

Modellering av aggregerad last i Norden

Projektöversikt:
8 Mars 2017

Emil Hillberg



Statnett

STRII

Agenda

- Lastmodeller: ZIP & LDFR
- Mål med projektet
- Projektgrupp
- Projektöversikt & Resultatrapporter
- Påverkan av osäkerhet i modellering av last
- Metod för identifikation av lastmodeller
- Analys av evalueringspunkter
- Identifierade utmaningar och problem
- Framtida aktiviteter: hur kan ni bidra?

Lastmodeller

- ZIP: spänningsberoende
(konstant impedans / ström / effekt)

$$P_{ZIP} = P_0 \left[Z_p \left(\frac{U}{U_0} \right)^2 + I_p \left(\frac{U}{U_0} \right) + P_p \right]$$

$$Q_{ZIP} = Q_0 \left[Z_q \left(\frac{U}{U_0} \right)^2 + I_q \left(\frac{U}{U_0} \right) + P_q \right]$$

<i>TSO</i>	Z_p	I_p	P_p	Z_q	I_q	P_q
Svenska kraftnät	0.40	0.00	0.60	0.90	0.00	0.10
Statnett	0.40	0.40	0.20	0.40	0.40	0.20
Fingrid	0.25	0.40	0.35	0.70	0.30	0.00

Lastmodeller

- LDFR: frekvensberoende
(av konstant ström & effekt)

$$I_p = I_{p0} \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^r$$

$$P = P_0 \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^m$$

$$I_q = I_{q0} \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^s$$

$$Q = Q_0 \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^n$$

TSO	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>r</i>	<i>s</i>
Svenska kraftnät	0.75	0	0.75	0
Statnett	0.75	0	0.75	0
Fingrid	1.26	1.09	1.26	1.09

Målsättning

- Syfte

- Skaffa bevis för lastens beteende
- Finn en balans mellan teori och praktik: en tillräckligt bra modell lämplig för sitt studiesyfte

- Mål

- Verifiera de lastmodeller som används idag i de nordiska TSOernas planeringsmodell
- Utveckla och verifiera noggrannare modeller

TSO & DSO Project team

Company	Project team
STRI	Susanne Aceby, Emil Hillberg, Math Bollen, Adriel Perez, Oscar Lennerhag
Svenska kraftnät	Per-Olof Lindström, Johan Setréus
Fingrid	Jussi Matilainen, Mikko Koskinen
Statnett	Magnus Gustafsson, Mattias Hofmann, Vegar Storvann
Vattenfall	Per Norberg, Gunilla Brännman, Jesper Glans
E.ON	Fredrik Roos, Dan Andersson
Hafslund	Hugo Thøgersen
Caruna	Tuomo Vornanen
Skellefteå kraft	(Mats Wahlberg)
Elenia	Sirpa Repo
Helen	Mika Loukkalahti, Pirjo Heine

Projektöversikt

SP0: Pre-study

SP1: Method development

SP2: Method validation

SP3: Method deployment

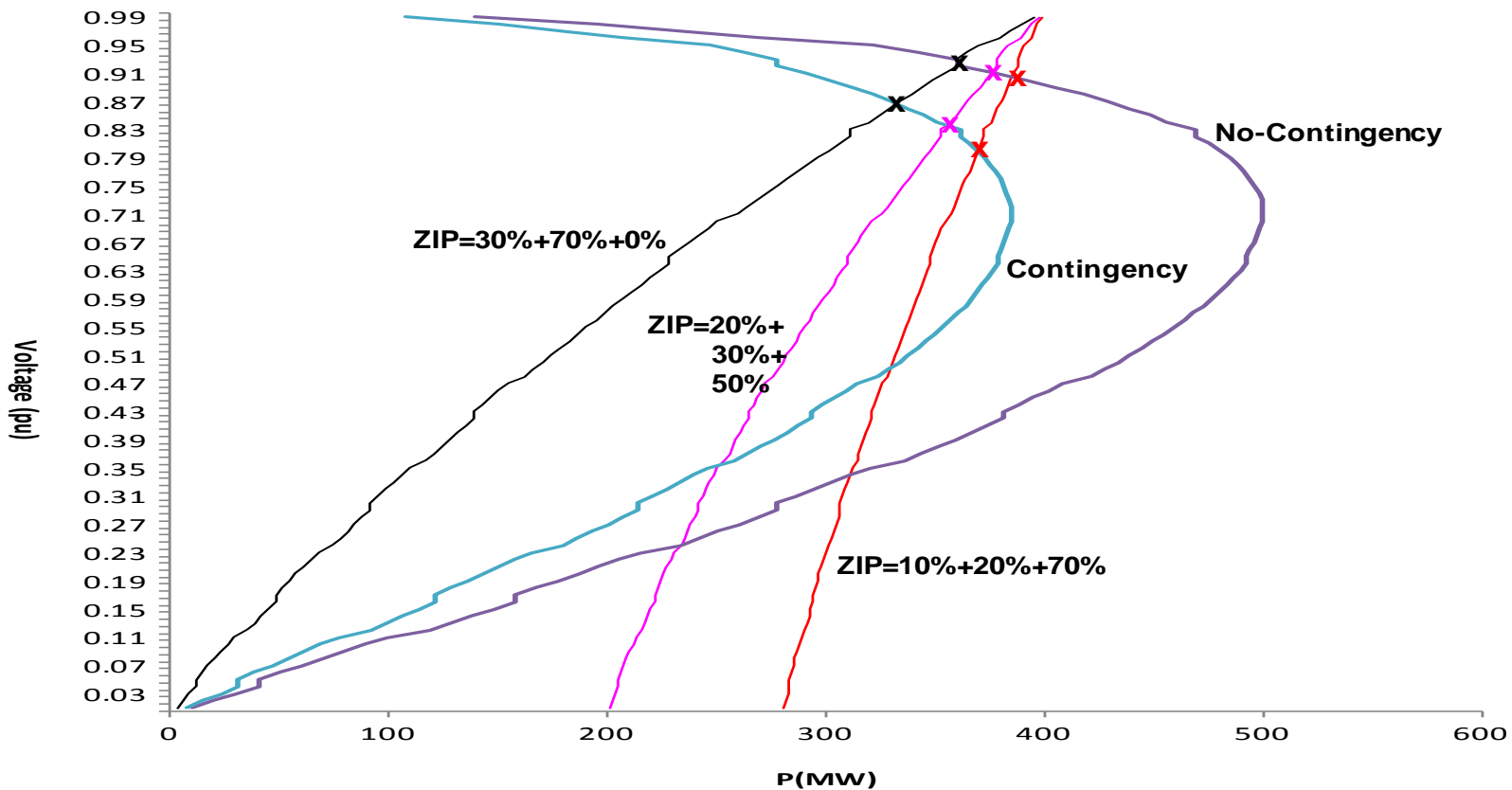
Subproject	2015				2016				2017				2018				2019			
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
SP0	■																			
SP1	■	■	■																	
SP2				■	■	■	■	■	■											
SP3										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Resultatrapportering

- “Prestudy: Business case study”, Aceky, Hillberg, STRI, 2015
- “Method description”, Aceky, Hillberg, STRI, 2015
- “Measurement gathering plan”, Aceky, Leelaruji, Hillberg, STRI, 2015
- “Development of improved aggregated load models for power system network planning in the Nordic power system Part 1: Method development”, Hillberg, Aceky, Bollen, Setréus, Lindström, Ericsson, Koskinen, Matilainen, Gustafsson, Hofmann, Berlijn, Cigré 2016, C4-104
- “Method verification”, Aceky, Hillberg, Lennerhag, Perez, STRI, 2017
- “Modelling aggregate loads in power systems”, Perez, KTH, 2017
- “Understanding and modelling of load in the power system”, Perez, Hillberg, Aceky, Lennerhag, Bollen, Zografos, Cigré Dublin 2017

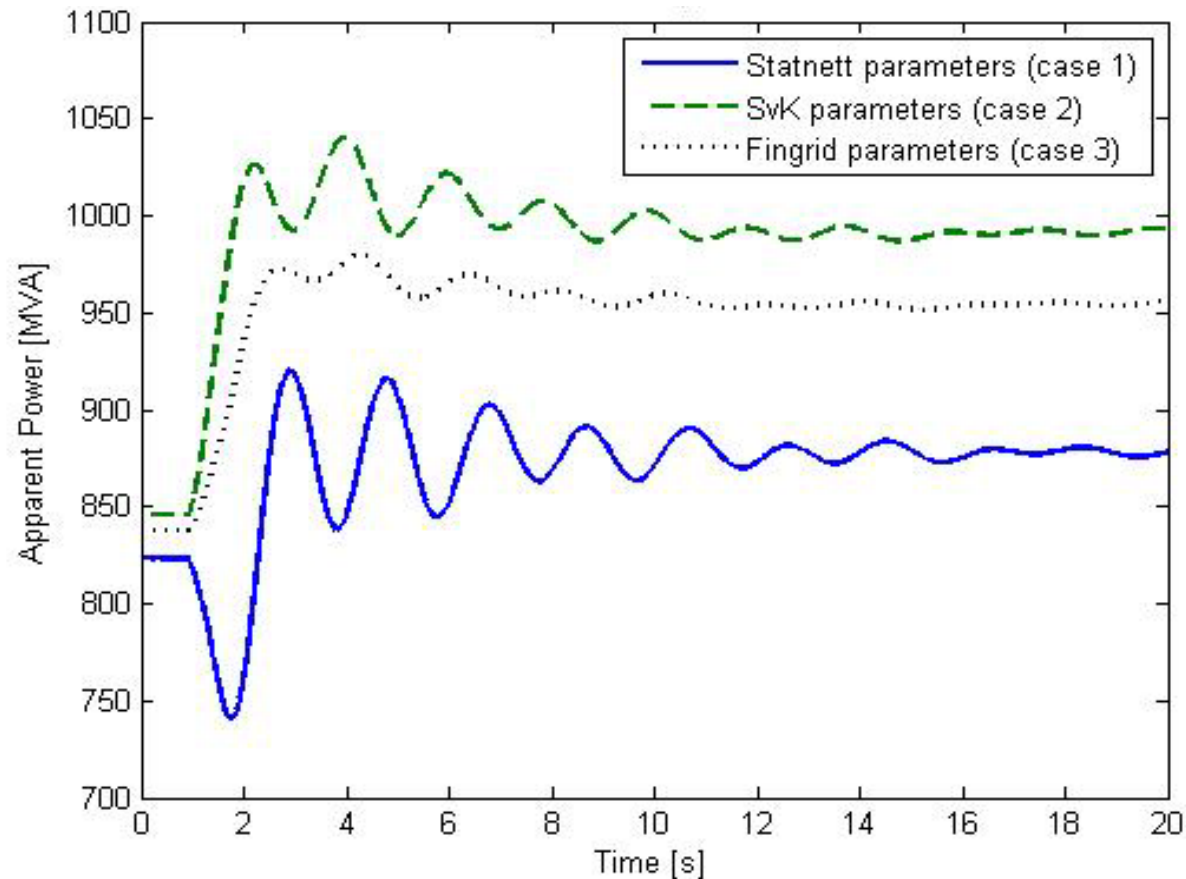
Påverkan av osäkerhet i modellering av last

- Spänningsstabilitet



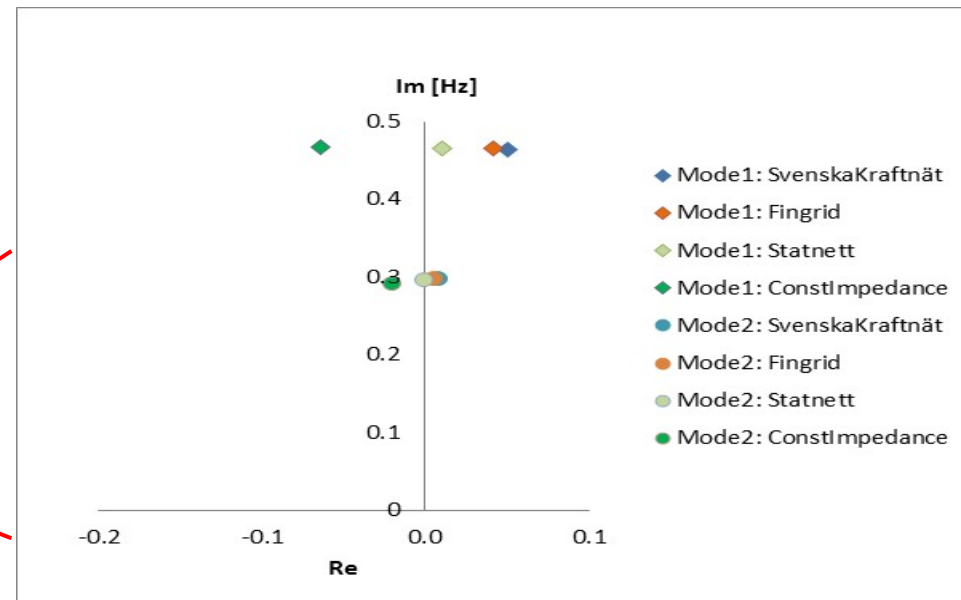
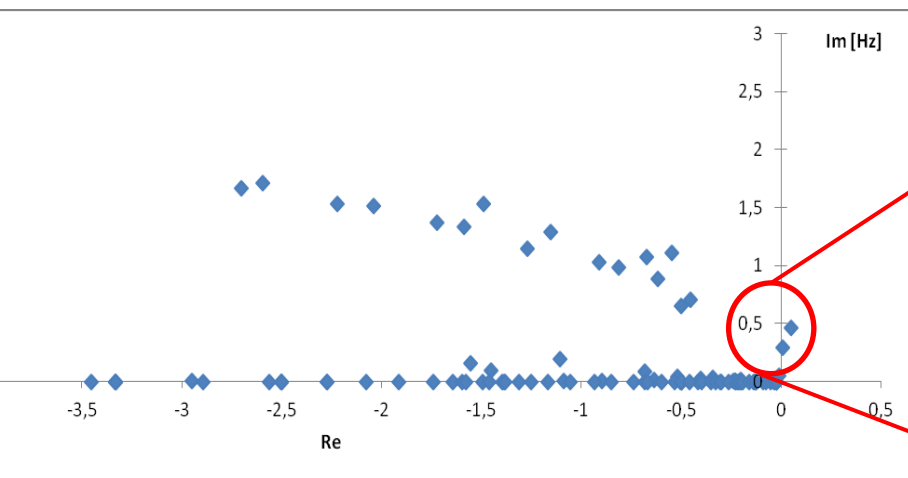
Påverkan av osäkerhet i modellering av last

- Överföringskapacitet



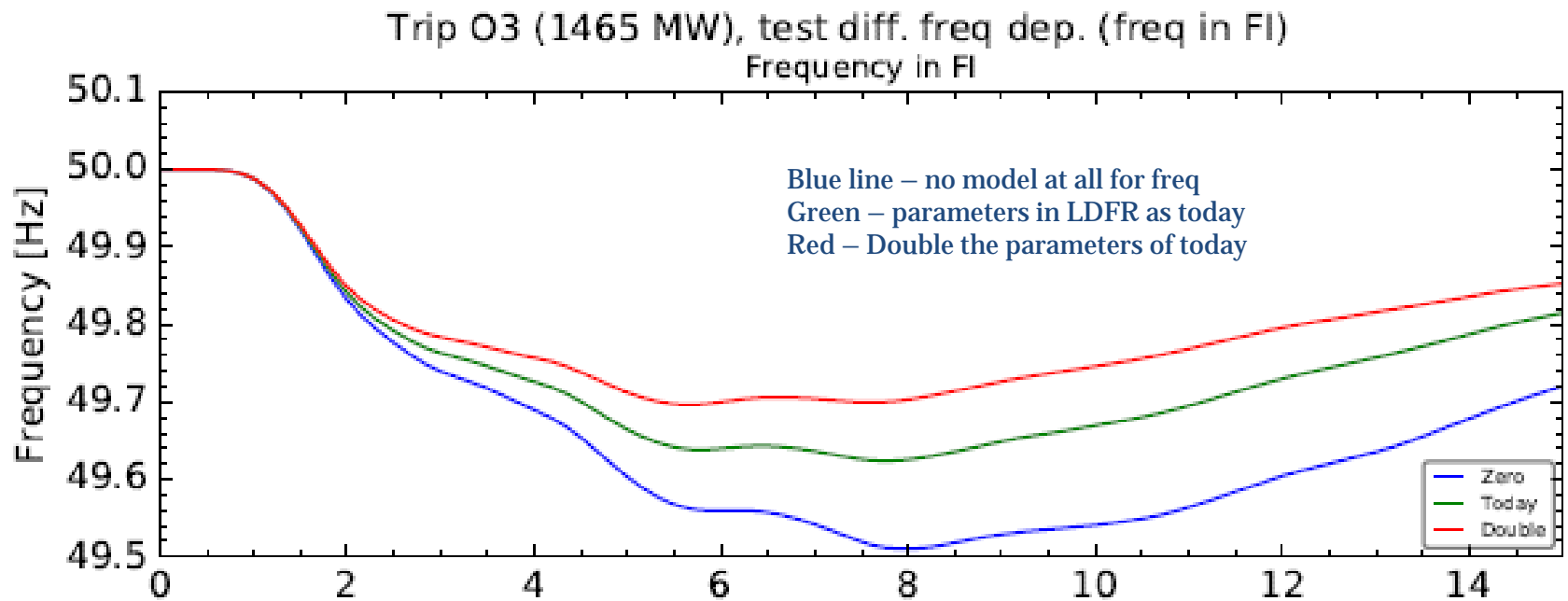
Påverkan av osäkerhet i modellering av last

- Dämpning och oscillationer

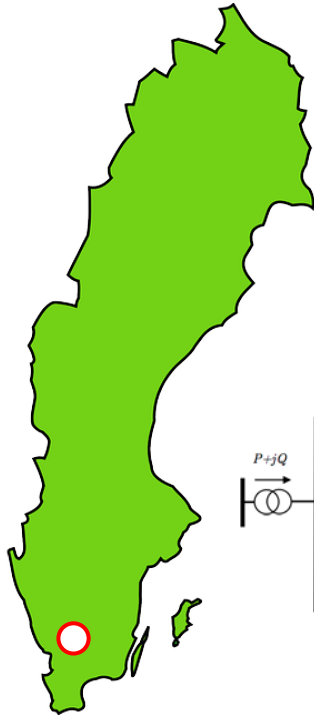


Påverkan av osäkerhet i modellering av last

- Frekvens



Metod för identifikation av lastmodeller



$$P_{ZIP} = P_0 \left[Z_{p0} \left(\frac{U}{U_0} \right)^2 + I_{p0} \left(\frac{U}{U_0} \right) + P_{p0} \right]$$

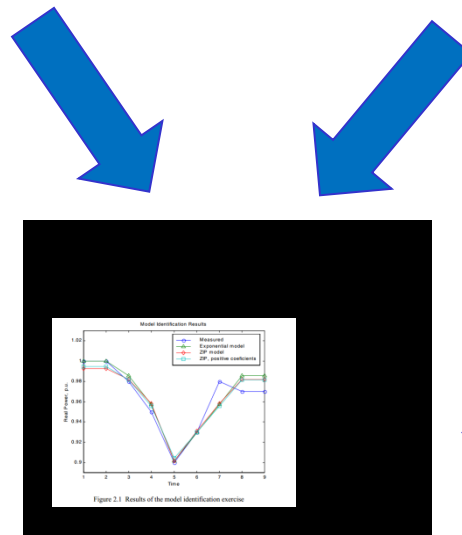
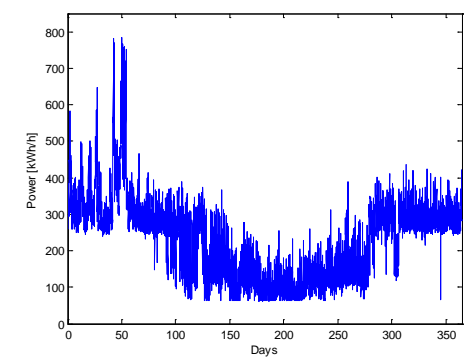
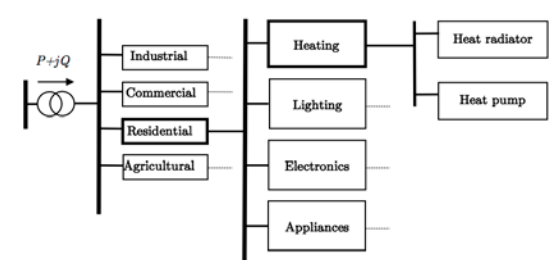
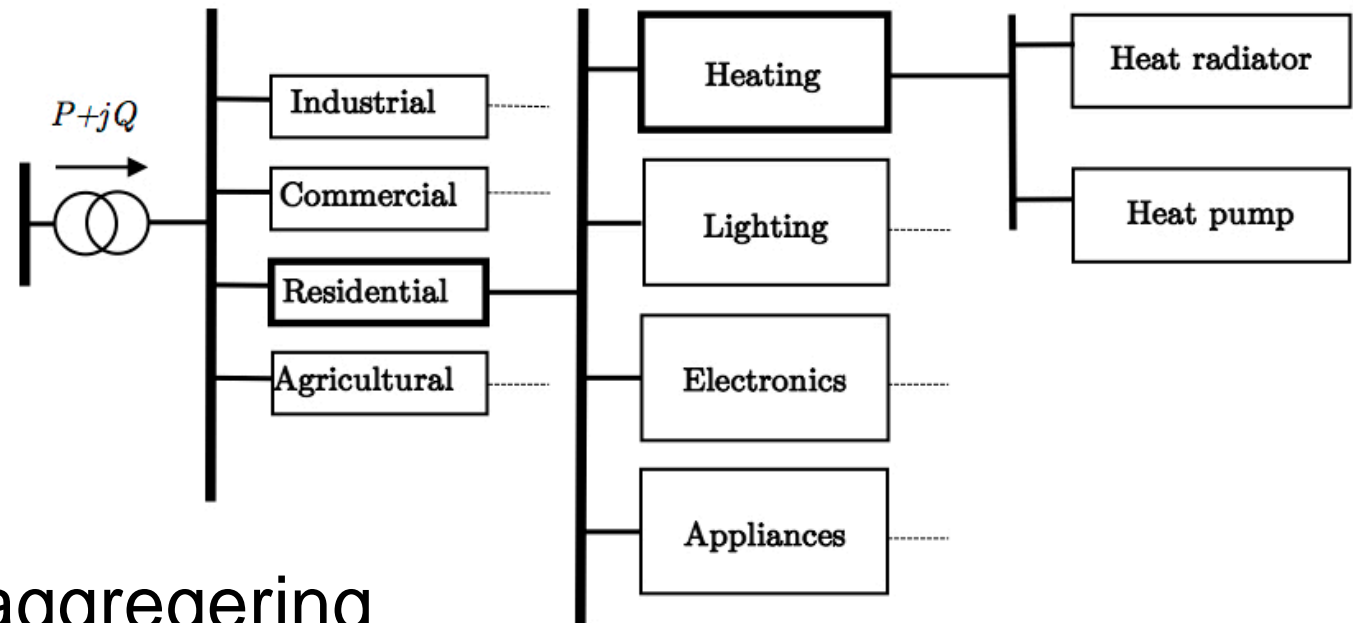


Table 4.6 Comparison of ZIP load model parameters

	Active Power			Reactive Power		
	Zp	Ip	Pp	Zq	Iq	Pq
Statnett	40%	40%	20%	40%	40%	20%
Energinet.dk	31%	69%	0%	81%	19%	0%
Fingrid	25%	40%	35%	70%	30%	0%
SvK	40%	0%	60%	90%	0%	10%
Fortum	30%	70%	0%	70%	30%	0%
Vattenfall	0%	100%	0%	100%	0%	0%

$$P_{ZIP} = P_0 \left[Z_{p1} \left(\frac{U}{U_0} \right)^2 + I_{p1} \left(\frac{U}{U_0} \right) + P_{p1} \right]$$

Metod för identifikation av lastmodeller: komponentbaserad metod



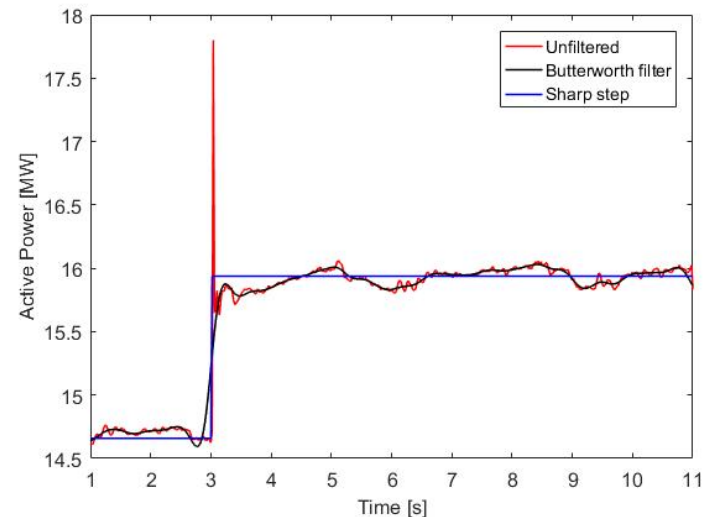
- Analytisk aggregering
- Statistiskt underlag
- Teori & test baserad parametrisering

Metod för identifikation av lastmodeller: mätbaserad metod

- Naturliga och planerade händelser
- Mätning av stegsvar
- Filtrering
- Optimering

$$\min_x \sum_{i=1}^N (P_{meas_i} - P_{calc_i})^2$$

$$P_{calc_i} = P_0 \left[x_1 \left(\frac{U}{U_0} \right)^2 + x_2 \left(\frac{U}{U_0} \right) + x_3 \right]$$



Metodvalidering

Utvärderingspunkter



Ref	Name
SE	Åhus E.On
NO	Raa (Fredrikstad) Hafslund
FI	Säynäjävaara (Kuusamo) Caruna
SE(fr)	Vaggeryd Vattenfall
SE(fr)	Jönköping Vattenfall

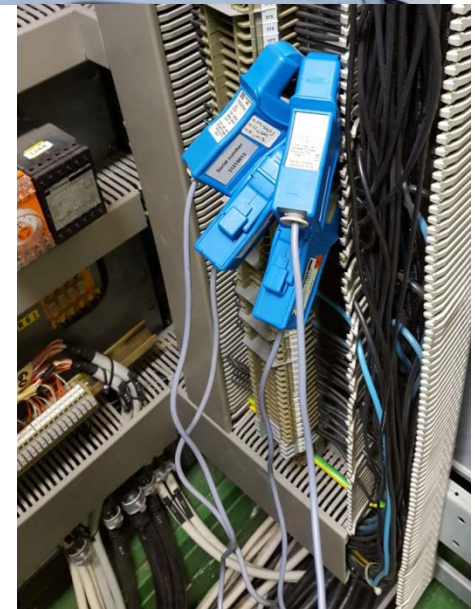
Metodvalidering mätningar



Raa



Kuusamo



Metodvalidering stegsvar

	Type of event	U_0 [kV]	U_1 [kV]	ΔU [%]	P_0 [MW]	P_1 [MW]	ΔP [%]	Q_0 [MVar]	Q_1 [MVar]	ΔQ [%]
NO	Disconnect 20 MVar	27.9	27.4	1.6	164.2	160.7	2.2	24.0	22.3	7.1
FI	Change feeding line	62.6	66.2	6	14.7	15.9	8.7	-0.38	0.09	124.7
SE	Connect 32 MVar	79.0	80.2	1.6	17.4	17.8	2.0	0.06	0.19	223.9

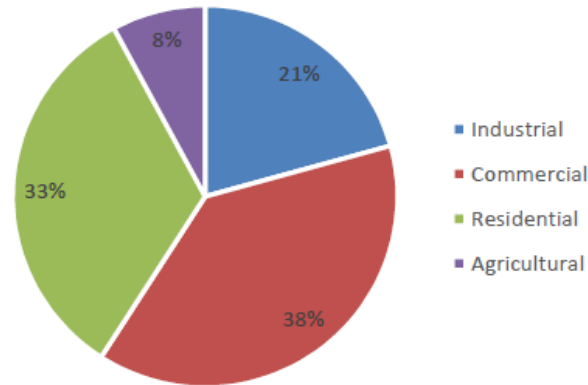
Type of event	Δf [%]
NordBalt, 728 MW	0.7
Skagerack 4, 500 MW	0.7
Ringhals 4, 530 MW	0.5
NordBalt, 730 MW	0.7

Metodvalidering

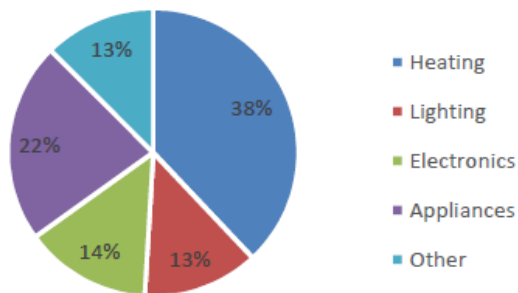
Statistikt baserad lastfördelning

Load class mix

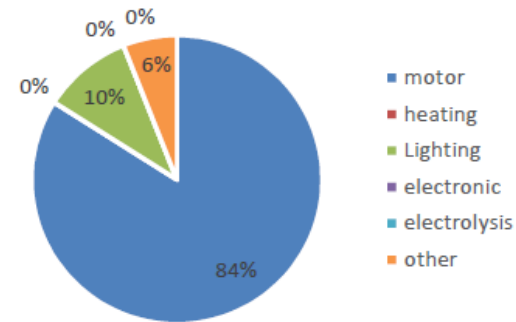
SE



Load composition - Residential



Load composition - Industrial

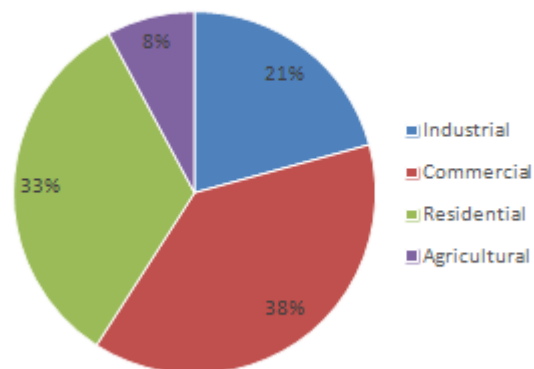


Heating:
50% heat pumps
50% direct-acting electricity

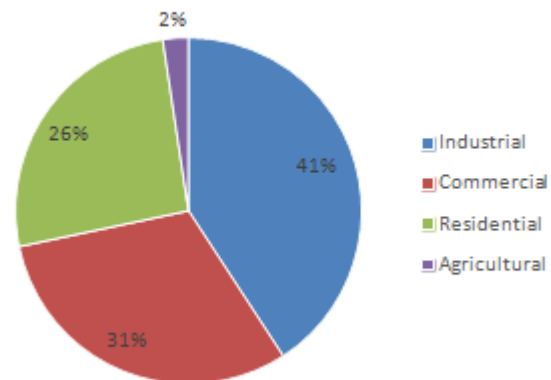
Metodvalidering

Aggregering av resultat: plats

Load class mix - Åhus



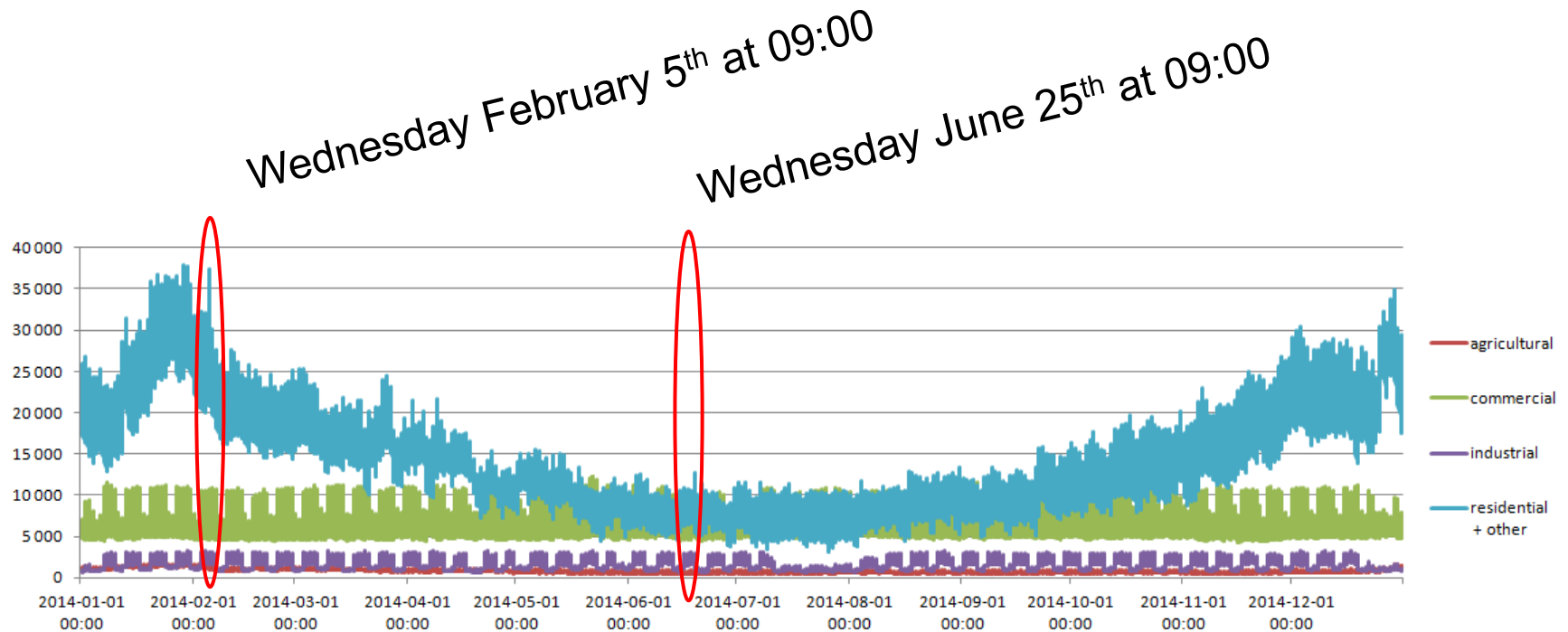
Load class mix - Sweden



	Z_p	I_p	P_p	Z_q	I_q	P_q
Åhus	0.16	0.26	0.58	2.07	-3.25	2.17
SE	0.23	0.13	0.64	2.49	-3.68	2.19

Metodvalidering

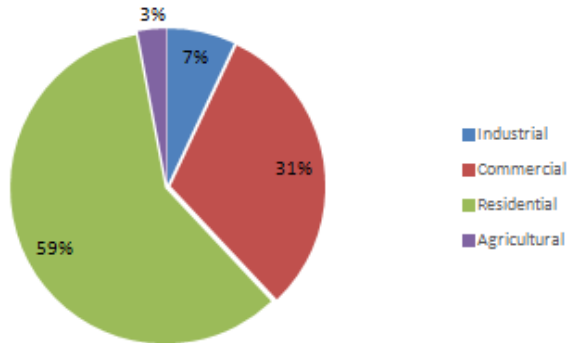
Aggregering av resultat: tidpunkt



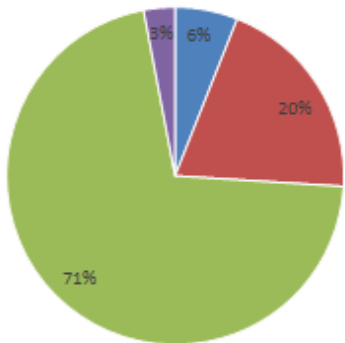
Metodvalidering

Aggregering av resultat: tidpunkt

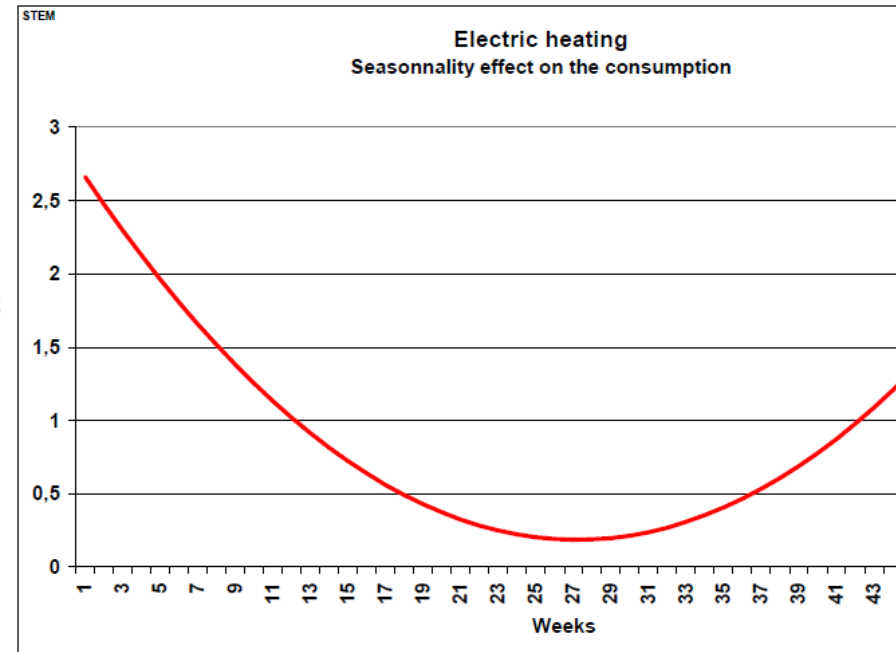
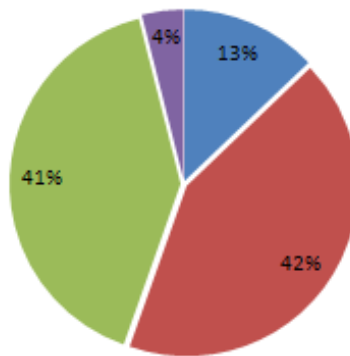
"Average load" - load class mix



"High load" - load class mix



"Low load" - load class mix

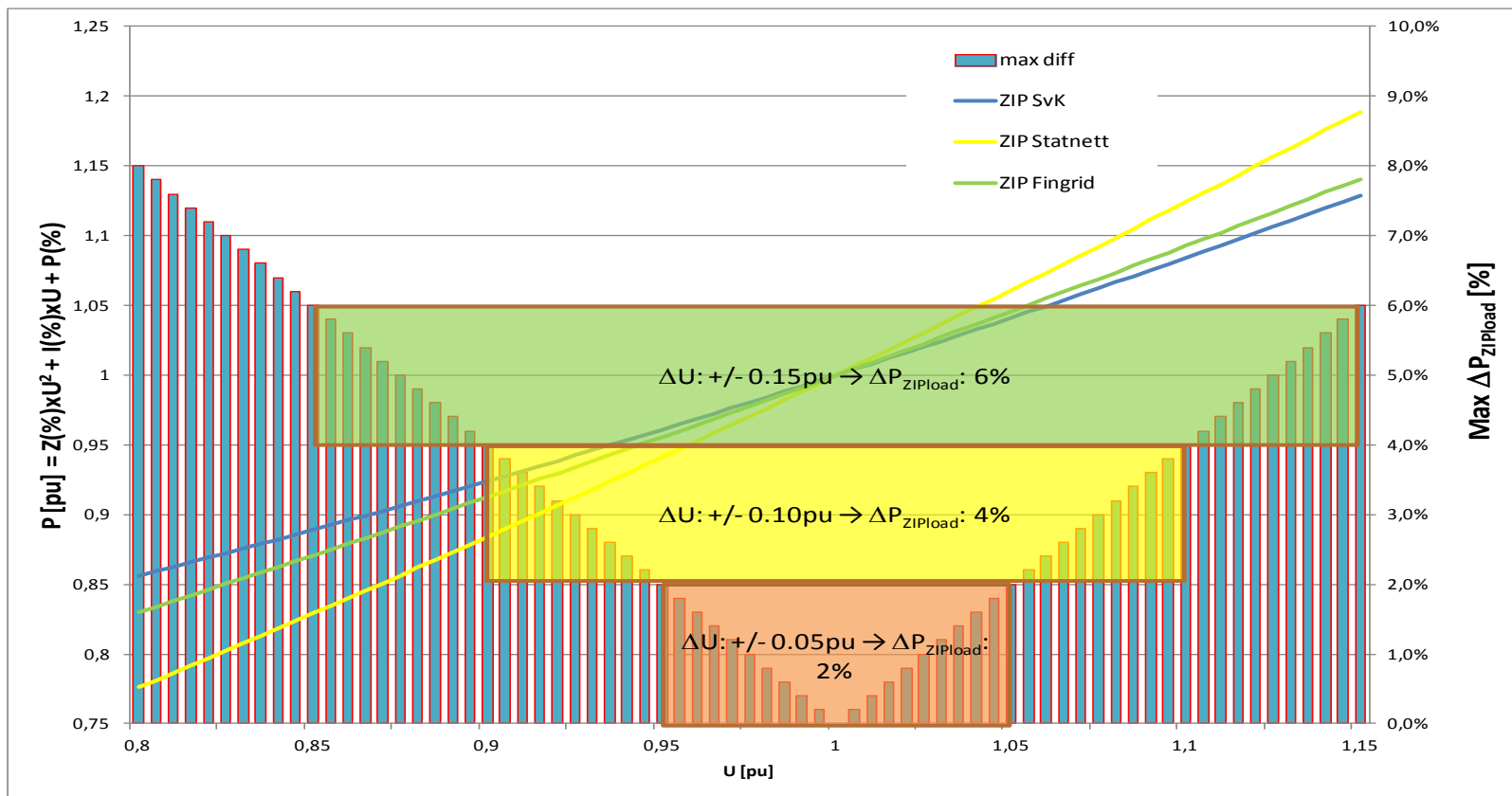


Metodvalidering resultat intervall

Evaluation point	event	Z_p	I_p	P_p
NO	1	0.33 – 0.75	0 – 0.67	0 – 0.33
	2	0.34 – 0.76	0 – 0.66	0 – 0.32
	3	0.23 – 0.67	0 - 0.77	0 – 0.39
SE	1	0.17 – 0.64	0 – 0.83	0 – 0.42
	2	0.04 – 0.56	0 – 0.96	0 – 0.48
	3	0 – 0.47	0 – 0.95	0.05 – 0.58
FI	1	0.38 - 0.78	0 – 0.62	0 – 0.31
	2	0.35 – 0.75	0 – 0.65	0 – 0.33
	3	0.42 – 0.8	0 – 0.58	0 – 0.30
TSO		Z_p	I_p	P_p
Svenska kraftnät		0.40	0.00	0.60
Statnett		0.40	0.40	0.20
Fingrid		0.25	0.40	0.35

Utmaningar och problem lastens beteende utanför mätintervall

- difference between pre- and post- event values
- theoretical difference in active power for three ZIP parameter sets



Utmaningar och problem optimering

For Z_p in [0:0.01:1]

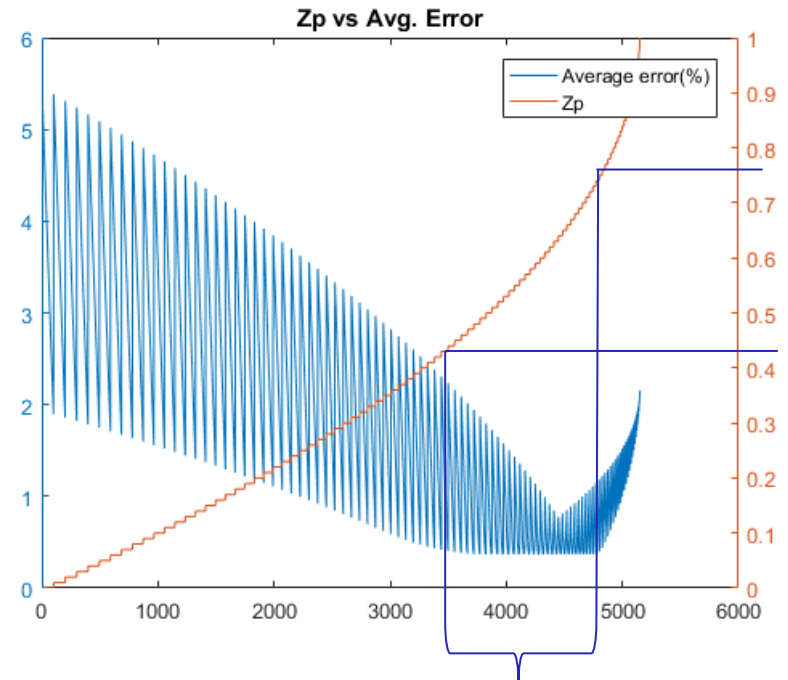
For I_p in [0:0.01:1]

$$P_p = 1 - Z_p - I_p$$

$$\text{If } P_p + Z_p + I_p = 1.00$$

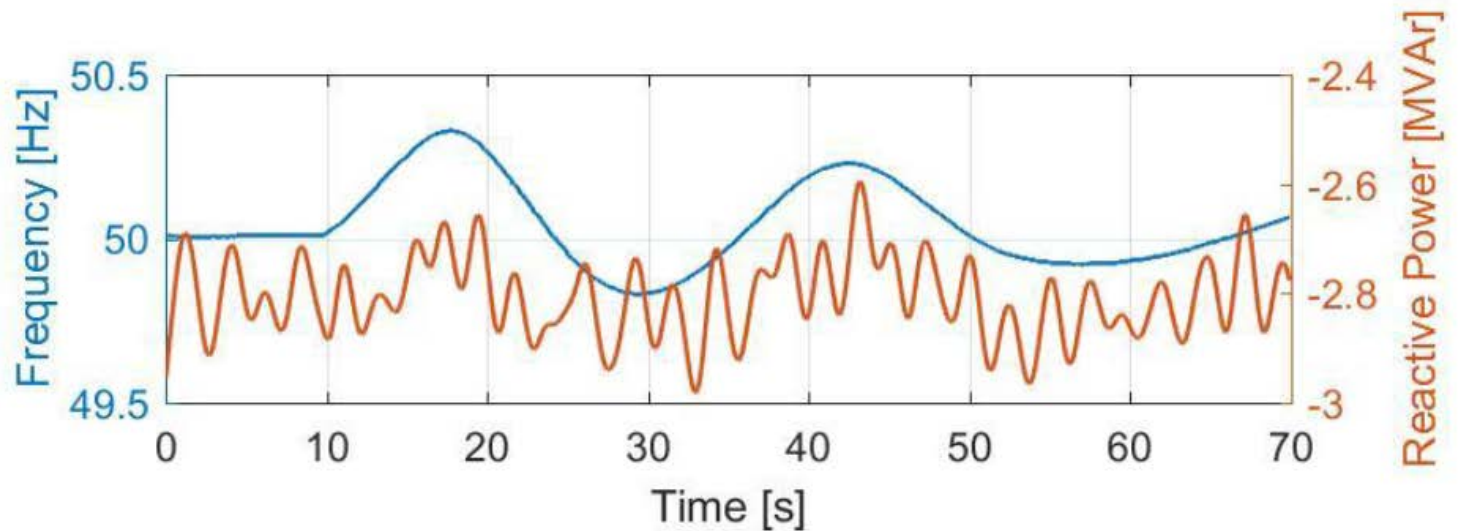
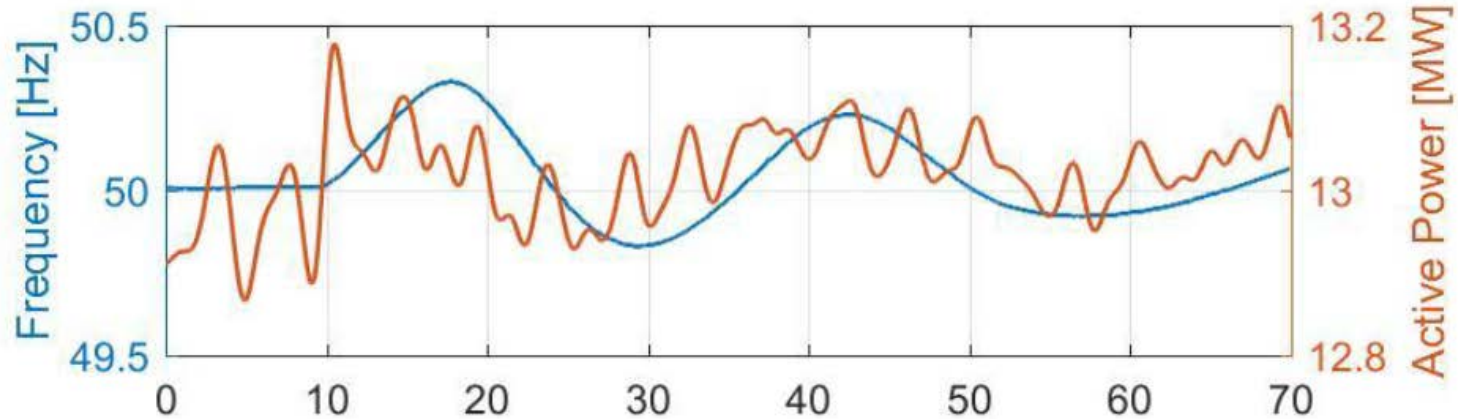
$$P_{calc} = P_o \left[Z_p \left(\frac{U}{U_o} \right)^2 + I_p \left(\frac{U}{U_o} \right) + P_p \right]$$

$$\varepsilon = 100 \sum \frac{1}{N} \frac{|P_{cal} - P_{meas}|}{P_o}$$

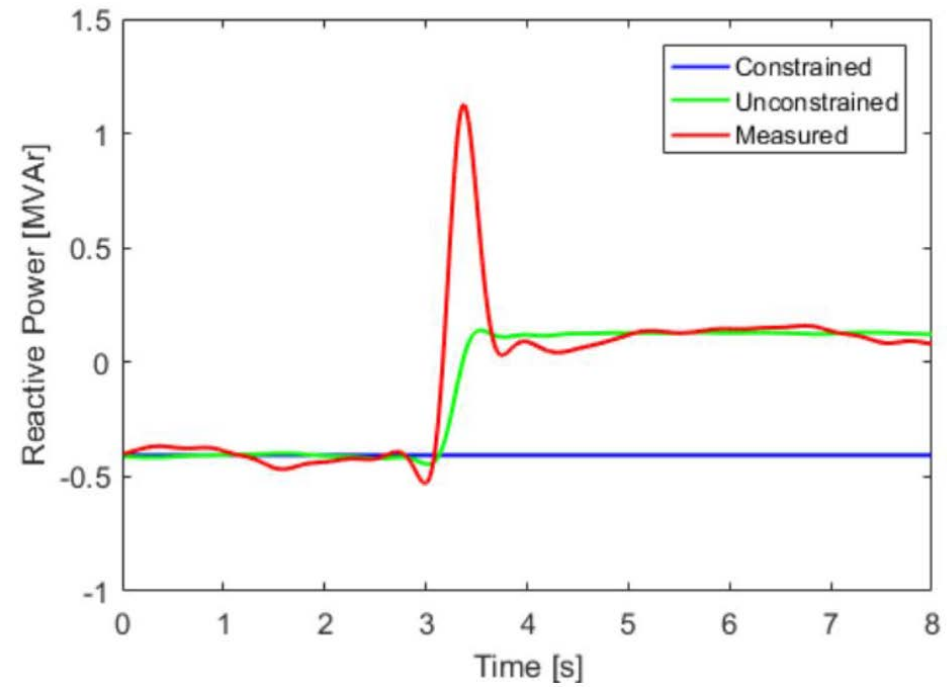


Range of minimas

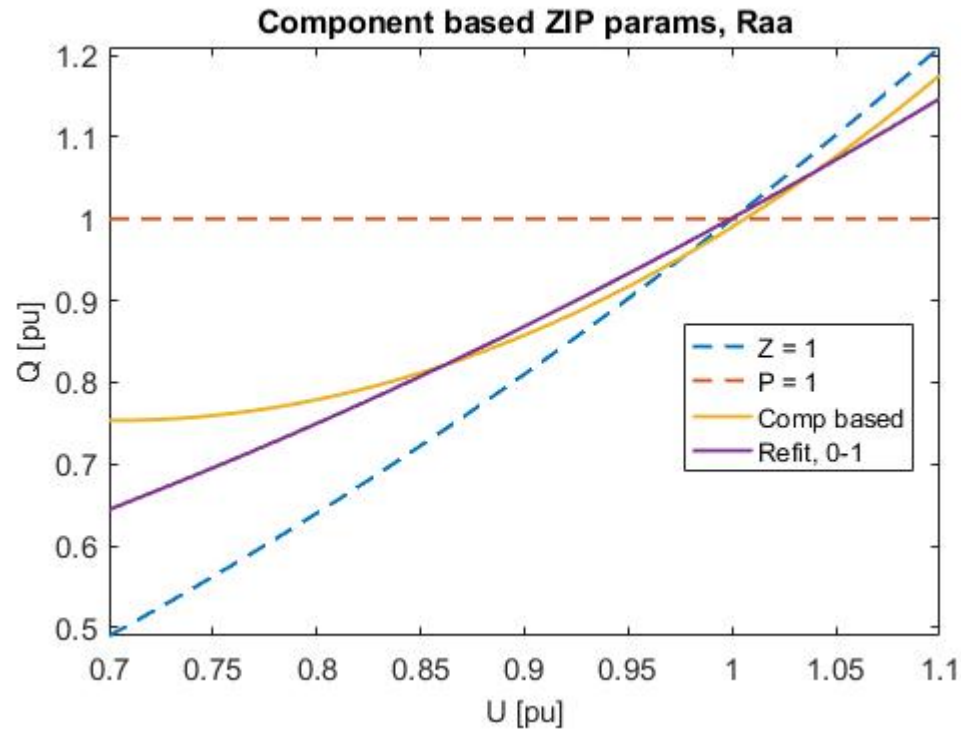
Utmaningar och problem frekvens



Utmaningar och problem reaktiv effekt



Utmaningar och problem modellbegränsningar



Framtida aktiviteter spänningsberoendet

- Ökat underlag för analys:
 - Flera utvärderingspunkter
 - Långtidsinstallation av mätare
- Automatiserad eventanalys
- Djupare komponentbaserad studie
- Exponentialmodellen

$$P = P_n \left(\frac{U}{U_n} \right)^{k_{pu}} \quad Q = Q_n \left(\frac{U}{U_n} \right)^{k_{qu}}$$

Framtida aktiviteter frekvensberoendet

- Vidareutveckling av komponentbaserad metod
- Identifikation av alternativa utvärderingspunkter – Gotland

Framtida aktiviteter

PSSE baserad metodutvärdering

- Kvantifiera påverkan på systemnivå för olika lastmodeller
- Detaljerad analys av händelser och base case scenarier
- Studier av lokala, regionala och nationella aspekter
- Ökad kunskap och acceptans för alternativa lastmodeller
- Aktiviteter planeras och genomförs av Svenska kraftnät, Statnett och Fingrid
 - Involvering av intern expertis – er kunskap är värdefull!

STRI

Emil Hillberg
Senior Specialist
Branch Office Manager Göteborg

STRI AB
Regnbågsgatan 8 B / 417 55 Göteborg / Sweden
Phone: +46 240 795 75
Cell: +46 725 64 95 75
emil.hillberg@stri.se
www.stri.se

