

Angående ”fysik” och rotationsenergi i energidebatten.

Energi- och Näringsminister Ebba Busch blev intervjuade i Sveriges Radios Lördagsintervju, lördagen den 31 augusti, 2024, <https://sverigesradio.se/avsnitt/ebba-busch-kd-vi-har-hittat-en-win-win-losning> I denna intervju säger hon bland annat:

- a) 26:30 – EB: ”... Fysik före politik..
- b) 28:36 – EB: ”...fysiken är tyngre än politiken..”

Det är förstås en självklarhet att politiker inte kan ändra fysikens lagar, endast juridiska lagar kan modifieras, tas bort eller läggas till. Så det finns inget kontroversiellt i just dessa uttalanden.

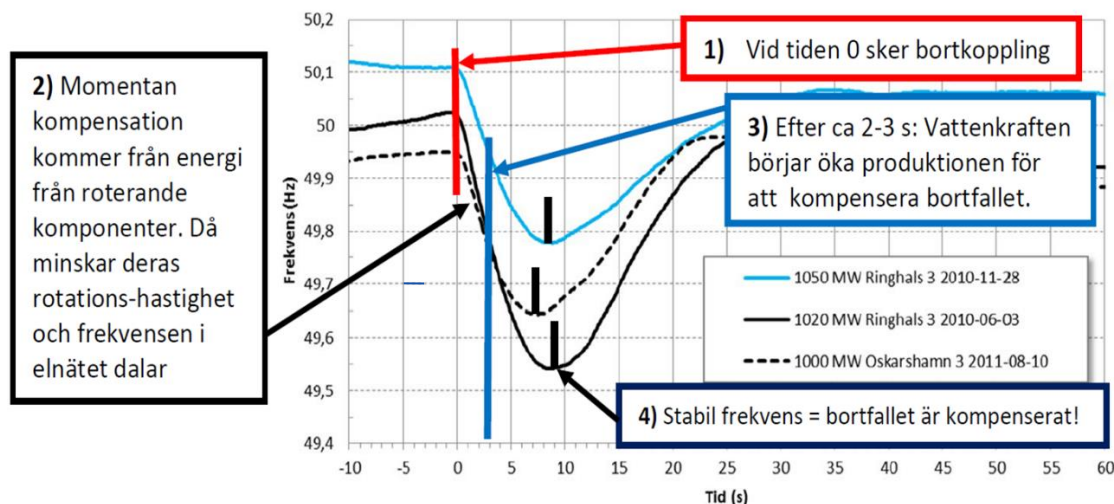
Vilken ”fysik” avses i dessa citat?

Det är dock inte helt klart vilken typ av ”fysik” som avses, men en ofta förekommande diskussion om kraftsystemet är ”rotationsenergi”. I konventionella kraftverk: kärnkraft, större vattenkraftverk, fossildrivna kraftverk, biobränsle-drivna kraftvärmeverk etc, använder man en så kallad ”synkron-maskin” som generator. Dessa generatorer har en tung generator, dvs en roterande massa, som snurrar proportionellt mot nätfrekvensen. Vid normaldrift snurrar alla maskiner i Norden med en konstant hastighet. Det finns en direkt koppling så om frekvensen sjunker så snurrar alla Nordiska generatorer något långsammare. Rotationsenergin finns inte bara i själva generatorerna, utan även i turbinerna som driver generatorn via en axel. Turbinerna i sin tur drivs av ånga eller vatten.

I solpaneler finns ingenting som roterar och i vindkraftverk finns oftast omriktare mellan elnätet och generatorn som gör att generatorn inte snurrar helt i takt (dvs inte ”synkront”) med nätfrekvensen.

Vilken betydelse har rotationsenergin?

Själva elnäten överför effekten i princip momentant (nära ljushastigheten). Detta gör att exakt när man tänder en lampa så kommer motsvarande effekt in från generatorer någonstans i elnätet. Och exakt när ett stort kraftverk snabbstoppas så måste detta momentant ersättas med el från andra generatorer. Rotationsenergin fungerar här som en ”buffert”. I figuren nedan visas vad som hände vid [tre olika snabbstopp i kärnkraftverk](#) i Sverige.



Rotationsenergens roll är att följa fysikens lagar genom att stå för kompensationen innan andra kraftverk hinna komma igång. Historiskt har de kraftverk som kommit igång varit vattenkraftverk, som kan börja öka sin produktion inom 2-3 sekunder. Hela det Nordiska

elsystemet sitter ihop, så den kompensation som vi talar om kommer i praktiken från hela Norden (utom Jylland som är direkt anslutet till Central-Europa).

Faktaruta: [Rotationsenergin](#) kan beräknas enligt $W = 0.5 \cdot J \cdot (2 \cdot \pi \cdot f)^2$ där J = hela rotations-massans tröghetsmoment och f = elens frekvens. Om man tar den heldragna svarta linjen i figuren så sjunker frekvensen från ca 50 Hz till 49.8 Hz på ca 2 sekunder, och då har lagrad rotationsenergi ersatt ca 1 GW kontinuerligt dvs 2 GWs. Detta innebär $2 \text{ (GWs)} = 0.5 \cdot J \cdot (2 \cdot \pi)^2 \cdot (50^2 - 49.8^2) \rightarrow J \rightarrow W \text{ (50 Hz)} = 250 \text{ GWs}$.

Det är i praktiken väldigt lite upplagrad energi som finns i dessa roterande massor. Det finns för närvarande [en kontinuerlig mätning av rotationsenergin i Norden](#). Rotationsenergin varierar mellan ca 120 GWs och 280 GWs. Detta avser den totala upplagrade energin, dvs ända ner till att de generatorerna står still. Det är endast en mycket liten del av denna energi som används eftersom frekvensen i extrema fall endast går ner till drygt 48 Hz.

Mängden rotationsenergi kan jämföras med vad som, t ex, [finns upplagrat i alla svenska elfordons batterier](#), ca 11500 MWh = 41400 GWs, dvs ca 200 ggr mer än den totala upplagrade rotationsenergin i de Nordiska generatorerna.

Vad händer vid lägre rotationsenergin?

Lägre rotationsenergi uppstår vid lägre användning av generatorer med synkrongeneratorer. Detta kan ske vid mycket solenergi, mycket vindenergi eller mycket import via likströmslänkar (från Jylland, Litauen, Polen, Tyskland, Nederländerna eller Storbritannien). Störst är utmaningarna vid låg elförbrukning då lägre generering behövs, dvs färre generatorer.

Vad som händer vid låg rotationsenergi är att frekvensen sjunker mycket snabbt (ROCOF: Rate Of Change Of Frequency), vid plötslig frångkoppling av stora kraftverk eller stor import på likströmslänkar, innan vattenkraften kommer igång. Risker är då att frekvensen sjunker för lågt (punkt 4 i figuren: lägsta punkten kallas *Nadir*) vilket kan äventyra hela elsystemets funktion.

I figuren ovan kan man se att frekvensen sjönk snabbast (störst ROCOF), och som lägst, vid ett snabbstopp den 3:e juni, då elförbrukningen troligen var låg och därmed färre generatorer i drift och därmed lägre rotationsenergi.

Hur hanterar man lägre rotationsenergi?

Utmaningen är att snabbare än vattenkraften reagera på sjunkande frekvens och på så sätt snabbare kompensera för bortfallet av produktion (eller bortfall av import). På detta sätt sjunker inte frekvensen lika långt ner.

Sedan 2020 har man i Norden infört en "system-tjänst" som kallas FFR = Fast Frequency Reserv. Detta innebär resurser som vid snabb frekvensändring också reagerar mycket snabbt. Det rör sig om batterier, snabbstopp i elpannor, snabbt stopp av uppvärmning av växthus eller kylning av kylhus etc. Den [1 juli 2024 fanns det 280 MW energilager och 100 MW flexibel förbrukning](#) förkvalificerade för FFR i Sverige. Utmaningen, som framgår av bilden ovan, är att reagera på högst nån sekund ([0.7-1.3 sekunder](#)), men uthålligheten behöver inte vara mer än [maximalt 30 sekunder](#).

Ett exempel är att företaget CheckWatt lämnade ett bud på [hälften av behovet av FFR i Sverige](#). Detta bestod av 84 batterier med en effekt på minst 100 kW från CheckWatts olika partnerföretag. Den totala effekten var på 43 MW. Just batterier är mycket lämpliga då de kan reagera mycket snabbt.

[I början av 2024](#) uppskattades den installerade batterikapaciteten i det svenska elsystemet till cirka 560 MW, fördelat på 360 MW för hembatterier, 100 MW för batterilager i fastigheter och industrier, och 100 MW för storskaliga batteriparker.

Hur blir det i framtiden med rotationsenergin?

Om man börjar internationellt, så är det ledande landet på detta område Irland. De har mycket bra förutsättningar för vindkraft, men är ett relativt litet isolerat elsystem med likströms-ledningar till Storbritannien, och snart även till Frankrike. De har snabba reserver och kör sitt system med en lägsta nivå på rotationsenergi om [23 GWs \(år 2022\)](#). De har som målsättning att kunna [köra systemet med 95 procent generering från kraftverk utan synkrongeneratorer år 2030](#).

Utmaningen är liknande i hela världen eftersom sol- och vindkraft ökar kraftigt samtidigt som fossila kraftverk (med synkrongeneratorer) måste stängas om vi ska klara klimatfrågan. Det är knappast så att kärnkraft ses som vare sig lösningen eller som en nödvändighet i vart enda land i hela världen. Det pågår därmed internationellt en stor mängd forskning på hur man så rationellt som möjligt ska klara ett system med såväl liten mängd som noll rotationsenergi.

För Sverige har Svenska Kraftnät studerat olika typer av elsystem för framtiden och för dessa uppskattat mängden rotationsenergi. I deras ”[Långsiktig marknadsanalys 2021](#)”, sidan 89, framgår att rotationsenergin kan komma ner till ca 40-50 GWs framåt 2045, och även signifikant lägre än idag med bibehållen kärnkraft. Vi måste komma ihåg att Sverige är en del av Norden och det finns mycket vattenkraft som även kommer köras i framtiden, såväl i Sverige, Norge och Finland. Dvs ”noll rotationsenergi” är knappast aktuellt för Norden. Vi kommer vid olika tillfällen ha betydligt lägre mängd rotationsenergi i framtiden än vad vi har idag som lägst. Men nivån är högre än vad som redan idag krävs på Irland. Det är inte direkt jämförbart, då vi Norden i dagsläget har största möjliga fel om ca 1400 MW medan Irlands största fel är ca 700 MW.

Måste man ha rotationsenergi?

Vid lägre rotationsenergi är den främsta lösningen snabb frekvensreglering, dvs FFR i form av batterier eller flexibel elförbrukning. Det kan nämnas att även system med noll eller nära noll rotationsenergi är aktuellt om än inte i Norden. Alternativet till rotationsenergi är ”nät-styrda omriktare”. De är, t ex, intressanta [om man har enbart solceller och batterier](#) (dvs inga roterande komponenter), men ändå vill ha ett växelströms-system. För den som vill veta mer finns, t ex en rapport från [National Renewable Energy Laboratory](#) i USA.

Mer information

För den intresserade så har jag lagt ut 2 föredrag på YouTube som förklarar ovanstående: Om ”rotationsenergi” dvs om hur man håller balans i elsystem:

Del 1 (allmänt): <https://www.youtube.com/watch?v=p-N9NPwOx-s>

Del 2 (mer detaljer): <https://www.youtube.com/watch?v=aTAVCb10ic8>

Lennart Söder
Professor i Elkraftteknik, KTH