

Fö 1 - TSFS11 Energitekniska system

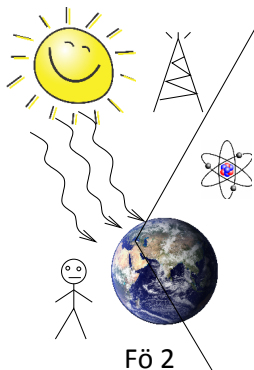
Introduktion Sveriges Elsystem

Christofer Sundström

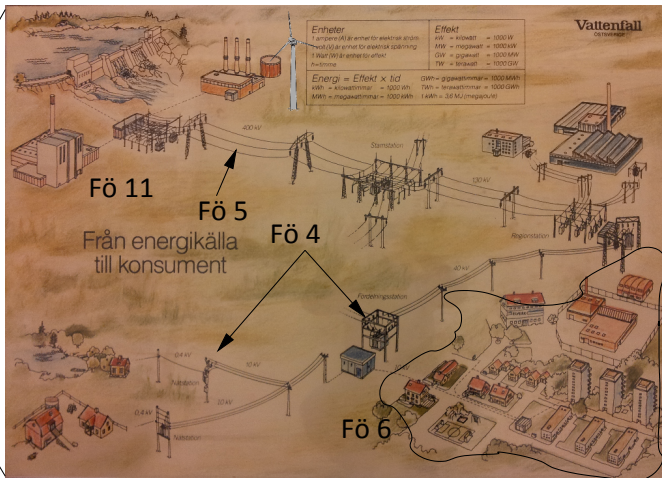
28 mars 2021

- 1 Introduktion till Kursen
 - Översikt
 - Formalia
- 2 Elnätet i Sverige
 - Sveriges Energifbehov
 - Sveriges Elsystem
- 3 Tekniska utmaningar
 - Matchning
 - Distribution
 - Stabilitet
- 4 Historiskt perspektiv
 - Elnätets utveckling
 - Framtiden
 - Starkt eller svagt elnät

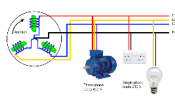
Kursöversikt



Fö 2



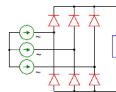
Fö 3



Fö 7,8,10



Fö 9



Fö 12



Fö 13

1 Introduktion till Kursen

- Översikt
- Formalia

2 Elnätet i Sverige

- Sveriges Energibehov
- Sveriges Elsystem

3 Tekniska utmaningar

- Matchning
- Distribution
- Stabilitet

4 Historiskt perspektiv

- Elnätets utveckling
- Framtiden
- Starkt eller svagt elnät

- Kursledning
 - Christofer Sundström, examinator och lektioner (christofer.sundstrom@liu.se, 013-281315)
 - Kristoffer Ekberg, laborationsassistent (kristofer.ekberg@liu.se)
- Kurshemsida

<http://www.fs.isy.liu.se/Edu/Courses/TSFS11>

 - Kursplanering, föreläsningar och lektioner
 - Gamla tentor
 - Labbar för nedladdning
 - Fortlöpande information
- Kursmaterial
 - **Bok:** Elkraft, Alf Alfredsson
 - **Labbar:** PM laddas ner från hemsidan och skrivs ut (helst i A4 format)
 - Kompletterande material för nedladdning på kurshemsidan

- Laborationer
 - 3 St laborationer, (Transformatorn, Roterande maskiner, Lik- och Växelriktning, (trefasledning?))
 - Laborationerna hålls i Tyristorn (B-Huset, ing. 25-27.)
 - Elsäkerhet under labbarna.
- Svårigheter i kursen
 - Beteckningar !!!
 - Knöliga uttryck
 - Tumregler, olika approach beroende på situation
 - Tillämpad kurs: Ellära, mekanik, matematik, (elektromagnetism)

Svårt att få till i dessa tider, men vi får se om vi kan få till en gästföreläsning.

1 Introduktion till Kursen

- Översikt
- Formalia

2 Elnätet i Sverige

- Sveriges Energibehov
- Sveriges Elsystem

3 Tekniska utmaningar

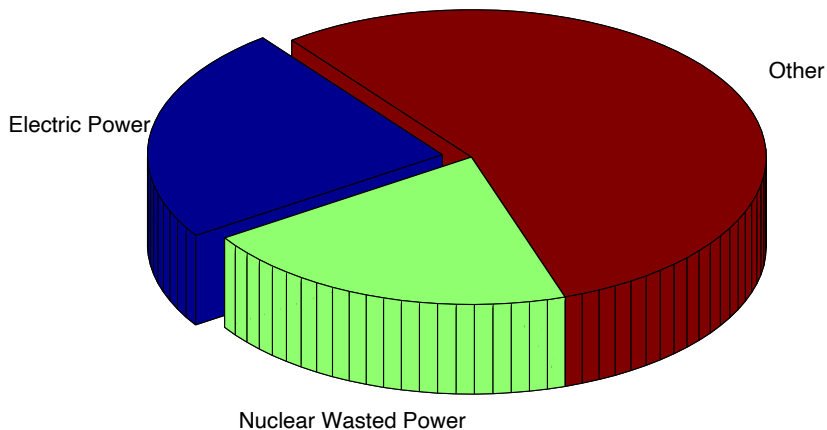
- Matchning
- Distribution
- Stabilitet

4 Historiskt perspektiv

- Elnätets utveckling
- Framtiden
- Starkt eller svagt elnät

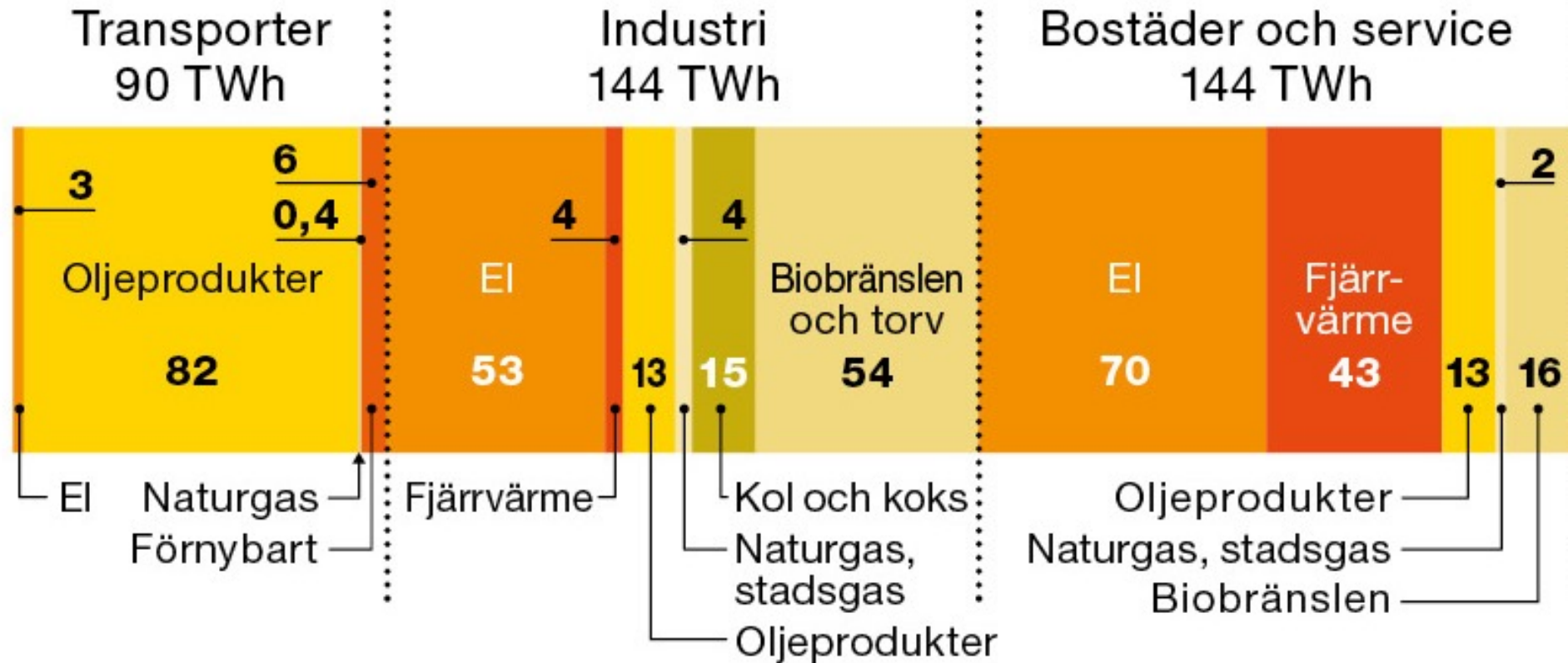
Sveriges Energiförbrukning - Total förbrukad energi

Total power consumption in Sweden 2013



Sveriges energianvändning 2013

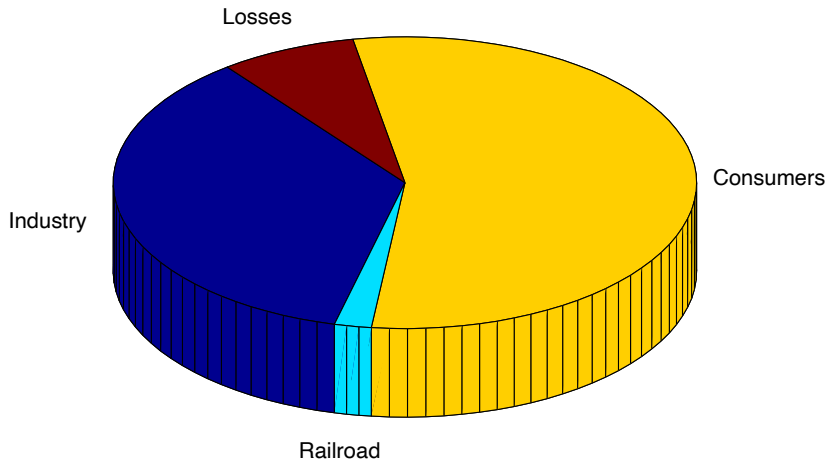
Total slutlig användning uppdelat på sektorer, 379 TWh



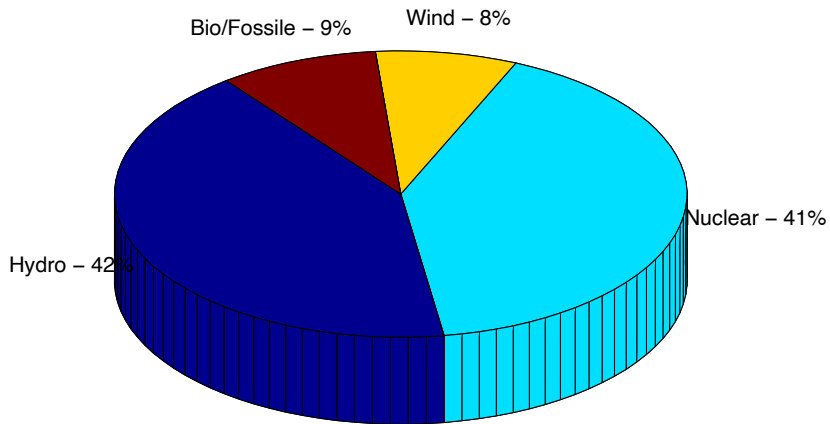
Personbilar använder ca 45 TWh/år.

Sveriges Energibehov - Förbrukare av elektrisk energi

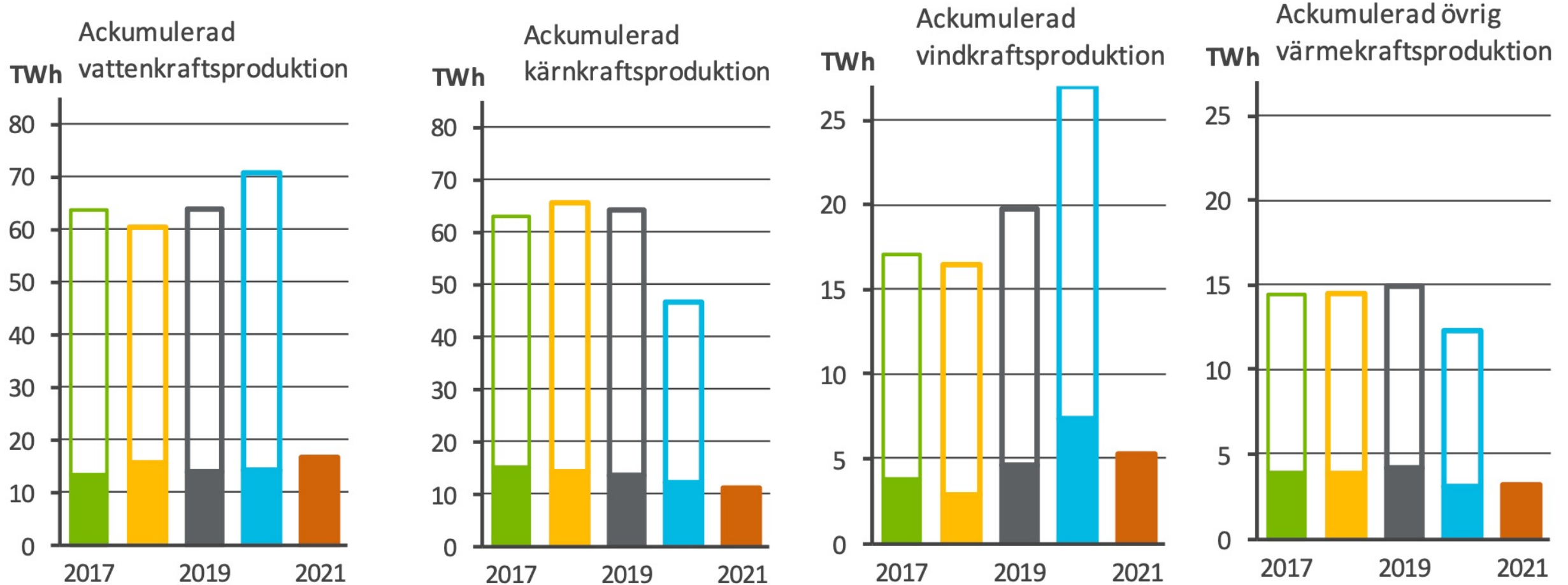
Electric power consumption in Sweden 2010



Electric power production in Sweden 2014



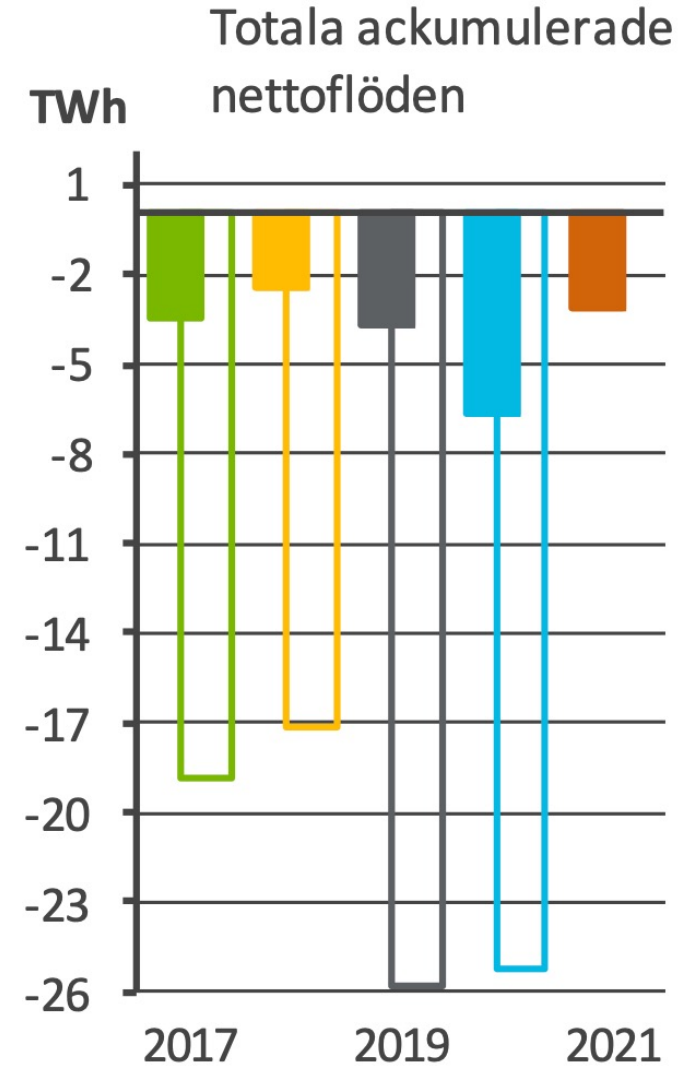
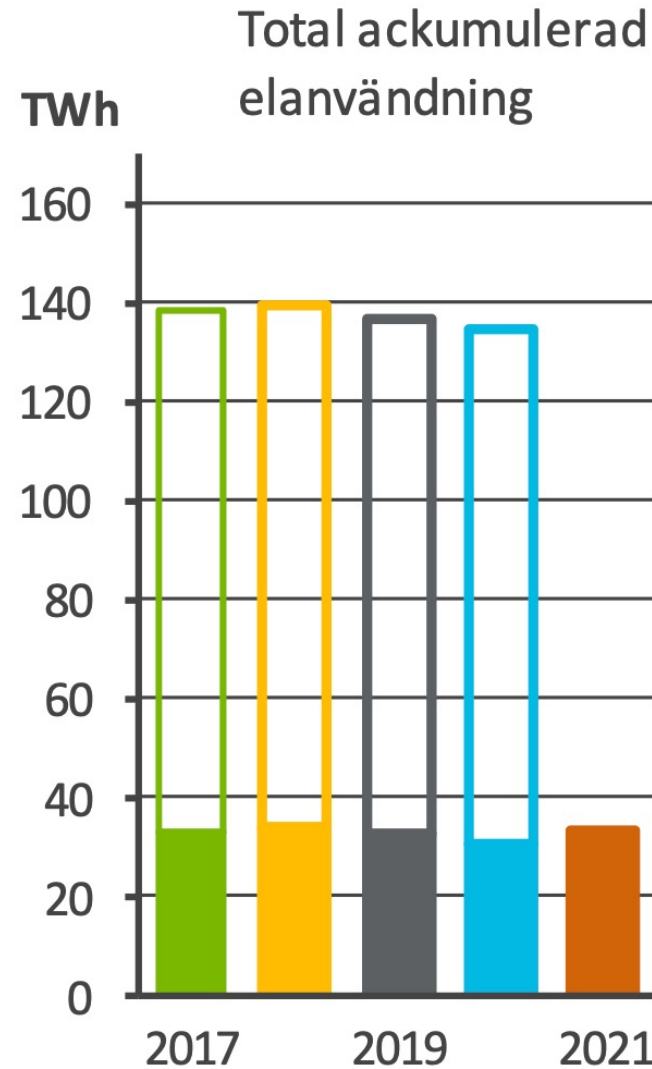
The Swedish electricity production (2021-03-14)



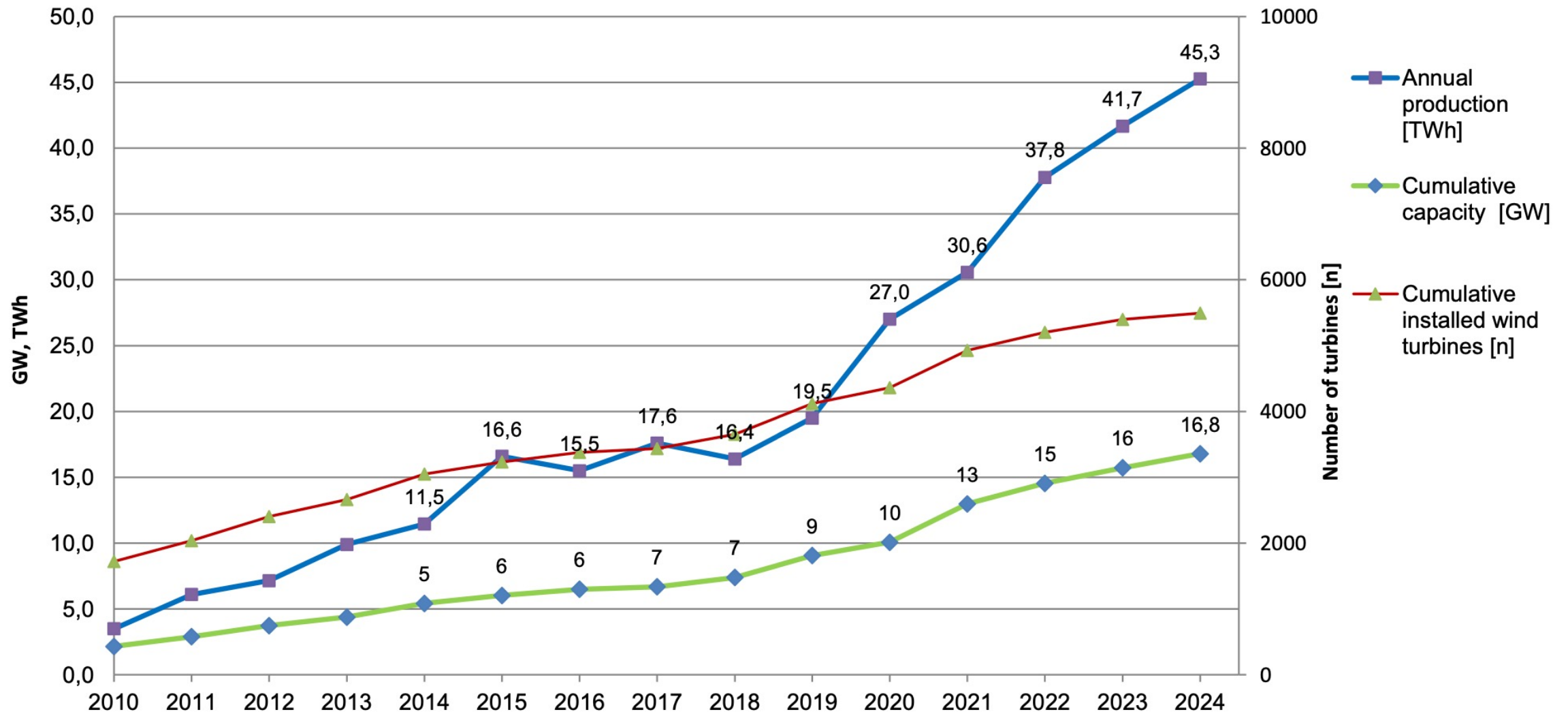
Nuclear decreases, wind increases

The Swedish electricity usage and export (2021-03-14)

- Large export - 26TWh 2019 and 25TWh 2020 of 160TWh production

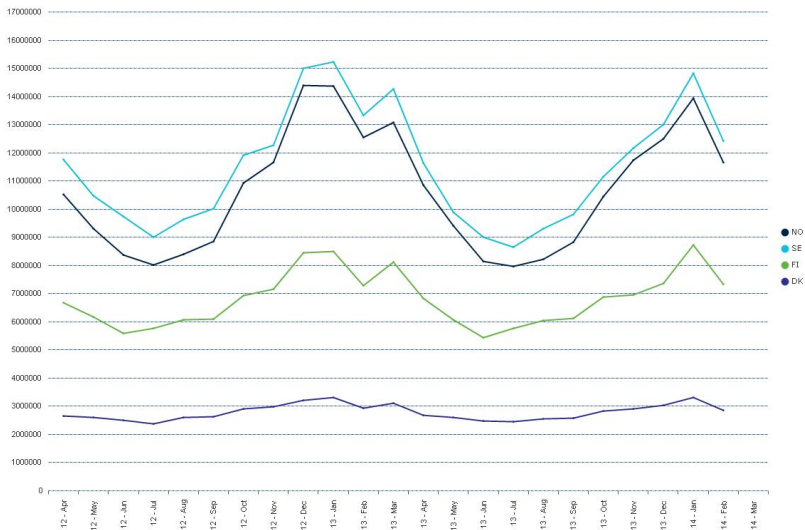


Wind power prediction (Svensk vindenergi 21-02-08)

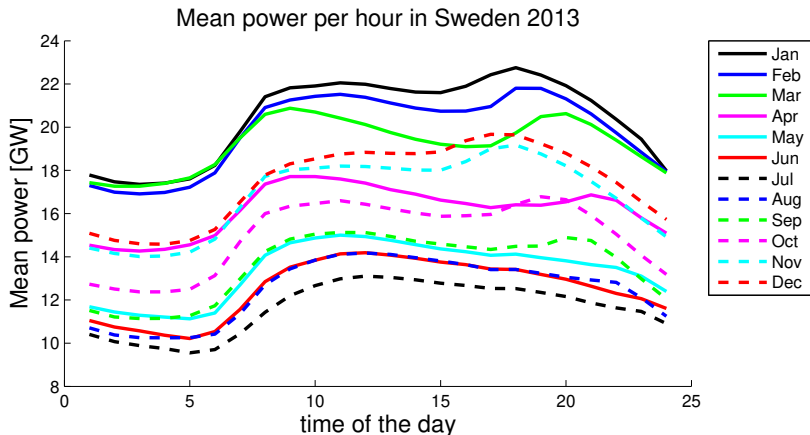


Sveriges Energiförbrukning - Elbehov på månadsbasis

Monthly Consumption in MWh (01-04-2012 - 01-03-2014)



Sveriges Energiförbrukning - Elkonsumtion per timme



1 Introduktion till Kursen

- Översikt
- Formalia

2 Elnätet i Sverige

- Sveriges Energibehov
- Sveriges Elsystem

3 Tekniska utmaningar

- Matchning
- Distribution
- Stabilitet

4 Historiskt perspektiv

- Elnätets utveckling
- Framtiden
- Starkt eller svagt elnät

Sveriges Elsystem - Från energikälla till konsument

Vattenfall
OSTSVERIGE

Enheter

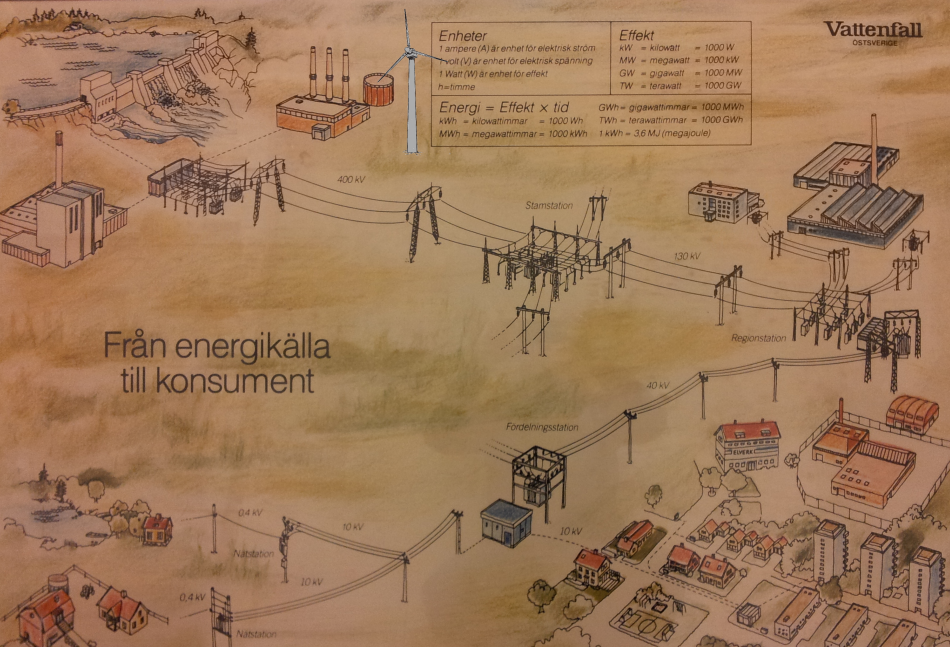
1 ampere (A) är enhet för elektrisk ström
1 volt (V) är enhet för elektrisk spänning
1 Watt (W) är enhet för effekt
h=timme

Effekt

kW = kilowatt = 1000 W
MW = megawatt = 1000 kW
GW = gigawatt = 1000 MW
TW = terawatt = 1000 GW

Energi = Effekt x tid

kWh = kilowattimmar = 1000 Wh
MWh = megawattimmar = 1000 kWh
GWh = gigawattimmar = 1000 MWh
TWh = terawattimmar = 1000 GWh
1 kWh = 3.6 MJ (megajoule)



Från energikälla
till konsument

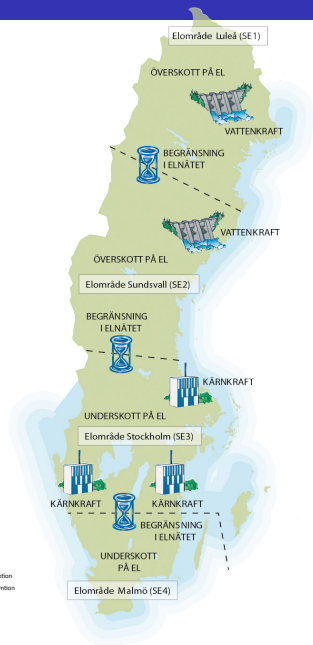
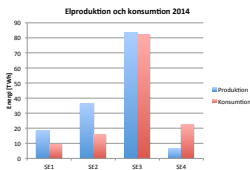
Sveriges Elsystem - Indelning

Sverige är uppdelat i 4 Elområden

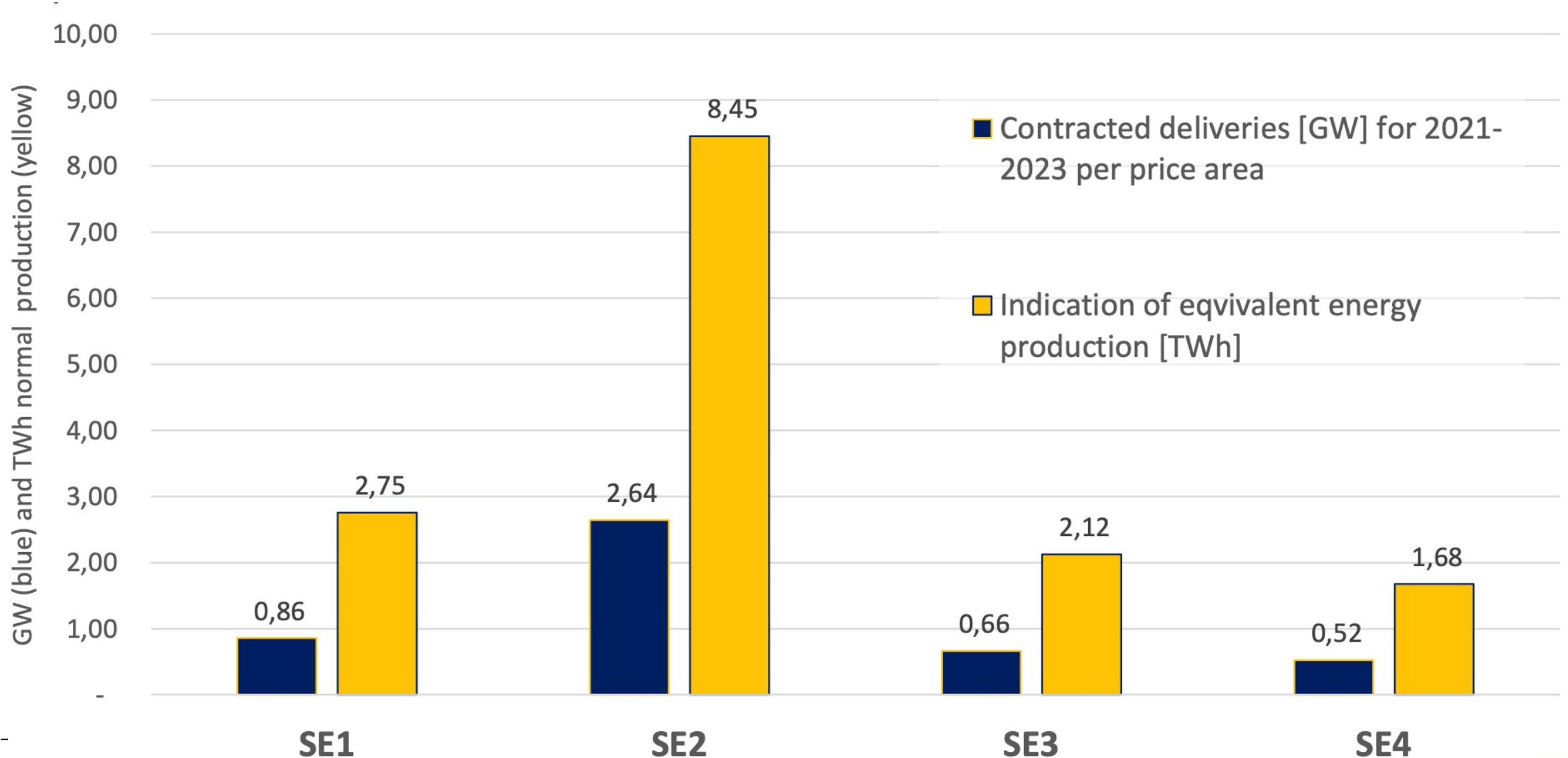
- Elområde Luleå (SE1)
- Elområde Sundsvall (SE2)
- Elområde Stockholm (SE3)
- Elområde Malmö (SE4)

De fyra elområdena avgränsas av tydliga flaskhalsar i systemet.

Även Svenska, Finska, Norska och Danska elnätet är ihopkopplade. Visst utbyte sker även med Ryssland, Tyskland och Polen.



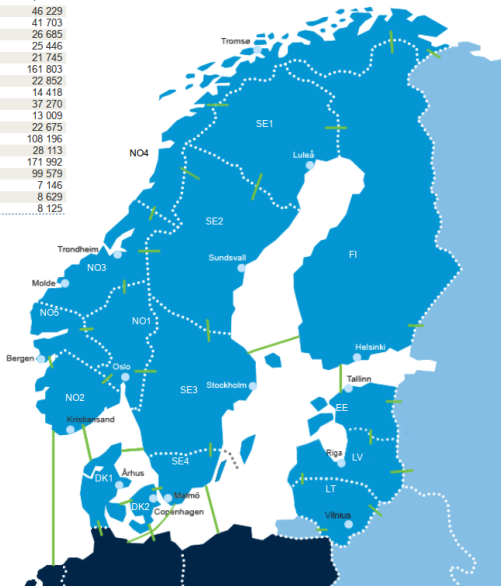
Wind power prediction (Svensk vindenergi 21-02-08)



Sveriges Elsystem - Nordisk översikt

Production Consumption

NO1	20 139	46 229
NO2	63 356	41 703
NO3	12 953	26 685
NO4	26 270	25 446
NO5	33 886	21 745
NO	156 602	161 803
DK1	34 880	22 852
DK2	13 756	14 418
DK	48 636	37 270
SE1	20 064	13 009
SE2	48 513	22 675
SE3	121 137	108 196
SE4	12 033	28 113
SE	201 747	171 992
FI	76 620	99 579
EE	8 012	7 146
LT	3 814	8 629
LV	7 703	8 125



Fördelar med utbyte

- Utspridning av effekttoppar
- Global optimering

Nackdelar

- Samordning
- Komplicerade system
- Ansvarsfördelning

Exempel från NordPool

1 Introduktion till Kursen

- Översikt
- Formalia

2 Elnätet i Sverige

- Sveriges Energibehov
- Sveriges Elsystem

3 Tekniska utmaningar

- **Matchning**
- Distribution
- Stabilitet

4 Historiskt perspektiv

- Elnätets utveckling
- Framtiden
- Starkt eller svagt elnät

Tekniska utmaningar - Matchning

All energi som produceras måste konsumeras i princip samtidigt. Frekvensen i elnätet styrs av skillnaden mellan producerad och konsumerad effekt.

$$J\dot{\omega} = T_{mek} - T_{el}$$

Här är J är den samlade ekvivalenta tröghetsmassan hos alla anslutna generatorer inkl. deras axlar.

Utmaning 1: Matchning

2010 fanns det i Sveriges elsystem ca 3100 generatoraggregat varav ca 1300 är vindkraftverk. Driften av dessa måste alltså på något sätt samordnas.

Utmaning 2: Maxeffekt

Maximalt effektbehov måste alltid finns tillgänglig som effektreserv i systemet

Tekniska utmaningar - Matchning

För att produktion och konsumtion i varje ögonblick skall matchas har man i Norden upprättat ett system för elhandel, NordPool

Genom NordPool förhandlas priser fram dag för dag med hjälp av prognoser för konsumtion och produktion.

- 1 Kraftbolagen lämnar in prisbud i kr/MWh dagen innan den aktuella dagen.
- 2 Svenska Kraftnät gör en prognos för mängden el som transporteras mellan de olika områdena i Sverige.
- 3 Eloperatörerna lämnar prisbud för att köpa el av kraftbolagen
- 4 Beroende på prisbuden sätts ett pris för varje prisområde så att produktion och konsumtion matchar. Om det inte finns några flaskhalsar i systemen så blir det samma pris i angränsande områden.

Tekniska utmaningar - Matchning

Vilka kraftverk körs normalt:

- Den kraft som är billigast att producera körs i princip alltid.
- För bränsleeldade kraftverk ligger priset i nivå med driftskostnaden.

Undantag: Driftkostnaden för vattenkraft är låg men den tillgängliga mängden är begränsad. Ägarna sparar gärna för att använda när priset är högt. Den totala magasinkapaciteten i Sveriges vattenkraft är ca 34 TWh (Jämför med 65 TWh totalt).

Vid mycket höga priser används ineffektiva kondenskraftverk någonstans i systemet. Att vattenkraften används vid högprislägen minskar användningen av dessa kraftverk.

Tekniska utmaningar - Matchning

Vilka kraftverk körs normalt:

- Den kraft som är billigast att producera körs i princip alltid.
- För bränsleeldade kraftverk ligger priset i nivå med driftkostnaden.

Undantag: Driftkostnaden för vattenkraft är låg men den tillgängliga mängden är begränsad. Ägarna sparar gärna för att använda när priset är högt. Den totala magasinkapaciteten i Sveriges vattenkraft är ca 34 TWh (Jämför med 65 TWh i årsproduktion).

Vid mycket höga priser används ineffektiva kondenskraftverk någonstans i systemet. Att vattenkraften används vid högprislägen minskar användningen av dessa kraftverk.

Marginal-el

Den elkraft som för tillfället är dyrast att producera. Elpriset fastställs baserat på detta.

Tekniska utmaningar - Matchning

Vad händer när behoven ändras:

- Kärnkraft får inte regleras för snabbt och tar tid att starta.
- Värmekraftverk minskar i effektivitet om de nedregleras.
- Gasturbiner är snabbreglerade men dyra i drift.
- Vattenkraft kan ändra sin produktion inom 5-10 min, har låga driftskostnader och är mycket flexibelt.

Vattenkraften används därför för att matcha snabba förändringar. 2008 var den maximala skillnaden i vattenkraftsproduktion mellan två timmar ca 3500 MW medan den 2011 var ca 2500 MW (15-20% av installerad effekt).

Reglerkraft

Kraft som används för att balansera konsumtion/produktion samt högeffektsreserver.

1 Introduktion till Kursen

- Översikt
- Formalia

2 Elnätet i Sverige

- Sveriges Energibehov
- Sveriges Elsystem

3 Tekniska utmaningar

- Matchning
- **Distribution**
- Stabilitet

4 Historiskt perspektiv

- Elnätets utveckling
- Framtiden
- Starkt eller svagt elnät

Tekniska utmaningar - Distribution

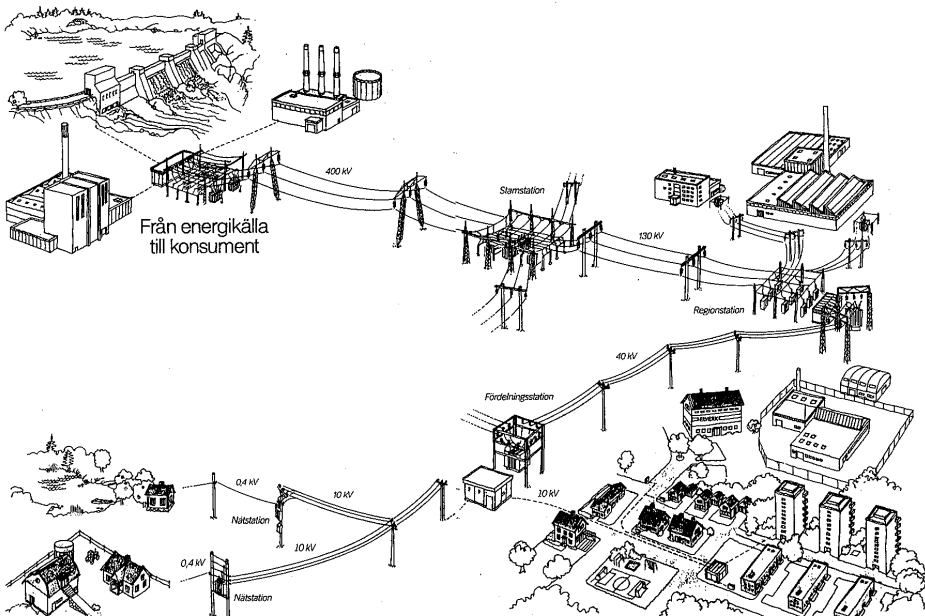
De flesta elnät använder 3-fas växelspanning. Detta ger bl.a. billig överföring och konstant (icke-pulserande) överförd effekt.

Förlusterna för en viss överförd effekt minskar med ökad spänning. Därför används olika spänningar i nätet.

Benämning	Användning	Spänning	Typisk Effekt
Transmissionsnät	Långa sträckor Större kraftverk	400 kV, 220 kV	1000 MW
Regionnät alt. Subtransmissionsnät	Medelkort ca 100km Mindre kraftverk	130 kV, 70 kV, 50 kV	
Distributionsnät	Ca 10 km Mikrokraftverk	10 kV, 20 kV	Några MW
Lågspännings- fördelning	< 1 km, Hushåll	400 V	< 1000 kW

Regionnät och distributionsnät kopplas ofta i slutna slingor eller med matning från fler håll för att minska känsligheten för fel.

Tekniska utmaningar - Distribution



1 Introduktion till Kursen

- Översikt
- Formalia

2 Elnätet i Sverige

- Sveriges Energibehov
- Sveriges Elsystem

3 Tekniska utmaningar

- Matchning
- Distribution
- Stabilitet

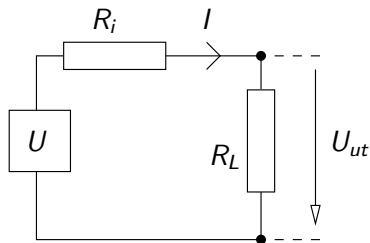
4 Historiskt perspektiv

- Elnätets utveckling
- Framtiden
- Starkt eller svagt elnät

Traditionellt nämner man huvudsakligen två typer av instabilitetsproblem som brukar uppstå.

Problemtyp		Huvudsaklig orsak
Vinkelstabilitet	↔	Brist på aktiv effekt alternativt bristande reglering av synkrongeneratorer
Spänningsstabilitet	↔	Brist på reaktiv effekt

Tekniska utmaningar - Voltage Stability



Betrakta en enkel likströmskrets

Den maximala uteffekten fås då $R_i = R_L$. Om R_L minskas ytterligare ökar visserligen strömmen, men spänningen sjunker fortare vilket minskar uteffekten.

I en lång trefasledning så begränsar serie-reaktansen effektöverföringen på liknande sätt. I nätet finns dessutom transformatorer som ska hålla spänningen konstant.

Problemet förvärras ibland av skyddsutrustning som slår ifrån för att skydda ingående komponenter. Felet kan då fortplanta sig till andra delar av nätet.

Tekniska utmaningar - Exempel på nätkollapser

Att analysera nätkollapser och föreslå åtgärder är tidskrävande. Ofta är det svårt att skilja mellan spännings- och vinkelinstabilitet.

En analys av 20 incidenter gav att

- Ursprunget berodde på flera olika orsaker så som
 - Små gradvisa lastförändringar.
 - Kraftiga förändringar p.g.a. t.ex. generatorhaveri nånstans i nätet.
 - Kaskad-reaktioner och följdfel på grund av en initial störning.
- Systemets förmåga att leverera tillräcklig reaktiv effekt var för liten.
- Spännings-kollaps sker gradvis.
- Spännings-kollaps påverkas starkt av elnätets karaktäristik och drifts-tillstånd
 - Stora avstånd mellan generator och last.
 - Olycklig belastningsgrad vid tillfället.
 - Dålig samordning mellan olika styr- och skydds-system.

Exempel på nätkollapser där frekvensoscillationer har rapporterats

- Storbrittanien 1980 - ca 0.5 Hz
- Taiwan 1984, 1989, 1990, 1991, 1992 - ca 0.78 - 1.05 Hz
- Västra USA / Canada, system-separering 1996, ca 0.5 Hz
- China 2003, nätkollaps 6:e Mars, ca 0.4 Hz
- USA 2003, nätkollaps 14:e Aug, ca 0.17 Hz
- Italien 2003, nätkollaps 28:e Sept, ca 0.55 Hz

1 Introduktion till Kursen

- Översikt
- Formalia

2 Elnätet i Sverige

- Sveriges Energibehov
- Sveriges Elsystem

3 Tekniska utmaningar

- Matchning
- Distribution
- Stabilitet

4 Historiskt perspektiv

- Elnätets utveckling
- Framtiden
- Starkt eller svagt elnät

Varför ser det ut som det gör idag?

Eller: Om man ser fram utan att se tillbaka så får man se upp!

Tidig historia

- 260 Vattenhjulet användes redan i Grekland 260 f.v.t.
- 1500- Stånggången uppfanns i Tyskland på 1500-talet.
- 1712 Byggs den första ångmaskinen.
- 1728 Sveriges första ångmaskin.
- 1780(?) Uppfinns det galvaniska elementet.

Likström, eller DC

- 1800 Volta bygger det första batteriet, Volta-stapeln av koppar och zinkplattor.
- 1800- Ett stort antal uppfinnare arbetar hela 1800-talet med att förbättra livslängden hos olika typer av lampor.
- 1866 Utvecklar Werner von Siemens den första likströmsgeneratorn.
- 1870+ Första elnätet för kommersiellt bruk, används för fyr-, och gatu-belysning.

Fortsatt utveckling

- 1876** Första el-lyset i Sverige vid Näs sågverk i Dalarna.
- 1879** Byggs det första el-loket av Siemens.
- 1881** Byggs första spårvägen i Berlin
- 1882** Thomas Edison bygger första kompletta elsystemet. Systemet bygger på 110V DC-teknik, har nedgrävda kablar och 59 elkunder.
- 1883** Elektriska aktiebolaget, en föregångare till ASEA (Senare ABB) grundas.
- 1884** Elmotorer som last.
- 1886** Elnätets utbyggnad begränsas av DC-teknikens brister.

Problemet med likströmsöverföringen var att avstånden begränsades av de stora förlusterna.

$$P_{\text{Loss}} = R \cdot I^2$$

Eftersom förlusterna beror på strömmen så vill man ha högre spänning, vilket blev opraktiskt i de generatorer och förbrukare

Växelspänning, eller AC

- 1880+** Gaulard och Gibbs utvecklar AC-tekniken och transformatorn. (Westinghouse skaffade rättigheter för USA marknaden)
- 1886** Stanley utvecklar och testar ett distributionssystem med AC-teknik som försörjde 150 lampor.
- 1888** Tesla utvecklar fler-fas AC-system (typ 3-fas).
- 1889** Världens första kommersiella AC-distributionsnät. 21 km, en-fas 4 kV.
- 1890-** AC- och DC-förespråkare diskuterar livligt vilken teknik som skall bli standard

Fortsättningen...

- 1893** Världens första tre-fas ledning driftsätts. Systemet bygger på 2.3 kV och är 12 km. Detta avgör i praktiken frågan om lik- eller växelspänning.
- 1898** Vattenkraftverket vid Klabböle intill Ume-älven byggs. Kraftverket levererade bl.a. ström till gatubelysning i Umeå 7km bort.

Det som avgjorde slaget till AC-teknikens fördel var bl.a. att

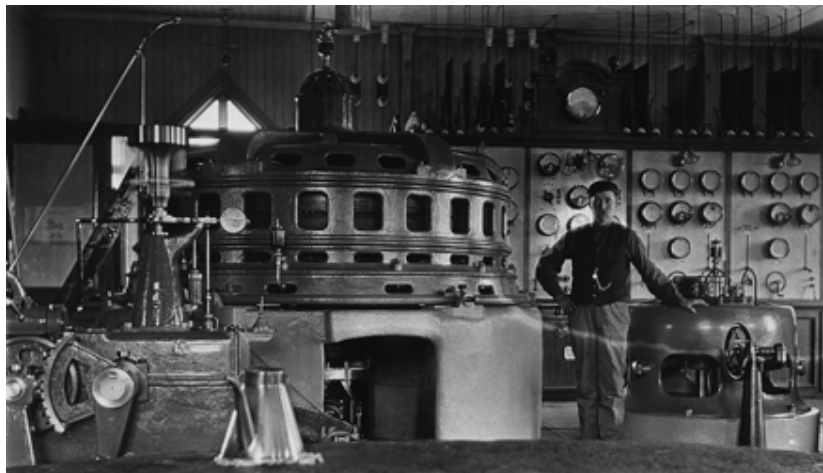
- transformatorn gjorde det enkelt att ändra spänning vilket gav minskade förluster.
- maskinkonstruktionen för AC-maskiner är enklare och billigare

En liten brasklapp...

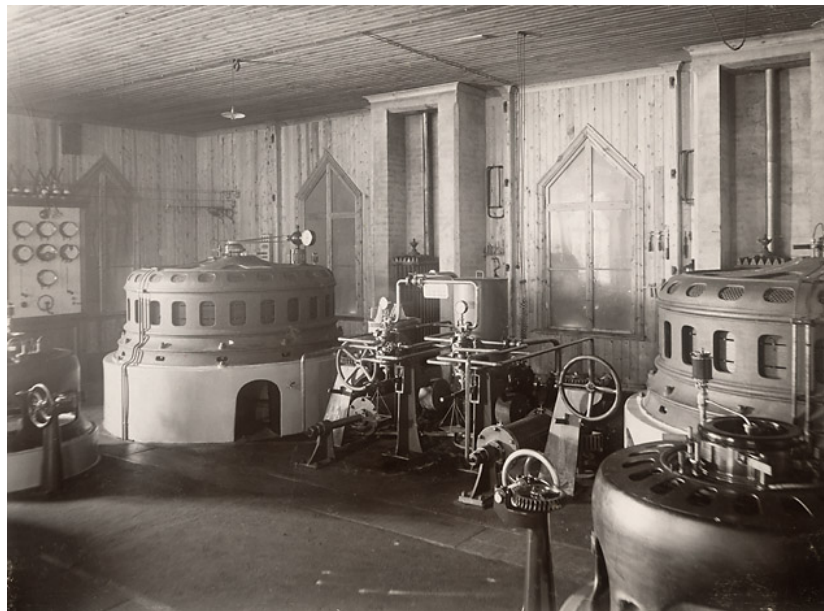
- 1902** jonventilen uppträder (användes 1954).
- 1954** En 96km lång HVDC (High Voltage Direct Current) ledning byggs mellan Gotland och fastlandet.
- 1972** Thyristorventiler börjar användas i HVDC-tillämpningar.

Med högspänd likspänning och moderna omriktare så får man samma fördelar i maskinkonstruktion och effektivitet som avgjorde slaget till växelspänningens fördel. Dessutom slipper man vissa av stabilitetsproblemen i AC-systemet.

Historiskt perspektiv - Klabböle kraftverk 1899



Historiskt perspektiv - Klabböle kraftverk 1899



1 Introduktion till Kursen

- Översikt
- Formalia

2 Elnätet i Sverige

- Sveriges Energibehov
- Sveriges Elsystem

3 Tekniska utmaningar

- Matchning
- Distribution
- Stabilitet

4 Historiskt perspektiv

- Elnätets utveckling
- **Framtiden**
- Starkt eller svagt elnät

Vad händer nu?

- Ökad inblandning av
 - Vindel
 - Solceller
 - Småskalig produktion
- Smarta elförbrukare
- Mer laddning, mindre uppvärmning
- Ökat behov av reglerkraft? (Bredvidläsning - Lennart Söders rapport)

1 Introduktion till Kursen

- Översikt
- Formalia

2 Elnätet i Sverige

- Sveriges Energibehov
- Sveriges Elsystem

3 Tekniska utmaningar

- Matchning
- Distribution
- Stabilitet

4 Historiskt perspektiv

- Elnätets utveckling
- Framtiden
- Starkt eller svagt elnät

Power Circle: **Starka nät ger drömläge när elbilarna kommer**
Med en framstående fordonsindustri, duktig IT-industri och en elindustri i världsklass befinner vi oss i Sverige i ett drömläge. Vår el är till 98 procent koldioxidfri. Vi har i Sverige ett väl utbyggt distributionsnät för el. Distributionsnätet i Sverige är i internationell jämförelse anmärkningsvärt starkt, uppbyggt för att klara eluppvärmning. [1]

[1] <http://www.powercircle.org/se/display/Aktuellt/starka-nat-ger-dromlage-nar-elbilarna-kommer.aspx>

Starkt nät

Ett starkt nät karaktäriseras av låga induktanser och gott om effektreserv.

Svenska Kraftnät: **Utökade Reglerbehov**

Svenska Kraftnät publicerade 2008 en rapport (Svenska Kraftnät, 2008). Rapporten presenterar numeriska data för bland annat "utökade reglerbehov" [2]

KVA's Energiutskott: **Max 10 TWh Vindkraft**

KVA:s Energiutskott har i rapporter och debattartiklar kommenterat möjligheterna att integrera vindkraft i kraftsystemet. Till viss del bygger de sin analys på feltolkningar av Svenska Kraftnäts rapport från 2008. [2]

[2] Söder, Lennart, På väg mot elförsörjning på enbart förnybar el i Sverige.

Lennart Söder (KTH): **50 TWh Vind, inget problem**

Det finns ingen automatik att "ökat reglerbehov" måste mötas av "investering i ny kapacitet"... När behövs då reglerkraft? ... vid hög vindkraftproduktion (upp mot 5000 MW) då man måste ha något som kan starta ganska snabbt (dvs reservkraft) om vinden mojar ... Men i just det läget så körs ju vattenkraften på låg nivå eftersom vindkraften producerar mycket. [2]

[2] Söder, Lennart, På väg mot elförsörjning på enbart förnybar el i Sverige.