

FRAMTIDENS NÄTSTATION

RAPPORT 2018:540



Framtidens nätstation

GREGER SJÖBERG, MIKAEL WÄMUNDSON OCH DANIEL KARLSSON

ISBN 978-91-7673-540-4 | © Energiforsk december 2018

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

Förord

Projektet *Framtidens Nätstation*, som tillhör programmet Smarta Elnät, fokuserar på hur tillgängligheten ska öka, det vill säga kundavbrotten i elanslutningen bli färre och kortare genom att använda modern kommunikationsteknik och automatiker i framtida nätstationer.

Det är främst mät- och kommunikationssystemen som behöver utvecklas i framtidens nätstationer. Regleringen med högre krav på ökad leveranskvalitet kommer också att ha stor betydelse för utvecklingen.

Mikael Wämundson på DNV/GL har varit projektledare och han har samarbetat med Greger Sjöberg och Daniel Karlsson, även de från DNV/GL.

Energiforsk vill också rikta ett stort tack till referensgruppen, som bidragit med erfarenheter, en rättvisande bild av dagens distributionsnät och nätstationer samt en realistisk bild av framtidens nätstation. I referensgruppen har ingått:

- Lars Garpetun, Vattenfall
- Matz Tapper, Energiföretagen Sverige
- Joar Johansson, Ellevio
- Andreas Vikström, Krafringen
- Jan-Erik Gnipe, Svenska kraftnät
- Hossein Tabrizi, Öresundskraft
- Mattias Göthlin, Karlstad El & Stadsnät

Programmets Smarta Elnät programstyrelse, som initierat, följt upp och godkänt projektet, består av följande ledamöter:

- Peter Söderström, Vattenfall Eldistribution AB (ordförande)
- Torbjörn Solver, Mälarenergi AB (vice ordförande)
- Mira Rosengren Keijser, 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
Krafttringen Nät AB
Jämtkraft 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 november 2018

Susanne Stjernfeldt
Energiforsk AB
Programområde Elnät, Vindkraft och Solel

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet och publiceringen innebär inte att Energiforsk har tagit ställning till innehållet.

Sammanfattning

Rapporten *Framtidens Nätstation* utreder vilka faktorer som spelar in och avgör elnätsföretagens satsningar på att modernisera och utveckla nätstationer från dagens relativt grundläggande och tekniskt enkla funktioner till att vara en aktiv del i nätstrukturen och stötta elnätsföretagen i sina kvalitetshöjande ansträngningar för att öka tillgänglighet och tjänsteutbud.

De olika delarna i arbetet med rapporten *Framtidens Nätstation* resulterar i en sammanställning av nuläget, problematik kring, men framförallt de möjligheter elnätsföretag har i samband med, reinvesteringar och moderniseringar av nätstationer i en nära framtid. Utan att leverera detaljerade lösningar beskrivs, för svenska elnätsföretag, gemensamma frågeställningar och möjliga scenario. Regleringen av elnätsföretagens möjligheter till intäkter, investeringar och avkastning har stor påverkan på strategier och tidsramar för nödvändig utbyggnad, samtidigt som elnätsföretagens fokus flyttas från rena teknikfrågor till affärsmodeller och tjänsteutbud.

Referensgruppen, bestående av representanter från branschorganisationer och elnätsföretag, har bidragit med sin erfarenhet och kompetens, dels för att spegla nuläget, dels uttryckt vilken påverkan regleringen har och kommer att ha på elnätsföretagens investeringar och strategier.

Summary

The report *Future Secondary Substation* focus on key parameters for utilities decision making and strategies to modernize and develop secondary substations, from today's rather basic and technically primitive functionality, towards a more sophisticated component in the distribution network. Increasing possibilities in their efforts to enhance network availability and quality by implementing more technically advanced monitoring and control systems.

The different parts of the report address the current status and issues with an ageing network infrastructure including rudimentary secondary substations, also problematizing current status in relation to today's and tomorrow's demand on high availability and quality services. Without definite solutions, possible strategies for tomorrow's secondary substation and its technical context are presented.

The regulation of the electricity market has big impact on the revenue for the utilities and is the major incentive to develop the power system and introduce new services to increase availability and quality of services.

Innehåll

1	Introduktion, avgränsningar och ambitionsnivå	8
1.1	Avgränsningar och ambitionsnivåer	8
1.2	Ordförklaring	10
2	Nuläget för nätstationer	11
2.1	Problem och brister i dagens nätstationer	11
2.2	Utmaningar i framtiden	13
2.2.1	Transporter	14
2.2.2	Urbanisering	14
2.2.3	Framtida elanvändning inom industrin	14
2.2.4	Prosumenter och lokala energisystem	14
2.2.5	Användarflexibilitet	14
2.3	Litteraturgenomgång	15
2.4	Dagens nätstationer – Några typexempel	16
3	Tillgänglig teknik och pådrivande regelverk	22
3.1	Primärapparater och högspänningsutrustning	22
3.2	Sensorer, mätning	23
3.3	Kommunikationssystem	24
3.4	Ellagen och Energimarknadsinspektionen	25
3.5	Nätägarstrategier och affärsmodeller	27
4	Typstationer inom en överblickbar framtid	28
4.1	Den miljövänliga, billiga och driftsäkra nätstationen – Brons	29
4.1.1	Vad är en Brons-station	29
4.1.2	Vad krävs för att lämna brons-stadiet	29
4.1.3	Finns det plats för brons-stationer i framtidens nät	30
4.2	Den mätande nätstationen – Silver	31
4.2.1	...tala är silver...	31
4.2.2	Analoga värden	31
4.2.3	Digitala (diskreta) signaler	31
4.2.4	Varför uppgradera till silver?	31
4.3	Den fjärrmanövrerade nätstationen – Guld	33
4.4	Den autonoma nätstationen – Platina	34
4.5	Framtidens nätstation	35
5	Slutsatser	39
	Referenser	40
	Läshänvisningar Bilaga 1	42
	Vattenfalls lista över nätstationstjänster Bilaga 2	43

1 Introduktion, avgränsningar och ambitionsnivå

Volymanvändning av ny informationsteknik i elkraftsammanhang har nu blivit möjlig ända ner på nätstationsnivå. Informationsinhämtning från nätstationer och fjärrmanövrering av mellanspänningsnät i stor skala är nödvändiga utvecklingstrender för att elnätsföretagen ska kunna uppfylla sina leveransåtaganden, där elnätsregleringen ställer allt högre krav på kvalitet och tillgänglighet. Rapporten *Framtidens nätstation* beskriver på ett nyanserat sätt hur branschen successivt kan utveckla kvalitet och tillförlitlighet i elleveransen på låg- och mellanspänningsnivå.

Nätstationen är den enhet som inrymmer transformering till lågspänning för allmän distribution (eng. Secondary Substation). Nätstationer finns i många utföranden och olika komplexitet; från mindre stolpstationer på några 10-tal kVA för landsbygdsdistribution till dubbeltransformeringar i MVA-klassen. Dagens status på nätstationerna, samt nätägarnas problem, önskemål, principer och praxis skiljer sig mycket åt för olika distributionsområden (stad respektive landsbygd), men även mellan olika elnätsföretag. De olika elnätsföretagen har också olika förutsättningar, mognadsgrad och ambitioner, när det gäller att tillämpa nya tekniska landvinningar. Distributionsområdet, speciellt mellanspänning och lågspänning är "hett" – det är mycket på gång, och vi ser många intressanta utvecklingstrender. Det finns idag ca 175 000 nätstationer i Sverige.

Nätstationer måste även i en framtid byggas för en livslängd på åtminstone 40 år vad gäller huvudkomponenter. För kommunikations- och kontrollsystem planeras för en livslängd på mellan 10 och 20 år, beroende på typ av utrustning.

Författarna, liksom referensgruppens alla medlemmar, är väl medvetna om elnätsregleringens betydelse för möjligheterna att utveckla elnätsverksamheten, men med tanke på den tekniska utveckling som sker inom kommunikation och IT, samt de tjänster elnätsföretagen vill göra tillgängliga, är det ändå möjligt att peka ut en viss riktning.

1.1 AVGRÄNSNINGAR OCH AMBITIONSIVÅER

Nätstationen måste sättas in i sitt sammanhang, och därför blir det nödvändigt att i resonemanget ta med såväl lågspänningsnät och kabelskåp fram till kundanslutningspunkter, samt delar av mellanspänningsnätet fram till matande fördelningsstation, även om nätstationen är fokus för rapporten. I nätstationerna inkluderas, förutom samtliga primärapparater, utrustning för mätning av ström, mätkoncentratorer, spänning, effekt och energi, samt övervakning av icke-elektriska storheter i stationen, t.ex. buller från transformatorn, fukt, temperatur, skada, vibrationer, lås, övervakning med kamera samt kontroll- och kommunikationsutrustning.

Nätstationen omges på ena sidan av mellanspänningsnätet, vilket kan ha olika struktur och vara av både frilednings- och kabeltyp, och på andra sidan av lågspänningsnätet, där kunder är anslutna nästan uteslutande via kabel. I viss mån beaktas i rapporten vilka omkopplingsmöjligheter som är möjliga på mellanspänningsnivå.

På lågspänningssidan begränsar vi oss till nätstationer och kundanslutningspunkter, när det gäller mätning av ström och spänning. Styrel och bortkopplingsmöjligheter på elmätarnivå tas i beaktande. Värde av att mäta andra storheter än de rent elektriska beaktas.

En komponent i lågspänningsnäten, under nätstationerna, är kabelskåp. För kabelskåp kan man tänka sig att inkludera mätning av elektriska och icke-elektriska storheter, såsom säkringsövervakning, temperatur, fukt, skada (acceleration), lås, etc., på liknande sätt som för nätstationer. Kabelskåp, som komponent, behandlas dock inte speciellt i rapporten.

Bortsett från grundläggande terminologi och nödvändiga beskrivningar av gränssnitt för kommunikation och styr- och mätdatainsamling behandlas inte ämnet kommunikation och IT-säkerhet i detalj. Möjligheterna och förutsättningar till kommunikation med nätstationer skiljer sig väsentligt mellan olika elnätsföretag både genom geografisk belägenhet men på grund av strategiska teknikval hos de olika elnätsföretagen.

Många aktörer har lagt möda på att försöka förutse vilka förändringar som kommer att ske i elnäten på kort och lång sikt. Här har beaktats rapporter som *Sveriges framtida elnät*, från Ingenjörsvetenskapsakademien [1] och *Framtida krav på elnäten*, från Energiforsk [2]. Dessa ger information om de utmaningar och förändringar elnätsföretagen står inför.

Mycket arbete har också lagts på att undersöka möjligheter, nyttor och utmaningar i framtidens distributionsnät, både inom elnätsföretagen, på högskolor och andra forskningsorgan. Det vore förmätet av författarna att ha ambitionen att revolutionera branschen med denna rapport. Ambitionen har varit att sammanställa och bringa klarhet i vilken roll nätstationen kommer att ha i framtidens elnät.

Rapporten beskriver:

- dagsläget med problem och utmaningar, samt
- nätstationernas möjliga utveckling på kortare och längre sikt, avseende funktioner och tjänster, tillgänglig teknik och lösningar.

Rapporten riktar sig till:

- Ledningsgrupper i elnätsföretag
- Energimarknadsinspektionen
- Nätstationsleverantörer
- Elnätsföretag i allmänhet
- Tillverkare av primärapparater
- Leverantörer av mät- och styrutrustning och stationsdatorer
- Entreprenörer

- Analysföretag inom elkraftområdet
- Applikationsentreprenörer inom elkraftområdet

1.2 ORDFÖRKLARING

Med "framtid" menar vi i rapporten en ganska näraliggande framtid, och alla förslag och lösningar bygger på teknik som finns tillgänglig redan idag, inom elnätsverksamheten eller inom andra områden. Framtidens nätstation, så som den presenteras i rapporten, förutsätter således inga nya tekniska landvinningar, tekniksprång.

Med "mätning" avser vi ett allmännare begrepp än ren energimätning (kWh). Således används mätning för förmågan att samla in information via sensorer, givare och instrument. Detta inkluderar "smarta elmätare", ström- och spänningsgivare, lägesgivare, temperaturgivare, etc.

2 Nuläget för nätstationer

Elnätsverksamheten på låg- och mellanspänningsnivå står i en övergång till nya lösningar och modernare teknik. Allteftersom kommunikation blir billigare och tillförlitligare och brister i elleveransen får större påverkan är det nu ett ökat fokus på nätstationer och anslutande nät. Det här avsnittet belyser dagens utmaningar på nätstationsnivå och lyfter fram möjligheterna med morgondagens teknik och förutsättningar i övrigt.

Betraktar vi elnätet från utgående fack från fördelningsstationens mellanspänningsskena till kundanslutningspunkten på låg- eller mellanspänningsnivå, finner vi teknik och lösningar som spänner över mer än 60 år, för att i princip lösa samma uppgift.

”Åldersstrukturen för Sveriges lokal- och regionnät innebär att cirka 70 procent av nätkomponenterna är äldre än 20 år och cirka 37 procent av nätkomponenterna är äldre än 38 år. Elnätsstrukturen har inte byggts ut jämt år för år utan genomgick en stor expansion för 40–50 år sedan, vilket innebär att elnäten nu befinner sig i en extrem investeringspuckel.” [1]

Det är uppenbart att förutsättningarna för komplettering med ny teknik, nya metoder och lösningar är mycket olika. Förutsättningarna för efterinstallation och uppgraderingar är således högst varierande.

De olika elnätsföretagen har olika förutsättningar och olika utmaningar. Vidare har de kommit olika långt, har olika mognadsgrad, olika inställning till ny teknik, och därmed olika idéer om hur en framtida nätstation bör se ut.

Referensgruppens samlade bedömning är att nätstationsleverantörerna står ganska still och att ”alla väntar på alla”, framförallt saknas idag incitament genom regleringen för att förbättra och implementera ny teknik i nätstationerna.

2.1 UTMANINGAR OCH BRISTER I DAGENS NÄTSTATIONER

I det följande avhandlas problem och brister i dagens nätstationer och indikationer på hur detta skulle kunna avhjälpas.

Det övervägande problemet, som delas av flertalet elnätsföretag, är att man helt saknar information om förhållandena mellan utgående fack i fördelningsstationen (mellanspänningsnivå) och kundanslutningspunkter (dels på mellanspänningsnivå, dels på lågspänning). Denna informationsbrist leder i sin tur till att man

- inte kan övervaka och värdera förlusterna i nätet, var de uppstår eller vad de kan bero på;
- inte kan koordinera aktuella effekt-/energiflöden till den dokumenterade kopplingsbilden i nätet;

- blir beroende av kunder och allmänhet för sin nätövervakning och feldetektering; samt
- tar risker för följdfejl och för förvärrade skador till följd av tillkortakommanden som kunde upptäckts och åtgärdats med en bättre informationsinhämtning.

Som exempel informerade Vattenfalls representant i referensgruppen om försök med energimätning i 14 av deras nätstationer;

- i 8 av dem var allt normalt och i överensstämmelse med förväntningarna;
- i 1 av dem var förlusterna negativa, vilket antyder att den dokumenterade topologin inte stämmer;
- i 5 av dem var förlusterna obegripligt höga, vilket tyder på fel i komponenter, felaktig kundmätning, felaktigt dokumenterad topologi, eller något liknande.

En utmaning med mätning i nätstationer är dock att det inte överallt finns tillgång till lämpliga mättransformatorer för ström och spänning. Retro-fit av sådan utrustning kan vara speciellt problematisk i äldre typer av nätstationer.

Med kontinuerlig mätning av ström och spänning i nätstationen skulle en stor del av dagens problem på grund av brist på information kunna lösas. Nollfel, dvs. dålig kontakt eller avbrott i nollan, skulle kunna detekteras med ökad mätning.

Det är referensgruppens samlade mening att inom en snar framtid måste elnätsföretagen ha egna system för att detektera avbrott innan kunderna ringer – vilket betraktas som ett minimum kvalitetskrav för en framtida nätstation. Det är inte längre acceptabelt att använda kundkollektivet för kvalitetskontroll av elleveransen.

Statistik är viktigt för såväl säker drift, som effektivt underhåll. Databasen DARWIN, med störningsstatistik, har etablerats, och man jobbar för att få den bättre. I databasen hanteras även nätstationer som feldrabbad anläggningsdel, men det finns hos referensgruppen önskemål om att information rörande nätstationer utökas och blir mer detaljerad.

Mätning och kommunikation av ström och spänning enligt ovan baseras på medelvärden eller extremvärden under ett definierat tidsfönster (sekund eller minutskala). För att få information om elkvaliteten, på vilken myndigheten ställer krav, i nätstationen krävs ström- och spänningsmätning i hög upplösning samt möjlighet att hantera betydligt större datamängder. Sådan elkvalitetsmätning innefattar spänningsobalans, övertoner i ström och spänning, information om spänningsdippar, etc. Detta utgör också en utmaning och ställer krav på vilken utrustning som installeras i nätstationerna.

Förutom denna information kan finnas behov att kommunicera larm, fellägesindikatorer (kablade mellanspänningsnät), etc. Referensgruppen nämner som exempel Landskronas 120 nätstationer, där i ungefär hälften av stationerna brytarna har hjälpkontakt för lägesindikering, så att man lätt kan ta hem brytarläget till driftcentralen.

Med utökade mätningar finns underlag för ett effektivare och smartare underhåll. Dock kräver även mätsystem och kommunikationssystem övervakning och underhåll, och man måste vara observant så att underhållskraven på

hjälpssystemen inte överstiger nyttan. Svenska kraftnät tillämpar ”avhjälpande proaktivt underhåll” av komponenter, vilket innebär att man utnyttjar redan gjorda manövrer, reläskyddsfunktioner, etc., för att anpassa underhållet.

Omfattande mätningar och stora datamängder ställer också krav på nya kompetenser hos elnätsföretagen, t.ex. analytiker, ingenjörer med big-data-kompetens och processfolk.

2.2 UTMANINGAR I FRAMTIDEN

Elnäten byter successivt karaktär över tid. På senare år (läs: efter Gudrun i januari 2005) har stora delar av mellanspänningsnäten i Sverige vädersäkrats genom kabligifiering, vilket påverkar spänningshållning, elkvalitet och felbortkopplingssystemet. Vidare har belastningens karaktär förändrats:

- Allt fler större belastningsobjekt ansluts enfasigt (spisar, tvättmaskiner, torktumlare), vilket ökar osymmetrin i näten
- Allt fler motorer ansluts via omriktare, vilket ökar effektfaktorn och ökar övertonsinnehållet
- Belysning och matlagningsspisar har förändrad lastkaraktär, med avseende på reaktiv effekt
- Solceller för elproduktion ansluts till elnätet
- Allt fler objekt ansluts via olika typer av nätaggregat, med eller utan transformator
- Elbilsladdning blir allt vanligare

I Energiforskrapporten *Framtida krav på elnäten* [2], ges följande bild av framtidens elnät:

”Energisystemen i Sverige och Europa kan förväntas genomgå stora förändringar under de kommande decennierna. Krav på minskning av utsläpp av koldioxid samt tekniska förändringar innebär att variabel förnybar elproduktion kommer att öka väsentligt. En del av denna kommer också att produceras lokalt i liten skala, snarare än i stora centrala produktionsanläggningar.

Detta introducerar förändringar på energisystemet. [...]

Studien visar dels på att variationerna i uttagen effekt hos slutkonsumenter kommer att öka väsentligt, samtidigt som mängden överförd energi till slutkonsumenten sannolikt minskar. Effektflödet kan i vissa fall också komma att förändras, så att vissa lokalnät, eller delar av lokalnät, blir ”nettoproducenter”.”

IVA-rapporten [1], anger fem aspekter på förändringar i elnätet, som även kommer att ha en påverkan på lokalnät, och indirekt nätstationer; transporter, urbanisering, framtida elanvändning inom industrin, prosumenter och lokala energisystem samt användarflexibilitet. Dessa sammanfattas i det följande.

2.2.1 Transporter

Elektrifiering av transporter kan innebära en ökad andel batteridrivna fordon, som också kräver en kraftig ökning av laddinfrastrukturen med högre effekttoppar. Utmaningen tros bli högst i låg- och mellanspänningsnät. Utvecklingen går mot större batterier som kan laddas snabbare – effektuttaget kan bli upp till 150 kW för ett enda fordon.

Enligt projektets referensgrupp ser elnätsföretagen potentiella problem, inom några få år, för lågspänningsnäten att hantera laddning av elbilar. Det befaras ett antal större enfasanslutningar på uppåt 3 kW. I Stockholm har man noterat en kraftig ökning av elbilsladdare. I Karlstad har man gjort mätningar på transformatorer där man har mycket elbilar. De hittills använda sammanlagringsalgoritmerna håller inte längre.

2.2.2 Urbanisering

Liksom i stora delar av världen pågår också i Sverige en urbanisering, dvs. befolkningsökningen sker främst i storstäderna, och det finns ingen indikation på att denna trend kommer att ändras under tiden fram till 2050. Denna trend medför ett ökat tryck på elnäten kring städerna och att elnäten i glesbygd försörjer färre och färre människor. Också ökningen av elfordon är kraftigt överrepresenterad i tätorter.

2.2.3 Framtida elanvändning inom industrin

Bedömningen är att elanvändningen inom industrin totalt kommer att ligga på dagens nivå, åtminstone fram till 2030, men att den geografiska fördelningen kan komma att ändras något. Denna förändring anses här inte ha någon dramatisk påverkan på lokalnät och nätstationer, med undantag från vissa branscher, t.ex. datacenter.

2.2.4 Prosumenter och lokala energisystem

En prosumenter är en elanvändare som kan både konsumera och producera el. Det är mycket troligt att antalet prosumenter kommer att öka i samhället, med ökad andel småskalig distribuerad produktion. Detta kommer att medföra ett nytt sätt att använda framförallt lokalnäten. Vid stor produktion kan nettoflödet rent av byta riktning. I ett extremfall, där utvecklingen av laststyrning och batteri- och produktionsteknik leder till självförsörjande enheter, förlorar distributionsnäten sin huvudsakliga funktion.

Enligt projektets referensgrupp ser elnätsföretagen potentiella problem, inom några få år, för lågspänningsnäten att hantera solcellsanslutningar. Det är dock inte någon stor diskussion om försäljningen av el från elbilsbatterier i nuläget.

2.2.5 Användarflexibilitet

”Så kallad användarflexibilitet, det vill säga att elanvändare förändrar sin användning genom olika incitament, kan användas till att kapa toppar och få en jämnare belastning.” [1]

Enligt samma rapport, [1], medför den möjliga användarflexibiliteten (2 GW från industrin och 2 GW från privat användningen) inte någon stor påverkan på dimensioneringen av elnäten.

Enligt projektets referensgrupp är elnätsföretagen generellt tveksamma till att tillgodoräkna sig lastflexibilitet, inte minst på grund av gällande regelverk.

2.3 LITTERATURGENOMGÅNG

I Sverige har ett antal arbeten på högskolor fokuserat på nätstationerna. En del examensarbeten har utförts i samarbete med elnätsföretag, vilket visar deras intresse för frågan.

Examensarbetet *Mätning i nätstationer – nyttor och problem* [9], kan lyftas fram som exempel. I arbetet undersöktes vilka nyttor och problemmätning i nätstationer kan medföra. Det framhålls att det mest relevanta och strategiska stället att sätta upp mätningen är på lågspänningssidan, eftersom där redan finns strömtransformatorer. Både mätning för energi och elkvalitet behandlas. Rapporten redovisar ett trettiotal nyttor med mätning i nätstationerna, t.ex. en mer orienterad bild av energifördelningen i nätet, bättre förutsättningar att möta myndighetskrav gällande elkvalitet, bättre utnyttjande av transformatorer och kablar, vilket ger bättre effekt- och energibalans, bättre kontroll över förluster och olaga kraftavledning i nätet, förbättrad driftövervakning och förbättrad kundservice.

Ett antal artiklar från CIRED-konferensen 2017 i ämnet förtjänar att nämnas här. Artiklarna bekräftar också att mätning i nätstationer är ett ämne som engagerar elnätsföretagen.

Artikeln [3] går igenom en fallstudie där Ellevio beskriver och jämför övervakningssystem installerade i sex nätstationer i Stockholm. Artikeln nämner att Ellevio kommer att utöka studien och fortsätta utvärdera hur övervakningssystemen kan användas för att öka tillgängligheten och kapaciteten i näten. De har under 2017 och 2018 efterinstallerat i ytterligare 16 nätstationer och planerar för ännu fler. Som jämförelse kan nämnas att Ellevio har ca 23 500 nätstationer.

Artiklarna [4] och [5] beskriver det Europeiska projektet Upgrid, vars syfte är att utveckla funktionalitet för att bättre hantera mellan- och lågspänningsnäten i utvecklingen av distribuerad generering. Det nämns bland annat att utvecklingen av smarta elnät ställer krav på en ökad övervakning av mellan- och lågspänningsnäten, vilken kan uppnås via nya lösningar i nätstationer.

I artikeln [6] beskrivs ett Vattenfallprojekt med övervakning av låg- och mellanspänningsnät genom informationsutbyte mellan mätare (både hos kund och installerade i nätstationer), SCADA-system och nätinformationssystem. Slutsatsen är att med den ökade informationen finns det en stor potential att minska avbrottstiden för kunderna (SAIDI). Förbättringen är i paritet med betydligt dyrare åtgärder, som omfattande kablifiering.

Kontentan är att nätbolag och högskolor är medvetna om problem, utmaningar och möjligheter till utveckling och ny teknik som berör nätstationer. Pilotprojekt har också initierats på flera håll för att se hur t.ex. retrofit av utrustning i nätstationer är möjlig.

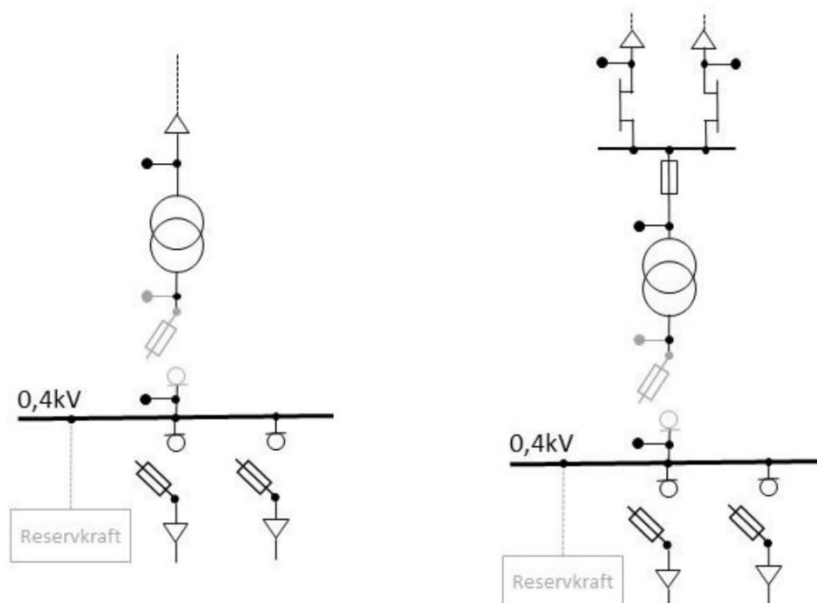
2.4 DAGENS NÄTSTATIONER – NÅGRA TYPEXEMPEL

I det svenska elnätet finns uppskattningsvis 175 000 nätstationer i allt från storstäder till avlägsen glesbygd. Dessa nätstationer betjänar olika stora kundgrupper, beroende på sin placering, från några få kunder till flera hundra.

Bestyckningen av nätstationen kan variera, men grundläggande är en inkommande anslutning från mellanspänningsnätet, nedtransformering till lågspänning (vanligast 400 V) och matning av ett antal utgående lågspänningskablar. Högspänningssidan är oftast uppbyggd med säkringslastfrånskiljare och lågspänningssidan med lastfrånskiljare till utmatningarna. Felbortkoppling sker i enklaste fall med säkringar, men transformatorer kan i vissa fall vara bestyckade med brytare och reläskydd. Kommunikationsutrustning och mätutrustning kan förekomma i olika utsträckning. Transformatorstorleken i nätstationerna kan variera mellan ca 50 och 1 250 kVA.

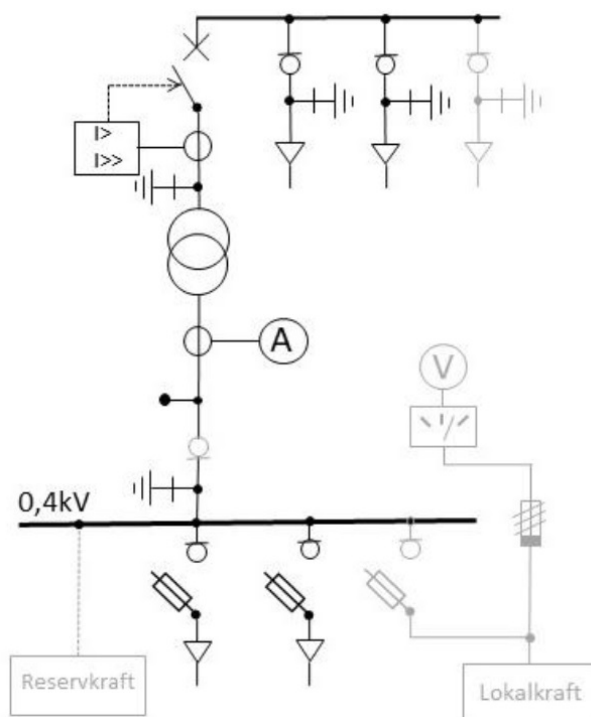
Nätstationerna placeras strategiskt i geografiskt hänseende och för att optimera lågspänningsnätets utbredning. Oftast placeras nätstationerna på mark i byggnader av plåt eller betong. I städer är det vanligare att inhysa nätstationerna i befintliga byggnader. En variant av nätstationer är stolpstationer, dvs. där transformator och anslutningar monteras i kraftledningsstolpe, utan byggnad. Denna lösning är speciellt vanlig på landsbygd, med små transformatorer och få betjänade kunder.

Satellitstation är en enkel form av nätstation där högspänningsställverket saknas och inkommande kabel eller luftledning ansluts via säkring eller elkopplare. En variant på detta är seriesatellitstationen med två inkommande anslutningar. I figur 2.1 från [7] visas typexempel på satellitstationer. I figurerna visas hur lågspänningsställverket har två utmatningar via säkringslastfrånskiljare till kablar. Inmatning till lågspänningsställverket sker från transformatorn, eventuellt via en säkringslastfrånskiljare. Inkoppling av reservkraft i nätstationen till lågspänningsställverket indikeras i figuren.



Figur 2.1. Typexempel på satellitstationer. Utan högspänningsställverk till vänster och med högspänningsställverk (seriesatellitstation) till höger. [7]

En större nätstation, med ett högspänningsställverk och utrustning för mätning av ström visas i figur 2.2 från [7]. Även anslutning av lokalkraft från lågspänningsställverket indikeras i figuren. Notera även kortslutnings- och överströmsskydden på högspänningssidan av transformatorn, vilka ger utlösningssimpuls till inkommande effektbrytare.



Figur 2.2. Typexempel på större nätstation. [7]

Större nätstationer kan förses med dubbeltransformering, dvs. två parallella transformatorer. Vid sådana lösningar finns också möjlighet till sektionering av ställverken med lastfrånskiljare.

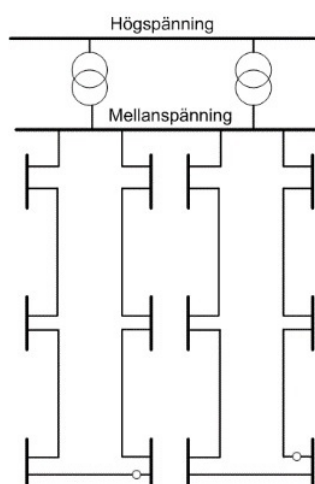
I EBR-katalogen beskrivs hur typexemplen ovan kan bestyckas med tillval. För högspänningsställverket kan detta vara motormanöverdon och fjärrstyrningsutrustning för brytarna. För fjärrstyrning ställs även krav på kommunikationsutrustning.

För lågspänningsställverket kan tillval innefatta lastfrånskiljare mellan ställverksdelarna vid dubbeltransformering, amperemätare med visare, ljusbågsvakt, reservkraftsanslutning, energimätning, central för lokalkraft. För fjärrstyrning av sektioneringsbrytare och energimätning ställs även här krav på kommunikationsutrustning.

Huvudsakligen finns tre kopplingsstrukturer i distributionsnätet; slingnät, radiellt nät och dubbelkabelnät, där slingnät är vanligast förekommande. Radiellt matade nät, utan alternativa matningsvägar är vanligast på glesbefolkad landsbygd medan dubbelkabelnät uteslutande finns i storstäder. En blandning av slingnät och radiella nät förekommer också.

Slingnät

Ett slingnät kännetecknas av att alla nätstationer har alternativa matningsvägar, där den alternativa matningen till nätstationen vanligen sker från ett annat fack i samma fördelningsstation. Nätet drivs oftast "öppet", dvs. en öppen lastfrånskiljare delar slingan i två delar, som matas från olika fack i fördelningsstationen. I nätstationerna finns oftast lastfrånskiljare, som vanligen är lokalt manövrerade, men det förekommer fjärrstyrda. Fjärrstyrning kräver då kommunikation med driftcentral. Vid fellokalisering och felisolering kan fjärrstyrda lastfrånskiljare avsevärt minska avbrottstiden, då lokal manövrering kräver att personal måste rycka ut.



Figur 2.3. Exempel på slingsnässtruktur. Fördelningsstation matande två slingor med sex nätstationer vardera.

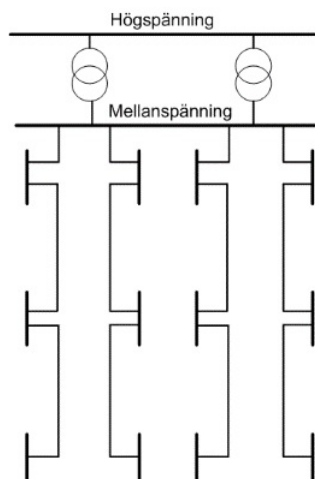
I dagsläget utförs generellt bara strömmätning i fack i fördelningsstationen och energimätning hos kund. Det finns spänningsmätning på fack i fördelningsstation, speciellt om lokal produktion förekommer. I vissa fall finns felindikatorer i nätstationerna som visar om felström passerat indikatorn, t.ex. med en lampa för visuell indikering.

Det finns sällan någon kommunikation mellan nätstationerna och matande fördelningsstation eller driftcentral. Vissa nätstationer är bestyckade med RTU:er som kan kommunicera med driftcentralen (via radio, GSM, 3G, 4G, LTE, RAKEL, fiber, etc.).

Mycket sällan finns automatiker för fellokalisering och omkoppling. Fördröjd återinkoppling tillämpas ibland på mellanspänningsnivå, vilket vid övergående fel kan resultera i mycket korta avbrott, utan insats av personal.

Radiellt nät

Vid radiell matning har varje nätstation bara en inmatningsväg, se figur 2.4. Vid ett fel på en radial, på mellanspänningsnivå kommer skydd i fördelningsstationen att lösa ut hela radialen. För att lokalisera felet krävs felsökning på plats av personal. Om det finns felströmsindikering i nätstationerna kan felet lokaliseras genom avläsning istället för patrullering av ledningar. Dock är denna utrustning ovanlig i radiellt matade nätstationer. Mycket sällan finns kommunikationsförbindelse mellan mätinstrument i nätstation och driftcentral, men sådan utrustning kan möjliggöra fellokalisering från driftcentral.



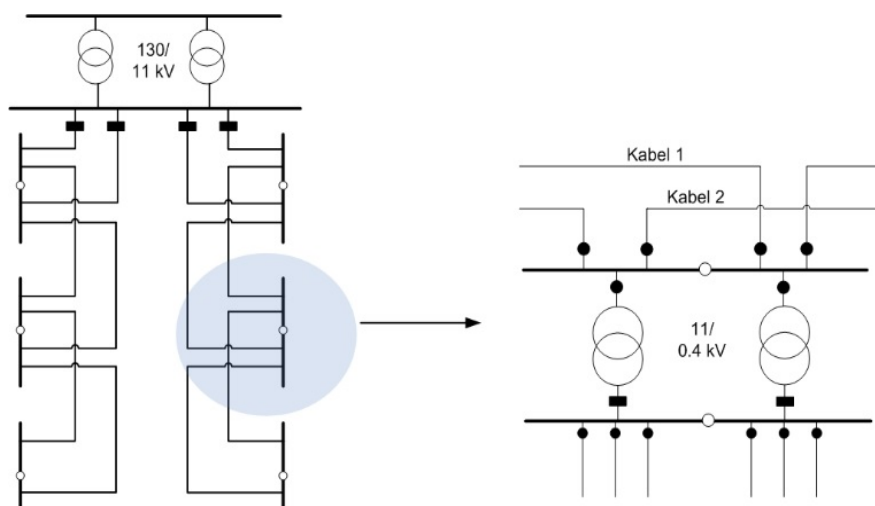
Figur 2.4. Exempel på radiell matning av nätstationer. Fördelningsstation matande fyra radialer med tre nätstationer vardera.

Efter fellokalisering kan lämplig lastfrånskiljare öppnas och nätstationer ovanför felstället kan återfå matning. Nedanför felstället förblir avbrott tills reparation är utförd. Reservkraft kan kopplas in för att försörja delar av radialen.

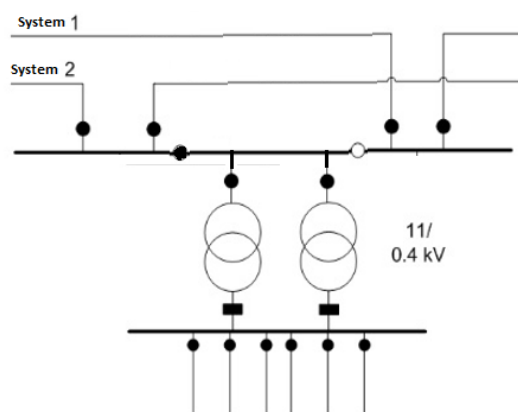
Frånskiljare i radiella nät är mycket sällan fjärrstyrda, då vinsten i radiella nät är liten.

Dubbelkabelnät

I ett dubbelkabelnät kan varje nätstation matas av två parallella kablar, se figur 2.5 och figur 2.6. Nätstationerna är oftast dubbelkabelstationer, men kan också vara utformade som i slingnät. Dubbelkabelnäten drivs nästan alltid radiellt, från en av de två möjliga kablarna i olika fack i fördelningsstationen. Lastfrånskiljarna i nätstationerna är sällan fjärrstyrda, men ofta motordrivna, alternativt manuellt fjäderförspända, för att möjliggöra omkopplingsautomatik.



Figur 2.5. Exempel på dubbelkabelnät. Fördelningsstation matande två radialer med tre nätstationer vardera.



Figur 2.6. Modernare utformning av matningen till en dubbelkabelstation.

Vid ett fel i mellanspänningsnätet är konsekvensen att alla kunder i radialen kopplas bort, men den dubbla matningen möjliggör att alla kunder kan återfå matningen innan fellokalisering skett. Omkopplingen görs i många fall av automatiker i stationerna, och systemet utformas så att kommunikation inte behövs för funktionen.

Ovanstående beskrivning av olika nätstruktur för distributionsnätet indikerar olika behov av observerbarhet och manövrerbarhet i nätstationerna.

Nätbolagen delar upp sitt bestånd av nätstationer beroende på deras placering, i enlighet med Energimarknadsinspektionens definitioner för förläggningsmiljöerna "city", "tätort", "landsbygd normal" och "landsbygd svår", se t.ex. [8].

Här avser

- city "ett område som ligger innanför tätortsgränsen på Statistiska centralbyråns tätortskarta och som samtidigt i Lantmäteriets terrängkarta kategoriseras som sluten eller hög bebyggelse",
- tätort "ett område som är innanför tätortsgränsen på Statistiska centralbyråns tätortskarta och som inte kategoriseras som city enligt ovan",
- landsbygd normal "all mark utanför tätortsgränserna på Statistiska centralbyråns tätortskarta förutom mark som antingen klassas i Sveriges geologiska undersökningars (SGU) jordartskarta som berg i dagen, tunt jordtäckte på berg, riklig eller måttlig till riklig förekomst av block, måttlig till riklig förekomst av stora block, riklig förekomst av block eller mark med motsvarande förhållanden" och
- landsbygd svår "all mark utanför tätortsgränserna på Statistiska centralbyråns tätortskarta som samtidigt antingen klassas i Sveriges geologiska undersökningars (SGU) jordartskarta som berg i dagen, tunt jordtäckte på berg, riklig eller måttlig till riklig förekomst av block, måttlig till riklig förekomst av stora block, riklig förekomst av block eller mark med motsvarande förhållanden". [8]

En förfrågan till referensgruppens medlemmar gav en ungefärlig uppdelning av beståndet nätstationer enligt:

- Storstad: ca 20 % av nätstationerna (motsvarande city)
- Tätort: ca 30 % av nätstationerna
- Landsbygd: ca 50 % av nätstationerna

Det kan dock noteras att fördelningen av nätstationerna mellan enskilda nätbolag kan variera kraftigt, beroende på deras koncession.

Med en stor andel av nätstationerna i landsbygd är det tydligt att dessa stationer betjänar ett mindre antal kunder, jämfört med nätstationer i storstad och city. De begränsningar och brister som redogjorts för tidigare i detta kapitel kan också variera beroende på nätstationens placering. Således kan incitamentet hos elnätsföretagen till utveckling av nya tjänster också bero på var nätstationen är placerad och hur många kunder stationen betjänar.

3 Tillgänglig teknik och pådrivande regelverk

Tekniken utvecklas snabbt inom områdena kommunikation, sensorer och distribuerad beslutskraft, och mycket av den teknik som av kostnadsskäl tidigare varit förbehållen transmissions- och regionnät, blir nu bärkraftig även i lokalnäten. Gällande reglering för elnätsföretagen ger idag inget incitament för modernisering av elnäten. Däremot finns incitament för ett-till-ett-utbyte av komponenter utan att för den skull modernisera dem, men med viss förbättring av tillförlitligheten som följd. Med andra krav i regleringen på SAIDI, SAIFI och andra elkvalitetsindikatorer, och ekonomiska påföljder för tillkortakommanden och brister, skulle elnätsföretagen utöka sina moderniserings- och uppgraderingsinsatser av elnätet – inte minst vad gäller lokalnät och nätstationer.

3.1 PRIMÄRAPPARATER OCH HÖGSPÄNNINGSUTRUSTNING

Följande är en sammanställning på de huvudsakliga primärapparaterna i en nätstation:

- transformatorer,
- effektbrytare/lastfrånskiljare/säkringslastfrånskiljare,
- kopplingsstycke,
- ventilavledare,
- kabelavslut,
- omsättningsomkoppling,
- motormanöverdon/fjärrstyrningsutrustning,

För flertalet komponenter ser vi ingen dramatisk utvecklingspotential inom den närmsta framtiden.

Vid ny- och ombyggnation eller utbyte av existerande transformatorer i nätstationer tas hänsyn till förluster och prestanda. Så kallade ”gröna transformatorer”, med fokus på förluster har ingen direkt påverkan på leveranskvaliteten, men det är rimligt att framtidens nätstation kommer att vara mer energieffektiv än dagens. EU’s Ecodesign-direktiv (2009/125/EC) återspeglas i standarden SS EN 50588-1, med krav på tomgångsförluster och belastningsförluster i distributionstransformatorer. Således kommer i framtiden tillgängliga transformatorer vara mer energieffektiva.

För själva transformatorn finns reläskydd, för kablarna finns i normalfallet endast säkringslastfrånskiljare. Partiella urladdningar (PD) kan förekomma i isolationen mellan ledarna i apparater och kablar. En ökad frekvens av dessa urladdningar kan med mätutrustning loggas och trendas. PD-mätning skulle kunna ge en indikation före ett transformatorhaveri. För kabelnät finns många system för kabelövervakning för att upptäcka växande PD-aktivitet, innan genomslag inträffar.

I vissa större nätstationer finns brytare på mellanspänningsnivån och lågspänningsnivå för t.ex. sektionering. Dessa brytare kan i strategiska nätstationer vara fjärrmanövrerade. Om dessa brytare manövreras sällan (och inte motioneras i underhållssyfte) finns risk att de felfungerar och vedervågar lågspänningsnätets integritet.

Att bestycka transformatorer i nätstationer med lindningskopplare är inget i tid näraliggande alternativ, enligt diskussion med referensgruppen.

3.2 SENSORER, MÄTNING

En nätstation kan utöver ovan nämnda primärapparater bestyckas med system och komponenter för att visa driftlägen, larm och händelser men även mätning av fysikaliska storheter som ström, spänning, temperatur, fukt, etc.

Den stora utvecklingspotentialen för framtidens nätstation finns genom installation av sensorer för mätning och övervakning. Majoriteten av utmaningar och brister som finns med dagens nätstationer, som behandlades i kapitel 2, kan avhjälpas och hanteras genom bättre och mer omfattande mätning. Det är investeringar inom detta område som kommer att möjliggöra en effektivare drift och planering av näten, vilket i sin tur kan öka leveranssäkerheten och tillförlitligheten.

Redan idag finns den teknik tillgänglig som möjliggör mätning och behandling av t.ex. ström och spänning. Även teknik för fjärrstyrning av stationer finns tillgänglig. Implementeringen av denna teknik varierar dock i stor utsträckning, mellan elnätsföretag, och från nätstation till nätstation.

Detta kan jämföras med implementeringen av timmätning hos enskilda elkunder, där kraven har resulterat i stora investeringar för nätägarna. Motsvarande teknik för mätning skulle kunna installeras i samtliga nätstationer och möjliggöra en effektivare drift och planering av nätet, enligt ovan, vilket bekräftas av referensgruppen, se avsnitt 2.1.

För att dramatiskt minska avbrottstid och avbrottsfrekvens behövs automatiska system för feldetektering i låg- och mellanspänningsnäten, vilka lokaliserar felet, isolerar felbehäftad anläggningsdel, och återupptar driften av det övriga systemet. Sådana system designas lämpligen till en början som beslutsstödsystem, som hjälper operatören genom att föreslå kopplingssekvenser för att isolera felet och för att därefter spänningssätta resten av systemet.

Genom lämpligt val av mätutrustning kan även elkvalitet och störningsregistrering i nätstationen hanteras. Till elkvalitet hänförs spänningsobalans, snabba spänningsändringar, flimmer, övertoner, spänningsdippar och spänningshöjningar. Detta ställer krav på noggrannhet hos mätutrustning och vid bearbetning av insamlade data.

Energimarknadsinspektionen:

"Inom de närmaste åren behöver många av de befintliga elmätarna i Sverige ersättas eftersom de kommer att ha uppnått sin ekonomiska livslängd. Genom

att reglera mätfunktionaliteten säkerställs en viss lägstanivå som skapar lika förutsättningar i hela landet för alla berörda aktörer på elmarknaden.” [11]

Energimarknadsinspektion anger i sitt författningsförslag [11] sju funktionskrav för nästa generations mätare. Det är viktigt att få ut så mycket ”nytta” som möjligt av nästa generations mätare och det är lämpligt att även nätstationsmätdata går att samköra med övriga mätsystem t.ex. slutkundsmätare. Detta för att få en helhetsbild över lastflöden och förluster.

Förutom mätning av ström och spänning samt larm av olika slag (brand, inbrott/skadegörelse, temperatur, etc.), så är det viktigt att få med driftlägen, fellägesindikatorer, kabelövervakning med PD-mätning och andra lämpliga teknologier för en tidig eller om möjligt förebyggande feldetektering.

3.3 KOMMUNIKATIONSSYSTEM

Kommunikation och datahantering är nyckeln till framtida utveckling av elnätverksamheten, speciellt när det gäller mellanspanningsdistribution och nätstationer. Fjärröverföring av signaler och kommandon har tillämpats länge inom elnätverksamheten, medan hantering av stora datamängder för autonoma eller semiautonoma beslut, ofta i samband med stressade situationer, är relativt nytt. Andra applikationer, som kan förbättras med hjälp av stora datamängder, är driftoptimering och utbyggnadsplanering baserat på förbrukningsmönster och belastningens egenskaper.

Det finns inte, och kommer troligen aldrig att finnas, fiber till alla nätstationer. Det kommer för överskådlig framtid att finnas ett stort antal kommunikationslösningar för nätstationer, fiber, radio, signalkabel (koppar), mobiltelefoni, etc., där valet är helt beroende på de lokala förutsättningarna. Ett vanligt kommunikationssätt idag, är att skicka larm vis sms till SCADA systemet. Framtidens nätstationer, liksom kommunikationen med dessa, kommer att skilja sig åt från station till station och bero på stationens ekonomiska bärkraft när det gäller möjliga lösningar. Enskilda elnätsföretag kommer naturligtvis att i största möjliga mån standardisera sina lösningar stationer emellan men kan inte begränsa sig till endast en typ av kommunikation för samtliga sina stationer. Vattenfall har t.ex. redan idag, enligt uppgift, tvåvägskommunikations till merparten av alla nätstationer, för mätvärdesinsamling från slutkunder.

Det är angeläget med logisk åtskillnad mellan debiteringsmätning och mätning för drift- och underhåll. Däremot finns det samordningsvinster med att utnyttja gemensam hårdvara.

Det viktigaste är att kunna mäta. Envägs kommunikation kan därför vara tillräckligt i många fall. Nya nätstationer utrustas med största sannolikhet för tvåvägs kommunikation. Kraven på säkerhet i kommunikationen kan öka om man vill ha tvåvägs kommunikation för att även kunna manövrera objekt i nätstationen.

Det är av yttersta vikt att välja enkla, standardiserade och tillverkaroberoende kommunikationslösningar. Den uppskattade livslängden för kommunikations- och kontrollutrustning för installation i nätstationer är mellan 10 och 20 år, att jämföras

med den mätutrustning som placeras hos slutkund, som antas ha en livslängd på ca 12 år.

"Med ett antagande om en ekonomisk avskrivningstid för befintliga mätare på ca 10 år och en teknisk livslängd på ca 12–15 år kommer de befintliga mätarna behöva bytas ut på grund av uppnådd livslängd omkring år 2020. Baserat på svaren från tillfrågade elnätsföretag kommer kommande mätarbyten att påbörjas omkring år 2017 och pågå fram till omkring år 2027." [12]

De höga krav som ställs på IT-säkerhet i all kommunikation, med och inom elkraftsystemet, kan innebära att även storleken på investering i kommunikationslösningar för nätstationer blir högre än vad som gäller för utrustning placerad hos slutkund. Antalet nätstationer är dock mycket lägre, ca. 3 % (baserat på 175 000 nätstationer respektive. ca. 5,3 miljoner slutkundsmätpunkter [12]).

IEC 61850

I diskussioner inom referensgruppen framkom det inte något särskilt starkt behov eller önskan om att implementera standarden IEC 61850 trots de fördelar som denna standard kan medföra. Relevant IEC 61850-utrustning anses inte tillräckligt beprövad eller tillgänglig. Kunskap och erfarenhet för att införa denna standard är i dagsläget inte heller tillräckligt utbredd. Det är dock viktigt att ha IEC 61850 i åtanke för framtidens nätstation vid val av kommunikationsteknologi och system.

3.4 ELLAGEN OCH ENERGIMARKNADSINSPEKTIONEN

Ellagen ställer de grundläggande kraven på anslutning och överföring av el. Det ställs krav på att överföringen ska vara av god kvalitet och att anslutningen ska ha hög tillgänglighet och säkerhet.

"Ett företag som bedriver nätverksamhet ansvarar för drift och underhåll och, vid behov, utbyggnad av sitt ledningsnät och, i tillämpliga fall, dess anslutning till andra ledningsnät. Företaget svarar också för att dess ledningsnät är säkert, tillförlitligt och effektivt och för att det på lång sikt kan uppfylla rimliga krav på överföring av el." [Ellagen 3 kap, 1 § (2005:404)]

"Den som har nätkoncession är skyldig att på skäliga villkor överföra el för annans räkning.

Överföringen av el skall vara av god kvalitet.

En nätkoncessionshavare är skyldig att avhjälpa brister hos överföringen i den utsträckning kostnaderna för att avhjälpa bristerna är rimliga i förhållande till de olägenheter för elanvändarna som är förknippade med bristerna.

Regeringen eller den myndighet som regeringen bestämmer får meddela föreskrifter om vilka krav som skall vara uppfyllda för att överföringen av el skall vara av god kvalitet." [Ellagen 3 kap, 9 § (2005:1110)]

Energimarknadsinspektionen är tillsynsmyndighet för elnätsverksamheten och tar fram föreskrifter som specificerar vad "god elkvalitet", "tillförlitlighet" och "effektivitet", enligt lagen är. Elnätet är ett så kallat naturligt monopol i Sverige, Europa och övriga världen eftersom det samhällsekonomiskt medför lägst kostnader. På grund av den monopolställning som elnätsföretagen har, är inte marknadskrafter tillräckliga för investeringar och åtgärder. Ei använder därför styrmedel inom tre olika områden för att reglera elmarknaden; administrativa styrmedel, ekonomiska styrmedel och informativa styrmedel.

Medan administrativa styrmedel är till för att nå en viss miniminivå på kvaliteten ger de ekonomiska styrmedlen incitament för nätbolagen att öka leveranssäkerheten, underhålla och investera i sina elnät. De ekonomiska styrmedlen innefattar hur Ei reglerar de tariffer (intäkter till nätbolagen) som fås ut från kund.

Nättarifferna regleras sedan 2012 med så kallade tillsynsperioder; den första 2012–2015, den andra 2016–2019, och den tredje 2020–2023. I regleringen jämförs varje elnätsföretag mot en generell normnivå och tarifferna kvalitetsjusteras så att den totala kostnaden för samhället minimeras, där kundernas avbrottskostnader och elnätsföretagets nätkostnader sammanvägs.

Regleringen innebär en ökning eller minskning av elnätsföretagets intäktsram, beroende på om elnätsföretaget har en god eller mindre god leveranskvalitet. För närvarande är det dock den ekonomiska avskrivningstiden på 40 år som har störst betydelse för elnätsföretagen. Den önskade styreffekten är bland annat att regleringen ska ge ekonomiska incitament att förbättra leveranskvaliteten i nätet. För elnätsföretag med hög leveranskvalitet ska regleringen ge incitament att upprätthålla den kvaliteten.

För att bedöma leveranskvaliteten används index som SAIDI (System Average Interruption Duration Index), som är total avbrottstid dividerad med totala antalet kunder [min/kund/år] och SAIFI (System Average Interruption Frequency Index), som är totala antalet långa avbrott dividerat med totala antalet kunder [antal/kund/år].

Under början på 2018 utkom Ei med ett PM [15], där myndigheten förklarar sina avsikter och intentioner inför tillsynsperioden 2020–2023 för föreskrifterna avseende hänsyn till kvalitet och effektivt utnyttjande i nätverksamheten. I detta PM är det möjligt att se vilken linje Ei driver, som skulle kunna påverka tänkta investeringar i elnätsföretagen.

Ei planerar enligt [15], för justeringar både avseende incitament för kvalitet och nyttjande av elnätet. Generellt vill man öka incitamentet att höja leveranskvalitet (i nuläget berörs inte elkvalitet eller kundservice, men det kan det komma att göra i framtiden); Ei vill frånga SAIDI och SAIFI (som är kundviktade) och istället använda effektivviktade index – en stor kund som har ett avbrott "syns" mer än en liten kund med samma avbrott.

Ei planerar också att ändra sättet förlusterna värderas (för att öka incitamentet) samt ändra sättet belastningsfaktorn beräknas, dvs. hur jämn belastningen är i nätet (för att öka incitamentet).

Tänkt framtida reglering kan ge incitament för utveckling av nätstationer, med bättre mät- och kommunikationsförmåga.

Ett annat myndighetskrav, som skulle kunna ha påverkan på utvecklingen av distributionsnäten och nätstationer är Styrel, som är den planeringsprocess under vilken, bl.a. myndigheter, kommuner och elnätsföretag samarbetar för att ta fram underlag för att prioritera samhällsviktiga elanvändare vid manuell förbrukningsfrånkoppling.

3.5 ELNÄTSFÖRETAGENS STRATEGIER OCH AFFÄRSMODELLER

Även om lagkrav och myndighetsreglering utgör de största incitamenten för utveckling av distributionsnät och nätstationer är det ofrånkomligt att metoder och grad av implementering av funktioner varierar mellan elnätsföretagen. Detta kan bero på vilka strategier och affärsmodeller som tillämpas, vilket bestånd av apparater som finns, vilka metoder som tillämpas inom företagen, etc.

Myndighetskrav kan mötas på olika sätt – det finns ofta flera sätt att lösa ett problem.

Flera elnätsföretag vill ta sig bort från "funktionsbegreppet" och istället fokusera på "tjänster", som man vill att en framtida smart nätstation ska tillhandahålla. Som exempel ges i Bilaga 2 Vattenfalls lista över tjänster.

4 Typstationer inom en överblickbar framtid

Baserat på dagens situation och de behov, utvecklingstrender och möjligheter som identifierats tidigare i rapporten, presenterar vi i det här avsnittet ett antal typstationer, som vi tror kommer att bli verklighet inom en ganska snar framtid. Riktlinjer och vägledning för utformning av framtidens nätstation kommer att bygga på standardisering och strömlinjeformning i kombination med situationsanpassning och flexibilitet. Vi ser därför framför oss ett antal typstationer i olika nivåer vad gäller förmågan att "mäta", "styra" och "tänka".

Indelningen i typstationer bygger vidare på referensgruppens och författarnas diskussioner kring utvecklingen av framtidens nätstationer. I det följande beskrivs således fyra olika typstationer:

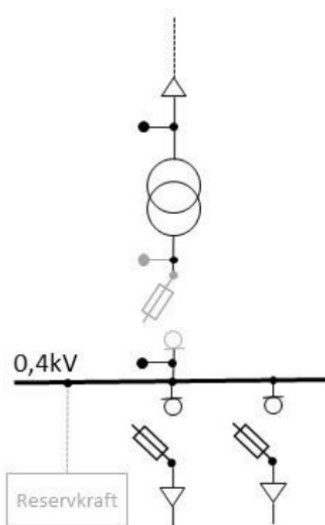
- **"Bron"** – Basfunktionalitet; en modern, personsäker, miljövänlig, billig, underhållsmässig, och driftsäker nätstation, utan kommunikation.
- **"Silver"** – Sensorer och mätmöjligheter i nätstationen; mätdata skickas uppåt till driftcentralen; ingen fjärrmanöver. Kontinuerlig mätning av ström och spänning per fas är ett minimum.
- **"Guld"** – Den styrbara nätstationen, med hög grad av mät- och styrbarhet, men med begränsade egna analysresurser.
- **"Platina"** – Den autonoma nätstationen, med hög grad av distribuerad funktionalitet och intelligens, och stor egen mät-, analys-, besluts- och aktiveringsförmåga.

4.1 DEN MILJÖVÄNLIGA, BILLIGA OCH DRIFTSÄKRA NÄTSTATIONEN – BRONS

”**Brons**” – Basfunktionalitet; en modern, personsäker, miljövänlig, billig, underhållsmässig, och driftsäker nätstation, utan kommunikation.

4.1.1 Vad är en Brons-station

Majoriteten av nätstationer är i dagsläget det som vi valt att kategorisera som brons-stationer dvs. utformade för och begränsade till endast de absolut essentiella funktionerna för att uppfylla sin uppgift (spänningstransformering och distribuering) och gällande säkerhetskrav. Även om några nätstationer har specialfunktioner eller utrustning utöver vår ganska strikta definition av en brons-station är det i stort sett enbart av utvärderings- eller testsyfte. Eftersom behovet av att få en bättre överblick/mätbarhet finns hos nätägarna har några spridda försök till att förbättra/uppgadera speciellt utvalda noder gjorts, men ingen systematisk utbyggnad har utförts. De förbättringar/uppgaderingar som gjorts har hittills antingen varit i test- och utvärderingssyfte eller har det gjorts punktinsatser på driftkritiska stationer.



Figur 4.1. Exempel på nätstation – brons [7].

4.1.2 Vad krävs för att lämna brons-stadiet

En brons-station består således, förutom nödvändig konstruktion (stolpar, kapslingar, byggnad), endast av primärapparater. Transformator, säkringar, frångiljare och kabelavslut. Ingen aktiv utrustning med behov av lokal- eller hjälpkraft ingår i en brons-station. Typfallet för en brons-station är en enkel stolpstation på landsbygd alternativt liten transformatorstation i tätort eller landsbygd.

För att, enligt rapportens definition av typstationer, ta steget från brons-station till silver-station krävs insamling och kommunikation av önskad information, t.ex. mätvärden och stationsstatus. Hur ska denna information samlas in i nätstationen och kommuniceras till centrala system?

4.1.3 Finns det plats för brons-stationer i framtidens nät

Krav på snabb och korrekt information från elnätsföretag kommer från olika håll, konsumenter, regulatorer, ägare, osv. Informationen som avkrävs elnätsföretagen har helt olika användningsområde beroende på mottagare; några exempel:

- Konsumenter vill ha snabb information om avbrott och felavhjälpning
- Driftcentralen behöver kunna se alternativa lösningar vid driftstörningar och lokalisera fel.
- Driftplanerare vill kunna se utnyttjandegrad och driftshistorik (felfrekvens, haverier, etc.)
- Beslutsfattare behöver bra underlag för att prioritera insatser och investeringar i existerande och nya nät och strategier för underhåll/utveckling.

Troligen har inte en brons-station någon plats i framtidens nät – det duger helt enkelt inte att ha blinda fläckar i ett nät.

4.2 DEN MÄTANDE NÄTSTATIONEN – SILVER

”Silver” – Sensorer och mätmöjligheter i nätstationen; mätdata skickas uppåt till driftcentralen; ingen fjärrmanöver. Kontinuerlig mätning av ström och spänning per fas är ett minimum.

4.2.1 ...tala är silver...

... men tala är inte guld i nätstationssammanhang. Ett naturligt steg från en enkel och oövervakad station helt utan styrfunktioner till en något mer, ur ett driftperspektiv, användbar station är att införa övervakningsmöjlighet genom ett antal sensorer och instrument. Genom några utvalda typer av sensorer och instrument får man en momentan inblick av driftläget i stationen och anslutande nät och komponenter. Man kan enkelt uttryckt säga att nätstationerna får förmågan att ”tala” till elnätsföretagen, men det är ju vad man gör av informationen som är vinsten med att göra dessa förbättringar.

4.2.2 Analoga värden

Mätare/instrument för analoga värden, som spänning och ström, ger, beroende på hur avancerade/noggranna de är, direkt en bild över nätstatus. Spänning och ström (med riktning) ger information om lasterna i nätet.

Andra analoga värden kan ge information om nätstationers allmäntillstånd, som t.ex. temperatur i apparater och omgivning (stationsbyggnad). Information som tillsammans med historik, kunskap om stationen och driftläge kan ge information eller indikation på nära förestående komponenthaverier eller begränsningar i funktion.

4.2.3 Larm och statusindikeringar (binära signaler)

Binära sensorer/givare används bl.a. till brytarlägen. Många brytare i nätstationer är redan idag utrustade med hjälpkontakter som inte kommit till användning i så stor utsträckning pga. att det inte funnits anledning eller något system att ansluta dem till. Kunskap om nätets utformning/topologi (verifierat enlinjeschema) påverkar kvaliteten och användbarheten samt möjligheten att indikera för enskilda brytarlägen i en specifik nätstation.

Andra binära sensorer är viktiga för övervakning av stationer och deras fysiska status. Dörrsensorer t.ex. kan ge larm om intrång och sabotage samt om personal finns på plats och arbetar i stationen.

4.2.4 Varför uppgradera till silver?

Den första och kanske mest användbara förbättringen jämfört med en bronsstation generellt sett är att få kontroll över och kunskap om det rådande driftläget och status på individuella flöden och komponenter. I kombination med en detaljerad och med sanningen överensstämmande nätmodell får man inte bara överblick av driftläget utan kan även använda informationen till planerade och oplanerade insatser samt driftstatistik och förluster i nätet. Det finns stort ekonomiskt incitament till detta, se [6].

Steget från brons till silver-station möjliggör alltså inte bara en överblick i realtid för snabba och riktade insatser utan man kan, baserat på historik, utvärdera och analysera hela och delar av nätet och dess komponenter. Analysmöjligheterna är beroende av kvalitet och mängden data man får tillgång till. Kvalitet och typ av data är beroende av antal sensorer och typ av instrument. En avvägning mellan antal sensorer i varje station samt hur avancerade mätinstrument som väljs påverkar hur detaljerad information man kan samla in.

Enkla trender och felstatistik i nätet kan loggas och analyseras med tillgång till endast ett fåtal sensorer i stationerna. Fler sensorer och instrument med händelse- och elkvalitetsfunktioner ger större möjligheter till analys av nätet, laster, störningar, etc. Moderna elektroniska skydd har t.ex. störningsregistrering.

Möjligheten till fellokalisering, och därmed ökning av leverans kvaliteten (SAIDI), genom mätning i nätstationerna framkommer i rapporten *Nätuppgbyggnad och automatiker för ökad tillgänglighet*:

”Fellokalisering ifrån driftcentral förutsätter strömmätning i nätstationer och kommunikation av mätdata till driftcentralen.” [10]

Kostnaden för att gå från en bronsstation till en silverstation kan naturligtvis variera mycket. Det som avgör mest är om retrofit är möjligt, eller om en ny nätstation behöver byggas för att erhålla silver-funktionalitet. Även storleken på nätstationen är avgörande (hur många mätpunkter behövs eller är möjliga), samt om kommunikation med nätstationen redan är på plats.

Vid en nybyggnation av en nätstation är det sannolikt att skillnaden i kostnad mellan brons-funktionalitet och silver-funktionalitet utgör en liten del av totalkostnaden, om vi här bortser från de allra enklaste nätstationerna och stolpstationer.

Enbart retrofit av mätutrustning i en nätstation med befintlig kommunikation skulle kunna skattas, t.ex. utifrån EBR kostnadskatalog, till mellan några 10-tusental kronor till en bit över 100-tusen.

4.3 DEN FJÄRRMANÖVRERADE NÄTSTATIONEN – GULD

”**Guld**” – Den styrbara nätstationen, med hög grad av mät- och styrbarhet, men med begränsade egna analysresurser.

Steget från silver-station till guld-station är stort då det innebär investering i några av stationens primärapparater och deras funktioner. För att uppnå guld-stationsnivå kan eventuellt även själva stationsbyggnaden och ställverken behöva byggas om, kostnader som nog måste avvägas mot nytta och fördelar.

Manuell eller automatisk fränkoppling (inte skyddsfunktion) är inte den största delen då det är fullt möjligt att uppnå denna funktionalitet med ganska enkla medel om man redan valt att uppgradera till eller bygga en silver-station. Utrustningen för mät- och statusinsamling har idag, förutsatt att dubbelriktad kommunikation används, förutom ingångar även ett antal utgångar. Dvs. man kan skicka kommando och/eller börvärde i de fall man vill kunna reglera flöden och nivåer ute i nätet.

Genom att implementera styrmöjligheter och utrusta stationerna med motoriserade kopplingsorgan kan man, förutsatt bibehållen person- och anläggningssäkerhet, fjärrmanövrera stationer. Fjärrmanöverbemöjlighet innebär vid ett konstaterat fel, kortare åtgärdsstid för sektionering och möjlig spänningssättning av felfria delar. En åtgärd som får direkt effekt på SAIDI. Utan fjärrmanöver är detta ett arbete som kräver manuella insatser, ofta tidskrävande, dels för att lokalisera fel dels för att manuellt återinkoppla utlöst brytare/skydd/säkring.

Kostnaden för att gå från en silverstation till en guldstation beror till största delen, precis som för övergången från brons- till silverstation, på om retrofit är möjlig eller om ny station behöver anläggas.

Vid en övergång från silver till guld kan det förutsättas att kommunikation redan finns, för guldstation krävs dock dubbelriktad kommunikation, vilket kan behöva kompletteras med. Kostnad för detta kan variera mycket beroende på kommunikationsmetod, avstånd, landsbygd eller city.

Enligt EBR-katalog är tillägg för fjärrmanövrerad fränskiljare någonstans mellan 50- och 100-tusen kronor vid projektering av nätstation. Vid retrofit är det rimligt att den kostnaden blir högre.

4.4 DEN AUTONOMA NÄTSTATIONEN – PLATINA

”Platina” – Den autonoma nätstationen, med hög grad av distribuerad funktionalitet och intelligens, och stor egen mät-, analys-, besluts- och aktiveringsförmåga.

I takt med att teknikutvecklingen går framåt ökar möjligheterna till att decentralisera automation och beslutsförmåga till enskilda nätstationer. Med hjälp av mätdata från den enskilda nätstationen men även andra närliggande nätstationer kan man konfigurera en platina-station att vidta åtgärder för att upprätthålla eller återinkoppla hela eller delar av nätet vid fel alternativt avvikelser från normaldrift. Valet mellan centraliserat eller distribuerat styrsystem kommer till stor del att bero på hur nätet är uppbyggt samt hur goda kommunikationsmöjligheter det finns till nätstationerna. Även tidsfaktorn kan spela in i valet däremellan. Andra autonoma nätstationsfunktioner kan vara driftoptimering för att t.ex. sänka förluster vid dubbeltransformering. Att automatiskt koppla in och ur en transformator beroende på lastsituation (låg/hög last). Även fördelning i slingnät eller sektionering kan skötas autonomt.

Man kan redan med dagens teknik implementera många av dessa funktioner genom att konfigurera ett antal tänkbara driftlägen och ställa upp givna kriterier. Samtidigt kan man tänka sig detta i ett längre perspektiv, där man drar nytta av t.ex. maskininlärning, dvs. allteftersom stationen genomgår och utsätts för olika driftsituationer ”lär” den sig att hantera och optimera driften. En förmåga som kommer att bli än mer viktigt efterhand som lågspänningsnäten består inte enbart av konsumenter utan även producenter och prosumenter [13]. Vi kan redan idag se tendenser till delar av nät med möjlighet till ödrift. En autonom nätstation kan tänkas bli den sammanhållande och styrande ”hjärnan” i det fall ett sådant driftläge blir aktuellt. [14]

”Givet möjligheten att ifrån driftcentral kunna koppla om till alternativa matningsvägar vid fel, kan olika grad av automatik övervägas. Med full automatik skulle alla kunder återfå strömmen inom ett par sekunder efter ett ledningsfel på mellanspänningsnivå. Att minska avbrottstiden ner till ett par sekunder jämfört med tio minuter är mest relevant för särskilt känslig last, som till exempel hissar. Det finns dock skäl att noggrant överväga ofrånkomliga risker med automatik i form av tillförlitlighet och säkerhet. Är vikten av tillförlitlig omkoppling större än vinsten med att minska avbrottstiden från storleksordningen tio minuter till några sekunder finns ingen anledning att implementera automatik. På samma sätt bör automatik undvikas om det finns risk att arbete pågår utan att detta syns i övervakningssystemet och därmed kan påverka omkopplingen. Det finns också kompromisser mellan ingen och full automatik där automatisk omkoppling sker efter godkännande av behörig personal i driftcentral, så kallat beslutsstöd.” [10]

Kostnaden för att gå från guldstation till platinastation kan huvudsakligen hänföras till datorutrustning, med hårdvara och mjukvara. För en existerande guldstation är det mycket troligt att denna uppgradering kan göras som retrofit.

4.5 FRAMTIDENS NÄTSTATION

Detta kapitel har ovan behandlat en rimlig uppdelning av nätstationer med avseende på graden av observerbarhet, manövrerbarhet och automatik – brons, silver, guld och platina. Nätstationer kommer i framtiden, liksom hittills, att utformas olika beroende på storlek, betydelse och förhållandena i övrigt. Nedan beskrivs hur en möjlig implementering av funktioner, eller övergång till ett bestånd av nätstationer enligt uppdelningen brons till platina, kan ske.

De behov och brister som har identifierats tillsammans med referensgruppen berör till största delen det faktum att man är "helt blind" avseende nätstationerna, egentligen i nätet mellan fördelningsstationerna och slutkunderna.

I tabell 4.1 ges en uppskattad fördelning av nätstationerna mellan landsbygd, tätort och storstad utifrån deras funktionalitet enligt definitionen brons- till platina-station. Den stora majoriteten av de befintliga nätstationerna skulle klassificeras som brons-stationer. Några stationer i tätort och storstad är i dagsläget observerbara och skulle kunna klassificeras som silver-stationer. Likaså finns en hel del stationer med fjärrmanövrering och lägesindikering (sektioneringsstationer). Enligt den definitionen som görs i föreliggande rapport, betraktas dock inte dessa som guld-stationer, då det krävs "hög grad av mät- och styrbarhet".

Tabell 4.1. Fördelningen av nätstationer i befintligt nät, enligt definitionen brons- till platina-station.

	Brons	Silver	Guld	Platina
Landsbygd	×			
Tätort	×	(×)		
Storstad	×	(×)		

Inom den närmsta tiden kan vi förvänta en förändring av elnäten, med mer lokalt producerad energi och ökad variation i uttagen effekt hos slutkonsumenter. I vissa lokalnät kan delar av nätet till och med bli nettoproducenter. Att möta dessa förändringar, och samtidigt vidmakthålla ett tillförlitligt elnät, kan kräva insatser av elnätsföretagen

En utveckling av nätstationerna kan i ett första steg vara att i driftcentralen få tillgång till strömmarna på mellanspänningssidan av distributionstransformatorn i nätstationen. Detta skulle kunna ge tydliga vinster i effektivare fellokalisering men även att se utnyttjandegraden av distributionstransformatorena, vilket ger effektivare driftplanering.

Detta skulle kunna ses som en övergång till en rudimentär silver-station. En effektiv implementering av detta kräver även förändringar i driftcentraler och en utbyggnad av kommunikationssystemet. Med en sådan infrastruktur på plats är det mer överkomligt att addera ytterligare signaler.

Möjligheten att erhålla indikering av utlöst säkringslastfrånskiljare på lågspänningsnätet kan variera. Om informationen finns tillgänglig och kan kommuniceras till driftcentralen skulle detta vara ett naturligt steg i utvecklingen. Fellokalisering i lågspänningsnätet skulle kunna effektiviseras betydligt med informationen om vilken lågspänningsutmatning som bortkopplats.

Nästa steg i utvecklingen kan vara att i nätstationen även mäta på enskilda lågspänningsutmatningar. Med en hög andel prosumenter skulle behovet för detta kunna rättfärdigas – antag t.ex. att vissa utmatningar nettoproducerar, medan andra nettokonsumerar. Vissa elnätsföretag har redan idag strömtransformatorer för de utgående anslutningarna, med maximalströmsvisare, som avläses manuellt kanske några gånger per år. Dessa strömtransformatorer skulle kunna utnyttjas även för vidare kommunikation av mätvärdena, se [9].

Att, enligt ovan, i driftcentralen ha tillgång till strömmar för respektive utmatning i nätstationerna skulle ytterligare effektivisera fellokaliseringen, för fel i lågspänningsnätet.

Att inkludera elkvalitet i mätningen ställer andra krav på både hantering och överföring av data – vill man t.ex. i realtid kunna se övertonshalten i samtliga nätstationer, eller räcker det att generera statistikrapporter på årsbasis? I nuläget finns inga myndighetskrav som reglerar detta och graden av implementering bestäms av elnätsföretagen.

Vilka av nätstationerna som först kommer att utvecklas till silver-stationer kan nog komma att variera mellan elnätsföretagen, men det är troligt att nätstationer i strategiska punkter i stadsmiljö (betjänande många kunder) prioriteras framför mindre nätstationer i landsbygd, och speciellt stolpstationer. I tabell 4.2 ges en uppskattning av hur fördelningen skulle kunna se ut i en nära framtid, ca 5-10 år. På landsbygd (med många stolpstationer) har utvecklingen till viss del gått mot silver-stationer, men majoriteten är fortfarande brons-stationer. För nätstationer i tätortsmiljö är förhållandet det omvända, med observerbarhet i majoriteten av nätstationerna, medan en viss del av stationerna fortfarande klassificeras som brons-stationer. I storstäderna (ca 20 % av beståndet) är nätstationerna med få undantag klassificerade som silver-stationer.

Tabell 4.2. Fördelningen av nätstationer i en nära framtid, ca 5-10 år.

	Brons	Silver	Guld	Platina
Landsbygd	×	(×)	(×)	
Tätort	(×)	×		
Storstad		×	(×)	

Att elnätsföretagen är "helt blinda" vad gäller nätstationerna i befintligt nät kommer alltså att ha åtgärdats inom en nära framtid för majoriteten av beståndet, med undantag för landsbygden.

I ett längre perspektiv är det svårare att sja om förändringen i näten, men som indikeras i avsnitt 2.2, finns det mycket som talar för att pågående trender kommer att fortsätta under flera år. Också Energimarknadsinspektionen kan förväntas arbeta i en riktning för att, genom incitament, i kommande tillsynsperioder driva fram en högre leveranskvalitet, elkvalitet och ett bättre nyttjande av elnäten (se avsnitt 3.4). Det finns således anledning att tro att elnäten och nätstationerna kan behöva anpassas för att tillgodose dessa behov.

Att bygga in möjligheten till manövrerbarhet i nätstationerna, dvs. guld-stationer, kan finnas visst incitament för; i landsbygd för att sänka avbrottstid och reskostnader och i storstad för att sänka avbrottstid där det finns många kunder. Detta är en erfarenhet nätägarföretagen gjort i Finland. Beroende på nätstrukturen, slingnät eller radiellt matade nät, ger möjligheten att fjärrstyra brytare olika stor vinst. I radiellt matade nät kan det vara svårt att argumentera för att uppgradera nätstationer till guld-status. I slingnät och dubbelkabelnät däremot kan vinsten vara större och motivera en uppgradering.

Hoppet till platina-stationer kan rättfärdigas av olika anledningar; i glest befolkade och för personal svårtillgängliga områden, kan autonoma nät och nätstationer vara försvarbart ur ekonomiskt perspektiv, för att minska avbrottstider till en rimlig nivå. I storstäder och i nätstationer på kritiska eller strategiska platser, skulle också nyttan med en autonom station kunna rättfärdigas, då omkopplingsmöjligheter och automatiker kan dra ner avbrottstider till ett minimum, eller sektioneringar och omkopplingar kan minska förlusterna betydligt.

Dock dras slutsatsen att även i ett längre perspektiv kommer platina-stationen att vara i minoritet i nätet. En del av förklaringen till detta är att likvärdig funktionalitet skulle kunna uppnås med guld-stationer och centraliserad (i driftcentralen) intelligens, dvs. istället för att intelligensen är distribuerad (beslut fattas i enskilda nätstationer), så är den centraliserad (fattas i driftcentralen) och signaler för manöver och styrning skickas till nätstationen.

Från ovanstående resonemang ges en tänkbar fördelning av nätstationstyperna i ett längre perspektiv (>10 år) enligt tabell 4.3.

Tabell 4.3. Fördelningen av nätstationer i ett längre perspektiv.

	Brons	Silver	Guld	Platina
Landsbygd	x	(x)	x	(x)
Tätort		x	x	(x)
Storstad			x	(x)

Ekonomisk bärkraft

De ekonomiska incitamenten att installera ny utrustning i nätstationer för mätning, styrning eller automatiker är mycket starkt knutna till regleringen.

Som exempel; utan föreskrift om att månadsvis avläsning senast den 1 juli 2009 hos slutkund ska göras, är det inte troligt att ca 5,3 miljoner fjärravlästa mätare hade installerats i elnätet. Det hade inte funnits någon ekonomisk bärkraft för elnätsföretagen att göra denna investering utan myndighetens reglering.

Den bestyckning av nätstationer som finns i befintligt nät återspeglar också att elnätsföretagen hittills inte sett stora ekonomiska incitament att införa mätning, styrning och automatiker på bred front.

Även i fortsättningen kommer regleringen att vara den mest betydande faktorn i utvecklingen – hårdare krav på ökad leveranskvalitet leder naturligtvis till att elnätsföretagen analyserar vilka åtgärder som är mest kostnadseffektiva för att möta kraven (regleringen är precis utformad så). "Lågt hängande frukter" kommer naturligtvis att vara attraktiva för elnätsföretagen. Att effektivisera fellokalisering genom att införa mätning, samt att snabba upp felisolering genom att införa manövrerbarhet, kan då ha ekonomisk bärkraft. Enskilda elnätsföretag kan välja olika sätt att möta myndigheternas krav, där vissa elnätsföretag väljer att vidta åtgärder i nätstationerna medan andra elnätsföretag vidtar åtgärder i t.ex. nätstruktur eller genom att bättre nyttja mätare hos slutkund.

Följande mening från Energiforsk-rapporten *Nätuppyggnad och automatiker för ökad tillgänglighet* sammanfattar på ett precist sätt hur regleringen avgör vilka åtgärder som har ekonomisk bärkraft:

"När elnätsföretagets marginalkostnad för att öka leveranssäkerheten är lika med kundernas minskade avbrottskostnader kommer det inte att löna sig för elnätsföretagen att investera mer i tillförlitlighet." [10]

Data och IT-säkerhet

I samband med införande och utbyggnad av kommunikationssystem till, från, och i vissa fall även mellan, olika nätstationer måste IT-säkerheten tas i beaktande. Säkerheten kring elkraftssystem är något som tas på största allvar av elnätsföretagen då det berör både tillgänglighet och drift av samhällskritisk infrastruktur och även hantering av data som, beroende på utrustning och innehåll, kan vara av känslig karaktär. Det kan finnas synergieffekter till exempel genom att använda sig av gemensamma mätsystem för slutkund (privat- och företagsabonnenter) som för nätstationerna för att enkelt kunna använda sig av mätdata i driftsammanhang och felsökning. Detta ställer inte bara krav på att säkerställa kvaliteten i den data som överförs utan också på att skydda integriteten för enskilda datakällor då den kan innehålla kunddata.

5 Slutsatser

Föreliggande rapport har beskrivit en möjlig och rimlig övergång från dagens nätstation till framtidens nätstation.

Det övervägande problemet med dagens nätstationer, som delas av flertalet elnätsföretag, är att man helt saknar information om förhållandena mellan utgående fack i fördelningsstationen och kundanslutningspunkterna. Med tanke på de förändringar som kan förutses för elnäten och distributionsnäten i synnerhet, kommer denna brist att bli mer uppenbar. Detsamma gäller med tanke på de allt större kraven på leveranskvalitet som ställs.

Potentialen för utveckling av nätstationer ses främst inom mät- och kommunikationssystem – någon större potential ses inte hos primärapparater, som transformatorer, kablar, etc. Även en övergång till stationer med enkel kommunikation och rudimentära mätfunktioner skulle resultera i en effektivisering av avbrottsshantering. En ytterligare ökning av funktionalitet, både vad gäller observerbarhet och manövrerbarhet, bidrar till än effektivare drift och planering.

Fyra olika typstationer definieras i rapporten, som beskriver olika grad av förmågan att "mäta", "styra" och "tänka". Dessa benämns brons, silver, guld och platina.

Oavsett teknisk utveckling eller drift- och planeringsbehov hos elnätsföretagen kommer även i fortsättningen regleringen att vara den mest betydande faktorn i utvecklingen – hårdare krav på ökad leveranskvalitet leder naturligtvis till att elnätsföretagen analyserar vilka åtgärder som är mest kostnadseffektiva i att möta kraven (regleringen är precis utformad så).

Referenser

- [1] *Sveriges framtida elnät. En delrapport. IVA-projektet Vägval el.* Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA), 2016.
- [2] *Framtida krav på elnäten.* Elforskrapport 14:26. Maj 2014.
- [3] Johansson, J., Sporre, H., Selberg, L. och Hansson, O. *Monitoring Systems for Secondary Substations – a Comparative Study.* Paper 0103. 24th International Conference on Electricity Distribution. Glasgow, 12-15 June 2017.
http://cired.net/publications/cired2017/pdfs/CIRED2017_0103_final.pdf
- [4] Noske, S., Falkowski, D. och Babs, A. *Advance Control and Monitoring in Secondary Substation – Project Upgrid.* Paper 0839. 24th International Conference on Electricity Distribution. Glasgow, 12-15 June 2017.
http://cired.net/publications/cired2017/pdfs/CIRED2017_0839_final.pdf
- [5] Noske, S., Falkowski, D., Swat, K. och Boboli, T. *Upgrid Project – The Management and Control of LV Network.* Paper 0792. 24th International Conference on Electricity Distribution. Glasgow, 12-15 June 2017.
http://cired.net/publications/cired2017/pdfs/CIRED2017_0792_final.pdf
- [6] Etherden, N., Johansson A.K., Ysberg, U., Kvamme, K., Pampliega, D. och Dryden, C. *Enhanced LV Supervision by Combining Data from Meters, Secondary Substation Measurements and MV Scada.* Paper 0966. 24th International Conference on Electricity Distribution. Glasgow, 12-15 June 2017.
http://cired.net/publications/cired2017/pdfs/CIRED2017_0966_final.pdf
- [7] *EBR, Nätstationer 12–24/0,4 kV.* KR59 2018. Remissversion. Energiföretagen Sverige.
- [8] *Energimarknadsinspektionens föreskrifter om nätkoncessionshavarens förslag till intäktsram och insamling av uppgifter för att bestämma intäktsramens storlek.* EIFS 2015:1.
- [9] Annelie Lindeberg. *Mätning i nätstationer – nyttor och problem. En studie i samarbete med Göteborg Energi AB.* Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Elektroteknik, Chalmers tekniska högskola. 2009.
- [10] Monica Lexholm. *Nätuppbbyggnad och automatiker för ökad tillgänglighet.* Energiforsk rapport 2016:274.
- [11] *Funktionskrav på elmätare – Författningsförslag.* Ei R2017:08. Energimarknadsinspektionen.
- [12] *Funktionskrav på framtidens elmätare.* Ei R2015:09. Energimarknadsinspektionen.
- [13] Steinbusch, P. m.fl. *Interaction of MV- and LV-Automation Systems for a Smart Distribution Grid.* Paper 0538. 24th International Conference on Electricity Distribution. Glasgow, 12-15 June 2017.
http://cired.net/publications/cired2017/pdfs/CIRED2017_0538_final.pdf

- [14] Martini, L. m.fl. *The Grid of the Future and the Need for a Decentralized Control Architecture: The Web-of-Cells Concept*. Paper 0484. 24th International Conference on Electricity Distribution. Glasgow, 12-15 June 2017.
http://cired.net/publications/cired2017/pdfs/CIRED2017_0484_final.pdf
- [15] *Uppdaterade incitement i regleringen av elnätsföretagens intäktsramar*. Ei PM2018:01. Energimarknadsinspektionen.

Bilaga A: Länshänvisningar

Några CIRED referenser:

http://cired.net/publications/cired2017/pdfs/CIRED2017_0103_final.pdf
http://cired.net/publications/cired2017/pdfs/CIRED2017_0839_final.pdf
http://cired.net/publications/cired2017/pdfs/CIRED2017_0952_final.pdf
http://cired.net/publications/cired2017/pdfs/CIRED2017_0573_final.pdf
http://cired.net/publications/cired2017/pdfs/CIRED2017_0143_final.pdf
http://cired.net/publications/cired2017/pdfs/CIRED2017_0538_final.pdf
http://cired.net/publications/cired2017/pdfs/CIRED2017_0792_final.pdf
http://cired.net/publications/cired2017/pdfs/CIRED2017_0484_final.pdf
http://cired.net/publications/cired2017/pdfs/CIRED2017_0966_final.pdf

Några andra referenser:

<https://www.dlaboratory.com/>

http://powercircle.org/wp-content/uploads/2018/01/Kort_KAN2.0-Elna%CC%88tets-roll-i-framtidens-energisystem.pdf

<http://www.smart-ring.se/>

<http://www.hmpower.se/>

Bilaga B: Vattenfalls lista över nätstationstjänster

TJÄNSTER

Vilka tjänster bör nätstationen i samverkan med utrustning i mellanspännings- och lågspänningsnäten hantera i framtiden?

- Verifiera energileverans: Mäta energi leveransen från mellanspänningsnätet till slutkund samt eventuell inmatning från distribuerad produktion, inkluderande nätförluster.
- Verifiera elkvalitet: Mäta elkvaliteten kontinuerligt per fas i nätstation och lågspänningsnät fram till leveransgräns till kund.
- Verifiera kapacitet: Mäta effekt, ström och spänning per fas i nätstation och lågspänningsnät fram till leveransgräns till kund. Ledningar och transformatorers utnyttjande inkluderande fas balansering.
- Belastningsflexibilitet: Vid kapacitetsbrist genomföra lastbortkoppling, demand response, peak shaving.
- Felbortkoppling: Minimera konsekvenserna för kund vid ett fel i elnätet så att minimalt antal kunder drabbas av bestående avbrott eller allvarlig felfunktion och att övriga berörda kunder endast drabbas kortvarigt under fellokaliseringens processen.
- Avbrotts hantering: Snabbt, effektivt och med god precision identifiera strömbrott (för samtliga faser) för msp-nät, nätstation, lsp-grupp och kabelskåp fram till leveransgräns till kund. Snabb och korrekt avbrottsinformation till kund.
- Säkerställa funktion: Övervaka system, funktion och säkerhet i nätstation. Identifiera underhållsbehov, indikera när tillsyn eller underhållsåtgärd måste genomföras. Exempelvis transformator, låsanordning, brandlarm, reaktivkompenseringsutrustning, etc.
- Kommunikationsövervakning: Från centralt håll övervaka status för kommunikationsinfrastrukturen.
- Verifiera lågspänningsnätets struktur/ driftläge: Kvalitetssäkra elnätets dokumentation avseende kundanläggningarnas anslutning till respektive lågspänningsnät, driftläge.



28

NÄTSTATIONENS TJÄNSTER

Om vi använder ordet "Tjänst" för det som nätstationen skall utföra så gäller:

En eller flera tjänster kan lösas med en eller flera funktioner.

Varje tjänst medför en nytta som i de flesta fall kan värderas ekonomiskt men inte alltid.

För att kunna realisera tjänsten så krävs i de flesta fallen tekniska lösningar som har en kostnad.

Om tjänsten kan motiveras ekonomiskt eller på annat sätt bör den normalt sett realiseras omgående om resurser är tillgängliga och tjänsten är i linje med företagets strategier.

Om tjänsten framgångsrikt skall kunna implementeras i verksamhetens arbetsprocesser så bör tekniska förutsättningar finnas för merparten av nätstationerna, implementerings tiden får därför inte vara alltför lång.



1

FRAMTIDENS NÄTSTATION

Resultatet visar att lokaliseringsalgoritmer och detekteringslösningar för distriVilka faktorer avgör elnätsföretagens satsningar på att modernisera och utveckla nätstationer från dagens relativt grundläggande och enkla funktioner till att bli en aktiv del i nätstrukturen? Det handlar om att stötta elnätsföretagen i sina ansträngningar att höja kvaliteten och öka sitt tjänsteutbud.

Här beskrivs nuläge, problematik kring och framförallt de möjligheter elnätsföretagen har i samband med reinvesteringar och moderniseringar av nätstationer i en nära framtid. Utan att leverera detaljerade lösningar beskrivs gemensamma frågeställningar och möjliga scenarier.

Regleringen av elnätsföretagens möjligheter till intäkter, investeringar och avkastning har stor påverkan på strategier och tidsramar för nödvändig utbyggnad, samtidigt som elnätsföretagens fokus flyttas från rena teknikfrågor till affärsmodeller och tjänsteutbud.

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