

Design of Partial CO₂ Capture from Waste Fired CHP Plants

The impact of seasonal operation optimization



Simon Öberg
Department of Energy and Environment
Division of Energy Technology
Chalmers University of Technology

Bakgrund



Paris 2015 - COP21

“...holding the increase in the global average temperature to well below 2 °C above pre-industrial levels and pursuing efforts to limit the temperature increase to 1.5 °C.”

Bakgrund



Paris 2015 - COP21

"...holding the increase in the global average temperature to well below 2 °C above pre-industrial levels and pursuing efforts to limit the temperature increase to 1.5 °C."

Stockholm 2017 - Klimatreform

"Regeringen föreslår, som ett långsiktigt klimatomål, att Sverige senast år 2045 inte ska ha några nettoutsläpp av växthusgaser, och att Sverige därefter ska uppnå negativa utsläpp."

Bakgrund



Paris 2015 - COP21

"...holding the increase in the global average temperature to well below 2 °C above pre-industrial levels and pursuing efforts to limit the temperature increase to 1.5 °C."

Stockholm 2017 - Klimatreform

"Regeringen föreslår, som ett långsiktigt klimatmål, att Sverige senast år 2045 inte ska ha några nettoutsläpp av växthusgaser, och att Sverige därefter ska uppnå negativa utsläpp."

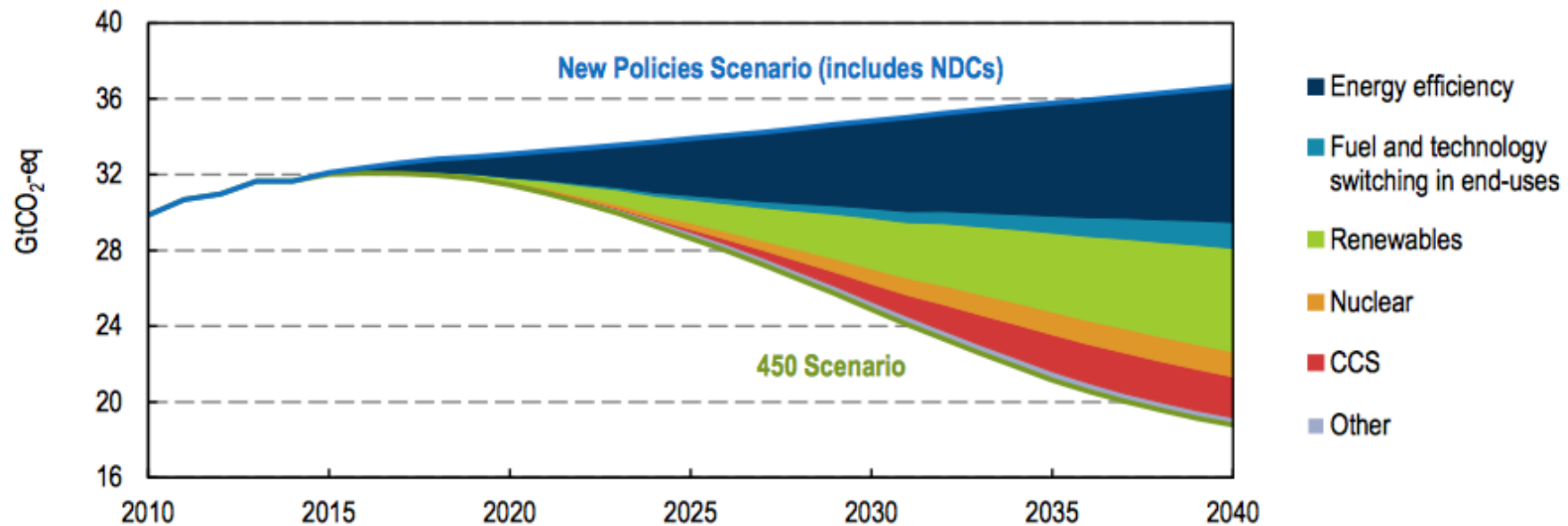
Stockholm 2018 – Klimatlagen träder i kraft

Våra alternativ



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

1. Energieffektivisering
2. Utfasning av fossila energikällor till förnyelsebara
3. Koldioxidinfångning (Carbon Capture and Storage - CCS)

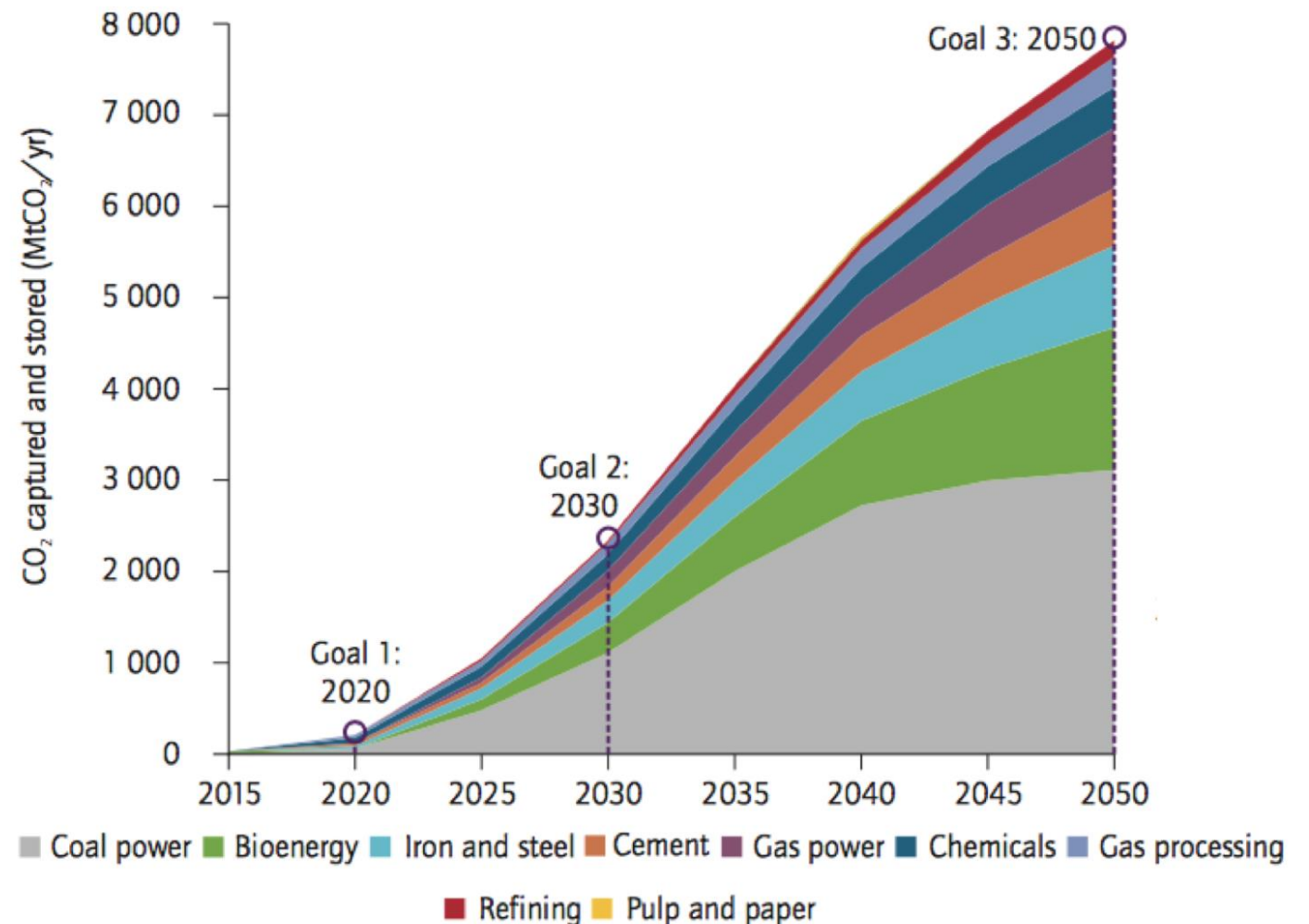


CCS – Var och hur



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

- Utsläppskällor i fokus
 - Då: Stora kolkraftverk
 - Nu: Större industrier
- Vilken typ av CCS
 - Då: Fullskalig CCS
 - Nu: Partiell CCS



Utsläpp från avfallsförbränning



- CO₂-utsläpp från svensk avfallsförbränning:
 - 5 Mton/år
- Bränslets sammansättning:
 - 60 % biomassa
 - 40 % med fossil härkomst
 - 2 Mton fossilt CO₂ per år
 - Motsvarar 4 % av nettoutsläppen inom Sverige.
- En medelstor anläggning
 - Rökgasflöde: 31 kg/s
 - CO₂ koncentration: 17.5 %
 - Årliga fossila utsläpp: 64 200 ton CO₂

Syfte

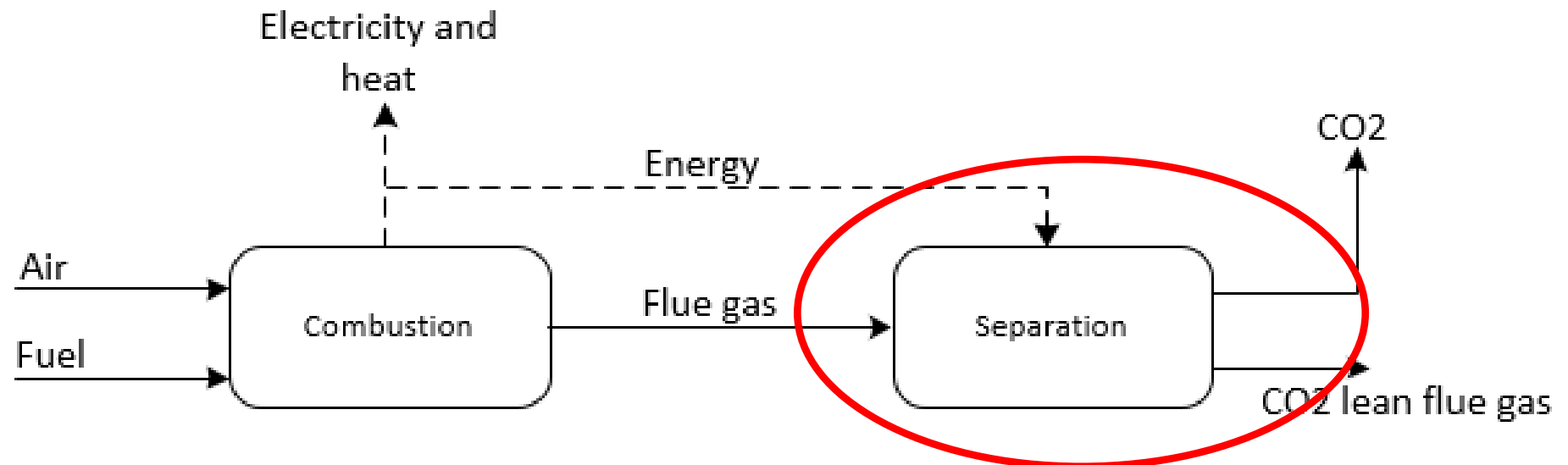
- Fånga den fossila andelen CO₂ (40 %) från svensk avfallsförbränning till minsta möjliga kostnad.
 - Utvärdera partiell CO₂ infångning genom kemisk absorption för olika designalternativ.
 - Utvärdera möjligheten att dra nytta av naturliga säsongsvariationer i driften och hur dessa påverkar den specifika infångningskostnaden.

Absorptionsprocessen



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

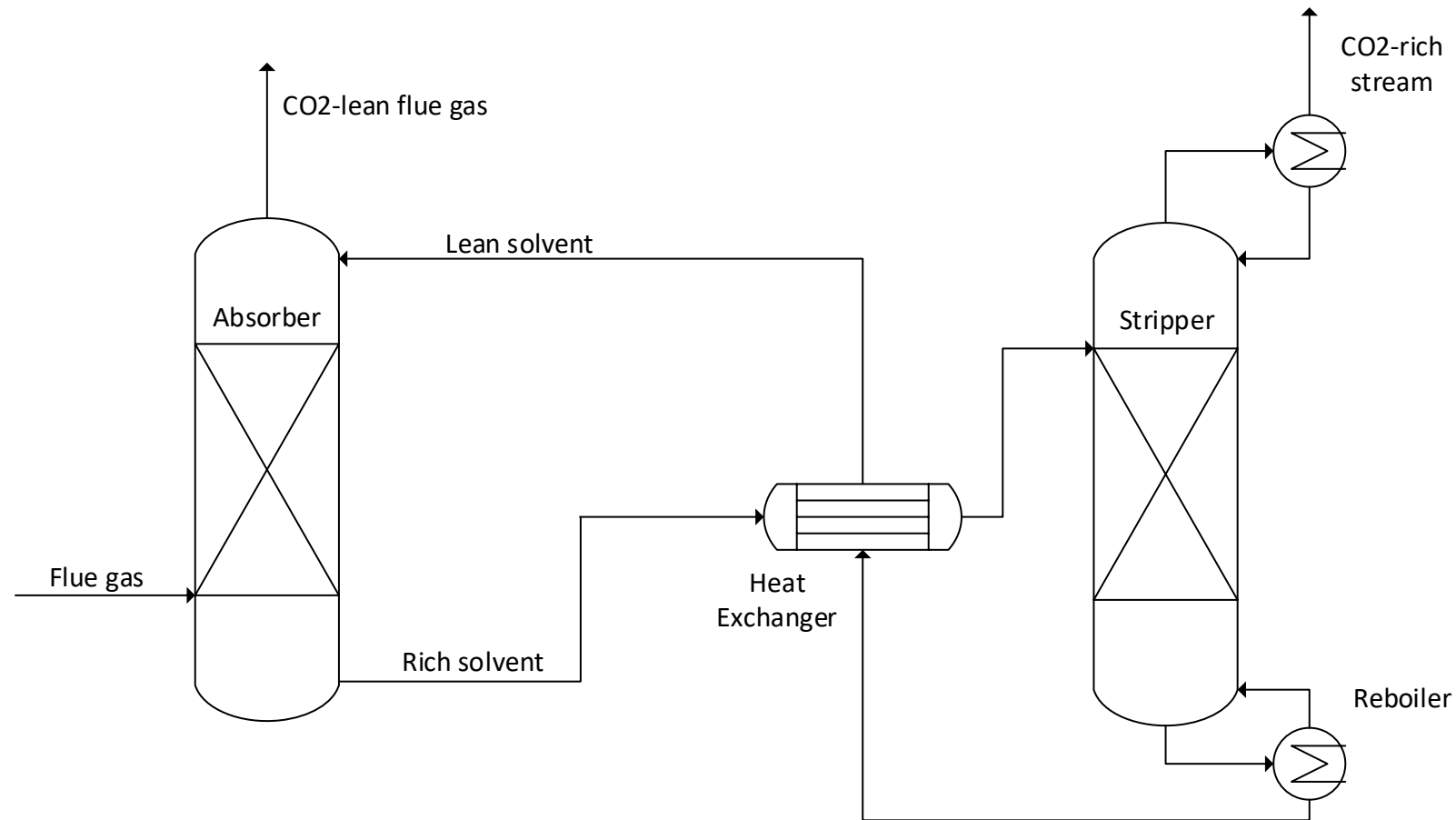
- Post-combustion teknik
- Applicerbar på befintliga kraftverk (retrofit)



Absorptionsprocessen



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

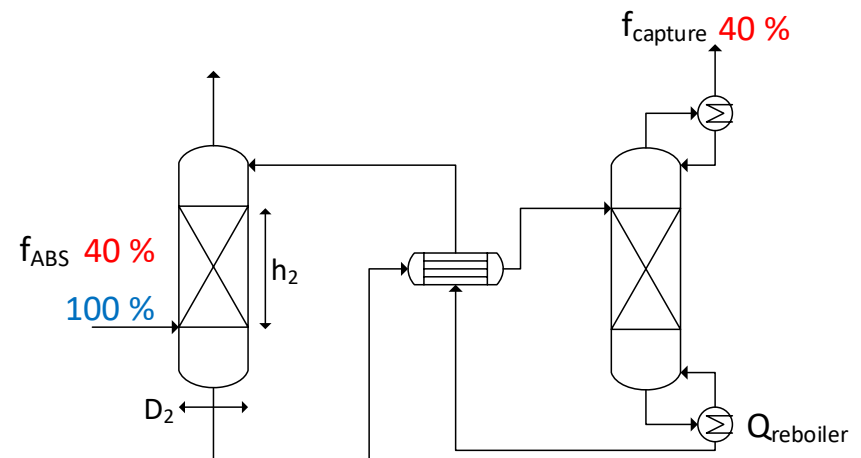
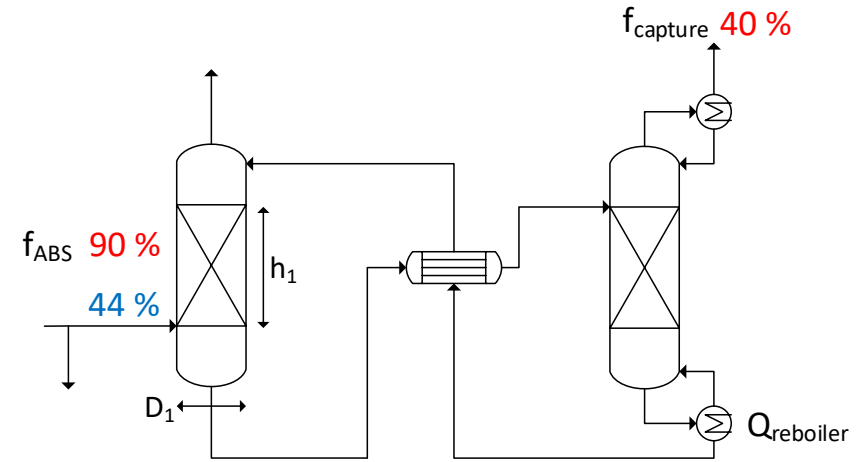


Design – Två principer



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

- Slip Stream Path (SSP)
 - "Nedskalad" infångningsdesign
 - Låg flexibilitet
 - Konstant värmelast och infångningsgrad
- Separation Rate Path (SRP)
 - "Överdimensionerad" infångningsdesign
 - Hög flexibilitet
 - Variabel värmelast och infångningsgrad

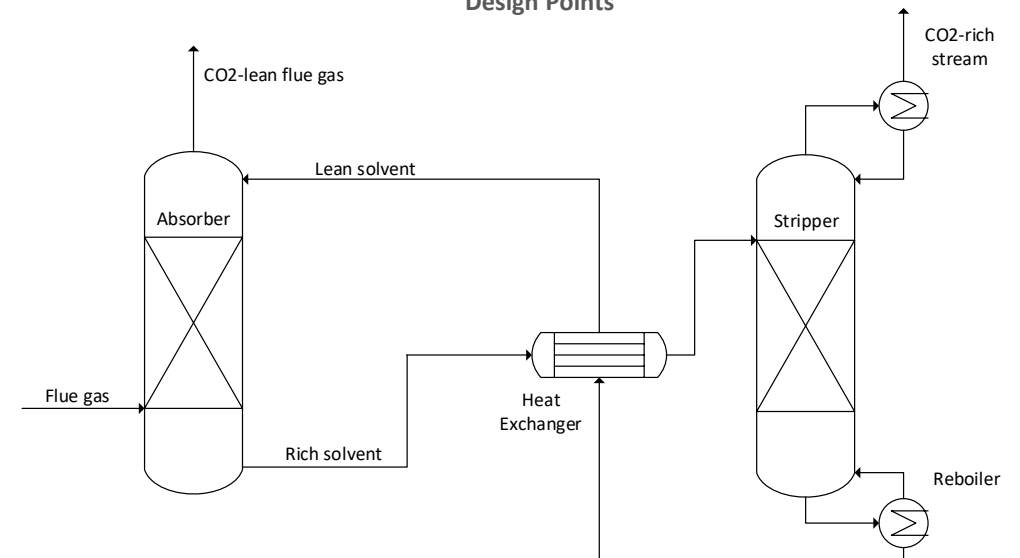
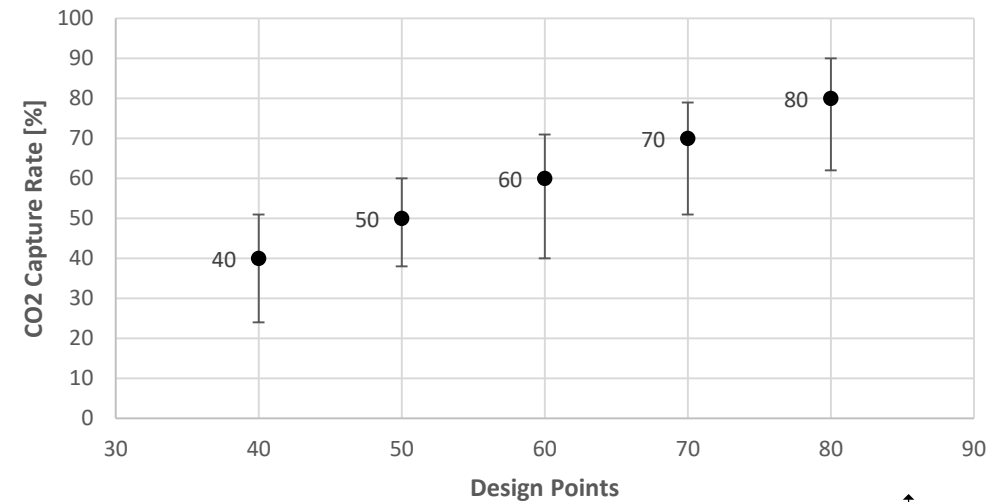


Design – Detaljer för SRP



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

- För en specificerad infångningsgrad:
 - Resulterande dimensioner låsta
 - Driftområde identifierat genom att variera solventflödet och värmelasten i reboiler
- Problem:
 - Flooding i absorber och stripper
 - Fasövergång i värmeväxlaren p g a för höga temperaturer
 - För hög temperatur på solventen efter reboiler



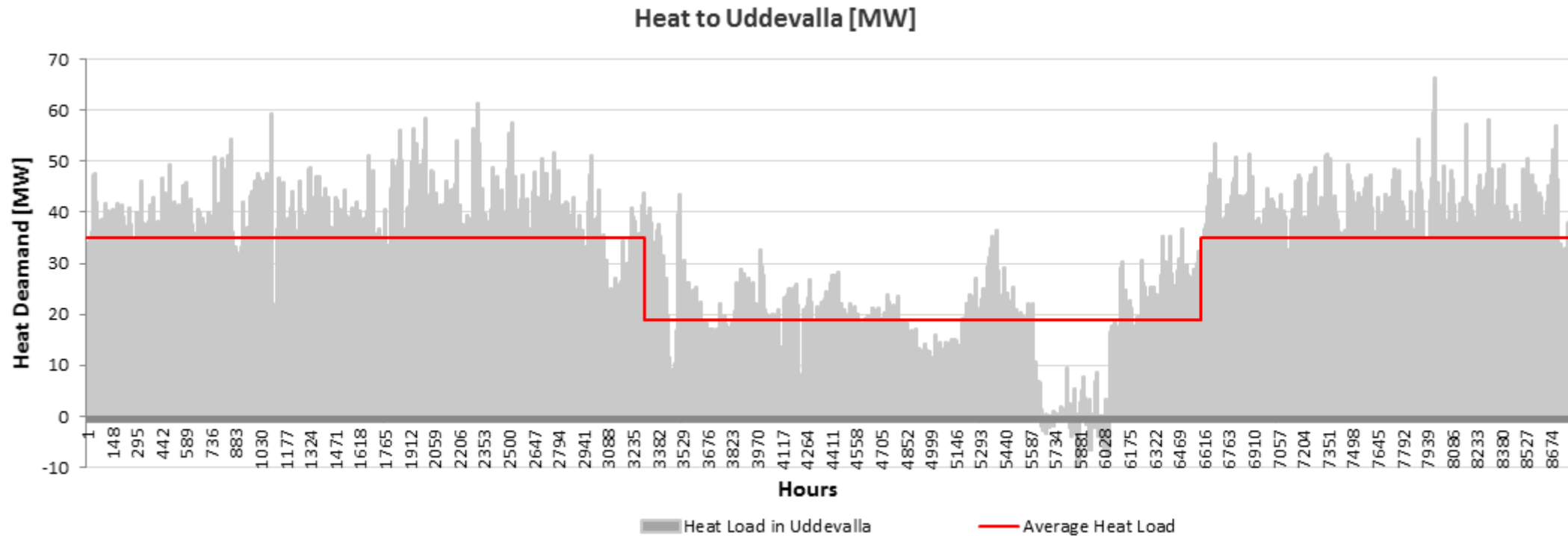
Kraftverket - Lastkurva



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Sommar: 2750 h

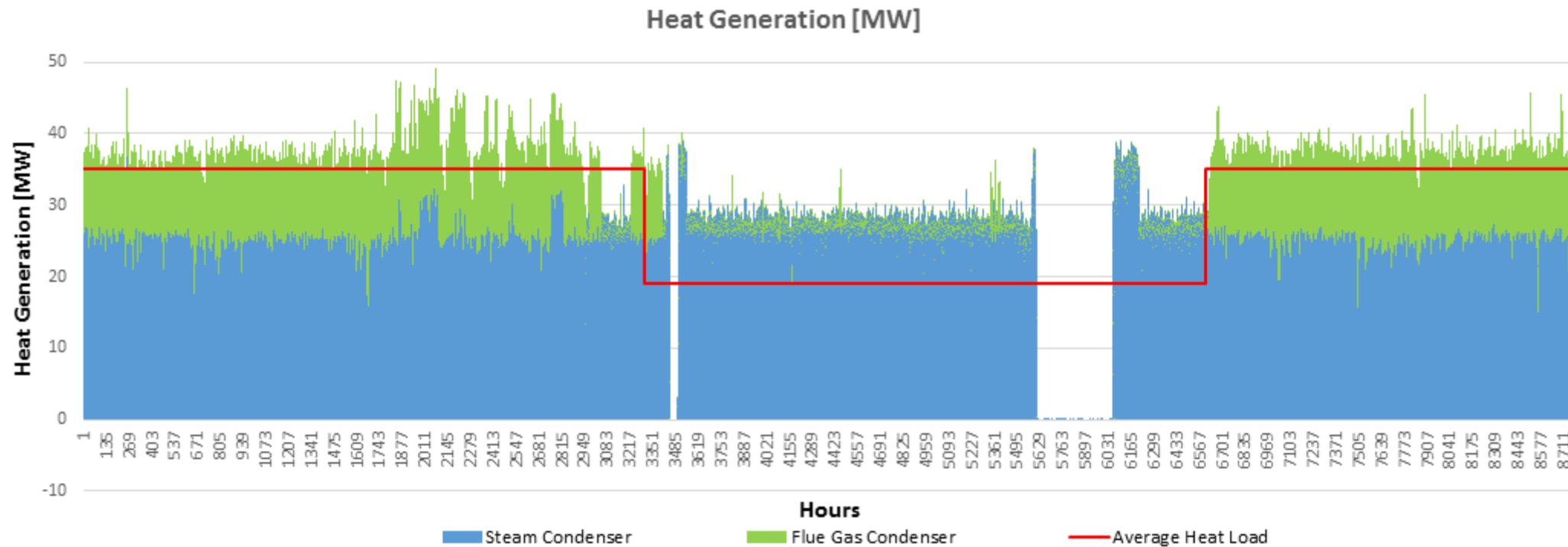
Vinter: 5470 h



Kraftverket - Värmeproduktion



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Antagande – Kostnader

- CO₂-neutralitet antaget som det högst prioriterade
 - Värme prioriterat före elektricitet

$$C_{\text{ånga}} = \frac{\Delta P_{el,max-CCS} * C_{el} + \Delta P_{värme,max-CCS} * C_{värme}}{\dot{m}_{\text{ånga},CCS}} \quad [EUR/ton]$$

	Elektricitet [EUR/MWh]	Värme [EUR/MWh]	Tid [timmar]
Sommar	27	5	2750
Vinter	27	21	5470

Antagande – Intäkter



- Vid normal drift arbetar kraftverket på 70 % last under sommaren
 - Under vintern antas kraftverket alltid arbeta på 100 % last
- Vid drift med CO₂-infångning ökar lasten till mer än 70 % (sommar)
 - Ytterligare elproduktion antas ge samma inkomster som tidigare

$$I_{el} = (P_{el,CCS} - P_{el,70\%})C_{el} \quad [EUR/h]$$

- Ökad förbränning av avfall under sommaren ger ökade intäkter

$$I_{avfall,EUR/h} = \frac{m_{avfall}/\text{år}}{t_{timmar}/\text{år}} * I_{avfall,EUR/ton} \left(\frac{\dot{m}_{avfall,CCS} - \dot{m}_{avfall,70\%}}{\dot{m}_{avfall,100\%}} \right) \quad [EUR/h]$$

Resultat – Konstant last



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

	Investment [kEUR]	CAPEX [kEUR/a]	Fix OPEX [kEUR/a]	OPEX [kEUR/a]	Specific Cost [EUR/ton CO2]	CO2 Captured [ton/yr]
Reference 90	41 400	4 117	1 656	3 872	67	144 500
SRP 40	31 300	3 118	1 254	1 929	98	64 200
SSP 40	29 000	2 892	1 163	2 004	94	64 200

Resultat – Konstant last

- Slip Stream Path (SSP) har lägre specifik infångningskostnad än Separation Rate Path (SRP) vid konstant last

	Investment [kEUR]	CAPEX [kEUR/a]	Fix OPEX [kEUR/a]	OPEX [kEUR/a]	Specific Cost [EUR/ton CO ₂]	CO ₂ Captured [ton/yr]
Reference 90	41 400	4 117	1 656	3 872	67	144 500
SRP 40	31 300	3 118	1 254	1 929	98	64 200
SSP 40	29 000	2 892	1 163	2 004	94	64 200

Resultat – Konstant last

- Slip Stream Path (SSP) har lägre specifik infångningskostnad än Separation Rate Path (SRP) vid konstant last
- Referensfallet med full infångning har med stor marginal lägst specifik infångningskostnad: - 29 %

	Investment [kEUR]	CAPEX [kEUR/a]	Fix OPEX [kEUR/a]	OPEX [kEUR/a]	Specific Cost [EUR/ton CO2]	CO2 Captured [ton/yr]
Reference 90	41 400	4 117	1 656	3 872	67 (-29 %)	144 500
SRP 40	31 300	3 118	1 254	1 929	98	64 200
SSP 40	29 000	2 892	1 163	2 004	94	64 200

Resultat – Konstant last

- Slip Stream Path (SSP) har lägre specifik infångningskostnad än Separation Rate Path (SRP) vid konstant last
- Referensfallet med full infångning har med stor marginal lägst specifik infångningskostnad: - 29 %
- Referensfallet har också den högsta investeringskostnaden: + 42 %

	Investment [kEUR]	CAPEX [kEUR/a]	Fix OPEX [kEUR/a]	OPEX [kEUR/a]	Specific Cost [EUR/ton CO2]	CO2 Captured [ton/yr]
Reference 90	41 400 (+42 %)	4 117	1 656	3 872	67 (-29 %)	144 500
SRP 40	31 300	3 118	1 254	1 929	98	64 200
SSP 40	29 000	2 892	1 163	2 004	94	64 200

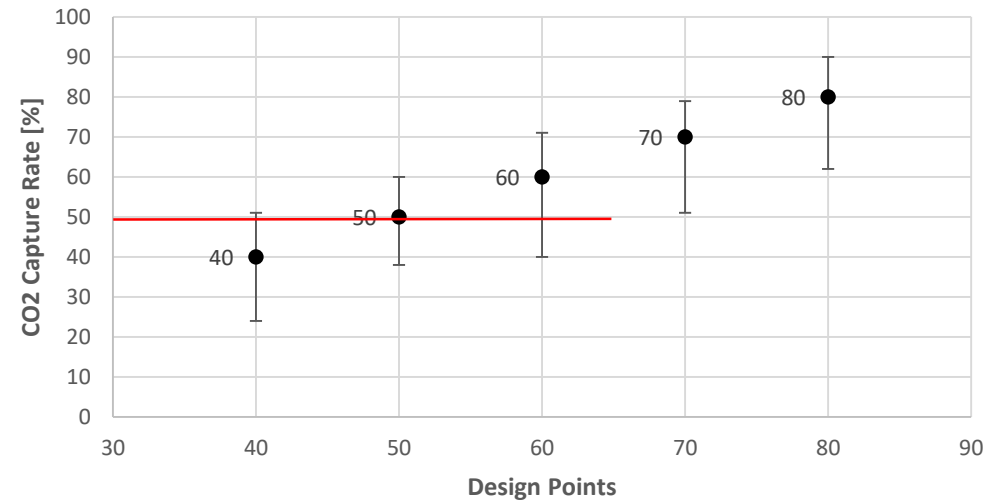
Resultat – Konstant last

- Slip Stream Path (SSP) har lägre specifik infångningskostnad än Separation Rate Path (SRP) vid konstant last
- Referensfallet med full infångning har med stor marginal lägst specifik infångningskostnad: - 29 %
- Referensfallet har också den högsta investeringskostnaden: + 42 %

	Investment [kEUR]	CAPEX [kEUR/a]	Fix OPEX [kEUR/a]	OPEX [kEUR/a]	Specific Cost [EUR/ton CO2]	CO2 Captured [ton/yr]
Reference 90	41 400 (+42 %)	4 117	1 656	3 872	67 (-29 %)	144 500
SRP 40	31 300	3 118	1 254	1 929	98	64 200
SSP 40	29 000	2 892	1 163	2 004	94	64 200

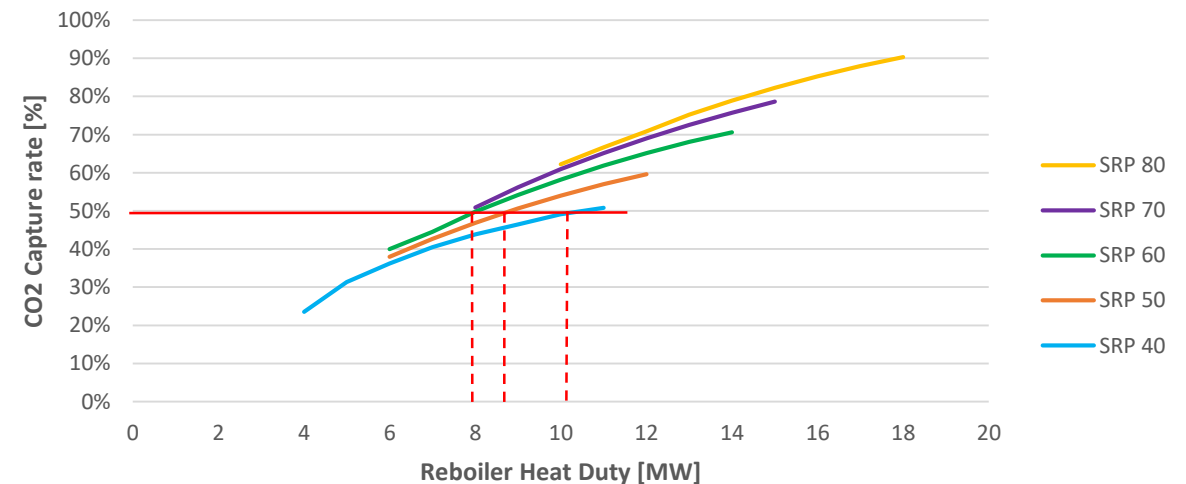
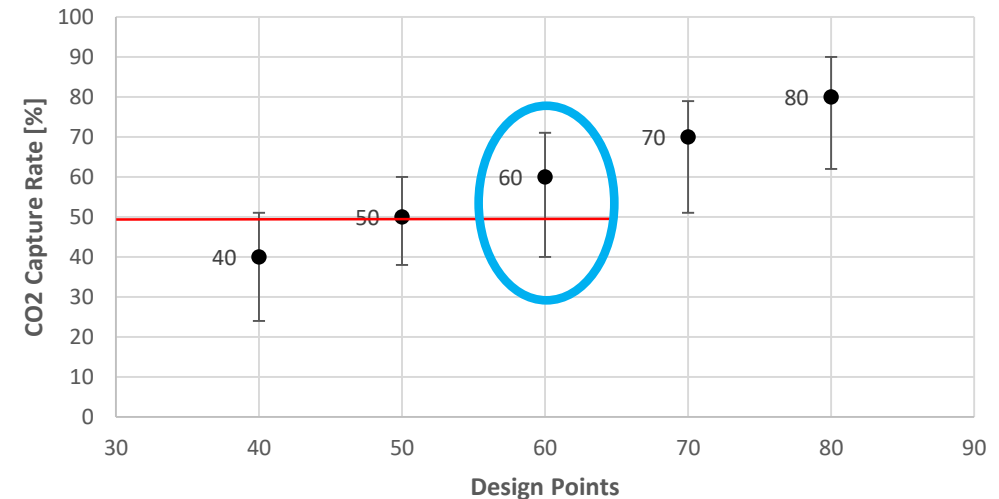
Analys – SRP design

- Driftområde
 - Infångningsgrad:
 - + 10 %
 - - 15-20 %
 - Flertalet designpunkter valbara för en önskad infångningsgrad.



Analys – SRP

- Driftområde
 - Infångningsgrad:
 - + 10 %
 - - 15-20 %
 - Flertalet designpunkter valbara för en önskad infångningsgrad.
- Prestanda inom driftområde
 - Inkludera värmelast i reboiler:
 - Den mest optimala designen kan identifieras, ur energisynpunkt

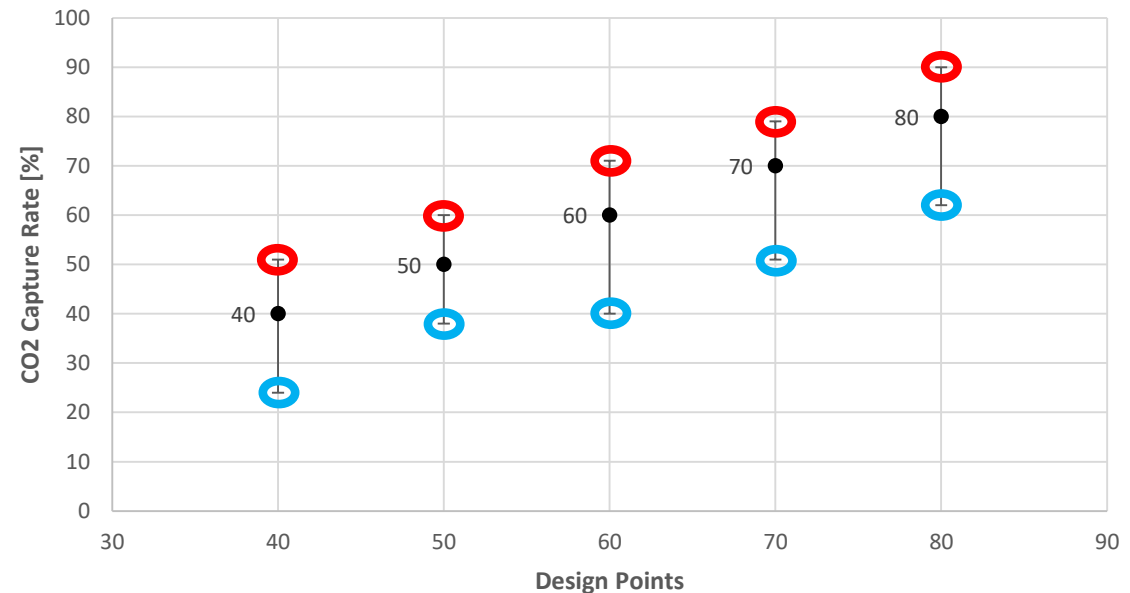


Analys – Säsongsbaserad drift



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

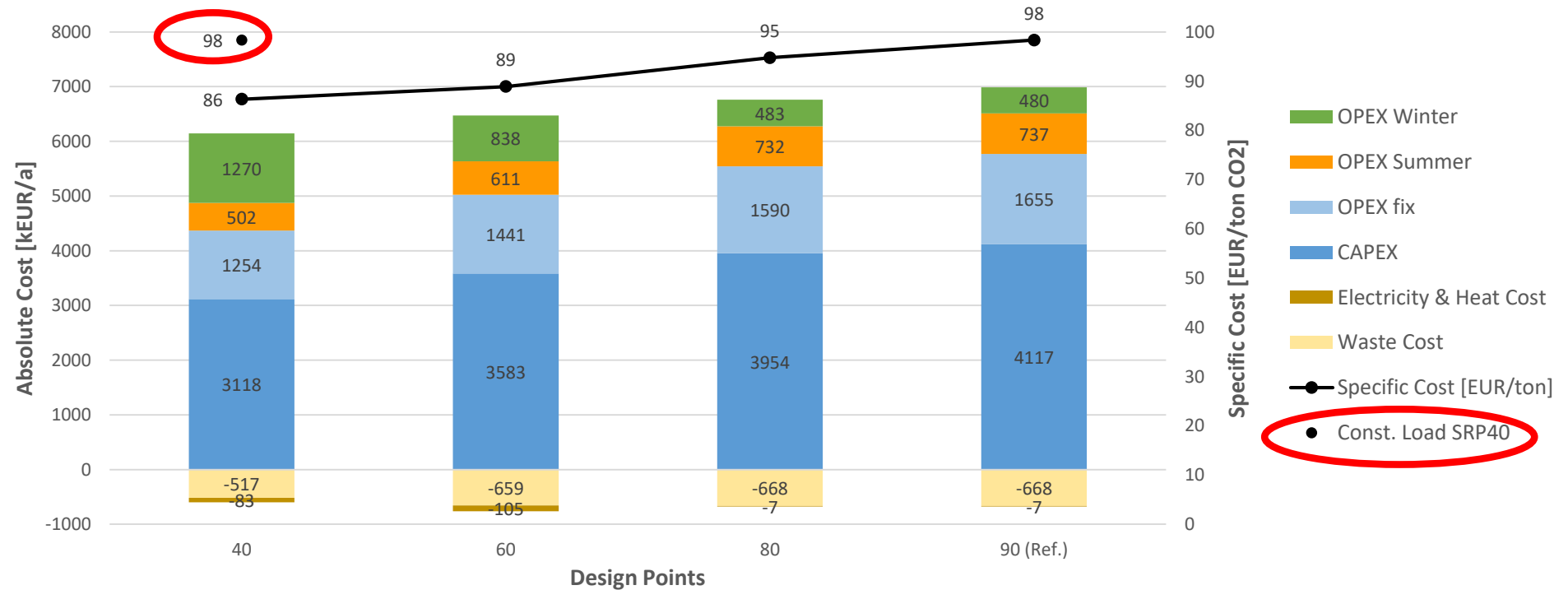
- Sommar:
 - Överskott av värme
 - Låg kostnad för ånga
 - Maximera infångning
- Vinter:
 - Underskott av värme
 - Hög kostnad för ånga
 - Minimera infångning



Resultat – Säsongsbaserad drift



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



	Investment [kEUR]	CAPEX [kEUR/a]	Fix OPEX [kEUR/a]	OPEX [kEUR/a]	Specific Cost [EUR/ton CO2]	CO2 Captured [ton/yr]
SRP 40	31 300	3 118	1 254	1 929 → 1 172	98 → 86	64 200
SSP 40	29 000	2 892	1 163	2 004	94	64 200

Slutsats - Avfallsförbränning



- Säsongsoptimerad drift av infångningsprocessen kostnadseffektiv
 - 10-12 % lägre specifik kostnad [EUR/ton CO₂]
- Endast liten negativ effekt på leverans av värme under vintern
 - 90-96 % av värmeleveransen möjlig vid CO₂-infångning under vintern
- Den specifika infångningskostnaden är till 80 % en kapitalkostnad
 - Bygg små enheter för att minimera kostnaden
- Driftkostnaden för CO₂-infångning ungefär dubbelt så stor som den för existerande rökgasrening
 - Hur värderar vi olika föroreningar?
 - Hur mycket har kostnaderna minskat för rökgasreningen under åren?
 - Jämförelse av kapitalkostnad skulle vara intressant.

Slutsats - Generellt



- Avfallsförbränning är sannolikt inte den mest lämpade industrin för CCS i ett initialt skede
 - Små anläggningar med små utsläpp skapar stora kostnader (economics-of-scale)
 - Det finns andra industrier med bättre förutsättningar för en kostnadseffektiv koldioxidinfångning
- Kostnaden för anläggning **1** dubbelt så dyr som för anläggning **N**
 - Erfarenhet från TelTek (Norskt forskningsinstitut)
 - Någon gång måste vi ta den första kostnaden
- Presentera kostnaden för avskiljningen på ett smart sätt
 - Inkludera kostnaden i slutprodukten för konsumenten

Tack för att ni lyssnade!

#Tack #VoK



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY