



CHALMERS



Riktning mot elektrifiering:

Utvärdering av laddningsbehov och energikrav för Sveriges fordonsflotta

Kandidatarbete inom Elektroteknik

Ammar Ajdinovic, Fabian Magnusson, Cyrus Tatari, Johan Windh, Axel Wålme, Mikail Yenigün

INSTITUTIONEN FÖR ELEKTROTEKNIK

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg 2024

www.chalmers.se

KANDIDATARBETE 2024

Riktning mot elektrifiering

Utvärdering av laddningsbehov och energikrav för Sveriges
fordonsflotta

Ammar Ajdinovic, Fabian Magnusson, Cyrus Tatari, Johan Windh,
Axel Wålme, Mikail Yenigün



CHALMERS

Institutionen för Elektroteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2024

Riktning mot elektrifiering
Utvärdering av laddningsbehov och energikrav för Sveriges fordonsflotta
Ammar Ajdinovic, Fabian Magnusson, Cyrus Tatari, Johan Windh, Axel Wålme,
Mikail Yenigün

© Ammar Ajdinovic, Fabian Magnusson, Cyrus Tatari, Johan Windh, Axel Wålme,
Mikail Yenigün, 2024.

Handledare: Torbjörn Thiringer
Examinator: Jimmy Ehnberg, Elkraft

Referens till framsidebild [1].

Examensarbete 2024
Institutionen för Elektroteknik
Chalmers Tekniska Högskola
SE-412 96 Göteborg
Telefon +46 31 772 1000

Skriven i L^AT_EX
Göteborg 2024

Riktning mot elektrifiering:

Utvärdering av laddningsbehov och energikrav för Sveriges fordonsflotta

Ammar Ajdinovic, Fabian Magnusson, Cyrus Tatari, Johan Windh, Axel Wålme, Mikail Yenigün

Institutionen för Elektroteknik

Chalmers Tekniska Högskola

Sammanfattning

Projektet undersöker de utmaningar och möjligheter som Sveriges energiinfrastruktur står inför med den pågående elektrifieringen av fordonsflottan. Med ambitionen att exemplifiera ett scenario med 4 977 163 laddningsbara bilar, 614 916 lätta lastbilar, 85 431 tunga lastbilar samt 14 321 bussar, kartlägger rapporten behovet av en utökad och optimerad laddningsinfrastruktur. Genom datainsamling, utveckling av fördelningsverktyg samt analys av Sveriges energibehov ämnar projektet identifiera strategiska fördelningar av laddpunkter och analysera deras påverkan på Sveriges befintliga energisituation. Projektet har uppnått en fördelning av laddpunkter inom varje kommun och elområde. Till följd av detta mynnar projektet ut i ett resultat som beskriver de antal tillfällen då Sveriges nuvarande elnät blir överbelastat samt storleken och magnituden av underskott vid olika förbrukningsnivåer på 50%, 100% och 200% hos den nya elektrifierade fordonsflottan.

Nyckelord: Elektrifiering, fordon, energibehov, elbilar, energipåverkan, laddningsstationer, laddpunkter, elområden

Towards Electrification:

Assessment of Charging Needs and Power Requirements for Sweden's Vehicle Fleet
Ammar Ajdinovic, Fabian Magnusson, Cyrus Tatari, Johan Windh, Axel Wålme,
Mikail Yenigün

Department of Electrical Engineering
Chalmers University of Technology

Abstract

The project examines the challenges and opportunities facing Sweden's energy infrastructure with the ongoing electrification of the vehicle fleet. With the aim of exemplifying a scenario involving 4 977 163 electric cars, 614 916 light-duty trucks, 85 431 heavy-duty trucks, and 14 321 buses, the report maps out the need for an expanded and optimized charging infrastructure. Through data collection, development of distribution tools, and analysis of Sweden's energy needs, the project aims to identify strategic distributions of charging points and analyze their impact on Sweden's existing energy situation. The project has achieved a distribution of charging points within each municipality and electrical area. As a result, the project culminates in a result describing the number of occasions when Sweden's current power grid becomes overloaded and the magnitude of the shortfall at different consumption levels of 50%, 100%, and 200% for the new electrified vehicle fleet.

Förord

Vi vill tacka vår handledare, Torbjörn Thiringer för god vägledning under projektets gång.

Ammar Ajdinovic, Fabian Magnusson, Cyrus Tatari, Johan Windh, Axel Wålme, Mikail Yenigün, Göteborg, 8 maj 2024

Beteckningar

Energidepå	Lämpligt energilagringssystem som kan tillföra energi vid behov.
Laddningsstation	Ett område dedikerat till laddning av elfordon.
Laddpunkt	En kontaktpunkt med hög effekt laddare som fysiskt kan kopplas in i fordon.
SVK	Svenska Kraftnät
ÅDT	Årsmedelsdygnstrafik

Innehåll

Akronymer	viii
1 Inledning	1
1.1 Syfte	2
1.2 Mål	2
1.3 Avgränsningar	3
1.3.1 Fördelning av laddpunkter	3
1.3.2 Analys av effektnivåer	3
2 Teori	4
2.1 Punktmetoden	4
2.2 Elfordons förbrukning - WLTP-cykel	4
2.3 Elnät, energi och effekt	5
2.3.1 Fördelning av Sveriges energi	5
2.3.2 Elnätsrelaterade begrepp	6
2.3.3 Sveriges elområden	7
2.3.4 Energimängd per tidsenhet	9
3 Metod	10
3.1 Insamling av data	10
3.1.1 Årsmedeldygnstrafik	10
3.1.2 Fordon	11
3.1.2.1 Personbilar och Lastbilar	11
3.1.2.2 Bussar	12
3.2 Metodik för laddstolpsdistribution	12
3.2.1 Totala antalet tillgängliga laddpunkter	12
3.2.2 ArcGIS och implementering av Punktmetoden	13
3.2.2.1 Korrigering av antalet laddpunkter	14
3.3 Analys av energibalanser	15
3.3.1 Förväntat energibehov för fordonsflottan	15
3.3.2 Modell för uppskattning av nya energibalanser	15
3.3.3 Modell för inhemsk energiöverföring	16
3.3.4 Beräkning av elnätets överbelastningstillfällen	16
4 Resultat	17
4.1 Referensfordon	17
4.2 Fördelning av laddpunkter	18

4.2.1	Antal laddpunkter som saknas i varje län samt visualisering av antalet laddpunkter per kommun	20
4.3	Gruppering och fördelning inom elområden	22
4.4	Energibalans efter överföring	23
4.4.1	Överbelastning av elnät	26
5	Diskussion	30
5.1	ÅDT, laddpunkter och punktmetoden	30
5.1.1	Laddpunktsfördelning	30
5.1.2	Punktmetoden	31
5.2	Analys av energibalans	31
5.2.1	Energibalans fördelning - Histogram	32
5.2.2	Överbelastning av elnät	33
5.2.3	Effekthantering	33
5.3	Elområden	33
5.4	Etiska och miljömässiga aspekter	34
6	Slutsats	35
A	Appendix 1 - Laddbara fordon	I
B	Appendix 2 - Leveranskvitto	II
C	Appendix 3	
	Fordonstyper	III
D	Appendix 4: Antal laddpunkter - Befintliga samt fördelade.	VIII
D.1	Befintliga laddpunkter	VIII
D.2	Fördelning laddpunkter per kommun	IX
E	Appendix 5 - Energibalans efter energiöverföring	XVI
F	Appendix 6 - Energibalans innan överföring	XVIII
G	Appendix 7 - Kod för Analys av energibalanser	XX

1

Inledning

Statistiken över antalet laddningsbara fordon i trafik i Sverige indikerar en tydlig trend i riktning mot en expanderande elektrifierad fordonsflotta. Denna trend är mycket påtaglig de senaste åren. Mellan 2012 och 2023 ökade antalet laddningsbara fordon markant från 1 254 till 564 020 laddningsbara el- och hybridbilar i trafik [2], vilket framgår av appendix A.1.

Denna snabba expansion av elektrifierade fordon ger upphov till eventuella konsekvenser för den svenska energinfrastrukturen samt för miljön. Med omställningen till en elektrifierad fordonsflotta finns det en risk för att Sveriges totala energibehov kommer öka. Följaktligen etableras ett visst krav på de länder med större resurser. Länder som har goda ekonomiska möjligheter likt Sverige, bör därmed se över sitt miljömässiga ansvar gentemot de länder som har färre resurser att tillgå. Då det är dom som bidrar minst till klimatförändringar men utsätts för de största konsekvenserna [3].

Specifika begränsningar att ta hänsyn till är bland annat effektnivåer, överföringskapacitet och elproduktion inom de fyra elområdena. Det föreligger ett behov av att utvärdera de krav som denna omställning ställer på Sverige och hur vi står oss i förhållande till de kraven i dagsläget. Därav utgår projektet från data för Sveriges totala fordonsflotta per december år 2023, alltså 4 977 163 bilar, 614 916 lätta lastbilar, 85 431 tunga lastbilar och 14 321 bussar [4] och antar att den i sin helhet har omvandlats till elfordon. Denna förändring ligger i linje med Sveriges miljömål gällande netto-noll utsläpp av växthusgaser efter år 2045 [5].

Ett rekommenderat antal offentligt tillgängliga laddpunkter per elbil lades fram av Europaparlamentet och Europeiska unionens råd, år 2014, där det föreslogs en relation av en laddpunkt per tio elbilar [6]. Med detta antagande som grund går det att undersöka frågor som var de nya stationerna ska placeras, hur laddpunkter kan fördelas och vilka konsekvenser dessa medför på Sveriges energibehov.

Fördelning av laddpunkter och placering av laddningsstationer är viktiga frågor för att lyckas med en effektiv övergång till en fullt elektrifierad fordonsflotta. En kvantitativ modell som kan prediktera var de största behoven för laddning kommer att efterfrågas är av stor vikt för att kunna genomföra omställningen. Sett till årsmedeldygnstrafik (ÅDT) går det att skapa en generell förståelse om trafikflödena runt om i Sverige. Denna förståelse kommer att ha en stor påverkan på en potentiell fördelning av laddpunkter i de olika elområdena.

Det är av intresse för Svenska kraftnät som har det övergripande ansvaret för Sveriges elnät, att genomföra en analys av det nya energibehovet. Denna analys är av vikt för att kunna bedöma om det befintliga elnätet kommer att klara av den ökade efterfrågan som tillkommer vid omställningen till en elektrifierad fordonsflotta. Fokus bör riktas mot att utvärdera den nya förbrukningen i varje enskilt elområde för att skapa en helhetsbild av elnätets kapacitet.

1.1 Syfte

Projektets syfte är att analysera det nya energibehovet som uppstår efter att laddpunkter för offentligt bruk har fördelats i varje enskilt elområde. Vilket baseras på det projektscenario som tidigare definierats, det vill säga: 4 977 163 personbilar, 614 916 lätta lastbilar, 85 431 tunga lastbilar samt 14 321 bussar. Denna analys syftar till att undersöka energiefterfrågan i de olika el-områdena, SE1, SE2, SE3 samt SE4. Genom att genomföra beräkningar baserade på olika scenarion, där fordonens totala energibehov jämnt fördelas per timme över ett år med varierande nivåer av förbrukning för att påvisa de tillfällen där Sveriges elnät blir överbelastat.

1.2 Mål

Projektets målsättning är att identifiera antal tillfällen då elnätet blir överbelastat i Sveriges fyra elområden till följd av det ökade energibehovet som ställs av en elektrifierad fordonsflotta. Dessa tillfällen definieras och kvantifieras baserat på storleken av energiunderskott per timme i varje elområde. För att genomföra denna analys skall en modell utvecklas vars syfte är att fördela antalet laddpunkter per kommun och därigenom per elområde.

Målsättningen ger upphov till följande delmål att lösa,

- Hur mycket energi kommer fordonsflottan att behöva?
- Utveckla ett verktyg och med hjälp av detta ta fram ett förslag på fördelningen av laddpunkter i varje elområde.
- Utveckla ett verktyg som kan analysera och med hjälp av detta generera grafer som visar energibehovet, överföringskapaciteten och beräknar hur ofta elnätet blir överbelastat.

Projektet skall alltså mynna ut i en förståelse om hur ofta elnätet inte klarar av den nya energiefterfrågan utifrån olika scenarion vid användning av 50%, 100% och 200% fordonsförbrukning.

1.3 Avgränsningar

Projektets fokus kommer att bestå av att skapa modeller baserade på årsmedeldygnstrafik (ÅDT) och genomsnittlig körsträcka för svenska fordon som ska ge förslag på fördelning av laddstolpar och dess påverkan på elnätet.

1.3.1 Fördelning av laddpunkter

Fördelningen av laddpunkter kommer huvudsakligen att utgå från ÅDT. I fördelningen kommer det även att antas att de som bor i hus har möjlighet att ladda hemma. Andelen av befolkningen som bor i hus är 2 085 964 st [7]. Detta kommer inte att påverka positioneringen eller fördelningen av snabbbladdare. Följaktligen antas även att bussar enbart är interkommunala och därför laddas de endast i den kommun de är registrerade i. Detta antagande gjordes i huvudsak på grund av bristande data om trafiktäthet, där en kategori för bussar inte fanns tillhanda samt att de mätningar som utförts gällande trafiktätheten sällan var i stadskärnor där bussar generellt färdas. Därför kommer ingen positionering av bussladdare att utföras utan de antas laddas i garage eller vid slutstationer.

1.3.2 Analys av effektnivåer

När analys av effektnivåer skall göras kommer beräkningarna att utgå från vissa avgränsningar. Räckvidden av fordon använder sig exklusivt av WLTP cykeln 2.2. En analys av det mänskligt laddningsmönster på timbasis tas inte hänsyn till i projektet. Det kommer att antas att energiproduktionen och förbrukningen är densamma som för 2023. Förbrukningsdatan från fordonen kommer att fördelas jämnt över varje enskild timme i analysen. Det innebär att varje timme får en andel av den totala fordonsförbrukningen, vilket matematiskt motsvarar $\frac{1}{8760}$ av den totala fordonsförbrukningen. Denna avgränsning medför att laddningsmönster samt laddningsmetoder inte tas hänsyn till i projektet.

Beräkningar av energi och effekt utförs under förutsättningen att Sverige är självförsörjande och involverar inte någon import eller export av elektricitet. Detta implicerar att all använd data enbart baseras på den inhemskt producerade och konsumerade elen.

2

Teori

Detta kapitel kommer att behandla relevant teori som ligger till grund för att skapa en förståelse om projektets olika delar. Bakomliggande fakta om förbrukningsberäkningar, metodik för fördelning av laddpunkter samt elnätet kommer att presenteras.

2.1 Punktmetoden

Punktmetoden är en modell utvecklad i denna studie för att beräkna fördelningen av laddpunkter baserat på ÅDT.

Processen initieras med uppdelning av alla individuella vägsegment i intervall baserat på storleken av dess ÅDT för att sedan beräkna kvoten *Relativ Trafik Densitet (RTD)*

$$RTD = \frac{\text{Total ÅDT per intervall}}{\text{Total ÅDT}}. \quad (2.1)$$

För att bestämma det nödvändiga antalet laddpunkter per intervall (ALPI) multipliceras RTD för varje intervall med det totala antalet tillgängliga laddpunkter. Denna produkt ger antalet laddpunkter som bör allokeras för varje intervall

$$ALPI = RTD \times \text{totala antalet tillgängliga laddpunkter}. \quad (2.2)$$

ALPI används sedan för att ta fram det förväntade avståndet mellan laddpunkter i de olika intervallen

$$DISTANS = \frac{\text{Total längd av alla vägsegment för valt ÅDT-intervall}}{ALPI}. \quad (2.3)$$

Denna distans används som ett mått på hur långt det ska vara mellan varje laddpunkt på vägsegment inom varje intervall, alltså fördelas de jämnt inom intervallen baserat på vägsegmentens mätstrecka.

2.2 Elfordons förbrukning - WLTP-cykel

En standard för tillvägagångssätt vid beräkning av en elbils räckvidd och förbrukning görs enligt metoden WLTP. WLTP står för Worldwide Harmonized Light-Duty

Vehicles Test Procedure, världsomfattande harmoniserad testprocedur för lätta fordon, vilket är ett laboratorietest där följande krav är uppfyllda:

- En WLTP-körcykel varar i 30 minuter
- Fordonet körs i en testtrigg på "rullar" i ett laboratorium
- Den totala sträckan är 23,25 km
- Laboratoriets temperatur är 23°C
- Medelhastigheten är 46,5 km/h
- Högsta hastighet är 131 km/h
- Tillvalsutrustning, exempelvis luftkonditionering och stolsvärme, är avstängt
- Under 13 % av körning står bilen still
- När fordonet inte står still skall det köras på ett sådant sätt att det används 7 kW motoreffekt som medel och 47 kW motoreffekt som max

WLTP har ersatt den gamla standarden NEDC som står för New European drive cycle, nya Europeiska körcykeln, [8].

Det finns även varianter av WLTP som WLTP TEL och WLTP TEH där man tar hänsyn till energiförbrukningen från bilens infotainment system där TEH står för test energy high (test energi hög) respektive low (låg), vilket innebär att energiförbrukningen antingen är hög eller låg under testet vilket också är en stor faktor när det kommer till räckvidd [9].

2.3 Elnät, energi och effekt

Elnätet i Sverige består av transmissionsnätet, distributionsnätet och utlandsförbindelser. Transmissionsnätet som tidigare kallats för stamnätet är det nät som står som grund för Sveriges eldistribution. Transmissionsnätet kan liknas till motorvägar för el medan distributionsnätet isåfall skulle liknas till gator för el. [10].

2.3.1 Fördelning av Sveriges energi

Tabellen 2.1 presenterar data från Svenska Kraftnät [11] som beskriver fördelningen av energiproduktion i Sverige.

Tabell 2.1: Energiproduktion efter de olika energikällorna.

Energikälla	Fördelning (%)
Vindkraft	22,08%
Vattenkraft	42,34%
Kärnkraft	30,02%
Övr. värmekraft	4,35%
Ospec. prod.	0,04%
Solkraft	1,19%
Total	100%

En betydande andel av Sveriges energiproduktion består av vind- och vattenkraft. Dessa källor av energi utgör förnybara energiresurser [12]. En betydande begränsning med dessa energikällor är att de kan variera kraftigt beroende på externa faktorer som är utom mänsklig kontroll. Till skillnad från andra typer av energikraftverk går de inte att aktivera vid behov vilket kan få stor påverkan på Sveriges energibalans.

2.3.2 Elnätsrelaterade begrepp

I kontexten av elnätet är begrepp som energitillgång och effekttillgång av avgörande betydelse. Andra begrepp som också är av stor relevans för projektet beskrivs i detta avsnitt.

- Energibalans - Energibalans är summan av producerad elektrisk effekt samt den förbrukade effekten inom ett specifikt område under en viss tidsperiod. Om energibalansen är positiv innebär det att den förbrukade effekten är mindre än den producerade effekten [12].
- Kapacitetsbrist - Kapacitetsbrist är ett begrepp som beskriver de tillfällen då det finns tillräckligt med elektrisk effekt inom området men det finns svårigheter i att överföra denna effekt till kunder momentant [12]. Kapacitetsbrist kan liknas till att kablarna som elen transporteras i är för smala eller för få för att all energi som behövs kan ta sig igenom.
- Effektbrist - Effektbrist innebär ett momentant underskott i producerad effekt i jämförelse mot effektförbrukning [12]. I Sverige inträffar detta fenomen vid maximal belastning av elnätet. Vid ökad elförbrukning som överstiger tillgänglig kapacitet i elsystemet sjunker frekvensen i kraftnätet, medan ett överskott av tillgänglig elektricitet resulterar i en stegring av frekvensen.
- Elbrist - Elbrist är ett begrepp som ofta felaktigt tolkas som effektbrist. Vad termen elbrist faktiskt innebär är det fallet då ett land eller område förbrukar mer energi än vad det producerar över ett år, alltså en negativ nettoenergibalans över ett år [12].
- Effekttoppar - Effekttoppar i elnätet är ett direkt resultat av elkonsumenterna vid en viss tidpunkt. De uppkommer på grund av en ojämn belastning av elnätet, det vill säga när elnätet används av många konsumenter samtidigt. Effekttoppar kan motverkas genom en effektivare och jämnare belastning av elnätet. Alltså att konsumera el på tidpunkter då elnätet inte används i lika stor utsträckning. Detta kan innebära att ladda fordon med hjälp av lagrad el eller exempelvis på natten då konsumtionen är som lägst [13].

2.3.3 Sveriges elområden

Sverige är indelat i fyra stycken separata elområden, SE1, SE2, SE3 och SE4. I figur 2.1 visas denna regionala uppdelning som utgör en strategi för att hantera de fysiska begränsningar som föreligger i transmissionsnätet.



Figur 2.1: Överblick över elområdena [14].

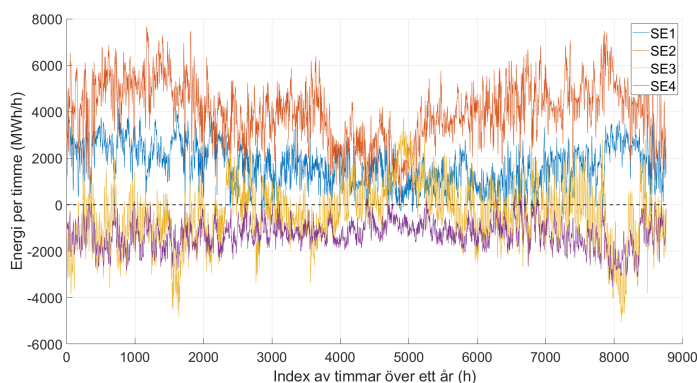
Dessa begränsningar uppkommer under vissa tider på året då överföringskapaciteten inte klarar av att transportera elektricitet effektivt från exempelvis Norra till Södra Sverige [15]. Denna ojämnheter i kapacitet och efterfrågan beror på den ojämna fördelningen av produktion och konsumtion. I tabell 2.2 visas maximala inhemska överföringskapaciteter från år 2023 som används i den simulerade överföringen i projektet.

Tabell 2.2: Inhemska överföringskapaciteter i MWh

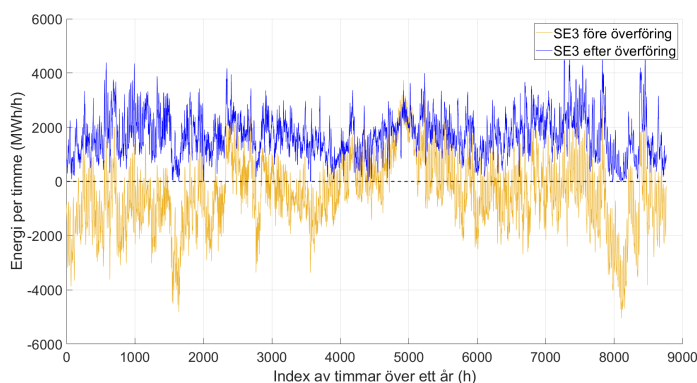
Från	Till SE1	Till SE2	Till SE3	Till SE4
SE1		3300		
SE2	3300		7300	
SE3		7300		6200
SE4			2800	

I figur 2.2 visas energibalansen i de olika elområdena före överföring mellan elområdena och i figur 2.3 visas en jämförelse mellan före och efter en simulerad inhemska

energiöverföring för SE3. En simulerad överföring presenteras även i figur 2.3.



Figur 2.2: Energibalanser beräknade från Svenska Kraftnäts data, SE1 - SE4 [11].



Figur 2.3: Energibalans SE3, före och efter simulerad inhemsk energi överföring (Baserad på energibalans från 2023 [11]).

Som visas i figur 2.2, kännetecknas Norra Sverige (SE1 och SE2) generellt av ett stort överskott i sin energibalans, medan Södra Sverige (SE3 och SE4) i större utsträckning befinner sig i energiunderskott. Denna obalans kompenseras i allmänhet av överförd energi från Norra Sverige ner till Södra Sverige.

Vid tillfällen då överföringskapaciteten är otillräcklig, det vill säga då det råder kapacitetsbrist, eller vid tillfällen av total brist av energi inträffar överbelastningar av elnätet. Följaktligen etablerade Svenska Kraftnät de svenska elområdena för att tydliggöra vart behovet av produktion och konsumtion är som störst. Denna indelning möjliggör en minskning i behovet av elektricitet som transporteras långa sträckor, samtidigt som överföringskapaciteten kan förstärkas i de regioner där den är mest nödvändig. Denna uppdelning är fortfarande under utvärdering eftersom kraftsystemen är under ständig förändring[16]. En gemensam Europeisk insats görs just nu för att uppdelningen av elområden ska följa Europeiska Unionens gemensamma regelverk. Insatsen behöver inte betyda att Sveriges elområden kommer att genomgå någon större förändring.

2.3.4 Energimängd per tidsenhet

Effekt är en enhet som huvudsakligen representeras i momentana storheter. Detta är inte fallet i SVKs årliga rapporter om Sveriges kraftbalans [12] då enheten MWh/h istället nyttjas. Denna enhet är alltså baserad på timbasis och är ett försök att närma sig den sanna representationen av momentan effektbalans via en timbaserad enhet. Då data från SVK är en frekvent källa har samma enhet (MWh/h) för energibalans använts även i denna rapport.

3

Metod

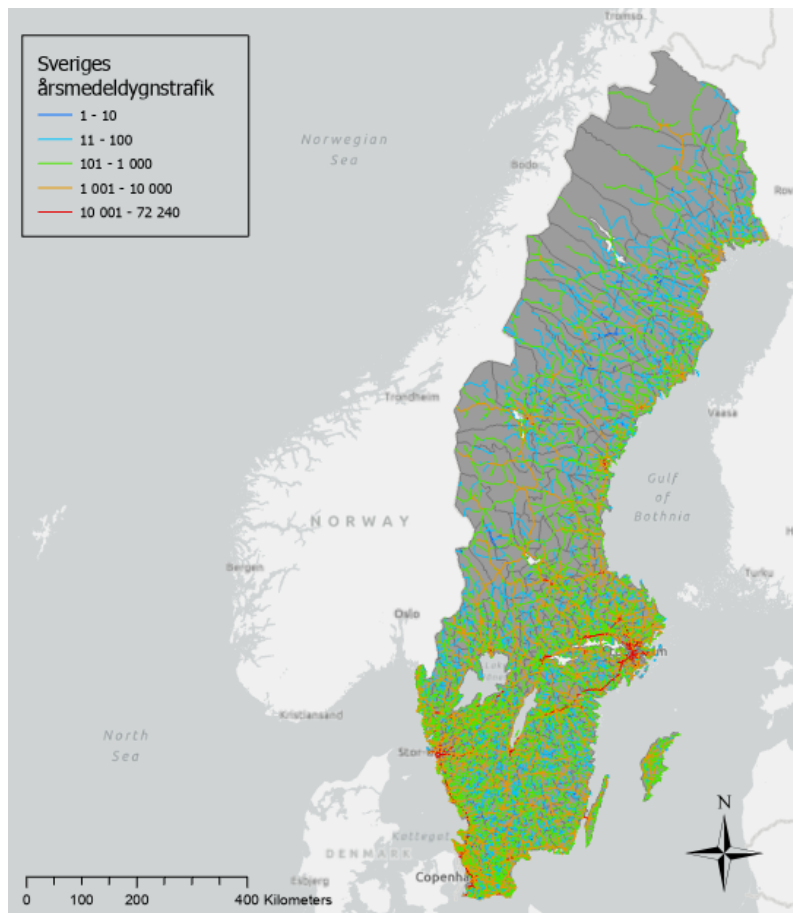
I detta kapitel kommer det att presenteras en detaljerad redogörelse av de specifika metoderna och verktygen som användes under projektet. Dessa delar inkluderar datainsamling, metodik för distribution och fördelning av laddpunkter samt analys av effektnivåer.

3.1 Insamling av data

I följande avsnitt beskrivs den metodik som genomfördes för att samla in den datan som låg till grund för projektets analyser, nämligen ÅDT samt referensfordon.

3.1.1 Årsmedeldygnstrafik

För att få tillgång till detaljerad information om trafikförhållanden och vägnät i Sverige, användes Trafikverkets databas Lastkajen 6.0 [17]. Datan som beställdes var av datatypen GeoPackage, vilket är en datatyp speciellt anpassad för användning i geografiska informationssystem (GIS). Beställningen av datan genomfördes 10 januari 2024, och datan levererades 13 januari 2024. För att garantera studiens reproducerbarhet inkluderas leveranskvitton av de dataelement som importeras från Lastkajen vilket kan ses i appendix B. Från datan har följande figur 3.1 tagits fram där man kan utläsa fördelningen av trafikflöde i Sverige. Det går att konstatera att det är högre årsmedeldygnstrafik i Södra Sverige än i Norra.



Figur 3.1: Sveriges Årsmedeldygnstrafik [17].

3.1.2 Fordon

Insamlingsmetodiken skiljer sig mellan personbilar och lastbilar jämfört med bussar när det gäller positionering och fördelning av laddpunkter. För bussar baseras detta endast på antalet per kommun, medan för personbilar och lastbilar följer rekommendationen av en laddpunkt per tio fordon, i kombination med användningen av punktmetoden.

3.1.2.1 Personbilar och Lastbilar

Datan om de olika fordonen filtrerades först utifrån vilka elfordon som är mest populära per december 2023, sedan valdes tre modeller från varje kategori; liten, mellan och stor bil. Kategoriseringen baserades på referensen, EVdatabas [18] definition av de olika klasserna. Om det fanns flera varianter av samma modell, togs medelvärdet av samtlig data. Därefter beräknades en procentuell fördelning av de olika modellerna genom att antalet bilar av modellen dividerades med det totala antalet bilar per december 2023. Följaktligen multiplicerades denna kvot med det totala antalet bilar per 2023 [19]

$$\text{Antal fordon} = \frac{\text{Antal fordon per modell}}{\text{Antal fordon i kategorin}} \times \text{Antal fordon per Dec 2023}. \quad (3.1)$$

Detta ansågs ge en representativ bild av hur fördelningen av olika modeller ser ut i samhället. Vidare, hämtades även information om antal kilometer per fordonstyp per år som baserades på genomsnittlig körsträcka mellan 1999 och 2022 vilket var 12 440 km [20]. Det hämtades även information om de olika fordonens kapacitet (kWh), räckvidd i km baserat på WLTP (TEL) med 80% laddning samt förväntad laddningstid vid olika laddningstyper (se appendix C för specifikation).

För tunga respektive lätta lastbilar baserades endast data på en fordonmodell per kategori. Därefter nyttjades samma metodik som för personbilar för att beräkna det totala energibehovet.

3.1.2.2 Bussar

För bussar baserades datan endast på en fordonmodell. Där information om laddningstiden för en buss baserades på ett varv. Vilket innebär att bussen kör en varierande sträcka mellan 8 till 9,5 km vilket sedan tar tre till sex minuter att ladda upp den åtgångna energin [21]. Den övriga information är beräknad och framtagen på samma sätt som för personbilar samt lastbilar.

3.2 Metodik för laddstolpsdistribution

I detta avsnitt presenteras tillvägagångssättet för hur de olika verktygen framställdes för att ta fram ett exempel på fördelningen av laddpunkter samt placeringen av laddningsstationer för personbilar samt lastbilar. Det redogörs även för det verktyg som utvecklades för att beräkna effektnivåerna.

3.2.1 Totala antalet tillgängliga laddpunkter

Baserat på laddpunktsdatan i tabell 3.1 från 2023 fastställdes det totala antalet personbilar och lastbilar. Därefter, enligt EU:s rekommendationer om en laddpunkt per tio bilar, beräknades det totala antalet tillgängliga laddpunkter för lastbilar respektive personbilar. För bussar kommer avgränsningen till skillnad från de andra kategorierna endast anta att det måste finnas minst en laddpunkt om det finns färre än tio bussar inom en kommun och därefter baseras antalet laddpunkter enligt EU:s rekommendation för bilar.

Tabell 3.1: Totala antalet tillgängliga laddpunkter för personbilar samt lastbilar.

	Antal tillgängliga laddpunkter
Personbilar	497 716
Lastbilar	70 035

3.2.2 ArcGIS och implementering av Punktmetoden

ArcGIS Pro version 3.2.0 användes för att analysera data gällande ÅDT:n och implementera Punktmetoden. För detta ändamål har följande funktioner i ArcGIS använts:

1. **Attribute Table:** Tabell med information angående parametrar [22].
2. **Generate Points Along Lines:** Skapar punkter med vald intervall [23].
3. **Merge Features:** Sammanfogar olika dataset till en enhetlig struktur [24].
4. **Spatial Join:** Användes som räknare för att veta hur många punkter som finns inom ett geografisk område [25].

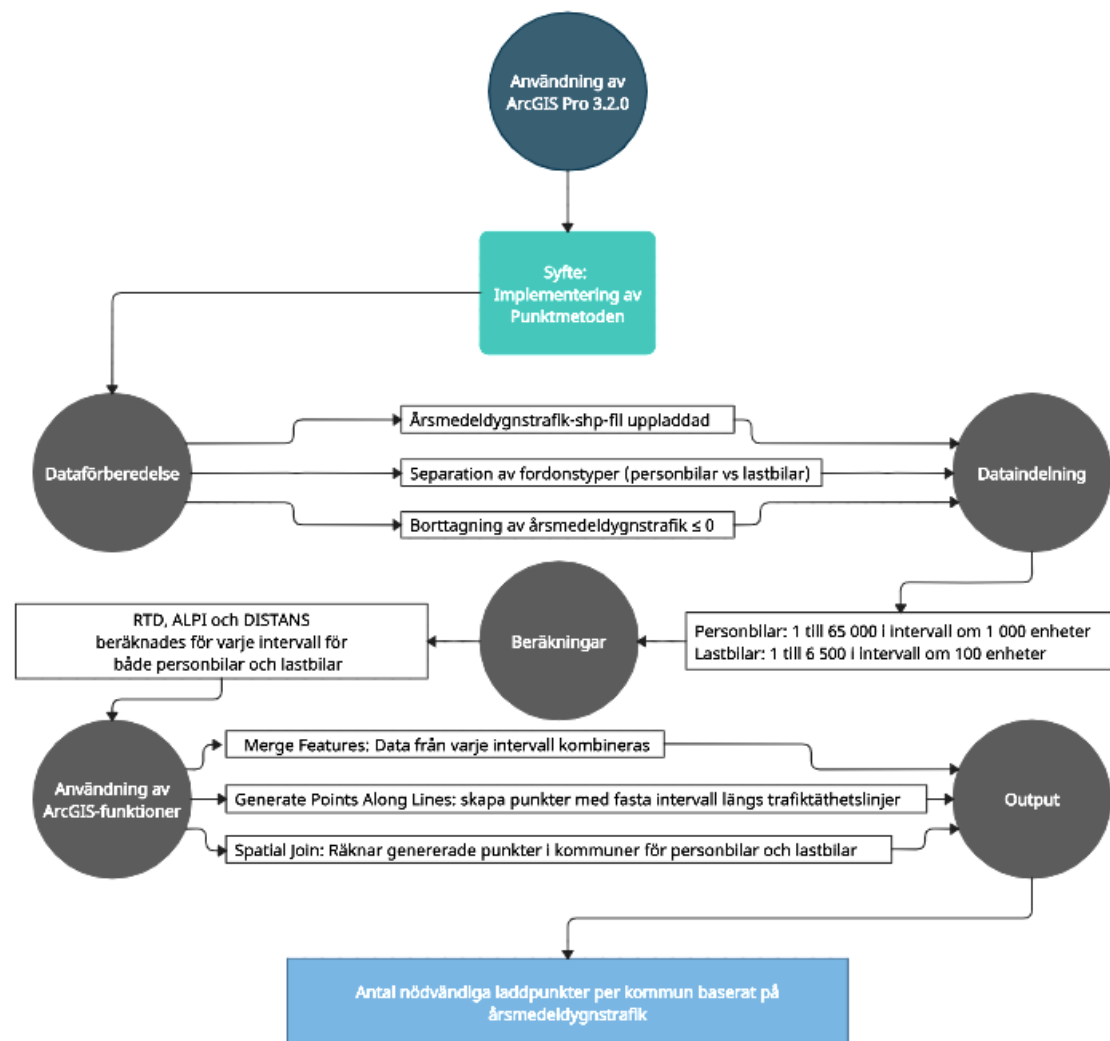
Punktmetoden implementerades för att beräkna det nödvändiga antalet laddpunkter i varje kommun i Sverige, med särskild hänsyn till ÅDT:n som parameter, i vilket personbilar och lastbilar behandlades separat:

Årsmedeldygnstrafikens shape-fil laddades upp i ArcGIS. Efter separationen av ÅDT:n för personbilar från lastbilar, filtrerades alla värden mindre eller lika med noll bort med hjälp av 'Attribute Table', då negativa värden på ÅDT kan bero på olika faktorer, exempelvis felaktiga mätningar, felaktig datainmatning eller en anomaly i trafikmönstren som gör att värdet verkar negativt.

I enlighet med detta delades trafiktätheten upp i 65 intervall, där ÅDT:n för personbilar sträcker sig från 1 till 65 000, med steg om 1 000 enheter, och för lastbilar sträcker intervallet sig från 1 till 6 500, med steg om 100 enheter.

ALPI beräknades efteråt enligt (2.1), (2.2) och (2.3) för varje intervall av personbilar respektive lastbilar för att i slutändan sammanfogas med verktyget 'Merge Features' till en sträcka.

'Generate Point along Lines', användes efteråt för fördelning av punkter mellan jämna intervall. Proceduren upprepades för samtliga intervall. I slutändan laddades shape-filen för Sveriges kommuner upp, och antalet genererade punkter för respektive personbilar och lastbilar beräknades med hjälp av funktionen 'Spatial Join' separat i varje kommun. I figur 3.2 visas en konceptkarta för implementering av Punktmetoden i ArcGIS.



Figur 3.2: Konceptkarta för implementering av Punktmetoden

3.2.2.1 Korrigering av antalet laddpunkter

Programmets begränsningar skapade behovet av en korrektionskonstant då det observerades att antalet laddpunkter som genererades var färre än förväntat. För att åtgärda detta problem togs antalet laddpunkter som projektet utgick ifrån och dividerades med antalet som genererades av ArcGIS. Den resulterande korrektionskonstanten multiplicerades sedan enhetligt över antalet laddpunkter inom varje kommun för att uppfylla det totala antalet laddpunkter i enlighet med EU:s rekommendation. Därefter fördelades dessa korrektionsjusterade laddpunkter inom respektive kommuns tillhörande elområde. Denna fördelning implementerades för både personbilar och lastbilar för säkerställa täckningen i enlighet med projektets antaganden.

3.3 Analys av energibalanser

I detta avsnitt beskrivs databehandlingen som utfördes för att uppskatta energibalans före och efter simulerad inhemsk överföring av energi och beräkning av andel överbelastning som dess konsekvens. Alla individuella steg i denna beskrivning utfördes för varje individuellt elområde och timme på ett år.

3.3.1 Förväntat energibehov för fordonsflottan

Det totala energibehovet per år och kategori beräknades genom att multiplicera det genomsnittliga antalet km per år med förbrukningen per km samt med antalet bilar för varje kategori, vilket ger

$$\text{Energibehov} = \text{Antal km per år} \times \text{Förbrukning} \times \text{Antal fordon}. \quad (3.2)$$

Sedan summerades samtliga kategorier för att få det totala förväntade energibehovet per år. Denna informationen delades sedan med det totala antalet timmar per år, 8760, för att få en genomsnittlig förbrukning per timme

$$\text{Totalt Energibehov per timme} = \frac{\sum \text{Energibehov per kategori}}{8760}. \quad (3.3)$$

Det är detta energibehov som kommer att ligga i grund för energianalyserna.

3.3.2 Modell för uppskattning av nya energibalanser

Metoden för att analysera energibalans i Sverige baserades på data från 2021, 2022 samt 2023 som innehöll data om både produktion och förbrukning av energi för alla Sveriges elområden [11] per timme över ett år. Då datan för både produktion och förbrukning var uppdelad i ett flertal underkategorier adderades respektive kolumner ihop med hjälp av excel för att användas som grund för energibalansen. Energibalansen är ett mått på energiöverskott eller underskott som togs fram genom att summera produktionen och förbrukningen.

För att uppskatta den nya elektrifierade fordonsflottans inverkan på energibalansen räknades det förväntade genomsnittliga energibehovet per timme ut. Detta gjordes genom att vikta det totala energibehovet (från ekvation (3.3)) med andelen laddpunkter i respektive elområde (som tagits fram enligt avsnitt 3.2.2), vilket sedan dividerades med antalet timmar på ett år. Detta genomsnittliga energibehov per timme för fordon subtraherades sedan från den redan beräknade energibalansen för att få fram en ny förväntad nivå på energibalans.

3.3.3 Modell för inhemsk energiöverföring

Som konstaterat i avsnitt 2.3.3 finns det en generell obalans i tillgänglig effekt vid jämförelse av Norra Sverige och Södra Sverige. För att kompensera denna obalans sker vanligtvis överföring av energi mellan elområden med överskott till elområden med underskott. För att simulera denna överföring identifierades behovet av ett verktyg som tog hänsyn till de faktiska överföringskapaciteterna.

Denna simulering utfördes genom att det initierades en process där potentiellt överskott skickades successivt i en kedja från Norra Sverige (SE1 som i allmänhet kännetecknas av energiöverskott) nedåt i sekvens. Först verifierades det om det fanns ett överskott i området och sedan kontrollerades det om överskottet var större än den möjliga överföringskapaciteten som visades i tabell 2.2. Om överskottet överstred överföringskapaciteten skickades endast den maximala överföringskapaciteten, annars skickades hela det tillgängliga överskottet. Den överförda mängden subtraherades från energibalansen i det aktuella området och adderades sedan till nästa områdes energibalans i kedjan. Detta utfördes sekvensiellt tills överskottet når SE4.

Efter detta steg fanns det två möjliga utfall, ej tillräckligt överförd energi eller för stor överförd energi i SE4. I fallet med otillräcklig överföring befann sig SE4 i ett underskott trots maximal överföring, vilket gjorde att överföringssimulationen avbröts. I fallet med för stor överföring befann sig SE4 i ett överskott, i detta fallet skickades överskottet tillbaka till de föregående elområdena i kedjan. Andelen av det slutliga överskottet i SE4 som skickades tillbaka till SE1, SE2 och SE3 baserades på den procentuella andelen som respektive område initialt skickat i sekvensen.

Slutligen kontrollerades om antingen SE1 eller SE3 befann sig i underskott eller om båda gjorde det samtidigt. I dessa fall kontrollerades om det fanns överskott i övriga områden och om det totala överskottet skulle kunna täcka underskottet. I det fall att underskottet täcktes skickades energin till de områden som var i underskott.

3.3.4 Beräkning av elnätets överbelastningstillfällen

Med modellerna för uppskattning av nya förväntade energibalanser och inhemsk energiöverföring kördes det simuleringar av hela år (2021, 2022 samt 2023) på timbasis. Den enda variabel som förändrades under dessa simuleringar var andelen av förväntat genomsnittlig energibehov från de nya fordonen som subtraherades från energibalansen. Efter simuleringen var utförd, kontrollerades om någon av elområdena befann sig i underskott under någon av timmarna under året. Dessa tillfällen summerades och dividerades med det totala antalet timmer över ett år för att få fram en procentuell andel av året då elnätet är överbelastat.

Med denna simulering producerades grafer med 0%, 100% och 200% av genomsnittlig energibehov från nya fordon som plottades i histogram med logaritmisk skala på y-axeln. Sedan producerades även en graf som visar förväntade procentuella överbelastning över spektrumet 0% till 500% genomsnittlig förväntad fordonsförbrukning.

4

Resultat

Detta kapitel ämnar att presentera de resultat som har producerats under projektets gång. Genom arbete i Excel, ArcGIS och Matlab kommer resultat från följande delar att presenteras, referensfordon, fördelning av laddpunkter samt analys av effektnivåer.

4.1 Referensfordon

Från datan hämtad om de olika fordonsmodellerna har beräkningar enligt ekvationer 3.1, 3.2, 3.3 gjorts. I tabell 4.1 presenteras den datan som erhöles från beräkningarna.

Tabell 4.1: Fordonstyper se appendix C för fullständig tabell.

Kategori	Fordonsmodell	Antal 2023	Efter beräkning	Förbr.	Behov [MWh/h]
Liten bil	Hyundai Kona	4 580	159 160	0,14	31,64
	Renault Zoe ZE50	10 096	350 848	0,17	84,7
	MINI SE	3 486	121 142	0,14	24,09
Totalt		18 162	631 150		140,43
Mellan bil	Volvo xc40	20 632	716 986	0,16	166,3
	Volkswagen ID4	27 409	952 494	0,16	213,04
	KIA Niro	19 425	675 041	0,16	153,38
Totalt		67 466	2 344 521		532,73
Stor bil	Tesla Model Y	26 719	928 516	0,16	207,68
	Tesla Model 3	18 191	632 158	0,14	121,19
	Polestar 2	12 685	440 818	0,15	93,9
Totalt		57 595	2 001 492		422,77
Summerat		143 223	4 977 163		1 095,92
Liten lastbil	Iveco eDaily	614 916	614 916	0,28	274,58
Stor lastbil	Volvo FH AERO	85 431	85 431	0,41	171,37
Summerat		700 347	700 347		445,95
Buss	Volvo FH7900	14 321	14 321	2,35	210,41
Summerat		14 321	14 321		210,41

Tabell 4.1 – fortsättning från föregående sida

Totalt	857 891	5 691 831	1752,28
--------	---------	-----------	---------

Ur tabell 4.1 går det att utläsa att det totala energibehovet per timme för fordonsflottan blir 1752,28 MWh/h. Där personbilar i särklass är de mest krävande fordonen, följt av lastbilar och slutligen bussar.

4.2 Fördelning av laddpunkter

Enligt tabell 4.1 fanns det 4 977 163 personbilar och 700 347 lastbilar i trafiken under 2023. Enligt EU:s rekommendation att för tio elbilar krävs det en laddpunkt, ger detta följande tabell 4.2:

Tabell 4.2: Tabell över det uppskattade antalet laddpunkter för personbilar och lastbilar.

	Antal tillgängliga laddpunkter
Personbilar	497 716
Lastbilar	70 035

I följande tabell 4.3 presenteras korrektionskonstanten samt den genomsnittliga distansen för antalet laddpunkter för personbilar och lastbilar över alla intervall.

Tabell 4.3: Tabell över det beräknade antalet laddpunkter för personbilar och lastbilar i ArcGIS.

	Personbilar	Lastbilar
Antal beräknade laddpunkter med ArcGIS	483 328	69 109
Genomsnittlig distans mellan laddpunkter över alla intervall [m]	220,041	1 538,902
korrektionskonstanten	1,029	1,013

Distanserna som observeras i tabell 4.3 kan anses uppseendeväckande små. Detta beror på att fördelningen av laddpunkter sker styckvis och inte stationsvis. Vid praktisk implementering hade det behövts ta hänsyn till geografiska aspekter för att bestämma stationernas storlek.

I tabell 4.4 presenteras antalet laddpunkter för de fem kommunerna med den högsta folkmängden i Sverige för personbilar respektive lastbilar. Dessa värden togs fram med hjälp av Punktpumetoden och korrigerades proportionellt (se appendix D.2 för fullständig lista).

Tabell 4.4: Tabell över de fem största kommunerna med sina tilldelade laddpunkter.

Kommunnamn	Antal laddpunkter för personbilar	Antal laddpunkter för lastbilar
Stockholm	14 958	1 809
Göteborg	18 598	2 286
Malmö	2 772	290
Uppsala	7 639	785
Linköping	6 337	645

De finns två faktorer som har störst påverkan på antalet tilldelade laddpunkter i varje kommun, ÅDT på vägarna i kommunen och storleken på kommunen. Till exempel har Göteborg fått fler laddpunkter än Stockholm. Det beror på att Göteborgs area är nästan fem gånger större än Stockholms, med en relativt hög trafiktäthet på sina vägar.

4.2.1 Antal laddpunkter som saknas i varje län samt visualisering av antalet laddpunkter per kommun

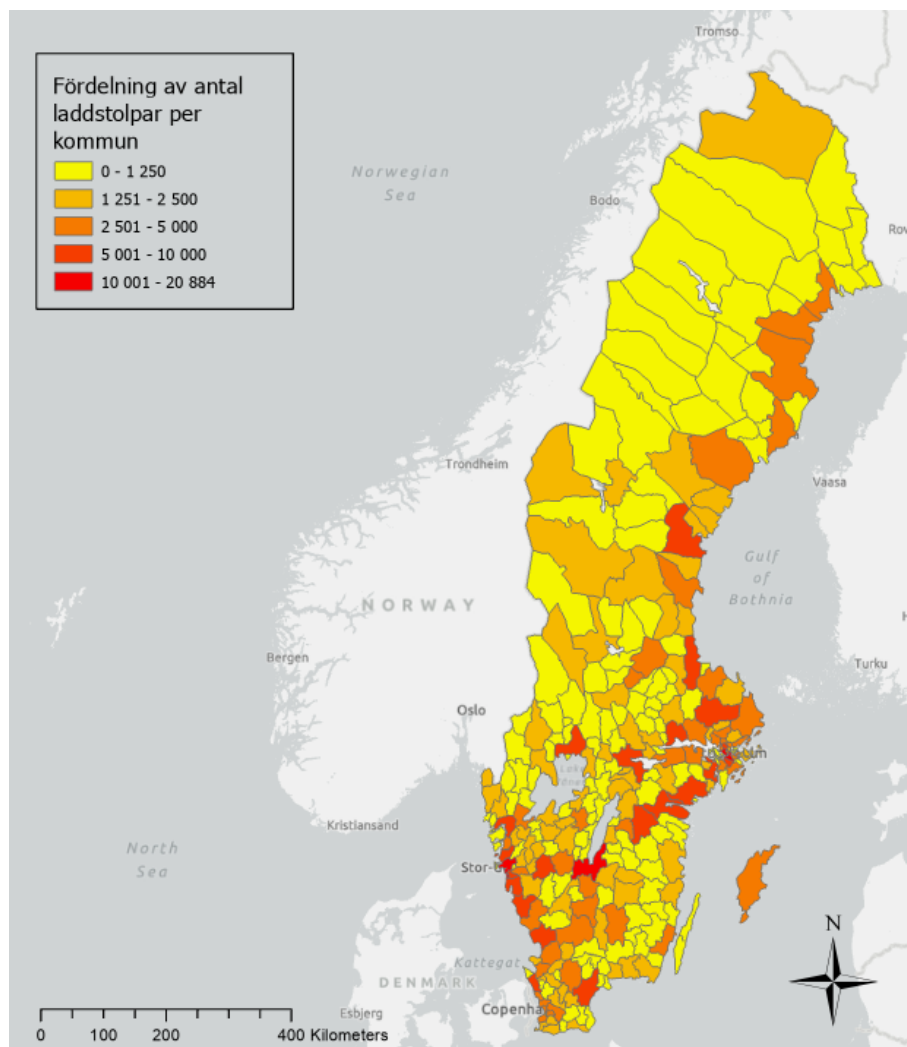
I tabell 4.5 presenteras de befintliga laddpunkter och de som saknas efter punktmetodens implementering,

Tabell 4.5: Antalet befintliga laddpunkter gentemot antalet som uppskattats saknas enligt punktmetoden.

Region	Befintliga	Antal som saknas
Blekinge län	542	7 406
Dalarnas län	1 002	18 225
Gotlands län	500	2 461
Gävleborgs län	765	18 909
Hallands län	1 286	22 537
Jämtlands län	727	11 154
Jönköpings län	777	26 394
Kalmar län	630	13 471
Kronobergs län	533	13 839
Norrbottnens län	508	13 983
Skåne län	3 803	64 395
Stockholms län	8 857	79 093
Södermanlands län	472	16 678
Uppsala län	625	22 211
Värmlands län	657	17 915
Västerbottens län	578	15 066
Västernorrlands län	576	14 694
Västmanlands län	542	16 692
Västra Götalands län	7 451	94 452
Örebro län	648	18 595
Östergötlands län	1 126	26 051
Totalt	32 605	534 220

I tabell 4.5 går det att utläsa att det saknas 534 220 laddpunkter. Det motsvarar en avsaknad av 94,25% enligt EU:s rekommendation.

I figur 4.1 visas en karta över Sveriges kommuner, färgkodad för att visa det sammanlagda antalet laddpunkter både för personbilar och lastbilar. Detta genomfördes genom beräkning av det resulterande antalet laddpunkter inom de individuella kommunernas gränser, samtidigt som laddpunkter utanför exkluderades.



Figur 4.1: Översiktlig bild över Sveriges fördelning av laddpunkter enligt Punktmetoden (se appendix D.2 för specifikation)

Det går att utläsa hur E6an som främst ligger längst den västra delen av Sverige är högt trafikerad liksom E4an som går från södra Sverige, passerar mitten av Sverige i riktning mot Stockholm och sedan vidare längs östkusten upp till Luleå. I dessa kommuner placeras stora delar av det totala antalet laddpunkter, vilket även var väntat från datan med avseende på ÅDT och visualiserat i figur 3.1.

4.3 Gruppering och fördelning inom elområden

I följande tabeller, 4.6, 4.7, 4.8 presenteras den procentuella fördelningen av bussar samt laddpunktsfördelningen mellan personbilar och lastbilar i de olika elområdena.

Tabell 4.6: Antal bussar per elområde

Elområde	Antal bussar	Procentuell fördelning
SE1	549	3,83 %
SE2	1 388	9,69 %
SE3	9 850	68,78 %
SE4	2 534	17,69 %
Totalt	14 321	100 %

Tabell 4.6 visar att SE3 är det område med med störst procentuell fördelning av bussar. Antalet bussar uppgår till över två tredjedelar av det totala antalet.

Tabell 4.7: Antal laddpunkter per elområde för Personbilar

Elområde	Antal laddpunkter	Fördelning laddpunkter (%)	Fördelning bilar (%)
SE1	16 446	3,30 %	3,89 %
SE2	39 465	7,93 %	7,09 %
SE3	338 705	68,05 %	66,11 %
SE4	103 099	20,71 %	22,92 %
Totalt	497 716	100 %	100 %

I tabell 4.7 syns det tydligt att SE3 även i detta fall är avvikande. Det är även anmärkningsvärt att jämföra fördelningen av laddpunkter mot fördelningen av bilar. Det går att avläsa att det inte är någon större skillnad mellan de olika fördelningarna och därmed att det finns en korrelation mellan dessa två.

Tabell 4.8: Antal laddstationer per elområde för lastbilar

Elområde	Antal laddpunkter	Fördelning laddpunkter (%)	Fördelning lastbilar (%)
SE1	2 907	4,15 %	4,59 %
SE2	6 952	9,93 %	7,79 %
SE3	46 122	65,86 %	66,32 %
SE4	14 054	20,07 %	21,29 %
Totalt	70 035	100 %	100 %

I tabell 4.8 framgår det återigen att SE3 aviker, då fördelningen av laddpunkter skiljer sig något mellan personbilar och lastbilar. Detta kan härledas till att lastbilar vanligtvis opererar över längre sträckor och därmed har en tendens att återfinnas i flera olika elområden jämfört med personbilar. Vilket kan förklara den jämnare fördelningen av laddpunkter över Sverige.

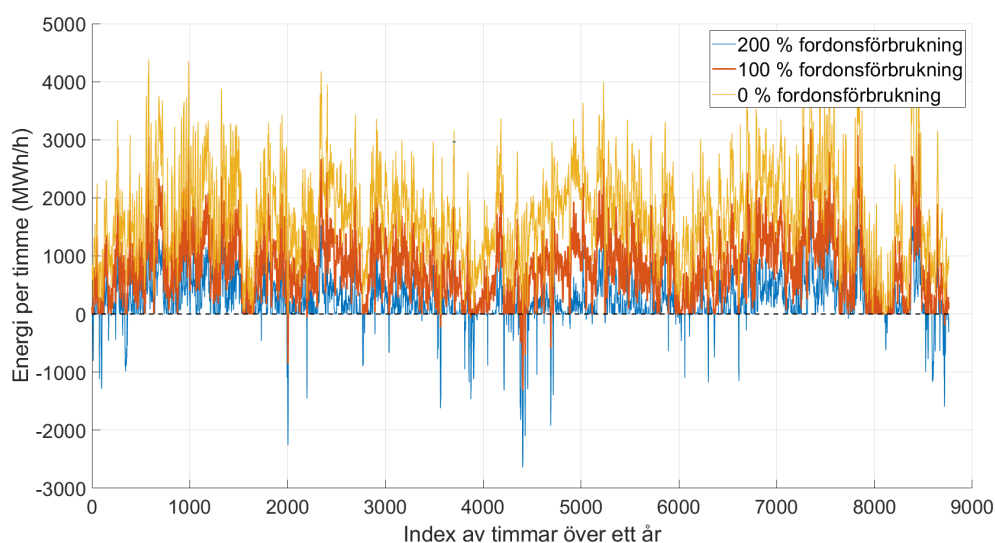
4.4 Energibalans efter överföring

Den ökade efterfrågan på energi från de fordonsmodeller som projektet har utgått ifrån, se tabell 4.1, går det att konstatera att det totala uppskattade energibehovet kommer att vara 15 350 GWh under hela året från fordonsflottan. Detta betyder att den nya efterfrågan kommer att öka med 42,05 GWh per dygn vilket alltså blir 1,752 GWh per timme enligt tabell 4.1. Vilket innebär en total ökad efterfrågan på energi från 321,90 GWh till 363,95 GWh per dygn. Vilket leder till en ökning från 117 492 till 132 842 GWh per år. Detta innebär en ökning om ca 13% på en årsbasis. I varje elområde påverkas effektbehovet olika eftersom den procentuella andelen laddpunkter är ojämnt fördelade över Sverige. Fördelningen visas på i värden av antal fordon och deras genomsnittliga förbrukningar per timme i respektive elområde i tabell 4.9.

Tabell 4.9: Energiförbrukning per elområde för fordonsflottan

Elområde	Andel (%)	Bussar	Personbilar	Lastbilar	[MWh/h]
SE1	3,58 %	8,07	36,21	18,51	62,79
SE2	8,65 %	20,39	86,91	44,27	151,57
SE3	67,58 %	144,72	745,79	293,68	1 184,19
SE4	20,19 %	37,23	227,01	89,49	353,73
Totalt	100 %	210,41	1 095,92	445,95	1 752,28

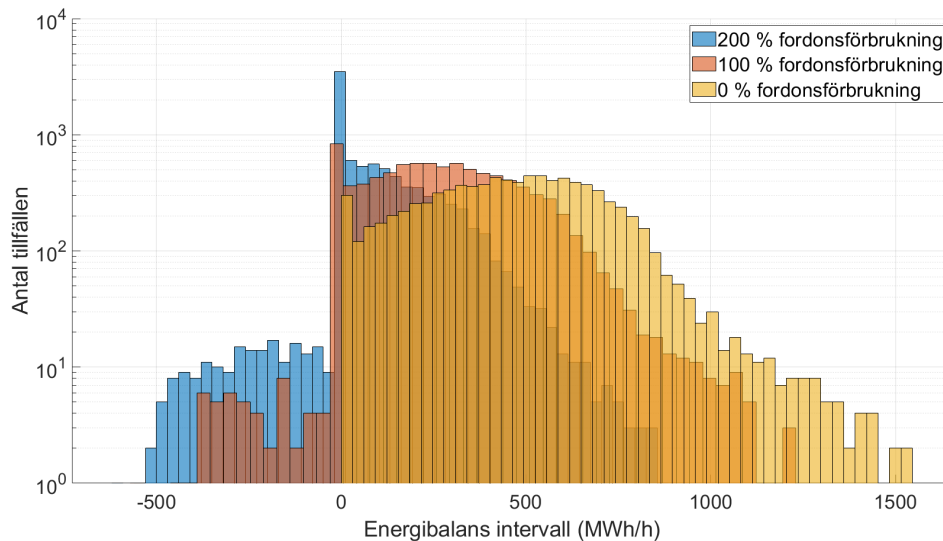
Detta innebär att vissa områden kommer att bli mer påverkade än andra. För att visa olika möjliga utfall av den elektrifierade fordonsflottans inverkan på energibalansen har ett antal grafer tagits fram som visualiserar och jämför tre olika nivåer av fordonsförbrukning. Nivåer av fordonsförbrukning som presenteras är 0%, 100% och 200% tillagd andel av den förväntade genomsnittliga fordonsförbrukningen.



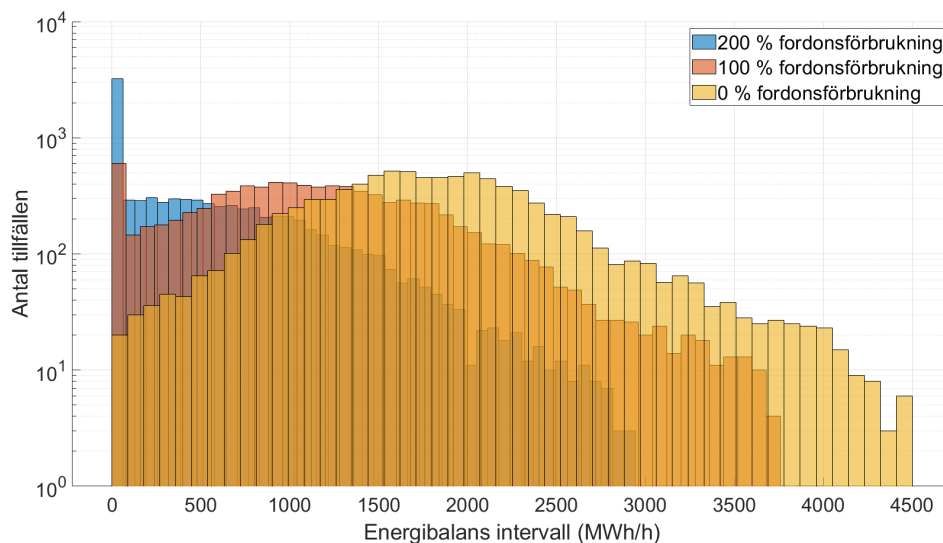
Figur 4.2: Energibalansen för SE3 vid 0%, 100% och 200% andel av förväntad genomsnittlig fordonsförbrukning.

4. Resultat

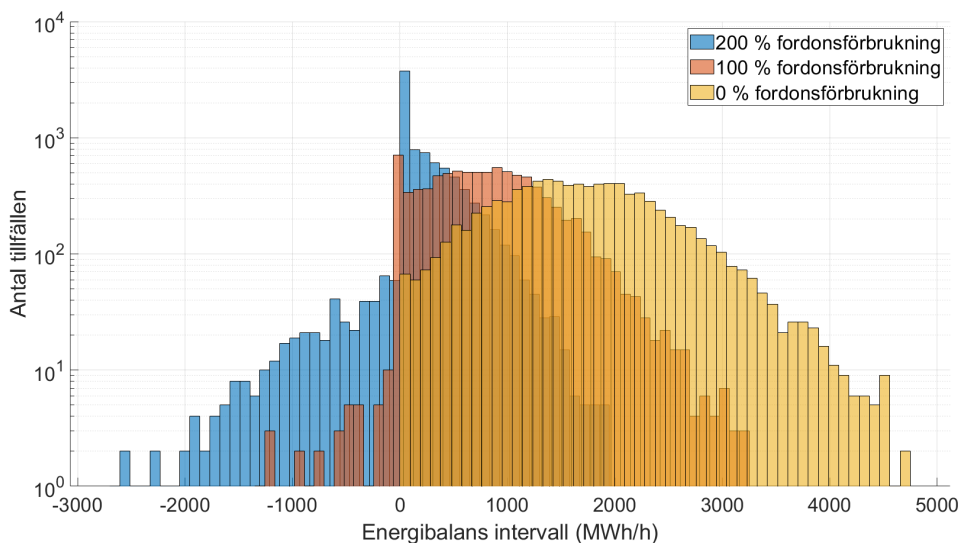
Energi-balansen efter simulerad inhemsk överföring i SE3 visas i figur 4.2 och ger en inblick i hur de olika nivåerna av fordonsförbrukning påverkar belastning på elnätet. Bara från denna översiktliga vy går det att urskilja hur de olika nivåerna av fordonsförbrukning inverkar på antalet och storleken av timmar med underskott specifikt i SE3. Samma typ av figur med data för resterande elområden går att se i appendix E figur E.1.



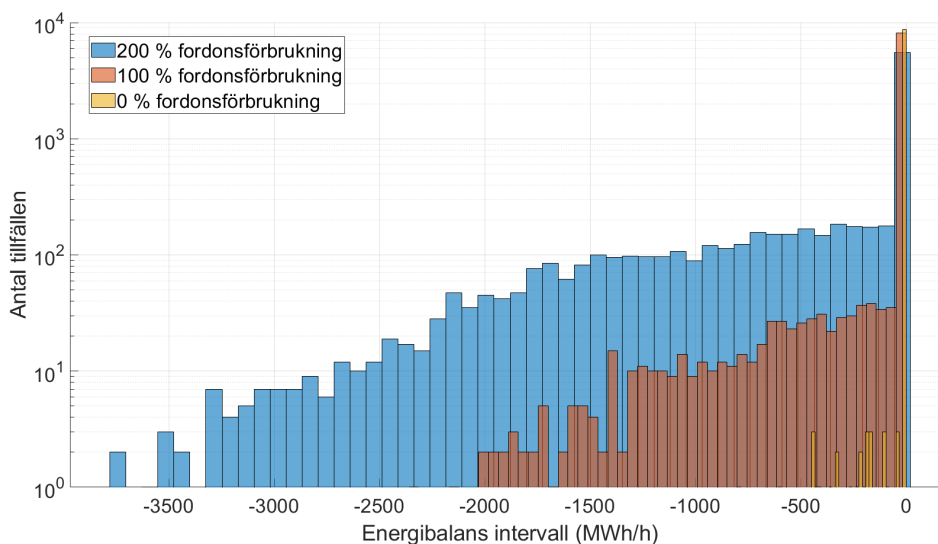
(a) SE1



(b) SE2



(c) SE3



(d) SE4

Figur 4.3: Histogram över fördelningen av energibalanser efter överföring.

Fördelningen av energibalansen över ett år (efter energiöverföring) presenteras i figur 4.3 för respektive elområde i formen av histogram, med Y-axeln i logaritmisk skala. Inverkan från de olika nivåerna av fordonsförbrukning visas i varje elområde som tre olika fördelningar. I alla elområden är det möjligt att urskilja en högre förekomst av timmar med en energibalans av 0 MWh/h. Detta är ett resultat som härstammar från modellen för inhemsk energiöverföring 3.3.3. Detta är på grund av att modellen har som huvudmål att minimera negativa energibalanser i elområden och endast ett sekundärt mål av en naturlig fördelning. Det framgår också tydligt att de olika nivåerna av fordonsförbrukning har märkbar inverkan på antalet timmar med underskott och storleken av underskottet i SE1, SE3 och SE4.

Bredden på intervallerna i histogrammen och deras minsta respektive största värde beskrivs i tabell 4.10.

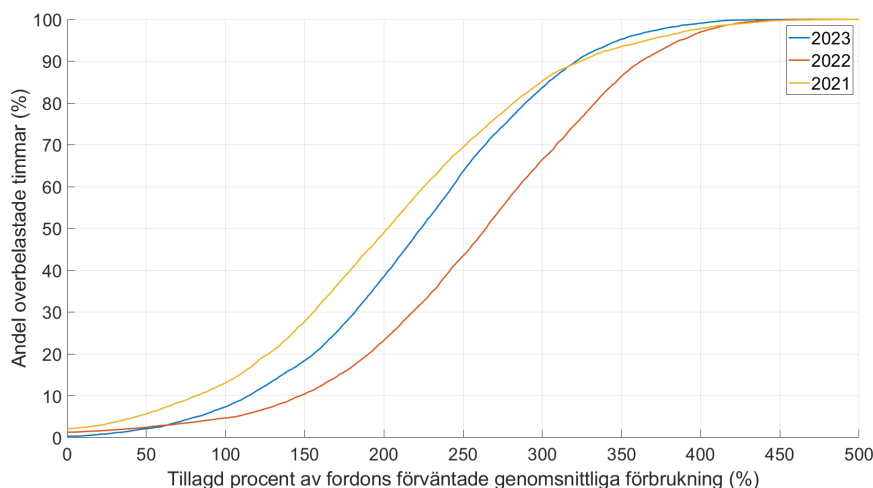
Tabell 4.10: Histogram - Intervallbredd, Minsta och största värde.

SE1	Intervallbredd (Binwidth)	Minsta värde	Största värde
200%	30.1	-620	885
100%	36	-570	1230
0%	30.9	0	1545
SE2	Intervallbredd (Binwidth)	Minsta värde	Största värde
200%	64	0	3 200
100%	80	0	4 000
0%	90	0	4 500
SE3	Intervallbredd (Binwidth)	Minsta värde	Största värde
200%	93	-2 700	1 950
100%	92	-1 350	3 250
0%	95	0	4 750
SE4	Intervallbredd (Binwidth)	Minsta värde	Största värde
200%	76	-3 780	20
100%	47.2	-2 360	0
0%	16	-800	0

4.4.1 Överbelastning av elnät

Det som går att utläsa i tabellen 4.10 är att elområdet SE4 generellt inte har större värden än noll i sina fördelningar, vilket initialt kan verka förvånande. Detta beror än en gång på modellens begränsningar.

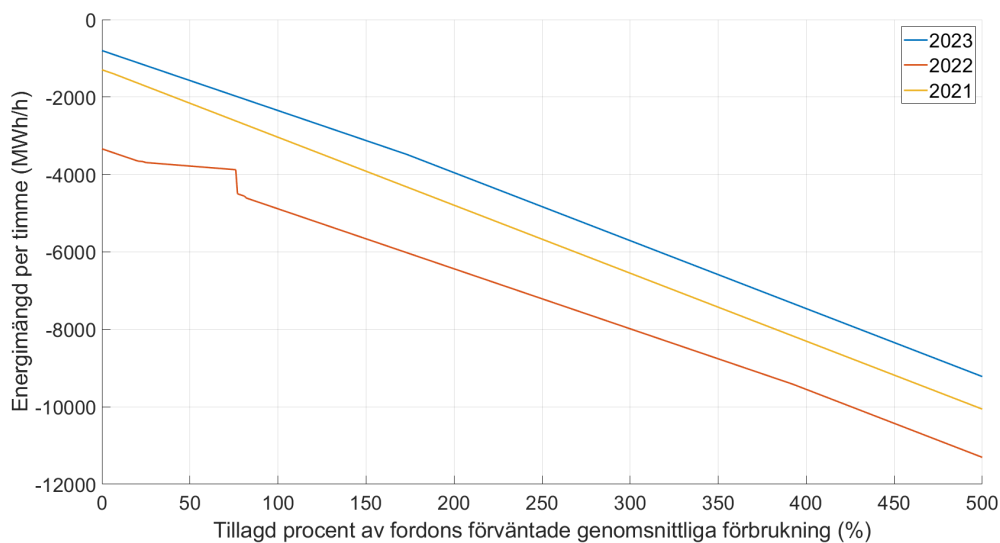
Från simuleringen med olika nivåer av fordonsförbrukningar går det att ta fram en stegvis ökande förbrukning (0%, 1%, 2% ... upp till 500% i detta fall) och beräkna andelen av året som förväntas befinna sig i underskott i något av de fyra elområdena. En grafisk representation kan ses i figur 4.4.



Figur 4.4: Andel av året då elnätet är överbelastat vid olika nivåer av förväntad fordonsförbrukning.

Figur 4.4 presenterar en kurva som illustrerar korrelationen mellan andelen av året med överbelastning efter inhemsk överföring (y-axel) och en ökande nivå av fordonsförbrukning (x-axel) under åren 2021, 2022 och 2023. En tydlig exponentiell ökning av andelen av överbelastning går att observera från bottenvärdet upp till 50% för alla tre år. Denna exponentiella tillväxt avtar sedan när dem närmar sig 100%. Detta beteende kan förklaras av att energibalanser innan databehandling i allmänhet är normalfördelade, vilket visas i appendix E i figur F.1. Med en linjärt ökande förbrukning finns det stegvis ett större antal timmar som övergår till underskott och därför signalerar överbelastning. Ungefär vid 50% överbelastning minskar istället antalet möjliga timmar som kan befinna sig i underskott per steg och gör att ökningen av andelen timmar med överbelastning börjar avta. Skillnaden mellan de tre observerade åren ses tydligast i intervallet 10 - 90 %. Detta beteende antas bero på det genomsnittliga energiöverskottet för respektive år.

Med energibalanser i spektrat av 0% till 500% andel fordonsförbrukning kunde modellen specificera timmen och storleken av största underskottet, vilket är det summerade underskottet i alla elområden under 2021, 2022 och 2023. Detta visualiseras i figur 4.5.



Figur 4.5: Största totala summan av underskott i elområden, med jämförelse av tillagd procentandel av fordonsförbrukning

Det går att se en linjär och negativ utveckling gentemot den stegvis ökande fordonsförbrukningen. Detta är ett förväntat beteende då den ökande nivån av fordonförbrukning endast är ett subtraherat värde från alla timmars energibalanser. De timmar som redan befinner sig i underskott på grund av bristande överföringskapacitet eller total brist av energi kommer endast uppleva en något större energibrist. Däremot visar kurvan för 2022 ett oväntat beteende, vilket möjligtvis skulle kunna förklaras av det extrema underskottet under perioden November och December, se appendix F figur F.2.

Vid de tillfällen då elnätet är överbelastat på grund av bristande överföringskapacitet med hänsyn till storlek på underskottet, kan ses i tabellen 4.11.

Tabell 4.11: Antalet och andel timmar då elnätet är överbelastat.

År	Förbrukning	Antal överbelastn.	Andel av året	Största underskott [MWh/h]
2021	0 %	177	2,02 %	-1 295,70
	50 %	494	5,64 %	-2 160,44
	100 %	1144	13,06 %	-3 038,12
	150 %	2 433	27,77 %	-3 915,80
	200 %	4 294	49,02 %	-4 793,48
2022	0 %	111	1,27 %	-3 337,12
	50 %	213	2,43 %	-3 782,07
	100 %	410	4,68 %	-4 886,41
	150 %	915	10,45 %	-5 661,06
	200 %	2 034	23,22 %	-6 435,70
2023	0 %	28	0,32 %	-799,00
	50 %	185	2,11 %	-1 573,65
	100 %	642	7,33 %	-2 348,29
	150 %	1 614	18,42 %	-3 122,94
	200 %	3 372	38,49 %	-3 952,72

Resultatet som framgår i tabell 4.11 illustrerar antalet, andelen timmar då elnätet överbelastas samt det största underskottet i takt med en ökad förväntad fordonsförbrukning under åren 2021, 2022 och 2023. Enligt tabellen förväntas elnätet vara överbelastat under 13,06 % av tiden under 2021, 4,68 % under 2022 samt 7,33 % under 2023. Detta motsvarar ett genomsnittligt andel på 8,46% under de senaste tre åren. Det största underskottet förväntas vara 3 038,12 MWh/h, 4 886,41 MWh/h respektive 2 348,29 MWh/h vid den förväntade fordonsförbrukningen på 100%. Detta motsvarar ett genomsnitt av det största underskottet på 3 424,27 MWh/h under de senaste tre åren.

5

Diskussion

I detta kapitel diskuteras de resultat som presenterades i det tidigare kapitlet med fokus på att förtydliga de utfall som kan ha sin grund i vissa felkällor men även lyfta relevanta aspekter som uppdagades under projektets gång.

5.1 ÅDT, laddpunkter och punktmetoden

För att bestämma det nödvändiga antalet laddpunkter utgick projektet från ÅDT istället för antalet registrerade fordon i varje kommun, trots att detta kunde anses vara en mer självklar metod. Detta beslut motiverades med anledningen att många bilar som är registrerade i en kommun oftast ägs av invånare i samma område och därmed har möjligheten att ladda sina bilar hemma. Dessutom finns det även registrerade bilar som sällan används aktivt, vilket skulle resultera i en ojämn fördelning av laddpunkter för den aktuella kommunen. Istället ansågs ÅDT vara en mer relevant indikator, då den inte bara avspeglar behoven hos lokala bilägare utan också tar hänsyn till behoven hos personer som reser genom eller arbetar i kommunen. Det bör noteras att användningen av ÅDT som underlag för tillämpning av punktmetoden också har sina begränsningar, som kan påverka både noggrannheten och relevansen i de resulterande analyserna. En av dessa begränsningar är att ÅDT inte inkluderar trafiktätheten inuti städerna. Vilket kan leda till att viktiga områden med ett högt laddningsbehov inte korrekt beaktas. Dessutom sträcker sig datan från 2011 till 2024, vilket innebär att vissa vägsegment kan vara föråldrade och inte reflektera de aktuella trafikförhållandena.

5.1.1 Laddpunktsfördelning

Valet av fasta intervallstorlekar (1-65 000 för personbilar med steg om 1 000, och 1-6 500 för lastbilar med steg om 100) var inte det mest optimala. Det beror på att majoriteten av ÅDT ligger under 10 000 för personbilar och 1 000 för lastbilar, vilket innebär att stora delar av intervallen inte representerar en signifikant mängd data. Ett mer flexibelt system med geometriska intervall skulle kunna adressera detta problem genom att anpassa intervallstorlekarna mer dynamiskt och därmed ge en bättre spegling av faktiska behov över olika trafiktätheter.

Funktionen '*Spatial Join*', som användes för att beräkna antalet punkter som motsvarar laddpunkter i varje kommun, missar potentiellt ett antal punkter som placerats på kommungränserna. Detta är anledningen till att det totala antalet beräknade laddpunkter med Arcgis inte är samma som totalen av antalet laddpunkter som projektet utgick ifrån. Därför infördes en korrektionskonstant i slutet av projektet för att delvis kompensera för felet.

5.1.2 Punktmetoden

Den valda metodiken för distributionen av laddpunkter blev punktmetoden. Där en av de främsta fördelarna med denna är dess förmåga att ta hänsyn till mätsträckans längd vid bedömning av behovet av laddpunkter för elfordon. Denna metod säkerställer att två mätsträckor med samma ÅDT men olika längder tilldelas en proportionellt korrekt mängd laddpunkter. Det innebär att en längre mätsträcka får fler laddpunkter, i enlighet med hur mycket längre den är jämfört med en kortare sträcka som har samma ÅDT. En begränsning med punktmetoden är dess kategorisering av trafiktätheten, där trafiktätheten vid början, under och slutet av varje intervall behandlas likvärdigt. Detta leder till att variationer inom samma kategori inte återspeglas i bedömningen av behovet för laddpunkter. Trots denna nackdel, antas effekten av denna begränsning vara relativt liten jämfört med de fördelar som uppnås genom metoden.

Trots punktmetodens styrkor är det viktigt att påpeka att denna metodik har sina begränsningar. ÅDT som metoden utgår ifrån, är användbar för att identifiera områden med hög potentiell efterfrågan, dock kan den inte identifiera alla relevanta faktorer. En av dessa faktorer är exempelvis tillgång till befintliga laddstolpar. Däremot har resultatet av punktmetoden givit ett förslag på fördelningen av laddpunkter, och skillnaden i antal förklaras av olika värden på ÅDT och vägnätsstrukturer inom Sveriges kommuner. Till exempel Göteborg, med sin höga trafikvolym och utbredning över längre vägsträckor, kräver en betydligt mer omfattande infrastruktur för laddning av elbilar för att möta det ökade antalet fordon på vägarna. Å andra sidan består Stockholms innerstad av mindre gator och regleringar som begränsar fordonсанvändning, där behovet av laddstolpar är lägre.

Denna differentiering av behov och tillgång reflekterar således geografiska och infrastrukturella skillnader mellan områdena, och kan anpassas till alla kommuner, vilket i sin tur återspeglar begränsningarna av själva punktmetoden då vissa vägsegment inte har tillräckligt uppmätt data och kan därmed ej tas hänsyn till.

5.2 Analys av energibalans

Projektet initierades med grundplanen att utveckla ett simuleringsverktyg som skulle hitta en god fördelning mellan lågeffektssladdare (under 22 KW) och högeffektssladdare (över 22 KW) för elfordon. Emellertid, ansågs detta ge upphov till en betydande osäkerhetsfaktor relaterat till okända laddningsmönster och dess fördelning mellan de olika laddningsalternativen.

Energivåerna härleddes från den genomsnittliga förbrukningen fördelat över årets alla timmar i alla elområden. Även denna metodologi ger upphov till en viss osäkerhet i energianalysen på grund av avsaknad av laddningsmönster som i verkligheten resulterar i vissa variationer i det faktiska energibehovet. Till följd av detta uppstår en viss felmarginal i energianalysen, vilken exkluderar extrema fall av förhöjd efterfrågan som egentligen kan vara mer markant än vad som påvisats i detta projekt.

Ett alternativt tillvägagångssätt hade varit att identifiera dessa användningsmönster och hitta indikatorer som visar på att den ena laddningstypen är vanligare än den andra. Därefter kunde man simulera dessa skillnader för att skapa en mer exakt modell för hur energibehoven förändras under dygnets, veckans och slutligen under ett helt års gång.

Relaterat till framtagna energibalanser är det väsentligt att notera att verkningsgraden vid uppladdning av elektrifierade fordon i verkligheten inte är 100% effektiv. I projektet användes data från SVK som visserligen inkluderar verkliga förluster i elnätet, men när det kommer till det förväntade värdet på fordonförbrukning, alltså energi som konsumeras av elfordon, var det svårt att hitta pålitliga värden för verkningsgrad vid uppladdning. Därför valdes det att inte inkludera verkningsgraden vid uppladdning av fordon i projektet. Detta gör att de framtagna förväntade energibalanserna kan gestalta en något optimistisk uppskattning av möjliga utfall.

En ytterligare aspekt som påverkar verkliga energibalanser, är den faktiska överföringskapaciteten i Sveriges elnät. I projektet används de uppmärkta maximala överföringskapaciteter från SVKs data [12], vilket inte alltid är fallet med faktiska överföringskapaciteter på grund av naturligt förekommande begränsningar i elledning. Detta innebär återigen att de slutgiltiga energibalanserna efter simulerad överföring i projektet presenterar en något optimistisk bild av möjliga utfall.

5.2.1 Energibalans fördelning - Histogram

Figurerna som presenterades i avsnitt 4.4 genererades med en förenklad modell för simulering av inhemsk energiöverföring, med huvudsakligt fokus i att minimera antalet tillfällen med underskott i de olika elområdena. Detta utfördes primärt för att kvantifiera både antalet tillfällen och magnituden av överbelastning i elnätet. Resultaten, särskilt för SE4, återspeglar inte verkligheten lika väl jämfört med resterande områden. Denna avvikelse beror på att den överskottsenergi som tillkommit i SE4 har fördelats tillbaka till de andra områdena. Detta går att observera i figur 4.3 d som påvisar ett avvikande resultat eftersom den aldrig överstiger nollstrecket. Trots att denna fördelning kan anses något orealistisk, ger den ändå en övergripande förståelse för hur olika förbrukningsnivåerna påverkar området.

5.2.2 Överbelastning av elnät

I figur 4.5 visas att de tre åren har liknade relation till en ökande nivå av fordonsförbrukning, med huvudsaklig skillnad i storlek på startnivå av underskott. Ett undantag i denna likhet är 2022 i intervallet 40% till 75% som avviker med något mindre brant lutning i kurvan. Detta kan möjligtvis förklaras med de abnormt stora underskottstimmarna i SE4 under december 2022, vilket går att se i figur F.2 i appendix F.

I tabell 4.11 presenteras antal timmar och andel av året med överbelastning, samt det största sammanlagda underskottet under respektive år. Alla dessa mått har en viss variation mellan åren, vilket är väntat med tanke på olika års förutsättningar när det kommer till naturens inverkan och skillnader i mänskliga beteendemönster. Det som går att fastslå från alla datapunkter i tabellen är att de indikerar ett nuvarande underdimensionerat elnät oberoende av vad den faktiska nivån av fordonsförbrukning blir. Detta gäller alla simulerade år för alla nivåer av fordonsförbrukning. Frågan som lämnas något obesvarad är hur underdimensionerat elnätet faktiskt är, förslagsvis kan scenariot om 100% av fordonsförbrukningen användas som grund i framtida analyser.

5.2.3 Effekthantering

För att hantera effekttoppar i samhället till följd av en ökning av antalet laddningsmöjligheter för elektriska fordon, diskuteras en åtgärd som innebär att komplettera laddningstationerna med energidepåer. Syftet med dessa energidepåer är att avlasta elnätet under tider på dygnet då användningen av elnätet är ojämn. Energidepåerna är tänkta att utnyttja överskottet av energi som identifierades i avsnitt 4.4, alternativt kompletteras med småskalig produktion i områden där det råder kapacitetsbrist. Dessa energilager föreslås att laddas upp under perioder när elnätets belastning är som lägst, för att sedan kunna jämna ut energitillgången under tidpunkter med högre efterfrågan. Genom denna metod förväntas en mer effektiv och stabil användning av elnätet.

5.3 Elområden

Diskussionen av Sveriges elområden har sin grund i den ursprungliga uppdelning som 2011 genomfördes av Svenska Kraftnät. Trots att dessa områden har funnits under en betydande tid är de fortsatt under utvärdering. Just nu pågår även en gemensam bedömning över hur Europas elområden bör vara uppdelade. Om Sveriges uppdelning av elområden anses vara bristfälliga skulle detta kunna resultera i förändringar i uppdelningen. Dessa förändringar skulle inte bara påverka distributionen av el inrikes utan skulle även medföra konsekvenser för utlandsexport och -import av el [15], särskilt med tanke på den ökade efterfrågan av energi.

En eventuell omstrukturering kan bli en nödvändighet och till och med ett krav från Europeiska Unionen. Detta skulle eventuellt medföra betydande förändringar i beräkningarna och antaganden som gjordes i projektet. Som i sin tur skulle kunna påverka allt från planeringen av energiförbrukning och produktion till förutsägelser om elnätets kapacitet och belastning.

Därmed är detta ett framtidsscenario där projektets validitet kan komma att ifrågasättas. Det är därför av betydelse att ta dessa potentiella förändringar i beaktning i projektets slutsatser och resultat.

5.4 Etiska och miljömässiga aspekter

En övergång till en elektrifierad fordonsflotta kan ses som en betydande utveckling av Sveriges infrastruktur mot en mer hållbar framtid. Samtidigt måste man erkänna de etiska och miljömässiga konsekvenserna av denna omfattande samhällsomställning. Det rapporten har identifierat är att det krävs en stor ökning i produktion av energi för att tillgodose det behov som en elektrifierad fordonsflotta ställer. Det är då nödvändigt att utforska de möjligheter inom energiproduktion för att tillgodose behovet som även främjar en renare miljö. De energidepåer som föreslogs i det tidigare avsnittet 5.2.3 bör därmed bestå av förnybar energi likt vindkraft, solkraft och vattenkraft för att kunna uppnå Sveriges miljömål med netto-noll utsläpp av växthusgaser efter 2045 [5]. Det uppstår dock en problematik i detta som diskuterades i 2.3.1 där dessa källor i hög grad är beroende av naturliga fenomen och kan inte till skillnad från andra energikraftverk aktiveras vid behov, vilket skapar en osäkerhet i tillförseln. Det är även viktigt att påpeka att fattiga länder drabbas hårdast av klimatpåverkan det är därför av vikt att länder med goda ekonomiska resurser som har en hög konsumtionsnivå ser till att minska sin miljöpåverkan i den mån som är möjligt [3]. Det finns även en etisk aspekt i projektets fördelning av laddpunkter, fördelningen som baseras på ÅDT prioriterar de områden som är tätbefolkade. Detta innebär områden som Stockholm och Göteborg. Dessa områden som redan har en god infrastruktur blir även i fallet av studiens fördelning behandlade med en viss partiskhet. Då färre antal laddpunkter placeras i Norra Sverige bidrar detta till en ojämnhet i de geopolitiska förhållandena. Det är ett resultat där befolkningen i norr får en mindre tillgång till laddpunkter gentemot befolkningen i mer tätbefolkade städer som redan anses vara mer välbärgade.

6

Slutsats

Projektet har med hjälp av punktmetoden nått ett resultat i fördelningen av laddpunkter inom Sveriges fyra elområden. Denna fördelning bidrog till de energiberäkningar som utförts under projektets gång. Det påvisades en korrelation mellan fördelningen av laddpunkter från punktmetoden och fördelningen av fordonstyper inom dessa områden. De energiberäkningar som utfördes baserat på de scenarion som fastställts med en fordonsförbrukning på 50%, 100% samt 200%, resulterade i identifieringen av antal tillfällen då Sveriges nuvarande elnät skulle bli överbelastat vid en elektrifiering av fordonsflottan.

Den förväntade fordonsförbrukningen för fordonsflottan summerades till 1 752,28 MWh/h. Enligt energianalysen förväntas Sveriges elnät vara överbelastat i genomsnitt över tre år, 297 gånger vid en fordonsförbrukning på 50%, 732 gånger vid en fordonsförbrukning på 100% samt 3233 gånger vid en fordonsförbrukning på 200 %. De största underskotten av genomsnittlig energi per tidsenhet under dessa tillfällen för respektive scenario är 2 505,39 MWh/h, 3 424,27 MWh/h och 5 060,63 MWh/h.

Baserat på den presenterade analysen kan slutsatsen dras att det existerar brister i Sveriges nuvarande elnät. Dessa brister indikerar att övergången till en elektrifierad fordonsflotta skulle medföra betydande konsekvenser för dagens elnät och samhälle sett enbart utifrån en inhemsk produktion.

Ett förslag på en framtida version av projektet hade innefattat utvecklingen av ett simuleringsverktyg för att kartlägga de laddningsmönster som är karaktäristiska för de olika årstiderna. Dessutom hade denna framtidsvision även inkluderat en analys av den faktiska användningen av både högeffektladdare samt lågeffektladdare utifrån mönster i hur den svenska befolkningen använder laddningsstationer, samt under vilka tidpunkter detta förekommer. Det hade följaktligen varit av högsta väsentlighet att analysera antalet normalladdare som kan placeras i anknytning till kontor eller industriområden, eftersom det har en stor påverkan på antalet snabb-laddare och dess placering.

Litteraturförteckning

- [1] Chatgpt (version maj 8). OpenAI, 2024. [Dall-E]. [Online]. Available: <https://chat.openai.com/chat>
- [2] “Fordonsbestånd 2023,” <https://mobilitysweden.se/statistik/Fordonsbestand>, Mobility Sweden, Hämtad: 28 Mars 2024.
- [3] Klimatförändringar slår hårt mot världens fattiga. Naturskyddsföreningen. [Online]. Available: <https://www.naturskyddsforeningen.se/artiklar/klimatforandringar-slar-hart-mot-varldens-fattiga/>
- [4] Fordon i län och kommuner 2023. Trafik Analys. [Online]. Available: <https://www.trafa.se/globalassets/statistik/vagtrafik/fordon/2024/fordon-i-lan-och-kommuner-2023.pdf>
- [5] Regeringen. (2019, Dec.) En samlad politik för klimatet – klimatpolitisk handlingsplan. [Online]. Available: <https://www.regeringen.se/contentassets/61f93d2abb184289a0c81c75395207b6/en-samlad-politik-for-klimatet--klimatpolitisk-handlingsplan-prop.-20192065>
- [6] Directive 2014/94/eu of the european parliament and of the council of 22 october 2014 on the deployment of alternative fuels infrastructure. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32014L0094&from=en>
- [7] S. SCB. Boende i sverige. [Online]. Available: <https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/manniskorna-i-sverige/boende-i-sverige/>
- [8] “WLTP, räckvidd och energiförbrukning,” https://mobilitysweden.se/mobilitet/mobilitet-transporter_1/wltp-rackvidd-och-energiforbrukning, Mobility Sweden, Hämtad: 28 Februari 2024.
- [9] James, “WLTP Explained: Simplifying Range and Efficiency,” <https://evdb.nz/wltp>, EVDB, Hämtad: 28 Februari 2024.
- [10] S. kraftnät. Sveriges elnät. [Online]. Available: <https://www.svk.se/om-kraftsystemet/oversikt-av-kraftsystemet/sveriges-elnat/>
- [11] ——. Timvärden 2023. [Online]. Available: <https://www.svk.se/siteassets/1.om-kraftsystemet/kraftsystemdata/statistik/elomrade-och-timme/arkiverade/timvarden-2023-01-12.xls>
- [12] Kraftbalansen på den svenska elmarknaden, rapport 2023. [Online]. Available: <https://www.svk.se/siteassets/om-oss/rapporter/2023/kraftbalansen-pa-den-svenska-elmarknaden-rapport-2023.pdf>
- [13] “Effekttariffer,” <https://ei.se/bransch/reglering-av-natverksamhet/reglering---elnatsverksamhet/effekttariffer>, Elinspektionen, Hämtad: 21 Mars 2024.

-
- [14] S. kraftnät. svk karta elområden överföringskapacitet. [Online]. Available: https://www.svk.se/siteassets/press-och-nyheter/temasidor-bilder-och-block/bilder/svk_karta_elomraden_overforingskapacitet.pdf
- [15] ——. Elområden. [Online]. Available: <https://www.svk.se/om-kraftsystemet/om-elmarknaden/elomraden/>
- [16] S. Kraftnät. Elområdesöversyn. [Online]. Available: <https://www.svk.se/utveckling-av-kraftsystemet/systemansvar--elmarknad/elomradesoversyn/>
- [17] “Lastkajen,” <https://lastkajen.trafikverket.se>, Trafikverket, Hämtad: 13 Januari 2024.
- [18] “EV Databas,” EV Databas, tillgänglig online: <https://ev-database.org/>. Åtkomstdatum: 26 mars 2024.
- [19] Körsträckor 2023. [Online]. Available: <https://www.trafa.se/vagtrafik/korstrackor/>
- [20] Körsträckor 2022. [Online]. Available: <https://www.trafa.se/vagtrafik/korstrackor/>
- [21] Volvo. (2017, Jun.) Operational start for volvo’s electric buses in luxemburg. [Online]. Available: <http://mb.cision.com/Main/5070/2285872/686574.pdf>
- [22] Attribute table—gis dictionary | documentation. Esri. [Online]. Available: <https://support.esri.com/en-us/gis-dictionary/attribute-table>
- [23] Generate points along lines—data management toolbox | documentation. Esri. [Online]. Available: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/data-management/generate-points-along-lines.htm>
- [24] Merge—data management toolbox | documentation. Esri. [Online]. Available: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/data-management/merge.htm>
- [25] Spatial join—analysis toolbox | documentation. Esri. [Online]. Available: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/analysis/spatial-join.htm>
- [26] Ev database. EV Database. [Online]. Available: <https://ev-database.org/>
- [27] Statistik: Bilar i sverige. Carinfo. [Online]. Available: <https://www.car.info/sv-se/stats?from=2023-05&to=2024-04&vd=4.8.18.19.20&et0=3& tcb=registered&tcs=registered&tcf=registered>
- [28] Hyundai kona electric 48 kwh. EV Database. [Online]. Available: <https://ev-database.org/car/1829/Hyundai-Kona-Electric-48-kWh>
- [29] Hyundai kona electric 65 kwh. EV Database. [Online]. Available: <https://ev-database.org/car/1830/Hyundai-Kona-Electric-65-kWh>
- [30] Renault zoe ze50 r110. EV Database. [Online]. Available: <https://ev-database.org/car/1164/Renault-Zoe-ZE50-R110>
- [31] Renault zoe ze50 r135. EV Database. [Online]. Available: <https://ev-database.org/car/1205/Renault-Zoe-ZE50-R135>
- [32] Mini cooper e. EV Database. [Online]. Available: <https://ev-database.org/car/1997/Mini-Cooper-E>
- [33] Mini cooper se. EV Database. [Online]. Available: <https://ev-database.org/car/1998/Mini-Cooper-SE>
- [34] Volvo xc40 recharge single motor er. EV Database. [Online]. Available: <https://ev-database.org/car/1797/Volvo-XC40-Recharge-Single-Motor-ER>

- [35] Volvo xc40 recharge single motor. EV Database. [Online]. Available: <https://ev-database.org/car/1796/Volvo-XC40-Recharge-Single-Motor>
- [36] Volvo xc40 recharge twin motor. EV Database. [Online]. Available: <https://ev-database.org/car/1798/Volvo-XC40-Recharge-Twin-Motor>
- [37] Volkswagen id.4 gtx. EV Database. [Online]. Available: <https://ev-database.org/car/2030/Volkswagen-ID4-GTX>
- [38] Volkswagen id.4 pro. EV Database. [Online]. Available: <https://ev-database.org/car/2028/Volkswagen-ID4-Pro>
- [39] Volkswagen id.4 pro 4motion. EV Database. [Online]. Available: <https://ev-database.org/car/2029/Volkswagen-ID4-Pro-4MOTION>
- [40] Volkswagen id.4 pure. EV Database. [Online]. Available: <https://ev-database.org/car/2027/Volkswagen-ID4-Pure>
- [41] Kia niro ev. EV Database. [Online]. Available: <https://ev-database.org/car/1666/Kia-Niro-EV>
- [42] Tesla model y. EV Database. [Online]. Available: <https://ev-database.org/car/1743/Tesla-Model-Y>
- [43] Tesla model y. EV Database. [Online]. Available: <https://ev-database.org/car/1974/Tesla-Model-Y>
- [44] Tesla model y long range dual motor. EV Database. [Online]. Available: <https://ev-database.org/car/1619/Tesla-Model-Y-Long-Range-Dual-Motor>
- [45] Tesla model y performance. EV Database. [Online]. Available: <https://ev-database.org/car/1183/Tesla-Model-Y-Performance>
- [46] Tesla model 3. EV Database. [Online]. Available: <https://ev-database.org/car/1991/Tesla-Model-3>
- [47] Tesla model 3 long range dual motor. EV Database. [Online]. Available: <https://ev-database.org/car/1992/Tesla-Model-3-Long-Range-Dual-Motor>
- [48] Polestar 2 long range dual motor. EV Database. [Online]. Available: <https://ev-database.org/car/1819/Polestar-2-Long-Range-Dual-Motor>
- [49] Polestar 2 long range performance. EV Database. [Online]. Available: <https://ev-database.org/car/1820/Polestar-2-Long-Range-Performance>
- [50] Polestar 2 long range single motor. EV Database. [Online]. Available: <https://ev-database.org/car/1818/Polestar-2-Long-Range-Single-Motor>
- [51] Polestar 2 standard range single motor. EV Database. [Online]. Available: <https://ev-database.org/car/1817/Polestar-2-Standard-Range-Single-Motor>
- [52] Iveco - bts l2330101se 07-23 digital rd eon - page 4-5 - created with publitas.com. [Online]. Available: <https://view.publitas.com/iveco/bts-l2330101se-07-23-digital-rd-eon/page/4-5>
- [53] Specifikationer för volvo fh aero. [Online]. Available: <https://www.volvotrucks.se/sv-se/trucks/models/volvo-fh-aero/specifications.html#accordion-cf5a2e2ab4-item-923da08dec>
- [54] Specifikationer för volvo 7900 electric. [Online]. Available: <https://www.volvobuses.com/se/city-and-intercity/buses/volvo-7900-electric/specifications.html>
- [55] New volvo 7900 electric offers greater range and flexibility. [Online]. Available: <https://www.volvogroup.com/en/news-and-media/news/2017/oct/new-volvo-7900-electric-offers-greater-range.html>

- [56] Breakthrough for fast charging of electric trucks – volvo trucks launches new service. [Online]. Available: <https://www.volvogroup.com/en/news-and-media/news/2023/oct/breakthrough-for-fast-charging-of-electric-trucks--volvo-trucks-launches-new-service.html>
- [57] H. Kesteloo. (2017, september) A new large fleet of 25 fully electric volvo 7900 buses is going into operation in norway. [Online]. Available: <https://electrek.co/2017/09/27/25-fully-electric-volvo-7900-buses-for-trondheim-norway/>
- [58] Electric bus basics | us department of transportation. [Online]. Available: [https://www.transportation.gov/rural/electric-vehicles/ev-toolkit/electric-bus-basics#:~:text=Overhead%20%20conductive%20%20charging%2C%20%20also%20%20known,\(165%20%E2%80%93%20600%20kW\)](https://www.transportation.gov/rural/electric-vehicles/ev-toolkit/electric-bus-basics#:~:text=Overhead%20%20conductive%20%20charging%2C%20%20also%20%20known,(165%20%E2%80%93%20600%20kW))
- [59] M. Sverige. Stor ökning av antalet laddstolpar i sverige. [Online]. Available: <https://via.tt.se/pressmeddelande/3416260/stor-okning-av-antalet-laddstolpar-i-sverige?>

A

Appendix 1 - Laddbara fordon

Tabell A.1: Fordonsbestånd - Laddbara fordon i trafik vid slutet av 2005-2023 [2]

År (dec)	El	Laddhybrider	Summa laddbara
2005	123	0	123
2006	118	0	118
2007	126	0	126
2008	129	0	129
2009	157	0	157
2010	190	0	190
2011	366	0	366
2012	603	651	1 254
2013	1 010	1 637	2 647
2014	2 172	4 922	7 094
2015	4 765	9 776	14 541
2016	7 532	18 832	26 364
2017	11 034	32 253	43 287
2018	16 664	49 394	66 058
2019	30 343	66 609	96 952
2020	55 790	122 290	178 080
2021	110 177	189 498	299 675
2022	197 709	239 531	437 240
2023	291 678	272 342	564 020

B

Appendix 2 - Leveranskvitto

Leveranskvitto för data från Trafikverket:

Information om beställning

Namn på beställning: Mikail_GeoPackage_481503.zip

Beställningsdatum: 2024-01-13 02:51

Betraktelsesdatum: 2024-01-10

Format: GeoPackage

Koordinatsystem: EPSG:r

Område:

Sverige

Dataproduktioner

Färjeled

Referenslinjetillkomst

Trafik

Vägtrafiknät

Referensnätet Väg Link

Referensnätet Väg LinkSequence

Referensnätet Väg Node

Övrig information

Vid beställning av referensnät i följer tre lager med som beskriver hela nätet:

- Net_xxx_Link

- Net_xxx_Linksequence (filtrerat efter betraktelsesdatum)

- Net_xxx_Node (filtrerat efter betraktelsesdatum)

C

Appendix 3 Fordonstyper

De olika modeller och varianter som används vid beräkningar av effektbehov är återfinns i tabell, C.1, C.2, C.3, C.4.

Tabell C.1: Fordonsdata: Små bilar [26]

	Hyundai Kona *	Renault Zoe ZE50 **	MINI SE ***
Antal baserat på populäritet i Sverige [27]	4 580	10 096	3 486
Procentuella fördelningen per 2023	3%	7%	2%
Baserat på den procentuella fördelningen 2023	159 160	350 848	121 142
Antal km /bil /år	12 440	12 440	12 440
Kapacitet kWh	57	55	47
Räckvidd WLTP (TEL Test energy low) 80%	356	312	284
Laddning 11 kW AC 0-100% (min)	368	345	240
Laddning 22 kW AC 0-100% (min)	368	180	240
Hög effekt laddning MAX 150 kW (kW)	60	46	85
Hög effekt laddning MAX 150 kW (minuter (10-80%))	42	56	28
Hög effekt laddning MAX 150 kW ([h] (10-80%))	0,7	0,93	0,47
Snabbladdning förbrukning (kW * h) (kWh)	42	56	28
Förbrukning (kWh/km)	0,14	0,17	0,14
Totalt behov / år (kWh)	277 193 468	741 972 384	210 981 753

* [28], [29]

** [30], [31]

*** [32], [33]

Tabell C.2: Fordonsdata: Mellanstora elbilar [26]

	Volvo XC40 *	Volkswagen ID.4 **	Kia Niro ***
Antal baserat på popularitet i Sverige [27]	20 632	27 409	19 425
Procentuella fördelningen per 2023	14%	19%	14%
Antal baserat på den procentuella fördelningen 2023	716 986	952 494	675 041
Antal km /bil /år	12 440	12 440	12 440
Kapacitet kWh	78	75	68
Räckvidd WLTP (TEL Test energy low) 80%	420	392	370
Laddning 11 kW AC (min)	485	1 830	420
Laddning 22 kW AC (min)	485	1 830	420
Hög effekt laddning MAX 150 kW (kW)	98	138	80
Hög effekt laddning MAX 150 kW (minuter (10-80%))	36	31	41
Hög effekt laddning MAX 150 kW ([h] (10-80%))	0,6	0,52	0,68
Hög effekt laddning MAX 350 kW (kW)	205	175	Saknas
Hög effekt laddning MAX 350 kW (minuter (10-80%))	28	28	Saknas
Hög effekt laddning MAX 350 kW ([h] (10-80%))	0,47	0,47	Saknas
Förbrukning (kWh/km)	0,163	0,1575	0,16
Totalt behov / år (kWh)	1 456 819 119	1 866 221 665	1 343 601 525

* [34], [35], [36]

** [37], [38], [39], [40]

*** [41]

Tabell C.3: Fordonsdata: Stora elbilar [26]

	Tesla model Y *	Tesla 3 **	Polestar 2 ***
Antal baserat på popularitet i Sverige [27]	26 719	18 191	12 685
Procentuella fördelningen per 2023	19%	13%	9%
Antal baserat på den procentuella fördelningen 2023	928 516	632 158	440 818
Antal km /bil /år	12 440	12 440	12 440
Kapacitet kWh	69	69	79
Räckvidd WLTP (TEL Test energy low) 80%	393,2	493	469
Laddning 11 kW AC (min)	435	435	491
Laddning 22 kW AC (min)	435	435	491
Hög effekt laddning MAX 150 kW (kW)	150	150	146
Hög effekt laddning MAX 150 kW (minuter (10-80%))	29	30	34
Hög effekt laddning MAX 150 kW ([h] (10-80%))	0,48	0,5	0,57
Hög effekt laddning MAX 350 kW (kW)	211	210	205
Hög effekt laddning MAX 350 kW (minuter (10-80%))	24	26	28
Hög effekt laddning MAX 350 kW ([h] (10-80%))	0,40	0,43	0,37
Förbrukning (kWh/km)	0,1575	0,135	0,15
Totalt behov / år (kWh)	1 819 241 004	1 061 646 226	822 566 860

* [42], [43], [44], [45]

** [46], [47]

*** [48], [49], [50], [51]

Tabell C.4: Fordonsdata: Lastbilar och buss

	Liten lastbil	Tung lastbil	Buss
	Iveco eDaily [52]	Volvo FH AERO [53]	Volvo FH7900 [54]
Antal baserat på 2023	614 916	85 431	14 321
Antal km /bil /år	13 790	42 860	54 770
Kapacitet kWh	111	450	470
Räckvidd WLTP (TEL Test energy low) 80%	320	240	160 [55]
Hög effekt laddning MAX 350 kW (kW)	80	250 [56]	Saknas
Hög effekt laddning MAX 350 kW (minuter (10-80%))	50	150 [56]	Saknas
Hög effekt laddning MAX 350 kW ([h] (10-80%))	0,83	2,5	Saknas
Hög effekt laddning Pantograf 400 kW efter en runda [21].	Saknas	Saknas	6 [57], [58]
Hög effekt laddning 400 kW Pantograf ([h] (0-100%))	Saknas	Saknas	0,1
Förbrukning (kWh/km)	0,28	0,41	2,35
Totalt behov / år (kWh)	2 405 305 426	1 501 244 791	1 843 248 750

D

Appendix 4: Antal laddpunkter - Befintliga samt fördelade.

D.1 Befintliga laddpunkter

Enligt data från Powercircle [59] fanns det 32 605 laddpunkter i Sverige i slutet av 2023. Uppdelningen per län beskrivs i följande tabell D.1:

Tabell D.1: Antal laddpunkter per län

Län	Antal laddpunkter
Uppsala län	625
Stockholms län	8857
Södermanlands län	472
Jönköpings län	777
Västmanlands län	542
Skåne län	3803
Östergötlands län	1126
Västerbottens län	578
Örebro län	648
Kronobergs län	533
Norrbottnens län	508
Värmlands län	657
Västernorrlands län	576
Hallands län	1286
Kalmar län	630
Västra Götalands län	7451
Gävleborgs län	765
Dalarnas län	1002
Blekinge län	542
Jämtlands län	727
Gotlands län	500

D.2 Fördelning laddpunkter per kommun

I figur ?? och tabell D.2 visas antalet laddpunkter per kommun som identifierats i vår studie.

Tabell D.2: Antal laddpunkter per kommun

Kommun	Elområde	Lastbilar	Personbilar	Totalt behov
Ale	3	83	590	673
Alingsås	3	291	1802	2093
Alvesta	4	226	1768	1994
Aneby	3	74	576	650
Arboga	3	298	1883	2181
Arjeplog	1	58	253	311
Arvidsjaur	1	144	953	1097
Arvika	3	177	1182	1359
Askersund	3	328	2347	2675
Avesta	3	202	1440	1642
Bengtstors	3	59	464	523
Berg	2	99	535	634
Bjurholm	2	39	169	208
Bjuv	4	34	284	318
Boden	1	75	386	461
Bollebygd	3	168	1118	1286
Bollnäs	2	162	913	1075
Borgholm	4	46	425	471
Borlänge	3	297	1877	2174
Borås	3	663	5373	6036
Botkyrka	3	430	3705	4135
Boxholm	3	64	480	544
Bromölla	4	109	862	971
Bräcke	2	87	435	522
Burlöv	4	190	1325	1515
Båstad	4	139	1022	1161
Dals-Ed	3	30	287	317
Danderyd	3	58	459	517
Degerfors	3	33	291	324
Dorotea	2	40	218	258
Eda	3	60	469	529
Ekerö	3	69	513	582
Eksjö	3	232	1602	1834
Emmaboda	4	105	800	905
Enköping	3	544	4723	5267
Eskilstuna	3	360	2745	3105
Eslöv	4	227	2089	2316
Essunga	3	73	534	607

Fortsättning på nästa sida

D. Appendix 4: Antal laddpunkter - Befintliga samt fördelade.

Fortsättning av tabell D.2

Kommun	Elområde	Personbilar	Lastbilar	Totalt behov
Fagersta	3	68	503	571
Falkenberg	4	439	2925	3364
Falköping	3	294	1850	2144
Falun	3	303	1967	2270
Filipstad	3	172	1151	1323
Finspång	3	97	681	778
Flen	3	126	822	948
Forshaga	3	37	335	372
Färgelanda	3	56	459	515
Gagnef	3	89	661	750
Gislaved	3	284	1742	2026
Gnesta	3	22	241	263
Gnosjö	3	65	486	551
Gotland	3	161	1052	1213
Grums	3	142	946	1088
Grästorp	3	141	898	1039
Gullspång	3	148	1004	1152
Gällivare	1	167	957	1124
Gävle	3	1131	7639	8770
Göteborg	3	2286	18598	20884
Götene	3	171	1143	1314
Habo	3	117	785	902
Hagfors	3	47	442	489
Hallsberg	3	339	2453	2792
Hallstahammar	3	142	918	1060
Halmstad	4	573	3716	4289
Hammarö	3	20	206	226
Haninge	3	421	3139	3560
Haparanda	1	55	250	305
Heby	3	256	1664	1920
Hedemora	3	182	1314	1496
Helsingborg	4	730	5342	6072
Herrljunga	3	59	462	521
Hjo	3	55	446	501
Hofors	3	110	760	870
Huddinge	3	881	6865	7746
Hudiksvall	2	575	4257	4832
Hultsfred	3	221	1577	1798
Hylte	4	157	1113	1270
Håbo	3	153	1006	1159
Hällefors	3	51	445	496
Härjedalen	2	138	868	1006
Härnösand	2	293	1525	1818

Fortsättning på nästa sida

Fortsättning av tabell D.2

Kommun	Elområde	Personbilar	Lastbilar	Totalt behov
Härryda	3	385	2800	3185
Hässleholm	4	558	3583	4141
Höganäs	4	36	355	391
Högsby	4	75	688	763
Hörby	4	193	1405	1598
Höör	4	209	1731	1940
Jokkmokk	1	67	377	444
Järfälla	3	354	2578	2932
Jönköping	3	1671	9040	10711
Kalix	1	202	1058	1260
Kalmar	4	236	2193	2429
Karlsborg	3	87	623	710
Karlshamn	4	190	1274	1464
Karlskoga	3	290	1755	2045
Karlskrona	4	202	1473	1675
Karlstad	3	752	6030	6782
Katrineholm	3	353	2570	2923
Kil	3	78	581	659
Kinda	3	92	680	772
Kiruna	1	236	1067	1303
Klippan	4	191	1331	1522
Knivsta	3	178	1243	1421
Kramfors	2	334	1825	2159
Kristianstad	4	588	4069	4657
Kristinehamn	3	423	3326	3749
Krokom	2	113	582	695
Kumla	3	235	1629	1864
Kungsbacka	3	594	5107	5701
Kungsör	3	190	1383	1573
Kungälv	3	486	4412	4898
Kävlinge	4	235	2189	2424
Köping	3	221	1567	1788
Laholm	4	336	2569	2905
Landskrona	4	396	2882	3278
Laxå	3	154	1030	1184
Lekeberg	3	134	853	987
Leksand	3	86	591	677
Lerum	3	173	1162	1335
Lessebo	4	96	776	872
Lidingö	3	1	21	22
Lidköping	3	209	1462	1671
Lilla Edet	3	143	966	1109
Lindesberg	3	273	1689	1962

Fortsättning på nästa sida

D. Appendix 4: Antal laddpunkter - Befintliga samt fördelade.

Fortsättning av tabell D.2

Kommun	Elområde	Personbilar	Lastbilar	Totalt behov
Linköping	3	645	5364	6009
Ljungby	4	767	5441	6208
Ljusdal	2	209	1131	1340
Ljusnarsberg	3	124	806	930
Lomma	4	262	2484	2746
Ludvika	3	211	1508	1719
Luleå	1	413	3156	3569
Lund	4	311	2564	2875
Lycksele	2	102	562	664
Lysekil	3	34	298	332
Malmö	4	290	2532	2822
Malung-Sälen	3	106	707	813
Malå	1	18	151	169
Mariestad	3	327	2291	2618
Mark	3	179	1273	1452
Markaryd	4	351	2686	3037
Mellerud	3	103	682	785
Mjölby	3	445	3732	4177
Mora	3	282	1740	2022
Motala	3	309	2041	2350
Mullsjö	3	107	722	829
Munkedal	3	258	1675	1933
Munkfors	3	12	114	126
Mölndal	3	519	4550	5069
Mönsterås	4	117	878	995
Mörbylånga	4	57	499	556
Nacka	3	145	994	1139
Nora	3	75	578	653
Norberg	3	68	501	569
Nordanstig	2	243	1363	1606
Nordmaling	2	184	1069	1253
Norrköping	3	800	6337	7137
Norrtälje	3	482	4236	4718
Norsjö	1	64	275	339
Nybro	4	118	897	1015
Nykvarn	3	155	1047	1202
Nyköping	3	848	6544	7392
Nynäshamn	3	168	1077	1245
Nässjö	3	216	1525	1741
Ockelbo	2	16	169	185
Olofström	4	86	688	774
Orsa	3	88	660	748
Orust	3	43	417	460

Fortsättning på nästa sida

Fortsättning av tabell D.2

Kommun	Elområde	Personbilar	Lastbilar	Totalt behov
Osby	4	153	1084	1237
Oskarshamn	4	261	2251	2512
Ovanåker	2	91	481	572
Oxelösund	3	32	288	320
Pajala	1	131	506	637
Partille	3	74	537	611
Perstorp	4	58	533	591
Piteå	1	405	2205	2610
Ragunda	2	117	682	799
Robertsfors	2	275	1414	1689
Ronneby	4	157	1112	1269
Rättvik	3	92	670	762
Sala	3	310	2174	2484
Salem	3	112	772	884
Sandviken	3	188	1354	1542
Sigtuna	3	447	4024	4471
Simrishamn	4	98	784	882
Sjöbo	4	165	1227	1392
Skara	3	218	1529	1747
Skellefteå	1	610	3728	4338
Skinnskatteberg	3	70	529	599
Skurup	4	74	614	688
Skövde	3	220	1553	1773
Smedjebacken	3	108	724	832
Sollefteå	2	233	1179	1412
Sollentuna	3	847	6435	7282
Solna	3	396	3073	3469
Sorsele	2	58	231	289
Sotenäs	3	25	260	285
Staffanstorp	4	205	1693	1898
Stenungsund	3	275	1702	1977
Stockholm	3	1809	14958	16767
Storfors	3	43	395	438
Storuman	2	187	1114	1301
Strängnäs	3	336	2357	2693
Strömstad	3	338	2442	2780
Strömsund	2	210	1141	1351
Sundbyberg	3	0	0	0
Sundsvall	2	618	4641	5259
Sunne	3	104	702	806
Surahammar	3	43	381	424
Svalöv	4	62	609	671
Svedala	4	176	1257	1433

Fortsättning på nästa sida

D. Appendix 4: Antal laddpunkter - Befintliga samt fördelade.

Fortsättning av tabell D.2

Kommun	Elområde	Personbilar	Lastbilar	Totalt behov
Svenljunga	3	90	669	759
Säffle	3	261	1687	1948
Säter	3	162	1073	1235
Sävsjö	3	139	868	1007
Söderhamn	2	452	2014	2466
Söderköping	3	67	490	557
Södertälje	3	594	4845	5439
Sölvesborg	4	129	1008	1137
Tanum	3	444	3727	4171
Tibro	3	39	378	417
Tidaholm	3	109	741	850
Tierp	3	375	2751	3126
Timrå	2	168	1026	1194
Tingsryd	4	204	1537	1741
Tjörn	3	39	374	413
Tomelilla	4	126	905	1031
Torsby	3	88	638	726
Torsås	4	57	433	490
Tranemo	3	154	1018	1172
Tranås	3	88	630	718
Trelleborg	4	147	1037	1184
Trollhättan	3	186	1326	1512
Trosa	3	124	801	925
Tyresö	3	16	195	211
Täby	3	158	1048	1206
Töreboda	3	36	333	369
Uddevalla	3	533	4685	5218
Ulricehamn	3	395	2922	3317
Umeå	2	558	2719	3277
Upplands Väsby	3	358	2652	3010
Upplands-Bro	3	342	2494	2836
Uppsala	3	785	6086	6871
Uppvidinge	4	160	1181	1341
Vadstena	3	23	242	265
Vaggeryd	3	484	4351	4835
Valdemarsvik	3	61	479	540
Vallentuna	3	192	1398	1590
Vansbro	3	70	520	590
Vara	3	315	2289	2604
Varberg	3	710	5685	6395
Vaxholm	3	8	100	108
Vellinge	4	158	1162	1320
Vetlanda	3	256	1641	1897

Fortsättning på nästa sida

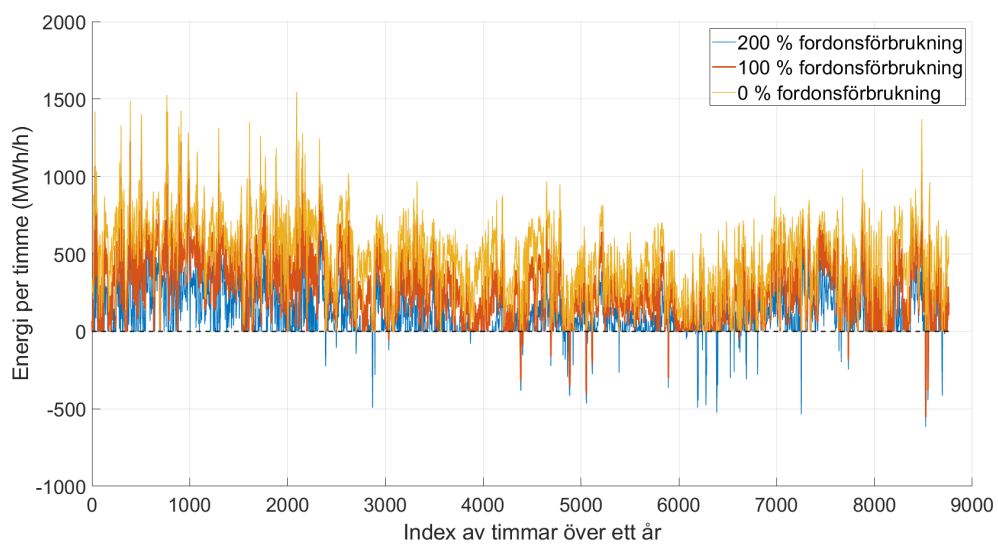
D. Appendix 4: Antal laddpunkter - Befintliga samt fördelade.

Fortsättning av tabell D.2

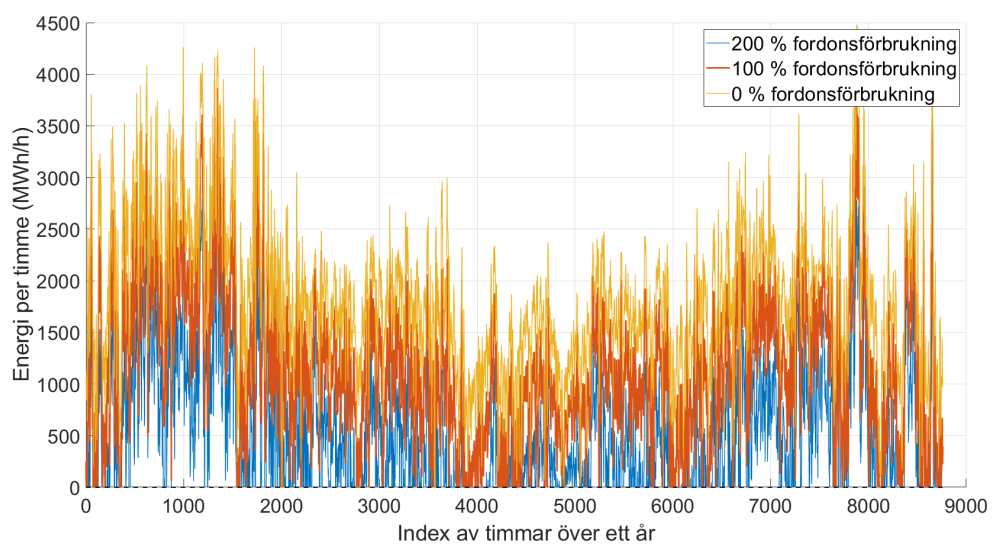
Kommun	Elområde	Personbilar	Lastbilar	Totalt behov
Vilhelmina	2	105	565	670
Vimmerby	3	181	1280	1461
Vindeln	2	60	298	358
Vingåker	3	77	580	657
Vårgårda	3	288	1754	2042
Vänersborg	3	302	1915	2217
Vännäs	2	61	377	438
Värmdö	3	120	794	914
Värnamo	4	651	4612	5263
Västervik	3	312	2265	2577
Västerås	3	600	5236	5836
Växjö	4	477	2984	3461
Ydre	3	26	268	294
Ystad	4	152	1071	1223
Åmål	3	142	905	1047
Ånge	2	118	770	888
Åre	2	121	807	928
Årjäng	3	251	1640	1891
Åsele	2	95	485	580
Åstorp	4	197	1437	1634
Åtvidaberg	3	36	313	349
Älmhult	4	127	916	1043
Älvdalen	3	134	846	980
Älvkarleby	3	69	504	573
Älvsbyn	1	77	434	511
Ängelholm	4	529	3302	3831
Öckerö	3	5	92	97
Ödeshög	3	310	2156	2466
Örebro	3	854	6814	7668
Örkelljunga	4	383	2772	3155
Örnsköldsvik	2	459	2557	3016
Östersund	2	240	1343	1583
Österåker	3	138	859	997
Östhammar	3	128	846	974
Östra Göinge	4	87	716	803
Överkalix	1	122	497	619
Övertorneå	1	25	195	220
Totalt		497 716	70 035	567 751

E

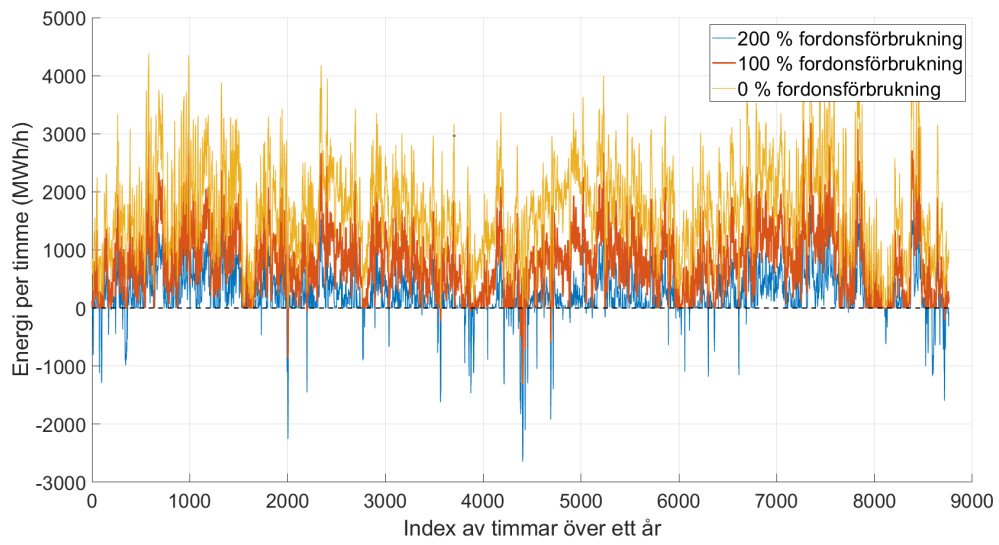
Appendix 5 - Energibalans efter energiöverföring



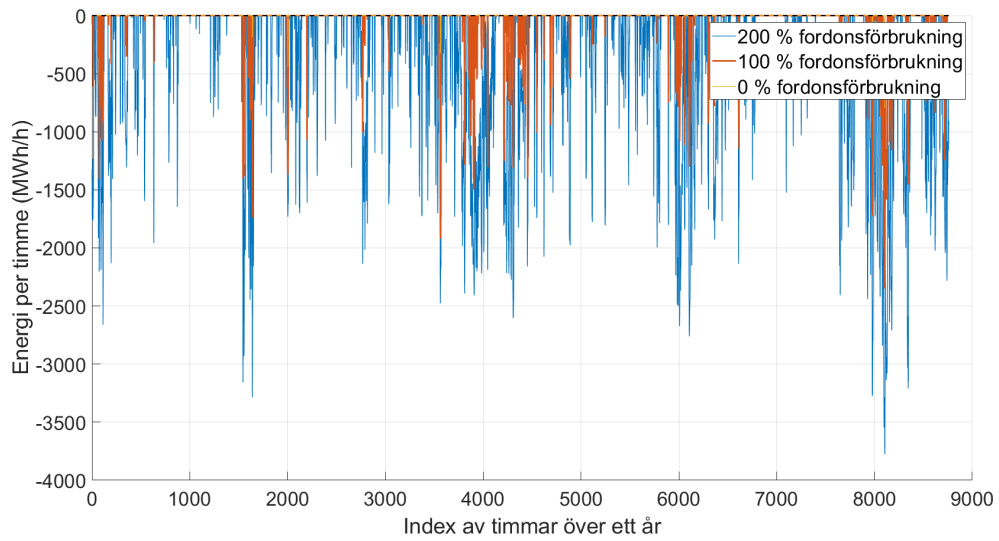
(a) SE1



(b) SE2



(c) SE3

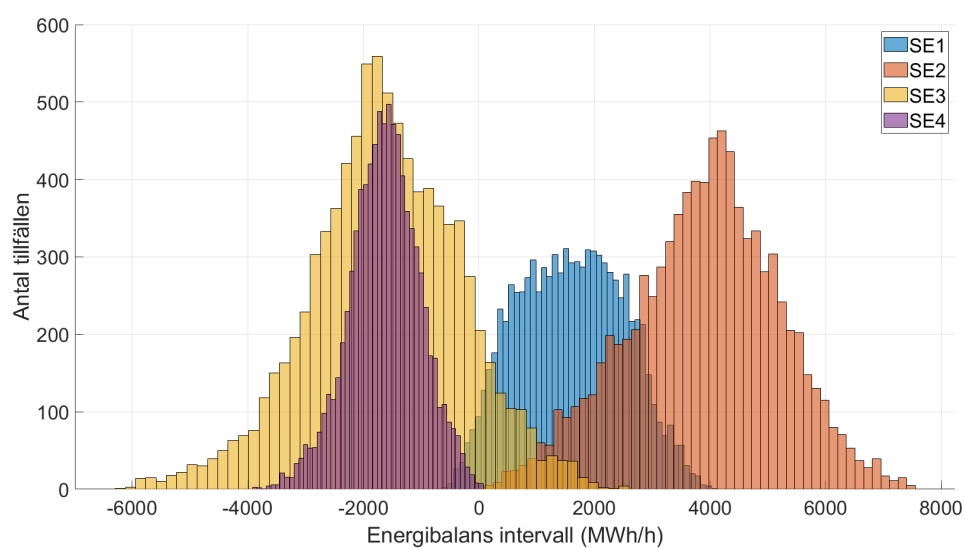


(d) SE4

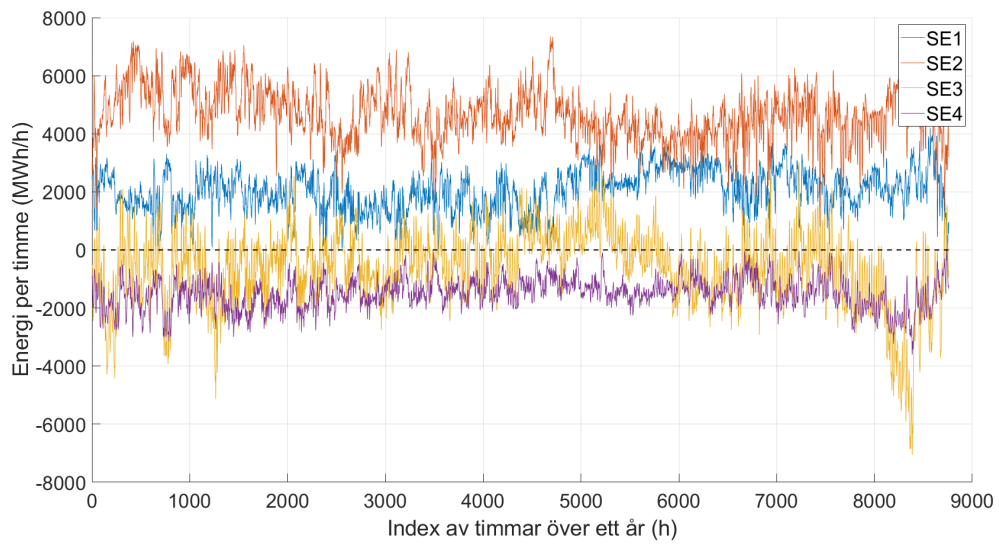
Figur E.1: Energibalans efter överföring per elområde.

F

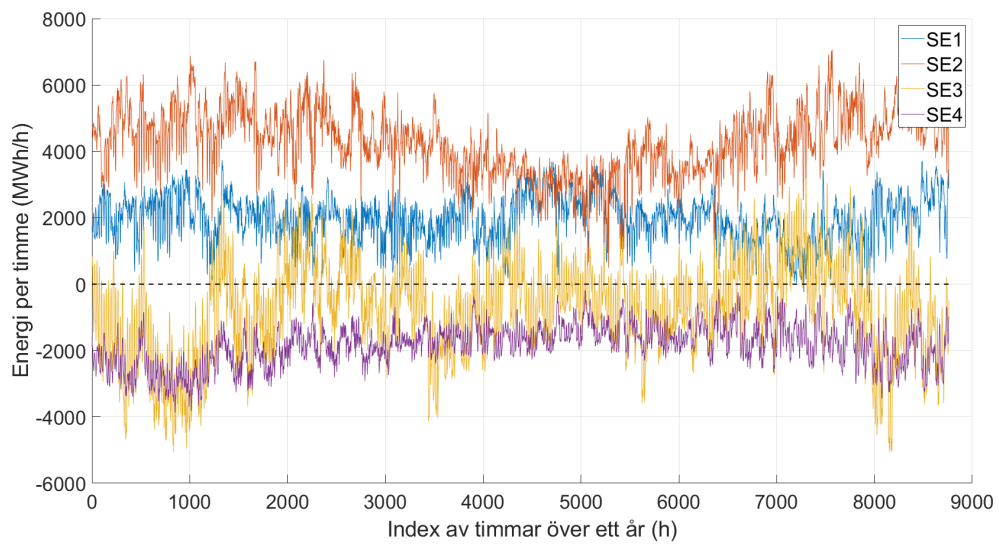
Appendix 6 - Energibalans innan överföring



Figur F.1: Histogram - Antal timmar med olika intervaller från energibalanser 2023 med 100% fordonsförbrukning, innan simulerad överföring



Figur F.2: Energibalanser med data från svenska kraftnät, 2022 SE1 - SE4



Figur F.3: Energibalanser med data från svenska kraftnät, 2021 SE1 - SE4

G

Appendix 7 - Kod för Analys av energibalanser

```
% Importerar v rden fr n CSV

clc, clear, close all

dataTable = readtable('Effekt_23.csv');
dataMatrix = readmatrix('Effekt_23.csv');
dataMatrix22 = readmatrix('Effekt_22.csv');
dataMatrix21 = readmatrix('Effekt_21.csv');

%% Ber knar verbelastning 2023 och plottar detta
%Skapar en vector f r antalet timmar och v rden f r kning veh

clc

fail_antal = [];
fail_andel = [];
underskott = [];
levels_of_use = 0:0.01:5;

for i = 1:length(levels_of_use)
    [balans_innan, balans_efter, fail_count, fail_rate, big_underskott, plats] =
        Transfer(dataMatrix, levels_of_use(i));
    fail_antal(i) = fail_count;
    fail_andel(i) = fail_rate;
    underskott(i) = big_underskott;
end

fail_antal_22 = [];
fail_andel_22 = [];
underskott_22 = [];

for i = 1:length(levels_of_use)
    [balans_innan_22, balans_efter_22, fail_count_22, fail_rate_22,
        big_underskott_22, plats_22] = Transfer(dataMatrix22, levels_of_use(i));
    fail_antal_22(i) = fail_count_22;
    fail_andel_22(i) = fail_rate_22;
    underskott_22(i) = big_underskott_22;
end

fail_antal_21 = [];
fail_andel_21 = [];
underskott_21 = [];

for i = 1:length(levels_of_use)
    [balans_innan_21, balans_efter_21, fail_count_21, fail_rate_21,
        big_underskott_21, plats_21] = Transfer(dataMatrix21, levels_of_use(i));
    fail_antal_21(i) = fail_count_21;
    fail_andel_21(i) = fail_rate_21;
    underskott_21(i) = big_underskott_21;
end

end
```

```

figure, hold on
plot(0:1:500, fail_antal, 'LineWidth',2)
plot(0:1:500, fail_antal_22, 'LineWidth',2)
plot(0:1:500, fail_antal_21, 'LineWidth',2)
legend('2023','2022','2021','fontSize', 25)
xlabel('Tillagd procent av fordons r v ntade genomsnittliga r brukning (%)', '
fontSize', 20), ylabel('Antal overbelastade timmar (h)', 'fontSize', 18)
set(gca, 'FontSize', 25), grid on
%title('Fordonsf rbruknings p verkan p antal timmar med underskott av energi
efter verfring ', 'fontSize', 25), grid on

figure, hold on
plot(0:1:500, fail_andel*100, 'LineWidth',2)
plot(0:1:500, fail_andel_22*100, 'LineWidth',2)
plot(0:1:500, fail_andel_21*100, 'LineWidth',2)
legend('2023','2022','2021','fontSize', 25)
xlabel('Tillagd procent av fordons r v ntade genomsnittliga r brukning (%)', '
fontSize', 20), ylabel('Andel overbelastade timmar (%)', 'fontSize', 18)
set(gca, 'FontSize', 25), grid on;
%title('Fordonsf rbruknings p verkan p andel timmar med underskott av energi
efter verfring ', 'fontSize', 25), grid on

figure, hold on
plot(0:1:500, underskott, 'LineWidth',2)
plot(0:1:500, underskott_22, 'LineWidth',2)
plot(0:1:500, underskott_21, 'LineWidth',2)
legend('2023','2022','2021','fontSize', 25)
xlabel('Tillagd procent av fordons r v ntade genomsnittliga r brukning (%)', '
fontSize', 20), ylabel('Andel overbelastade timmar (%)', 'fontSize', 18)
set(gca, 'FontSize', 25), grid on;

%% Plotta Original Balans

[balans_innan0, balans_eter0] = Transfer(dataMatrix,0);
[balans_innan_22_0] = Transfer(dataMatrix22,0);
[balans_innan_21_0] = Transfer(dataMatrix21,0);

% Plottar balanserna i olika fordonsf rbrukningsniv er

time = 1 : 365*24;
figure, hold on
plot(time, balans_innan0)
plot([min(time) max(time)], [0 0], '--', 'Color','black','LineWidth',1.5) %
Nollpunkt
legend('SE1', 'SE2', 'SE3', 'SE4', 'fontSize', 25)
xlabel('Index av timmar ver ett r (h)', 'fontSize', 20), ylabel('Energi per
timme (MWh/h)', 'fontSize', 20)
grid on, set(gca, 'FontSize', 25);
%title('Energibalanser per timme innan verfring 2023 utan nya fordon, SE1 - SE4
', 'fontSize', 25),

figure, hold on
plot(time, balans_innan_22_0)
plot([min(time) max(time)], [0 0], '--', 'Color','black','LineWidth',1.5) %
Nollpunkt
legend('SE1', 'SE2', 'SE3', 'SE4', 'fontSize', 25)
xlabel('Index av timmar ver ett r (h)', 'fontSize', 20), ylabel('Energi per
timme (MWh/h)', 'fontSize', 20)
grid on, set(gca, 'FontSize', 25);

figure, hold on
plot(time, balans_innan_21_0)
plot([min(time) max(time)], [0 0], '--', 'Color','black','LineWidth',1.5) %
Nollpunkt
legend('SE1', 'SE2', 'SE3', 'SE4', 'fontSize', 25)

```

G. Appendix 7 - Kod för Analys av energibalanser

```
xlabel('Index_av_timmar_ver_ett_r(h)', 'fontSize', 20), ylabel('Energi_per_
timme(MWh/h)', 'fontSize', 20)
grid on, set(gca, 'FontSize', 25);

figure, hold on
plot(time, balans_innan0(3,:), 'Color', [0.93,0.69,0.13])
plot(time, balans_efter0(3,:), 'Color', 'blue')
plot([min(time) max(time)], [0 0], '--', 'Color', 'black', 'LineWidth', 1.5) %
Nollpunkt
legend('SE3_f_re_verfring ', 'SE3_efter_verfring ', 'fontSize', 25)
xlabel('Index_av_timmar_ver_ett_r(h)', 'fontSize', 20), ylabel('Energi_per_
timme(MWh/h)', 'fontSize', 20)
grid on, set(gca, 'FontSize', 25);
%title('J mf rerlse av energibalanser per timme 2023 utan nya fordon, f re och
efter verfring , SE3', 'fontSize', 25)

%% Plottar balanser

clc

[balans_innan0, balans_efter0] = Transfer(dataMatrix,0);
[balans_innan1, balans_efter1] = Transfer(dataMatrix,1);
[balans_innan2, balans_efter2] = Transfer(dataMatrix,2);

for i = 1:4
    figure, hold on
    plot(time, balans_efter2(i,:), 'LineWidth', 1)
    plot(time, balans_efter1(i,:), 'LineWidth', 2)
    plot(time, balans_efter0(i,:), 'LineWidth', 1)
    plot([min(time) max(time)], [0 0], '--', 'Color', 'black', 'LineWidth', 1.5) %
    Nollpunkt
    %title('SE'+string(i)+ ' - energibalans per timme 2023 efter verfring ', '
fontSize', 25)
    xlabel('Index_av_timmar_ver_ett_r ', 'fontSize', 20), ylabel('Energi_per_
timme(MWh/h)', 'fontSize', 20)
    legend('200%_fordonsf_rbrukning', '100%_fordonsf_rbrukning', '0%_
fordonsf_rbrukning', 'fontSize', 25)
    grid on, set(gca, 'FontSize', 25)
end

%% Plottar histogram av effektbalans
clc
hbins = 50;

for i = 1:4
    figure, hold on, set(gca, 'YScale', 'log')
    h2 = histogram(balans_efter2(i,:), hbins);
    h1 = histogram(balans_efter1(i,:), hbins);
    h0 = histogram(balans_efter0(i,:), hbins);
    %title('J mf relse av histogram ver SE' + string(i) + ' efter verfring
', 'fontSize', 25)
    xlabel('Energi_balans_intervall(MWh/h)', 'fontSize', 20), ylabel('Antal_
tillf llen', 'fontSize', 20), grid on
    legend('200%_fordonsf_rbrukning', '100%_fordonsf_rbrukning', '0%_
fordonsf_rbrukning', 'fontSize', 25)
    set(gca, 'FontSize', 25);

    disp('SE' + string(i) + '_200%:')
    disp('Binwidth:_' + string(h2.BinWidth) + '_och_Binedges:_' + string(h2.
BinEdges(1)) + '_till_' + string(h2.BinEdges(end)))

    disp('SE' + string(i) + '_100%:')
    disp('Binwidth:_' + string(h1.BinWidth) + '_och_Binedges:_' + string(h1.
BinEdges(1)) + '_till_' + string(h1.BinEdges(end)))

    disp('SE' + string(i) + '_0%:')
```

```

disp('Binwidth:_' + string(h0.BinWidth) + '_och_' + string(h0.
BinEdges(1)) + '_till_' + string(h0.BinEdges(end)))

end

figure, hold on
ho1 = histogram(balans_innan1(1,:), hbins);
ho2 = histogram(balans_innan1(2,:), hbins);
ho3 = histogram(balans_innan1(3,:), hbins);
ho4 = histogram(balans_innan1(4,:), hbins);
xlabel('Energibalansintervall (MWh/h)', 'fontsize', 20), ylabel('Antal tillf llen
', 'fontsize', 20), grid on
legend('SE1', 'SE2', 'SE3', 'SE4', 'fontsize', 25)
set(gca, 'FontSize', 25);

%% Plottar alla f rbrukningar och produktion

prod = [dataMatrix(:,6), dataMatrix(:,7) dataMatrix(:,8) dataMatrix(:,9)];
prod = prod.';

% L gger in nuvarande f rbrukning per omr de per timme i separata arrays
base_cmp = [dataMatrix(:,2), dataMatrix(:,3), dataMatrix(:,4), dataMatrix(:,5)];
base_cmp = base_cmp.';

for i = 1:4
figure, hold on
plot(time, prod(i,:))
plot(time, base_cmp(i,:))
plot([min(time) max(time)], [0 0], '--', 'Color','black','LineWidth', 1.5) %
Nollpunkt
%title('J mf relse av produktion och f rbrukning i SE'+string(i)+ ' utan nya
fordon', 'fontsize', 25)
xlabel('Index av timme under ett r ', 'fontsize', 20), ylabel('Energi per
timme (MWh/h)', 'fontsize', 20), grid on
legend('Producerad energi per timme', 'Total f rbrukad energi per timme (
inklusive fordonsf rbrukning)', 'fontsize', 25)
set(gca, 'FontSize', 25);
end

```

```

function [innan_transfer, efter_transfer, fail_count, fail_rate, big_underskott,
plats] = Transfer(Tabell_data, procent_andel)
%TRANSFER Summary of this function goes here
% Detailed explanation goes here

%L gger Produktion som vektorer f r alla omr den
prod = [Tabell_data(:,6), Tabell_data(:,7) Tabell_data(:,8) Tabell_data(:,9)];
prod = prod.';

% L gger in nuvarande f rbrukning per omr de per timme i separata arrays
base_cmp = [Tabell_data(:,2), Tabell_data(:,3), Tabell_data(:,4), Tabell_data(:,5)
];
base_cmp = base_cmp.';

% Genomsnittligt v rde f r fordons konsumtion per timme
average_cmp_veh = 1752.3;

% Andel av f rv ntad fordonskonsumtion i alla omr den
andel_veh_SE1 = 0.0358348967855245; andel_veh_SE2 = 0.0817655298587580;
andel_veh_SE3 = 0.6778623784371290; andel_veh_SE4 = 0.2062841833445840;

% L gger in f rv ntad f rv ntad fordonsf rbrukning i varje omr de per timme
base_cmp_veh = [andel_veh_SE1*average_cmp_veh, andel_veh_SE2*average_cmp_veh,
andel_veh_SE3*average_cmp_veh, andel_veh_SE4*average_cmp_veh];
base_cmp_veh = base_cmp_veh.';

balance_per_hour = prod - (base_cmp + base_cmp_veh.*procent_andel);
innan_transfer = balance_per_hour;

```

G. Appendix 7 - Kod för Analys av energibalanser

```

trf1 = zeros(4, length(balance_per_hour));
SE_trfr_k = [3300, 7300, 6200];

% Skickar ner allt som g r att skicka ner
for i = 1:3
    for j = 1 : length(trf1)
        if balance_per_hour(i, j) < 0
            trf1(i+1,j) = 0;
        elseif 0 < balance_per_hour(i,j) && balance_per_hour(i,j) < SE_trfr_k(i)
            trf1(i+1,j) = balance_per_hour(i,j);
        else
            trf1(i+1,j) = SE_trfr_k(i);
        end
        balance_per_hour(i+1,j) = balance_per_hour(i+1,j) + trf1(i+1,j);
        balance_per_hour(i,j) = balance_per_hour(i,j) - trf1(i+1,j);
    end
end

procent_trf = zeros(4, length(trf1));

for p = 1:length(trf1)
    for r = 1:4
        procent_trf(r,p) = trf1(r,p)./sum(trf1(:,p));
    end
    for w = 1:3
        if 0 < balance_per_hour(4,p)
            balance_per_hour(w,p) = balance_per_hour(w,p) + procent_trf(w+1,p).*
                balance_per_hour(4,p); %Skickar tillbaks om det finns ver i se4
        end
    end
    if 0 < balance_per_hour(4,p)
        balance_per_hour(4,p) = balance_per_hour(4,p) - balance_per_hour(4,p);
        % subtraherar bort det som skickas tillbaks fr n se4
    end
    if 0 < balance_per_hour(2,p)
        if balance_per_hour(1,p) < 0 && balance_per_hour(3,p) < 0 && abs(
            balance_per_hour(1,p) + balance_per_hour(3,p)) < balance_per_hour(2,p)
            balance_per_hour(2,p) = balance_per_hour(2,p) + balance_per_hour(1,p) +
                balance_per_hour(3,p); balance_per_hour(1,p) = 0; balance_per_hour
                (3,p) = 0;
        end
        if balance_per_hour(1,p) < 0 && abs(balance_per_hour(1,p)) <
            balance_per_hour(2,p)
            balance_per_hour(2,p) = balance_per_hour(2,p) + balance_per_hour(1,p);
            balance_per_hour(1,p) = 0;
        end
        if balance_per_hour(3,p) < 0 && abs(balance_per_hour(3,p)) <
            balance_per_hour(2,p)
            balance_per_hour(2,p) = balance_per_hour(2,p) + balance_per_hour(3,p);
            balance_per_hour(3,p) = 0;
        end
        if balance_per_hour(1,p) < 0 && 0 < balance_per_hour(3,p) && abs(
            balance_per_hour(1,p)) < balance_per_hour(2,p) + balance_per_hour(3,p)
            andel(1) = balance_per_hour(2,p)/(balance_per_hour(2,p) +
                balance_per_hour(3,p)); andel(2) = balance_per_hour(3,p)/(
                balance_per_hour(2,p) + balance_per_hour(3,p));
            balance_per_hour(2,p) = balance_per_hour(2,p) + balance_per_hour(1,p)*
                andel(1); balance_per_hour(3,p) = balance_per_hour(3,p) +
                balance_per_hour(1,p)*andel(2);
            balance_per_hour(1,p) = 0;
        end
    end
end
after_transfer = balance_per_hour;

fail = 0;

for q = 1 : length(balance_per_hour)
    if balance_per_hour(1,q) < 0 | balance_per_hour(2,q) < 0 | balance_per_hour(3,

```

```
        q) < 0 | balance_per_hour(4,q) < 0
        fail = fail + 1;
    end
end
fail_count = fail
fail_rate = fail/length(balance_per_hour)

underskott = zeros([1 length(balance_per_hour)]);

for d = 1 : length(balance_per_hour)
    for z = 1 : 4
        if balance_per_hour(z,d) < 0
            underskott(d) = underskott(d) + balance_per_hour(z,d);
        end
    end
end

[big_underskott plats]= min(underskott);
end
```

INSTITUTIONEN FÖR ELEKTROTEKNIK
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige
www.chalmers.se



CHALMERS