

Påverkan på elnätet av storskalig utbyggnad av solel och elbilsladdning

Nicholas Etherden
Vattenfall R&D

2020-01-29



VATTENFALL

Vem är jag?

Nicholas Etherden, Vattenfall R&D

- Teknisk fysiker från Uppsala
- ABB 2001-2015, varav sista 7 åren på Swedish Transmission Research Institute, STRI, Göteborg
- Industridoktorand 2010-2014 LTU elkraftgrupp i Skellefteå
- Sedan 2015 på Vattenfall Eldistribution och Vattenfall R&D
 - Nätets acceptansgräns för nya laster och produktion
 - Gamla synder: Kommunikation i elnät (IEC, Cigré)
 - Nya lustar: Teknisk expert för Vattenfall solcells försäljning och deltar i EU projektet Coordinet med lokala kapacitetsmarknader
- Sedan 2020 20% lektorstjänst på LTU



Vad ska jag prata om?

- **Elnätets utmaningar**
- **Det våras för solen och snart säljs sista fossilbilen**
- **Påverkan på elnätet av storskalig utbyggnad av sol och elbilsladdning**

Andelen bilar som drivs med el ökar och även sol börjar synas på allt fler tak i Sverige. Hur klarar elnätet av att hantera inflöden av stora mängd lokalproduktion och påfrestningar från en helt elektrifierad bilpark som laddas hemma vid? Nicholas Etherden är disputerad i elkraft och har arbetat många år hos ABB. Han är senior specialist med fokus på solenergi hos Vattenfall R&D i Solna samt medlem av LTU forskningsgruppen om elkraft.

15.00-15.45

Nicholas Etherden, Vattenfall

LTU Elkraftteknik

.. finns i Skellefteå



- 2,25 professorer
- 3 ytterligare seniora forskare
- 16 doktorander
- 2 forskningsingenjörer
- 100 studenter på högskoleingenjörprogrammet Elkraftteknik



Högskoleingenjör Elkraftteknik

Programöversikt

Utbildningsplan

Obligatoriska kurser

Läsordning

Nyheter och aktuellt

Frågor och svar

Möt en student

Möt en lärare

Möt en alum

Se studiemiljön

Kontakta oss

Din studietid hos

Programöversikt
Högskoleingenjör ElkraftteknikSVENSK
energi

PRESSMEDDELANDE PRESSMEDDELANDE PRESSMEDDELANDE

2014-02-26

Till sommaren utexamineras de första högskoleingenjörerna med inriktning på elkraftteknik som därmed genomgått den unika distansutbildning som elbranschen startade i samarbete med de tre nordligaste universiteterna – Luleå Tekniska Universitet, Mittuniversitetet och Umeå Universitet – för tre år sedan. "Studenterna får en bra arbetslivsanknytning som berikar utbildningen, samtidigt som vi kan förse branschen med den välutbildade arbetskraft som de är i behov av", säger Anders Söderholm, rektor vid Mittuniversitetet.

**Elbranschens egen högskoleingenjörsutbildning:
"Framgång för tre universitet och för branschen"**

Kjell Jansson, Svensk Energis vd, är stolt över att den här satsningen blivit en enda framgångssaga:

– Satsningen är unik för branschen. Utbildningen har också inneburit att universiteterna har samverkat på ett helt nytt sätt. Sedan är det roligt att utbildningen är för år lockat nytt rekordstort antal förstahandsökande till de 90 utbildningsplatserna.

Energibranschen har ett mycket stort rekryteringsbehov de kommande fem åren – cirka 8 000 ingenjörer och tekniker med antingen energi- eller elkraftutbildning. Utbildningssystemet klarar dock inte av att täcka det behovet. Kjell Jansson igen:

– För att säkra rätt kompetens har elbranschen helt enkelt tagit saken i egna händer. De medlemsföretag som är garantifinansiärer för utbildningen agerar mycket framsynt.

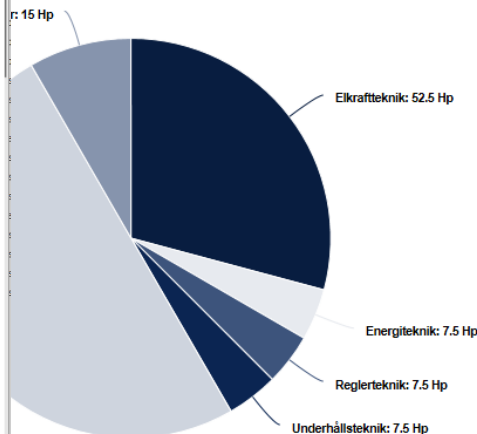
Som finansierare för den första treårsperioden återfinns dessa företag: Bodens Energi, Fortum Power & Heat, Härjeåns Nät, Härnösands Elnät, Jämtkraft, Luleå Energi Elnät, PiteEnergi, Skellefteå Kraft, Statkraft Sverige, Sundsvall Elnät, Umeå Energi Elnät, Vattenfall och Åsele Kraft. Utbildningen motsvarar 180 högskolepoäng.

Yvonne Ruwaida satsar på elbranschen

En av eleverna, som går ut till sommaren, är Yvonne Ruwaida – mångårig politiker för miljöpartiet, både som riksdagsledamot och senast oppositionsborgerlig i Stockholm. Hon

s i programmet.

Distansutbildning med möjlighet till praktik över hela landet i samarbete med Svensk energi!



Solceller och elbilar

- Solcellsanläggningar
 - Minskar nettoförbrukning
 - “bra för elen”
 - “bra för energin”
- Laddning av elbilar
 - Ökar nettoförbrukning
 - “inte bra för elen”
 - “bra för energin” (oftast)
- Men det är inte så enkelt när det gäller påverkan på elnätet.

Hur påverkas kraftsystemet av PV och EV?

- Beror på hur mycket det finns
- Lokal påverkan kan finnas redan vid första enhet
- Distributionsnätet kommer att påverkas vid flera enheter i samma distributionsnät
- Region- och stamnät kommer att påverkas först om det finns stora mängder mikroproduktion i samma del av landet

Lokal påverkan

- Spänningsökning eller spänningssänkning
- Obalans

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



Distributionsnät

- Överbelastning av kabel, ledning, transformator
- Sammanlagring från flera källor
 - Spänningsökning
 - Obalans
 - Övertoner
- Spänningsreglering
- Övertonsresonanser
- Skyddsproblematik
 - Felutlösning, utebliven utlösning och okontrollerad ödrift



Region- och stamnät

- Ändrade och nya effektflöden samt minskning av antalet kraftstationer i drift påverkar spänningshållning och leder till överbelastning
- Minskning av antalet kraftstationer i drift ger en ökning av flimmernivåer och spänningsdistorsion.
- Elbilsladdning kan delvis kompensera detta
- Flera och alvarligare flaskhalsar i regionnet

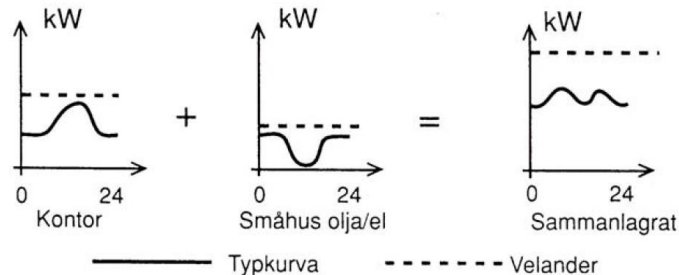


Elproduktion i distributionsnät

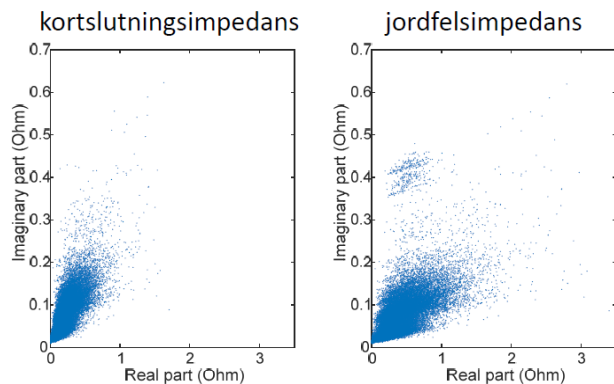
- Distributionsnätet är inte byggd för produktion
- Men det går att ansluta
- Nätet klarar små mängder
 - . . som ibland även förbättrar nätets prestanda
- Men det finns gränser
- Acceptansgränsmetoden är en transparent metod för att bedöma hur mycket kan anslutas.
- Metoden möjliggör en diskussion mellan intressenterna

Så hur blir då påverkan från sol och elbilar?

- På makronivå (regionnät) beror påverkan på
... sammanlaggring



- På lokal nivå (lågspänningsnät) beror påverkan på
.... läge, läge och läget



Källan: Energiforsk rapport 2018:506

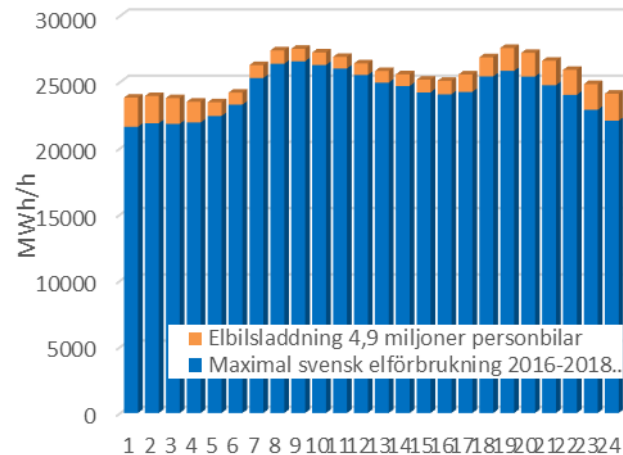
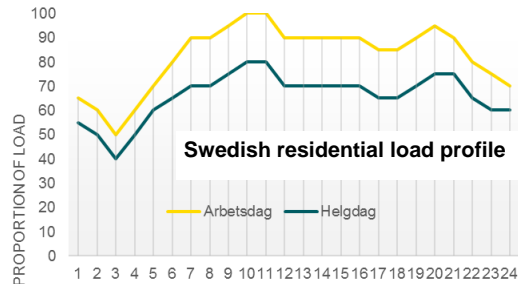
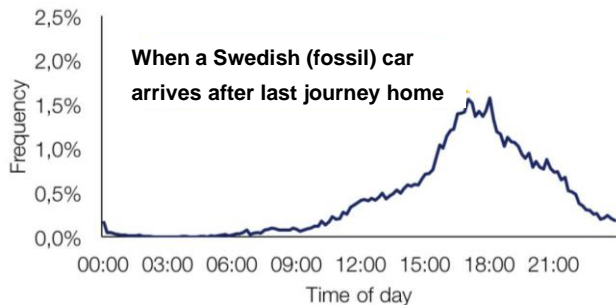


*Källimpedansen
(50 000 anslutningspunkter)*



Påverkan nationell nivå av elbilar

- Första frågan: Hur mycket energi går det år? 4,9 miljoner bilar. Privat bil rör sig 3% av tiden. Kör i snitt 35 km/dag. Med 0,2 kWh/km sommar och 50% mer på vintern → Att helt elektrifiera privatbilar skulle öka Sveriges elanvändning med 8%
- Andra frågan: När laddas de? När (fossil) bil avslutar sin sista körning → på kvällen
- Tredje frågan: med vilken effekt. Vanligt uttag 10-15A, 3,6 kW → 6 % ökning topp last



- Osäkerhet består i: Var de laddas hemma, på jobbet publikt?
- Eller kanske som fossil bil en gång i veckan? (Då batteri ofta stort nog för en veckas körning).

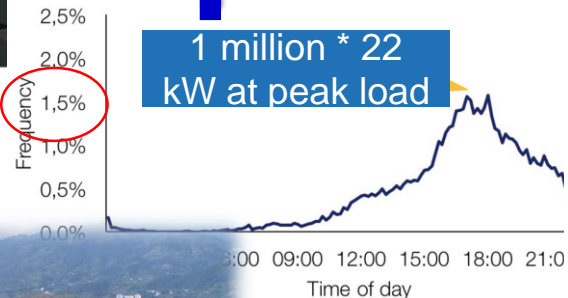
Ökning dagen 2016-2018 - om alla svenska privatbilar hade varit helelektriska

Laddeffekt då, avgör inte det nätpåverkan?

- Det är lätt att göra bort sig... (och har förekommit i debatten)



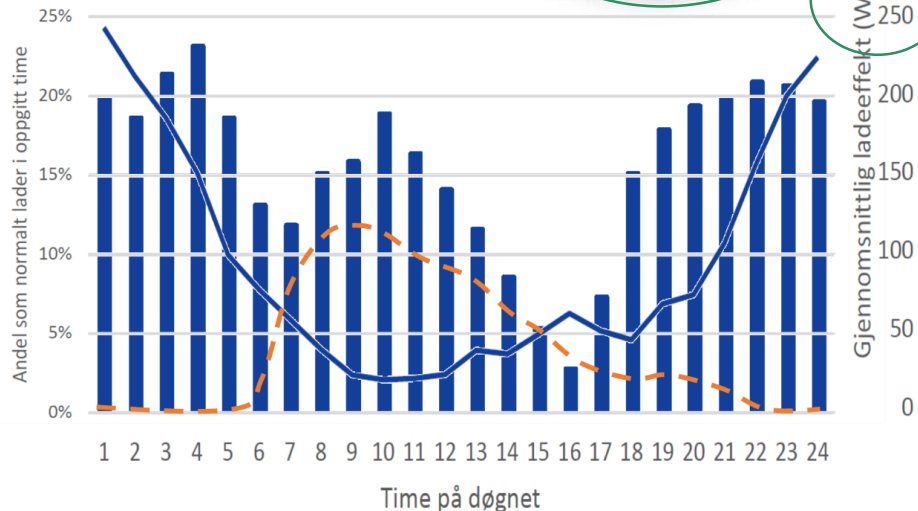
1 million * 22 kW at peak load



FALSE

(Värdet ovan skulle multiplieras med frekvens)

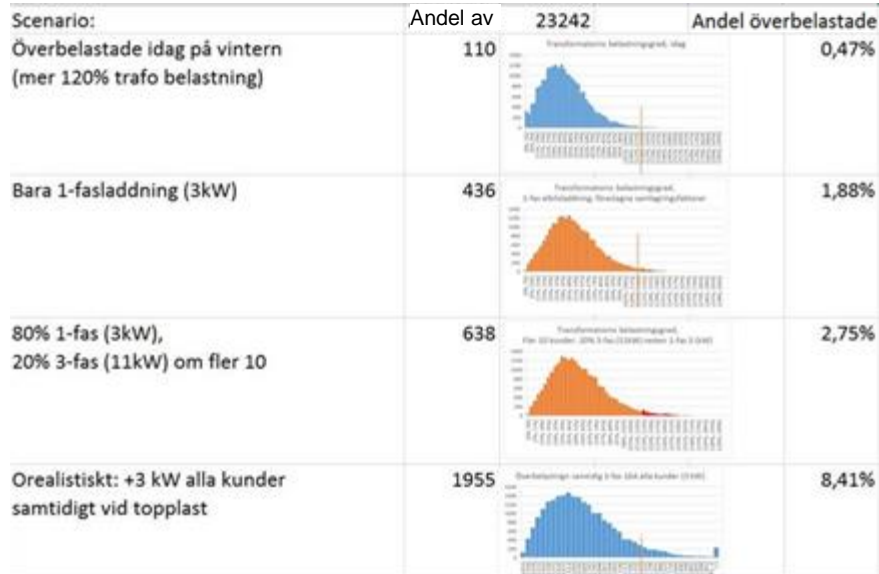
- Att mäta är att veta



Figur 6 Elbilsladdning i Norge: Linje/högra skalan uppmätt genomsnittlig effekt för hemmaladdning (blått) och arbetsladdning (orange) [Sinteff 2012-2015]. Staplar/vänster skala: svar på enkätundersökning om laddvanor från 400 norska elbilsägare. Återgivet från [4].

Laddeffekt då, avgör inte det nätpåverkan?

- Ja, på lokalnivå har det stor inverkan



Överbelastning för drygt hälften Eldistributions 10-20/0,4 kV nätstationer vid olika laddning

- Snabbladdningsstation löses fall till fall på traditionellt sätt för nätplanerare
(Totala energi lika hur man än laddar)

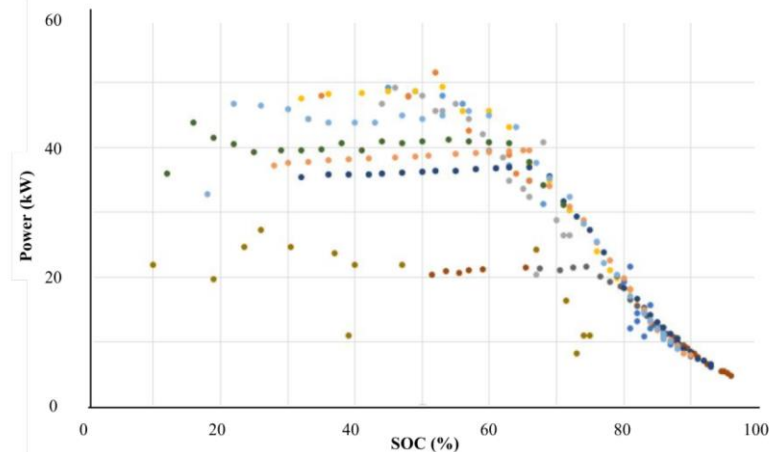
- Nja, på makro (region) nivå mindre inverkan

- 1-fas hemmaladdning 3,6 kW: 20% laddas samtidigt
- 3- fas 11 kW: bara 10% laddas samtidigt

Källa: Mahmoud Shepero, Uppsala Universitet

- Med snabb laddning måste dessutom batteriet vara tomt för full laddeffekt

- Laddar ofta → högre sammanlagring men lägre effekt



Figur: Laddeffekt från BMW i3 beroende på batteriets laddning (State of Charge, SoC). Olika färger för laddning olika dagar och laddstationer.. Källa Electrify Atlanta, 2017 återgiven från [4].

Hur påverkas kraftsystemet av PV och EV?

- *Exempel av påverkningar*

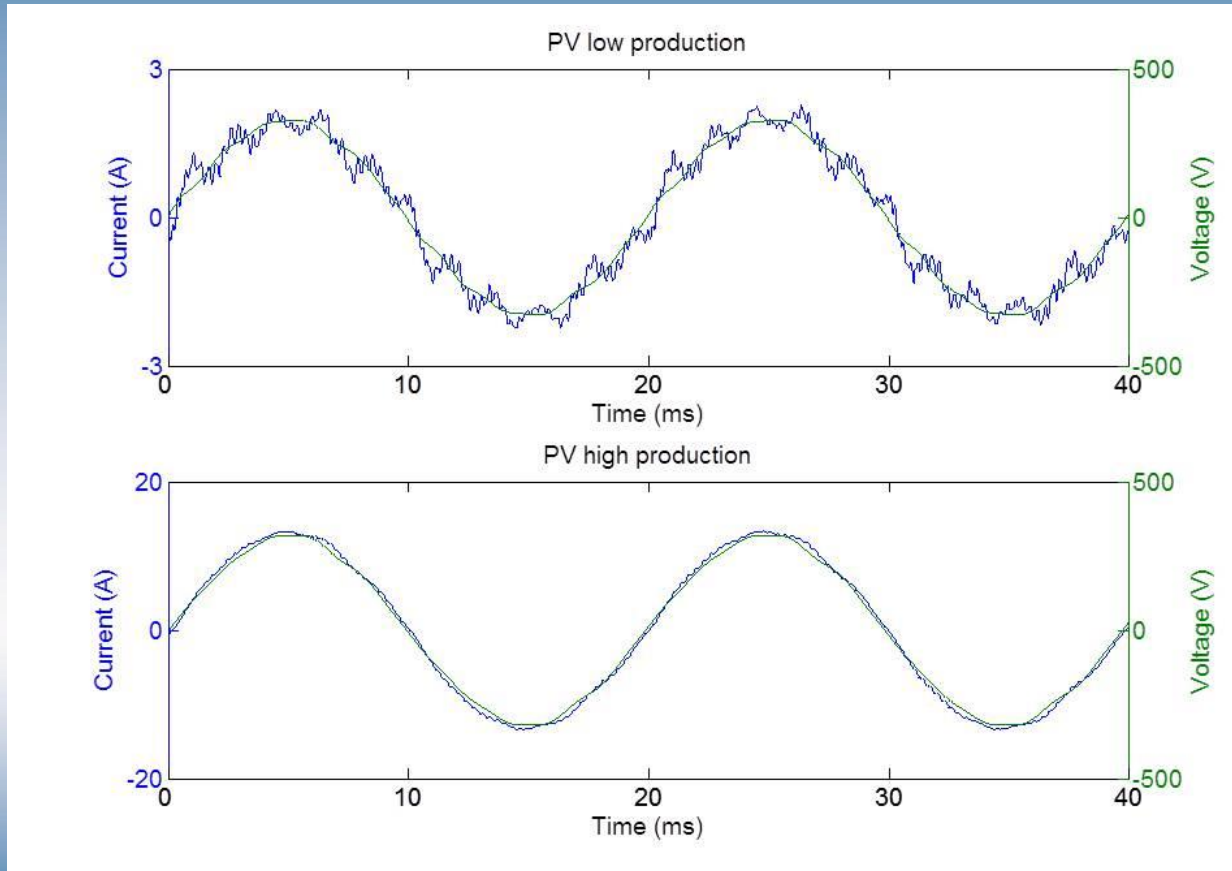
- *Överbelastning*
 - *Överspänning*
- } *Acceptansmetoden uppskatta mängd utan oacceptabel påverkan andra nätanvändare*

- *Övertoner och supratoner*
- *Snabba spänningsvariationer och flimmar*
- *Obalans*
- *Frekvensvariationer*
- *EMC (radio) störning*
- *Påverkar reläskyddsinställningar*

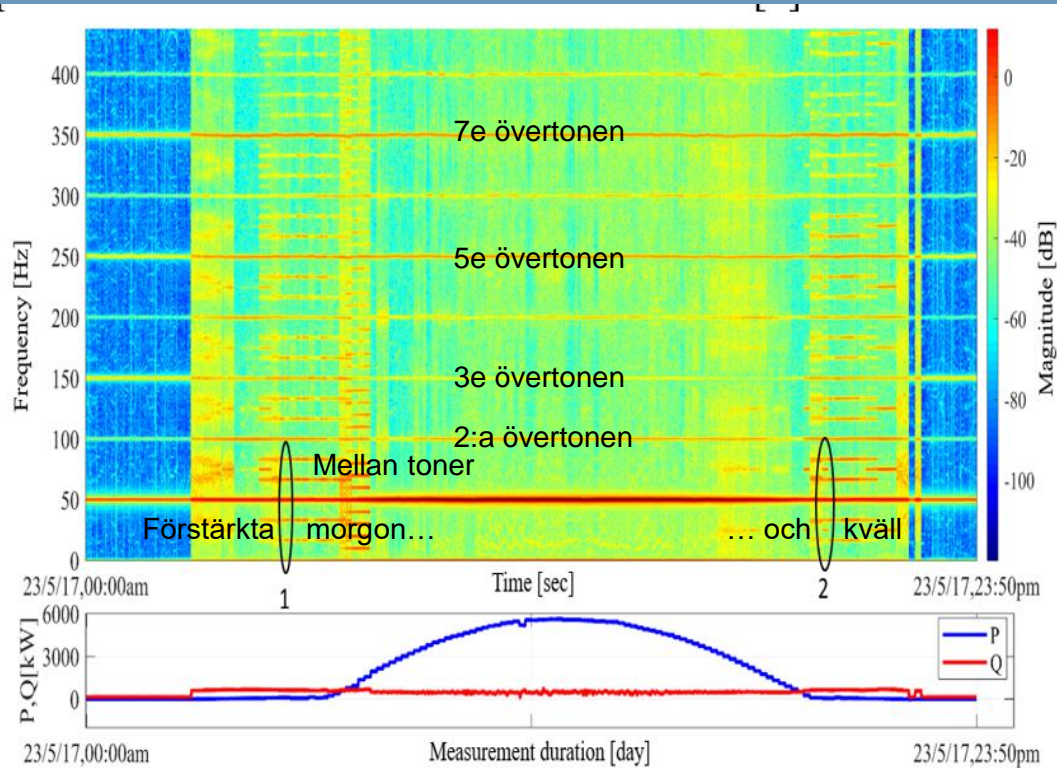
} *Mätning är viktigt
(och modeller svårare)*

Övertoner - Vågformsdistorsion PV anläggning

Källan: Sarah Rönnerberg, LTU



Övertoner och solceller

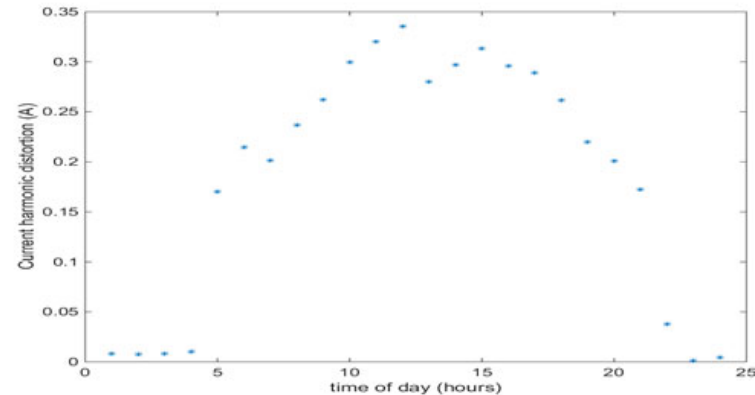
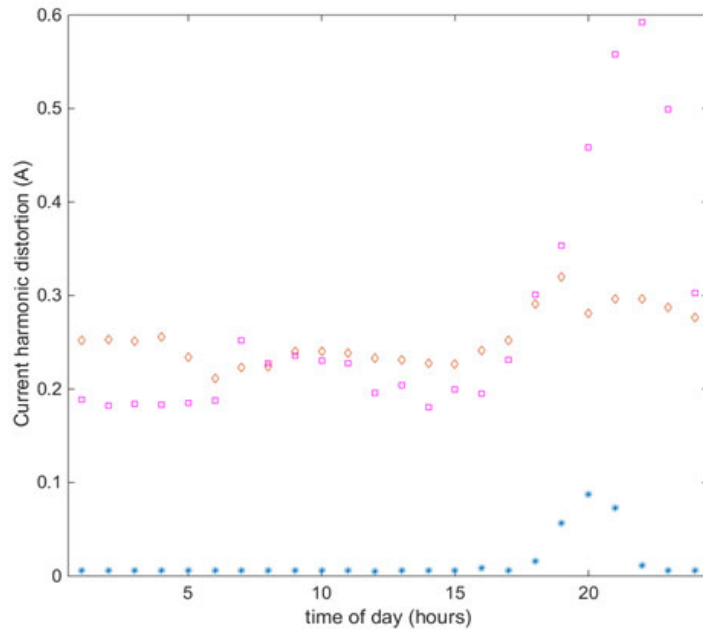


- Mellan toner = Icke-heltals multipel av 50 Hz (tex 18 Hz
- Finns ibland när solen står lågt
 - Finns inga konkreta gränsvärden
 - Behövs lite mer uppmärksamhet innan man kan avfärda det som ett icke-problem (dvs ingen påverkan elektronik etc.)

Fig. 1. The spectrum of grid current variations for one day [9].

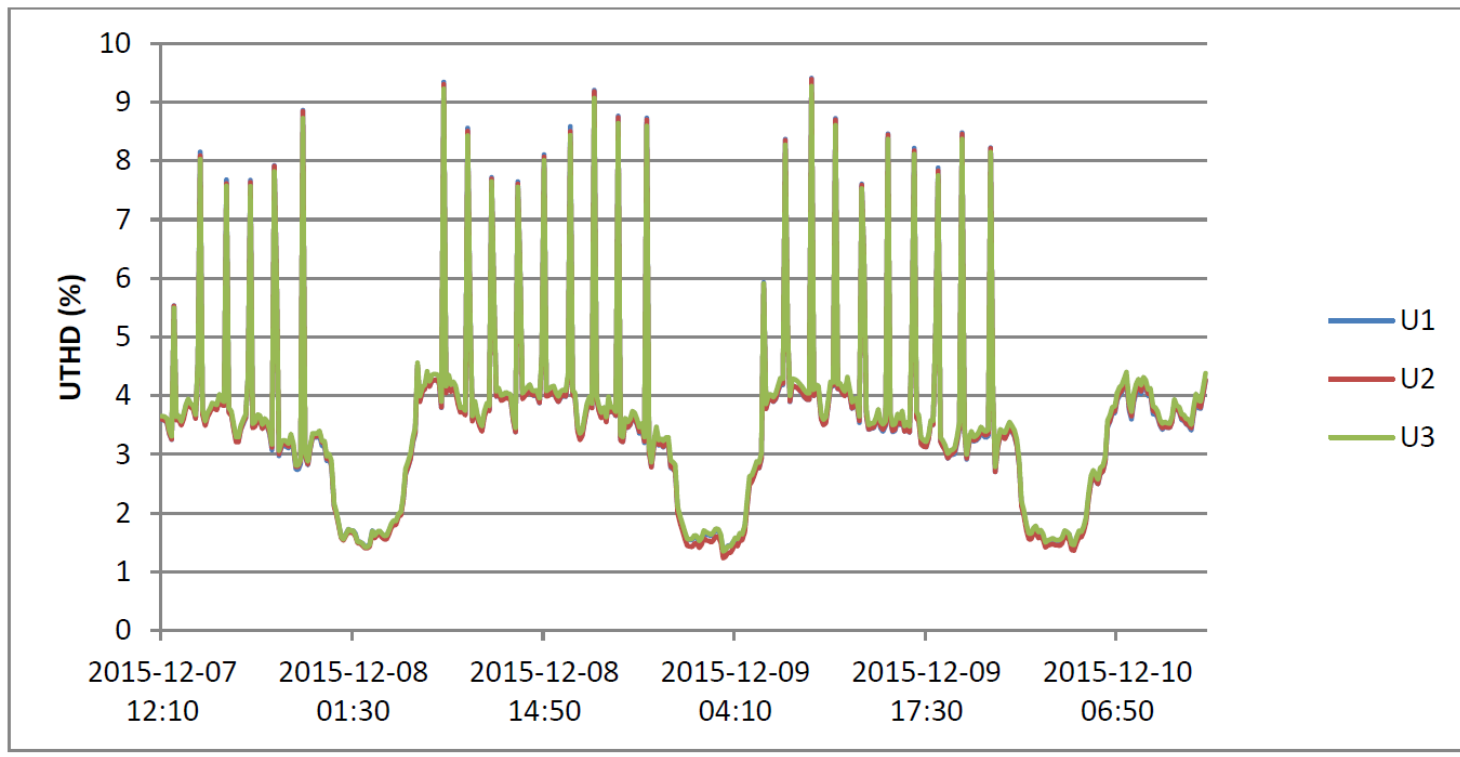
Övertoner

- Emission av övertoner från mikroproduktion är låg och det finns ingen anledning särskilda studier på detta
- Hushållskund utan solceller Solcellsanläggning



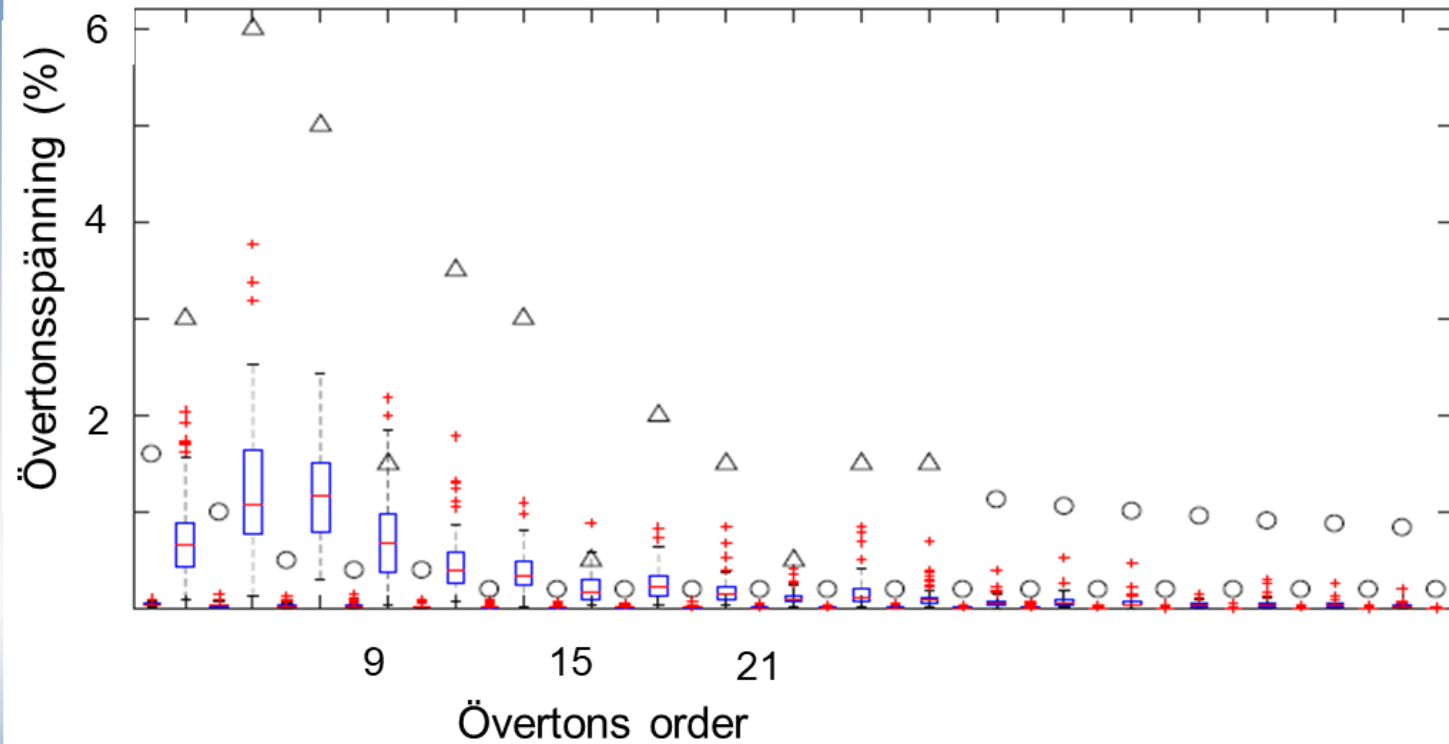
THD i spänning nära laddning av elbussen

Maria Lindberg, exjobb Umeå, 2016



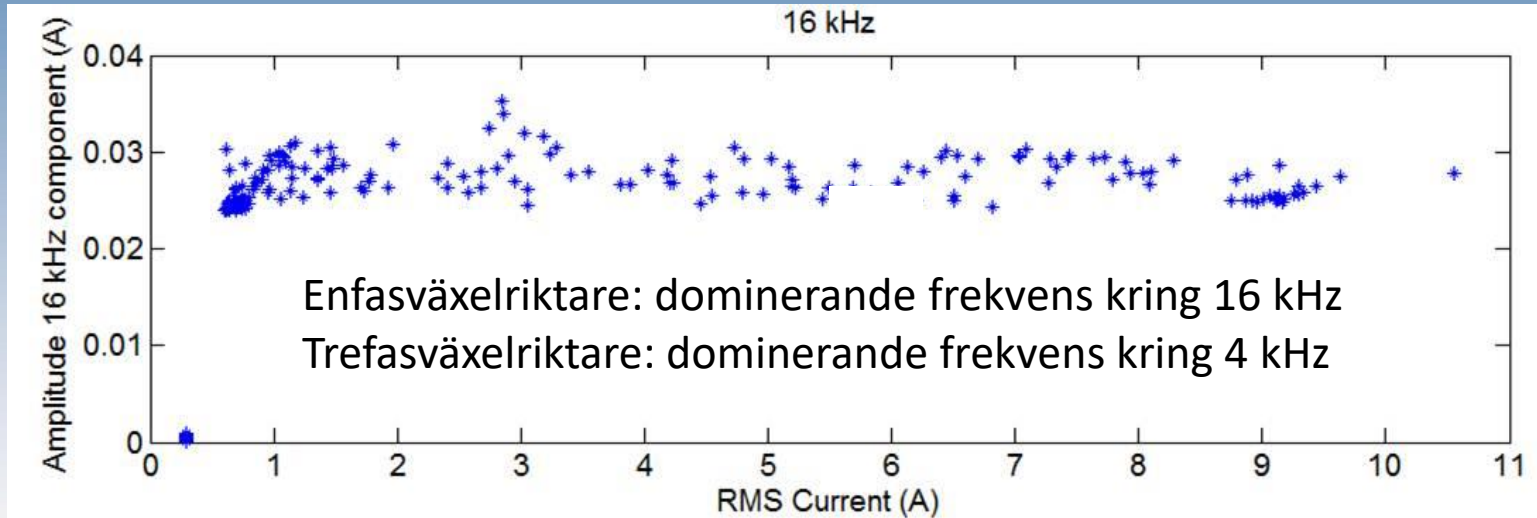
Marginal i spänningsdistorsion 92 mätställen i Sverige

Sarah Rönberg, CIRED 2019



Supratoner - 2.5 kW solpanel

16 kHz signal mot produktionen



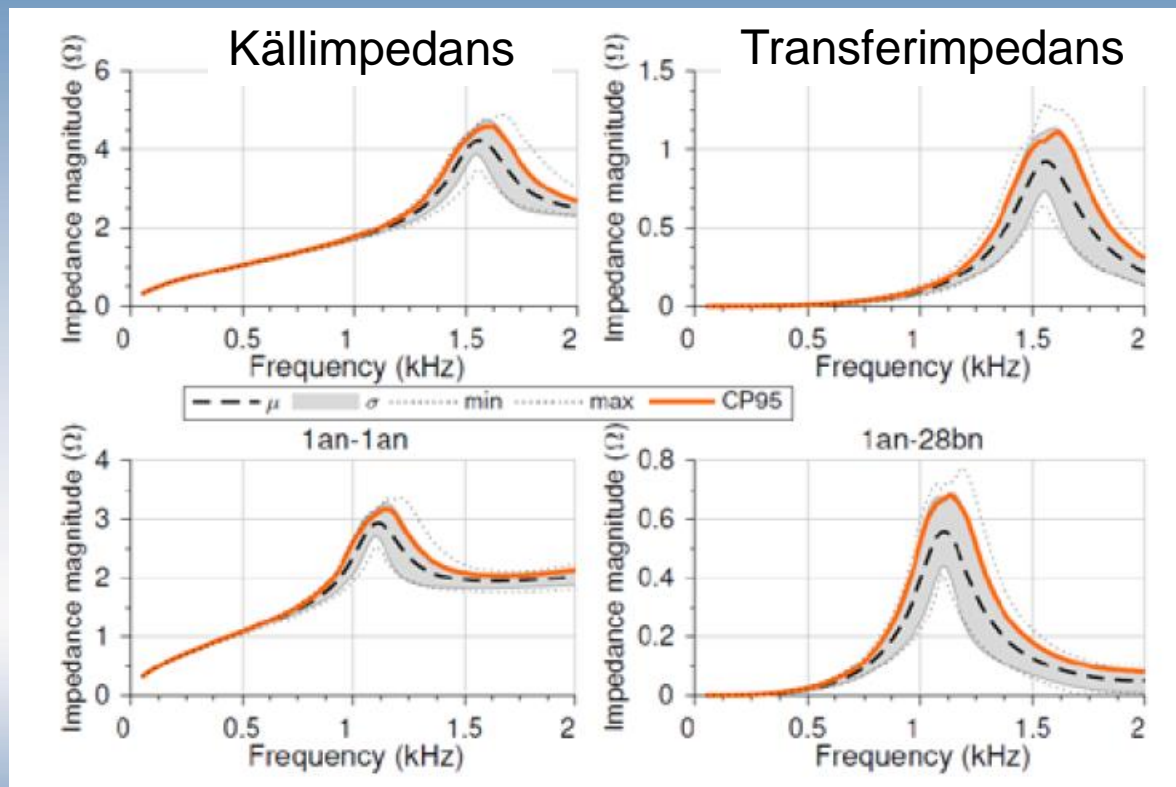
Källan: Sarah Rönnerberg, LTU



Övertoner

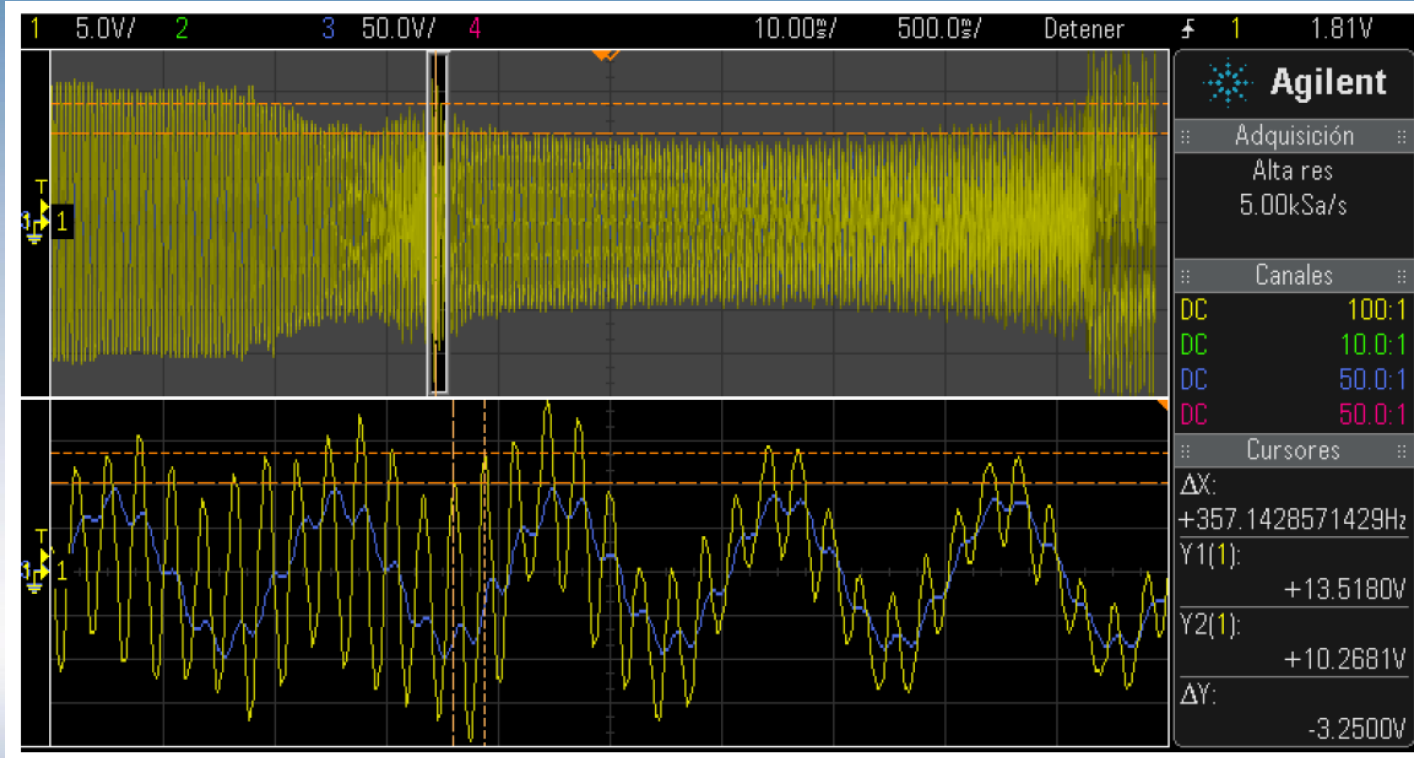
- Kapacitans från växelriktare flyttar resonansen till lägre frekvenser

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



Instabilitet vid solceller och batterilager tillsammans i ödrift

Nicholas Etherden, ICREPQ 2014

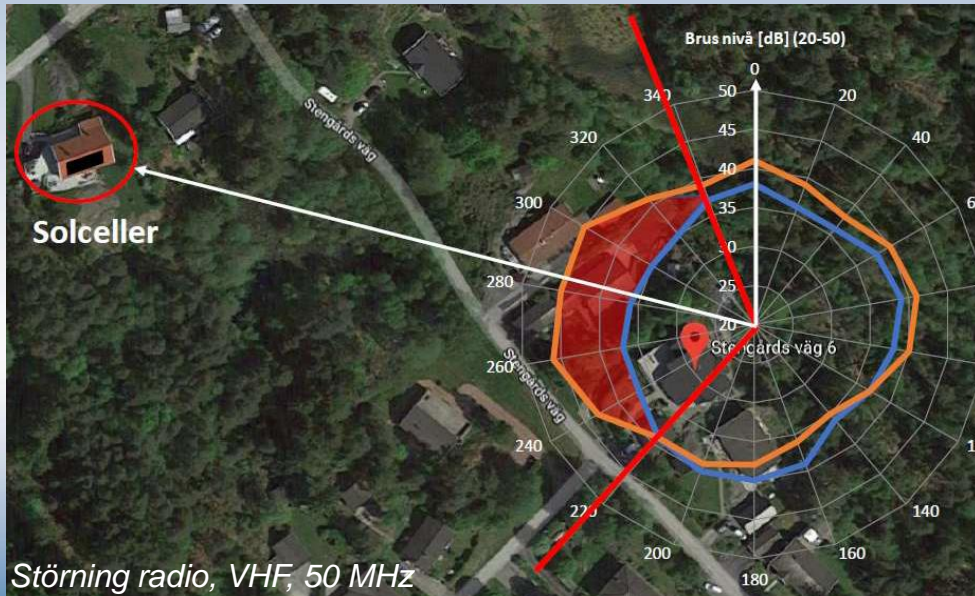


Flimmer

- Brukar inte vara något problem med mikroproduktion
- Det har rapporterats problem med styralgoritmer av växelriktaren som ger flimmer; men det är inte ett vanligt problem
- Inga allmänna studier anses behöva

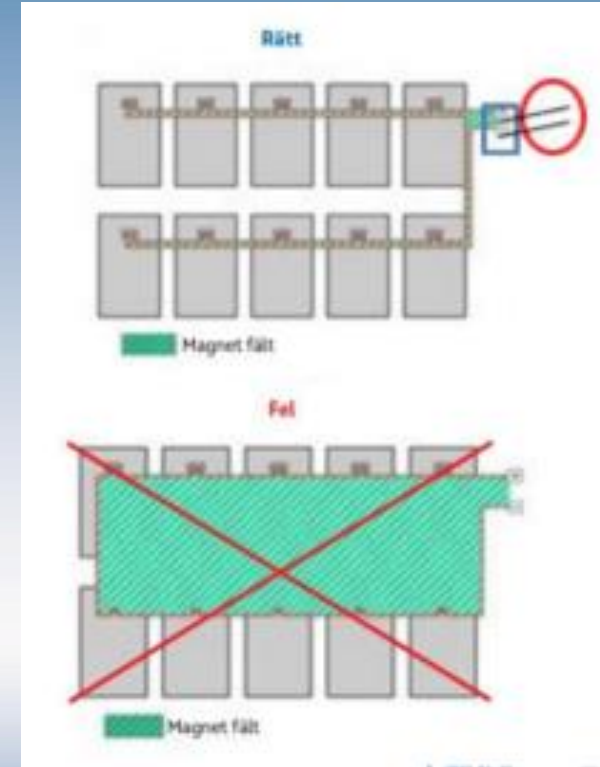
EMC, radio störning

- Troligen produktfel (dålig filter, fel dragen DC strängar) eller större problem



Störning radio, VHF, 50 MHz

Källa: Elsäkerhetsverket Henrik Olsson



Reläskydd

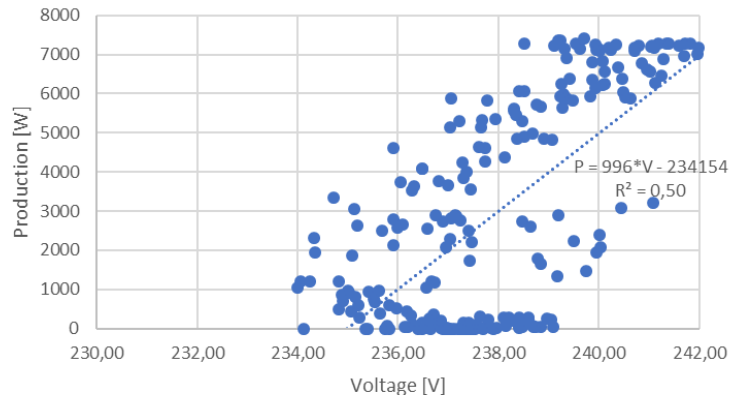
- Påverkan på tillförlitlighet
- Felutlösning och utebliven utlösning
- Värst med synkronmaskiner men även asynkronmaskiner och växelriktare påverkar
- Ett extra tidssteg hjälper ibland men med mycket mikroproduktion behövs det riktade överströmsskydd
- Okontrollerad ödrift
- Värst med enheter ansluten till mellanspänningsnät
- Skydd mot ödrift äventyrar driftsäkerhet på transmissionsnivå

Växeriktare kan ge information om spänning och frekvens

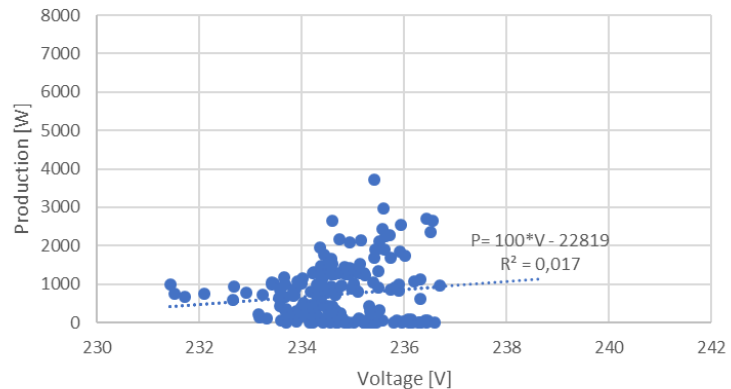
- As retailer monitor access >1000 sold PV in Sweden. 5 –minute data available:



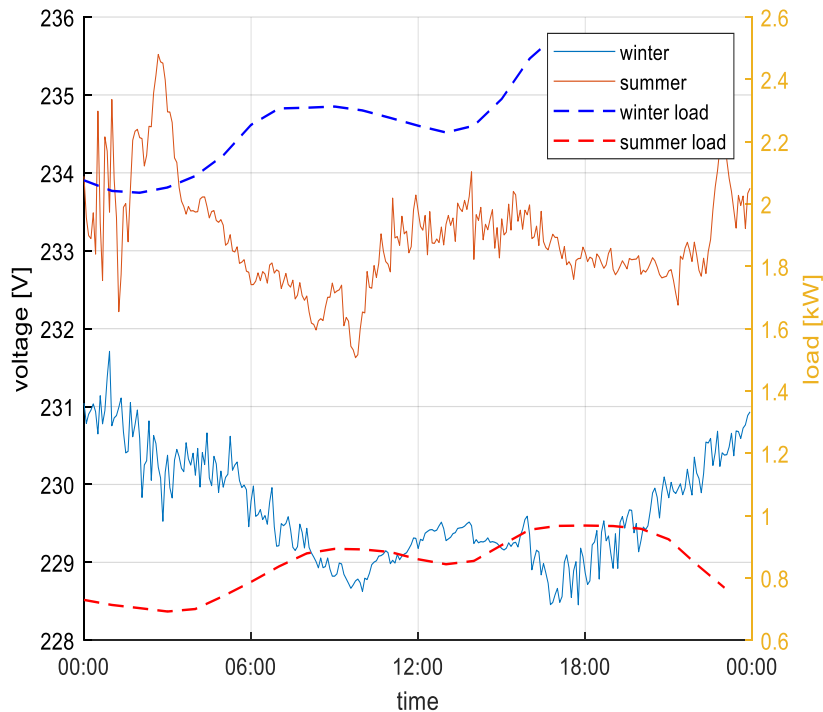
Voltage rise 9 kW_p in mid-July, high production



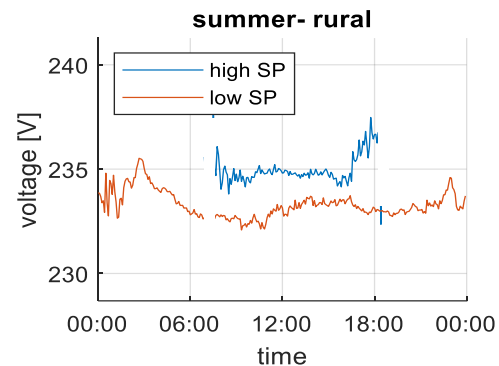
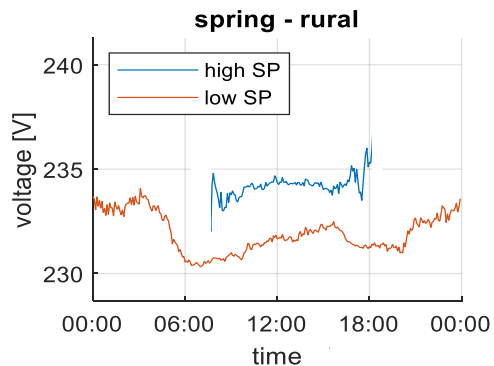
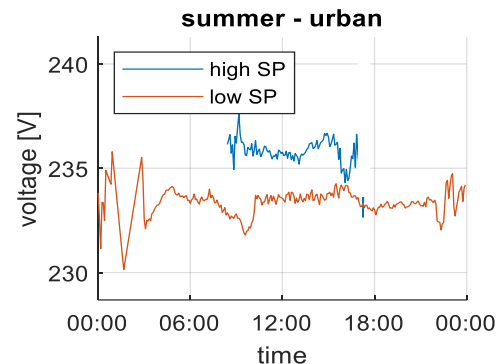
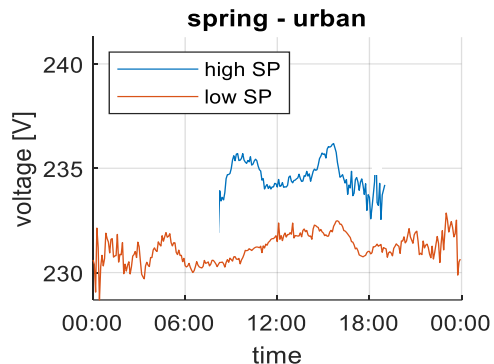
Voltage rise 5,6 kW_p early spring, low production



Växelriktare kan ge information om spänning och frekvens

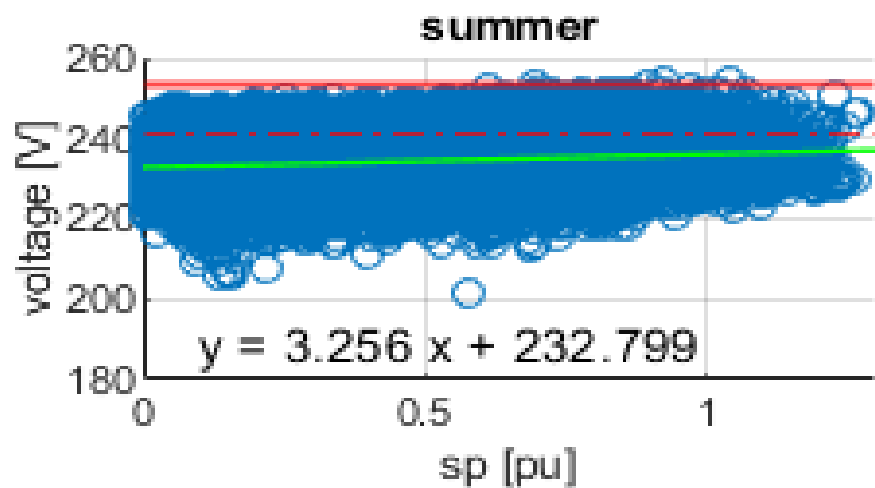
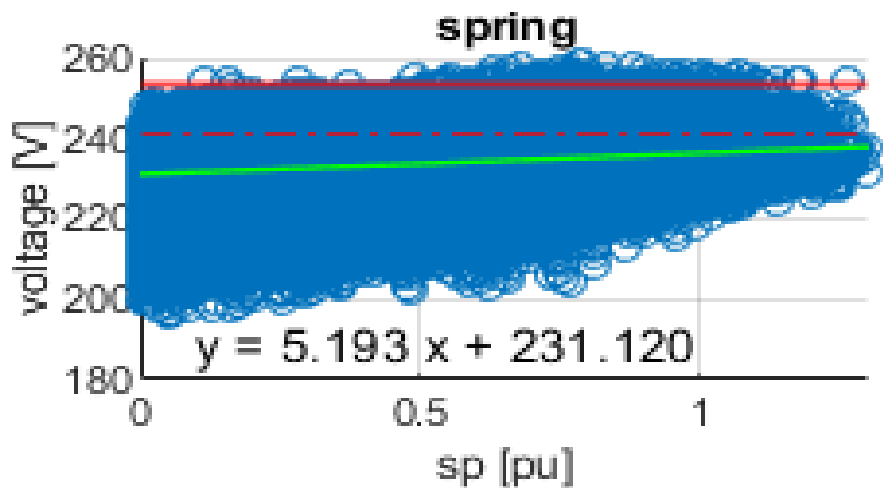


Genomsnittlig spänning sommar och vinter för 400 villor i Sverige 2018 utan solproduktion



Genomsnittlig spänningsökning med solproduktion för postorter som är tätort respektive landsbygd

Överspänningar förekommer – men beror det på solcellerna?

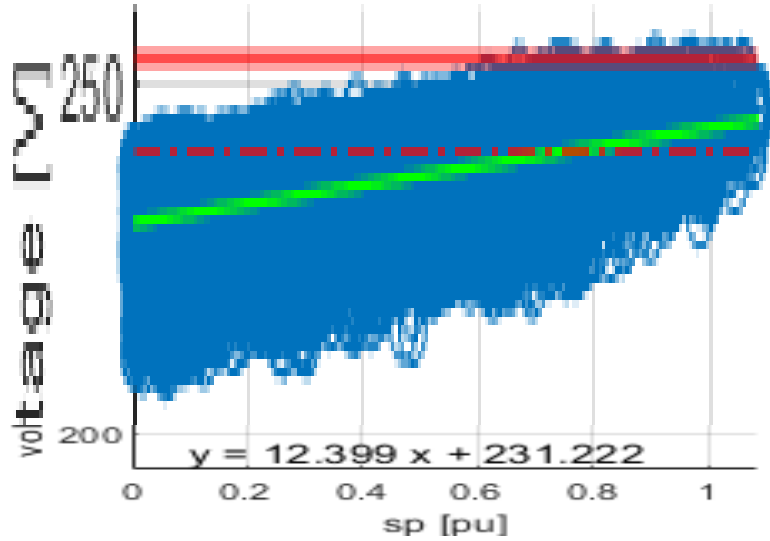
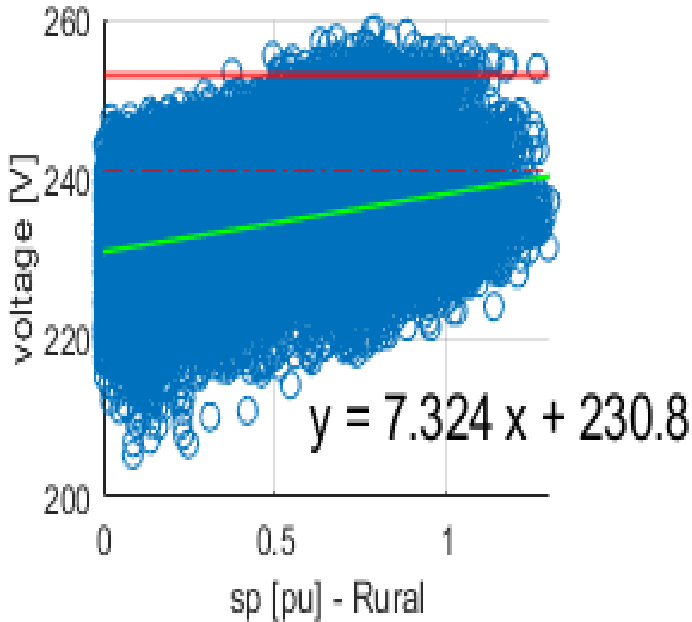


5-minuters spänningsvärden från 400 växelriktare 2018 som funktion av produktion, (grön linje ökning av spänning med $sp = \text{prod/instal. Effekt}$)

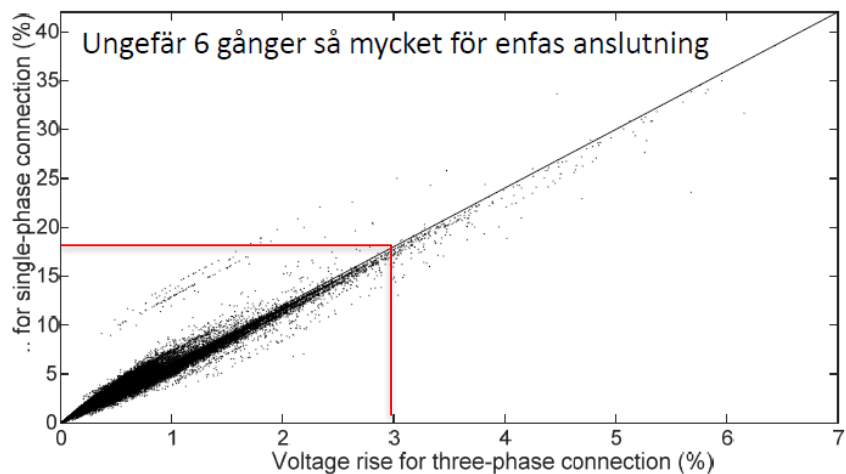
Vad är värst för nätet? En maxad mikroproduktion (43,5 kW_p) eller en mindre en-fasig solcellsanläggning på 4 kW?

49 large installations with inverter size 10- 27 kW

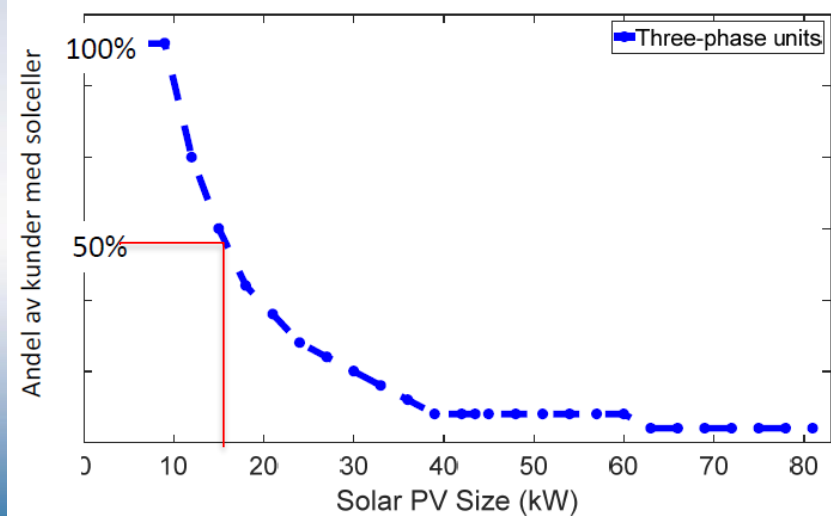
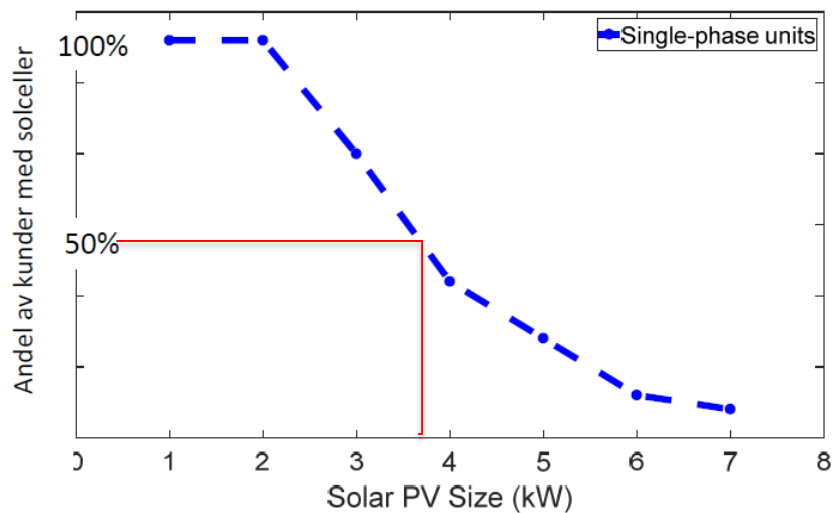
17 single-phase installations between 2,2-4 kW (15 rural and 2 urban)



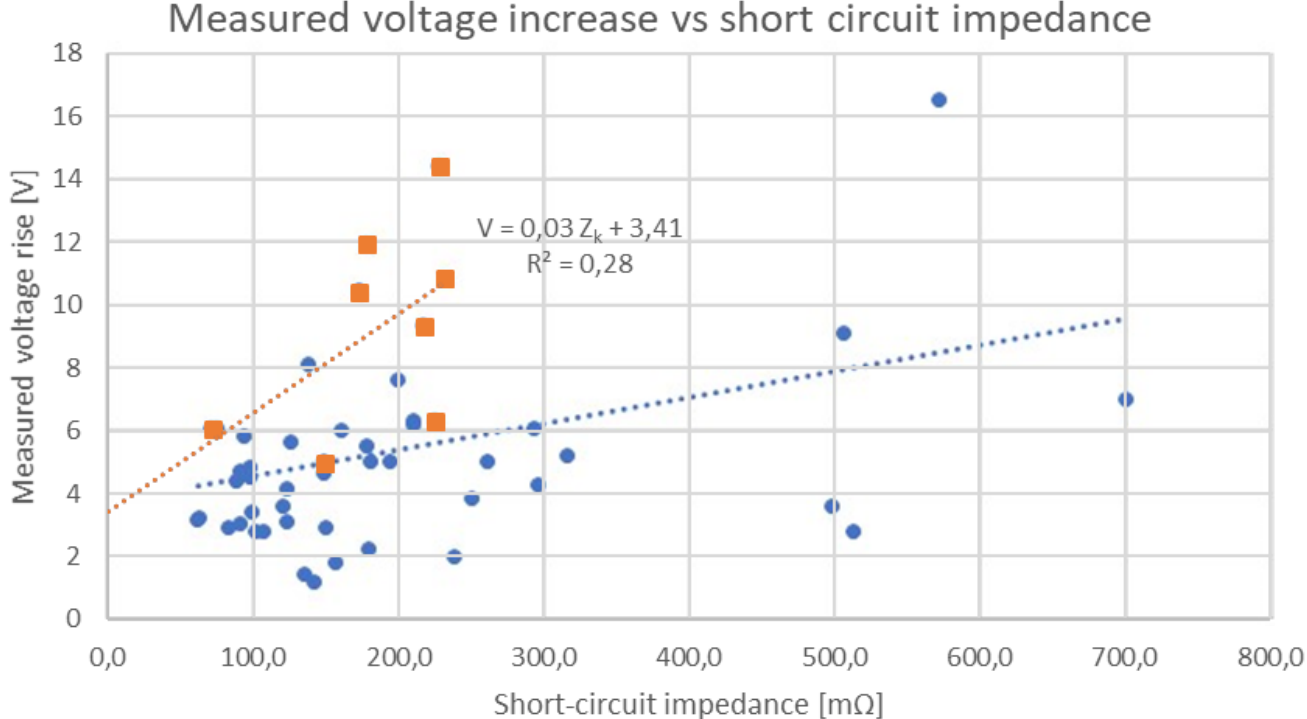
Påverkan av storlek och 1- eller 3-fas anläggningen



Men finns undantag när t.ex. nolledaren har mindre dimension än fasledaren

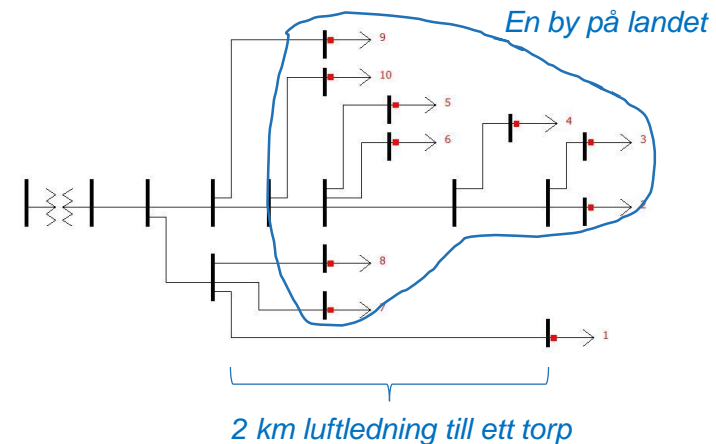
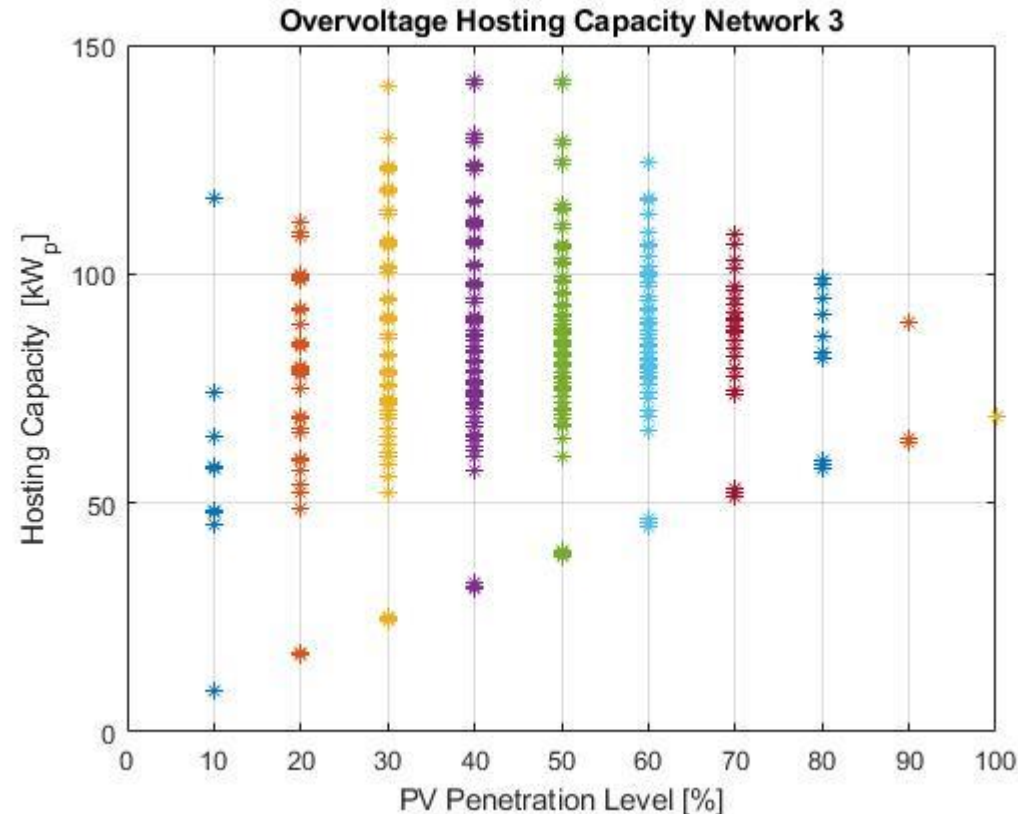


Storlek har betydelse, men nätstyrkan är avgörande



Extract of 8 large (10-18 kW_p, squares) and 48 smaller (4-9 kW, circles) PV installations shows a larger voltage increase as function of short circuit (pos. seq.) impedance

Ett av Vattenfalls 42 000 nätstationer...



Kunder kan ha mellan 2 och 120 kW_p, utan att EN50160 spänningsgränser överskrids

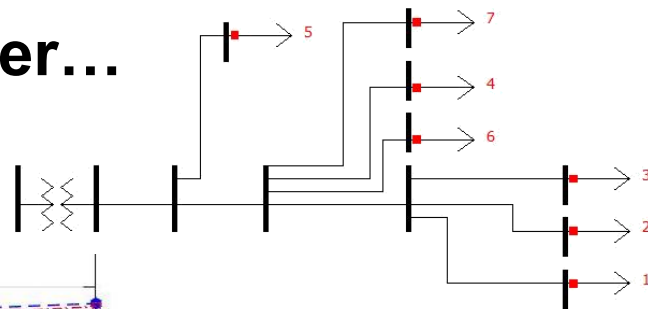
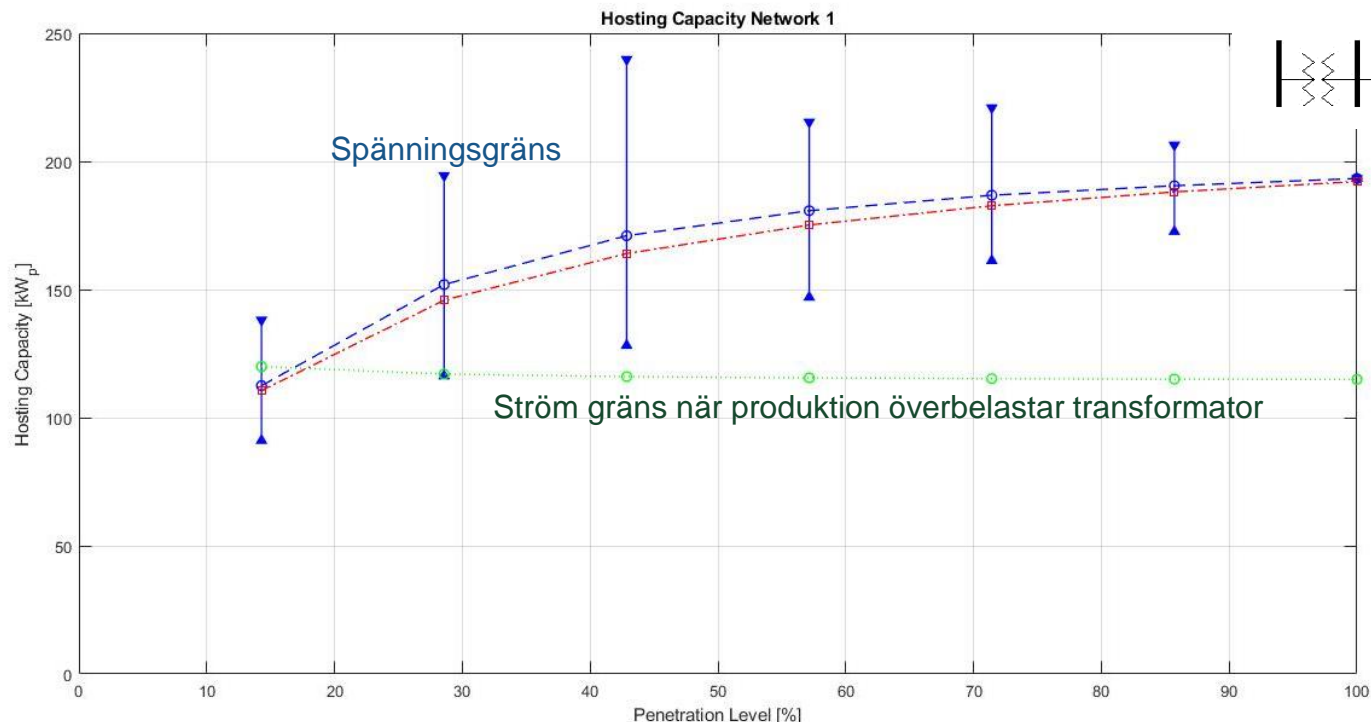
Mängden beror av hur starkt nätet är (hur nära distributionstransformatorn de är)

Figuren visar alla möjliga kombinationer där 1,2,3 etc av 10 kunderna har PV

Om man bortser från torpet (där alla ändringar i elanläggning kommer medföra nätförstärkning) finns ~90 kW_p att dela på.

Mer om de med starkt nät installerar, mindre om PV hos de med svagt nät.

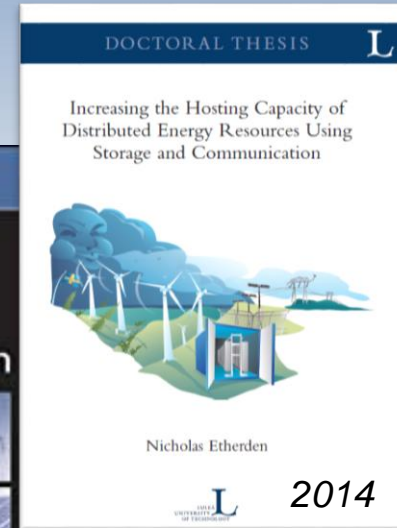
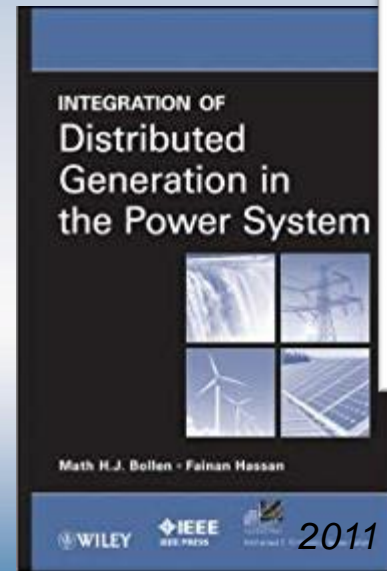
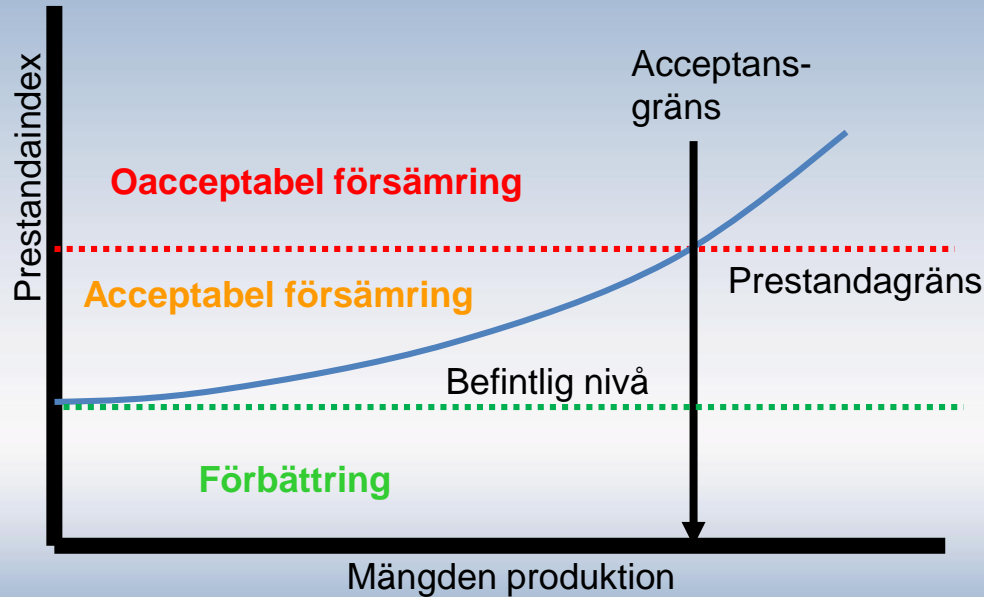
Ett annat av Vattenfalls 42 000 nätstationer...



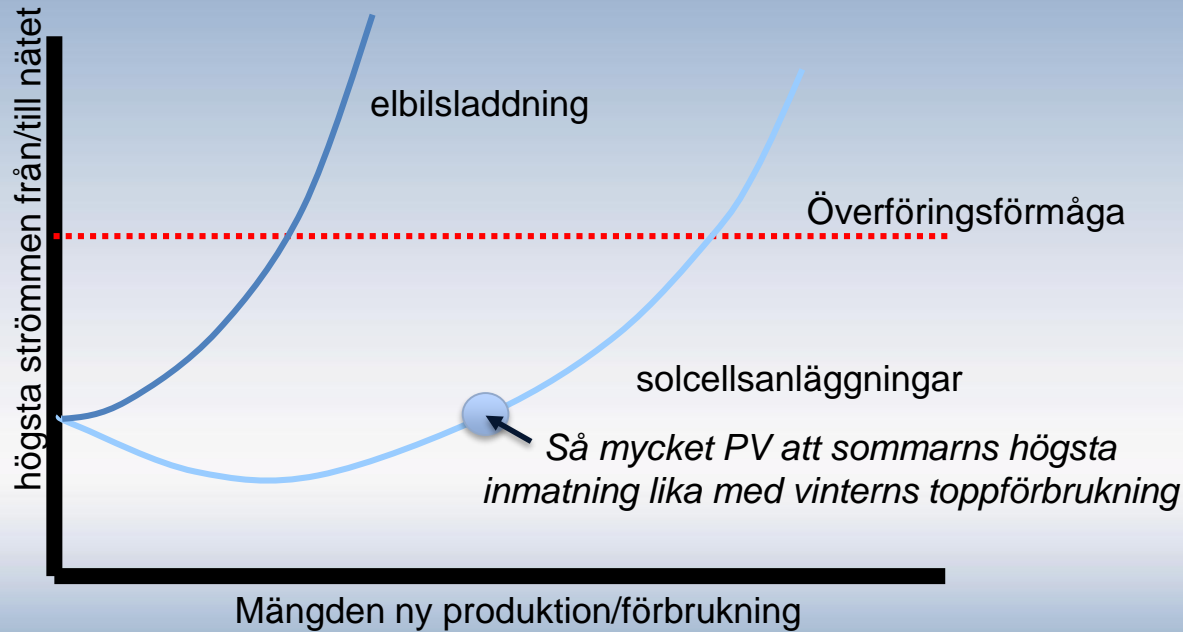
Vi kan idag enkelt uppskatta (röd linje) mängden PV ett nät kan ha om de med medel nätstyrka ansluter PV. När de med svagast nät skaffar PV finns mindre utrymme för PV kvar än när de med starkt nät installerar PV. På makronivå kan ett *investeringsbehov* uppskattas för en viss mängd PV. Hur?

Acceptansgränsen

- *Mängden ny produktion eller ny förbrukning som kan anslutas till ett distributionsnät utan att äventyra nätets tillförlitlighet eller elkvalitet*



Acceptansgräns för överström

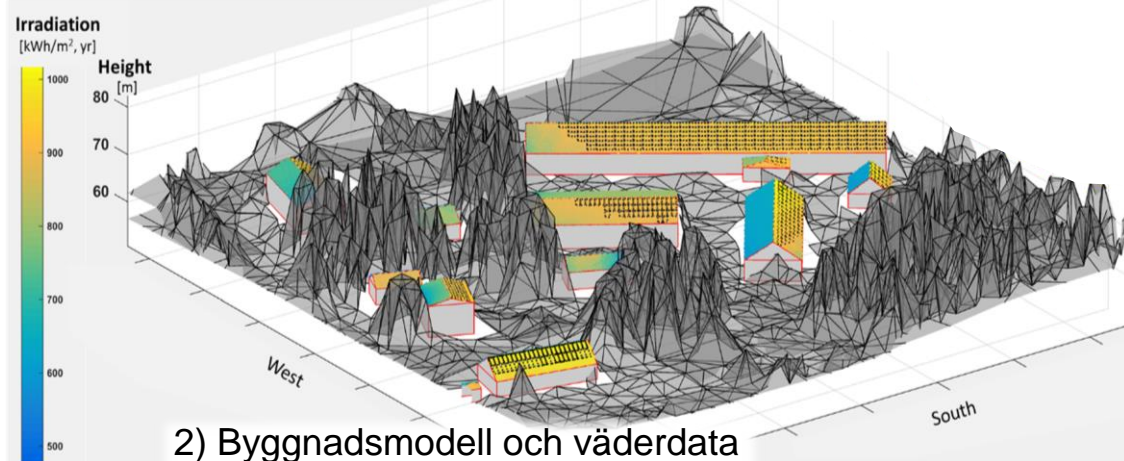
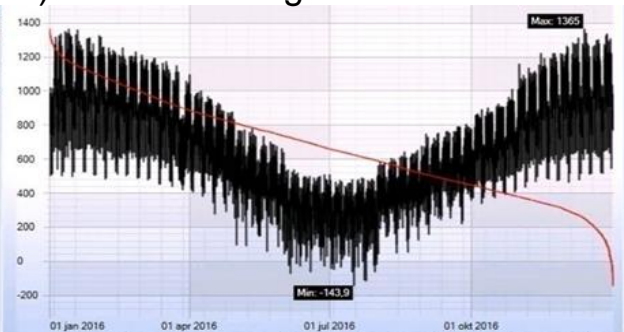


Tidserier

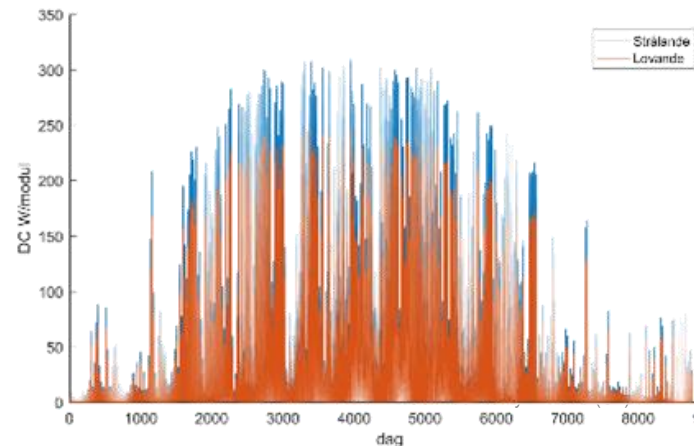
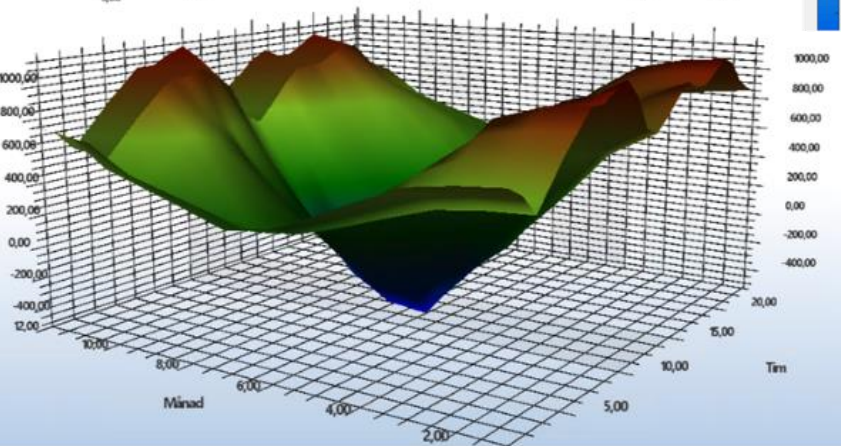
- Många studier använder tidserier av produktion och förbrukning
- Är i princip den mest noggranna metod
- Men slumpmässighet mellan åren är svårt att ta med
- Stort databehov

Exempel studie med tidserie, 530 kunder i Dalsland

1) Årsförbrukning smarta mätare



2) Byggnadsmodell och väderdata ger beräknad production



3) 30 % best roofs with PV : 1526 kW on 159 roof
In-feed to 50 kV grid is 40 % of winter max

Stochastiska modeller

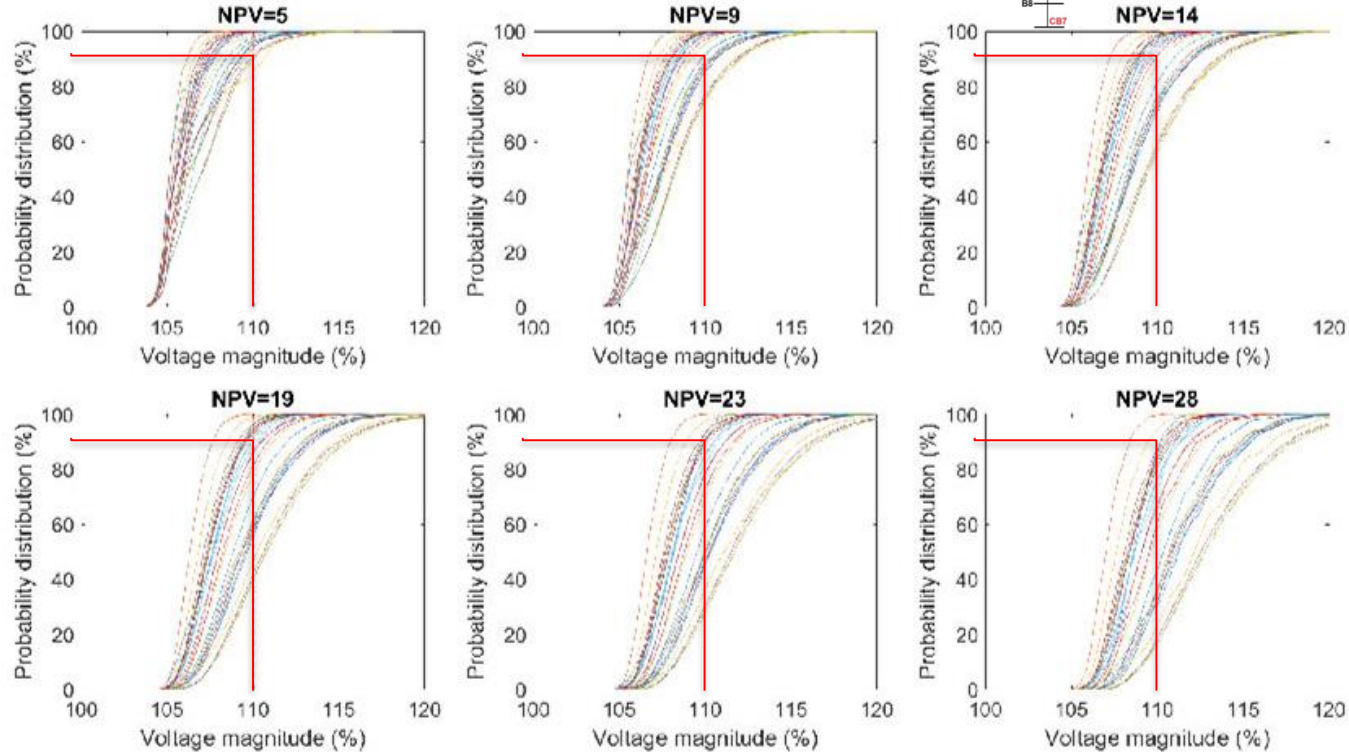
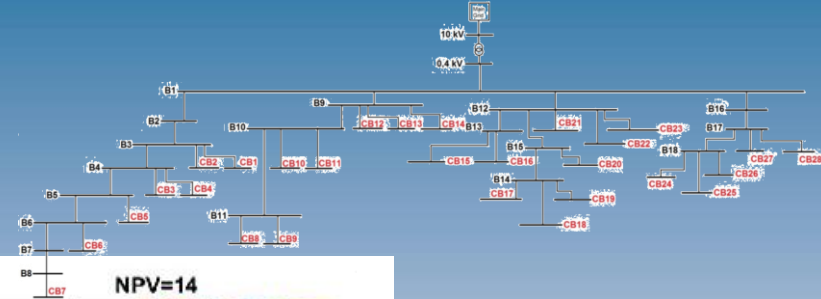
- Ansluter bättre mot klassiska planeringsmetoder
- Det behövs fortfarande data, men metoden är mindre beroende av abnormala värden i tidserie

Stokastiskt tillvägagångssätt

- Välja period av året och dagen då produktionen kan vara som högst (mitt på dagen april tom juli).
- Spridning av bakgrundspänning (gärna från mätning)
- Spridning av lägsta förbrukning (kom ihåg sammanlagring ;-)
- Lägg till slumpmässiga placering av PV med fördelning av storlek
- Uppskattning av produktion per växelriktare (ger alla max solig dag?)

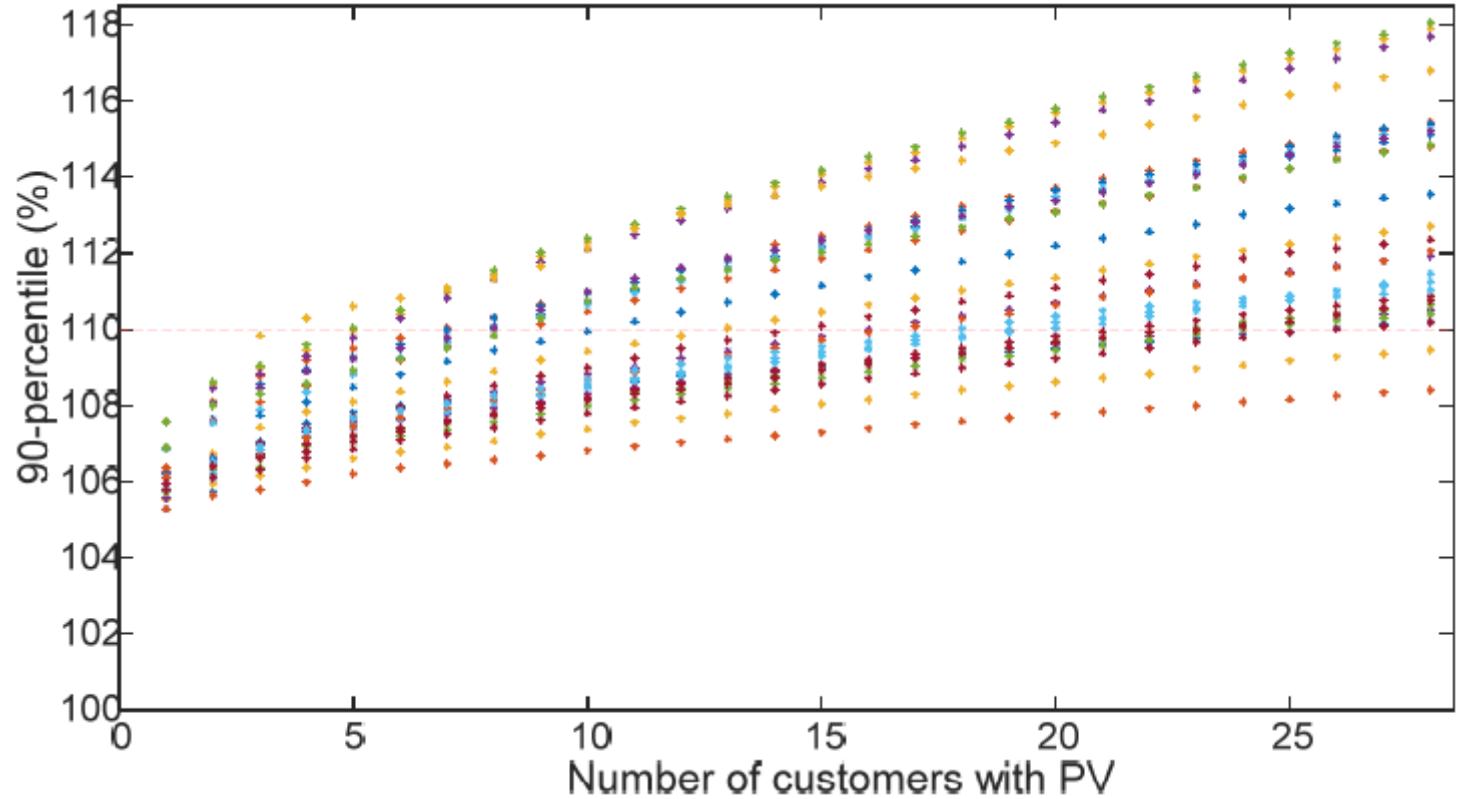
- Definiera och räkna ut prestandaindex
- *(jämför med överslagsberäkning av PV på sämsta platserna och med extremvärden)*

Överspänning, 28-kunders nät 6 kW_p per kund



Planeringsrisk: 90-percentil (en fas)

Källan: Enock Mulenga, CIREC 2019

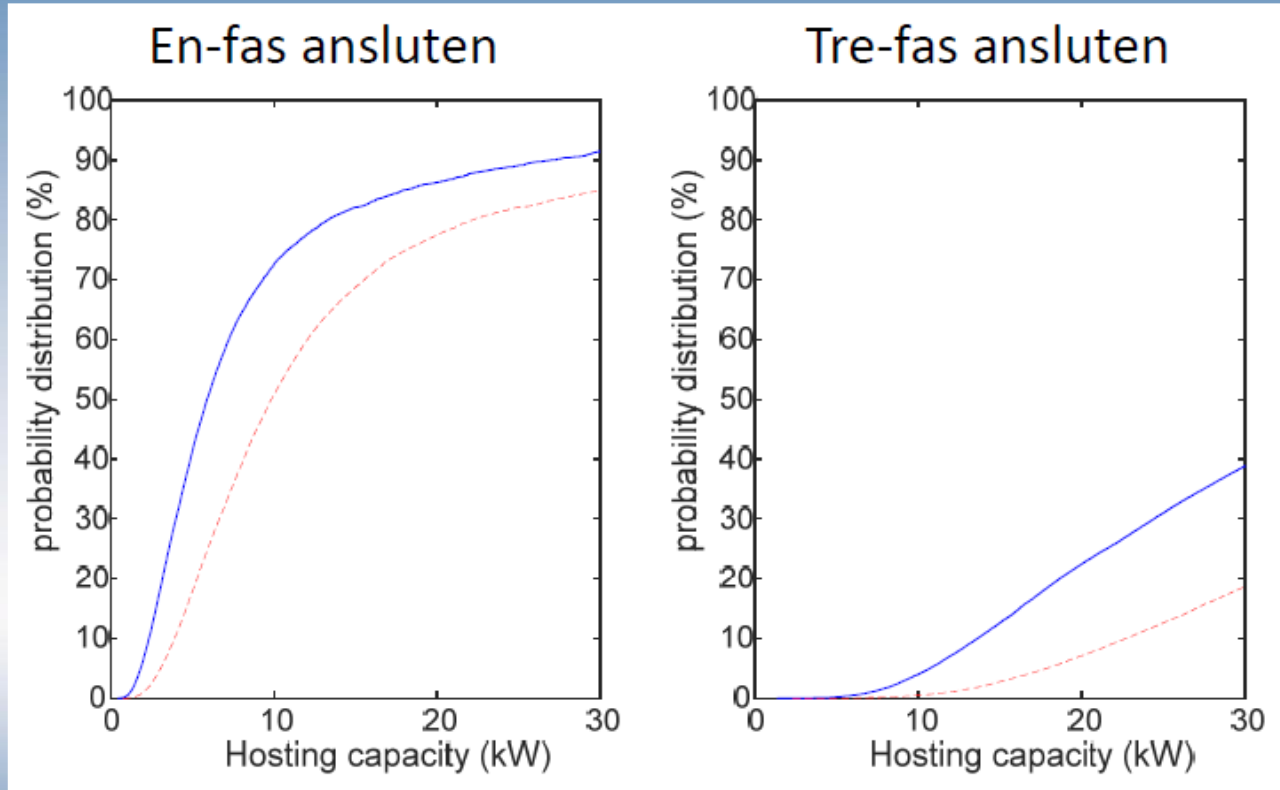


Några kommentarer

- Planeringsrisk kan uppskatta mängd nätförstärkning som kan behövas för viss nivå av PV och EV
- Första offer för överspänningen är ödriftdetektering av invertern (eller "överspänningsskydd") – den kopplas ut på överspänning
- Anläggningsägaren i svagt nät kanske förlorar 200-300 kr om året, där kollektivet betalar nätförstärkning för ½ miljon
- Är det rimligt kräva 99,8% tillgänglighet för inmatning (som för uttag), eller är 98% rimligt (vilket påtagligt minskar nätinvesteringsbehov)

Acceptansgräns

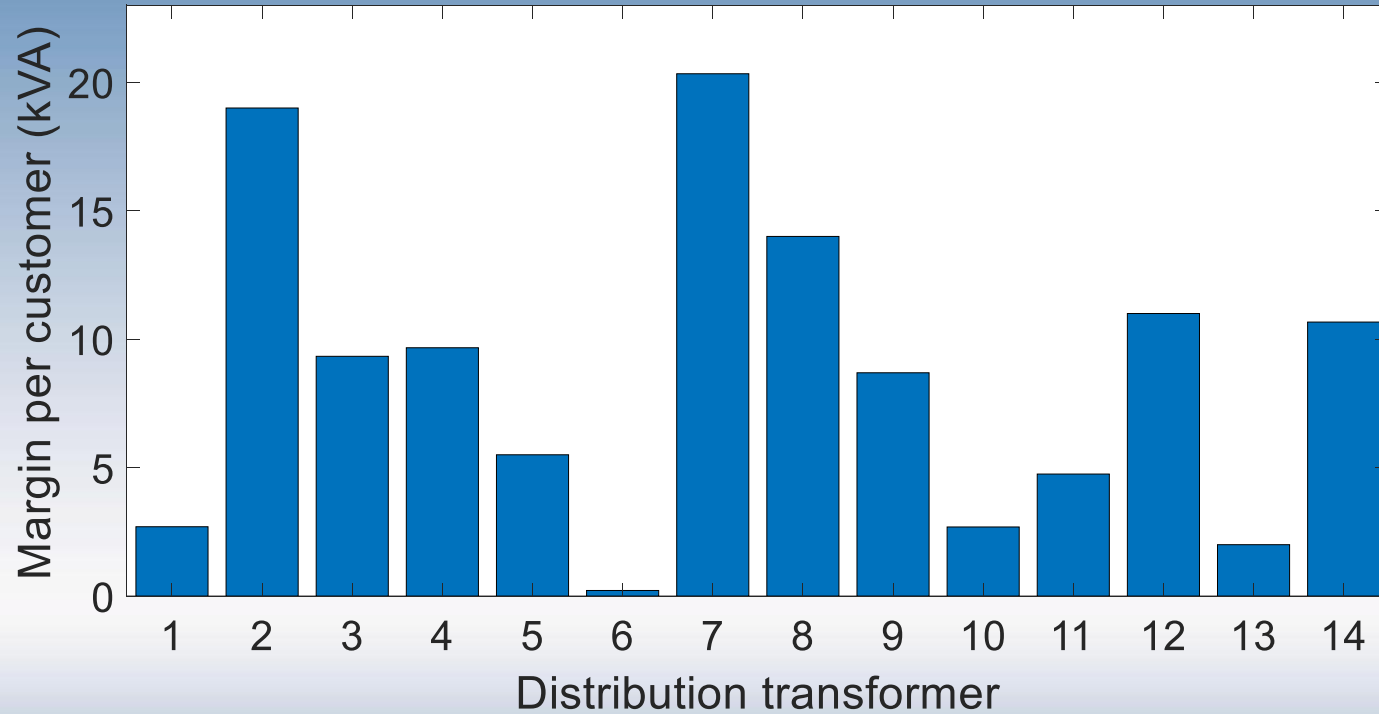
3% (blå) och 5 % (röd) tillåten spänningshöjning



Känslighetsanalys

Case	Parameter	Default value	New value	Hosting capacity
0		6 kW		3 customers
1	Produced power per installation	6 kW	7 kW	2 customers
2			5 kW	6 customers
3			4 kW	11 customers
4	Percentile	90th	95th	1 customer
5			85th	5 customers
6			75th	8 customers
7	load per customer per phase	[0, 250 W]	[0, 150 W]	3 customers
8			[0 350 W]	3 customers
9	No-load voltage	[238 V, 242 V]	[240 V, 244 V]	2 customers
10			[239 V, 243 V]	2 customers
11			[237 V, 241 V]	4 customers
12			[236 V, 240 V]	6 customers

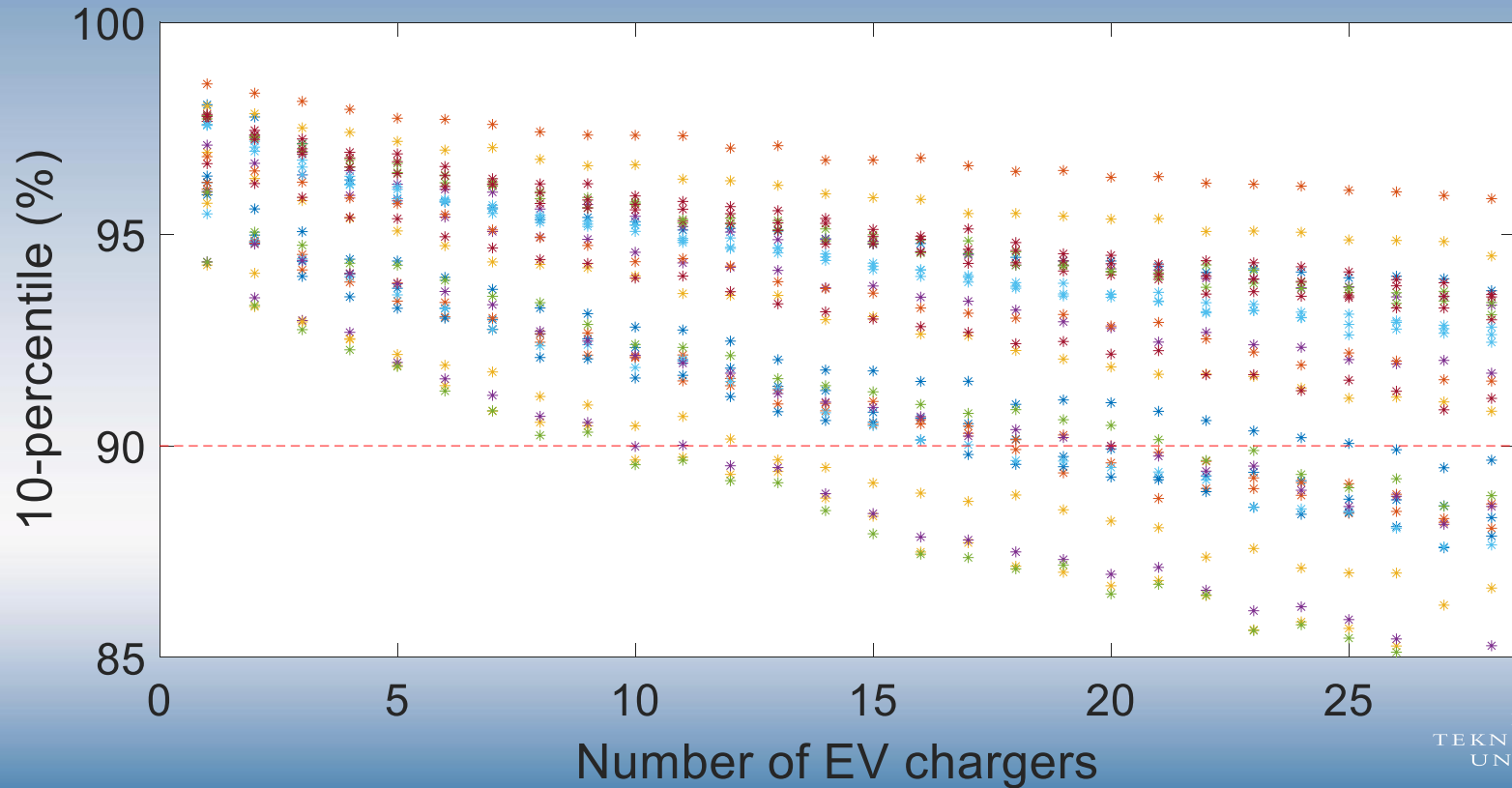
EV, utnyttjar Marginal för ny förbrukning per kund



Underspänning från elbilsladdning

5,7 kW/laddare

0 eller 1 laddare/kund



Acceptansgräns metoden i praktiken

- Att komma överens om prestanda-index
- Att komma överens om prestanda-gränsen
- Att komma överens om hur indexen räknas ut
- Alla dessa tre kan ha stor påverkan på acceptansgränsen
- Processen och kommunikation med de olika intressenterna är lika viktigt som själva beräkningarna
 - Men det är beräkningarna som möjliggör allt detta

Men...

- Acceptansgränsen beror på vad som anses vara acceptabelt
- Det är en kombination av regelverk och riskbedömning

- För höga krav leder till mer nätutbyggnad och därmed högre avgift för konsumenter. Frågan för regulatorer och inte bara nätbolagen.

HOSTING CAPACITY: USING INCREASED TRANSPARENCY OF GRID CONSTRAINTS TO ACCELERATE INTERCONNECTION PROCESSES

The third in SEIA's *Improving Opportunities for Solar Through Grid Modernization* Whitepaper Series

AUTHORS:

Dave Gahl
Brandon Smithwood
Rick Umoff

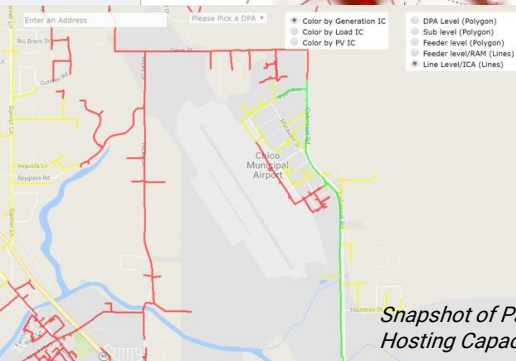
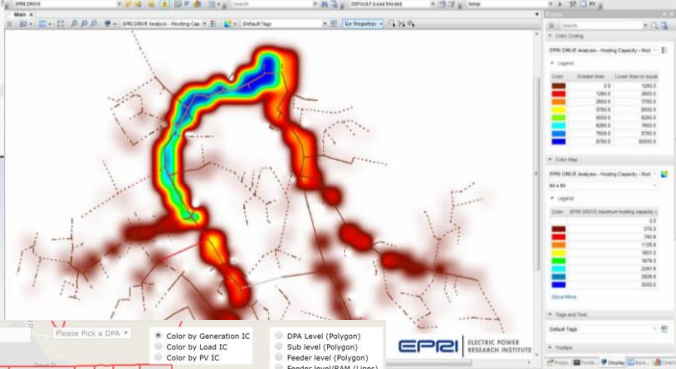
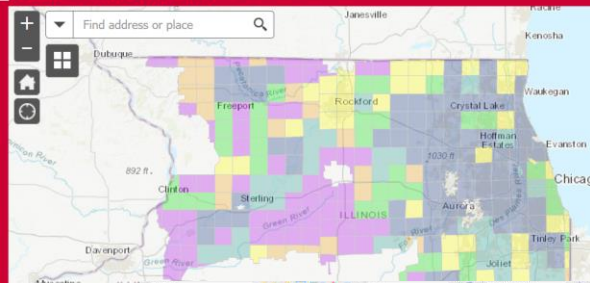


Metoden används av flera nätbolag idag

- Det finns inget objektivt sätt att bestämma prestandaindex och gränsen.

- Man kan använda gränsen som ställs i regelverket men även de bestämdes av någon på ett inte alltid objektivt sätt.
 - Även om metoden inte kan vara objektivt är det viktigt att den är transparent och spårbar.

ComEd Hosting Capacity ComEd AISP Department



Snapshot of Pacific Gas & Electric Hosting Capacity Map

Fossil free within one generation

Tack för er
uppmärksamhet!

FRÅGOR?

nicholas.etherden
@vattenfall.com

Senior R&D engineer
vid Vattenfall och
adj. lektor vid LTU

