

Bild 1

Kraftbalansering från fjärrvärmesektorn

Kan fjärrvärmesystem bestående av kraftvärmeverk, värmepumpar, termiska energilagrar och ett distributionsnät bidra till integreringen av stora andelar variabel förnybar elproduktion i energisystemet?

- I. Undersökt hur fjärrvärmesystem i Sverige kan erbjuda kraftbalansering genom en produktionsstrategi som följer ett elbalanseringsbehov
- II. Identifiera begränsande faktorer för balanseringstjänster i ett sådant kraftbalanserande system
- III. Hur påverkas bränsleanvändningen i ett kraftbalanserande fjärrvärmesystem jämfört med ett fjärrvärmesystem med en konventionell produktionsstrategi som följer värmebehovet?

"Kraftstrategi" vs "Värmestrategi"

Bild 2

Energimixen förr, nu & framåt

Energisystem i förändring

- Variabel förnybar elproduktion (VRE)
- Kraftbalanserande resurser

a)

b)

Figure 2.2. Global electricity generation where a) shows electricity generation by source and b) electricity generation from VRE in detail.

Tabell 1: Elproduktion relativt elkonsumtion (%) under 2021, jämfört med olika studier. Kursiva siffror är produktionen i TWh.

	Vind	Sol	Vatten	KK	KV	Export
2021 ²	20%	<1%	54%	37%	6%	18%
Denna studie	27	0,6	74	51	8	26
Sv.VE, 2024 ³	60%	10%	0	0	?	0
	80	13,5				
EM, 2040 ⁴	75%					
	100					
ER 2019:06 ⁵	53%	19%	53%	0	11%	36%
	70	25	70		15	47

2

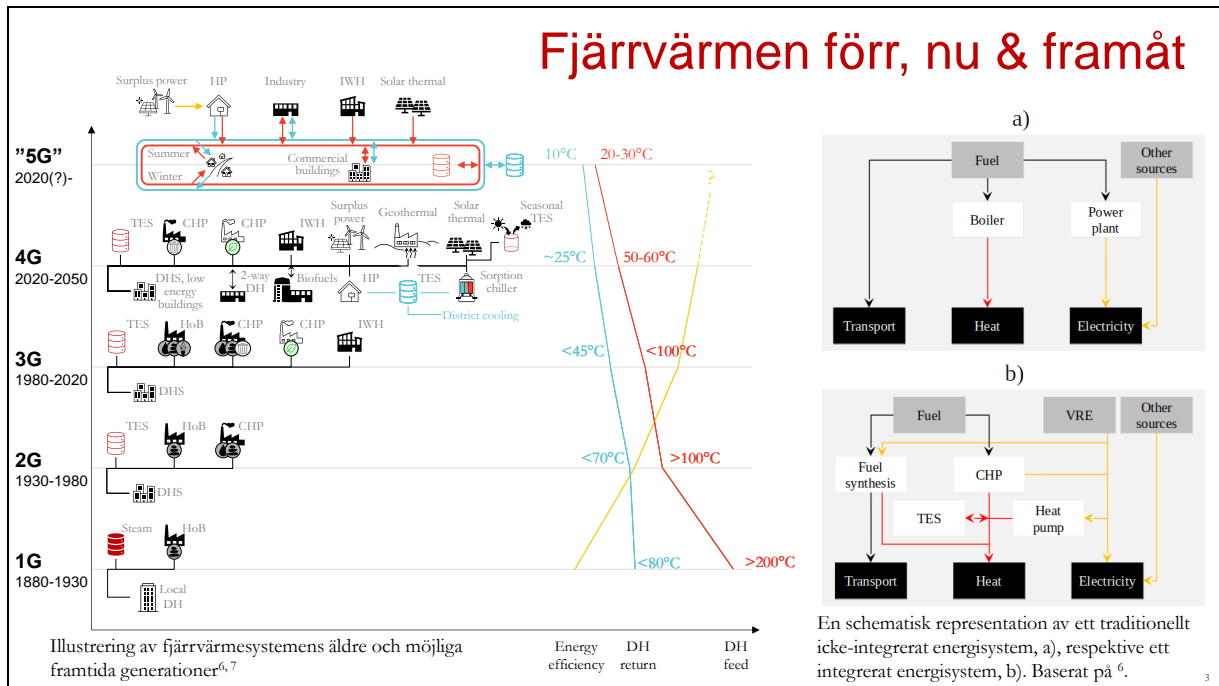
Dubblad elkonsumtion sedan 1990, främst genom ökad användning av fossila energislag.

- Expansionen av variable renewable electricity (VRE) följer en närmast exponentiell utveckling under de senaste decennierna. Mycket variabel förnybar el ställer krav på hög flexibilitet i övriga energisystemet. Det finns inga officiellt uttalade målsättningar som definierar hur mycket eller vilka andelar av vind- resp. solkraft som är eftersträvansvärt. Detta arbete har använt andelarna 60% vind & 10% sol rel. konsumtionen.
- Med kraftbalanseringstjänster avses i detta arbete både positiv kraftbalansering via elproduktion i KVV och negativ kraftbalansering via konsumtion av el i HP.

TABELL:

- Svensk vindenergis prognos t 2024
- Energimyndighetens analys för vindkraftens utveckling
- Energimyndighetens analys av ett 100% förnybart energisystem

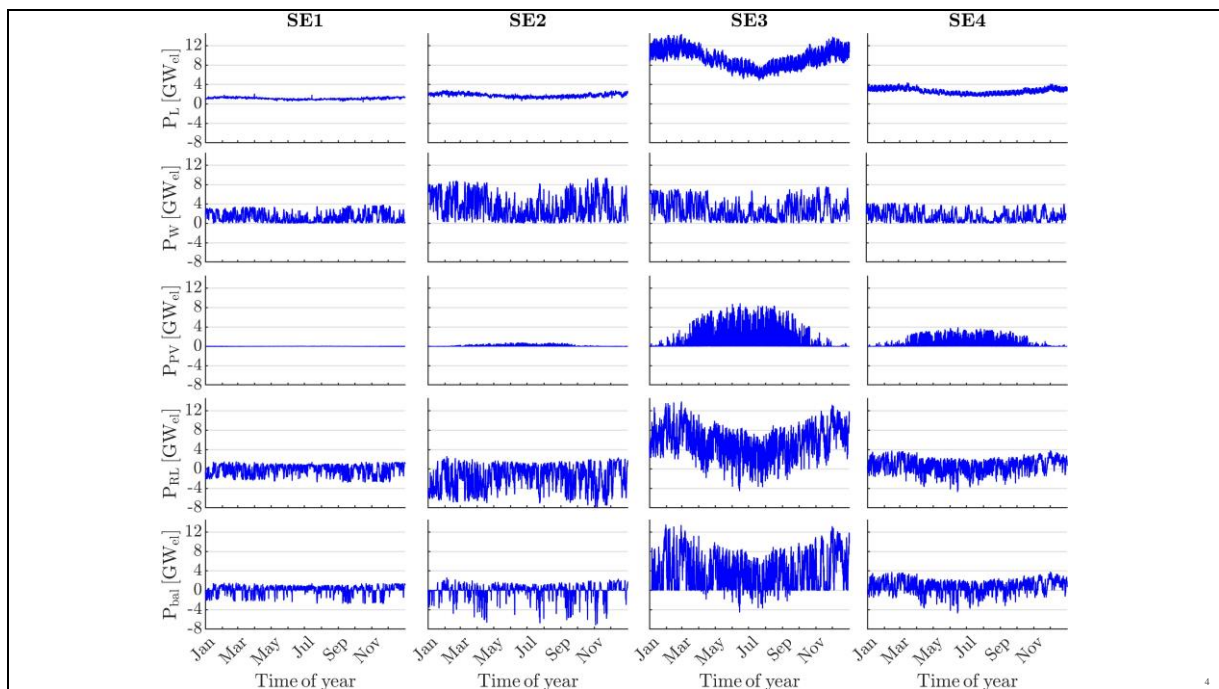
Bild 3



- Sedan 70-talet anses all nyetablering av fjärrvärme tillhöra den 3e gen m 80-90C framledningstemp. Framtida gen föreslås hålla lägre temp i distributionsnät för att minimera distributionsförluster. Värmet uppgraderas då med distribuerade värmepumpar mot slutkund eller mindre kretsar.
- SES är ett holistiskt koncept för energisystem som inkluderar aspekter som energieffektivt resursutnyttjande, energi- och kostnadsbesparingar, och sektoriell integrering, e.g., värme/gas/elektricitet/transport. Inom forskningen kan två underkategorier identifieras; "Smart" som fokuserar på styrning och reglering, samt "System" som fokuserar på de tvärspektoriella systemaspekterna.

Bild till höger visar traditionellt icke-integrerat energisystem med parallella energiflöden vs tvärspektoriellt integrerade energisystem med horisontella tvärförbindelser

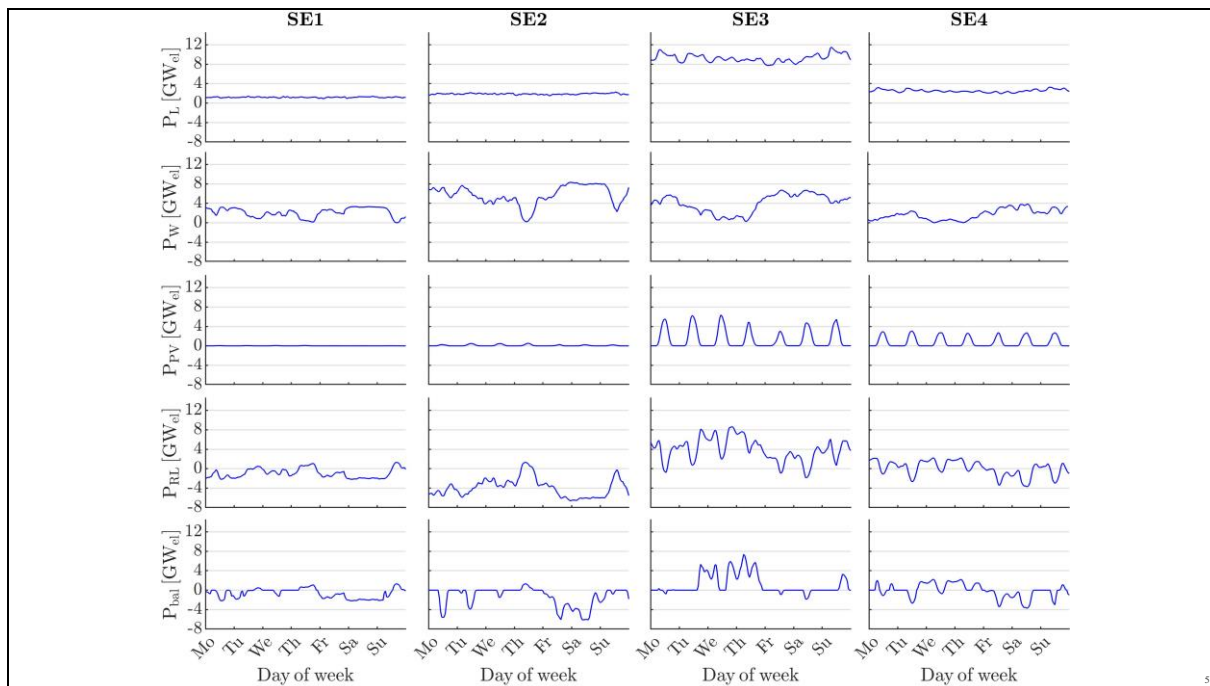
Bild 4



(A) Grafen visar de fyra elprisområdena i Sverige.

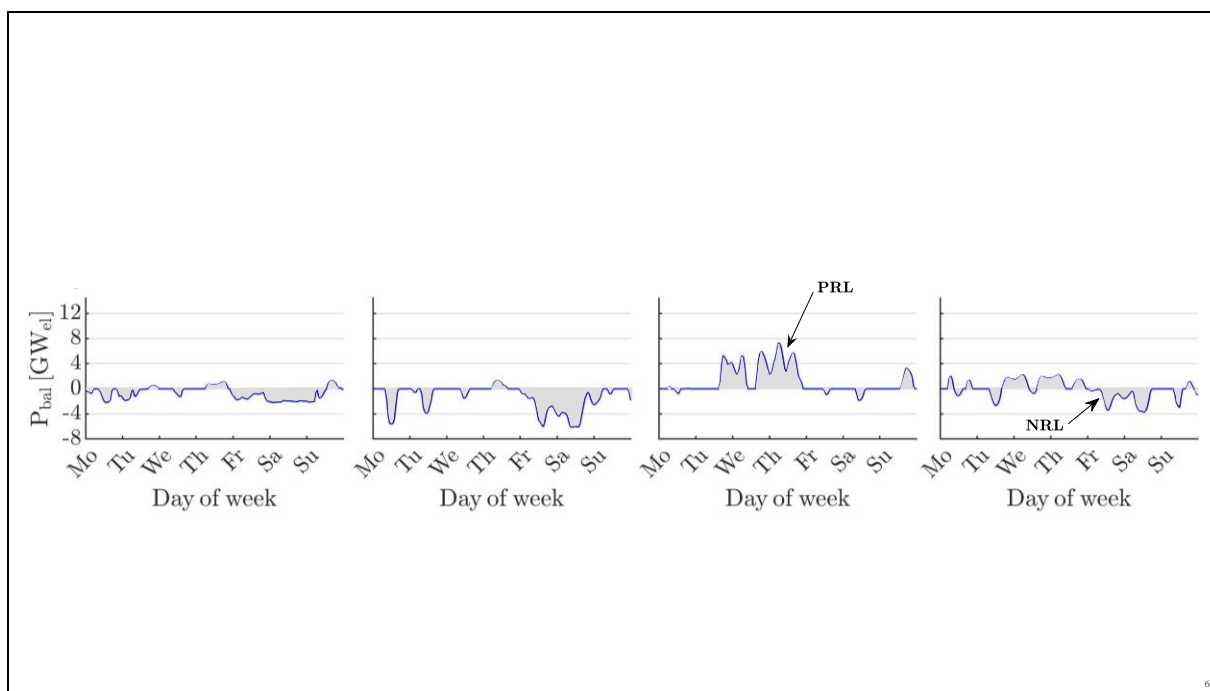
Överst ser vi elkonsumtionen över året och rad två visar elproduktion från vindkraft motsvarande 60% av det nationella elbehovet. Rad tre visar dito med 10% solkraftproduktion relativt det nationella elbehovet. Rad fyra visar residualen i respektive elprisområde då elbehovet subtraherats med produktion från sol- och vindkraft. Sista raden visar elbalanseringsbehovet efter transmission skett mellan elprisområdena. Vi kan tydligt se säsongsvariationer här för både elbehov och solkraft, samt även för vindkraft om än något mindre tydligt.

Bild 5



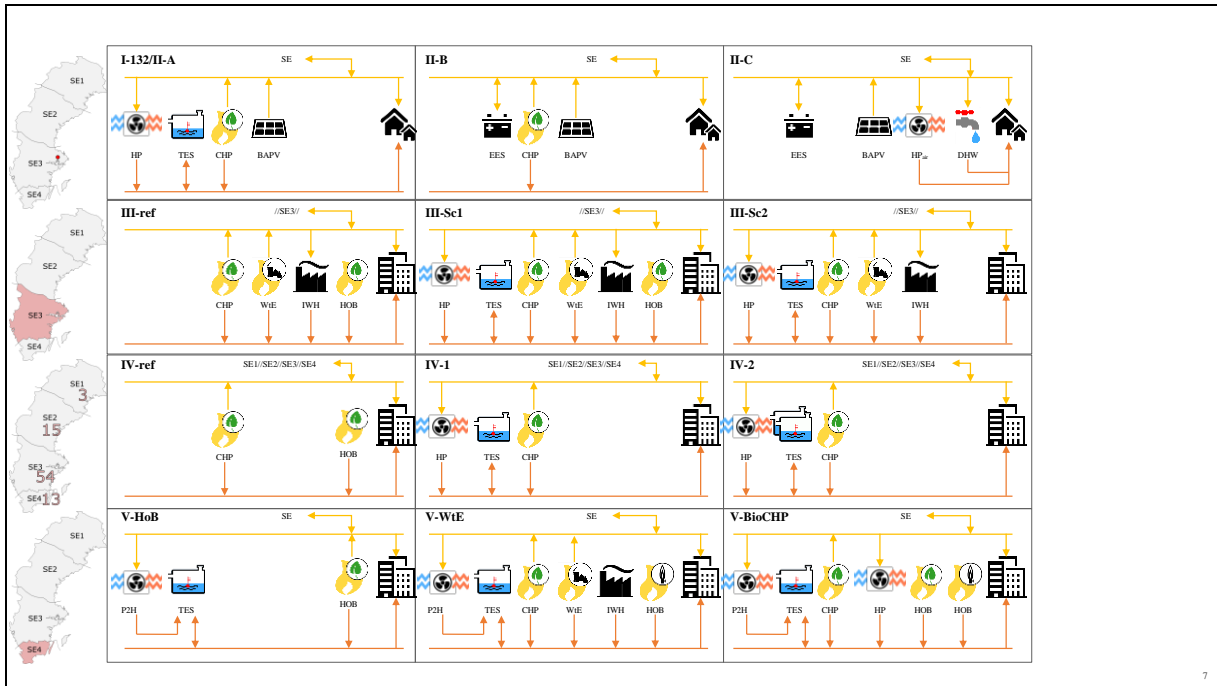
(B) Zoomar vi in på en vecka kan vi se att det även finns dygnsbaserade variationer. För solkraft och elbehovet är dessa tämligen regelbundna, men för vindkraft är dessa mer stokastiska. På högre tidsupplösning, timbasis, visar solkraft en högre grad av stokastiskt beteende och vindkraften är jämnare.

Bild 6



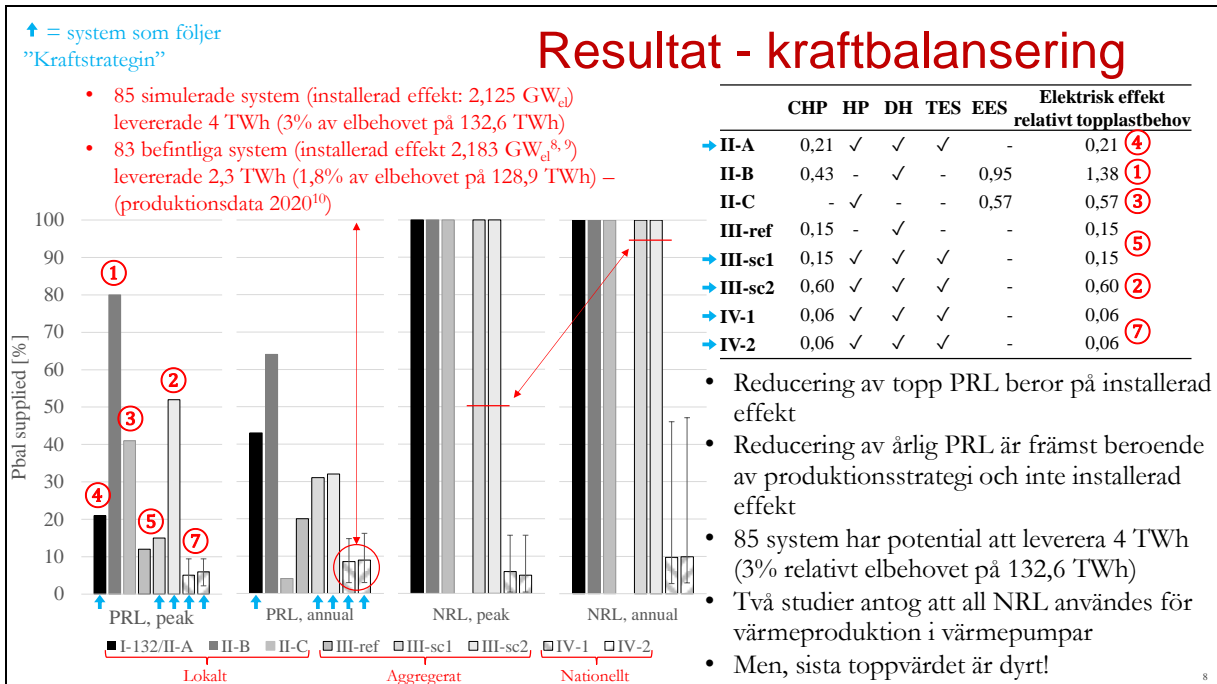
(C) Vidare kan vi se att det är skillnad mellan elprisområdena map temporal fördelning samt andelen av kvarstående elbehov, positive residual load (PRL) respektive överskjutande produktion, negative residual load (NRL). Denna profil är en teoretisk styrsignal som använts i simuleringarna. Notera att den inte innefattar vatten-, kärn-, eller annan termisk kraft. Fördelen med denna profil är att den tydligt identifierar när utmaningarna i elsystemet sker till skillnad för elpriset som påverkas av andra aspekter såsom exempelvis bränslepriser, geopolitik, samt överföringsavgifter.

Bild 7



- I: Lokalt villaområde med building applied photovoltaics (BAPV), värmelager (TES), värmepumpar (HP), och kraftvärme (CHP). Följer Kraftstrategin
- II: Teknoekonomisk jämförande studie med referensfall som följer Värmestrategin (II-B) samt fullt elektrifierad värmelösning (II-C)
- III: Högre aggregerad systemnivå, SE3, med befintliga produktionskapaciteter inom kraftvärme, avfallsförbränning (WtE), industriell spillvärme (IWH), samt värmepannor (HOB). Ref följer Värmestrategin, Sc1 & 2 följer Kraftstrategin. I Sc2 har värmepannorna konverterats till kraftvärme och gett fyrdubblad kapacitet i kraftvärmerna
- IV: Bergrumsoljelager konverterade till TES på nationell nivå. 85 system simulerades med ref-fall (Värmestrategin) samt två scenarier med tillgång till ett respektive två berggrum á 90 000 m³ (Kraftstrategin)
- V: P2H-kapaciteter (värmepumpar) aktiva på effektreservsmarknaden

Bild 8



Figuren visar relativ försörjning av elbalanseringsbehovet för respektive fall. Notera att de olika studierna har signifikant olika dimensioner och är därmed ej jämförbara i faktiska värden. Endast relativa värden över prestandan går att jämföra!

Topplasteffekt, årligt elbehov, överproducerad topeffekt, samt årlig överproduktion.

Lokal studie:

II-A (Svart stapel) följer Kraftstrategin, KVV & värmelager är dimensionerade att täcka värmebehovets halva topp effekt vardera

II-B (Mellangrå) ref fallet m BaU & Värmestrategin. Har KVV dimensionerat efter värmebehovets topp effekt, dvs dubbel kapacitet jmf m II-A samt ellager (EES) => elektrisk kapacitet 1,38 relativt topplastbehovet

II-C (Ljusgrå) Elektrifierad uppvärmning distribuerad till användare (luft-luft VP, VVB). Dubblerat elbehov & topplast

Aggregerad:

III-ref BaU med värmestrategin & befintliga kapaciteter

III-sc1 & sc2 följer Kraftstrategin där sc2 har fyrdubblad kapacitet i KVV jmf med sc1 då alla värmepannor antogs konverterats till KVV i sc2

Nationellt:

IV-1 85 system som följer Kraftstrategin med KVV, VP & berggrum på 90 000 m³

IV-2 Dubbla lagervolymen

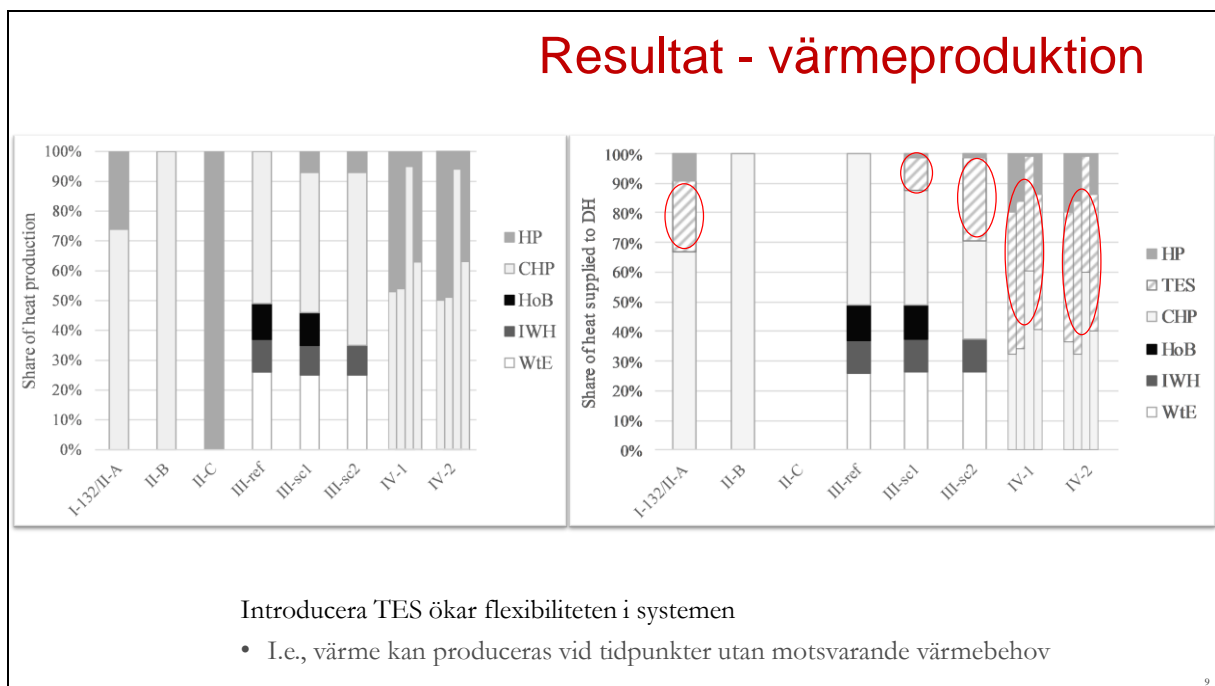
System som följer Kraftstrategin reducerar årligt elbehov mer effektivt än system som följer Värmestrategin!

- 85 system visade potential att leverera 3% av det nationella elbehovet (4 TWh relativt 132,6 TWh). Till detta kommer det kraftbalansande bidraget via elkonsument i värmepumpar vid NRL som möjliggjorde en reduktion av fastbränslebehovet med ca 10%
- Rapporterade data för de 83 biomasseeldade KVV under 2020 motsvarade 1,8% av elbehovet (2,3 TWh relativt 128,9 TWh)

Dimensionering av kapaciteten i HP till 50% av NRLs toppvärde konsumerar ändå 95% av den årliga NRL!

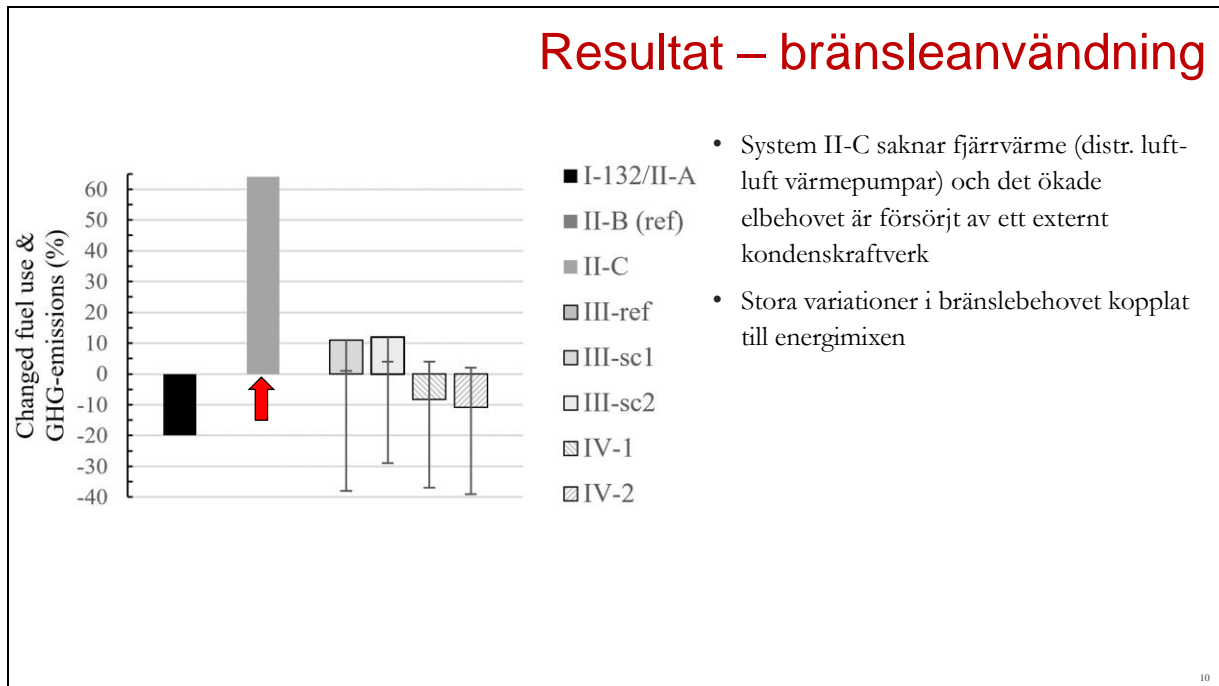
Mängden NRL varierar signifikant mellan elprisområdena. Det gör att bidraget från P2H också varierar kraftigt.

Bild 9



- VÄ fig visar allokering av värmeproduktion mellan olika teknologier
- HÖ fig visar allokering av värmeförsörjning till fjärrvärmenätet mellan olika teknologier
- Viktigaste resultatet är att introducera ett TES ökar flexibiliteten i systemen, dvs produktionen blir inte begränsad av effektnivån i värmeunderlaget. Mao värme kan produceras vid tidpunkter då aktuell värmelast annars vore begränsande
- I studie IV (nationell nivå) levererades mellan 40-50% av värmets till fjärrvärmenätet från lagret i SE1, 2, och 4. I SE3 stod lagret för knappt 40% av värmeleveranserna

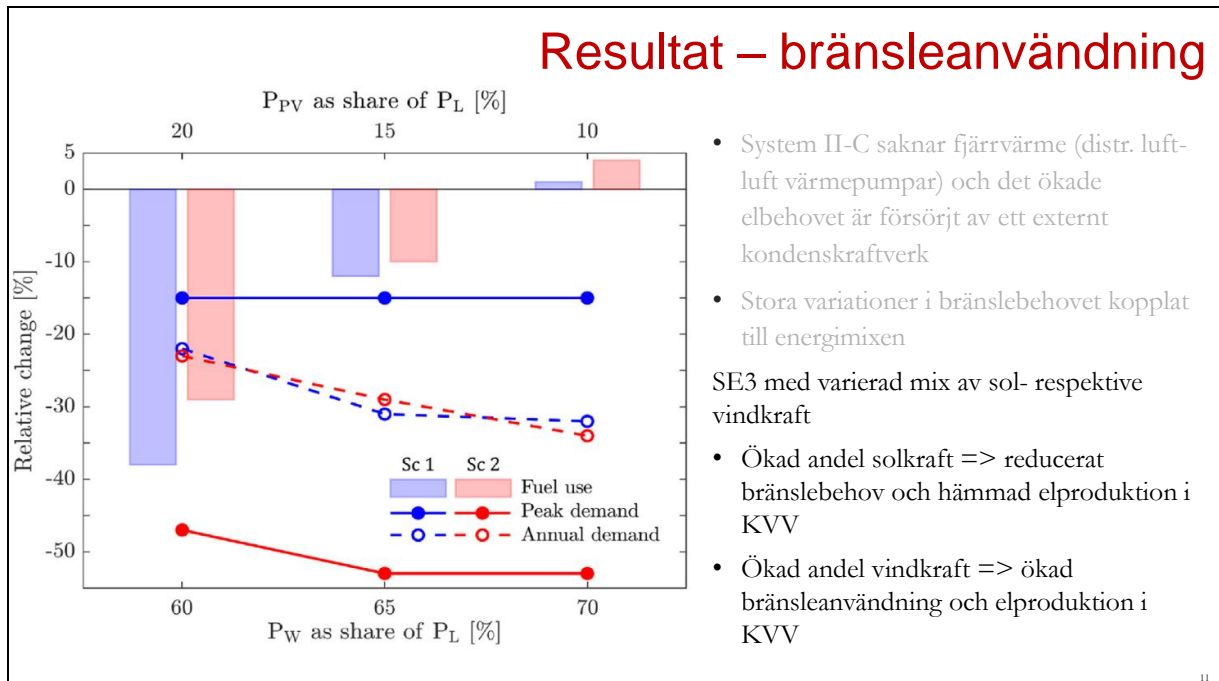
Bild 10



Figuren visar förändring i bränslebehov (tillika GHG) från tre studier relativt respektive studies referensfall.

- Studie I visar att ”Kraftstrategin” m tillgång till TES & VP reducerar fastbränslebehovet m 20%
- II-C saknar fjärrvärme och det ökade elbehovet pga den elektrifierade värmelösningen antas försörjas med ett externt kondenskraftverk
- Studie III (SE3) påvisar ökat bränslebehov, vilket även var resultatet för SE3 i studie IV.
- Både i III & IV påvisas stora variationer i bränslebehovet vilket beror på energimixen, dvs mängd solkraft i förhållande till mängd vindkraft.

Bild 11



Känslighetsanalys av energimix från studie III

Figuren visar andel solkraft på övre x-axeln och andel vindkraft på nedre x-axeln relativt nationellt elbehov. På y-axeln visas relativ förändring.

Staplar visar bränslekonsumtion, heldragna linjer visar förändring i elektrisk topplast och de streckade linjerna visar förändring av årligt elbehov för de olika energimixerna.

Bild 12

Slutsatser – relativt de fyra delmålen

1. Potential för kraftbalanseringstjänster

- Beroende av mängd och temporal fördelning av NRL samt KVV produktionskapacitet

2. Begränsning av kraftbalanseringstjänsterna

- Den övergripande begränsande faktorn är det lokala värmebehovet
- Hög konsumtion av NRL för värmeproduktion ger konkurrens mellan olika värmeförsörjande enheter

3. Effekter på bränsleefterfrågan

- Lagringsförluster inducerar ökat bränslebehov, men tillräckliga mängder NRL som används för att producera värme i värmepumpar minskar bränsleanvändningen

4. Ekonomiska aspekter

- För befintliga fjärrvärmeoperatörer kan det vara ekonomiskt fördelaktigt att omvärdera framtida investeringar och produktionsstrategier

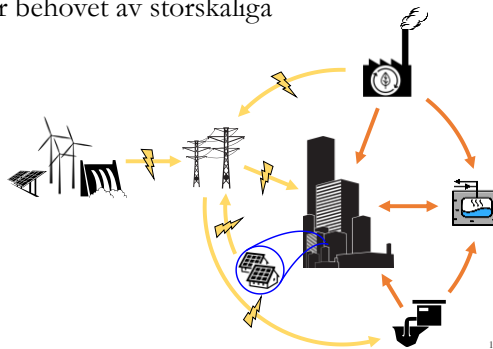
12

Bild 13

Sammanfattande slutsats

Fjärrvärmeoperatörer kan tillhandahålla betydande mängder kraftbalansering via en smart energikonfigurering, där kraftbalanseringstjänsterna inkluderar både produktion och konsumtion av el, via tillgången till ett TES som agerar flexibel värmelast.

Det bör betonas att andelen solkraft i den elektriska produktionsmixen är avgörande för att uppnå en minskad efterfrågan på biomassa för värmeproduktion, vilket i sin tur understryker behovet av storskaliga TES med möjlighet till långtidslagring.



13

Bild 14

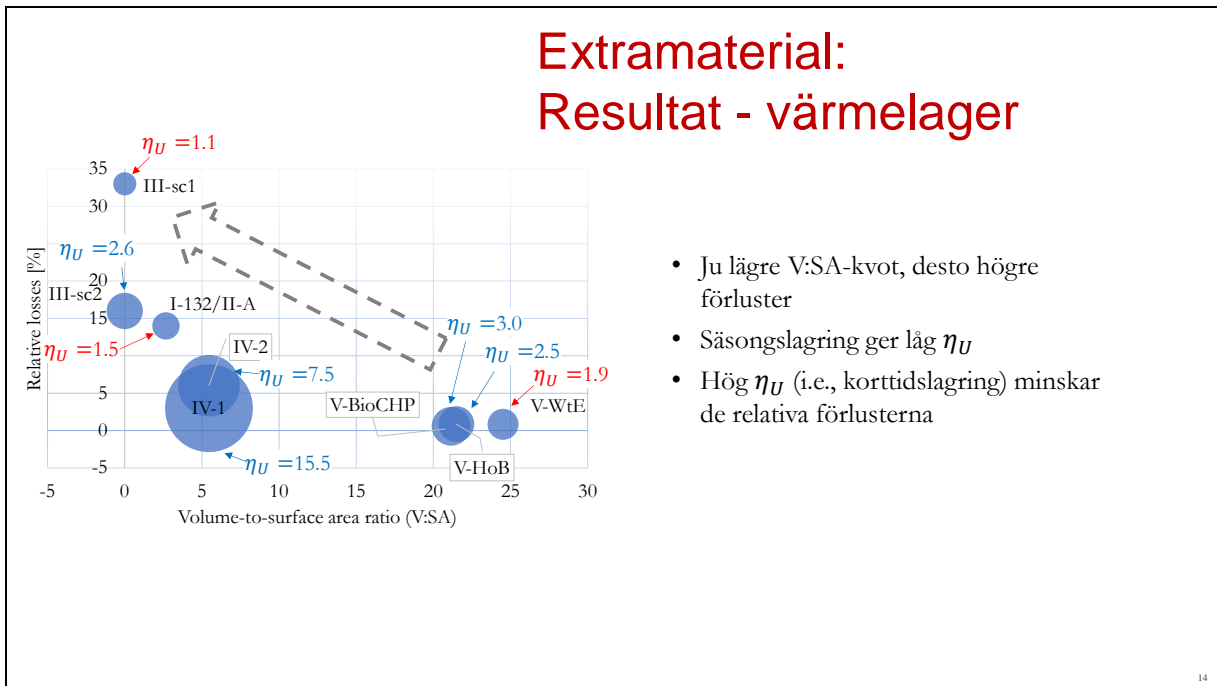


Fig visar på y-axeln de relativa förlusterna i TES, på x-axeln anges kvoten av volym/ytarea (V:SA). Storleken på cirklarna representerar utnyttjandegraden, η_U

Bild 15

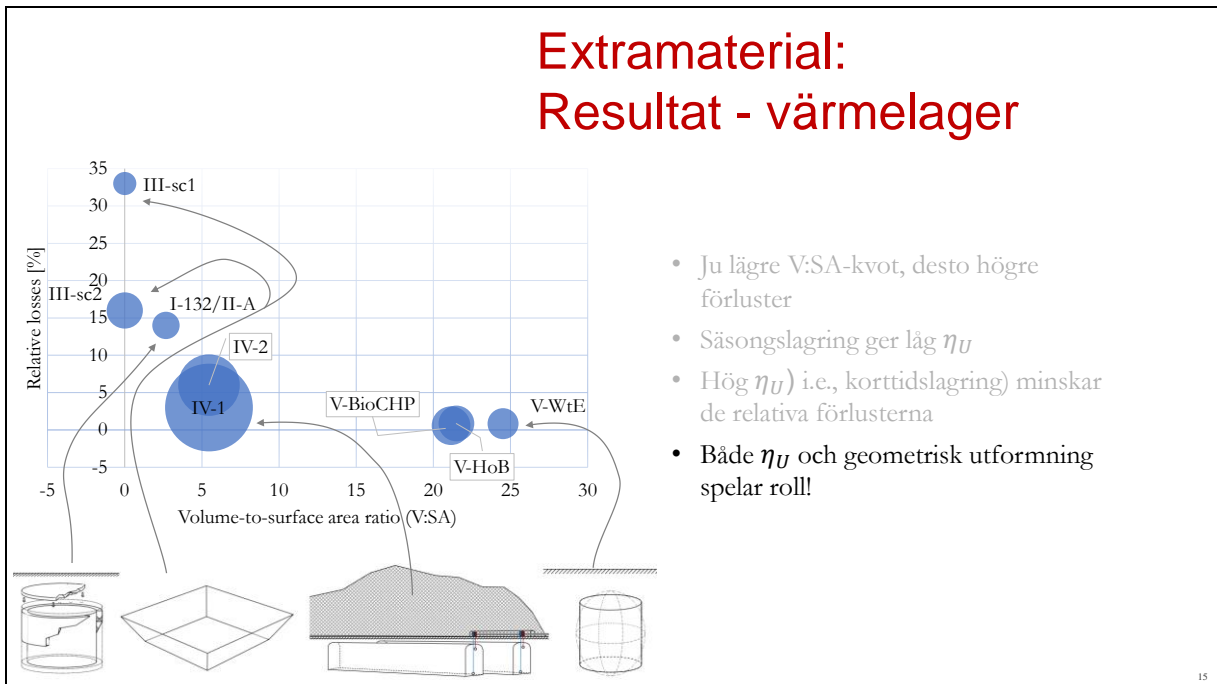


Bild 16

Extramaterial: Kapaciteter i Sveriges energisystem

Installerade elektrisk effekt inom fjärrvärmesektorn:

KVV (ca)	2,9 GW ¹¹
Värmepumpar (lite drygt)	1,5 GW ¹²
Elpannor (knappt)	1,2 GW ¹²

Inom industrin finns ytterligare:

KVV	1,5 GW
Övrig termisk kraft	2,4 GW

Uppgifterna är från Svenska Kraftnät¹¹ förutom VP och elpannor som är från ett exjobb¹² jag handledde 2018.

Dessa siffror kan ställas i relation till övriga installerade effekter (också hämtade från SvK¹¹):

Vattenkraft	16,3 GW
Vind	10 GW (och ökande...)
Kärnkraft	6,8 GW
PV	1,1 GW (också ökande...)
Toppeffektbehovet 2021	25,5 GW (12/2, kl 8-9) ¹¹

Fjärrvärmesektorn kommer aldrig bli den avgörande faktorn för kraftbalanseringen, men kan komma att spela en viktig avlastande roll!

16

Bild 17

Källhänvisningar

1. IEA – International Energy Agency, 2021. (<https://www.iea.org>)
2. Svenska Kraftnät (<https://www.svk.se/om-kraftsystemet/kraftsystemdata/elstatistik/>)
3. Svensk Vindenergis Statistics and forecast ([Statistics-and-forecast-wind-power-Sweden-Q2-2022-1.pdf](#))
4. Energimyndigheten: En utvecklad planeringsprocess för vindkraft ([En utvecklad planeringsprocess för vindkraft](#))
5. Energimyndigheten: 100 procent förnybar el ER 2019:6 ([ER 2019-6](#))
6. Lund H., Werner S., Wiltshire R., Svendsen S., Thorsen J. E., Hvelplund F., vad Mathiesen B., 2014. 4th Generation District Heating (4GDH) Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. *Energy* 68, 1-11, <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.02.089>
7. Integral Group: District Energy 101 ([IntegralGroup_District-Energy-101.pdf](#))
8. Svebio & Bioenergi, 2020. Biokraft 2020. <https://www.svebio.se/app/uploads/2020/11/Biokraftkartan2020.pdf>
9. Svensk Avfallshantering 2020, <https://www.avfallsverige.se/in-english/>
10. Sveriges officiella statistik, Statistiska meddelanden EN 11 SM 2101, El-, gas- och fjärrvärmeförsörjningen 2020. Slutliga uppgifter
11. <https://www.svk.se/siteassets/om-oss/rapporter/2021/kraftbalansen-pa-den-svenska-elmarknaden-rapport-2021.pdf>
12. Bolander, D.-A. (2018). Kapacitetsutnyttjande för Power-to-Heat i svenska fjärrvärmesystem : En studie med befintliga anläggningar i framtida energisystem (Dissertation). <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-355101>

Länk till avhandlingen i sin helhet: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-461901>

17