



SVENSKT VATTENKRAFTCENTRUM

Utvecklingsbehov inom reglerkraftsområdet ur ett vattenkraftperspektiv

Elforsk rapport 10:11



Niklas Dahlbäck

Januari 2010

ELFORSK

Utvecklingsbehov inom reglerkraftsområdet ur ett vattenkraftperspektiv

Elforsk rapport 10:11

Förord

Denna rapport har skrivits som ett försök att utifrån olika tidsskalor beskriva reglerkraftsbehov och hur de tillgodoses tekniskt och handelsmässigt, i syfte att kunna ha en gemensam bas vid reglerkraftsdiskussioner.

Rapporten är i huvudsak skriven av Niklas Dahlbäck men har diskuterats och bearbetats inom en arbetsgrupp som förbereder planering av arbete inom reglerkraft inom Svenskt vattenkraftcentrum. I denna arbetsgrupp har förutom Niklas Dahlbäck från Vattenfall Vattenkraft också ingått; Urban Lundin från Uppsala universitet, Anders Wörman från KTH, Olle Mill, Christoffer Moberg och Christer Bäck samtliga från Svenska Kraftnät.

Svenskt Vattenkraftcentrum, SVC, är ett kompetenscentrum för utbildning och forskning inom vattenkraftområdet.

SVC finansieras av vattenkraftindustrin, Statens Energimyndighet, Svenska Kraftnät tillsammans med Luleå tekniska universitet, Kungliga tekniska högskolan, Chalmers och Uppsala universitet. Medverkande företag är Andritz Hydro, E.ON Vattenkraft Sverige, Fortum Generation, Holmen energi, Jämtkraft, Karlstads Energi, Linde Energi, Mälarenergi, Skellefteå Kraft, Sollefteåforsens, Statkraft Sverige, Statoil Lubricants, Sweco Infrastructure, Sweco Energuide, SveMin, Umeå Energi, Vattenfall Research and Development, Vattenfall Vattenkraft, VG Power och WSP. Nuvarande etapp pågår 2009-2012 med en budget på nära 100 miljoner kr.

Ytterligare information finns på programmets hemsida www.svc.nu.

Stockholm, 2010-01-27

Cristian Andersson
Programområde Vattenkraft
Elforsk

Sara Hallert
Programområde Vattenkraft
Elforsk

Sammanfattning

Kraftsystemet är beteckningen på möjligheterna att leverera el, dvs produktionsapparater och överföringsinstallationer. Då elektriciteten inte kan lagras inne i kraftsystemet måste hela tiden inmatning balanseras med utmatning. När åtgärderna för balansering sker på produktionssidan kallar vi det reglerkraft. Under förändringar i balansen påverkas även växelströmmarnas frekvens och spänningsnivåer. Även detta kan balanseras ut med åtgärder i produktionsledet och ryms därför inom begreppet reglerkraft.

Reglerkraft uppenbarar sig i tidsskalorna från säsong ner till sekundskala. Med utgångspunkt från dessa tidsskalor finns elhandelssystemet, olika tekniska lösningar samt miljöaspekter beskrivna i denna rapport.

En stor introduktion av vindkraft kommer att påverka regleringssituationen i kraftsystemet. Det finns idag en hög medvetenhet att reglering av vattenkraft är en förutsättning för storskalig utbyggnad av andra förnyelsebara energiproduktionsslag. Mer marknadsutveckling, dels genom expansion med mer öppen handel och fysisk koppling utanför Norden, dels genom en utveckling av marknaden så att regleringsarbetet värderas i respektive tidsskala, kommer sannolikt öka det framtida värdet av reglerarbetet. Konsumtionsmönster i framtiden förutses bli än mer intermittenta.

Utvecklingsarbeten inom reglerkraft finner snabbt kopplingar över ett vitt tvärvetenskapligt fält, från ekonomi via ekologi till olika teknikdiscipliner. Ett lämpligt sätt att strukturera ett framtida utvecklingsarbete är att sortera efter karakteristiska tidsskalor, från periodenheter $\sim 0,02$ s till årsskala.

Utveckling inom miljöekonomi/ekologi anses prioriterat. Detta ingår dock inte i SVC i dagsläget. Studier av dynamisk respons och stabilitet i stamnätet och kraftsystemet i sin helhet bedöms också vara intressant. Tekniska lösningar på apparatnivå och stationsnivå behöver studeras avseende tålighet vid mer belastning/stress/andra körsätt. Det finns behov av att kunna förstå *livslängdspåverkande mekanismer* och eventuellt kunna finna åtgärder att minska påverkan. Lika viktigt är att kunna utreda och eventuellt *uppdatera designkriterier* när anläggningar körs på ett annat sätt än ursprungligt planerat. Nytänkande med nya konceptuella lösningar bör också stimuleras.

Det pågår redan idag ett antal forskningsinsatser, inom och utanför SVC som studerar frågeställningar ur ett reglerkraftperspektiv. Det kommer att finnas behov av samarbete inom och utanför SVC kring dessa viktiga frågor.

Summary

The power system is the term on the possibilities to deliver electricity, i.e, production units and transmission installations. Since electricity cannot be stored, production and consumption must at all times be balanced. When measures for balancing takes place of the production side, it is called regulation or balancing power. Changes in the balance also influence the current frequency and voltage levels. This can also be handled with balancing measures and is therefore held within the regulation power concept.

Balance regulating power appears in the time scales from seasons to seconds. Based on these scales the electricity trading system, various technical solutions as well as environmental aspects are described in this report.

A large introduction of wind power will influence the regulating power situation in the power system. There is today a high awareness that regulation of hydro power is a condition for large-scale installation of renewable energy production. A development of the market, by expansion with increased open trade and physical connections outside Scandinavia as well as a development of the market where the regulating work is valued in the respective time scale, will probably increase the future value of regulating work. The consumption patterns are anticipated to be more intermittent.

Research and development within the area of balancing power have links over a wide cross-scientific field, from economy, via ecology to different technology disciplines. An appropriate way to structure future work on this area is to sort by the characteristic time scales, from period units $\sim 0,02$ s to years. The development within environmental economy/ecology is considered to be prioritized. However, this is not included in SVC at present.

Studies on dynamical response and stability in the transmission grid and the overall power system is also considered to be interesting. Technical solutions on device level as well as production unit level must be studied regarding durability at more load/stress/other running manners. There is a need of understanding length of life influencing mechanisms and finding measures to reduce the impact. Of importance is also to investigate and perhaps update design criteria when the power units are run in another way than originally planned. Innovation with new conceptual solutions should also be stimulated.

There is already today a number of research activities, within and outside of SVC that studies issues from a regulating power perspective. There will be a need of cooperation around these important questions.

Innehåll

1	Inledning	1
2	Elkraftsystemet en grundbult i vårt samhälle	2
3	Tekniskt system och handelssystem	3
4	Olika reglerkraft beroende på tidsskala	4
4.1	Vad är reglerkraft ?	4
4.2	Långtidsskala / säsongsskala	4
4.3	Månad/Veckoskala	5
4.4	Dygnskala (planerad del)	6
4.5	Inom dygnet (oplanerad del)	7
4.6	Inom timmen	8
4.7	Momentanskala.....	8
4.8	Kopplingar mellan tidsskalorna	9
5	Väntade framtida förändringar vid storskalig vindintroduktion	11
6	Väntad förändring vid mer marknadsutveckling	12
7	Väntad förändring i konsumtion	13
8	Strukturering av utveckling inom reglerkraft från vattenkraft	14
9	Tidsskalor och några tillhörande tekniskt/fysiska problemställningar	16
10	Inledning till en prioritetsdiskussion	18
11	Pågående aktiviteter	19
12	Förslag till prioritering av vattenkraftsrelaterat utvecklingsarbete inom SVC inom reglerkraftområdet	20

1 Inledning

I diskussioner kring reglerkraft framkommer ofta att diskuterande parter pratar förbi varandra då de inte alltid har samma perspektiv på vad som avses med reglerkraft.

Denna rapport har skrivits i ett försök att utifrån olika tidsskalor beskriva reglerkraftsbehov och hur de tillgodoses tekniskt och handelsmässigt, i syfte att kunna ha en gemensam bas vid reglerkraftsdiskussioner. Under rapportens framarbetande hösten 2009, har två förändringar i kraftsystemhanteringen blivit aktuella inom en snar framtid. Dels förväntas Norden delas in i flera prisområden vilket kommer ge en mer regionalt varierande drivkraft inom reglerkraftområdet. Dels diskuteras ett övergripande automatiskt system, Load Frequency Control, som kompletterar frekvensreglering med regleringar inom en ½ till flera minuter.

I sken av ett planeringsmål på 30TWh vindkraft i det svenska kraftsystemet uppkommer frågan hur nya reglerkraftsbehov skall mötas. En del problemställningar kan vara mer svårlösta än andra medan andra medför större konsekvenser om de inte löses. Risker och tekniklösningar behöver studeras i mycket god tid, eftersom i slutänden stora infrastrukturella investeringar, med lång leddid, kommer att behöva göras.

I rapportens senare del görs ett försök att strukturera utvecklingsbehov ur ett vattenkraftperspektiv, och även i detta fall har olika tidsskalor funnits vara en lämplig utgångspunkt. Eftersom utvecklingsbehoven kräver insatser inom vitt skilda områden är det inte alltid lätt att föra en prioriteringsdiskussion om inte en gemensam grundstruktur kan anammas. Det är författarens förhoppning att rapporten kan vara till hjälp i detta avseende.

Denna rapport är i huvudsak skriven av Niklas Dahlbäck men har diskuterats och bearbetats inom en arbetsgrupp som förbereder planering av arbete inom reglerkraft inom Svenskt vattenkraftcentrum. I denna arbetsgrupp har förutom Niklas Dahlbäck från Vattenfall Vattenkraft också ingått; Urban Lundin från Uppsala universitet, Anders Wörman från KTH, Olle Mill, Christoffer Moberg och Christer Bäck samtliga från Svenska Kraftnät.

2 Elkraftsystemet en grundbult i vårt samhälle

Så fort ett arbete skall uträttas krävs energi. I vårt moderna samhälle nyttjar vi mängder av hjälpmedel för olika arbetsuppgifter. Det är mycket vanligt att använda tekniska lösningar som använder el som energikälla eftersom detta är en enkel, ofta miljöriktig och prisvärd lösning.

Med tillgång till ett vittutbyggt transportsystem av elledningar behöver inte elen genereras på samma plats som där den används. Både transportledningar och lokala nätverk anpassas via spänning och strömkapacitet till lokala behov (distributionssystem), respektive "motorvägstrafik" (stamnät).

De översta nivåerna av spänning och ledningskapacitet som transporterar stora mängder över stora avstånd utgör i dagligt tal vårt kraftsystem. Skötsel och planering av stamnätet och dess anslutningar är av så stor vikt för samhället att detta hanteras via en statlig myndighet, Svenska Kraftnät. Mycket allvarliga konsekvenser uppstår i vårt samhälle om det inte finns tillräcklig kapacitet eller om stora störningar drabbar kraftsystemet.

3 Tekniskt system och handelssystem

El är en vara som kan handlas över stora avstånd. I de flesta fall kan den också avropas momentant och levereras på plats eftersom kraftsystem och distributionssystem har god kapacitet.

Det är viktigt att förstå skillnaden mellan det tekniskt fysiska kraftsystemet och handelssystemet.

Kraftsystemet är beteckningen på möjligheterna att leverera el, dvs produktionsapparater plus överföringsinstallationer. Det är historiskt uppbyggt som ett tekniskt behovsstyrt system med kunderna som en prognostiserad teknisk last.

Speciellt för elmarknaden är att den fysiska marknadsdelen (produktion, leverans, konsumtion) styrs av momentana beslut. Vidare finns ingen lagringsmöjlighet för den förädlade produkten el när den väl genererats. Lagring, med viss accesstid, kan dock ske för vissa delar i produktionsledet genom bränsledepåer eller vattenkraftreservoarer.

Elhandelssystemet med fri börs och transparanta transportsystem har endast existerat i något decennium. Detta har gjort kunderna till en mer aktiv och integrerad del i systemet och det är endast transmissionen som är passiv teknisk. Handeln sker med olika framförhållning i tid, där varje aktör kund/säljare väger värdet av sina risker för framtida korrigeringar. Små kunder kan debiteras efter förbrukning och överenskomna prismallar. Större aktörer kan handla på elbörs på tidsskalor mellan nästa dygn och flera år.

Ett sätt att åskådliggöra kopplingar mellan beslut i handeln och andra beslut i hanterandet av delar i kraftsystemet, är att indela i olika tidsskalor och planerade och oplanerade handlingar relaterat till dessa tidsskalor.

Exempel på planerade behov är drift/avställning av kraftstationer och ledningar eller långa kontrakt för konsumtion. Exempel på oplanerade händelser är, korrigeringar av behov, fel i ledningar och kraftstationer, ångrande av tidigare beslut.

4 Olika reglerkraft beroende på tidsskala

4.1 Vad är reglerkraft?

Då elektriciteten inte kan lagras inne i kraftsystemet måste hela tiden inmatning balanseras med utmatning. När åtgärderna för balansering sker på produktionsidan kallar vi det reglerkraft.

Under förändringar i balansen påverkas även växelströmmarnas frekvens och spänningsnivåer. Även detta kan balanseras ut med åtgärder i produktionsledet och ryms därför inom begreppet reglerkraft.

4.2 Långtidsskala/säsongs skala

Vi kan planera vårt behov efter säsongs mönster. Kallare på vintern ger ett annat efterfrågemönster än på sommaren, semesterperioder drar ned på industrikonsumtion etc. I produktionsledet finns det naturliga årstidsvariationer på energikällor som vatten, vind, våg och sol. Vidare sker avställningar av kraftverk och kritiska komponenter i överföringssystemet med fördel på lågsäsonger.

Trots en stor planerbarhet blir det ändå avvikelser. Vintrar kan bli kallare eller varmare än normalt. Konjunkturer kan förändra industribehovet. Nederbörden kan kraftigt variera vår vattenkraftproduktion från år till år. Kraftverk kan haverera med lång avställning som följd.

Handel:

I elhandelssituationen kan man handla på terminer och varje kund/säljare gör sin riskanalys vad som kan hända och vilka konsekvenser det får och därefter avgör vilket pris som känns lämpligt att agera på. Detta är alltså planerat handlings sätt. När behov uppstår som måste korrigeras så sker den handeln sedan i någon av de kortare tidsskalorna nedan.

Tekniska lösningar:

Stora reservoarer i övre delen av våra stora älvar ger möjligheter till säsongs lagring i mycket stor skala. 30 TWh lagringskapacitet utgör c:a 20% av årskonsumtionen. Dessutom finns en stark teknisk koppling via stamnät med Norge som har ytterligare större säsongs lagringskapacitet. Kärnkraft planerar med laddningscykler anpassade för säsongs behov. Avställningar av stora kraftsystemkomponenter planeras efter säsongs situation.

Miljöaspekter:

Reglering av älvflöden förändrar ekologiska förutsättningar längs älvdalarna. T.ex. en utebliven vårflod kan ändra balansen mellan strandnära växter. Stora reservoarer påverkar lokalt de sjöar som används.

4.3 Månad/Veckoskala

Vi har i samhället ett starkt mönster av veckoplanering i både industriella och privata verksamheter. Detta ger ett kraftigt utslag i elkonsumtionsmönstret. Med ett så tydligt mönster kan största delen av denna tidsskala betraktas som planerbar.

Det förekommer dock avvikelser som är väderberoende.

Väderprognoser längre än en vecka är osäkra. Väder (temperatur, regn, blåst) kan påverka både konsumtion och produktion och i vissa fall överföringssystemet.

Handel:

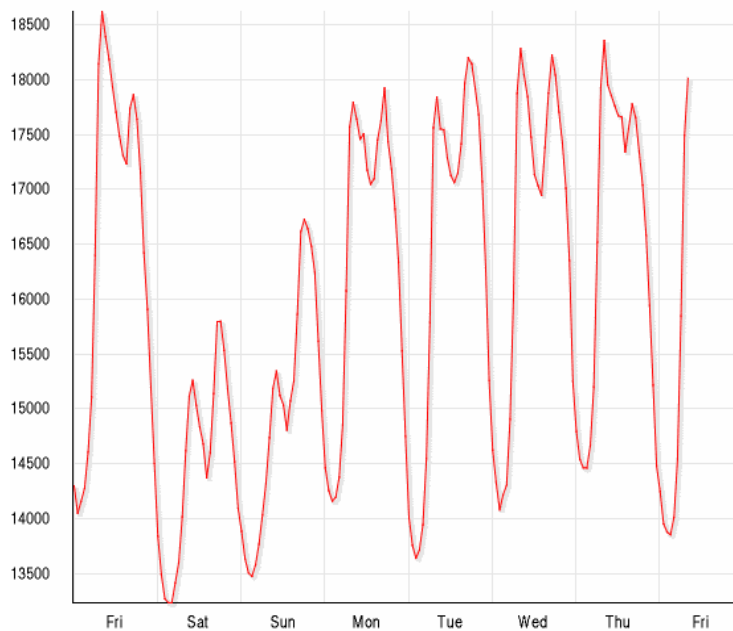
I elhandelssituationen kan man handla på kortare terminer. Precis som i säsongssituationen gör varje kund/säljare sin riskanalys vad som kan hända och vilka konsekvenser det får och därefter avgör vilket pris som känns lämpligt att agera på. Detta är alltså planerat handlingsätt. När behov uppstår som måste korrigeras så sker den handeln sedan i en kortare tidsskala nedan.

Tekniska lösningar:

Fortfarande är det i första hand vattenkraft som används för behovsbalansering. I veckoperspektivet är det inte bara de största reservoarerna överst i älvarna som nyttjas utan även reservoarer längre ned i älvarna kan bidra till veckoplanering. En del av värmekraften kan planera utifrån veckomönster.

Miljöaspekter:

Reglering av älvflöden och reservoarnivåer kan ge lokal påverkan beroende på design och naturliga förutsättningar. T.ex kan stranderosion bli annorlunda eller vissa älvsträckor få låga flöden nattetid eller på veckoslut.



Exempel på svensk elkonsumention under en vecka

4.4 Dygnskala (planerad del)

Att aktiviteterna i samhället är olika på dag och natt återspeglar sig i en regelbundenhet i konsumtionsmönstret. Typiskt skiljer det 4000MW mellan högsta och lägsta konsumtion i landet under ett dygn. Detta mönster gör att en stor del av konsumtionen inom dygnskalan är planerbar.

Väder gör sig gällande inom dygnskalan men prognoserna är ofta ganska goda inom ett dygn varför även denna del till stor del är planerbar. Exempelvis vet man av erfarenhet att en grad kallare under vintern motsvarar ett antal % i totalkonsumtionen.

Avvikelserna i denna skala utgörs ofta av störningar på stora produktions eller konsumtionsenheter. Korrigering kommer då ske i skalan inom dygnet se nedan. Prognos av produktion av vind har på dygnskalan fortsatt stora avvikelser. Speciellt avseende tidpunkt för förändringar. Räknat på timme för timme är prognosfelet idag upp till 40% av vindkraftproduktionen. Korrigeringar måste därför ske inom dygnet (se nästa tidsskala)

Handel:

I elhandelssituationen kan man handla på spotmarknad för nästkommande dygn. Denna handel fångar upp avvikelser från planeringen i längre tidsskalor. Aktörer som vill fånga tillfälliga prisvariationer är också intresserade av spotmarknaden.

Det går inte att normalt handla på börsen kortare tidshorisont men eftersom det fortfarande finns ett ansvar att hålla balans mellan fysisk produktion och

konsumtion förekommer affärer mellan dem som har detta ansvar och dem som kan hjälpa till med balanskorrigeringar inom så kallad ELBAS marknad.

Tekniska lösningar:

Fortfarande är det i första hand vattenkraft som används för behovsbalansering. Många kraftverk har möjlighet att agera, men deras handlingsutrymme styrs av vilket läge reservoarer hamnat i på grund av tidigare körning i veckan i kraftverken närmast det aktuella.

En del av värmekraften kan planera utifrån dygnsmonster även om det inte alltid är ekonomiskt.

Miljöaspekter:

Reglering av älvflöden och reservoarnivåer kan ge lokal påverkan beroende på design och naturliga förutsättningar. T.ex. kan stranderosion bli annorlunda eller vissa älvsträckor få låga flöden nattetid eller på veckoslut.

4.5 Inom dygnet (oplanerad del)

Behovet att reglera inom dygnet uppstår främst när man av olika skäl får avvikelser från prognostiserad produktion eller konsumtion.

Produktionen kan påverkas pga fel i anläggningar, speciellt om stora kraftverksenheter faller bort oplanerat. För vattenkraftproduktion kan positionen i en älv innebära tidsfördröjning innan nästa anläggning drabbas (alternativt att spill beslutas). Även fel i transmissionsledningar eller ställverk kan påverka möjligheter till produktion. Det kan också finnas skäl för stamnätsoperatören att vilja omfördela produktion mellan olika landsändar.

För väderberoende produktion som vind och vågkraft används produktionsprognoser mer än produktionsplaner, och prognoser har alltid ett visst mått av osäkerhet. Konsumtionen kan påverkas om en större konsument råkar ut för fel eller om väder påverkar många små konsumenter till en annan förbrukning än först prognostiserad.

Handel:

För att uppfylla de åtagande man har kontrakterat på elbörsen finns möjlighet att köpa reglerkraft på en särskilt utbjuden korrigeringsmarknad, ELBAS. Om inte korrigeringen uppfylls helt måste stamnätsoperatören agera för att balansera och en avräkning sker istället i efterhand.

Observera att erbjuda möjligheten att reglera inom dygnet ofta innebär att man avstått möjlighet till produktion på elbörsens spotmarknad. Det finns därför en stark koppling mellan prissättningen på denna marknadsdel och spotpriset.

Tekniska lösningar:

Även här är det i första hand vattenkraft som används för behovsbalansering. De aggregat som används bör ha möjlighet till relativt snabba uppstartsforlopp.

Miljöaspekter:

Att produktionsändringarna inom denna tidsskala till största delen är oplanerade, innebär också att strandnära aktiviteter kan bli påverkade av plötsliga förändringar som inte alltid kan kommuniceras i förväg

4.6 Inom timmen

Stora fel i produktions- eller transmissionsapparater kan behöva snabba åtgärder för att balansera kraftsystemet.

Handel:

Inom timmen är det stamnätsoperatören som helt ansvarar för att balansen upprätthålls. Det viktigaste är att kraftsystemet hålls stabilt. De verktyg som finns tillgå är upphandling av frekvensregleringstjänster samt kompletterande sekundärreglering så att fortsatt kapacitet för frekvensreglering upprätthålls, samtidigt som frekvensen hålls så nära normal nivå som möjligt.

Producenter får avge bud för upp- respektive nedreglering och dessa kan sedan avropas av stamnätsoperatören för korrigerings inom timmen. Det sker ett samarbete mellan nordiska stamnätsoperatörer så att hela Nordens utbud används på bästa sätt.

Observera att reservkapacitet ofta innebär avstående från produktion på elbörsen och att frekvensreglering och reservkapacitet kan vara delvis överlappande.

Tekniska lösningar:

Automatiska regleringar hör till momentanskalan, men återställande av kapacitet när t.ex störningsreserv nyttjats måste ske inom timmen. Det är i allmänhet bara vattenkraft som har de snabba regleregenskaper som krävs. Kraftaggregat drivna av diesel eller gas kan ha snabba egenskaper men är dyra att ha stående och ger naturligtvis CO₂ utsläpp.

Även vattenkraften har dynamiska egenskaper i reservoarer, älvsträckor och i tunnlar som måste tas hänsyn till vid denna typ av regleringar. Det vill säga efter en större snabb reglering kan det ta tid innan reglerresursen är tillgänglig igen.

Miljöaspekter:

Då produktionsändringarna kan ske plötsligt och med avsevärd amplitud måste säkerhetsrutiner tillämpas som innebär begränsad personaccess till vissa älvsträckor. Plötsliga flödesändringar (och eventuella temperaturtransienter) kan eventuellt stressa visst djurliv.

4.7 Momentanskala

All el måste förbrukas i samma sekund som den produceras. Sker inte detta förändras nätfrekvensen och spänningar. Man kan säga att det finns en liten lagrings/korrigeringsmöjlighet i nätet genom att vid ökad frekvens snurrar

generatorer och maskiner lite fortare och har därmed lagras en del energi, men den kan inte användas bestående utan måste korrigeras ganska raskt. Vid större produktionsbortfall eller stamnätstörning finns behov av störningsreserv, dvs mycket snabbt startande produktionskapacitet.

Handel:

I denna skala är systemet i första hand tekniskt. Ansvaret för att det skall fungera finns hos Svenska Kraftnät. De verktyg och tjänster de behöver kan de dock i sin tur handla upp av kraftbolag (eller andra). I vissa delar är det inte bara upphandling utan tvingande regler som skapar verktygen i kraftsystemet.

Observera dock att de tjänster som köps av kraftbolag påverkar möjligheterna för dessa att agera på de andra marknadssegmenten.

Tekniska lösningar:

Rent tekniskt går det till så, att i många vattenkraftverk finns det en direkt automatisk koppling mellan frekvensökning och produktionsminskning, sk frekvensreglering eller primärreglering. När denna frekvensregleringförmåga blivit för mycket inmutad sker en sekundärreglering (via manuella ordrar) som stadigvarande innebär en produktionsminskning eller produktionsökning i något kraftverk. Detta kallas då sekundärreglering.

En större obalans kan uppstå momentant när en stor produktionsenhet (t.ex. kärnkraftblock) snabbstoppas eller när åskan slår ut viktiga ledningar. Då uppstår en något större ändring i frekvens, denna används till att automatiskt öka produktion i beredda aggregat, en sk störningsreserv.

Vid stora störningar eller extremlastsituation kan bortkoppling av laster (konsumtion) användas som ett led i balanseringen

Miljöaspekter:

Om istället värmekraftverk används för snabbt regleringsarbete sker verkningsgradsförluster och utsläppsökningar. Inom vattenkraften blir det en viss verkningsgradsförlust när frekvensreglering flyttar aggregat från bra driftpunkter.

4.8 Kopplingar mellan tidsskalorna

Elhandelssystemet är alltså uppbyggt som en fri börs med möjlighet till långa terminsaffärer, kortare terminsaffärer och en spotmarknad. De kortare tidsskalorna kan användas för att korrigera behovsförändringar i terminsaffärerna.

Genom handelssystemet sker alltså en naturlig koppling av de olika tidsskalorna ned till spotmarknad. Regler och handelssystem för Elbalansansvar på timbasis kan inte anses vara helt färdigutvecklat ännu.

Eftersom det finns kopplingar mellan olika tekniska funktioner (om man väljer att utföra en, så blockeras en annan möjlighet), kopplingar fysiska system (används vatten i ett magasin för reservkraft finns det inte kvar till senare

produktion) så blir handelssystemet även påverkat av de olika tekniska funktionerna. Detta sker på ett sätt så att korrigerig inte bara sker från längre mot kortare tidsskala utan även åt andra hållet, ett agerande i den korta tidsskalan får konsekvenser för den långa tidsskalan.

Det finns också situationskopplingar mellan de olika tidsskalorna, t.ex. kan en variation på dygnsskala vara svårare att hantera under en lågsäsongssituation när inte så mycket kraftproduktion är igång.

5 Väntade framtida förändringar vid storskalig vindintroduktion

En stor introduktion av vindkraft kommer att påverka regleringssituationen i kraftsystemet. När vindkraften är utspridd geografiskt och på många aggregat kan det förväntas att säsongsskalan har en viss överensstämmelse med konsumtionsmönstret. Det vill säga att under vintern sker i genomsnitt lite mer vindkraftproduktion.

Väderberoendet gör att påverkan inom vecko-månadsskalan blir uppenbar. Mycket hög vindproduktion kan förekomma enstaka vecka men går inte att förutse mer än en vecka innan. Ett behov finns därför att i stort sett på valfri vecka kunna möta en produktionsvariation i storleksordning maxproduktion av vindkraft. Effekten kan bli något utjämnad vid stor geografisk spridning.

Dygnskalan kommer även den behöva möta stora vindkraftvariationer. En viss framförhållning bör dock kunna ha skett inom veckoplaneringen, varför behovet inte motsvarar lika stor andel av vindkraftproduktionen. Volymen i energi räknat blir ju också mindre eftersom det är färre antal timmar som skall balanseras.

Svårigheten att prognostisera produktionen till rätt tidpunkt kommande dygn kommer skapa ett stort behov av reglering inom dygnet med så kallad balanskraft. Indikationer finns att 30-40% av vindkraftproduktionskapacitet (i extremfallet) måste kunna balanseras timme för timme när väderfronter passerar från väst till öst längs vårt avlånga land.

Inom timmen variationer kan uppstå i större skala i de fall en skarp väderfront passerar en anläggningsparks operativa vindhastighet, varvid plötsligt ett antal generatorer går från maxeffekt till 0-effekt på kort tid.

Vindkraftintroduktion kommer inte skapa särskilt ökad efterfrågan på momentan reglering eller frekvensreglering, däremot kommer variationer i spänning behöva hanteras eftersom inmatningen i en del avlägsna nätdelar kommer variera vid varierande vindförhållanden.

6 Väntad förändring vid mer marknadsutveckling

Marknadsutveckling kan dels ske genom expansion med mer öppen handel och fysisk koppling utanför Norden, dels genom en utveckling av marknaden så att regleringsarbetet värderas i respektive tidsskala.

Mer ihopkoppling av marknader ändrar efterfrågemönster. Om det finns en helt annan prisbild i ett av segmenten (tidskalorna ovan) så påverkas naturligtvis andra segment vid ihopkopplad marknad.

Ihopkoppling med andra geografiska områden balanserar troligen konsumtionsmönster men kan igengäld efterfråga reglerkraft till klart större volymer varför prisbilden kan påverkas. Totalt kan nog förutspås ett ökat framtida värde av reglerarbete.

7 Väntad förändring i konsumtion

Ambitioner att nå uthålliga lösningar i hantering av våra resurser påverkar energifrågan mycket. Det finns en stark drivkraft att överallt skapa energisnåla lösningar. Dock kostar det ofta energi att en hög återvinningsgrad på andra knappa resurser.

Vidare är energibesparing och elbesparing långt ifrån synonyma ord. Tvärtom är det så att elanvändning i många fall kan skapa energibesparing. Ett tydligt exempel är värmepumpar, där via tillförsel av el det är möjligt att värma ett hus med bergvärme istället för olja. Energibesparing innebär också att skall bli än bättre på att ha apparater påkopplade bara när de används. Detta kommer att medföra mer varierande elkonsumtion än idag.

Storskalig introduktion av laddningsenheter i transportsystemet (elbilar) kommer att medföra ett nytt konsumtionsmönster, som eventuellt kan styras till att bidra till balansering i kraftsystemet.

Sammanfattat förutses konsumtionsmönster i framtiden att bli än mer intermittenta.

8 Strukturering av utveckling inom reglerkraft från vattenkraft

Marknadens utveckling och värdering av funktionella tjänster inom reglerkraftområdet är centralt för att finna drivkraften i utvecklingsarbete kring reglerkraft. Eftersom marknadsutvecklingen är beroende av politiska beslut både inom Sverige och i övriga Europa kan det vara svårt att förutsäga värdet av att bedriva utvecklingsarbete inom reglerkraft. Det finns dock idag en hög medvetenhet i många led, att reglering av vattenkraft är en förutsättning för storskalig utbyggnad av andra förnyelsebara energiproduktionsslag.

Miljöfaktorer är väsentliga i syfte att tillmötesgå ett uthålligt energisystem. För reglerkraftområdet innebär detta att älvregleringar inklusive förekomsten av stora reservoarer, samt påverkan på fiskvandring är faktorer som skall värderas i en helhetsbild. Nyttjandet av reglerresurser skall påvisa nytta, inte bara ekonomisk utan också miljömässig. Exempelvis möjliggörandet av storskalig vindproduktion minskar CO₂ belastning, tillgång till reglerbar el möjliggör energianvändningsnärliga lösningar.

Kraftsystemet, dvs stamnätet med stora produktionsanläggningar samt anläggningar med stabiliserande funktioner, är naturligt ett centralt studieområde avseende reglerkraftshantering. Nätens struktur, belastnings och produktionsvariationer och stabiliserande funktioner skall anpassas till varandra på ett robust sätt. Eventuella förändringar kräver mycket god framförhållning i tiden. Detta är avgörande för att fortsatt ha en mycket hög tillgänglighet på vårt elsystem, vilket de flesta samhällsfunktioner är starkt beroende av.

Anläggningars reglerkraftsegenskaper är beroende av tekniska lösningar och kapacitetsvillkor (vatten, transmission mm). Liksom i kraftsystemet behövs mycket god framförhållning (10 tals år) för större förändringar. Detta i sig är en utmaning när osäkerheten är stor avseende drivfaktorerna från marknadsutvecklingen. Den stora fysiska skalan på anläggningarna innebär att de ofta är i ytterkanten av erfarenhetsområden, dvs möjligheten att hämta direkt applikationskunskap från andra industrigrenar kan vara begränsad.

Utvecklingsarbeten inom reglerkraft finner snabbt kopplingar över ett vitt tvärvetenskapligt fält. Delfrågeställningar kan passera hela vägen från ekonomi via ekologi till olika teknikdiscipliner och dessutom behöva ge sig i kast med förklara grundläggande fysikaliska fenomen.

Ett lämpligt sätt att strukturera ett framtida utvecklingsarbete är att sortera efter karakteristiska tidsskalor. Då sjunker snabbt antal tvärkopplingar. De olika tidsskalorna är naturligtvis inte helt oberoende av varandra och det kan ge upphov till ett särskilt utvecklingsområde att hantera hur små skalor skall

integreras upp i större och vilka faktorer som kan hanteras som indataparametrar eller helt försummas. Senare i denna rapport ges ett förslag till tidsskaleindelning.

Ett annat möjligt sätt att strukturera är utifrån vilket som är det i grunden påverkande fenomenet. Exempelvis att termiska effekter efter start/stopp ger strukturella rörelser i betong, stål och isolering, och därigenom förändras anläggningens egenskaper eller livslängd. Ett annat exempel är påverkan från varierande laster från vatten, elanläggning eller mekanisk utrustning i samband med driftomställningar eller transienter vid stopp.

Ett tredje sätt att strukturera är att relatera till behov. Ett ökat regleringsarbete (t.ex start/stopp) eller annat driftmönster skall mötas med robusta lösningar. Detta kan vara användbart när kunskapsnivån inom ett teknikområde anses mycket hög och arbetet i första hand går ut på att finna lämplig modifiering av befintlig utrustning under kända ekonomiska förutsättningar.

9 Tidsskalor och några tillhörande tekniskt/fysiska problemställningar

Periodenheter (~ 0,02s)

- Elektriska problemställningar (övertoner, dämpindningar etc.)
- Effektiva design och kravspecifikationer att möta störningsbehov
- Kopplingar mellan generatorer och nät vid störningar.
- Kavitationsfenomen, är i grunden en stationär effekt beroende på driftområde men variationer i flöden, vibrationer mm kan ge anledning till att studera dynamiska kopplingar

Mekaniska vibrationer (0.01-0.2s)

- Strömningsinducerade vibrationer, vilka kan öka då körsätt förändras
- Andra resonansfenomen
- Vibrationer via axelsystemet, speciellt i samband med regleringar av last eller stoppmanövrar.

Varvtalsperioder och annat i sekundområdet (0,1-2s)

- Magnetisering och spänningsreglering (alternativ teknik?)
- Effektiv reaktiv effekt design i apparater kontra nätkonfiguration
- Obalanser i axelsystemet
- Lagerdynamik
- Tryckpendlingar i vattenvägar

Flersekundsområde (1-10s)

- Stoppsekvenser (ledskenerreglering, trycktransienter, övervarv ..)
- Svallning i kanaler och intag och sugrörsluckor.
- Nätöar-pendlingar via flaskhalsar
- Artificiell svängmassa

Minutskala 10-100s

- Svallning i tunnelsystem
- Samverkan aggregat, vattenvägar med hela nätet via påtvingade svängningar
- Startsekvenser
- Kommunikationskedjor för övergripande styrning
- Lösningar för att använda vidare lastområden för frekvensreglering eller sekundärreglering, med små konsekvenser för verkningsgrad eller ojämn drift.

Timskala

- Effektiv varmhållning av aggregat (tomgångskörning)
- Seicher i vattenreservoarer
- Batteridrift

Inom dygnet

- Termiska effekter i byggstrukturer (ändrad styvhet)
- Termiska effekter i generatorstrukturer (ändrad form, livslängd material)
- Effektiv synkron drift

Dygnskala

- Prognosmetoder för vindkraftproduktion
- Geografisk dämpning av vindproduktion
- Isproblem relaterat till korttidsreglering
- Möjlighet till pumpkraftnyttjande cogeneration av småskaliga anläggningar

Veckoskala

- Prognosmetoder för vindkraftproduktion
- Anpassning av älvreglering för minimal miljöpåverkan

Säsong/ årsskala

- Anpassning av älvreglering för minimal miljöpåverkan

Stationärt

- Överföringssystemkonfigurationer (placering, spänningar, Solid state apparater mm). Vilka falskhalsar skapas för de olika tidsrelaterade behoven.

10 Inledning till en prioritetsdiskussion

Alla länkar i ovanstående tidskedja behövs. Vissa kan dock vara osäkrare eller medföra större konsekvenser vid missbedömning. Detta bör vara grunden för prioriteringar mellan olika insatser. Speciellt skall bedömas konsekvenser efter ett framtida ökat förväntat reglerarbete.

Miljöaspekter kommer främst göra sig gällande vid de längre tidsskalorna, dygn-säsong, och hantering av flödesvariationer och magasinsnivåer. Det förutses en ökad ambition i samhället att minska miljöpåverkan, t.ex. via vattendirektivets arbetssätt, samtidigt som befintliga utrymmen för regleringar troligen kommer nyttjas mera vilket innebär en praktisk ökning av miljöbelastning jämfört med idag. Eftersom åtgärder skulle kunna bli kostsamma eller kraftigt produktionshämmande är det viktigt att kunna jämföra miljönyttan för åtgärder vid olika alternativa platser. *Utveckling inom miljöekonomi/ekologi får därför anses prioriterat.*

Frågeställningar för stabilt kraftsystem blir accentuerade om belastningsvariationerna ökar med mer intermittent produktion och/eller konsumtion, eller om mera störningsbenägna stora produktionskällor ansluts. Bedömning av tillförlitligheten i kraftsystemet och behov av omkonfiguration kan analyseras med befintliga planeringsverktyg om egenskaperna hos produktionen är känd. Viss finslipning av verktyg kan ske genom utvecklingsarbete, men med måttlig prioritet ur vattenkraftsaspekter.

Mer intressant är studier av dynamisk respons och stabilitet i stamnätet och kraftsystemet i sin helhet. Kommer behov av andra tekniska lösningar att finnas? Vilken påverkan kan eventuellt nya störningskaraktistiker ha på befintliga anslutna utrustningar.

Tekniska lösningar på apparatnivå och stationsnivå behöver studeras avseende tålighet vid mer belastning/stress/andra körsätt. Vidare är välkommet med nya tekniska lösningar som lyckas undvika äldre teknologiers svårigheter.

Förutom att förbereda för framtida förändringar i reglerkraft kommer det att alltid vara viktigt med hög tillförlitlighet i vattenkraftanläggningarna. Detta finns med som en väsentlig drivkraft i det utvecklingsarbete som bedrivs inom SVC redan idag.

11 Pågående aktiviteter

Inom SVC:s olika forskningsprojekt finns redan idag studerade frågeställningar som har en del av sin drivkraft från ett reglerkraftsperspektiv.

Hur SVC mer riktat kan arbeta med reglerkraftsaspekter behandlas av en arbetsgrupp inom SVC varav den här författade rapporten kommer att utgöra ett delmoment. Vidare kommer också en nulägesbeskrivning av SVC-relaterade aktiviteter att tas fram.

På KTH pågår forskningsaktiviteter med kraftsystemanalys av storskalig vindintroduktion, stött av bland andra Vindforsk och Elektra. Ett exempel är ELFORSK-projektet: "Transmission of Wind Power and Hydro Power from Northern Sweden". Nyligen har även vattenkraftshantering involverats i dessa studier. Ett exempel är ett ELEKTRA-projekt: "Korttidsplanering av vatten-värmekraftsystem vid stora mängder vindkraft "

En del av statens särskilda strategiska forskningsinsatser kommer att ske inom STandUP konsortiet (KTH och UU). Ett målområde berör ökad förnybar kraft, ett annat reglerkraftbehovet som en följd av ökad andel intermitterent kraftproduktion. Inom KTH finns planer på att komplettera ovanstående kraftsystemanalysprojekt med mer hydrauliska studier av älvtvättning vid den institution som har vattenbyggnadsanknytning till SVC.

Miljörelaterade effekter berörs inom forskningsprogrammet "Vattenkraft - miljöeffekter, åtgärder och kostnader i nu reglerade vatten" som stöds av ELFORSK, Energimyndigheten, Fiskeriverk och Naturvårdsverk.

En professur inom "vattenkraft och miljöekonomi" är under uppstart på Mitthögskolan i Sundsvall. Denna förväntas agera även inom områden som berör reglerkraftsaspekter.

12 Förslag till prioritering av vattenkraftsrelaterat utvecklingsarbete inom SVC inom reglerkraftområdet

Miljöaspekter på regleringsarbete med hjälp av vattenkraft är viktiga att värdera både ur nytto- och ekologiskt kostnadsperspektiv. Tills vidare görs detta dock inte inom SVC sfären.

Tekniska aspekter i korta tidsskalor enligt ovan blir viktiga eftersom antalet regleringsmanövrar (inklusive start och stopp) förväntas öka. Även de vanligaste tidsavstånden mellan regleringar påvisar viktiga tidsskalor.

Det finns behov av att kunna förstå *livslängdspåverkande mekanismer* och eventuellt kunna finna åtgärder att minska påverkan. Lika viktigt är att kunna utreda och eventuellt *uppdatera designkriterier* när anläggningar körs på ett annat sätt än ursprungligt planerat. Konkret innebär detta att aktiviteter inom följande delområden kan anses prioriterade vid diskussion om nya fördjupningsarbeten (doktorandarbeten):

- Mekaniska vibrationer, rotordynamik (initierade av regleringar)
- Konsekvenser av lastförändringar på värmefördelning i generatorlindningar (ex: isoleringsmekanik p.g.a. termisk cykling, änduppvärmning)
- Termisk cykling, strukturmekanik i generator och dess omgivning
- Konsekvenser av AGC-LFC (t.ex. risk för påtvingade svängningsförlopp som kan ge resonanser i anläggning)
- Hydrauliska transienter (funktion och designkriterier vid såväl snabba och aggregatnära som lite långsammare och utbredda över hela anläggningen (svallning))
- Konsekvenser och förbättringsåtgärder vid mer drift utanför energieffektivaste driftpunkt (ex: förluster i vattenvägar)

Nytänkande med nya konceptuella lösningar bör också stimuleras. Inom det korta energilagringssområdet kan det tänkas finnas plats för komplement till traditionella batterier och svängmassa. Pumpkraft med traditionella eller alternativa koncept kan också tänkas fylla ett starkt behov inom vissa geografiska regioner.

Förutom fördjupningsprojekt inom ovan uppräknade områden, finns det också behov av olika typer av kartlägningsstudier som med fördel kan bedrivas i regi av SVC; Hur ser befintligt stationsbestånd ut ur olika aspekter, risker med nya körsätt, kapacitet för speciella reglertjänster, etc. För de områden där förändring i körsätt kommer bli som störst är det viktigt med en noggrann analys av konsekvenser för existerande anläggningar.

Det bör också kunna konstateras att strukturen i SVC:s kompetensmiljöbyggande inte behöver ändras för att kunna hantera reglerkraftsaspekter. Men reglerkraftområdet blir en viktig drivkraft för vidareutveckling av verksamhetsområden, kanske speciellt inom hydraulisk design. Det kommer också finnas behov av tvärkopplande samarbete både inom SVC och med miljöer utanför SVC. Miljövärdering, kraftsystemanalys och elmarknadsutveckling är exempel på sådana fält där koordinering med SVC-aktiviteter är önskvärt.

ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGS - ELFORSK - AB

**Elforsk AB, 101 53 Stockholm. Besöksadress: Olof Palmes Gata 31
Telefon: 08-677 25 30, Telefax: 08-677 25 35
www.elforsk.se**