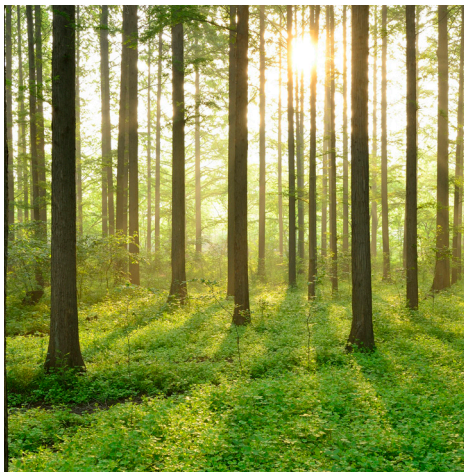


ELBILSUTVECKLINGENS PÅVERKAN PÅ LOKALNÄTSDIMENSIONERING AV NÄTSTATIONER

RAPPORT 2018:552



SMARTA ELNÄT



Elbilsutvecklingens påverkan på lokalnät dimensionering av nätstationer

En analys av effektmönster vid ökad mängd
elbilsladdning

JOACHIM LINDBORG
LINDA SCHUMACHER

ISBN 978-91-7673-552-7 | © Energiforsk december 2018

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Projektet *Elbilsutvecklingens påverkan på lokalnätsdimensionering av nätstationer* baseras på den snabba upptrappningen av antal laddbara fordon som inom kort kommer att påverka alla svenska elnät. Projektet är baserat på dels historiskt timdata och ny uppmätt data för att belägga hur ett typiskt elnät står rustat inför expansionen av elbilsladdning i lågspänningsnätet.

Projektets syfte var att öka kunskapen hur näten idag kan fungera med en ökande laddning och även få förståelse för hur kombinationen efterfrågeflexibilitet och styrning bättre utnyttjar befintlig infrastruktur. Genom att tidigt identifiera nätstationer som kan vara kritiska och där använda efterfrågeflexibilitet och automatisering i elnätet, kan förtidiga och överdimensionerade uppgraderingar i elnäten förebyggas.

Joachim Lindborg på Sustainable Innovation AB har varit projektledare för projektet. Energiforsk vill framföra ett stort tack till referensgruppen, som bidragit med sina erfarenheter och synpunkter under projektets gång. Referensgruppen har bestått av:

- Sune Bergerland, Karlstad Elnät AB
- Lars Olsson, Seniorit AB
- Magnus Lindén, Sweco Energuide AB

Programmet Smarta Elnäts programstyrelse, som initierat, följt upp och godkänt projektet, består av följande ledamöter:

- Peter Söderström, Vattenfall Eldistribution AB (ordförande)
- Torbjörn Solver, Mälarenergi AB (vice ordförande)
- Göran Ericsson, Svenska kraftnät
- Patrik Björnström, Sveriges ingenjörer (Miljöfonden)
- Kristina Nilsson, Ellevio AB
- Björn Ållebrand, Trafikverket
- Ferruccio Vuinovich, Göteborg Energi AB
- Per-Olov Lundqvist, Sandviken Energi AB
- Claes Wedén, ABB AB
- Daniel Köbi, Jämtkraft AB
- Hannes Schmied, NCC AB
- Mats Bergström, Umeå Energi Elnät AB
- Magnus Sjunnesson, Öresundskraft AB
- Henric Johansson, Jönköping Energi AB
- David Håkansson, Borås Elnät AB
- Peter Addicksson, HEM AB
- Anders Fredriksson, Energiföretagen Sverige (adjungerad)

Följande bolag har deltagit som intressenter till projektet. Energiforsk framför ett stort tack till samtliga företag för värdefulla insatser.

Vattenfall Eldistribution AB
Ellevio AB
Svenska kraftnät
Göteborg Energi AB
Elinorr ekonomisk förening
Mälarenergi Elnät AB
Kraftringen Nät AB
Jämtkraft Elnät AB
Umeå Energi Elnät AB
Öresundskraft AB
Karlstads Elnät AB
Jönköping Energi Nät AB
Halmstad Energi & Miljö Nät
AB Falu Elnät AB
Borås Elnät AB
AB Borlänge Energi
C4 Elnät AB
Luleå Energi AB
ABB AB
Akademiska Hus
NKT Cables AB
NCC Construction Sverige AB
Trafikverket
Storuman Energi AB

Stockholm i december 2018

Susanne Stjernfeldt
Energiforsk AB
Programområde Elnät, Vindkraft och Solel

Sammanfattning

Projektet utgår från att analysera timvärden för alla slutkunder under en nätstation för att förstå stationens effektsignatur. Karlstads elnät har byggt upp en metod baserat på mjukvaran Qlikview där det är möjligt att enkelt föra in timvärden för att snabbt få en indikation på stationer som kommer att få överlastsituationer vid till exempel elbilsladdning. Genom verktyget går det att uppskatta hur många samtidiga elbilsladdare en station rymmer inom en effektbegränsning på 80% av stationens maxlast. Verktyget är enkelt att hantera och är en bra start för lokalnätsbolag med tillgängliga timvärden att göra en analys av sina stationer.

Genom att kombinera timvärden med högupplöst mätdata på stationsnivå samt av alla faser och fack i en station belyses hur väl timvärden kan användas för estimeringen av mängden överkapacitet en nätstation. Målet var att kombinera högfrekvent mätdata från 10 st Metrum stationsmätare med detaljmätning på fack och fas i en station. Då det tyvärr inte gått att få Metrum-mätarna i drift under projektet baserar sig analysen enbart på en station där vi mätt högupplöst på facknivå.

Vi har sett att timvärdesanalysen i Qlikview ger ett mycket smidigt verktyg för att tidigt hitta stationer som har risk för överlast. Det måste dock vara möjligt att gruppera slutkundsmätare per fack då det i första hand är säkringar på respektive fack som är gränssättande snarare än stationen.

När man identifierat stationer/fack med risk för överlast är det mer intressant att gå vidare och realtidsmäta på de utgående facken än hela stationen.

Risken för effektbrist på grund av elbilar är inget som nätbolagen funderar så mycket på. Det finns nu ca 65000 laddbara fordon i Sverige och i Värmland finns enligt elbilsstatistik.se 806 fordon. Ökningen är dock markant och överträffar förväntningarna och vi ser att många stationer snabbt kommer att få bristsituationer.

För att lösa upp den eventuella effektbristen bör i första hand laddstolpar med uppkoppling och inbyggdstyrning förordas mot kund och bransch gärna genom någon incitamentsmodell som även förordar styrd utrustning. Det börjar komma affärsmodeller med aggregatorer men det är otydligt hur dessa skall regleras av Energimarknadsinspektionen och vad nätägare får eller inte får göra för att lösa effektutmaningar.

Summary

The project is based on analysing hourly energy values for all customers under a secondary substation to understand the station's power signature. Karlstad's power grid has built up a method based on Qlikview software, where it is possible to easily enter hourly values to quickly get an indication of stations that will have overload situations in, for example, electric car charging. The tool allows you to estimate how many simultaneous electric car chargers a station holds within 80% of the power load limit of the station's maximum load. The tool is easy to handle and is a good start for local network companies with available hourly values to analyse their stations.

Combining hourly values with high-level measurement data at the station level and all phases and trays in a station illuminates how well hour values can be used for estimating the amount of overcapacity a network drive. The goal was to combine high-frequency measurement data from 10-meter Metrum station gauge with detail measurement on outbound lines and phases in a station. Unfortunately, it was not possible to get Metrum meters active under the project; the analysis is therefore based solely on one substation where we added real time measurements. We have seen that Qlikview hourly analysis provides a very convenient tool for finding stations at a risk of overload. However, it must be possible to group end-customer meters per outbound lines as it is primarily fuses on respective line that are at risk rather than the whole substation.

When you identify substations / lines with risk, it is more interesting to add real-time measurement on the outgoing lines rather than the entire station.

Power shortage due to EV charging is not on the grid owners agenda yet. In Sweden there is now around 65000 chargeable cars. In Värmland there are 806 but the increase is substantial and the change is fast and it's a fact that many substations quickly will come in shortage when the expansion goes fast.

In order to overcome the potential power shortage, first and foremost a charging infrastructure with smart chargers should be incentivised by the grid company. Business models with aggregators are under development and will be a future tool for grid owners to tackle lack of power. But it is today uncertain how the regulatory models will allow this.

Innehåll

1	Bakgrund och mål	8
1.1	Mål	8
1.2	Genomförande	9
2	Analys av timvärden under nätstationer	10
2.1	Uppbyggnad av verktyget	10
2.2	Analys	12
3	Minutvärdesanalys av en nätstation	15
3.1	Installationer	15
3.2	Verifiering av mätningen	17
3.3	Tillgänglig effekt hela stationen	19
3.4	Snedbelastning mellan faser	21
3.5	Tillgänglig effekt respektive Fack per fas	23
4	Genomgång av ett lokalnät	25
4.1	Förbered exporter av timvärden	25
4.2	Vikten av noggrann dokumentation	25
5	Slutsatser	26
5.1	Timvärden och högupplösta värden	26
5.2	affärsmodeller	26
5.2.1	Krav på styrning och dynamiska effekt tariffer	26
5.2.2	Aggregatorns roll	26
5.2.3	Lokala effektmarknader	27
5.2.4	Alternativ till aggregator	28
5.3	Fortsatt arbete	29
5.3.1	Sociodemografiska studier	29
5.3.2	Komplettera studien med reaktiv effekt och övertons analys	29
5.3.3	80% av max effekten	29
5.3.4	Fortsätta mäta	29
5.3.5	Utökning med analys per fack	29
5.3.6	Kallt väder	30
5.3.7	Befintlig och ny elmätarinfrastruktur	30
5.3.8	Dimensionering nya nät	30
6	Referenser	31

1 Bakgrund och mål

I projekten KlokEl¹ och VäxEl² i Upplands energis elnät har det visats att efterfrågefleksibilitet är ett effektivt verktyg för att hantera dygnseffekttoppar. Sune Bergerland från Karlstads elnät kom under en workshop i kontakt med projektet och idén föddes att kombinera Karlstads elnäts arbete av att kartlägga lågspänningstransformatorer och deras effektprofiler för att förstå elbilars påverkan på lokalnätsdimensioneringen.

Genom att kombinera noggrann mätning i en nätstation med grupperade timvärden per fack från slutkundsmätare och potentialen med efterfrågefleksibilitet vill projektet se hur detta kan förändra möjligheterna att hantera laddning av elbilar ur en effektsynpunkt.

1.1 MÅL

Projektresultatet förväntas belysa om det går att styra överkapacitet i nätstationerna, dvs om det inte finns överkapacitet så kan ingen tjänst erbjudas. Hur mycket får elnätsbolagen styra och när behöver en aggregator ta vid? Denna studie förväntas ge både rekommendation på affärsmodell och teknikaspekter.

Projektet skall belägga hur befintliga lokala elnät står rustade inför en expansion av elbilar och solceller samt att titta på hur elnätsägare skall kunna arbeta med dimensionering av sina nätstationsområden.

Vi vill i Karlstads elnät (REL00092) studera ett års historiska timvärden för samtliga nätstationers uttagsprofiler (ca 395st). Med hjälp av mätdatat och uppgifter om de enskilda stationernas kapacitet beräknas hur stort utrymme det finns i dessa stationer för laddning av elbilar med olika ladd effekt. Metoden skall kunna överföras på andra nät i Sverige och vara till stöd i deras beslutsprocesser.

Vi vill verifiera hur man kan undvika att förstärka elnäten för att klara belastningen genom styrning av delar av kundens last (jämnt uttag per fas, bortkoppling av vald last).

Vi vill titta på möjligheterna att ha en effekttariff med avkopplingsbar effekt. Effekttavgiften minskar med x kr/kW för avtalad effekt som får styras vid behov samt belysa hur en aggregator eller annan skulle sköta denna styrning.

Skapa ett kostnadseffektivt enkelt verktyg för att snabbt tillfälligt och permanent kunna mäta och analysera en nätstation som man tror kan ha problem, utan att behöva göra större ingrepp och installera ex strömtransformatorer.

¹ <http://www.sust.se/projekt/nya-samverkansmodeller-pa-energimarknaden/>

² <http://www.sust.se/projekt/vaxel/>

1.2 GENOMFÖRANDE

Ansatsen i projektet var att förutom att använda befintliga timvärden från kundmätare komplettera 10 nätstationer med sedan tidigare inköpta Metrum mätare samt att på en station komplettera mätningen med högupplöst mätdata på fas och facknivå.

Tyvärr var det inte möjligt att under projektiden få Metrum mätarna driftsatta det krävdes stödverktyg och kommunikationslänkar som inte gick att få upp i tid. Analysen är därför byggd enbart på realtids mätning från en station.

Karlstads Energi har samlat in timvärden från hela sitt nät och kategoriserat detta i verktyget Qlikview så att man enkelt kan se stationer som är i riskzonen vid ökat effektuttag. Man kan även dela upp mätardatat i respektive fack.

Genom att detalj mäta med högupplöst mätning har vi därefter kunnat jämföra timmätningens analysen med den mer högupplösta analysen för att verifiera timmätningens relevans.

Vi hade hoppats på att hinna jobba djupare analys runt affärsmodellerna men från projektet Klok_El har man visat att även en liten mängd villor med vattenburen elbaserad värme kan bidra med stor mängd flexibilitet 250 hus kan bidra med så mycket som 1MW som direkt kan användas för att minimera effekttopparna som genereras från elbilarna.

2 Analys av timvärden under nätstationer

Karlstad energi har tillsammans med Viewbase AB använt verktyget Qlikview och skapat ett smidigt analysverktyg för nätstationer där det är lätt att utifrån aggregering av energibaserad timdata från slutkunder titta på hur mycket effekt som finns tillgänglig för elbilsaddning under enskilda lågspänningstransformatorer.

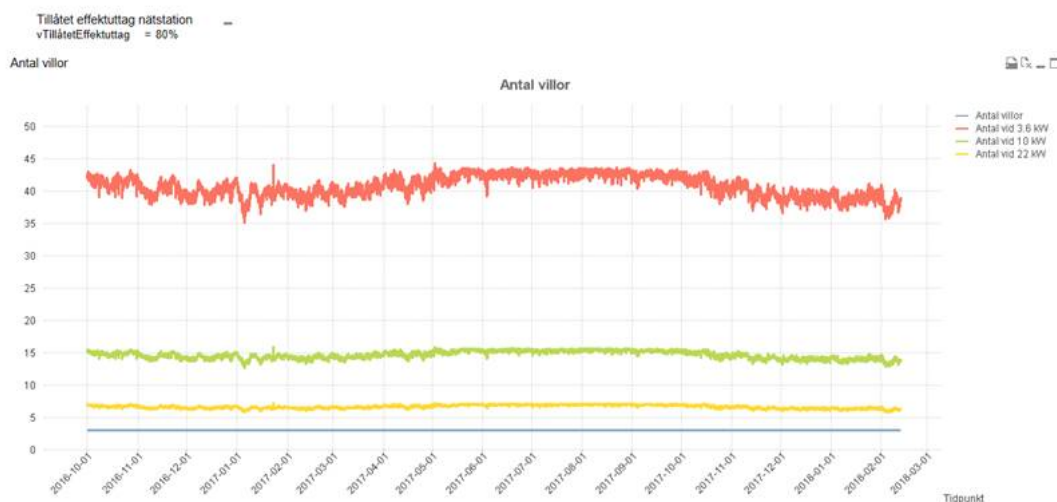
Som maxnivå för en station används en gräns på 80% av installerad effekt (märkeffekt) som inte får överskridas vid laddning av elbilar. Detta är valt för att delvis kompensera för följande:

1. Timvärden på energi innehåller enbart aktiv energi, så analysen tar inte hänsyn till reaktiva effekten (kVAr) av transformatorns märkeffekt (kVA).
2. I Timvärden på energi döljs eventuella snedbelastningar mellan faserna. Värdena ser därför ut som en perfekt balanserad station.
3. Timvärden ger endast medeleffekt över timmen. Momentant kan mycket högre effektnivåer nås.

Nivån 80% har ingen vetenskaplig grund utan är bara en känsla att vid analys av timvärden och ovanstående fakta är 80% "good enough" för att hålla stationen inom accept drift. Procentsatsen skulle kunna justeras i framtida analyser men denna rapport använder denna faktor som bas för analysen.

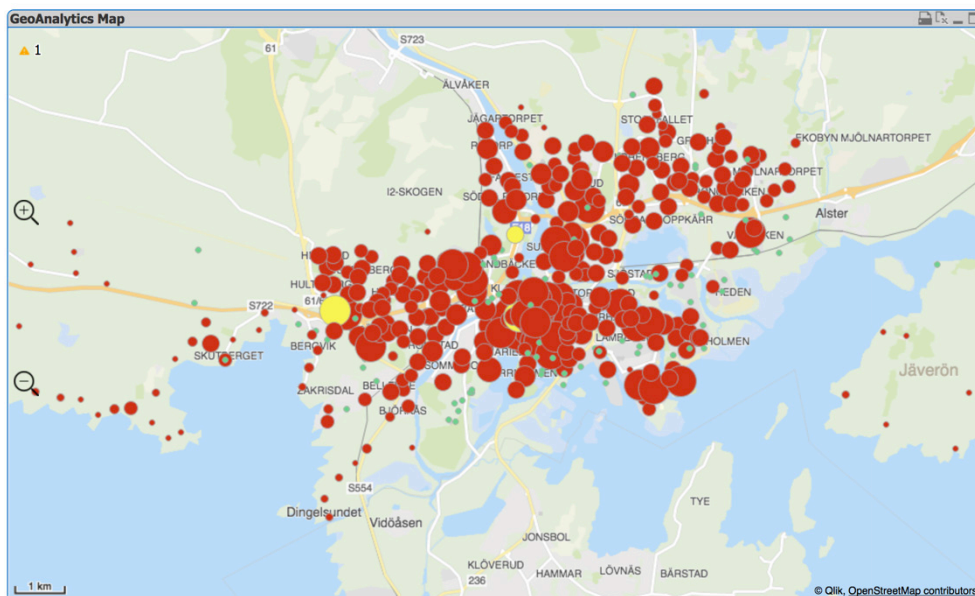
2.1 UPPBYGGNAD AV VERKTYGET

I verktyget Qlikview aggregeras slutkundsennergianvändning ihop till en energiprofil för hela nätstationen och per fack. Genom att per timme jämföra hur mycket utrymme som finns kvar till nivån 80% av märkeffekt fås en siffra på hur många samtidiga elbilsaddningar som ryms inom nätstationerna.

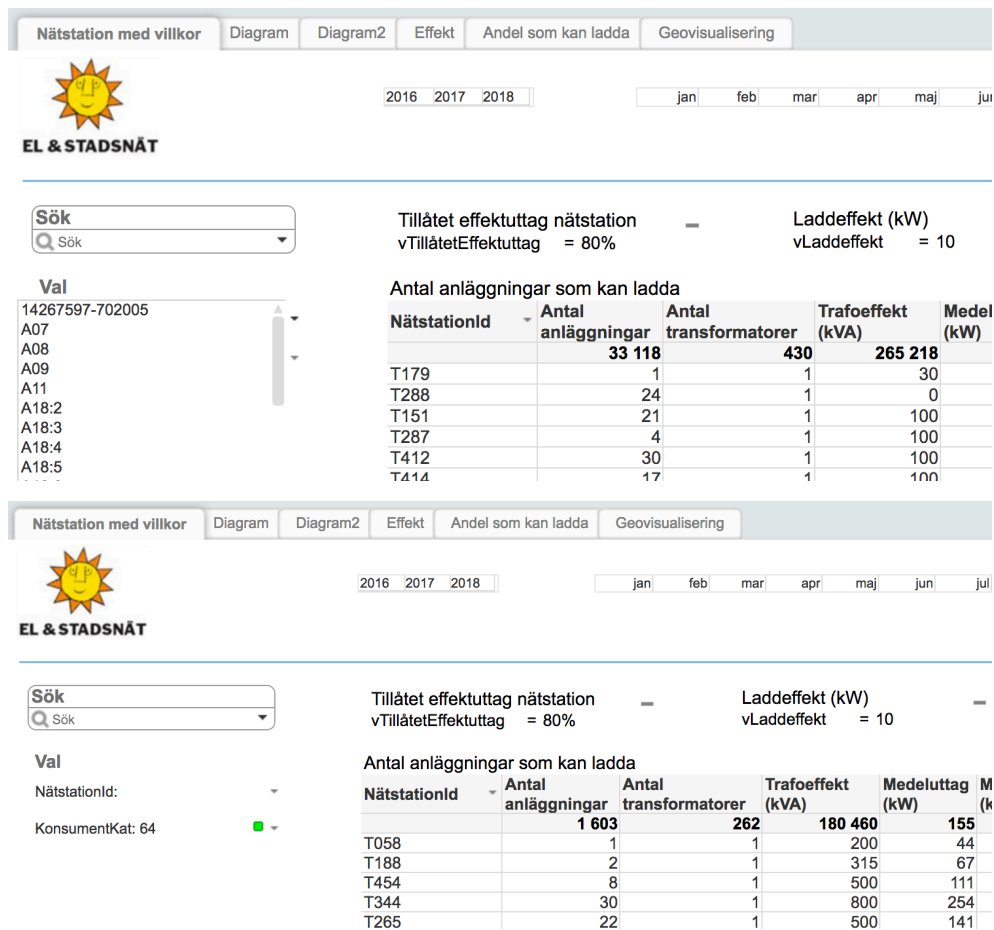


Figur 1. Exempel på resultat från stationsanalys i verktyget. Hur många samtidiga laddningar stationen kan härbärgera av typen 3,6 kW 10kW och snabbaddning 22kW på stationen ovan

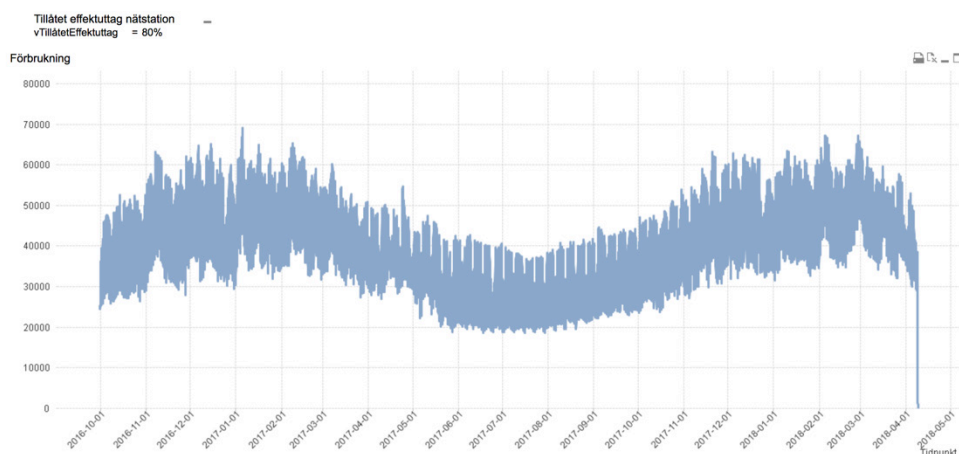
Det pågår också ett arbete att kunna göra detta grafiskt



Figur 2. Exempel på en grafisk representation av stationerna. Där storleken visar antal laddare och röd är 3,6kW laddare



Figur 3. Exempel på val av specifik station eller kundkategori



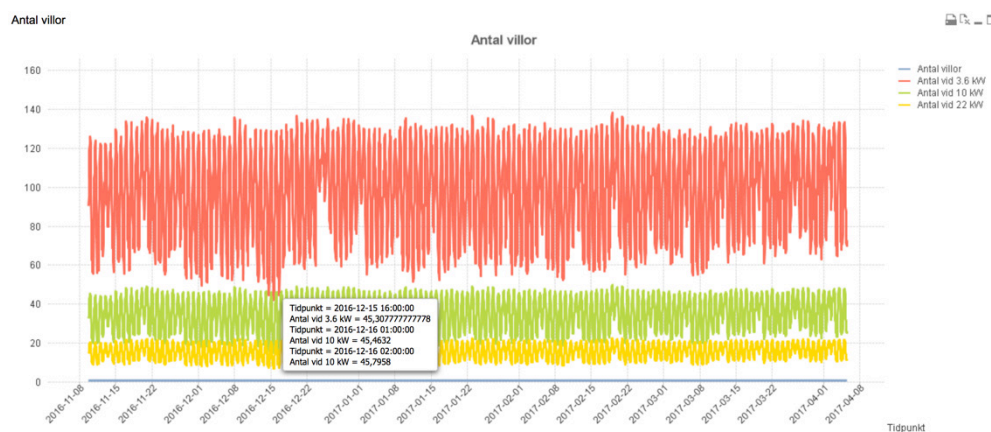
Figur 4. Exempel årseffekt grafer för hela elnätet

Verktøget arbetar i vyer där det enkelt går att välja en specifik station eller en specifik kundkategori och se hur mycket kapacitet det finns för laddning.

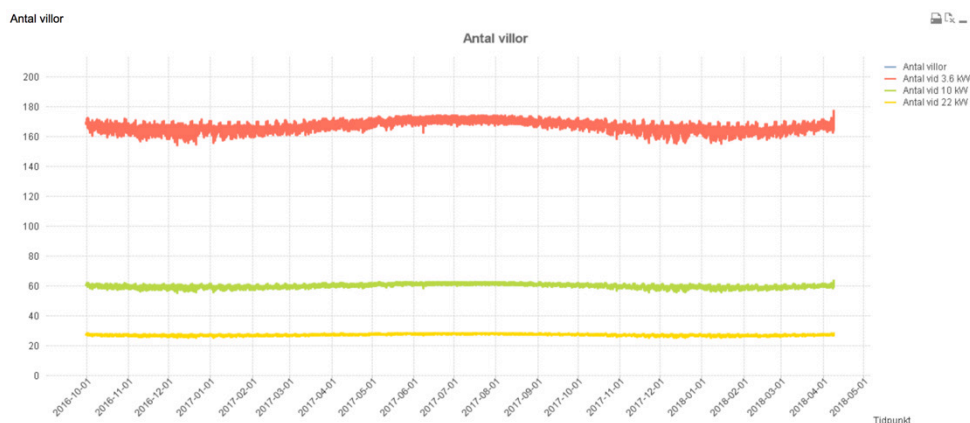
Det är mycket smidigt att jobba i verktøget och arbetet med att lägga upp datat för kontinuerlig import är det som tagit mest tid

2.2 ANALYS

I Figur 1 ovan visas antal laddningar som en station kan rymma, om laddarna antingen har en effekt på 3,7 kW, 10 kW eller 22 kW. Stationen kan alltså härbärgera 35 3,6kW laddare utan att någon timme under perioden 2016-10-01 till 2018-03-01 ha överlast.



Figur 5. Exempel på resultat från stationsanalys i verktøget. Hur många samtidiga laddningar stationen kan härbärgera av typen 3,6 kW 10kW och snabbbladdning 22kW på stationen ovan



Figur 6. Exempel på resultat från stationsanalys i verktyget. Hur många samtidiga laddningar stationen kan härbärgera av typen 3,6 kW 10kW och snabbladdning 22kW på stationen ovan

I exemplen ovan ses den stora spridning det blir på antalet bilar som en station kan härbärgera.

Det antas att alla bilar laddas konstant, vilket inte kommer vara fallet i verkligheten. Dock är det inte ett helt orealistiskt scenario att alla kopplar in sin elbil när de kommer hem från jobbet vilket leder till att alla laddar samtidigt någon gång under dygnet. Därför är det viktigt att göra denna typ av "värsta tänkbara"-scenario där den maximala lasten med ett visst antal bilar granskas.

Genom verktyget har en granskning av alla Karlstad elnäts 348 stationer med totalt 33 115 kundanläggningar gjorts baserat på timvärden från 2016 – mars 2018.

Nätstation med villkor										
EL & STADSNET										
Tillåtet effekttag nätstation vTillåtet#Effekttag = 80%										
Laddeffekt (kW) vLaddeffekt = 3.6										
Antal anläggningar som kan ladda										
Nätstationid	Antal anläggningar	Antal transformatorer (kVA)	Trafoeffekt (kW)	Medeluttag (kW)	Maxuttag (kW)	Antal vid vald laddeffekt (medel)	Andet vid vald laddeffekt (med)	Antal vid vald laddeffekt (min)	Andet vid vald laddeffekt (min)	Medeleffekt som klarar alla anläggningar hela året
T1179	1	1	30	488	671	-132	-132	-160	-17	572%
T288	24	1	0	49	116	-14	-58%	-32	-134%	-8
T151	21	1	100	29	74	14	67%	2	8%	0,3
T287	4	1	100	23	73	16	384%	2	50%	1,8
T412	30	1	100	27	67	15	49%	4	12%	0,4
T414	17	1	100	25	61	15	60%	5	31%	1,1
T305	18	1	100	24	61	16	66%	5	30%	1,1
T484	7	1	50	3	13	10	149%	8	108%	3,9
T314	23	1	100	18	50	17	70%	8	36%	1,3
T453	12	1	100	17	47	18	146%	9	77%	2,8
T455	11	1	100	16	46	17	156%	9	86%	3,1
T411	16	1	100	14	45	18	115%	10	61%	2,2
T056	18	1	100	18	43	17	96%	10	57%	2,1
T498	34	1	200	50	123	31	60%	10	30%	1,1
T226	3	1	100	4	41	21	705%	11	382%	13,0
T340	2	1	100	11	35	19	954%	13	631%	22,7
T155	12	1	100	11	33	19	159%	13	100%	3,9
T202	6	1	100	7	32	20	339%	13	224%	8,0
T498	36	1	200	52	111	30	60%	14	38%	1,4
T413	28	1	100	10	29	20	70%	14	51%	1,8
T063	26	1	100	10	26	19	75%	15	56%	2,0
T367	2	1	100	10	26	19	668%	15	746%	26,9
T131	11	1	800	91	586	152	1366%	15	136%	4,9
T493	3	1	100	7	20	20	674%	17	556%	20,0

Figur 7. Exempel på resultat för hela nätet vid laddning med 3.7kW då skulle 58643 bilar få plats i nätet, Vilket skulle betyda mer än 1 bil per anläggning

Hela Karlstads elnät skulle kunna härbärgera 58643 3.6kW laddare på de totalt 33118 anläggningarna det finns alltså en stor över kapacitet generellt men tittar man ner på stationerna ser man en annan bild.

Vid en elbilspenetrering av 20% tvärs över hela Karlstads kundanläggningar och att dessa använder en 3,6kW laddare, kommer 2016 13st, 2017 18st och 2018 17st

nätstationer, att hamna i effektproblem under någon av årets timmar. De 13 stationerna 2016 återfinns genom alla år.

Ser vi istället på de stationerna som rymmer minst antal bilar så räcker det med 2 bilar redan vid 3.7kW för att några stationer skall få problem under några timmar per år.

Den bästa stationen skulle idag kunna härbärgera 417st 3.6kW laddare på 243 anläggningar vilket ju är en stor överkapacitet.

Skulle trenden istället bli att man installerar snabbladdare på 10kW kommer ett 40tal stationer att få problem vid färre än 10 bilar inom stationen.

Det blir alltså kritiskt att veta i vilka områden som det är mest troligt att de boende skaffar laddinfrastruktur till sina bilar³ Denna förändringstakt kommer vara avgörande för att tidigt hitta stationer som kan hamna i problem.

³ Laddning via schuko vägguttag är inte med i analysen

3 Minutvärdesanalys av en nätstation

I de allra flesta fall finns på sin höjd timmätare att tillgå när analysen angående hur många elbilar som får plats under en nätstation görs. Eftersom den reala effekten kan variera mycket under timmen kan det även vara intressant att göra motsvarande analys för en realtidsmätare. En av nätstationerna i Karlstads elnät kompletterades därför med avancerad realtidsmätning på utgående fack i stationen.

3.1 INSTALLATIONER

10 stationer förseddes med Metrum SC, stationsmätare som även mäter el kvalitet. Tyvärr har det inte gått att få dessa uppkopplade och i full drift under projektiden, varför inga användbara mätdata har erhållits från dessa mätare som hoppats. Det är dock möjligt att fortsätta projektet och följa upp dessa 10 stationer i fortsatta analyser.

En av nätstationerna kompletterades med avancerad mätning på alla utgående 400V fack med strömtransformatorer. Mätarna är trafomätare av Rogowski-typ.

Beskrivning av transformatorstation och säkringar per fack

Stationen är på 500KVA med 6 utgående fack varav 1 är till belysning.



Figur 8. Fotografi av aktuell nätstation

Då det i stationen fanns 3-fas uttag för lokal driftsättning var det mycket enkelt att ansluta strömtrafomätningen till detta. Mätningen försågs med egen internetanslutning.



Figur 9. Fotografi av aktuell nätstation med mätning applicerad

Tabell 1 nedan visar säkring per fack, samt vilken årsanvändning respektive fack har.

Tabell 1. Fördelning av användning per fack (fack 1,2 inte anslutet)

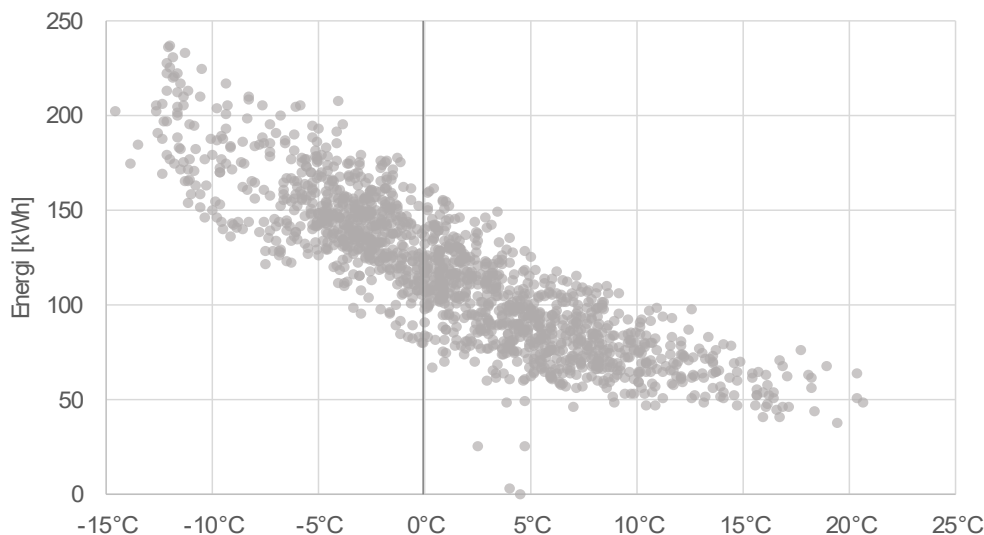
Fack	Kabel	Säkring	Årsanvändning
Fack 3	3x185	GL-GG-250	109 452 kWh
Fack 4	3x95 c	GL-GG-250	160 042 kWh
Fack 5	3x185	GL-GG-250	124 404 kWh
Fack 6	3x240	GL-GG-315	318 222 kWh
Fack 7	3x240	GL-GG-315	74 706 kWh
Fack 8 (gatubelysning)	3x25	GL-GG-80	12 322 kWh

Beskrivning av kundpopulationen under stationen

Stationen har en årsförbrukning på ca 800 MWh och består av 54 anläggningar. visar vilka typer av abonnemang som hör till de olika anläggningarna. Bortsett från gatubelysningen så tillhör alla abonnemang hushållskunder.

Det är främst villor med elvärme under stationen, vilket innebär att lastprofilen kommer vara starkt beroende av utomhustemperaturen, se Figur 10. Mätningen i stationen startades i slutet av mars 2018, där det visserligen var en del kalla

temperaturer men i jämförelse med vintermånaderna (dec-feb) så var temperaturerna klart mildare. Detta innebär att de maximala lasterna som analyseras i denna rapport mest troligt är något lägre än den faktiska topplasten under ett år.



Figur 10. Elanvändningen per timme i nätstationen som en funktion av utomhustemperaturen under perioden mars – maj 2018

Abonnemangstyp	Antal	Årsanvändning
Villa med elvärme	41	620 MWh
Villa utan elvärme	8	121 MWh
Flerfamiljshus/fastighetsabonnemang	4	46 MWh
Gatubelysning	1	12 MWh

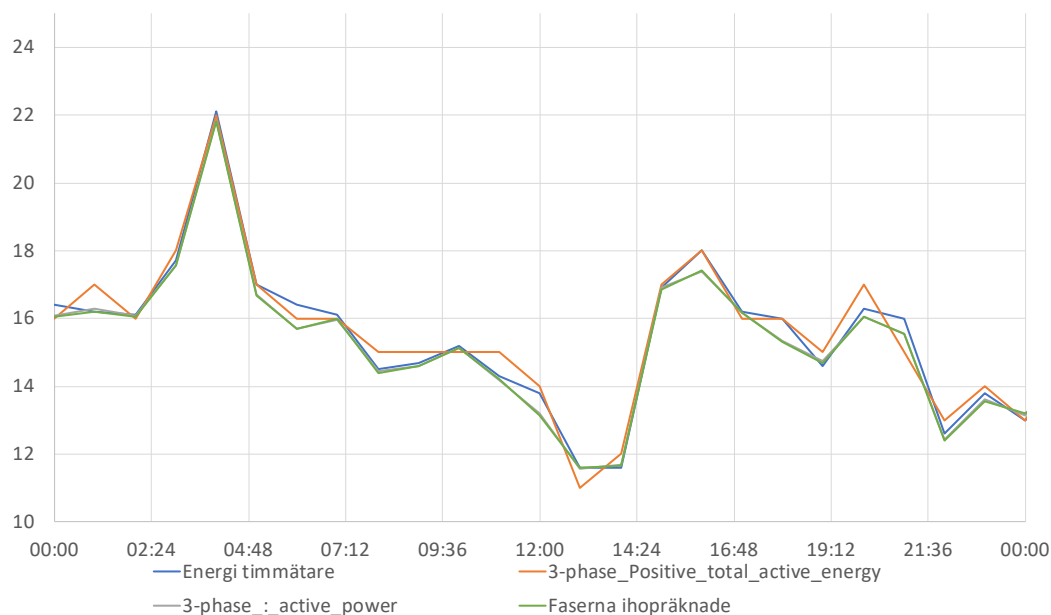
Tabell 2. Typ av abonnemang, antal samt aggregerad årsanvändning

3.2 VERIFIERING AV MÄTNINGEN

Genom att jämföra effektsignaturen från det högupplösta mätdatat med effektsignaturen för timvärdet från kund går det att verifiera att mätningen var rimlig och inte avvek från timmätningen. Det visade sig dock att facken var omkastade i dokumentationen.

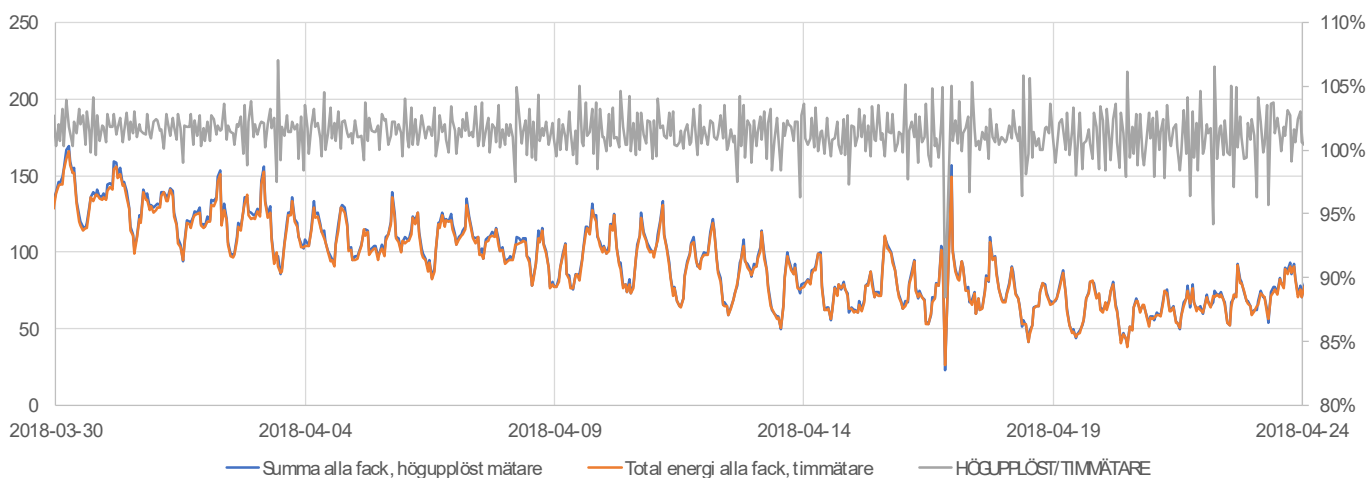
Den högupplösta mätaren mäter 1–2 gånger per minut och registrerar flera olika storheter. I nedan figurer använder vi oss av:

- **3-phase_Positive_total_active_energy**, som är en rullande mätare med energi som mäts i kW (dvs, mäts som en mätarställning som ökar med energin som används)
- **3-phase_:_active_power**, som är den aktiva effekten och mäts i W.
- **Phase_1_:_active_power**, **Phase_2_:_active_power**, **Phase_3_:_active_power**, som är den aktiva effekten för respektive fas. I figuren nedan har faserna adderats.



Figur 11. Verifiering av mätning, figuren visar kWh per timme under ett slumpvis utvalt exempeldygn för ett av facken. Dels med momentan effekt dels som fördelad medeleffekt av energimängd.

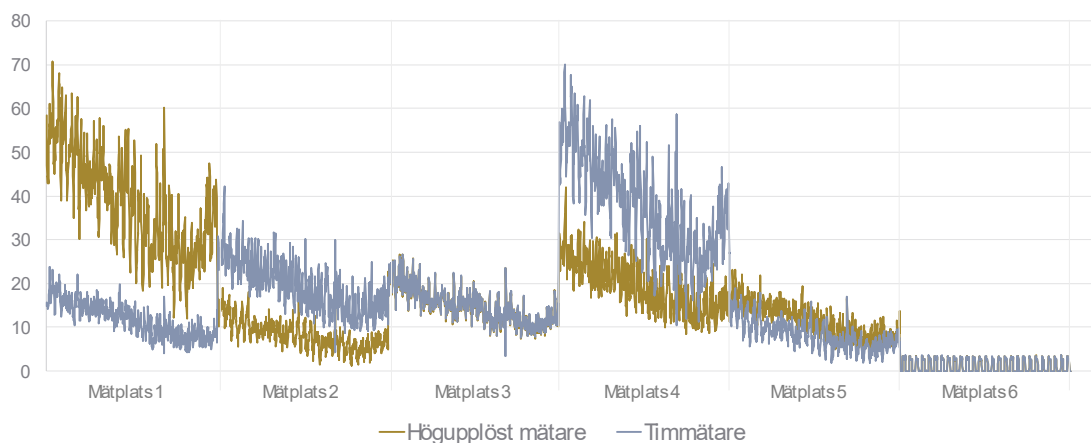
Figur 11 visar energianvändning per timme för ett dygn (3 april – slumpvis utvalt) i ett fack. För att jämföra den högupplösta datan med timmätningen hos kund har den högupplösta mätarens data aggregerats på timme. Eftersom den totala energimätaren (3-phase_Positive_total_active_energy) endast mäter i upplösningen kWh, blir timvärdena heltal, och den skiljer sig därför från timmätaren på ett antal ställen. Om timmätaren istället jämförs med den aggregerade effekten hos 3-phase_:_active_power, som alltså är den aktiva effekten, stämmer värdena bättre. För just det här dygnet i det här facket så ger den högupplösta mätaren något lägre energivärden än timmätaren. För den totala energin i stationen är det dock tvärtom.



Figur 12. Summering av energin från den högupplösta mätaren och timmätaren per timme för alla fack (aggregerat), samt kvoten mellan den högupplösta mätaren och timmätaren

Figur 12 ovan visar den totala energin i nätstationen under en månad. Den högupplösta realtidsmätaren och den totala energin från timmätaren följer varandra väl. Kvoten mellan det högupplösta värdet och timvärdet ligger i genomsnitt strax över 100% (101,3%), vilket betyder att den högupplösta mätaren mäter lite mer energi än vad timmätningen på kundnivå gör. Detta kan bero på att ringtrafomätare är något mer exakta än slutkundsmätarna det är också så att mätningen i stationen även inkluderar förlusterna i lokalnätet.

När jämförelsen gjordes per fack upptäcktes att referenserna på stationskortet är omkastade mellan verklig mätning och dokumentation. Detta visas i Figur 13, där man tydligt ser att exempelvis den högupplösta mätaren värden från Mätplats 1 istället hör ihop med timmätningen från Mätplats 4. Några avvikelser i att kundernas timmätare skulle vara feldokumenterade mellan facken har dock ej hittats.



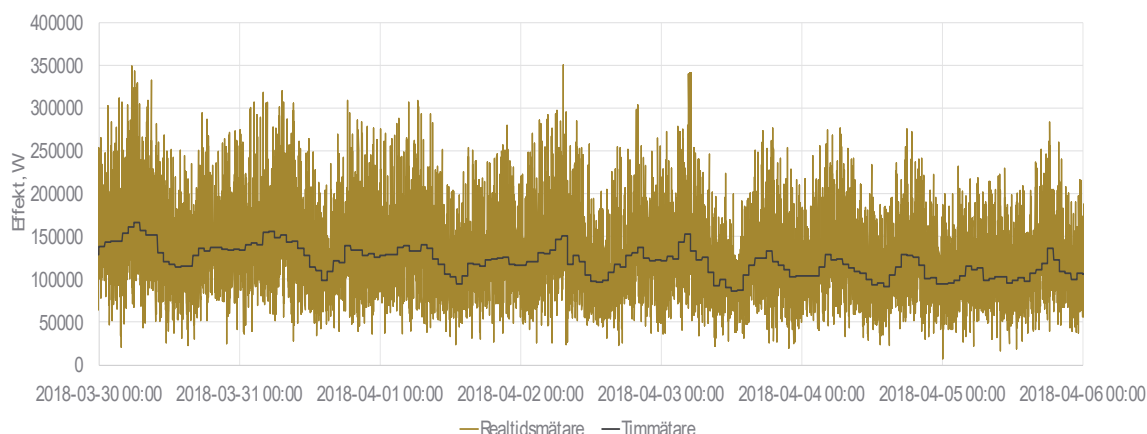
Figur 13. Jämförelse mellan högupplöst mätare och aggregerade timmätare per fack.

Den faktiska kopplingen ska istället vara:

Fack	Mätplats
Fack 3	5
Fack 4	4
Fack 5	3
Fack 6	1
Fack 7	2
Fack 8	6

3.3 TILLGÄNGLIG EFFEKT HELA STATIONEN

Som Figur 14 nedan visar kan den reala effekten i en viss minut vara upp till dubbelt så hög som timmedeleffekten från timmätaren. Detta väcker frågan hur väl analysen på timme stämmer överens med "verkligheten".

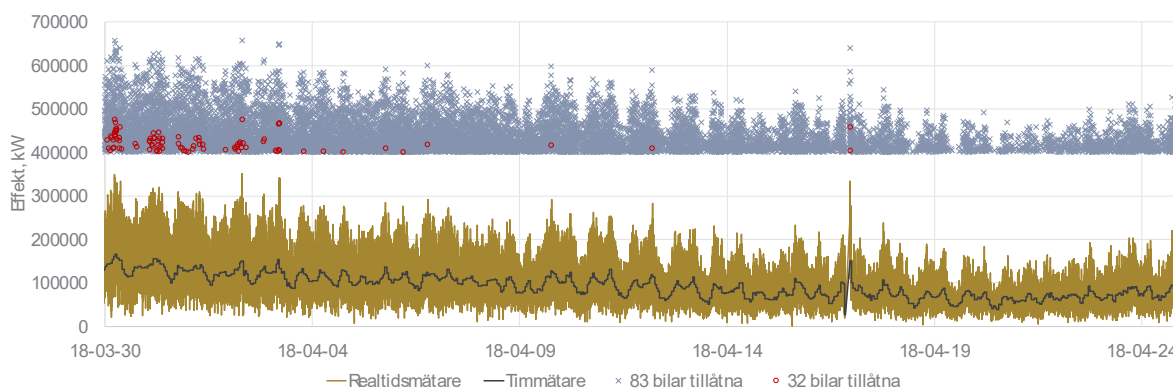


Figur 14. Realtidsmätta effektdata och timmätta data för en vecka i april i en nätstation

Uträkningarna från Qlikview med timvärden visar att det, givet medelvärdet på stationens uttag (91 kW under 2017), skulle få plats 83 bilar under stationen om alla laddades med en laddare med en effekt på 3.7 kW. Om istället stationens maxvärde under året används (273 kW) skulle det få plats 34 bilar. Om laddeffekten från dessa 83, respektive 34 bilar istället läggs på den högupplösta datan så blir resultatet annorlunda. Även i denna analys antas att alla bilar laddas hela tiden.

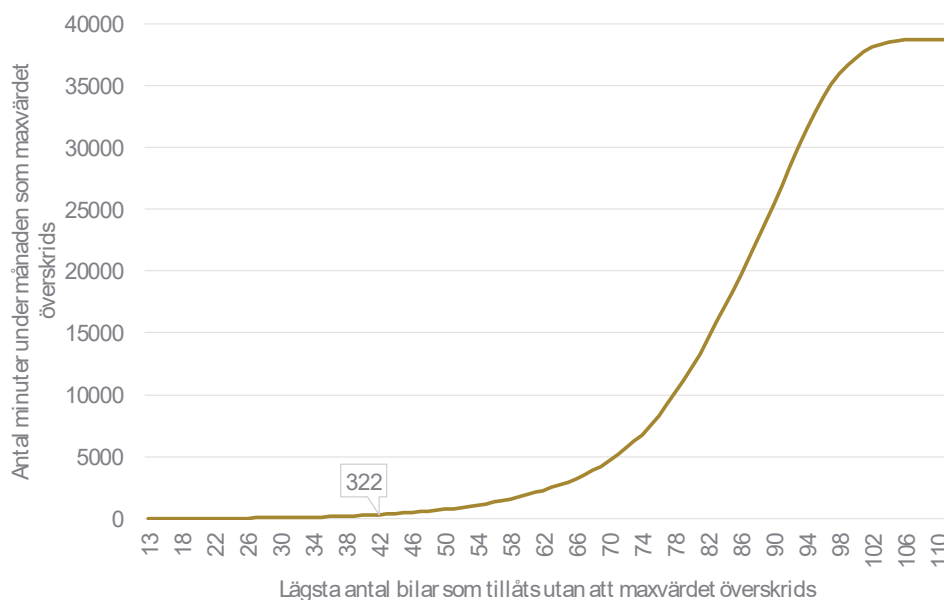
Figur 15 visar realtidsdata samt timmätta data för ca en månad (30 mars – 25 april) i hela nätstationen. På denna lastprofil har sedan elbilar adderats. De blå kryssen visar de gånger stationen överskrider sin kapacitet (400 MW), om de 83 elbilarna laddas samtidigt och de röda kryssen visar överuttaget vid 32 elbilar. De sista dagarna i mars och de första i april var relativt kalla dagar, varpå effekten överskrids tydligast under de dagarna. Den högupplösta mätaren startades i slutet av mars och därför finns tyvärr inga data under de riktigt kalla vinterdagar när kapaciteten troligen skulle överskrida ännu mer. Maxuttaget per timme under denna månad var 166 kWh, vilket kan jämföras med maxvärdet under 2017 som var 273 kWh.

Kapaciteten överskrids främst tidigt på morgonen (kl. 04.00 - 06.00), samt på kvällen (kl. 17.00 – 19.00). Ur ett elbilsaddarperspektiv är det tänkbart att de allra flesta kommer att ladda sin elbil på kvällen, vilket betyder att kvällstoppen kommer vara begränsande.



Figur 15. Realtidsmätta effektdata och timmätta data samt antal gånger nätstationen går över sin kapacitet med 83 respektive 32 bilar i nätet.

Precis som för uträkningarna i Qlikview antas att nätstationen får ligga på 80% av märkeffekten som var 500 kVA för den aktuella stationen. Maxvärdet blir då 400 kW. Under den studerade månaden är det lägsta värdet bilar, som får plats i nätstationen givet detta maxvärde, 13 bilar. Dock är det enbart en minut under hela månaden som värdet skulle överskridas med fler än 13 bilar i nätet. Maxvärdet i en nätstation kan överskridas med ca $1.45 \cdot$ märkström under en längre tid utan att säkringen löser ut. Men det är viktigt att ha i åtanke att ju oftare detta sker, desto mer förkortas livslängden på säkringarna, och i förlängningen riskeras stationen att skadas. Figur 16 illustrerar antal minuter som maxvärdet överskrids i stationen vid ett visst antal bilar.



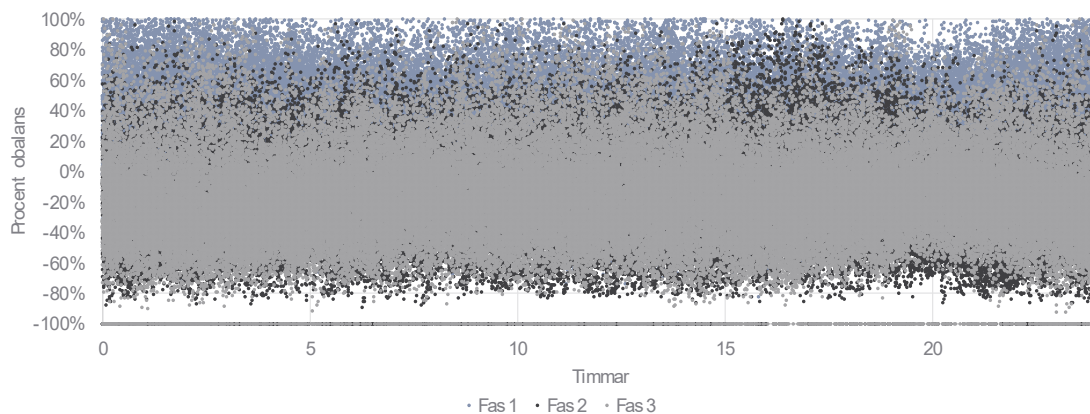
Figur 16. Antal minuter under månaden som maxvärdet överskrids vid ett visst antal bilar. Vid 42 bilar överskrids maxvärdet 322 gånger, vilket motsvarar 5h.

3.4 SNEDBELASTNING MELLAN FASER

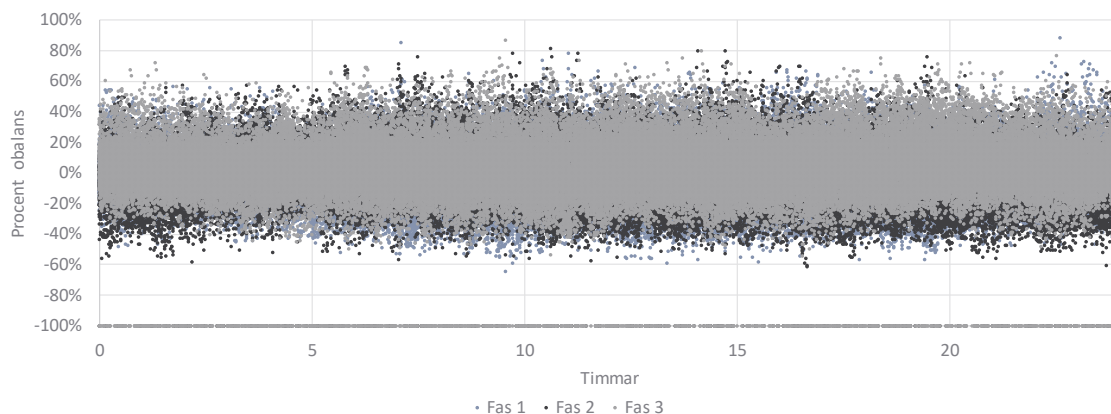
I dagsläget laddas de flesta elbilar med en enfasladdare, även om trefasladdare blir allt vanligare. En stor mängd enfasladdare kan leda till snedbelastning mellan

faserna, beroende på vilken fas som elbilarna laddas på. Att ha koll på denna snedbelastning mellan faserna är en första åtgärd för att kunna rymma fler elbilar i nätet. Obalans beräknas genom att räkna ut medelströmmen för de tre faserna och sedan beräkna procents avvikelse från denna effekt per fas. Om fasen ligger mer än 10% över eller under medel så anses punkten vara i obalans.

Figureerna nedan visar obalansen i de olika faserna i det fack med mest obalans (fack 3) respektive det fack med minst obalans (fack 6) i förhållande till minuten mätningen sker under dygnet. Som Figur 17 visar så är obalanserna stora i fack 3 oberoende av tid på dygnet. 80% av mätpunkterna är i obalans under mätperioden (29 mars – 11 juni). Störst är obalansen i fas 1, där hela 85% av punkterna är i obalans. I Figur 18 visas att obalanserna är lägre än i fack 3, 50% av mätpunkterna är i obalans. Dessutom blir obalanserna något lägre mitt på natten för att sedan öka under dagen. Tabell 3 visar obalanserna i de övriga facken.



Figur 17. Obalansen i de olika faserna i fack 3. Den största obalansen är i fas 1 (blå) följt av fas 3 (grå) och fas 2 (svart)



Figur 18. Visar obalansen i de olika faserna i fack 6. Den största obalansen är i fas 1 (blå) följt av fas 2 (svart) och fas 3 (grå)

	Fas 1	Fas 2	Fas 3	Totalt
Fack 3	85%	78%	79%	81%
Fack 4	67%	72%	66%	68%
Fack 5	63%	64%	68%	65%
Fack 6	52%	50%	49%	50%
Fack 7	73%	68%	77%	73%

Tabell 3. Visar hur stor andel av mätpunkterna som är i mer än 10% obalans

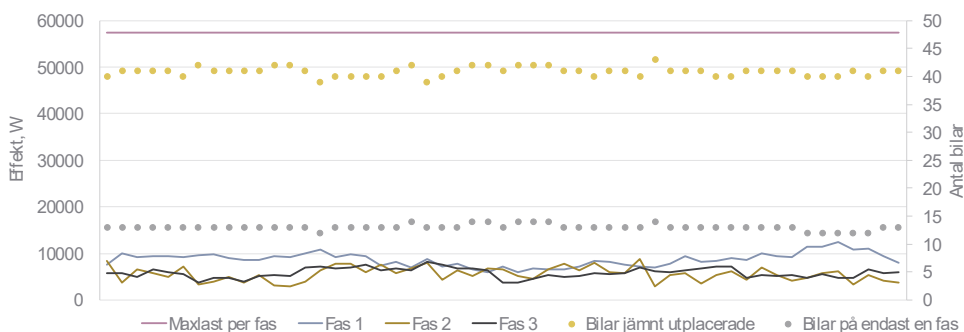
3.5 TILLGÄNGLIG EFFEKT RESPEKTIVE FACK PER FAS

Om alla elbilar under en nätstation kopplas in på samma fas kommer färre antal elbilar kunna laddas samtidigt än om elbilarna istället sprids ut på faserna. Då fack 8 endast används till gatubelysning och inga elbilar kommer kopplas in där, granskas endast fack 3 – fack 7.

Fack 3, 4 och 5 har varsin trefasssäkring som är 250 A. Det motsvarar en säkringsstorlek på varje fas på ca 57,5 kW. Om bilarna placeras ut jämnt per fas skulle det (då lasten är som högst) få plats 37 bilar i facket. Om alla bilar istället laddas på den i dagsläget mest belastade fasen är det lägsta antal bilar som får plats 11 st. Skulle fler bilar än så laddas samtidigt på samma fas så överskrider säkringsstorleken. Tabell 4 visar resultaten för alla fack.

Fack 6 och 7 har en säkring som är på 315 A, vilket ungefär motsvarar ett maxvärde på 72,5 kW per fas. Om bilarna placeras ut jämnt per fas så får det i Fack 6 som minst plats 34 bilar. Om alla bilar istället laddas på den i dagsläget mest belastade fasen får det som minst plats 10 bilar.

Ett exempel visar i Figur 19. Här visas en timme på kvällen i Fack 3. De heldragna linjerna visar baslasten i respektive fas samt den maximala lasten som säkringen tillåter per fas. De prickade linjerna visar antal bilar som tillåts i varje minut under den aktuella timmen, både om bilarna placeras ut jämnt eller om de endast är på en fas (den mest belastade).



Figur 19. Fack 3 under en timme, 18.30-19.30 den 30 mars. Heldragna linjer visar lastprofilen i kW utan elbilar för de respektive faserna (vänster axel), medan de prickade linjerna visar antal bilar som får plats om de placeras på en fas respektive är jämnt utplacerade på faserna (höger axel)

	Bilar jämnt utplacerade	Bilar på den mest belastade fasen
Fack 3	37 st	11 st
Fack 4	32 st	9 st
Fack 5	36 st	11 st
Fack 6	41 st	13 st
Fack 7	45 st	15 st

Tabell 4. Visar det lägsta antalet tillåtna bilar per fack, dvs utan att någon säkring överbelastas

Ovanstående analys visar att så länge enfasladdare är det vanligaste för elbilsägare är det viktigt att även göra en fasanalys, och att det alltså inte räcker med en analys per fack. Ett fack som vid en första anblick ser ut att rymma 32 bilar vid en timvärdes analys, kan begränsas redan vid 9 bilar om alla placeras på en fas.

En strategi för att lösa detta är att använda sig av så kallade fasutjämnare för att jämna ut lasten mellan faserna. Dessa kan dels monteras i stationen på lågspänningsnskenan men också ute i nätet hos slutkunder det avgörande är om fasutjämnningen också skall ha tillgång till batterier och vilka effekter som behöver flyttas mellan faserna.

4 Genomgång av ett lokalnät

Det är enkelt att ta denna analys till andra lokalnät genom att anamma Qlick view verktyget och ha flyttbar enkel stationsmätning för att titta på stationer som identifieras. Detta material kan hyras.

En förutsättning är att det finns timvärden på alla mätare under en station som skall analyseras.

4.1 FÖRBERED EXPORTER AV TIMVÄRDEN

När man exporterar datat behöver man få med station, fack, kabelidentitet samt kundkategori på varje slutkundsmätare samt vilken position stationerna har så man kan göra en geo visualisering

4.2 VIKTEN AV NOGGRANN DOKUMENTATION

När man som Karlstad gjort börjat jobba med kategorisering av enskilda mätare och kvalitetsmätning på facknivå är det av yttersta vikt att man har tydlig och aktuell dokumentation av sina installationer. Saknas detta är det viktigt att gå igenom sina nät innan man för in felaktiga värden när man grupperar slutkundsmätare.

5 Slutsatser

Vi har sett att timvärdes analysen är en bra bas men för att få en komplett bild behöver man mer högupplöst data och med framtidens affärsmodeller så kommer man kunna parera effekttoppar med flexibilitet

5.1 TIMVÄRDEN OCH HÖGUPPLÖSTA VÄRDEN

Att använda sig av timvärden är ett bra första steg för att ta reda på hur många bilar som får plats i stationen. Det går att snabbt få sig en översikt av vilka stationer som är mer belastade än andra, och se var mer ingående analyser behöver göras.

För att vara säker på att nätet inte överbelastas behövs mer ingående analyser göras, genom att installera en högupplöst mätare. Då är det även möjligt att granska eventuell snedbelastning mellan faserna för att optimera antal bilar som får plats i nätet.

5.2 AFFÄRSMODELLER

Idag är det ett otydligt fält vilka affärsmodeller som är möjliga för att hjälpa nätbolag med att hantera effekttoppar i lokala elnät som har problemsituationer som kommer uppkomma pga fler laddbara fordon och en ökad elektrifiering. Vi har diskuterat olika lösningar och den mest intressanta är att i lokalnätet kunna ta fram efterfrågefleksibilitet snarare än förstärkningar i nätet.

5.2.1 Krav på styrning och dynamiska effekt tariffer

Det finns inga krav på att låta elbilsladdare vara uppkopplade och delta i styrnings scenarier. Men alla leverantörer av laddinfrastruktur har detta som optioner i sina laddare. Här behövs ett samarbete mellan länsstyrelserna när de ger tillstånd till bidrag till laddning och att nätägare skulle bli underrättade om penetrationen av laddare som fått bidrag.

Det skulle vara önskvärt om nätbolag kunde upphandla en eller flera huvudleverantörer av laddinfrastruktur som håller sig till en utsedd standard så att en aggregator kan sköta drift av laddinfrastruktur inom nätet och att kunder blir informerade om möjligheterna att välja styrbar utrustning

Nätbolag skulle då också kunna erbjuda styrningstariffer redan idag inom nuvarande reglering.

5.2.2 Aggregators roll

Inom varje elnät kommer olika aggregatorer att etablera sig. Projekt Klok_El har visat att värmepumpar med vattenburen värme kan bidra med stor flexibilitet just när den behövs av t.ex. elbils laddning eller vanliga effekttoppar pga beteenden.

Forum för smarta elnät har tillsammans med Sweco skrivit en rapport⁴ om den möjliga utkristalliseringen av hur man skall reglera denna marknad. Men det går redan idag för ett nätbolag att köpa tjänster i utsatta nät för att arbeta med effektbrister.

	Modell	Enkelt för aggregatorn	Enkelt för övriga aktörer	Rättvisa ersättningar	Kund/Marknad
Aggregatorn är eller har avtal med BRP	Integrerade modellen				Alla kunder Alla marknader
	Dubbla leveransmodellen				Främst stora kunder Alla marknader
	Kontraktmodellen				Alla kunder Alla marknader
Aggregatorn tillhandshåller balans tjänst	Okorrigerade modellen				Alla kunder Alla marknader
	Kompensationsmodellen				Främst stora kunder Endast balansmarknader
	Kundintegrerade modellen				Främst stora kunder Alla marknader
	Centrala avräkningsmodellen				Alla kunder Alla marknader
Aggregator tillhandshåller balans tjänst	Schablonmodellen				Alla kunder Alla marknader
	Referensprofilmodeller				Beror på typ av modell Hushållskunder Endast DA och Intradag

Det går nu fort och från och med 1a januari 2019 kan nu nätbolag införa taxor med till exempel bortkopplingsbara effekter på prov och man kan göra dessa prov under 3 år. Det är viktigt att hitta dessa flexibilitets tariffer och att det faktiskt testas i fält eftersom vi sett att det kommer behövas långt ut i elnätet.

5.2.3 Lokala effektmarknader

I Norge⁵ har man i en större transformator som man haft problem med infört en lokal effekt marknad för att minska på belastningen så den lokala marknaden gör att man kan skjuta upp de större elnätsinvesteringarna. På regionnät nivå finns nu ett EU projekt #coordinated⁶ SVK som tillsammans med vattenfall och eon vill skapa en region näts effektmarknad som skall testas i 4 områden med effektbrist.

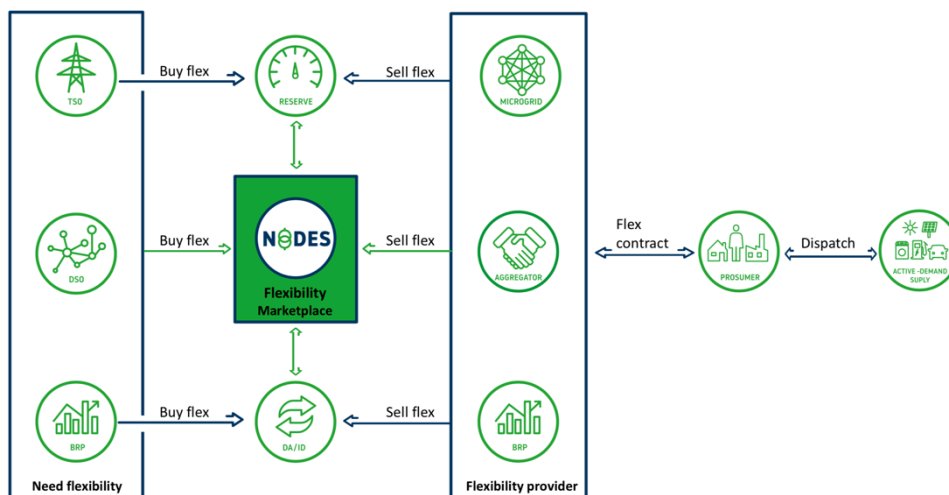
En lokal effekt marknad har potential att snabbt kunna hjälpa till med att skapa plats för mer utnyttjande av näten hur dessa kan skalas och fungera på många

⁴ <http://www.swedishsmartgrid.se/aktuellt/nyheter/sa-kan-aggregatorer-verka-pa-den-svenska-marknaden/>

⁵ <https://www.linkedin.com/company/nodesmarket/?originalSubdomain=se>

⁶ <https://www.svk.se/om-oss/press/nytt-samarbete-for-smartare-anvandande-av-elnatet-3054798/>

olika nivåer för att lösa allt lokalare effektbrister finns inga svar på ännu. Att kunna få en till en effektmarknad i en nätstation skulle vara möjligt men det blir en diskussion om balansansvar.



Tanken är att detta försök skall utökas och det kommer kunna bli en bra möjlighet för nätägare att minska på infrastrukturkostnader med hjälp av lokala marknader och flexibla IT lösningar.

5.2.4 Alternativ till aggregator

Aggregatorns roll uppkommer främst genom avsaknaden av standarder inom ett område och genom snabb teknikutveckling som på ett eller annat sätt samlar in en mängd system som avspeglar någon form av styrbar resurs. Denna aggregerade kraft bjuds sedan ut till olika aktörer. Genom reglering kan man helt stänga möjligheter för aggregatorer att agera.

En öppen de facto standard för hur enheter i fastigheter skulle kopplas upp mot överliggande system, där det finns ett tydligt styransvar för antingen nätägare eller elhandlare, skulle t.ex. minimera behovet av aggregatorer. Enheter som köps in av slut användare/fastighetsägare skulle då anslutas utan mellanhänder.

Detta är dock en nästan utopisk bild då enheter som fläktar, elpannor, batterier, elbilar och solceller har så stora olikheter i sina dynamiska egenskaper, att det är svårt att täcka in dem i enkla effektiva styralgoritmer. Den enklaste styrvarianten som redan provats är tidstariff och i Tyskland finns en variant med tre lägen i ett lokalt relä; låg, medel och hög. Dessa varianter har dock en tendens att inte skapa bra systemeffekter utan blir suboptimeringar mot de ingående komponenterna.

Snabbare energiavräkning, 5 min eller 15 min, kan fungera som en öppen standard och driva mot mindre incitament för aggregatorer då effektinnehållet i energi per kort tidsenhet blir tydligare, vilket sätter elhandlare i förarsätet och enheter kommer att lokalt regera på systempriset. Men systempriset kan också leda till problem i lokala elnät som inte har samma behov som systemet i stort. Det är en svår balansgång att parametrisera dessa enheter så att det inte uppstår massiva reaktioner vid exakta belopp på priserna, egentligen samma problem som tidigare tidstariff.

Med ökande digitalisering kommer aggregatorer vara nödvändiga precis på samma sätt som elmätarsystemen och energiavräkningen har behövt systemleverantörer som förstått sig på lokala förutsättningar såsom elnätkommunikation. Kanske kommer vi kunna se upphandlingar av aggregatorfunktioner i framtiden?

5.3 FORTSATT ARBETE

Under detta projekt har vi identifierat utökningar med fortsatt intressant arbete.

5.3.1 Sociodemografiska studier

Under detta korta projekt har stationen inte hunnit granskas på ur ett socio-demografiskt perspektiv för att koppla in sannolikheten att riskstationer faktiskt kommer få elbilar bland sin population. En sådan analys skulle kunna ge en utökad dimension på sannolikheten att en station hamnar på överlast.

5.3.2 Komplettera studien med reaktiv effekt och övertons analys

I denna studie har ingen hänsyn tagits till reaktiv effekt och övertoner. Detta skulle ytterligare utöka exaktheten i beräkningen av hur mycket fordon som kan rymmas i en station.

5.3.3 80% av max effekten

I analyserna jämförs lasten med en maxnivå av 80% av märkeffekten på stationsnivå. Beslutet om denna nivå togs i applikationen QlickView och är en nivå som skall inkludera osäkerheten kring fasutjämningen och faktiska lasttoppar under timmen samt att det bara är aktiv effekt. Denna nivå är bara en uppskattning och det går att se att när analysen är mer detaljerad skulle denna nivå kunna höjas. Det behövs dock en separat utvärdering av detta.

5.3.4 Fortsätta mäta

Under projektet gick det aldrig att färdigställa mätningarna med Metrums mätare för elkvalitet. Det skulle vara intressant att försöka färdigställa detta arbete, samt att fortsätta samla mätdata under minst ett år för att få en mer kvalitativ jämförelse. Att kunna göra reelltidsanalysen till ett mer automatiserat verktyg skulle också vara en intressant fortsättning.

5.3.5 Utökning med analys per fack

Redan idag har man i QlickView-arbetet tagit med fördelningen på fack, så en vy där man kan analysera ett fack och risken att överskrida avsäkring är relevant. Med mer avancerade mätsystem kan detta utökas med analys per fas i facket också.

5.3.6 Kallt väder

Kan det finnas idé att jobba mer med frågan utifrån vinterperspektivet? Här kanske man skulle kunna utgå ifrån tidigare rapporter, ex Elförbrukningens karaktär vid kall väderlek (typ). Man skulle även kunna föra en diskussion kring att bilarna dra mer el under vintern och att det påverkar systemet.

5.3.7 Befintlig och ny elmätarinfrastruktur

Vi har i denna analys baserat oss på timvärden för energi från debiteringsmätare vilket ligger till grund för att i Qlickview kunna identifiera utsatta nätstationer. Detta är en viktig del av analysen men behövde kompletteras med stationsmätning. Timvärdena har sedan använts för att verifiera projektets egen realtidsmätning vilket är basen för rapportens analys.

I mätsystemet finns inga möjligheter att hämta upp energi per fas vilket skulle ha varit intressant att koppla mot våra resultat i nätstationen. Energi per fas finns tillgängliga i elmätarna, men kan inte hanteras av insamlingssystemen. Om mätsystemen skulle kunna hantera detta, skulle man tillföra en större kunskap och förståelse och ännu tydligare kunna identifiera faser på olika linjer som ligger i riskzonen genom Qlickview presentationen.

Nyare mätsystem kommer också ha snabbare hantering av mätvärden, ända ner till 5 min. Då kommer man kunna göra mer av den analys vi gjort med hjälp av befintliga mätsystem.

5.3.8 Dimensionering nya nät

När man gör lastberäkningar i nya nät så behöver man räkna med att det finns en penetration av elbilar i näten, men hur många och räcker det med nuvarande formler för elvärmda villor som man använt tidigare?

6 Referenser

Här har vi samlat intressanta länkar och information

Viewbase och QlikView: <http://viewbase.se/losningar/e-view>

European pattern recognition project: <http://www.europeanpatternrecognition.eu/>

LOS energy, Effektmarknad Norge:

<https://www.linkedin.com/company/nodesmarket/?originalSubdomain=se>

KlokEl, Nya samverkansformer på energimarknaden:

<http://www.sust.se/projekt/nya-samverkansmodeller-pa-energimarknaden/>

VäxEl, Växlande effekttreglering: <http://www.sust.se/projekt/vaxel/>

Nyteknik 5 miljoner elbilar: <https://www.nyteknik.se/fordon/sa-ska-elnatet-forsorja-fem-miljoner-elbilar-6895429>

Roller för aggregatorer: <http://www.swedishsmartgrid.se/aktuellt/nyheter/sa-kan-aggregatorer-verka-pa-den-svenska-marknaden/>

CEER report on flexibility:

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiZ9MbTlMbDAhXkpYsKHWWNDUsQFjAAegQICRAC&url=https%3A%2F%2Fwww.ceer.eu%2Fdocuments%2F104400%2F-%2F-%2Fdb9b497c-9d0f-5a38-2320-304472f122ec&usq=AOvVaw1_QxZRuNz9CeLdyTm1blHf

<https://second-opinion.se/tema-sveriges-effektutmaning/>

<https://second-opinion.se/ny-elmarknad-flexibel-effekt/>

ELBILSUTVECKLINGENS PÅVERKAN PÅ LOKALNÄTSDIMENSIONERING AV NÄTSTATIONER

Idag har de flesta elbilsaddare en effekt på 3,6kW, men det finns också laddare med högre effekt och flera av dem är endast enfas inkopplade. Det betyder att dimensioneringen främst sker med hjälp av distributionsnätets säkringar och kablage, och bara i mindre utsträckning med hjälp av transformatorer.

När man granskar timvärden och energi, det vill säga när den faktiska effekten synas, blir det tydligt var i lokalnätet det uppstår problem när mängden elbilar ökar och laddinfrastrukturen byggs ut.

Det är kostsamt att uppgradera distributionsnätet och för att framtidssäkra de befintliga elnäten är det viktigt att efterfrågeflexibilitet och aggregatorer kan hantera flexibla resurser som laddning, batterilagring, fläktar, värmepumpar och elvärmegolv.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se