räkna ut mängden elektricitet som krävs för att transportera gods med eldrivna lastbilar har data hämtats från *tabell 1* och *tabell 2* från teoridelen. Uträkningarna som görs är oberoende av varandra då data hämtats från olika källor. Den data som hämtas in appliceras på transportscenariot från kapitel 5.3. Data från *tabell 1* är applicerad i *tabell 5* och data från *tabell 2* är applicerad i *tabell 6*.

I den data som hämtats från *tabell 1* fanns enbart exempel för en lastbil som klarar en 40-ft container åt gången därav kunde bara Transport 3 och Transport 4 analyseras här. Energikonsumtionen i *tabell 5* är baserat på kWh/km och beräknats på totala distansen på 280 km. Detta tar inte hänsyn till felmarginaler eller annat som kan påverka konsumtionen.

Tabell 5.

Antal lastbilar samt hur mycket energi per år det krävs för att transportera 200 containrar mellan Viared – APM Terminals med fakta baserat från tabell 1 och 4.

	Transport 3	Transport 4
Batterikapacitet kWh	550	550
Antal lastbilar	8	12
Uppladdning Viared (kWh)	N/A	N/A
Energikonsumtion (kWh/km)	1,38	1,38
Antal kilometer per dag	280	280
Total energikonsumtion/dag	3091,2	4636,8
Total energikonsumtion/år (kWh)	1128288	1692432
Total energikonsumtion/år (GWh)	1,13	1,69

Kommentar: Tabell 5 är gjord av Andersson och Simonsson (2021). Denna tabell visar den årliga konsumtionen av elektricitet vid transporter mellan Viared – APM Terminals med två olika transportsценарion. Uträkningarna är baserade på data från tabell 1 och 4.

I *tabell 6* är data hämtad från *tabell 2* där det även analyserats eldrivna lastbilar som klarar av att dra två 40-ft containrar på samma gång vilket gör att Transport 1 och Transport 2 kan läggas till här. Transport 1 och 2 behöver också en kortare uppladdning i Viared efter en rundresa.

Tabell 6.

Energi och antal lastbilar som krävs för antalet transporter som krävs enligt tabell 4 med data från Tabell 2

	Transport 1	Transport 2	Transport 3	Transport 4
Batterikapacitet kWh	438,75	438,75	101,25	101,25
Antal lastbilar	4	8	8	12
Uppladdning Viared (kWh)	80	80	80	80
Energikonsumtion/dag/lastbil (kWh)	518,75	518,75	181,25	181,25
Total energikonsumtion/dag	2075	4150	1450	2175
Total energikonsumtion/år (kWh)	757375	1514750	529250	793875
Total energikonsumtion/år (GWh)	0,76	1,51	0,53	0,79

Kommentar: Tabell 6 är gjord av Andersson och Simonsson (2021). Denna tabell visar den årliga konsumtionen av elektricitet vid transporter mellan Viared – APM Terminals med fyra olika transportscenarion. Uträkningarna är baserade på data från tabell 2.

Av den data som hämtats från de olika källorna skiljer det sig lite gällande informationen som ges. I *tabell 1* fanns konsumtionen som kWh/km med vilket är en enhet som förklarar tydligt vad som krävs för dessa transporter. *Tabell 2* beskriver hur många timmar per dag en lastbil kan framföras med kortare stopp för laddning i både Viared och APM-terminalen. Med den informationen i beräkningarna antas att två turer fram och tillbaka per dag är möjligt att köra med kortare laddningar vid stopp under omlastning. För att räkna ut den totala energikonsumtionen per dag antas att hela batteriladdningen behövs laddas upp vid dagens slut.

Slutligen går det att konstatera att Transport 3 från *tabell 6* är det klart bästa sett till den totala energikonsumtionen per år. Transport 1 från *tabell 6* är också bra sett till totala energikonsumtionen medan de andra två från samma tabell kräver lite mer energi. Resultaten i *tabell 5* behöver lite högre energi jämfört motsvarande transportexempel från *tabell 6*.

5.5. Kostnaden för att montera solceller på Viared företagscenters tak

Priset att montera solceller skiljer sig lite beroende på hur mycket som köps. Enligt flera företag är priset mellan 2000 - 5000 kr per kvadratmeter. För att räkna ut en ungefärlig totalsumma räknas det på 1500-2000 kr/kvm och den beräknade möjliga ytan för att montera solceller som är 609 000 m². Det ger en totalsumma på cirka 0,9-1,2 miljarder kronor. I denna beräkningsmetod tas inte placeringen av solcellerna i beaktning.

En mer trovärdig beräkning av pris är istället att räkna kostnad per kWp, då är det möjligt att beakta placeringen av solcellerna. Enligt 2.2 tidigare i rapporten uppskattades 2018 priset per kWp till 5800 kr. Det skulle leda till följande beräkningar:

Scenario B: $87000 \text{ kWp} * 5800 \text{ kr} = 505 \text{ miljoner kr.}$

Scenario C: $54000 \text{ kWp} * 5800 \text{ kr} = 313 \text{ miljoner kr.}$

Priset för monteringen kan skilja sig väldigt mycket beroende på hur beräkningen utförs. Enligt våra beräkningar är prisintervallet 313 miljoner till 1,2 miljarder kronor.

Enligt Haegermark et al., (2017) finns möjligheten att sälja el som produceras genom solceller till energibolag. Detta försäljningspris kan variera beroende på vilken tid under året och följer elpriset. Priset för att sälja tillbaka el är oftast mycket lägre än vad det kostar att köpa el från elbolag. Eftersom utvinningen överskrider behovet av vad solceller genererar är det möjligt att sälja elen till elbolag för att sedan köpa vanlig el då solceller ej kan producera tillräckligt.

6. DISKUSSION

I följande kapitel diskuteras rapportens huvuddelar som är teori, metod och diskussion.

6.1. Teoridiskussion

Under de senaste åren har det skett en stor utveckling av solceller. Det är tydligt i artiklar som använts att det händer mycket varje år och att användandet av solceller ökar konstant. Utvecklingen av eldrivna bilar är också något som ständigt går framåt. Till exempel vid jämförelse av *tabell 1* och *tabell 2* går det bland annat utläsa räckvidd, kapacitet och uppladdningstider för eldrivna bilar. I *tabell 1* är data från en artikel från 2019 och *tabell 2* en artikel från 2021, bara vid jämförelse av prestandan mellan dessa två åren är det stor skillnad. För att teorin och diskussionen om solceller samt eldrivna fordon ska vara så aktuell som möjligt har det varit viktigt att hitta artiklar som är relativt nya och aktuella i dagsläget då en artikel från 4 - 5 år tillbaka kan vara väldigt missvisande när man jämför med hur det ser ut idag.

Frågan om vad som ska göras med den el som inte används direkt är om den ska lagras eller säljas till elbolag. För att kunna lagra energin från solcellerna krävs ett antal batterier. Priser för batterier att lagra energi är dyra och inte särskilt ekonomiskt hållbart. Det anses istället bättre att jobba tillsammans med elbolagen för att kunna sälja el till dem då det är överproduktion och köpa el av dem då det är underskott. Om man ska sälja tillbaka elen vill man ha ett bra pris för att göra det. Som tidigare nämnt låg elpriset 2019 runt 40 öre/kWh och att sälja tillbaka elen till elbolag beror på flera olika variabler men Göteborgs Energi erbjuder kunder att köpa elen för 5–15 öre/kWh mer än vad spotpriset är. Detta är enbart för mindre anläggningar och är ej applicerbart för Viared men ett liknande avtal skulle vara möjligt.

6.2. Metoddiskussion

När den tillgängliga takytan för solpaneler i Viared företagspark skulle räknas ut kontaktades ett antal personer med anknytning till exploateringen där. Det var ingen framgång via dessa kontakter vilket ledde till en uträkning via Google Maps (Bilaga 2). Validiteten i den uträkningen kan diskuteras då det är ett väldigt stort antal byggnader och det blir flera antaganden samt avrundningar. En annan aspekt att ta hänsyn till är avgränsningen på 30% som gjordes, eftersom vi inte varit där och studerat byggnaderna är det svårt att veta hur många av de som ens går att montera solceller på samt hur de ligger i förhållande till solen. Däremot beskriver Yang et al., (2020) att mellan 20 - 30 % av den totala takytan går det ej att montera solceller då det är skorstenar, ventilation etcetera som antingen skuggar eller tar upp plats på taken.

För att uppskatta ett pris för att montera solcellerna i Viared användes litteratur i form av vetenskapliga artiklar samt olika leverantörers hemsidor. De flesta av leverantörerna har uppskattat pris för att montera i mindre volymer exempelvis på privata villor. En vetenskaplig källa gjorde en undersökning om det var lönsamt att montera solceller bestående av 139 solcellspaneler i samma storlek som har undersökts i denna rapport. Deras slutsats var att det

varierade stort beroende på flera olika faktorer men att medel återinvesteringstiden var mellan 12 - 25 år.

Det skulle förmodligen bli ett lägre pris per kvm vid montering av solceller i Viared då det är en väldigt stor volym som ska installeras jämfört med en ensamstående villa. Investeringskostnader för att bygga en solcells-park gick att finna för en del projekt, det är dock också lite missvisande jämfört med vad denna rapport omfattar då det handlar om montering av solceller på olika byggnader i denna rapport. En metod för att kunna uppskatta ett ännu mer rimligt pris kan vara att kontakta ett företag som säljer solpaneler.

Vid våra beräkningar av priset användes två olika metoder. Den ena baserades på ett kvadratmeter-pris för solceller medan den andra baserades på kronor per kWp. Kvadratmeterpriset ger endast en indikation på ett totalpris eftersom det finns många fler parametrar att ta hänsyn till, exempelvis tas inte placeringen av solcellerna i beaktning. Denna metod är mer rimlig vid beräkning av solceller till en villa än vid större anläggningar likt den i rapporten. Metoden med kronor per kWp tar hänsyn till placeringen av solcellerna samt storskaligheten som omfattar denna rapport. Priset på 5800 kr/kWp var vid en anläggning som hade en kapacitet på 5 MWp, då kapaciteten vi räknar på är ännu större skulle priset kanske bli lite lägre på grund av storskalighet men detta är den mest rimliga indikationen på totalpriset. Detta leder till en prisindikation på cirka 300-500 miljoner kr beroende på placeringen av solcellerna. Datan som användes i den senare metoden är från 2018 vilket kan göra att priset skulle vara lägre idag då priset på solceller ständigt har blivit lägre under de senaste åren.

För att öka rapportens tillförlitlighet gällande val av metod skulle intervjuer med personer kunniga inom solceller samt laddning av HCT-fordon kunna ge en ytterligare dimension till rapporten. Denna rapport är främst baserad på artiklar inom området men för att öka tillförlitligheten hade intervjuer kunnat komplettera samt ge en jämförelse med information som hämtats från litteratur.

6.3. Resultatdiskussion

Resultatet visar på att möjligheten är hög att köra eldrivna transporter med HCT-fordon vid nuvarande behov. Det finns dock en del aspekter att ta hänsyn till som kan ifrågasätta att verkliggöra detta projekt. I arbetet har det räknats på en yta som innefattar alla byggnader i Viared företagspark för att montera solpaneler. Det gjordes en avgränsning där 30% dras av då det inte är möjligt att täcka alla tak med solceller till 100% och dessutom i en riktning där solen kan nå solpanelerna. Då Viared företagspark är 5 km² stor och innehåller 145 olika företag blir ytan som räknas ut väldigt stor i förhållande till uträkningen som innefattar transportbehovet mellan APM-terminals i Göteborgs Hamn och Viared företagspark.

Om alla dessa paneler skulle installeras är ett rimligt antagande att den utvunna energin ska användas till fler projekt än eldrivna lastbilar. Kostnaden för att installera solcellerna skulle landa på cirka 300-500 miljoner vilket kan ses som orimligt mycket i frågan om transporter med eldrivna HCT-fordon där det enligt våra olika transportscenarion används mellan 4 - 12 lastbilar.

Figur 2 i teorikapitlet beskriver vad den potentiella globalstrålningen är årligen. Däremot infaller endast 3% av detta under december – januari vilket gör det in princip omöjligt att generera elektricitet från solceller under dessa månader. Under vintern kan det även förekomma snö vilket gör solpanelerna inte fungerar då de är snötäckta. Cirka 80 % av den globala strålningen infaller mellan april – oktober.

Tillförlitligheten skiljer sig mellan de olika transportscenariorna som räknats på och kan ses som mer eller mindre begränsade.

Tabell 5 är beräknat på att lastbilarna ska klara av att köra exakt de 280 km som är två rundresor mellan Viared och APM-terminalen, vilket fungerar i teorin. I verkligheten behövs dock säkerhetsmarginaler tas i beaktning då den verkliga konsumtionen kan vara högre än vad den är i teorin samt att oförutsedda händelser kan ske under transporten. Transport 3 som beskrivs i *tabell 5* innebär att lastbilen har en fyllnadsgrad på 100% vilket inte är möjligt i verkligheten. Då anses Transport 4 är ett mer rimligt scenario då fyllnadsgraden på 75% är att se som ett mer tillförlitligt resultat.

I *tabell 6* jämförs samma transportscenarion Transport 3 och 4 som i *tabell 5* fast med en annan typ av lastbil. Det är likt i stycket ovan att 100% fyllnadsgrad i Transport 1 inte anses som möjligt i verkligheten utan att Transport 2 anses som ett mer rimligt resultat. *Tabell 6* har också ett inplanerat stopp efter en rundresa för att ladda batterierna, detta kan ske under omlastning/lastning eller när chauffören har lunchrast. Som slutsats av tabellerna i resultatet ses Transport 2 i *tabell 6* som har möjlighet att transportera 2 40-ft containrar och en fyllnadsgrad på 50% som ett trovärdigt resultat. Transport 4 som återfinns i både *tabell 5* kan enbart transportera en 40-ft container. Fyllnadsgraden för dessa scenarion är 75 %.

Något som överraskade lite var mängden energi som kan utvinnas genom dessa solpaneler. Förmodligen underskattades storleken av företagsparken och dess takyta. Kostnaden för att installera solpanelerna som kalkylerades blev därmed också en överraskning då det skulle krävas en enorm investering. Eftersom både ytan och mängden energi var överraskande blev också resultatet att energin från solceller skulle kunna driva dessa el-lastbilar utan problem.

Att lagra energi i batterier kan fungera däremot krävs det någon form av övervakningssystem som gör att de inte överhettas. Vid solcellsparken där det utvinns mycket energi går det även att lagra energi i form av värmeenergi men denna metod är också komplicerad och är mer lämpligt för energibolag där stora mängder energi behöver lagras. Batterier kan lätt kopplas ihop för att öka lagringskapaciteten men batterier är dyra och då är alternativet att sälja överskott av el till elbolag för att sedan köpa tillbaka det som ett bättre alternativ.

En annan intressant diskussion att ta upp är vem som ska betala för denna investering. Det kommer handla om stora summor som krävs för denna investering och med fler än 145 olika företag som verkar i Viared kan det vara svårt att få med alla på en så stor investering. Borås stad är också med i likande projekt med Viared och har också ett intresse av en sådan här investering men de kommer förmodligen inte vilja betala allt.

7. SLUTSATSER

Nedan följer rapportens slutsats följt av rekommendationer till fortsatt arbete.

7.1. Slutsats

Syftet med denna rapport var att se möjligheterna till att driva HCT-fordon mellan Viared och APM-terminals på elektricitet utvunnet från solpaneler på taken i Viared företagscenter. Syftet delades senare in i tre frågeställningar som är till grund för att kunna besvara syftet. Svaret på syftet är att det är möjligt att driva dessa transporter med elektricitet från solceller under merparten av året men att det under vintern är svårt att generera elektricitet. Det är möjligt då det är en stor yta som finns tillgänglig att montera solceller på men att denna investeringskostnad inte ses som reell sett till att enbart driva dessa HCT-fordon.

För att driva transporterna mellan Viared och Göteborg krävs det cirka 1,5 GWh årligen. Hur mycket energi som krävs för transporterna varierar stort beroende på fyllnadsgrad men resultatet på 1,5 GWh anses som rimligt. Att lägga till är att antalet transporter mellan dessa punkter har ökat och kommer förmodligen öka i framtiden också. Detta leder till att framtida behov kommer att bli högre än 1,5 GWh för att driva dessa transporter.

Om solceller hade monterats på all tillgänglig takyta i Viared skulle dessa kunna generera mellan 46 – 69 GWh årligen beroende på vilken modell som används. Ytan som finns tillgänglig att montera solceller på är cirka 600 000 kvm vilket är en stor yta att montera solceller på för att enbart driva lastbilar mellan Viared och APM Terminals. För att kunna ladda lastbilarna då solceller inte genererar elektricitet finns det olika lagringsmetoder som kan användas. Att lagra energi i batterier undersöktes men då kostnaden för batterier är höga anses den bästa metoden att lagra el att sälja de till elbolag för att sedan köpa tillbaka de vid behov.

Enligt våra beräkningar uppgår kostnaden för att montera dessa solpaneler 300-500 miljoner. Det är en väldigt stor investeringskostnad, speciellt om den ska användas för att driva några lastbilar. Eventuellt skulle den kunna vara lite lägre, som nämnt under diskussionen har vi inte fått kontakt med någon leverantör som skulle kunna säga ett rimligt pris för denna mängd. Vår uträkning är baserad på vad den lägsta kostnaden per kvm är vid montering på en privat fristående villa samt pris per kWp. Vid installation av denna enorma mängd som diskuteras skulle priset per kvm med största sannolikhet blivit lägre. Vid beräkning av priset har inte ROI, räntekostnader eller avskrivningstid tagits i beaktning utan indikerar endast på en summa som en viss mängd/kapacitet solceller skulle kosta.

Baserat på ovanstående slutsatser finns det behov av fortsatta kvantitativa studier då denna slutsats mer ger en indikation på kostnader vid installation av solceller samt potentiell genererad energi. Denna rapport är avgränsad till ett specifikt projekt mellan Viared och APM Terminals och ger en indikation på hur transporter skulle kunna utföras samt finansieras. Däremot behövs vidare studier för att utveckla och nå högre tillförlitlighet.

7.2. Rekommendationer till fortsatt arbete

För att uppnå en verkligare bedömning av denna investering borde det räknas ut den exakta mängden solceller som krävs för att klara av behovet för att driva eldrivna HCT-fordon. I denna rapport har vi räknat på alla tak i Viared företagscenter. Kostnaden för att matcha behovet hade

förmodligen blivit mycket lägre då det inte hade behövts bygga på alla tak vilket vi räknat på i denna rapport.

Det hade blivit svårt att driva under de mörkaste månaderna men under ljusare tider hade det kunnat tillföra mycket. Det skulle också kunna göras ett besök i Viared för att undersöka vilka tak som har bäst förutsättningar för montering av solpaneler med hänsyn till vinklar, väderstreck och yta etc. Detta för att skapa mer tillförlitliga resultat då vi har utgått från Google maps.

Detta arbete är en indikation för hur mycket el som kan produceras samt ett estimerat pris vad detta kan kosta. Detta kan vara till en grund eller inspiration för fortsatta studier som kan gå djupare in i den ekonomiska aspekten mer än att ange ett ungefärligt pris, samt att undersöka hur mycket solceller som krävs för att enbart driva dessa transporter. Denna rapport syftar främst till laddning av HCT-fordon, det skulle vara intressant att räkna på vad solceller skulle kunna ge i form av att driva lagerlokaler, kontor och andra fordon på området. En annan idé för fortsatta studier är att räkna på om investeringen är värd att göra med avseende på ROI.

KÄLLFÖRTECKNING

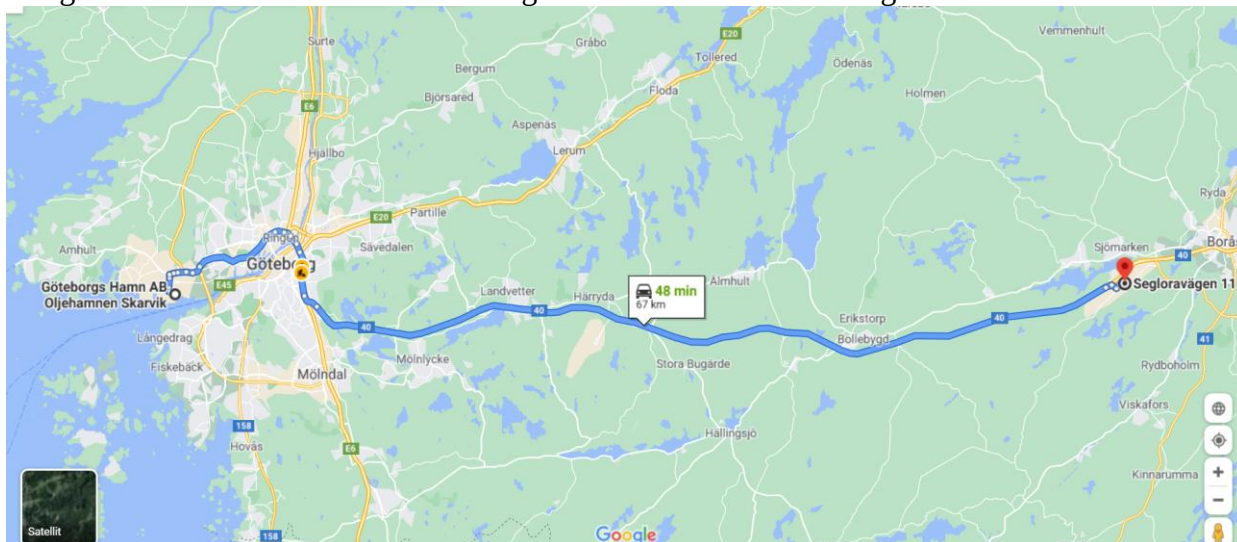
- Aghajpour, F., Björnsson, P., Holmberg, Å., Jonsson, J., Skötte, K., & Öberg, N. (2013). *World Solar Challenge Optimizing av solceller*.
<http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/178822/178822.pdf>
- Arnäs, P. O., Arvidsson, N., Börjesson, F., & Liljestrand, K. (2013). *Behov och nyttor av transporter med hög kapacitet (HCT) inom olika branscher och för olika varuslag*.
https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/194067/local_194067.pdf
- Breuer, J. L., Samsun, R. C., Stolten, D., & Peters, R. (2021). How to reduce the greenhouse gas emissions and air pollution caused by light and heavy duty vehicles with battery-electric, fuel cell-electric and catenary trucks. *Environment International*, 152, 106474.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106474>
- Eriksson, K. (2020). *HTC-fordon testas mellan Göteborgs hamn och Viared – Logistikstiftelsen*. <http://logistikstiftelsen.se/artiklar/htc-fordon-testas-mellan-goteborgs-hamn-och-viared/>
- Förenta Nationerna. (2020). *Agenda 2030 - globala mål för hållbar utveckling - Svenska FN-förbundet*. <https://fn.se/vi-gor/vi-utbildar-och-informerar/fn-info/vad-gor-fn/fns-arbete-for-utveckling-och-fattigdomsbekampning/agenda2030-och-de-globala-malen/>
- Ghandriz, T., Jacobson, B., Islam, M., Hellgren, J., & Laine, L. (2020). *Transportation-mission-based Optimization of Heterogeneous Heavy-vehicle Fleet Including Electrified Propulsion*. <https://doi.org/>
- Ghandriz, T., Jacobson, B., Islam, M., Hellgren, J., & Laine, L. (2021). *Transportation-mission-based Optimization of Heterogeneous Heavy-vehicle Fleet Including Electrified Propulsion*. <https://doi.org/> (Ej publicerad vid skrivtillfälle)
- Górniewicz, R., & Castro, R. (2020). Optimal design and economic analysis of a PV system operating under Net Metering or Feed-In-Tariff support mechanisms: A case study in Poland. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 42, 100863.
<https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100863>
- Gurung, A., & Qiao, Q. (2018). Solar Charging Batteries: Advances, Challenges, and Opportunities. In *Joule* (Vol. 2, Issue 7, pp. 1217–1230). Cell Press.
<https://doi.org/10.1016/j.joule.2018.04.006>
- Haegermark, M., Kovacs, P., & Dalenbäck, J. O. (2017). Economic feasibility of solar photovoltaic rooftop systems in a complex setting: A Swedish case study. *Energy*, 127, 18–29. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.12.121>
- Husain, A. A. F., Hasan, W. Z. W., Shafie, S., Hamidon, M. N., & Pandey, S. S. (2018). A review of transparent solar photovoltaic technologies. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 94, pp. 779–791). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.031>
- Jenkins, N., & Thornycroft, J. (2017). *McEvoy's Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications* (S. Kalogirou, Ed.; 3rd ed.). Elsevier Science & Technology.
- Kharrazi, S., Karlsson, R., Sandin, J., & Aurell, J. (2015). *Performance based standards for high capacity transports in Sweden*. www.vti.se/publications
- Klimatindikator - globalstrålning | SMHI. (n.d.). Retrieved May 4, 2021, from <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/stralning-1.17841>

- Liimatainen, H., van Vliet, O., & Aplyn, D. (2019). The potential of electric trucks – An international commodity-level analysis. *Applied Energy*, 236, 804–814.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.12.017>
- Lindahl, J., Sweden, B., Stoltz, C., Westerberg, A. O., & Berard, J. (2019). *National Survey Report of PV Power Applications in Sweden 2018*.
<https://www.researchgate.net/publication/335464482>
- Lindqvist, D., Salman, M., & Bergqvist, R. (2020). A cost benefit model for high capacity transport in a comprehensive line-haul network. *European Transport Research Review*, 12(1), 60. <https://doi.org/10.1186/s12544-020-00451-5>
- Lokar, J., & Vrtič, P. (2020). The potential for integration of hydrogen for complete energy self-sufficiency in residential buildings with photovoltaic and battery storage systems. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(60), 34566–34578.
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.04.170>
- Mareev, I., Becker, J., & Sauer, D. (2017). Battery Dimensioning and Life Cycle Costs Analysis for a Heavy-Duty Truck Considering the Requirements of Long-Haul Transportation. *Energies*, 11(1), 55. <https://doi.org/10.3390/en11010055>
- Market data | Nord Pool. (2021). Retrieved May 4, 2021, from
<https://www.nordpoolgroup.com/Market-data1/Dayahead/Area-Prices/SE/Yearly/?view=table>
- Monie, S., Nilsson, A. M., Widén, J., & Åberg, M. (2021). A residential community-level virtual power plant to balance variable renewable power generation in Sweden. *Energy Conversion and Management*, 228, 113597.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113597>
- Mutter, A. (2019). Obduracy and Change in Urban Transport—Understanding Competition Between Sustainable Fuels in Swedish Municipalities. *Sustainability*, 11(21), 6092.
<https://doi.org/10.3390/su11216092>
- Naturvårdsverket. (2020a). *Miljö kvalitetsmålet Begränsad klimatpåverkan - Naturvårdsverket*. <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Sveriges-miljomal/Miljokvalitetsmalen/Begransad-klimatpaverkan/>
- Naturvårdsverket. (2020b). *Utsläpp av växthusgaser från inrikes transporter - Sveriges miljö mål*. <https://www.sverigemiljomal.se/etappmalen/utslapp-av-vaxthusgaser-fran-inrikes-transporter/>
- Naturvårdsverket. (2021). *Transportsektorns miljöpåverkan - Naturvårdsverket*.
<http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Transporter-och-trafik/>
- Nojavan, S., Zare, K., & Mohammadi-Ivatloo, B. (2017). Selling price determination by electricity retailer in the smart grid under demand side management in the presence of the electrolyser and fuel cell as hydrogen storage system. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(5), 3294–3308. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.10.070>
- Pålsson, H., & Sternberg, H. (2018). LRN 2016 SPECIAL – high capacity vehicles and modal shift from rail to road: combining macro and micro analyses. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 21(2), 115–132.
<https://doi.org/10.1080/13675567.2018.1430232>
- Scania. (2020). *Scania lanserar elektrisk lastbil med 250 km räckvidd | Scania Sverige*.
<https://www.scania.com/se/sv/home/experience-scania/news-and-events/News/archive/2020/09/Scanias-ellastbil.html>

- SMHI. (2020). *Klimatindikator - globalstrålning* | SMHI.
<http://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/stralning-1.17841>
- Sommerfeldt, N., Muyingo, H., & Klintberg, T. (2016). *Photovoltaic Systems for Swedish Prosumers A technical and economic analysis focused on cooperative multi-family housing* Henry Muyingo, Researcher at KTH Real Estate and Construction Management
 Tord af Klintberg, Researcher at KTH Civil and Architectural Engineering.
- Speed group. (2020). Nyhetsartikel | Speed Group. <https://www.speedgroup.se/artikel0/speed-group-bygger-nordens-storsta-solcellstak/>
- Svensson, D. (2018). *Making Place for the Future: Transformations of a Rural Village into an Industrial Area after 1972*. <https://research.chalmers.se>,
- Tuchnitz, F., Ebell, N., Schlund, J., & Pruckner, M. (2021). Development and Evaluation of a Smart Charging Strategy for an Electric Vehicle Fleet Based on Reinforcement Learning. *Applied Energy*, 285, 116382. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116382>
- Tyagi, H., Chakraborty, P. R., Powar, S., & Agarwal, A. K. (2020). *Introduction to Solar Energy: Systems, Challenges, and Opportunities* (pp. 3–12). https://doi.org/10.1007/978-981-15-0675-8_1
- Viared. (2020). Om oss. https://www.viared.se/om_oss#OmVFF
- Volvo. (2020). Volvo Lastvagnar lanserar ett komplett program med eldrivna lastbilar i Europa under 2021. <https://www.volvotrucks.se/sv-se/news/press-releases/2020/nov/volvo-trucks-launches-a-complete-range-of-electric-trucks-starting-in-europe-in-2021.html>
- Wenham, S. R., Green, M. A., Watt, M. E., Corkish, R., & Sproul Alistair. (2012). *Applied Photovoltaics*. Taylor & Francis Group.
<https://ebookcentral.proquest.com/lib/chalmers/detail.action?docID=1112446>
- Yang, Y., Campana, P. E., Stridh, B., & Yan, J. (2020). Potential analysis of roof-mounted solar photovoltaics in Sweden. *Applied Energy*, 279, 115786.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115786>
- Yin, R. K. (2009). *Case Study Research: Design and Methods* - Robert K. Yin - Google Böcker.
<https://books.google.se/books?id=FzawIAilHkC&printsec=frontcover&dq=yin+case+study+research&hl=sv&sa=X&ved=2ahUKEwj2q5S05KruAhXMs4sKHbqDDicQ6AEwAHOECAAAQAg#v=onepage&q=yin%20case%20study%20research&f=false>
- Ziegler, M. (2019). “We are talking about completely electrified trucks.” *MTZ Worldwide*, 80(2), 24–27. <https://doi.org/10.1007/s38313-018-0166-6>

BILAGOR

Bilaga 1. Visar sträckan mellan Göteborgs Hamn och Viareds företagscenter. Sidnummer 28.



Bilaga 2. Bild över Viareds företagspark från en satellitbild. Sidnummer 22, 32.

2021-04-11

Google Maps

Google Maps



Bilder ©2021 Aerodata International Surveys, CNES / Airbus, Landsat / Copernicus, Lantmäteriet/Metria, Maxar Technologies, Kartdata ©2021

200 m

Mät avstånd

Total yta: 4,43 km² (1,71 mi²)

Sträcka totalt: 11,34 km (7,04 miles)

INSTITUTIONEN FÖR MEKANIK OCH MARITIMA VETENSKAPER
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2021
www.chalmers.se



CHALMERS