

- 1 -

## Elbilsladdning och elnätet

Math Bollen

Luleå tekniska universitet

30 mars 2020



- 2 -

## Luleå tekniska universitet - Elkraftteknik

.. finns i Skellefteå



- 2,25 professorer
- 2,2 ytterligare seniora forskare
- 16 doktorander
- 1,15 forskningsingenjörer
- 90 studenter på högskoleingenjörsprogrammet Elkraftteknik

<https://www.ltu.se/research/subjects/Elkraftteknik?l=en>



- 3 -

## LTU – Elkraftteknik

### Våra mål och drivkrafter



- Anpassa elnätet inför övergången till ett hållbart energisystem
- Att göra världsledande forskning genom att få de bästa personer att göra jobbet
- Behålla och sprida kunskap om elkraft
- Skapa en bro mellan akademi (teori) och industri (verklighet)

LULEÅ  
TEKNISKA  
UNIVERSITET

- 4 -

## Dagens presentation

- Liten om Elkraftteknik på LTU
- Översikt av hur elbilsaddning kommer att påverka elnätet
- Några detaljer om påverkan på elkvalitet
- Liten om överbelastning
- Liten om marknader

LULEÅ  
TEKNISKA  
UNIVERSITET

- 5 -

## Lokal påverkan

- Överbelastning
- Spänningssänkning
- Obalans
- Övertoner och mellantoner
- Supratoner (2 kHz och högre)
- Snabba spänningsvariationer (flimmer)



- 6 -

## Distributionsnät

- Överbelastning av kabel, ledning, transformator
- Sammanlagring från flera källor
  - Spänningsökning
  - Obalans
  - Övertoner
- Spänningsreglering
- Övertonsresonanser



- 7 -

## Region- och stamnät

- Flera av effekterna av stora mängder vind- och solenergi på regionnätet kommer att kompenseras genom ökande mängder Elbilsladdning
- Den ökade elförbrukningen kommer att öka risken för överbelastning på regionnätet, särskilt i stadsområden

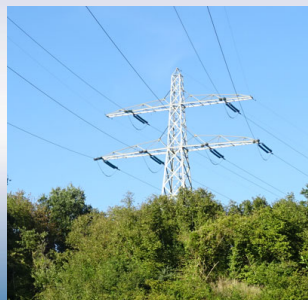


L  
LULEÅ  
TEKNISKA  
UNIVERSITET

- 8 -

## Kraftsystemet

- Påverkningarna på regionnätet gäller också för Kraftsystemet
- Stabilitet kan påverkas av förändringar i kraftflödet
  - frekvensinstabilitet kan komma att förbättras
  - instabil nattetid skapad av skillnader i biljettpriser mellan regioner



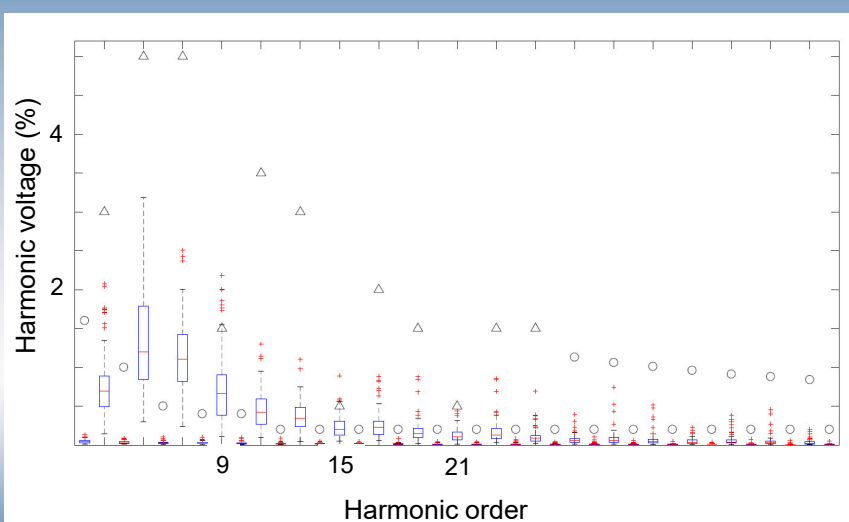
## Elkvalitet

- 9 -

- Övertoner
- Mellantoner
- Supratoner
- Flimmer
- Spänningssänkning
- spänningsosymmetri (obalans)

## Befintliga nivåer på övertoner

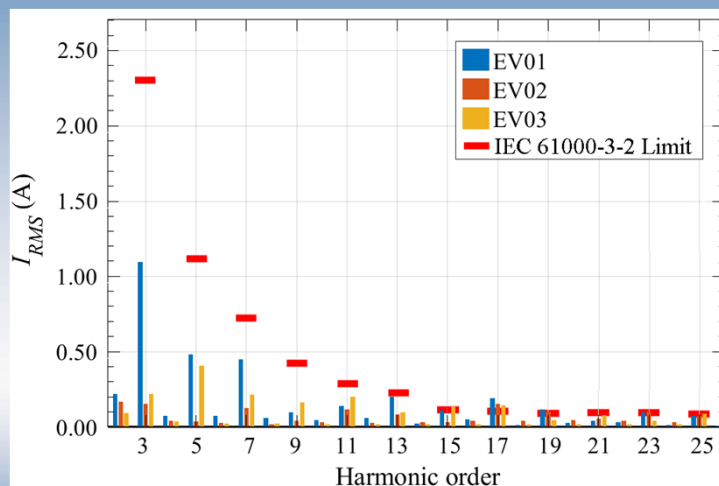
- 10 -



- 11 -

## Övertoner för elbilsaddning – 3 bilar

Källan: Elkraft, LTU, 2019



LULEÅ  
TEKNISKA  
UNIVERSITET

- 12 -

## Harmonic aggregation and propagation

$$U_h = \sqrt[\alpha]{\sum_i U_{hi}^\alpha}$$

$\alpha=1$  for  $h<5$ ,  
 $\alpha=1.4$  for  $5 \leq h \leq 10$ ,  
 $\alpha=2$  for  $h>10$

- $\alpha$  chosen based on
  - the probability for the actual value not to exceed the calculated value
  - degree to which individual harmonic voltages vary randomly in terms of magnitude and phase

IEC 61000-3-6

LULEÅ  
TEKNISKA  
UNIVERSITET

- 13 -

## Hosting capacity

- Expression for the hosting capacity, consider aggregation as in IEC 61000-3-6

$$N = \frac{(U_1)^\alpha - (U_0)^\alpha}{(1 + k_{EV})(Z_h I_h)^\alpha}$$

$N$ : number of chargers allowable  
 $U_0$ : existing level  
 $U_1$ : maximum permissible limit  
 $k_{EV}$ : allocation for non-EV sources  
 $Z_h$ : harmonic impedance at PCC  
 $I_h$ : harmonic current per charger  
 $\alpha$ : aggregation exponent



- 14 -

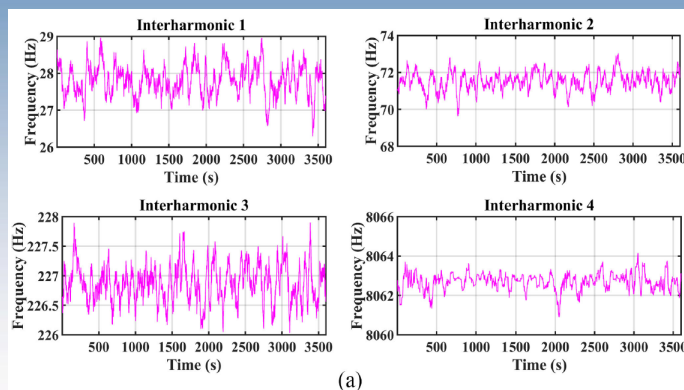
## Acceptansgräns distributionstransformator

- 400 kVA, 4%
- 3.5% befintlig 5e-tonsspänning, 6% gränsvärde
- 3 A per laddpunkt
- Hälften av utrymmet för försämring tilldelas laddningen
- $N=11$  ( $\alpha=1$ )
- $N=19$  ( $\alpha=1.1$ )
- $N=30$  ( $\alpha=1.2$ )
- Bara liten aggregering gör att övertoner inte är något stor problem; men man vet inte vad aggregeringsexponenten kommer att bli.



- 15 -

## Mellantoner, Elbilsladdning



Det uppstår dessutom transienta mellantoner när laddningen går från ett läge till ett annat (strömsteg)

Jin et al., "Interharmonics in Active Distribution Network," IEEE Transactions on Power Delivery, Oct. 2018.



- 16 -

## Supratoner, EV

| Vehicle | Bandwidth | Frequency behaviour | Switching frequency                 |
|---------|-----------|---------------------|-------------------------------------|
| BEV 1   | Narrow    | Constant            | 10.03 kHz                           |
| BEV 2   | Narrow    | Variable            | 12 kHz, 28 kHz                      |
| BEV 3   | Wide      | Variable            | 6.55 kHz, 5.2 kHz                   |
| BEV 4   | Narrow    | Constant            | 11 kHz                              |
| BEV 5   | Narrow    | Constant            | 45 kHz and its multiples            |
| BEV 6   | Narrow    | Constant            | 10 kHz and its multiples            |
| BEV 7   | Wide      | Unknown             | highest emission centered at 60 kHz |
| BEV 8   | Narrow    | Constant            | 16 kHz                              |

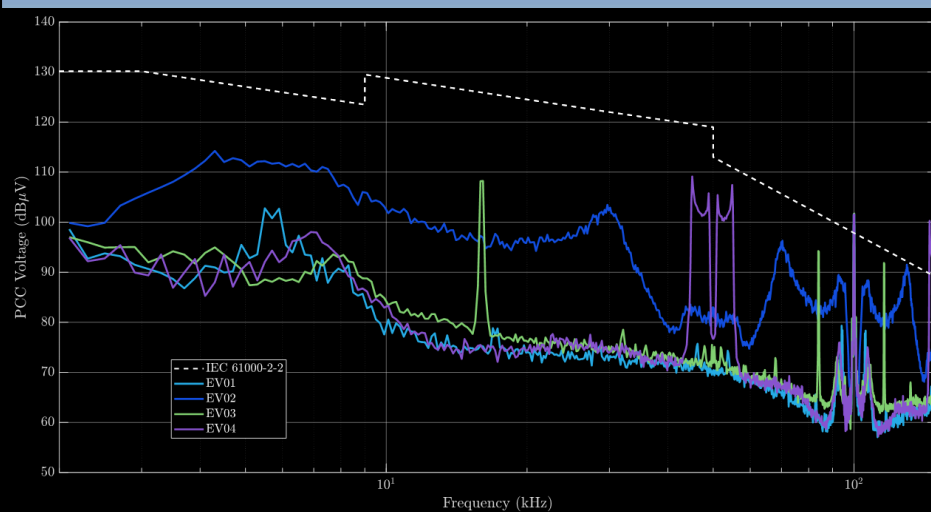
Källan: Sarah Rönnberg, Angela Espin Delgado, LTU





- 17 -

## Supratoner (2-150 kHz)

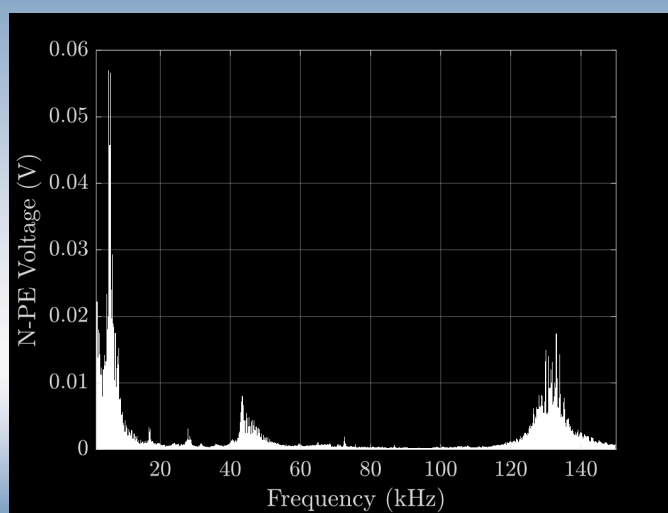


Källan: Angela Espin Delgado, LTU

LULEÅ  
UNIVERSITET

- 18 -

## Spänningen mellan fas och noll



Källan: Angela Espin Delgado, LTU

LULEÅ  
UNIVERSITET

- 19 -

## Spänningsobalans

- Enfaslast  $P$  ansluten till ett nät med styrkan  $S_k$  ger en minusföljdspänning (obalans) lika med:

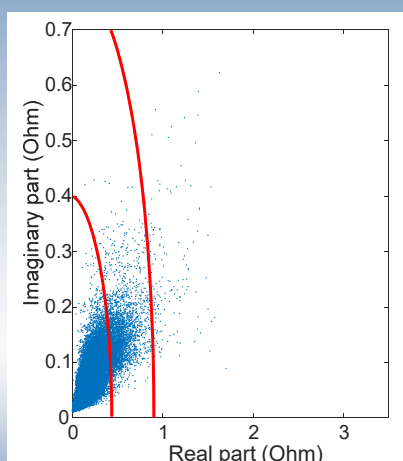
$$\frac{U_2}{U_{fas}} = \frac{P}{S_k}$$

- Högsta en-fas elbilsladdare: 7.4 kW (är i verkligheten snarare 3.6 kW); högst-tillåten obalans 1%
- Då gäller att nätstyrkan ska vara minst: 740 kVA
- Källimpedansen (plusföljd) får då högst vara: 0,4  $\Omega$
- Obs. det gjordes några förenklingar här.

- 20 -

## Källimpedans mer än 0,4 / 0,8 $\Omega$ (7,4 kW, 1% / 3,6 kW, 1%)

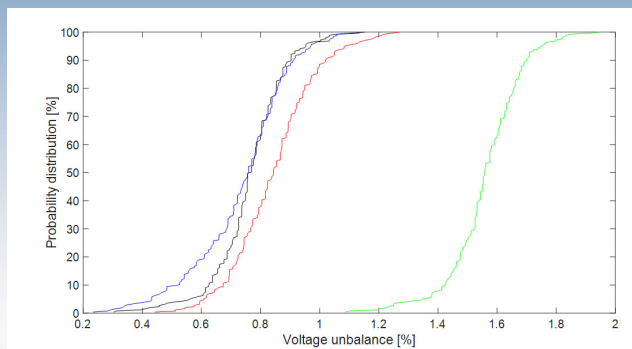
Distributionsnät med 50 000 kunder



- 21 -

## Påverkan av bakgrundobalans med eller utan 6 kW enfaser

Svart: bakgrund  
Röd, grönt, blå: anslutning i tre olika faser



Det spelar en stor roll på vilken fas växelriktaren anslutas

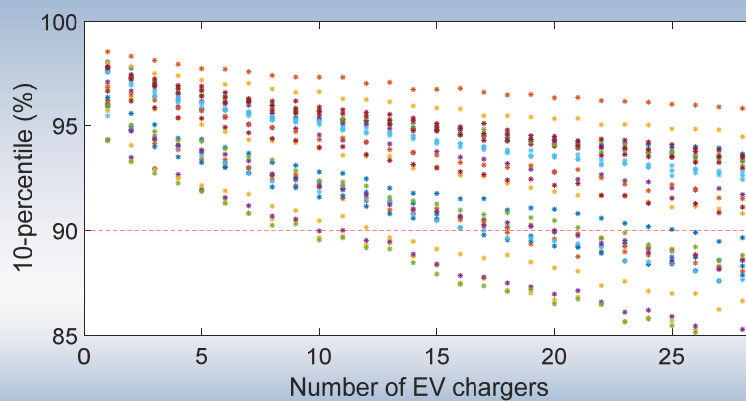
- 22 -

## Underspanning

- beror på installationsstorleken och källimpedansen (i princip Ohms lag)
- spänningsfall för en enfasininstallation är ungefär sex gånger spänningsfallet för en trefasininstallation med samma effekt

- 23 -

## Underspänning från elbilsladdning 6 kW enfasanslutna



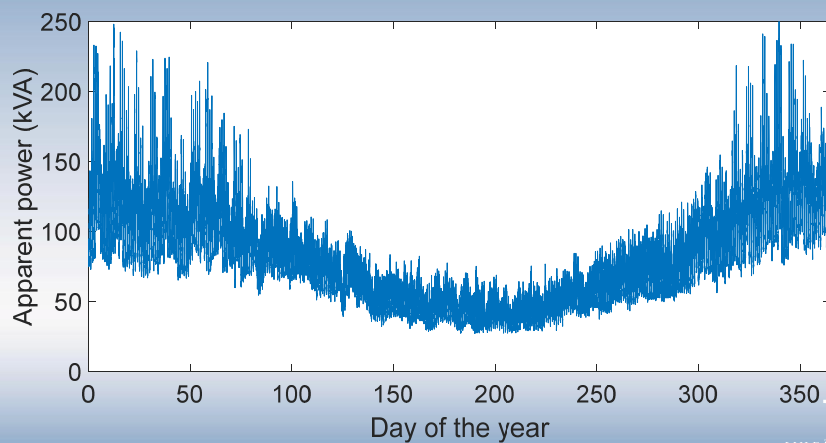
- 24 -

## Elkvalitet - sammanfattning

- Övertoner
  - Befintliga nivåer är låga, det finns utrymme till försämring
  - Det behövs studier om aggregering och dämpning vid resonanser
- Mellantoner
  - De finns vid elbilsladdning men detaljer är otydliga
  - Aggregering och konsekvenser är okända
- Supratoner
  - Elbilsladdning är en stor källa av supratoner
  - Det kan förväntas problem vid stora anläggningar
- Flimmer
  - Det uppstår ljusflimmer, som kan delvis förklaras men delvis inte
- Spänningssänkning och spänningsosymmetri
  - Det som saknas är data om befintliga nivåer

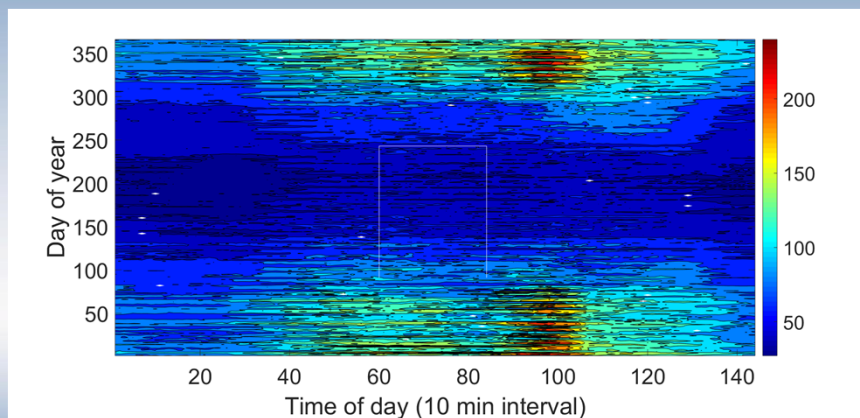
- 25 -

### Förbrukning över året 98 kunder, distributionstransformator



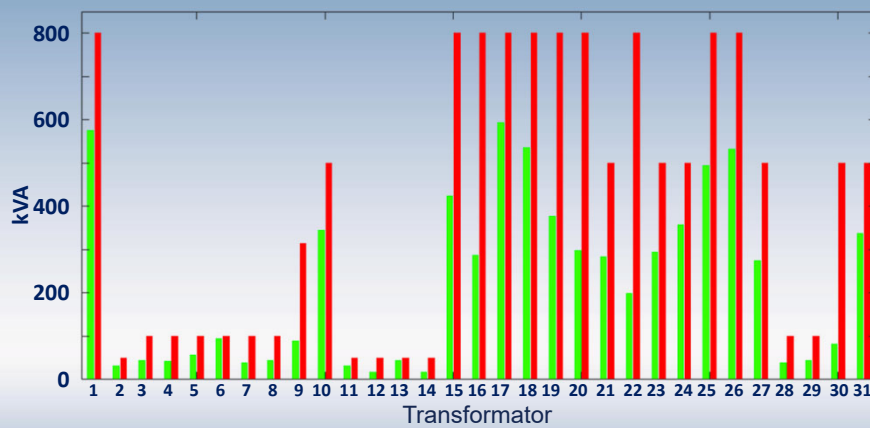
- 26 -

### Förbrukning över året och dagen (kVA genom en 800 kVA transformator)



- 27 -

### Liten statistik, belastningsmarginal 31 distributionstransformatorer

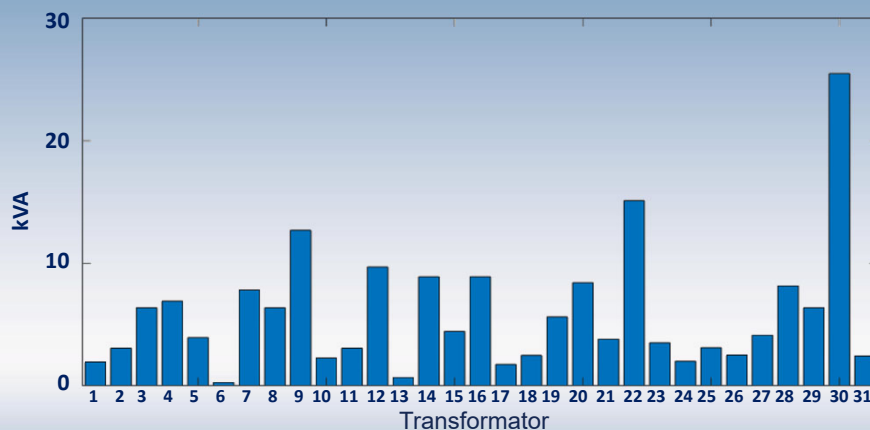


Märkeffekt (röd)  
högsta förbrukning (grön)



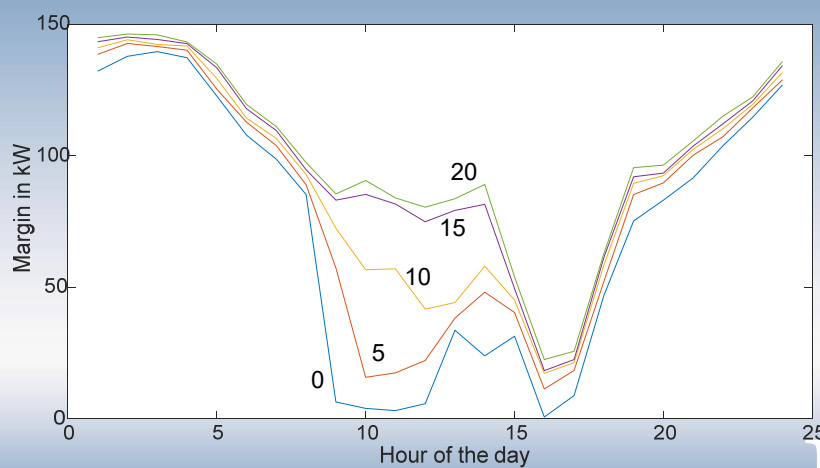
- 28 -

### Marginal för ny förbrukning per kund 31 distributionstransformatorer



- 29 -

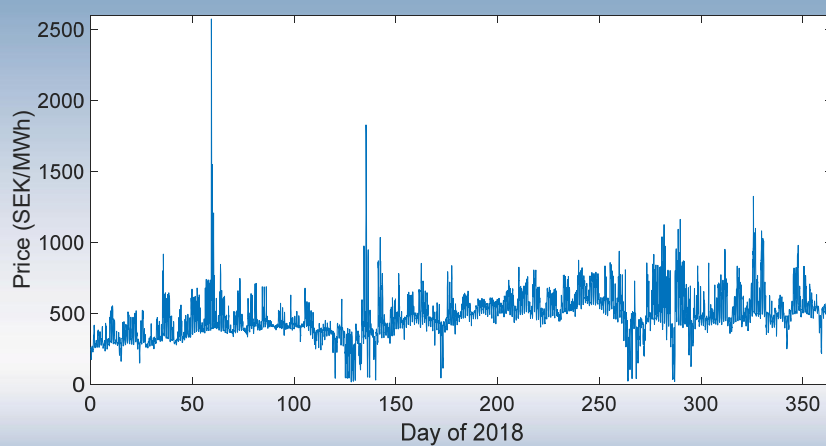
### Marginal vid tillåten nedstyrning (antalet timmar med nedstyrning, 92 kunder)



LULEÅ  
TEKNISKA  
UNIVERSITET

- 30 -

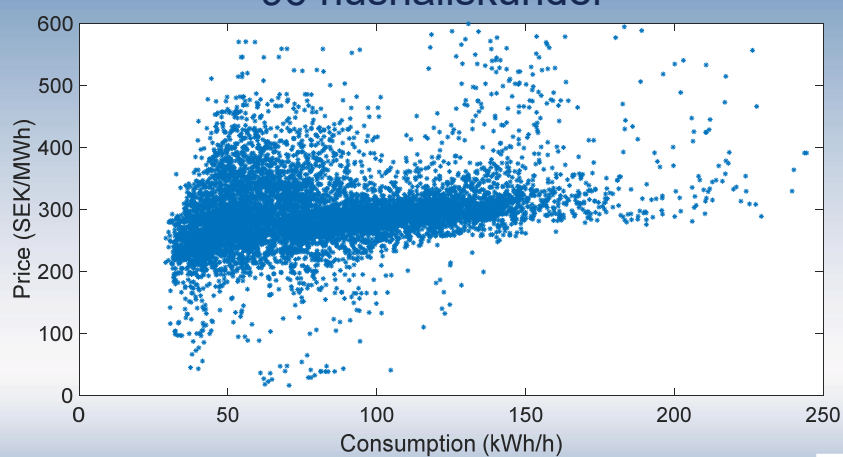
### Elpriser (per timme) för SE4 under 2018



LULEÅ  
TEKNISKA  
UNIVERSITET

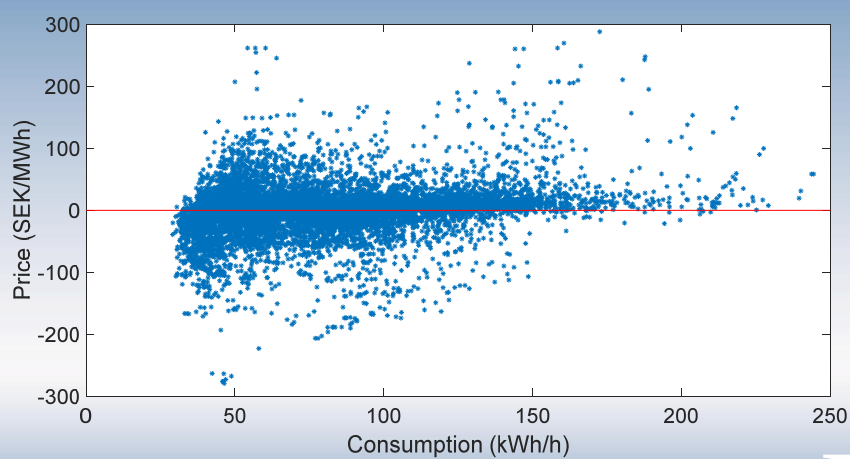
- 31 -

### Priset mot lokalförbrukning 96 hushållskunder



- 32 -

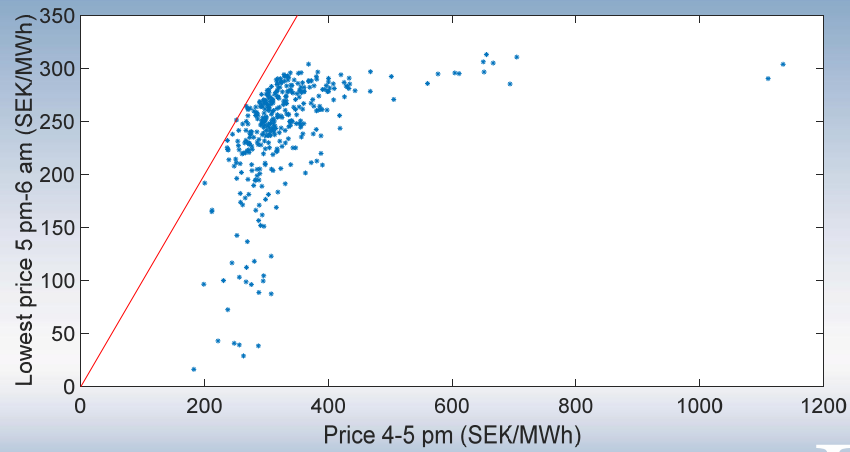
### Relativa priset mot lokal förbrukning





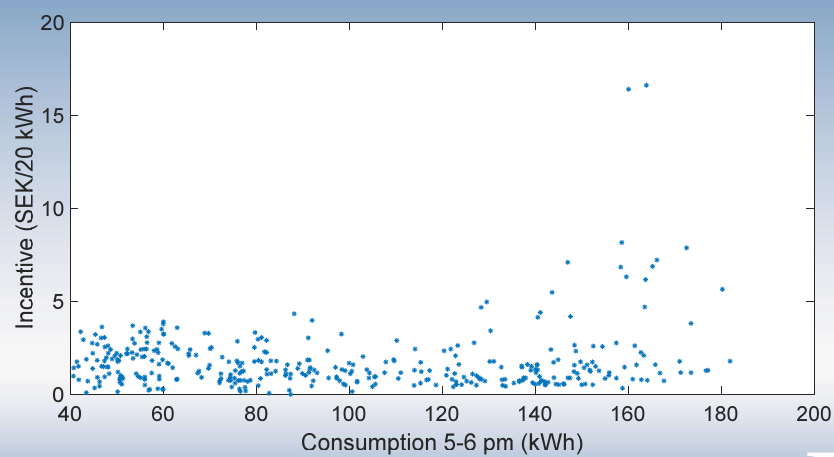
- 33 -

### Incitament för att ladda under natten



- 34 -

### Incitament mot förbrukning



- 35 -

## Elbilar och elmarknader

- Det finns 4,87 miljoner bilar i Sverige (2018)
  - Antar att alla kommer att bli elbilar
- Antar 40 kWh laddningskapacitet (Nissan Leaf)
  - Totala laddningskapaciteten: 195 GWh
  - 0,16% av årsförbrukning (126 TWh i 2018)
  - 56% av genomsnittlig förbrukning per dygn
- Antar 3,7 kW effekt per bil
  - Totala tillgängliga effekten: 18 000 MW
  - 64% av högsta förbrukning i Sverige (28 000 MW)
  - 125% av genomsnittsförbrukning
  - 110% av installerad effekt vattenkraft



- 36 -

## Källan av balanskraft

- Bortfall av största produktionsenhet i Sverige
  - 1200 MW underskott på balansen
  - ... det kräver 6,5% av bilar som matar in 3,7 kW/bil
  - De kan ersätta produktionsenheten under 10 timmar
  - ... dvs att 15 minuter kräver 2,5% av deras laddningskapacitet



- 37 -

## Störningstålighet av elbilsladdning

- Kraftelektroniska omriktare är känsliga mot spänningsdippar och andra störningar
  - En spänningsdipp som uppstår i stamnätet kan leda till bortfall av många laddare på samma moment
  - Det kan leda till en obalans mellan förbrukning och produktion med instabilitet som konsekvens
- Det finns krav på störningstålighet av storskalig produktion men inte för elbilsladdning eller annan förbrukning



- 38 -

## Bara en uppskattning

- Det finns 1 378 481 bilar kring Stockholm
  - Stockholm län, Uppsala län, Västmanland, Södermanland
  - SCB, 2018
- Laddas med 3,7 kW
  - 5100 MW förbrukning
- Tappar man 20% av laddningen, då är det 1000 MW
  - Samma som ett kärnkraftblock
  - Plötsligt ändring i belastningsfördelning kring Stockholm
  - Behov på 1000 MW nedreglering
- Kommer de automatiskt tillbaka eller blir de oladdade?



## Slutsatser

- Elbilar kommer att påverka nätet på något sätt i alla fall
  - på många ställen i nätet verkar det finnas en hel del utrymme kvar (hög acceptansgräns)
- Det finns brist på en del kunskaper (forskningsbehov)
  - bland annat om aggregering av övertoner och mellantoner
  - om vad som egentligen ger ljusflimmer vid LED belysning
- Det saknas en del information, bland annat
  - befintliga nivåer av bland annat spänningsvariationen i lågspänningsnät.
- Det finns brist på kunskaper
  - hur stora anläggningar (snabbladdning, bussar, truckar, elvägar) påverkar nätet.
  - Påverkan på mellanspänningsnätet