

LTH
FACULTY OF
ENGINEERING

Elektrifierade godstransporter

FRAN MARQUEZ, HAMOUN POURROSHANFEKR
INDUSTRIELL ELEKTRONTEKNIK OCH AUTOMATION
FACULTY OF ENGINEERING – LTH

Agenda

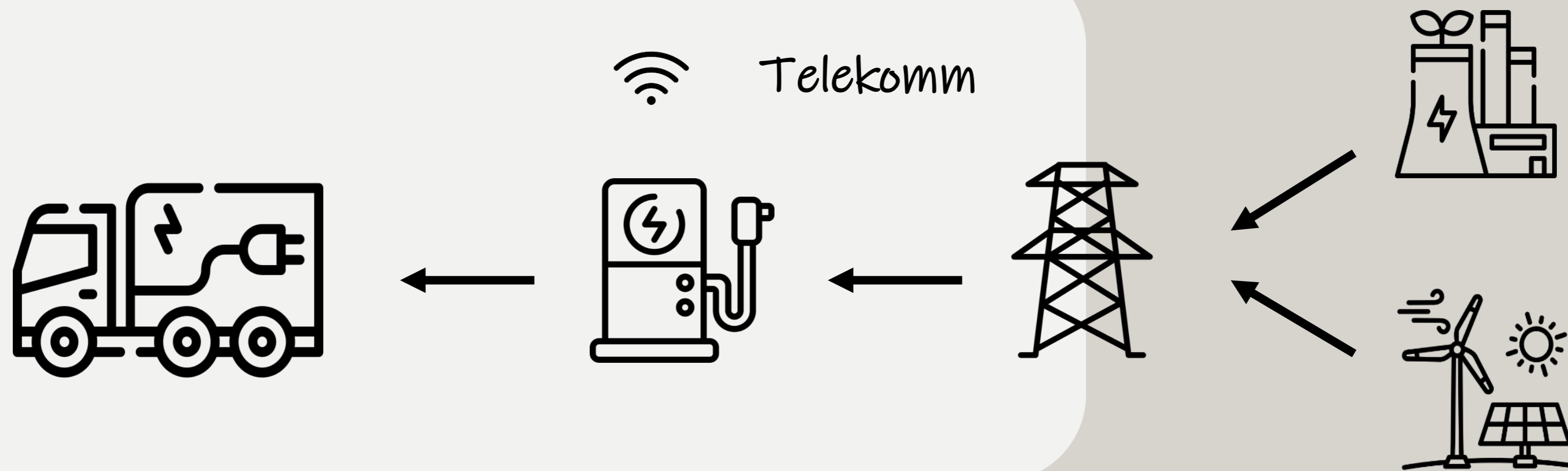
- Introduktion
- Agentbaserade transportsimuleringar
- Simuleringsresultat: Megawatt Charging Systems
- Simuleringsresultat: Depåladdning
- Elektrifiering av skogstransporter



Francisco J. (Fran) Márquez-Fernández
Senior Researcher and Associate
Professor in Electrification



För att elektrifiera godstransporter...



Elfordon

Laddinfrastruktur

Eldistribution

Elproduktion

Laddteknik för lastbilar och bussar



Laddinfrastruktur för godstransporter

- Depåladdning
 - Lätta lastbilar 11 – 22 kW (ca. 350 km räckvidd efter 8 timmar)
 - Tung lastbilar 50 – 100 kW (ca. 500 km efter 8 timmar)
 - Bussar 50 – 100 kW (200 - 400 km efter 8 timmar beroende på temperatur!)
- Kompletterande laddning (vanligvis med hög effekt, MCS) om man återvänder till depån, hos kund, på vägen, eller vid utvalda hållplatser.
- Alternativa lösningar såsom elvägar och batteribyte stationer

Designa laddinfrastruktur

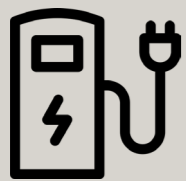
Vad vi behöver veta...



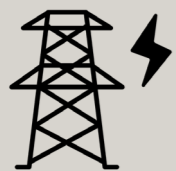
- **Transport:** start-, mellan- och slutdestination, typ och storlek på fordon, fyllnadsgrad, ...



- **Tid:** tillgängliga tider för laddning (rast, på- eller avlastning, ...)



- **Möjlighet till depåladdning / övernattningsladdning**

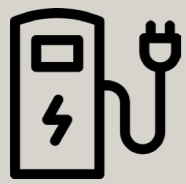


- **Elnätskapacitet** på de olika ställen



Designa laddinfrastruktur

Vad vi behöver veta...



Problem: Det finns ganska få elektriska lastbilar!
Vi vet inte hur de kommer att användas MEN man
måste ta hänsyn till laddning i planeringen.





Transportsimulering i MATSim

Bild: TRAFPA

Multi-Agent simulering

- **Simulerar hela flottan** under en viss tid (typ 1 dygn)
- **Varje fordon har en plan** som måste utföras. Man **tjänar "utility"** när man är på de platserna som står i planen och man **förlorar "utility"** när man spenderar tid på något annat (köra eller ladda)
- Modellen körs iterativt. **I varje iteration kan fordonen ändra sitt beteende** (tex. att välja en annan rutt, ändra start tiden, välja laddstation och tillfälle...) för att **maximera sin "utility"**

Det är ju som en TV-spel med lika många spelare som det finns fordon i modellen!

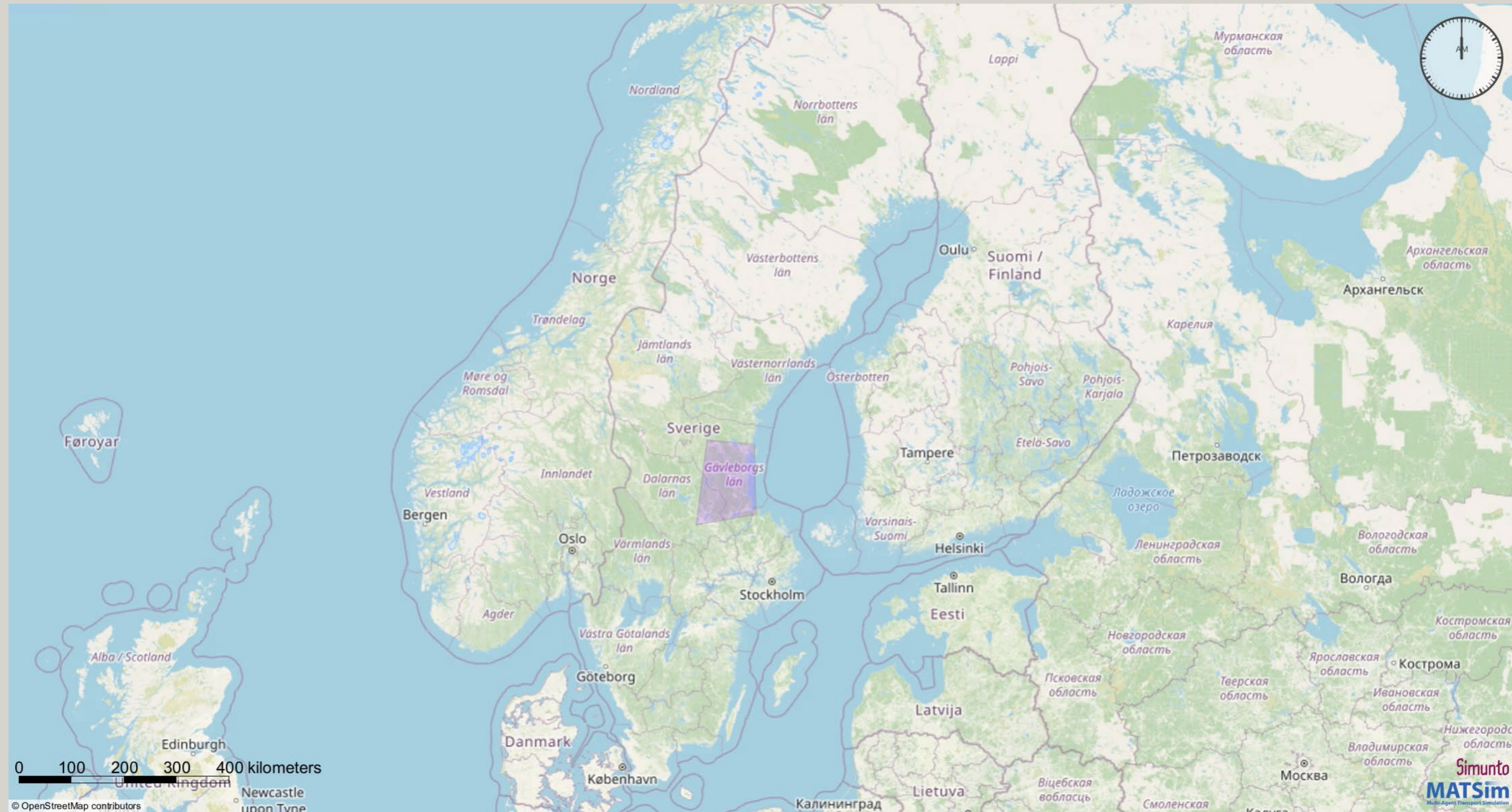


Multi-Agent simulering - indata

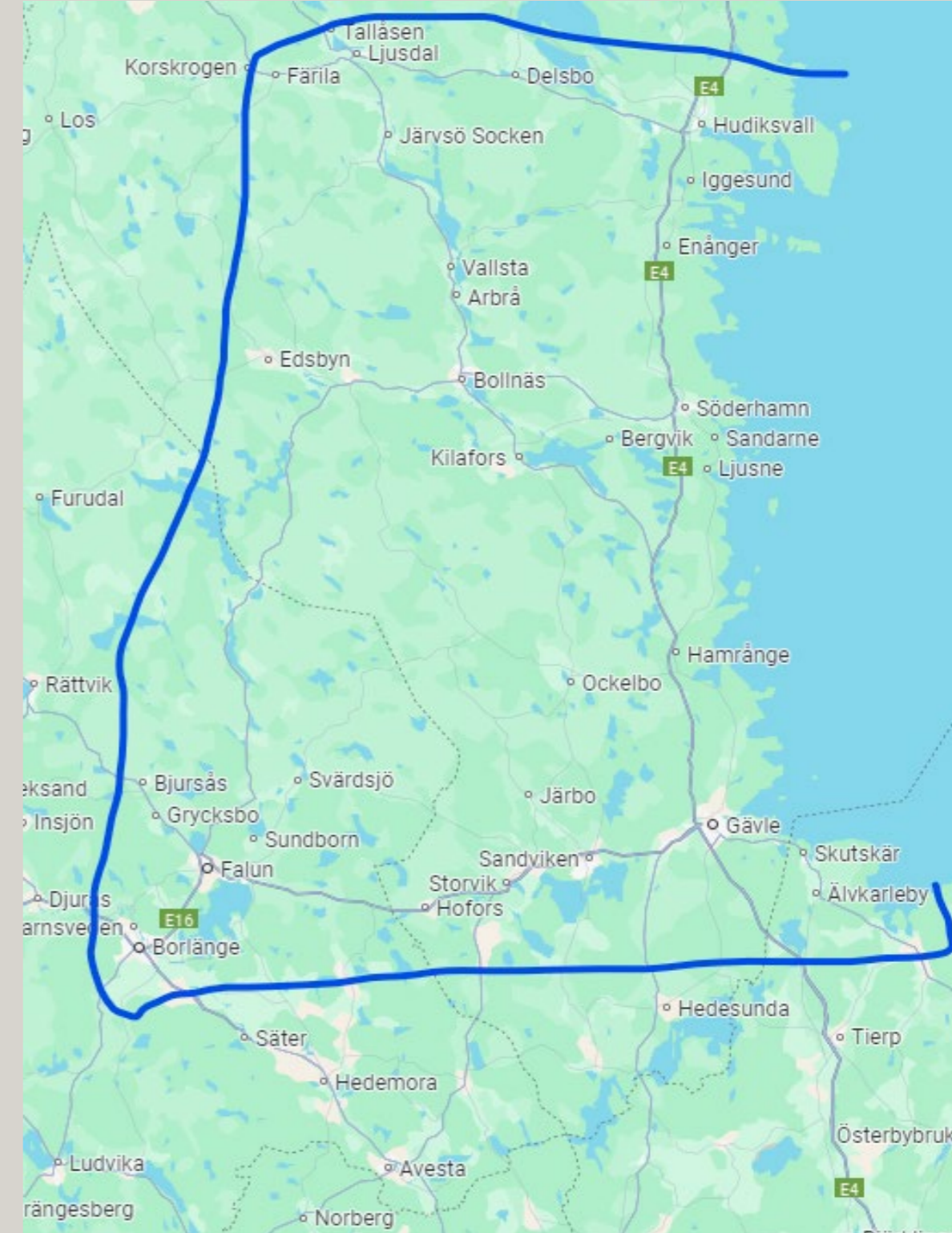
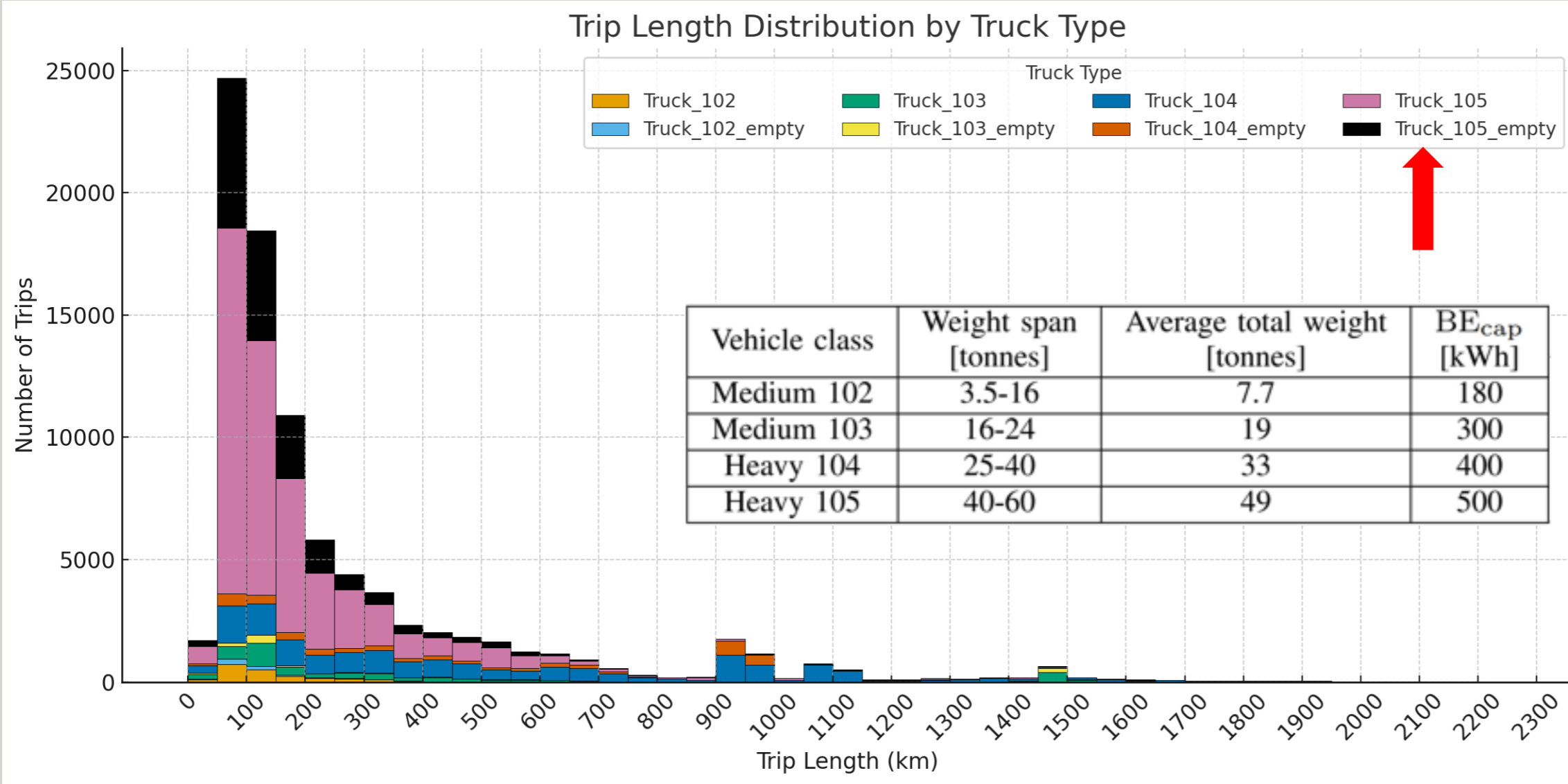
- **Vägnätet** (OpenStreetMaps) och **lutning** (Copernicus)
- **Beteende antagande** om laddningspreferenser: minimera resetid inklusive laddning, minimera kostnader, undvika vissa tider...
- En **representativ syntetisk population** som omfattar alla relevanta fordon inom området och deras reseplaner (Trafikverkets modell SAMGODS)



SAMGODS data



SAMGODS data



Antal resor: 8 931
 Totalt avstånd kört: 1.78 Mkm



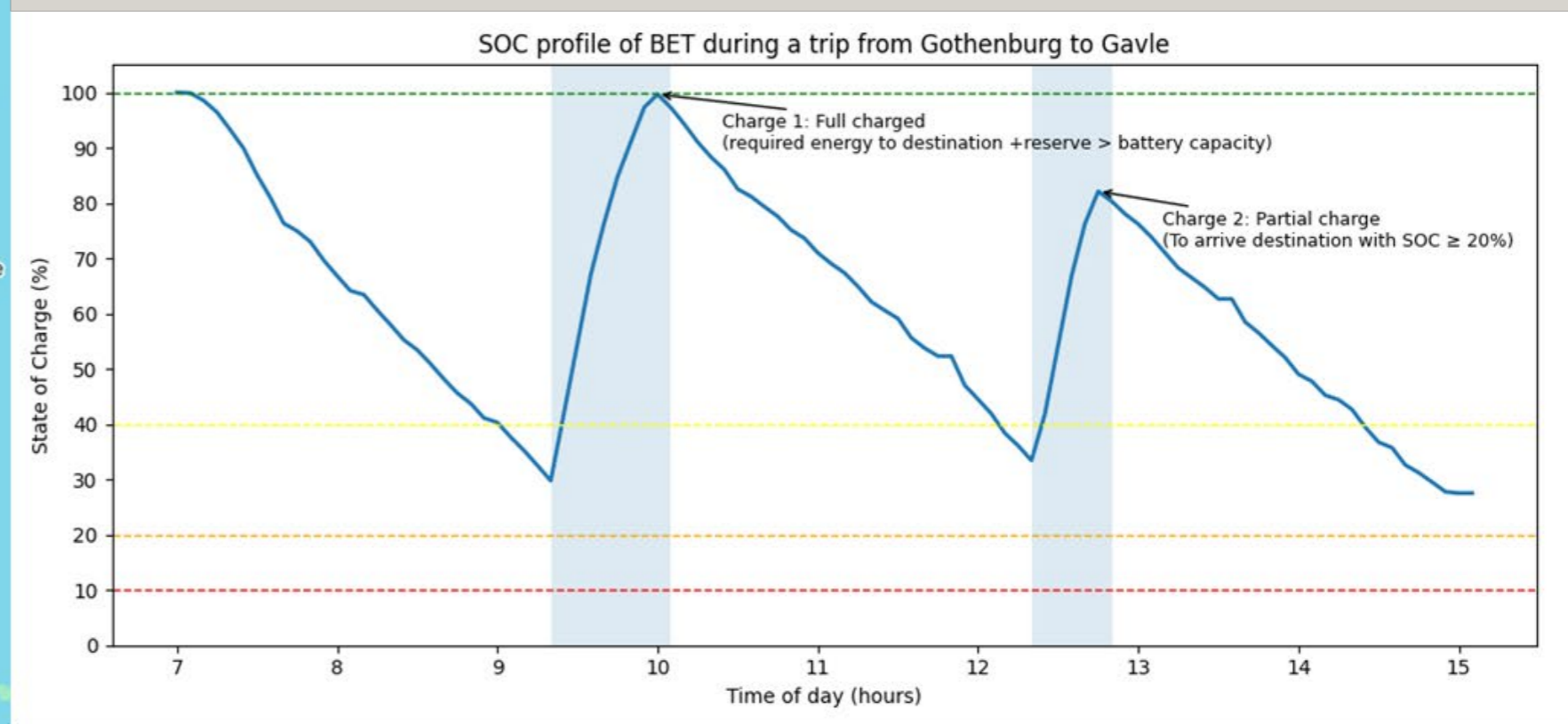
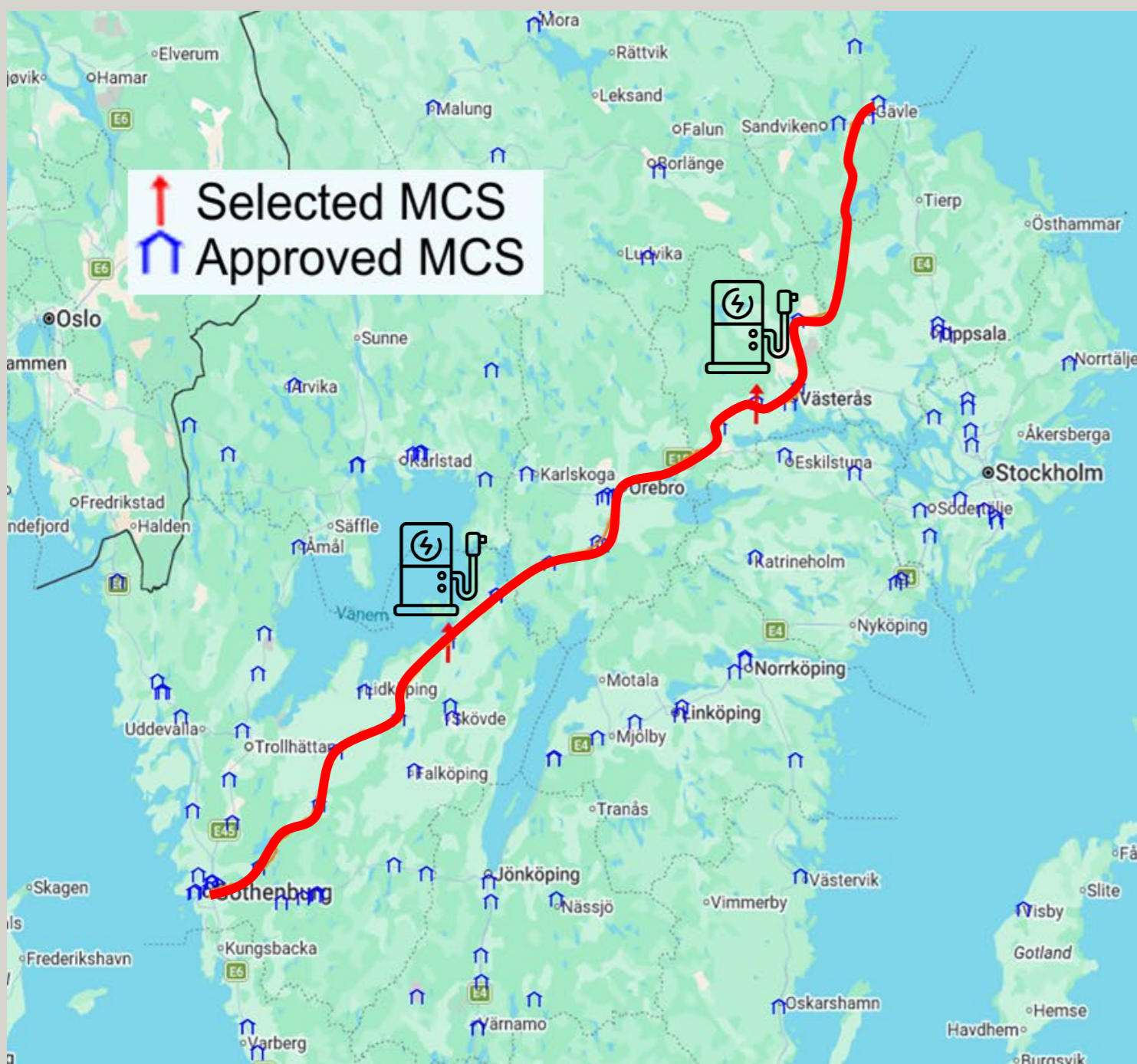
Simuleringsresultat: MCS

Bild: Milence

Antaganden MegaWatt Charging

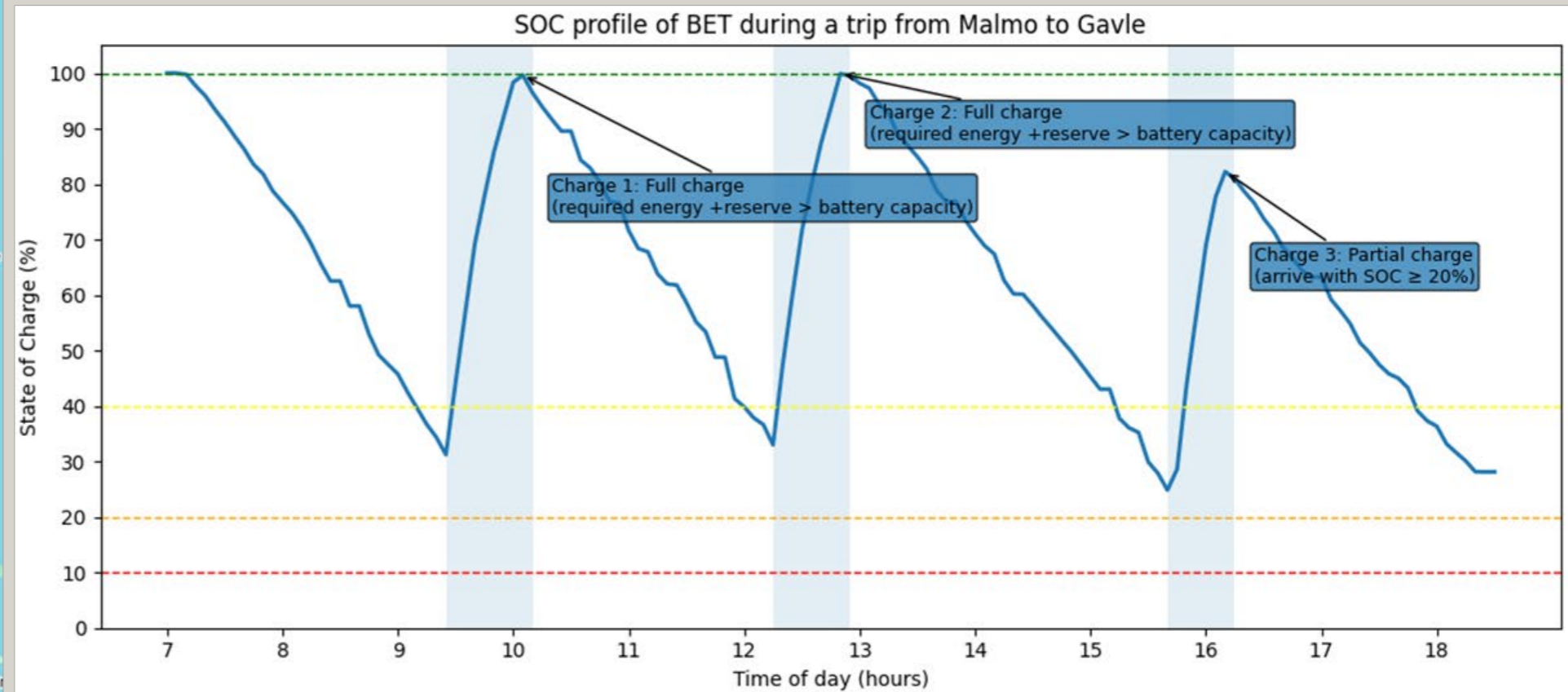
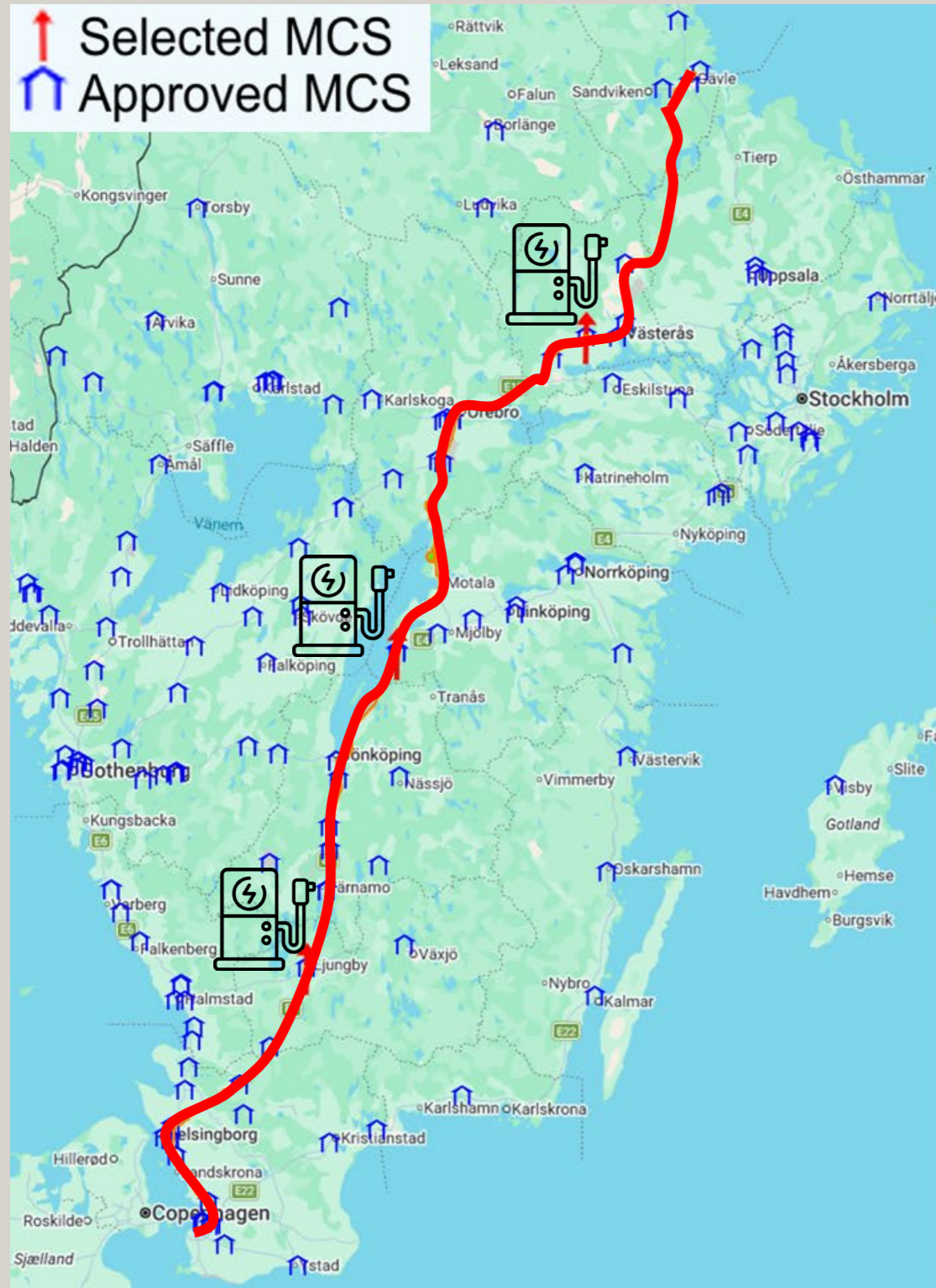
- **MCS** finns i befintliga & beviljade Energimyndighetens Regionala Elektrifierings Piloter (lastbil laddstationer).
- **Antal laddare per station** beror på hur många lastbilar som laddar samtidigt i simulationen. Alla lastbilar stannar i 45 min (medel laddtid 31 min)
- Bara de **lastbilarna som behöver** kompletteringsladdning **använder MCS**
- **SOC** mellan **15 – 40%** och max **omväg 60 km** (medel avståndsökning 2 km)
- Laddar för att kunna **komma fram med 10 - 20% SOC**

Simuleringsresultat MCS



| chargerId | chargeStartTime | chargeEndTime | chargingDuration | energyTransmitted_kWh |
|-----------|-----------------|---------------|------------------|-----------------------|
| 194535 | 9:20:44 AM | 9:57:09 AM | 36:25 | 356.8 |
| 402367 | 12:21:59 PM | 12:43:47 PM | 21:48 | 250.7 |

Simuleringsresultat MCS

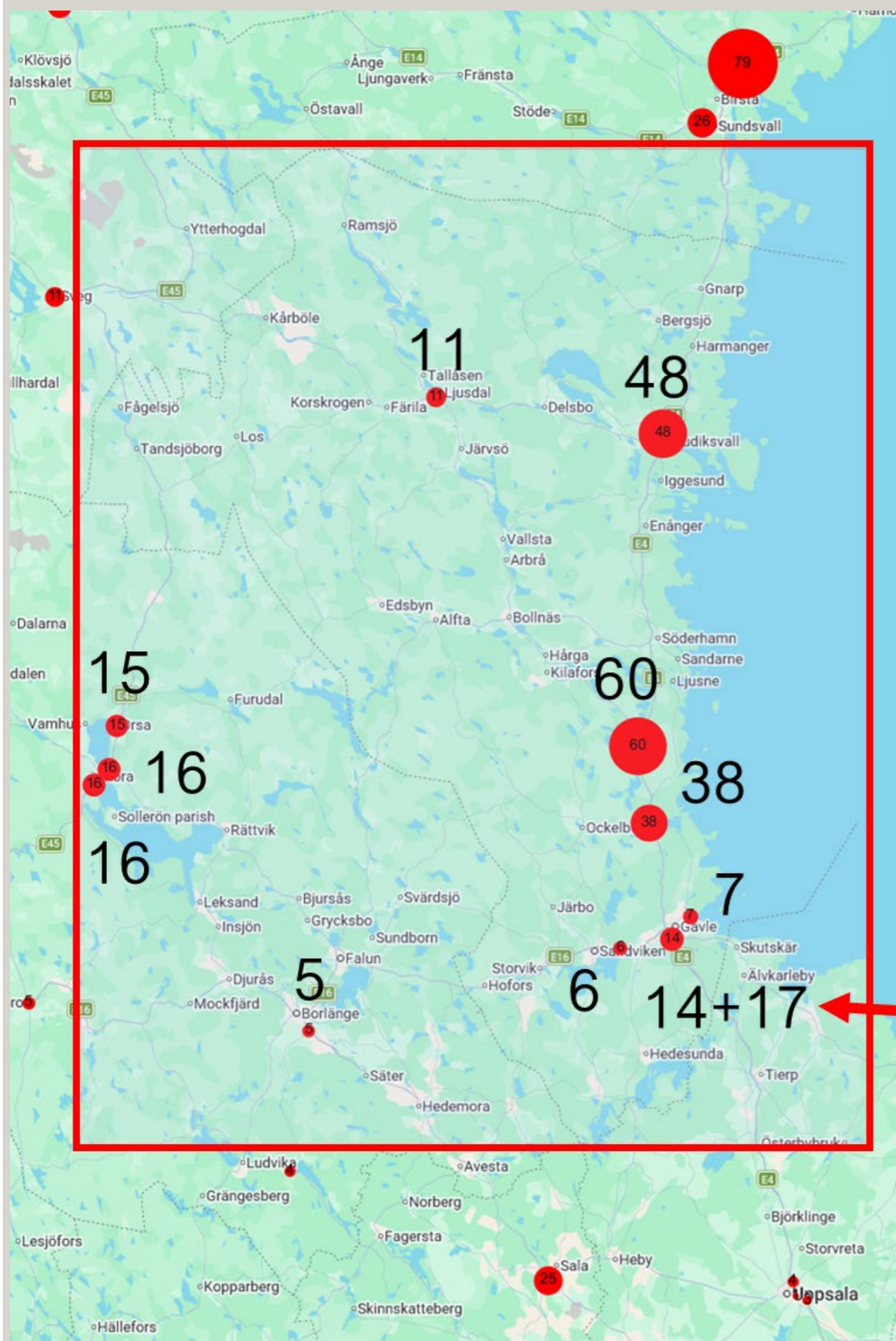


| chargerId | chargeStartTime | chargeEndTime | chargingDuration | energyTransmitted_kWh |
|-----------|-----------------|---------------|------------------|-----------------------|
| 293278 | 9:25:39 AM | 10:01:19 AM | 35:40 | 344.5 |
| 541197 | 12:14:59 PM | 12:50:04 PM | 35:05 | 335 |
| 402367 | 3:43:19 PM | 4:08:18 PM | 24:59 | 300 |

Simuleringsresultat: MCS

- **12 MCS** med totalt **253 mega-laddare**
- Relativt **stora stationer**
- **Hög nyttjande grad**, fast det finns en viss "simultaneity" faktor

- **E4:** 31 laddare i Gävle + 38 vid Hagsta + 60 vid Tönnebro + 48 vid Hudiksvall
- **E45:** 47 laddare kring Mora



| Index | Sökande | Nr charging sessions | Nr of chargers | Total delivered energy (MWh) | Energy based utilization (%) | Peak Power (MW) | Power based utilization (%) |
|-------|-----------------------------|----------------------|----------------|------------------------------|------------------------------|-----------------|-----------------------------|
| 1 | Skellefteå Kraftaktiebolag | 1252 | 60 | 366.2 | 25.4 | 33.9 | 60 |
| 2 | Circle K Sverige AB | 974 | 48 | 229.7 | 19.9 | 26.1 | 50 |
| 3 | Recharge Sweden AB | 572 | 38 | 162.9 | 17.8 | 19.6 | 50 |
| 4 | Tures Fastigheter i Mora AB | 344 | 16 | 75.7 | 19.7 | 8.2 | 50 |
| 5 | Circle K Sverige AB | 317 | 17 | 91.1 | 22.3 | 11.4 | 70 |
| 6 | Skellefteå Kraftaktiebolag | 305 | 16 | 65.3 | 17 | 7.4 | 50 |
| 7 | Circle K Sverige AB | 304 | 15 | 71.7 | 19.9 | 7.5 | 50 |
| 8 | Preem Aktiebolag | 237 | 14 | 66.1 | 19.6 | 9.1 | 70 |
| 9 | LoadIT Sweden AB | 289 | 11 | 60.9 | 23 | 6.2 | 60 |
| 10 | Skellefteå Kraftaktiebolag | 182 | 5 | 32.5 | 27 | 4.1 | 80 |
| 11 | Gävle Energi AB | 76 | 6 | 18.5 | 12.8 | 3.1 | 50 |
| 12 | Gävle Energi AB | 87 | 7 | 27 | 16 | 4.5 | 60 |
| | | 4939 | 253 | 1196 | 20 | 141.4 | 58.3 |

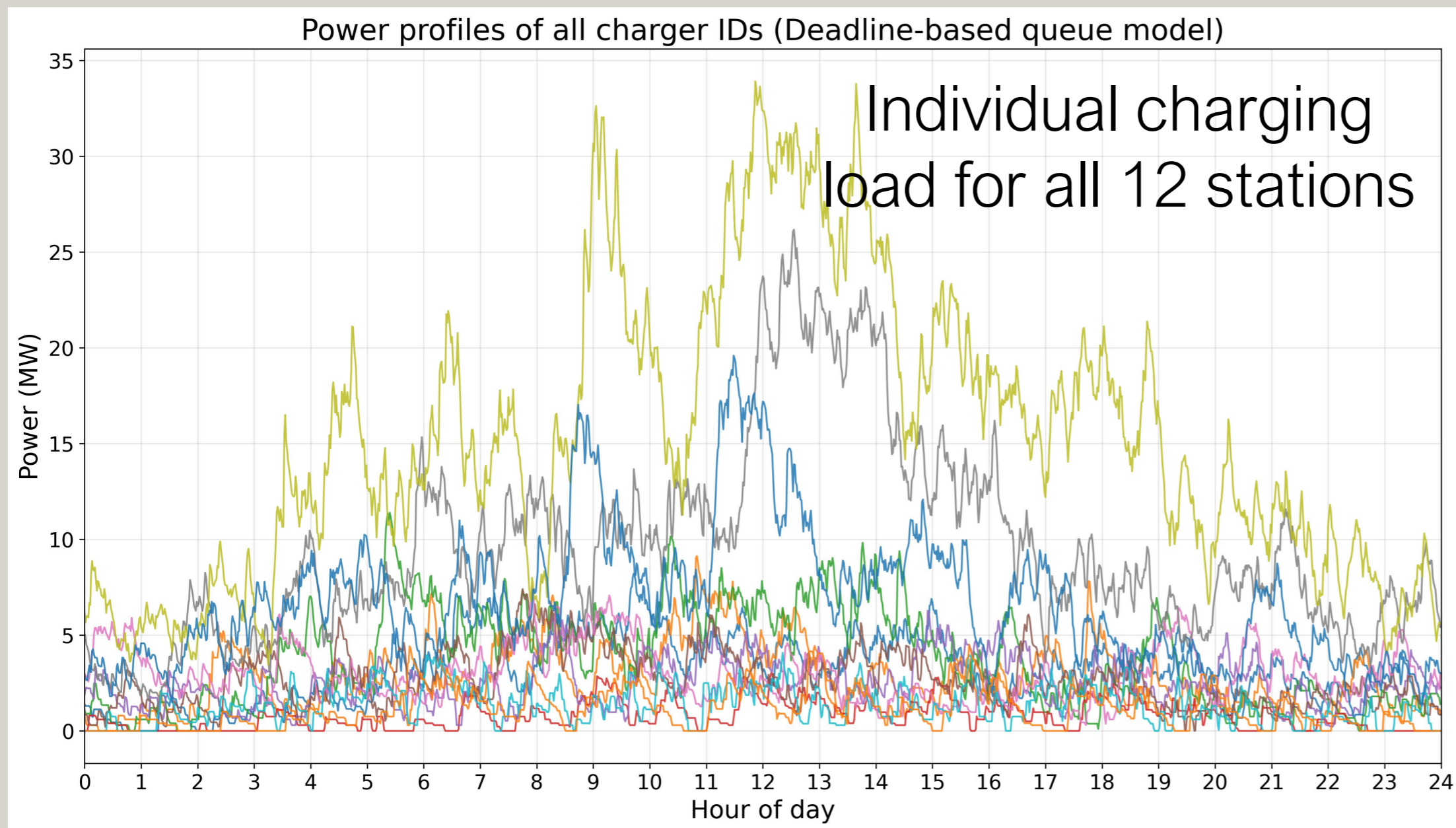
| Index | Sökande | Nr charging sessions | Nr of chargers | Total delivered energy (MWh) | Energy based utilization (%) | Peak Power (MW) | Power based utilization (%) |
|-------|-----------------------------|----------------------|----------------|------------------------------|------------------------------|-----------------|-----------------------------|
| 1 | Skellefteå Kraftaktiebolag | 1252 | 60 | 366.2 | 25.4 | 33.9 | 60 |
| 2 | Circle K Sverige AB | 974 | 48 | 229.7 | 19.9 | 26.1 | 50 |
| 3 | Recharge Sweden AB | 572 | 38 | 162.9 | 17.8 | 19.6 | 50 |
| 4 | Tures Fastigheter i Mora AB | 344 | 16 | 75.7 | 19.7 | 8.2 | 50 |
| 5 | Circle K Sverige AB | 317 | 17 | 91.1 | 22.3 | 11.4 | 70 |
| 6 | Skellefteå Kraftaktiebolag | 305 | 16 | 65.3 | 17 | 7.4 | 50 |
| 7 | Circle K Sverige AB | 304 | 15 | 71.7 | 19.9 | 7.5 | 50 |
| 8 | Preem Aktiebolag | 237 | 14 | 66.1 | 19.6 | 9.1 | 70 |
| 9 | LoadIT Sweden AB | 289 | 11 | 60.9 | 23 | 6.2 | 60 |

Antal laddare: $17 + 14 = 31$

Max. installerad effekt: 31 MW

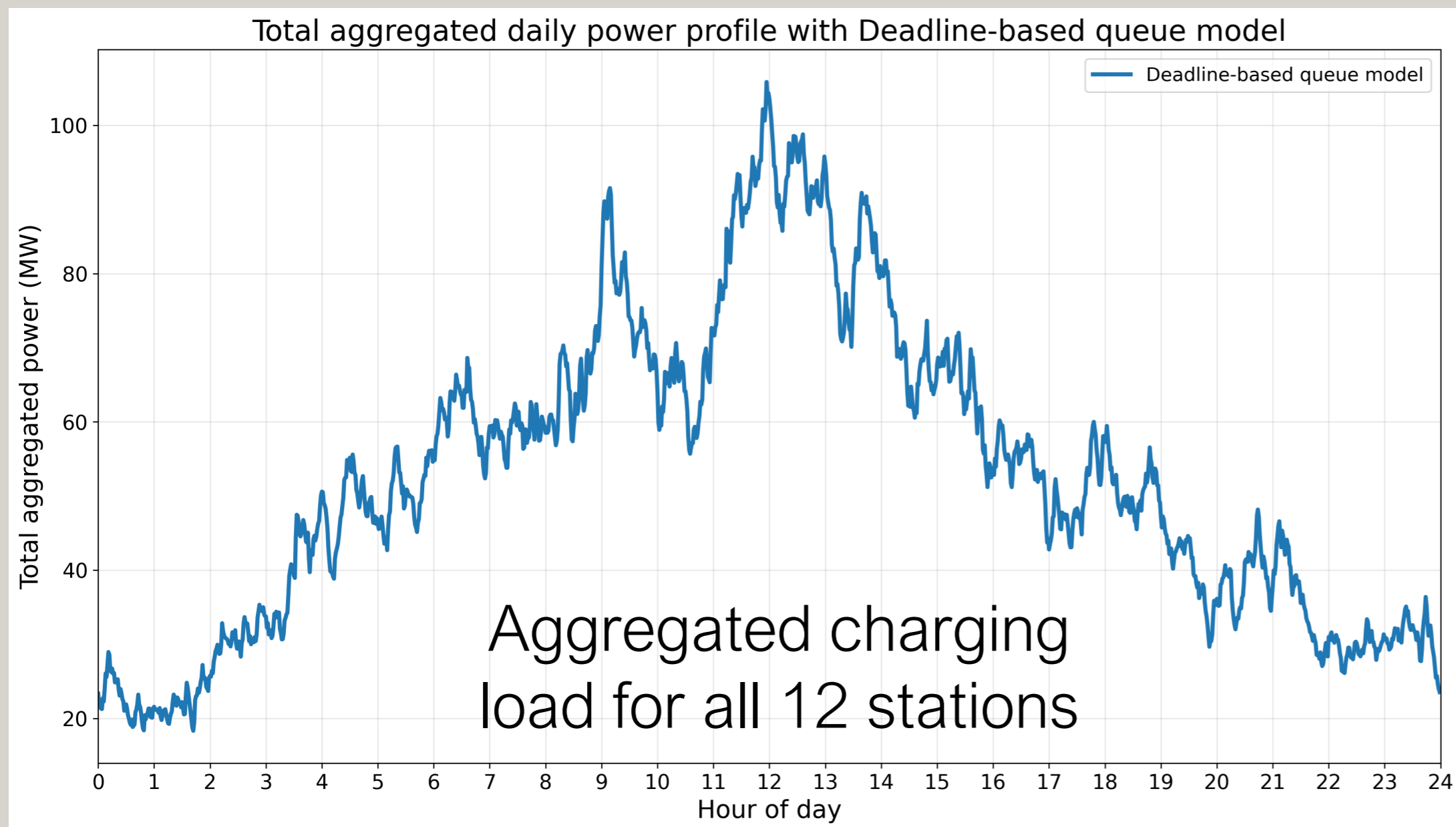
Topp effekt: $11.4 + 9.1 = 20.5$ MW

Simuleringsresultat: MCS



- **Effektprofiler** för alla MCS (samt aggregerad)
- Tydlig **topp runt middag** men inte samtidigt för alla MCS (141 → 105 MW)
- **Antagande:** alla resor börjar med full laddat batteri. Man laddar bara den energi man behöver för att komma fram.

Simuleringsresultat: MCS



- **Effektprofiler** för alla MCS (samt aggregerad)
- Tydlig **topp runt middag** men inte samtidigt för alla MCS (141 → 105 MW)
- **Antagande:** alla resor börjar med full laddat batteri. Man laddar bara den energi man behöver för att komma fram.

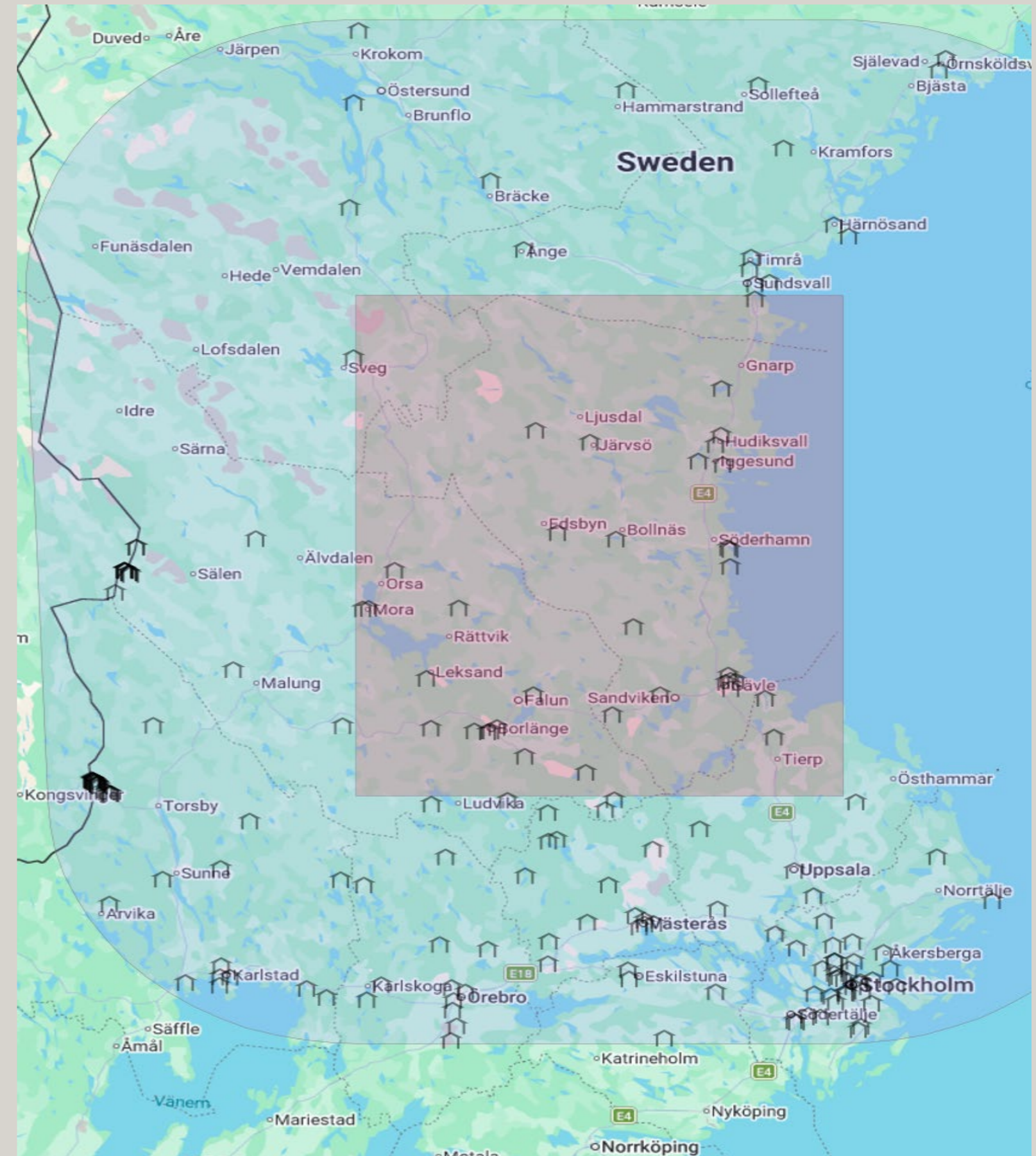


Simuleringsresultat: Depåladdning

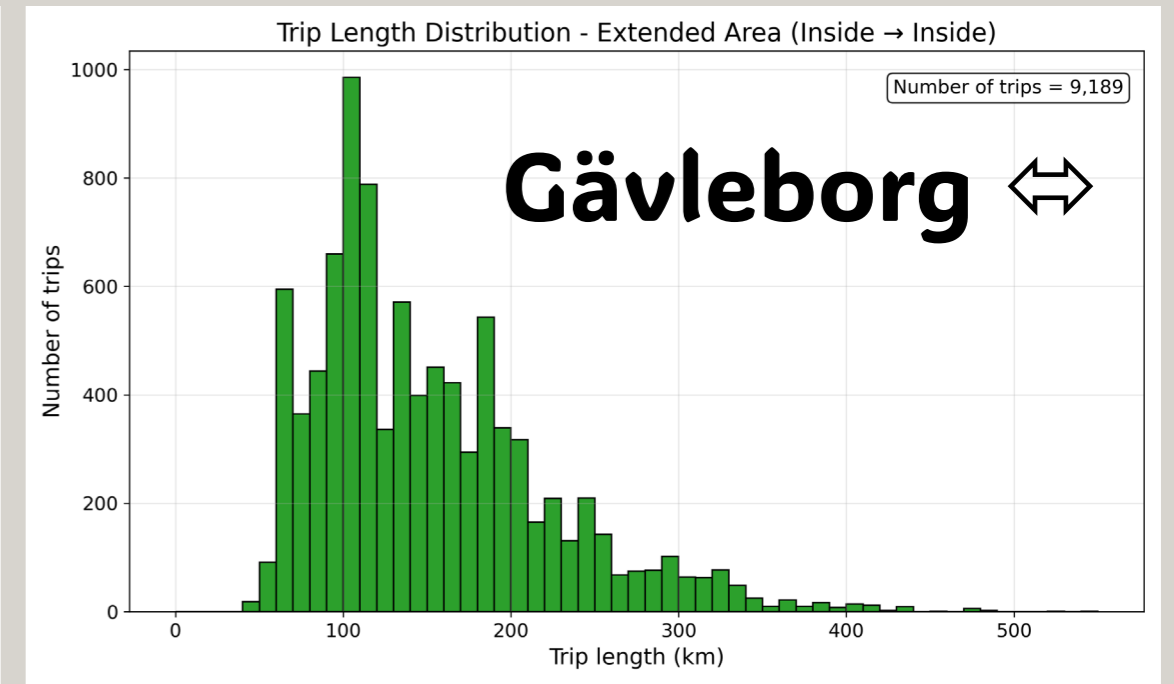
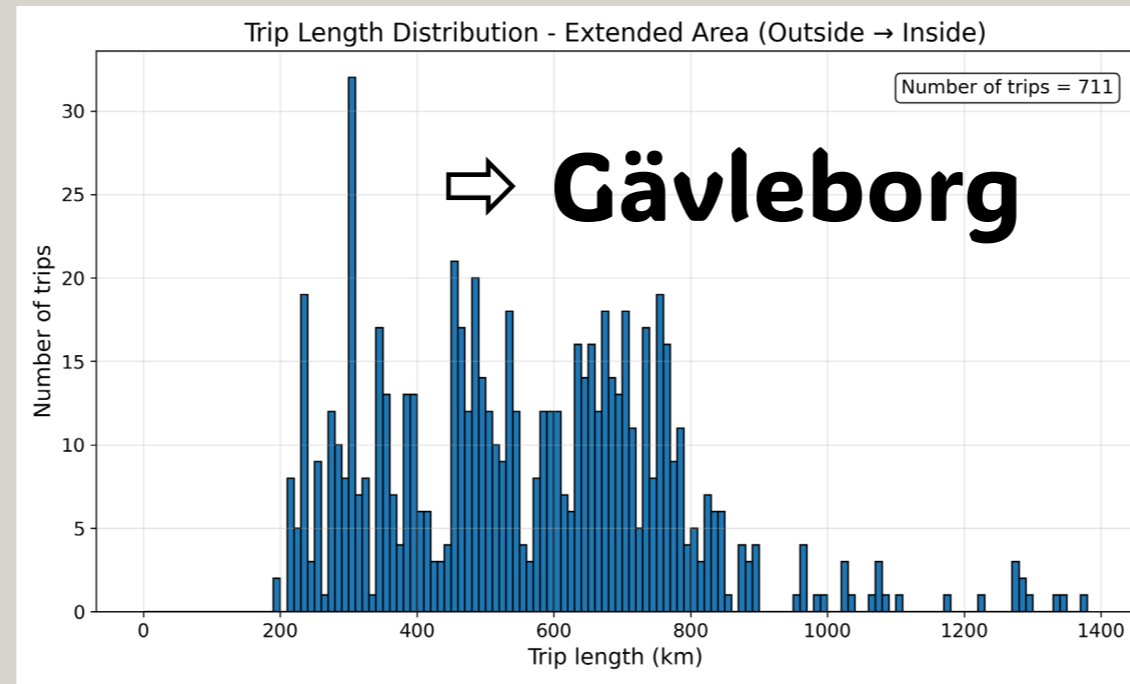
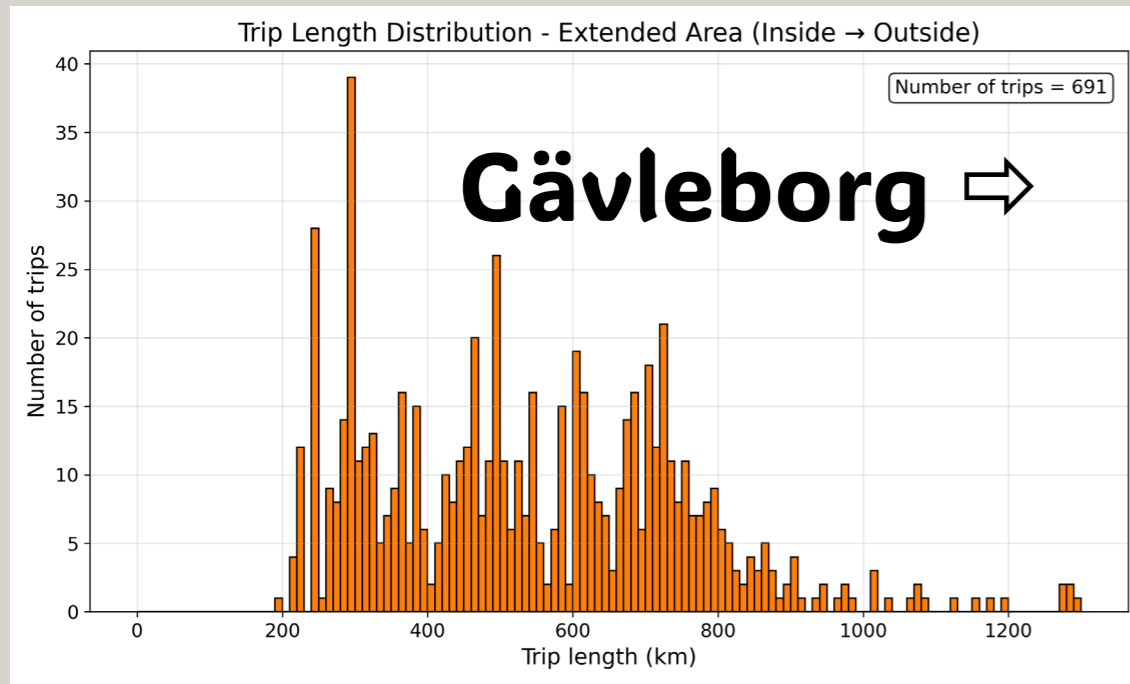
Bild: Voltera

Antaganden: Depåladdning

- Indata från SAMGODS: **start och destination noder (OD) och avstånd**
- Transportsimuleringen: **start & ankomsttid, energibehov**
- Analyserar alla **resor som börjar eller slutar i vårt studieområde**, men grupperar resor i **resekedjor** baserat på det utökade området.
- **Resekedjor** ca. 350 – 400 km / dygn, rimliga väntetider och arbetspass längd.

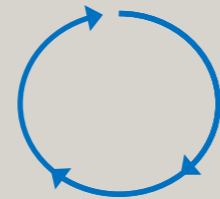


Antaganden: Depåladdning - Resekedjor



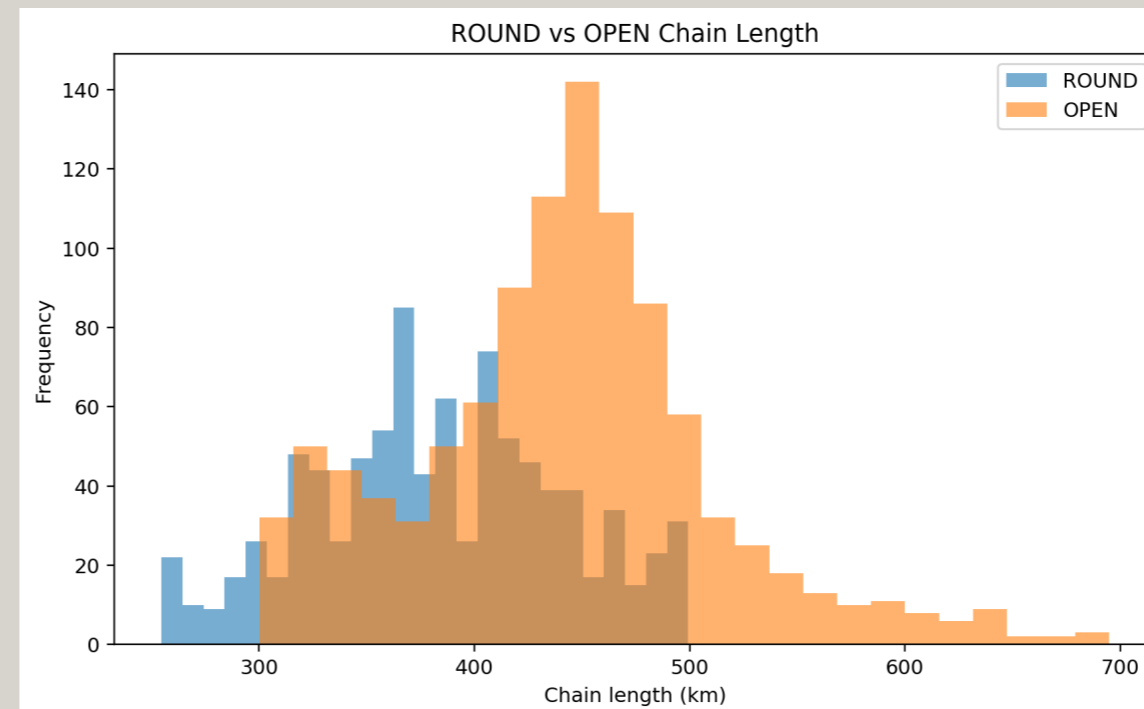
Count: 906 trips

Mean: 383 km



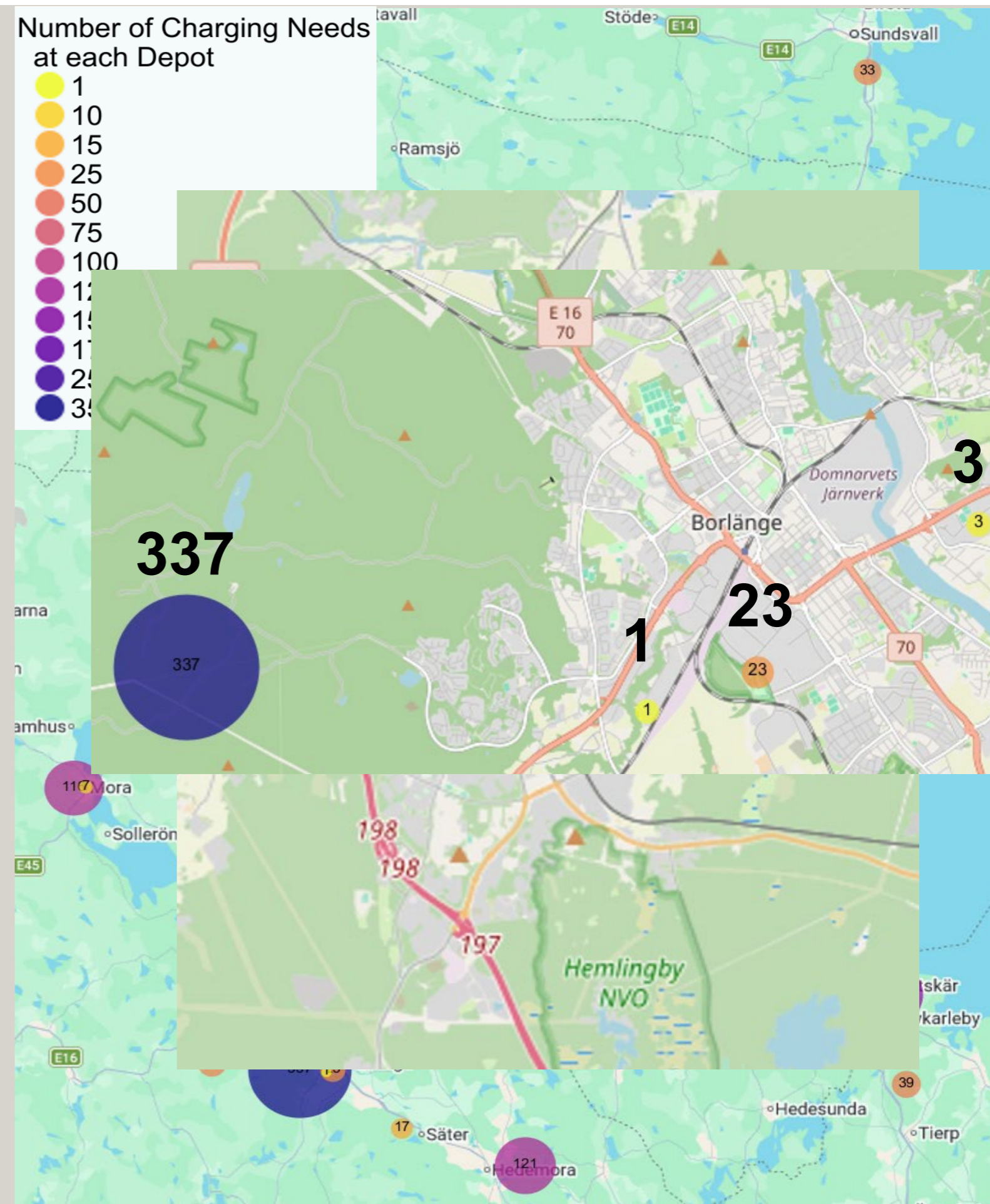
Count: 1042 trips

Mean: 441 km



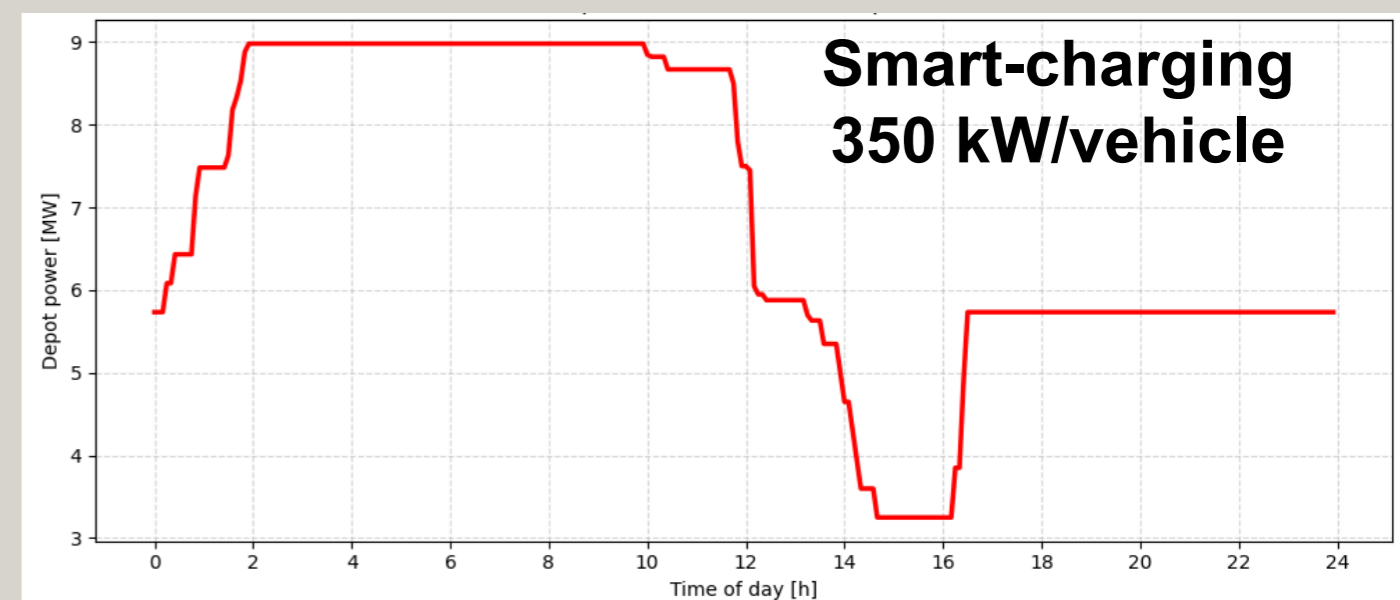
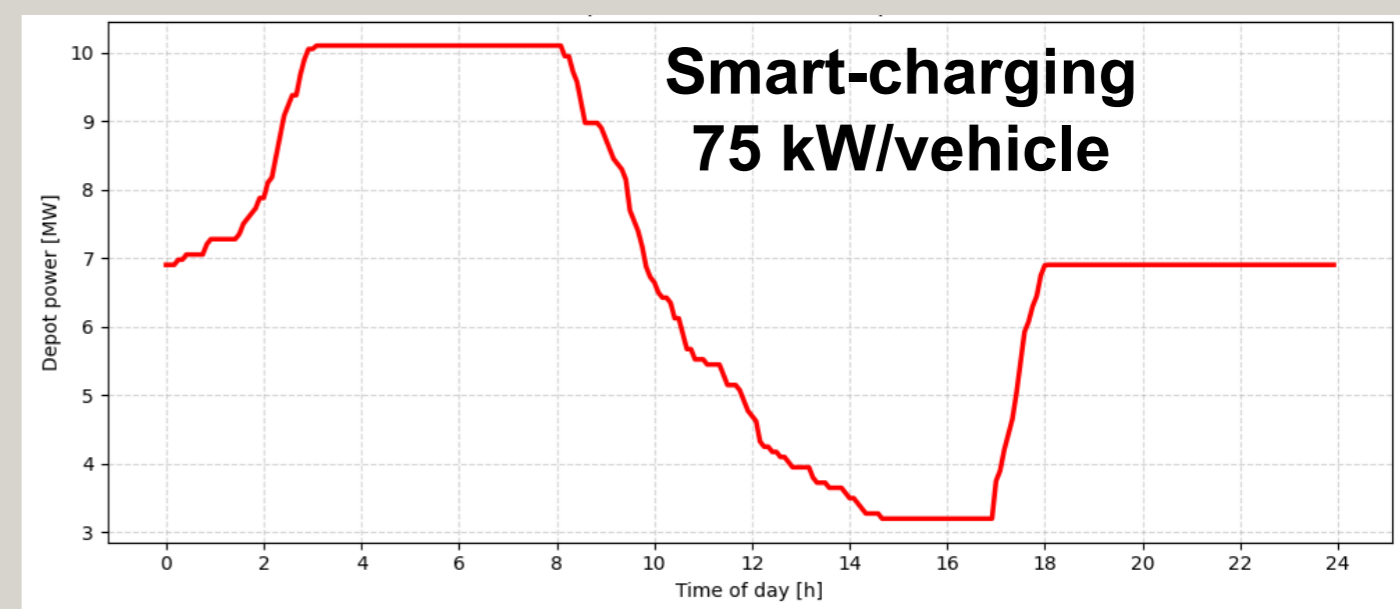
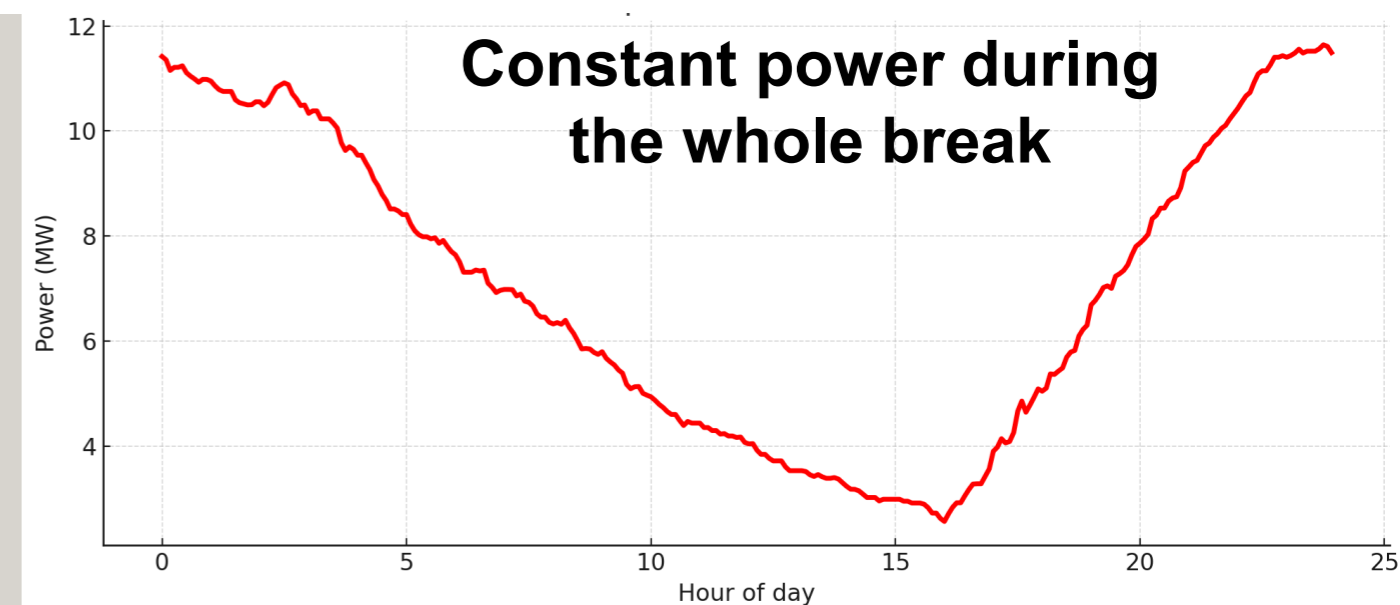
Simuleringsresultat: Depåladdning

- Kartan visar **hur många fordon** som behöver laddas i depå på varje "zone"
- De flesta fordon **kommer med ett ganska tomt batteri** (resekedjor) och **ska lämna med ett fullt batteri!**
- **Gävle:** 446 lastbilar
- **Borlänge:** 364 lastbilar
- **Söderhamn:** 188 lastbilar
- **Mora:** 123 lastbilar



Simuleringsresultat: Depåladdning

- Olika **laddmetoder** kan implementeras:
 - Ladda varje fordon med den lägsta möjliga effekten under hela stopp tiden (dumb charging)
 - Optimera laddtiderna och effektnivåerna för att minimera effekttoppen (smart charging)
- Fördelaktigt att kunna ladda lite snabbare (upp till 350 kW) för att utnyttja flexibiliteten.





Elektrifiering av skogstransporter

Bild: Projekt TREE

Skogstransporter

- Mycket **tyngre** lastbilar ⇒ **högre energiförbrukning**
- Kör **2 skift**, 9 timmar / skift (laddning?)
- Vanligt med **över 500 km** per skift
- **Skog**: Dålig infrastruktur och dynamisk placering
- **Laddmöjligheter:**
 - MCS på offentlig station på väg
 - MCS på depå (mellan skift)
 - MCS på sågverk
 - Batteribytte??



Skogstransporter

- Indata:
 - Transportflöde från 2 åkerier
(Skogsparti \leftrightarrow Sågverk) OD pairs.
 - 38 skogspartier och 37 sågverk
1406 OD pairs
 - 2 x 9 timmarsskift, 4 \rightarrow 13 and 13 \rightarrow 22
 - 500 km per skift
 - Lastning 30 min (skog) + lossning 30 min
(sågverk)
 - Energiförbrukning: 3.0 kWh/km full lastad,
1.5 kWh/km tom



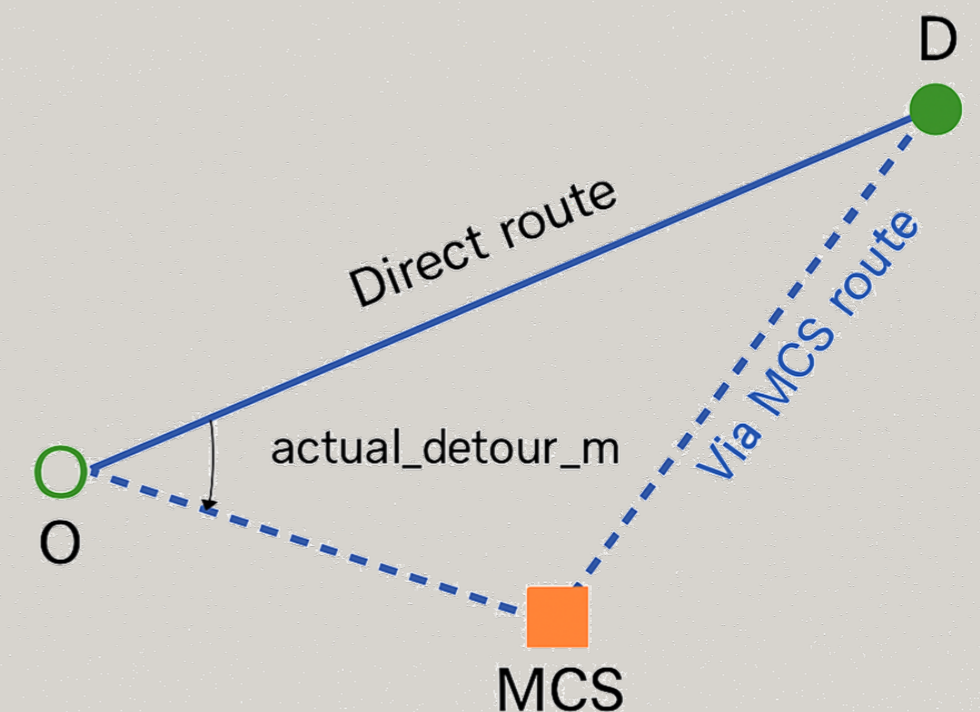
Fall 1: Stort batteri för ett skift

500 km (250 km full lastad och 250 km tom körning)

Energibehov: $250 \text{ km} \times 3 \text{ kWh/km} + 250 \times 1.5 \text{ kWh/km} = \mathbf{1125 \text{ kWh!!}}$

Fall 2: Rimligt batteri (kräver laddning)

- Minst ett laddningstillfälle per skift krävs!
- Hitta lämpligast (närmast) laddstation bland REP stationerna
- **Inkludera laddningsstopp i planeringen!**



Absolute detour ($O \Rightarrow \text{MCS} \Rightarrow D$ vs. $O \Rightarrow D$)

| ALL ODs | | Filtered ODs within 150 km | | Preserve 50% of shorter ODs | |
|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|
| Detour (km) | Cumulative share (%) | Detour (km) | Cumulative share (%) | Detour (km) | Cumulative share (%) |
| ≤ 0 | 16.9 % | ≤ 0 | 13.5 % | ≤ 0 | 14.3 % |
| ≤ 1 | 31.9 % | ≤ 1 | 27.8 % | ≤ 1 | 28.4 % |
| ≤ 2 | 32.3 % | ≤ 2 | 28.3 % | ≤ 2 | 29.1 % |
| ≤ 5 | 35.3 % | ≤ 5 | 31.3 % | ≤ 5 | 32.3 % |
| ≤ 10 | 59.2 % | ≤ 10 | 50.6 % | ≤ 10 | 51.3 % |
| ≤ 15 | 75.7 % | ≤ 15 | 61.3 % | ≤ 15 | 61.5 % |
| ≤ 20 | 79.1 % | ≤ 20 | 63.0 % | ≤ 20 | 63.3 % |
| ≤ 30 | 83.6 % | ≤ 30 | 71.2 % | ≤ 30 | 70.8 % |
| ≤ 40 | 88.0 % | ≤ 40 | 79.3 % | ≤ 40 | 79.1 % |
| ≤ 50 | 91.9 % | ≤ 50 | 85.4 % | ≤ 50 | 85.4 % |
| ≤ 75 | 98.3 % | ≤ 75 | 96.7 % | ≤ 75 | 96.5 % |
| ≤ 100 | 99.4 % | ≤ 100 | 98.7 % | ≤ 100 | 98.7 % |

Resultat: Skogstransporter

- Befintliga och beviljade **Regionala Elektrifierings Piloter** möjliggör elektrifieringen av ca **60%** av alla möjliga O-D (skogsparti – sågverk) kombinationer med en **omväg mindre än 10 km** (80% med 20 km omväg)
- Några få O-D par har inga laddstationer nära till hands...
- **Lokala laddlösningar** på sågverken borde studeras vidare!





LUND
UNIVERSITY

LTH

FACULTY OF
ENGINEERING

TACK SÅ MYCKET!

**FRAN MARQUEZ, HAMOUN POURROSHANFEKR
INDUSTRIELL ELEKTROTEKNIK OCH AUTOMATION
LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA – LUNDS UNIVERSITET**



LUND
UNIVERSITY

LTH

FACULTY OF
ENGINEERING

Elektroteknik
Datorvetenskap