

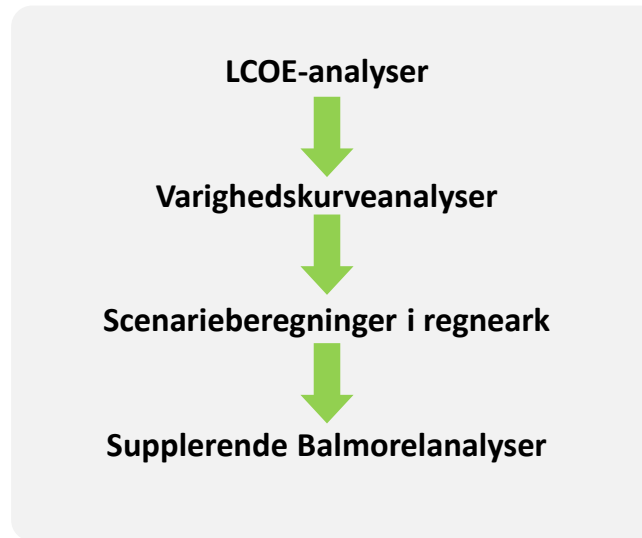
LCOE-analyser for fjernvarmeproduktion i hovedstadsområdet

Ea Energianalyse og PlanEnergi

16. august 2021

Screening af produktionsomkostninger for forskellige teknologier er første skridt i analyseproces

Analyseproces i FFH50:



Hovedforudsætninger:

- FFH50 Forudsætningsnotat
- Energistyrelsens teknologikatalog
- Opdaterede teknologidata for spildevands-, havvands, og højtemperaturvarmepumper
- Data for CCS-anlæg fra FFH50 sektorkoblingsgruppe

Metode

Beregning af langsigtede varmeproduktionsomkostninger (LCOE) er en komponent i regnearket som udvikles til systemanalyser i FFH50. Der beregnes systemomkostninger – varmepriser regnes senere i projektet som del af scenarier.

Der beregnes gennemsnitlige omkostninger per GJ leveret varme for hver teknologi opdelt på:

- Kapitalomkostninger
- Faste og variable drift- og vedligeholdelsesomkostninger (D&V)
- Energiomkostninger (køb af brændsel eller el)
- Indtægter fra elsalg
- Elnettariffer
- Afgifter
- Tilskud
- CO₂-kvoter
- CO₂ transport og lager

Teknologispecifikke værdier for elpris og COP-værdier beregnes i regneværktøjet efter antallet af fuldlasttimer.

Der er i analyseværktøjet valgt et sæt hovedparametre, som påvirker omkostningerne, og som nemt kan varieres mellem scenarier:

	Enhed	Valg
Årstal	år	2030
Rente	%	3,5%
Fuldlasttimer	timer	5000
Elpris scenarie	-	Elpris - Standard
Brændselsprisscenarie	-	Brændsel - Standard
CO2-kvoteomk. scenarie	-	CO2 - Standard
Eltarif scenarie	-	Standard
Temperaturniveau, Transmission	-	Reference: 115/55°C
Temperaturniveau, Distribution	-	Reference: 90/50°C
CO2 transport & lager omk. ved CCS	kr./ton	500
Scenarie negative emission-indtægt	-	Samme som CO2-kvoter

Teknologier og datakilder

Eksisterende teknologier

- Affaldskraftvarme
- Træpillekraftvarme
 - Med og uden levetidsforlængelse
- Fliskraftvarme

Virkningsgrader baseret på data fra FFH50

Anlægsomkostninger og D&V-omkostninger er baseret på Teknologikataloget

Nye teknologier

- Flis- og halmkedler
- Flis og halm kraftvarme
- El-, gas- og biooliekedler
- Varmepumper
 - Luft
 - Havvand på kraftvarmeværker
 - Havvand standalone anlæg
 - Spildevand
 - Drikkevand
 - Grundvand
 - Overskudsvarme
- Geotermi

Data for havvands-, drikkevand- grundvand- og spildevandsvarmepumper, CCS-anlæg og biooliekedler er fra FFH50.

Varmepumper kan enten placeres på distribution eller transmission. Det påvirker deres COP. Der er tilføjet et tillæg til investeringsomkostningerne ved placering på transmission (varmenettilslutning og højtemperaturteknologi).

Data for elkedler er fra både FFH50 og Teknologikataloget. Der er implementeret 2 typer elkedler, en afbrydelig og en uafbrydelig. Det påvirker tilslutningsomkostningen.

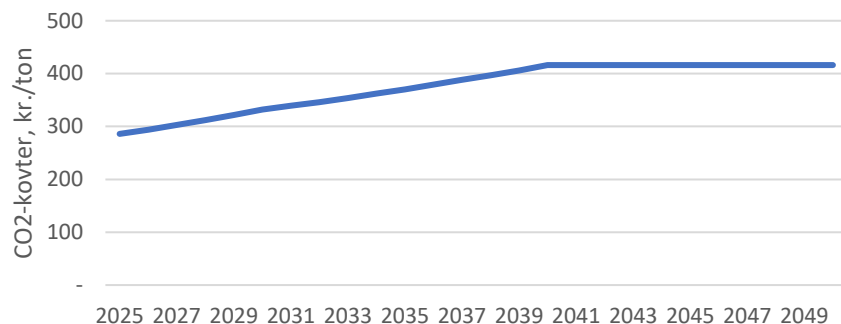
For øvrige teknologier anvendes data fra teknologikataloget.

Geotermidata efterbehandlet af FFH50 efter dialog med potentielle producenter.

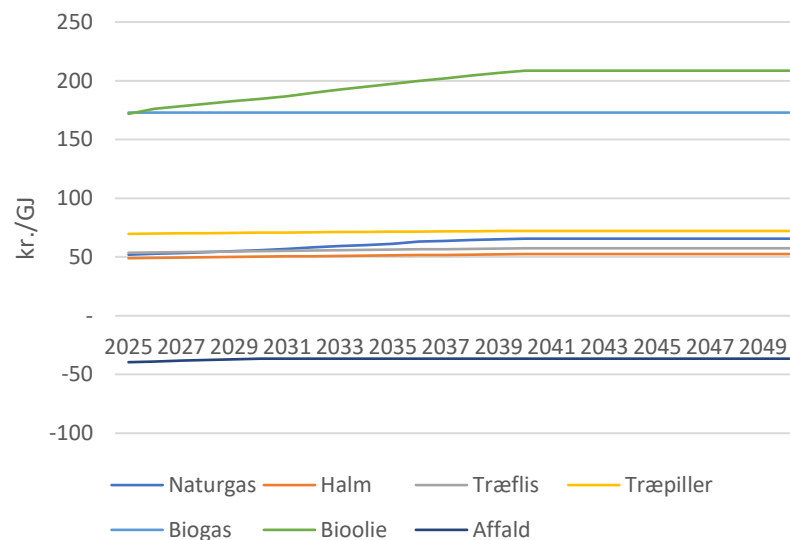
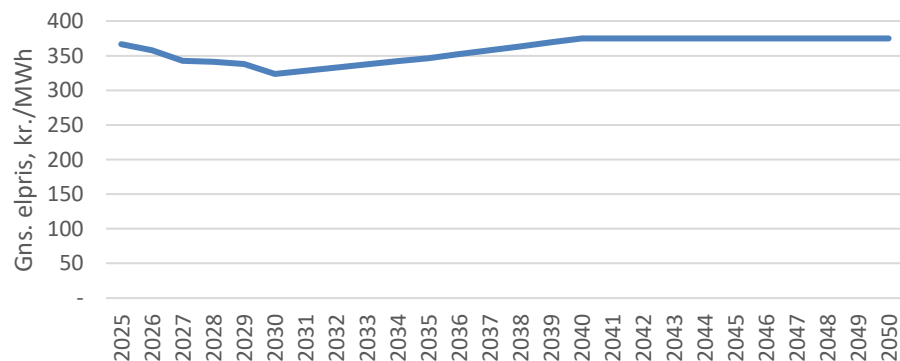
Eltilslutningsomkostningen for elkedler opdateret af FFH50 i henhold til nyeste takster.

Brændsels-, el- og CO₂-kvotepriser

CO₂



Elmarkedspris



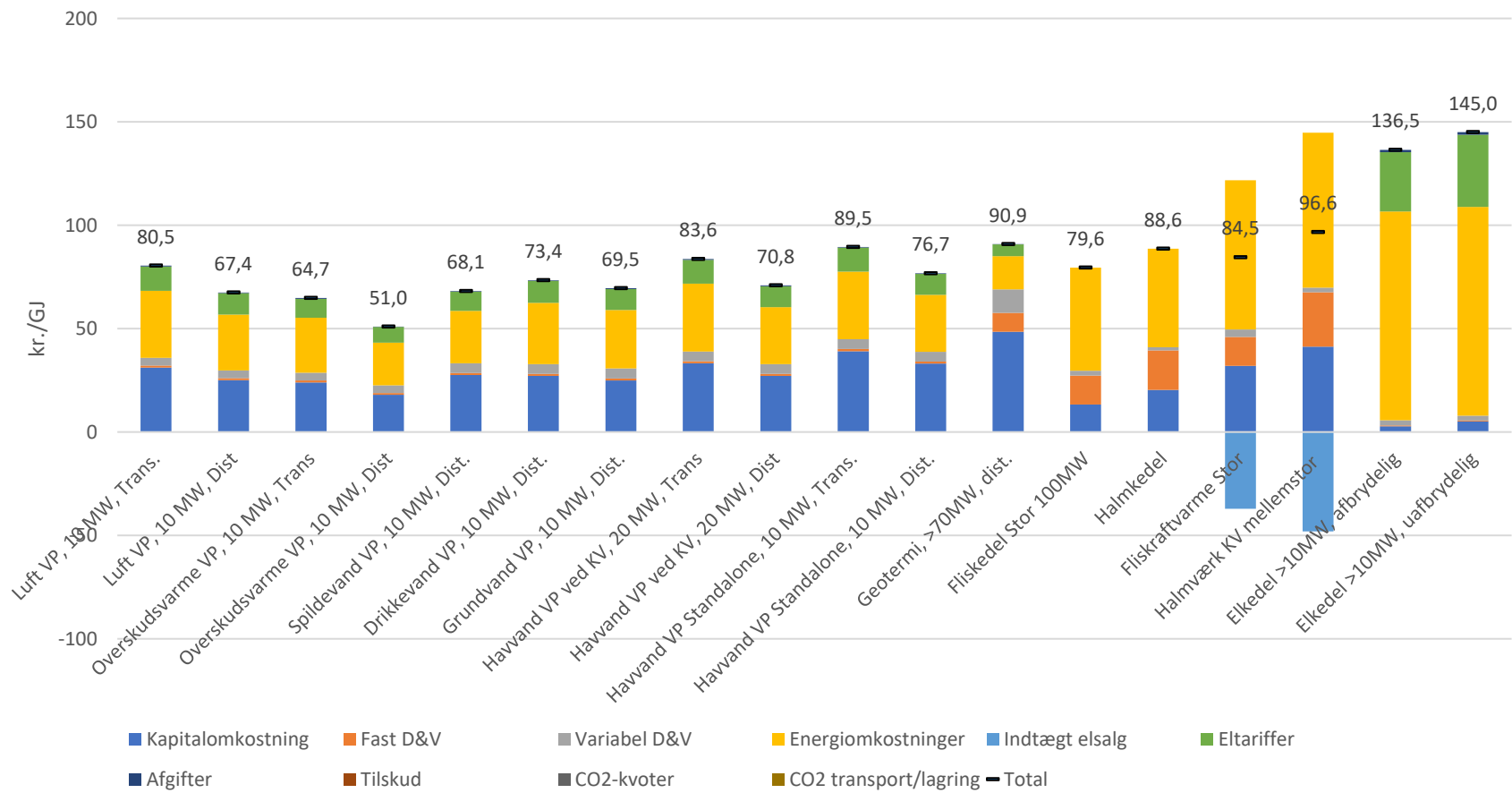
Elnettariffer regnes med at være på ca. samme niveau som i dag, dog:

- Opdelt på energi- og kapacitetstarif
- Energitarif er tidsvarierende
- Elkedler antages afbrydelige og derfor fritaget for transmissionskapacitetstarif

Under elpatronloven kan der opnås en nedsættelse af afgiften til gaskedler under visse vilkår. Der er her regnet med den nedsatte afgift på alle kedler. I praksis kan ikke alle gaskedler i fjernvarmesystemet i hovedstadsområdet opnå denne nedsættelse, men det er der ikke her taget hensyn til.

Screening af systemomkostninger 2050

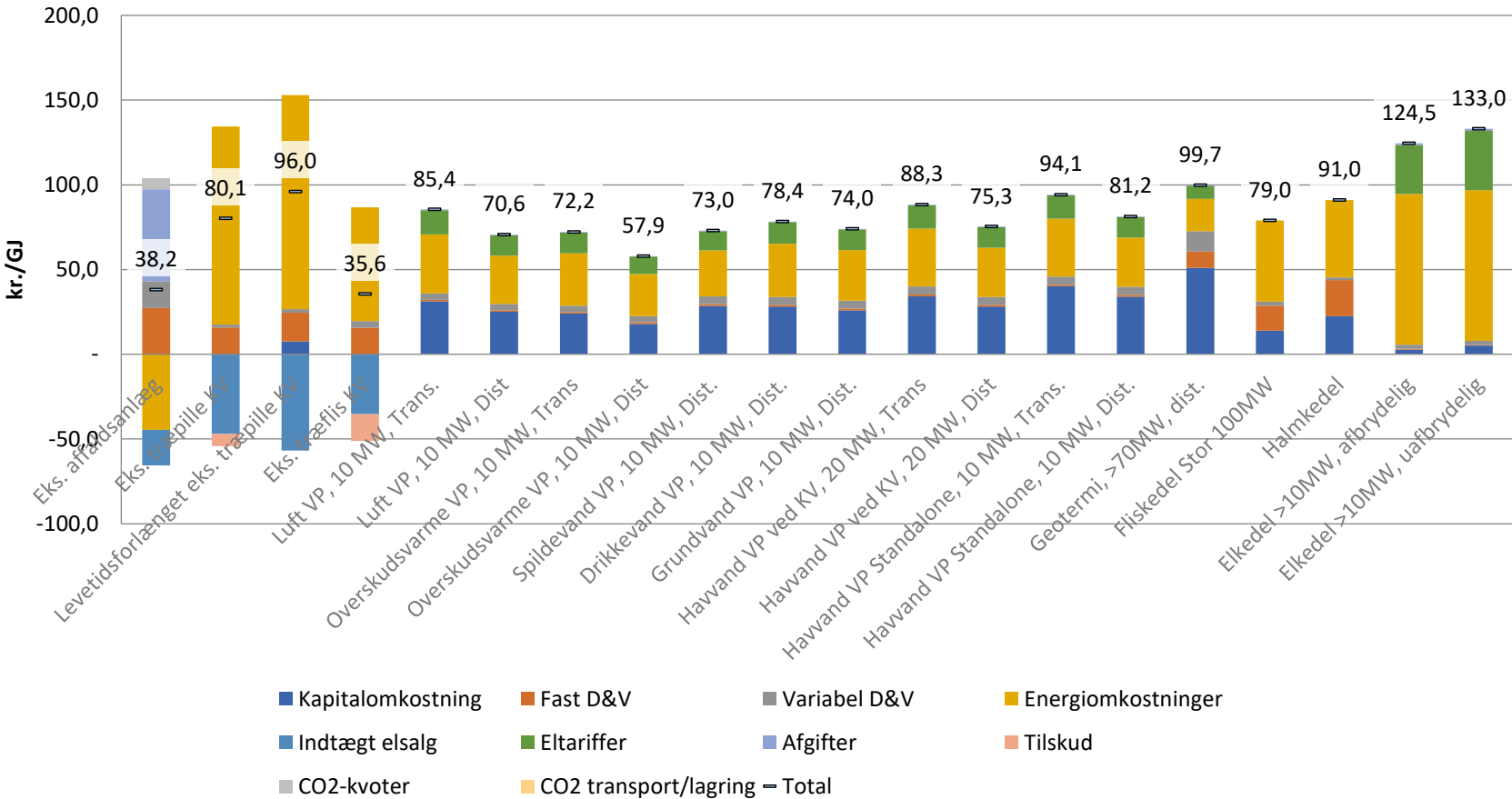
5.000 FLT (grundlast)



Beregningsår: 2030
Teknologiår: 2030
Rente: 3,5%
Trans. maks. temp.: 115/55°C
Dist. maks. temp.: 90/50 °C

Screening af systemomkostninger 2030

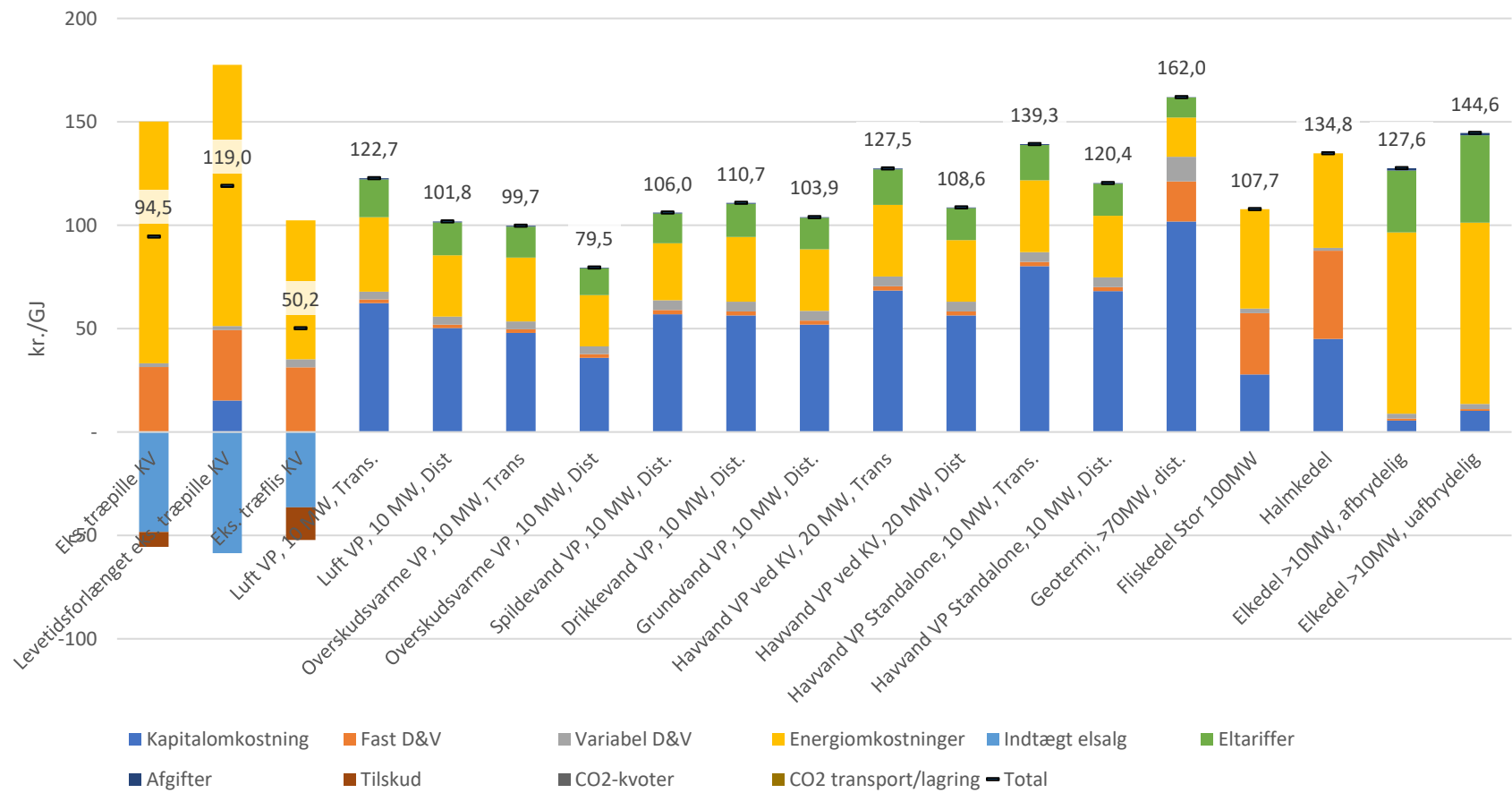
5.000 FLT (grundlast)



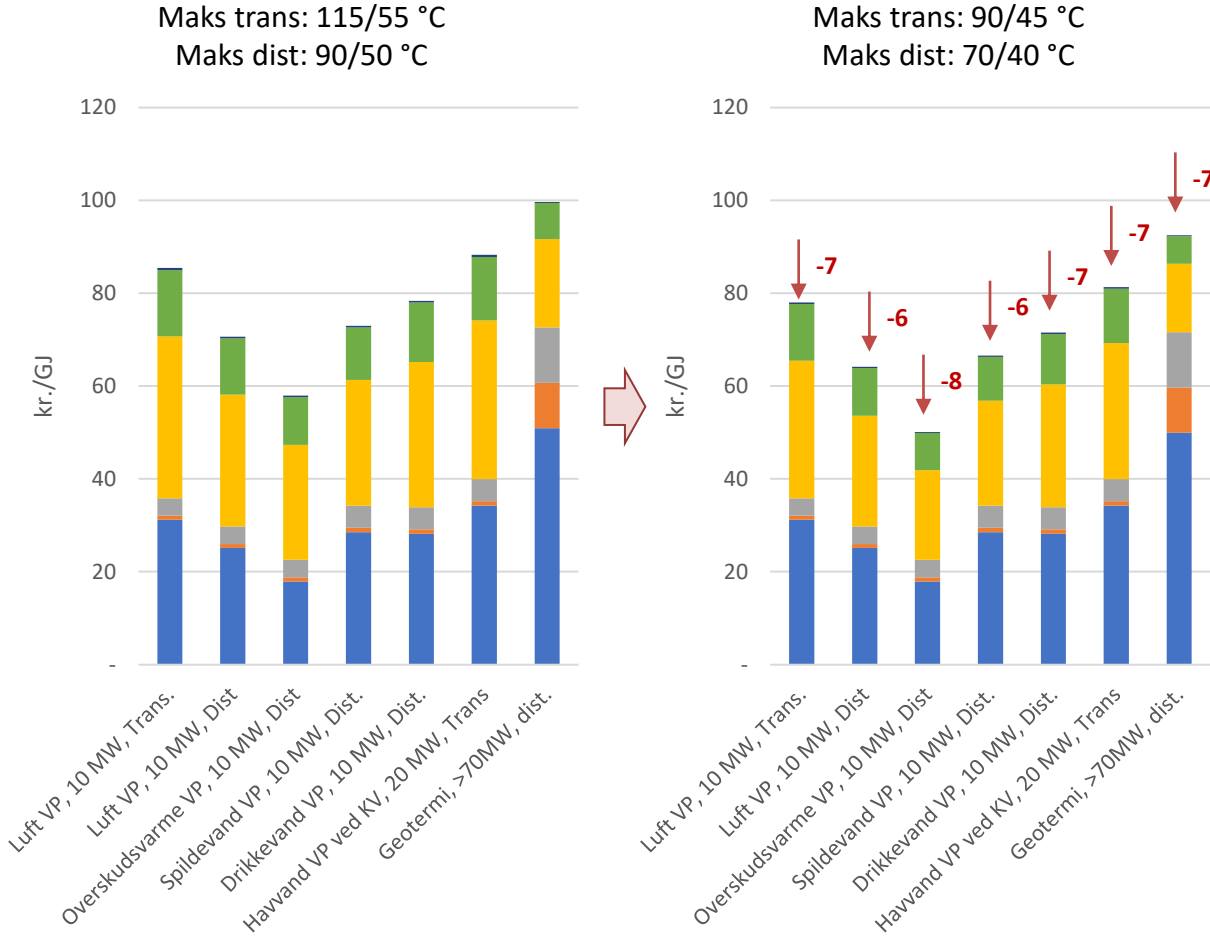
Beregningsår: 2030
Teknologiår: 2030
Rente: 3,5%
Trans. maks. temp.: 115/55°C
Dist. maks. temp.: 90/50 °C

Screening af systemomkostninger 2030

2.500 FLT (mellemlast)



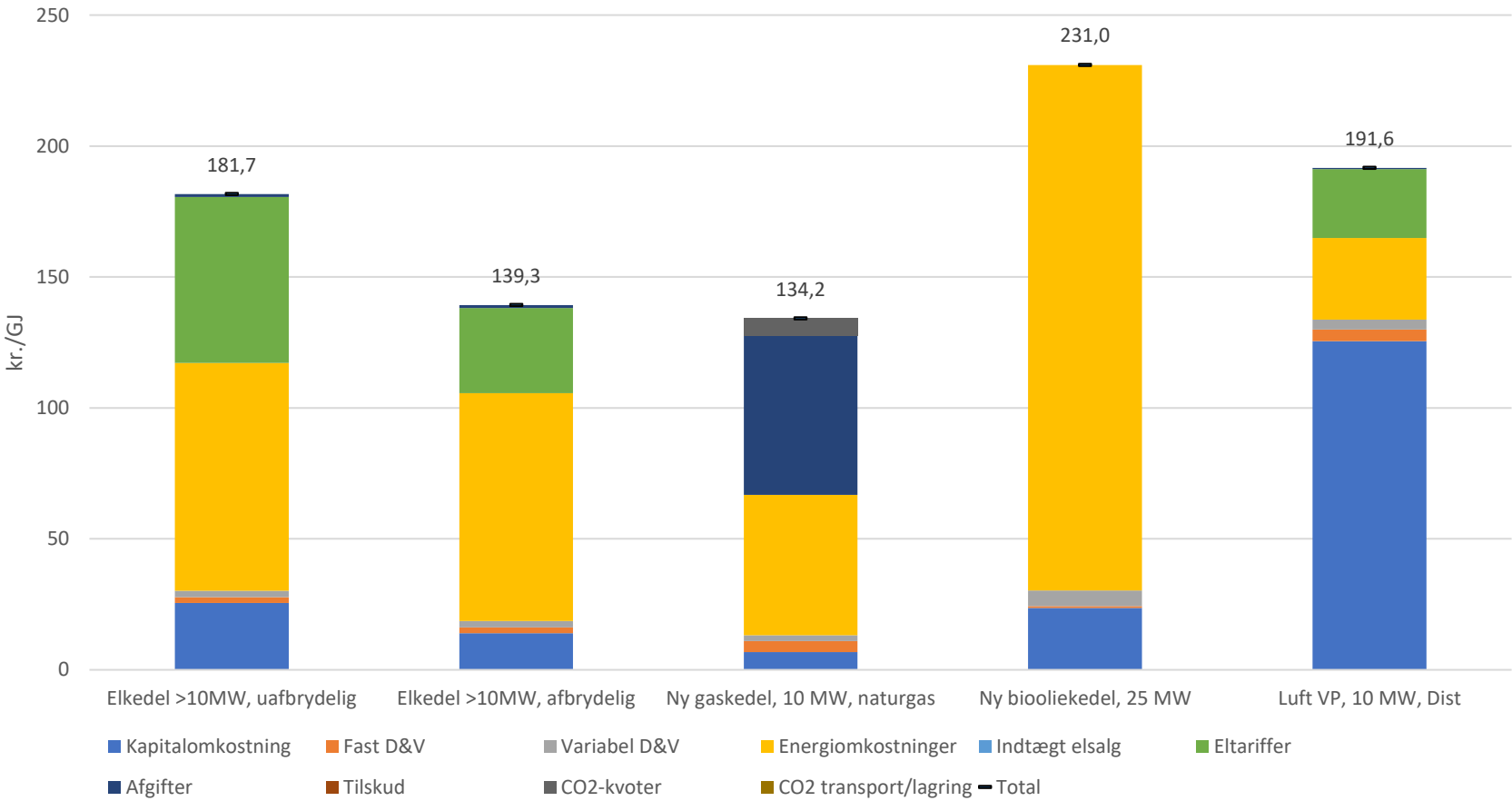
Screening af systemomkostninger ved forskellige fjernvarmenettemperaturer 2030 – 5.000 FLT



Beregningsår: 2030
Teknologiår: 2030
Rente: 3,5%
Trans. maks. temp.: 115/55°C
Dist. maks. temp.: 90/50 °C

Screening af systemomkostninger 2030

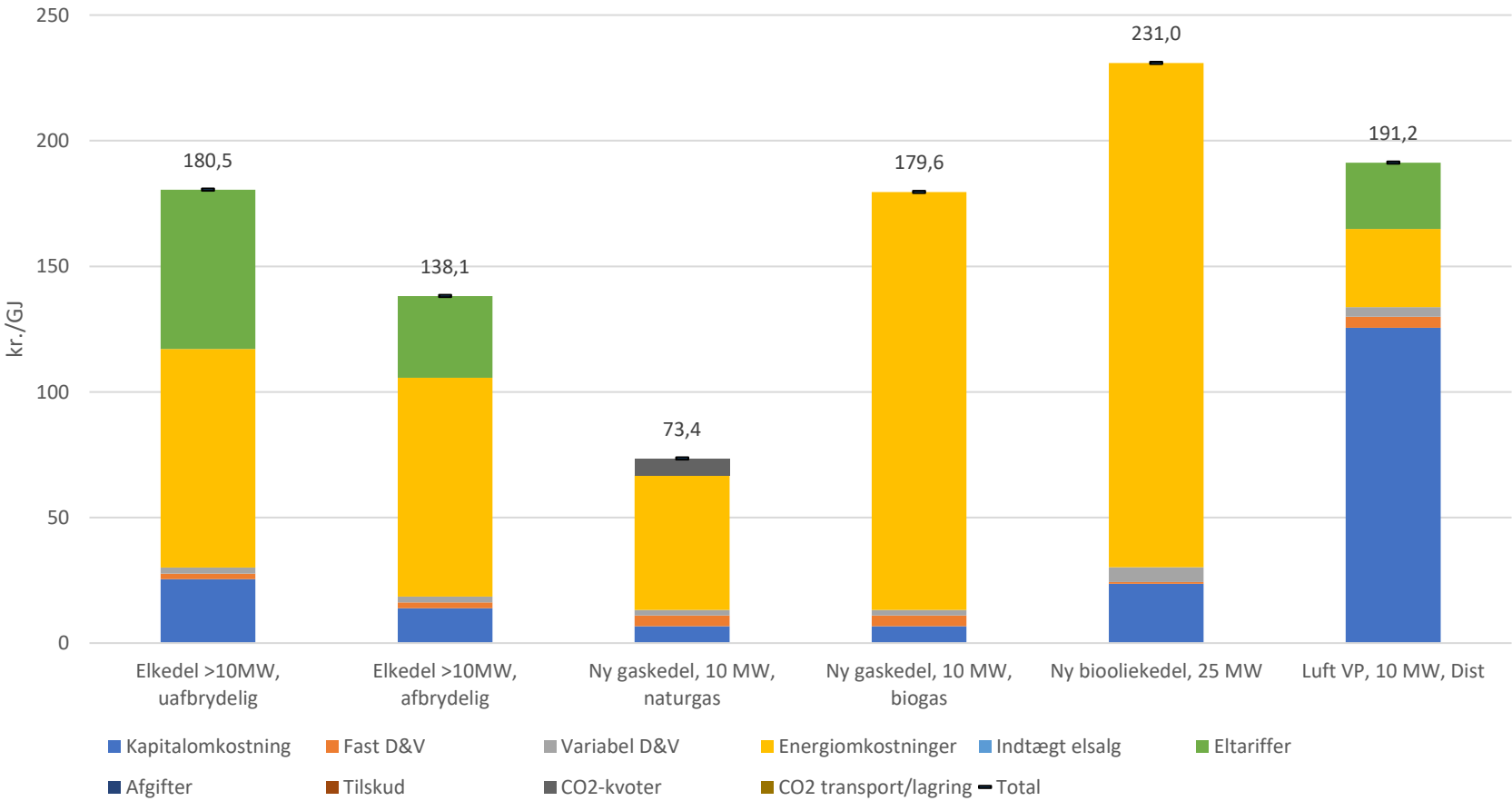
1.000 FLT (spidslast - privatøkonomi)



Beregningsår: 2030
Teknologiår: 2030
Rente: 3,5%
Trans. maks. temp.: 115/55°C
Dist. maks. temp.: 90/50 °C

Screening af systemomkostninger 2030

1.000 FLT (spidslast - samfundsøkonomi)



Carbon Capture and Storage (CCS)

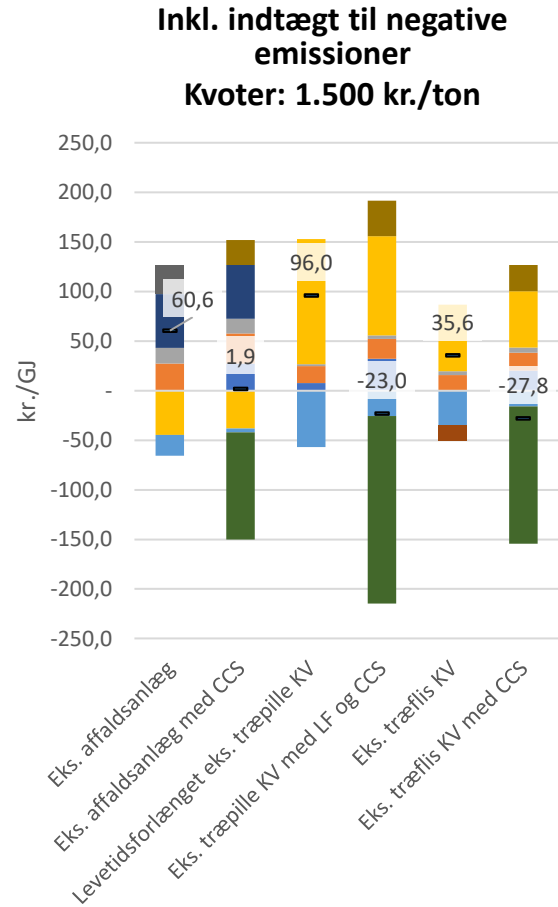
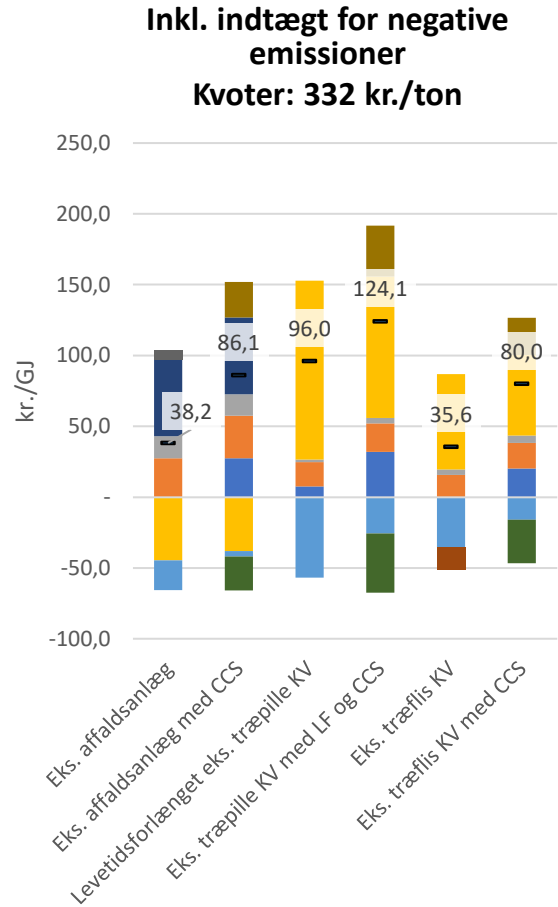
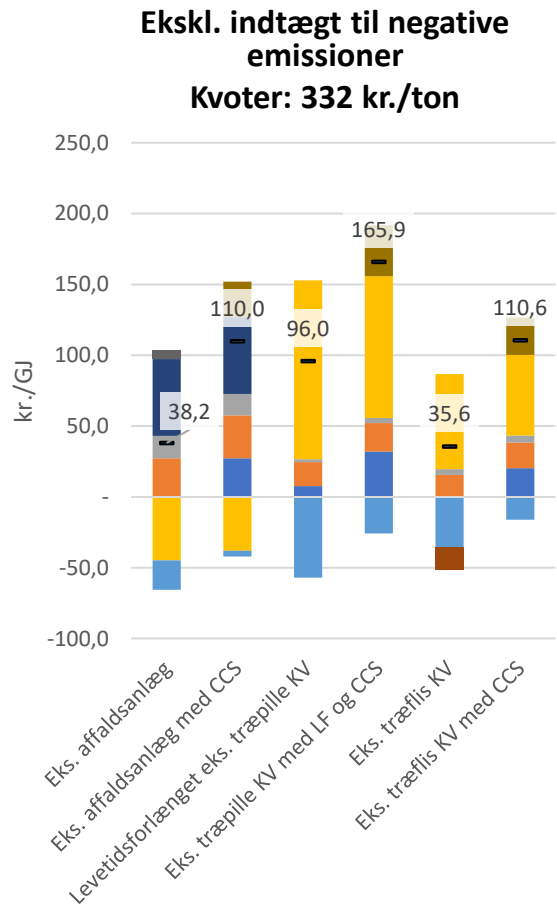
- Data for affalds- og biomasseanlæg er bl.a. opstillet på basis af input fra sektorkoblingsgruppen og Rambøll
- Data for de konkrete affalds- og biomasseanlæg med CCS og varmepumper er opstillet, og der regnes dermed på de konkrete anlæg med og uden CCS
- Der er vist variationer på omkostninger til transport og lagring
 - Lav omkostning ved etablering af rørledninger og transport til kystnært lager i Danmark – 285 kr./ton. er projektgruppen, Teknologi og Systems, best case vurdering baseret på Rambølls beregninger og forudsætter, at flere anlæg i hovedstadsområdet etablerer CCS og fælles rør-infrastruktur.
 - Højere omkostning ved skibstransport til lager i fx Nordsøen – 500 kr./ton
- Desuden er der vist variationer med forskelligt niveau for CO₂-kvotepris samt med og uden indregning af 1:1 gevinst ved reduktion af biogene emissioner (negative emissioner)
- For CCS-anlæg antages, at procesenergi kan tages direkte fra kraftvarmeanlægget, og at der derfor ikke betales afgifter eller elnettariffer. For affaldsanlæg regnes med gældende afgifter, dvs. at øget varmeproduktion fra CC pålægges samme afgifter.

Beregningsår: 2030
Teknologiår: 2030
Rente: 3,5%
Trans. maks. temp.: 115/55°C
Dist. maks. temp.: 90/50 °C

- CO2 transport/lagring
- Tilskud
- Eltariffer
- Energiomkostninger
- CO2-kvoter & negative emissioner
- Afgifter
- Indtægt elsalg
- Variabel D&V
- Kapitalomkostning

Screening af systemomkostninger 2030

5.000 FLT (CCS – transport og lager til 285 kr./ton)

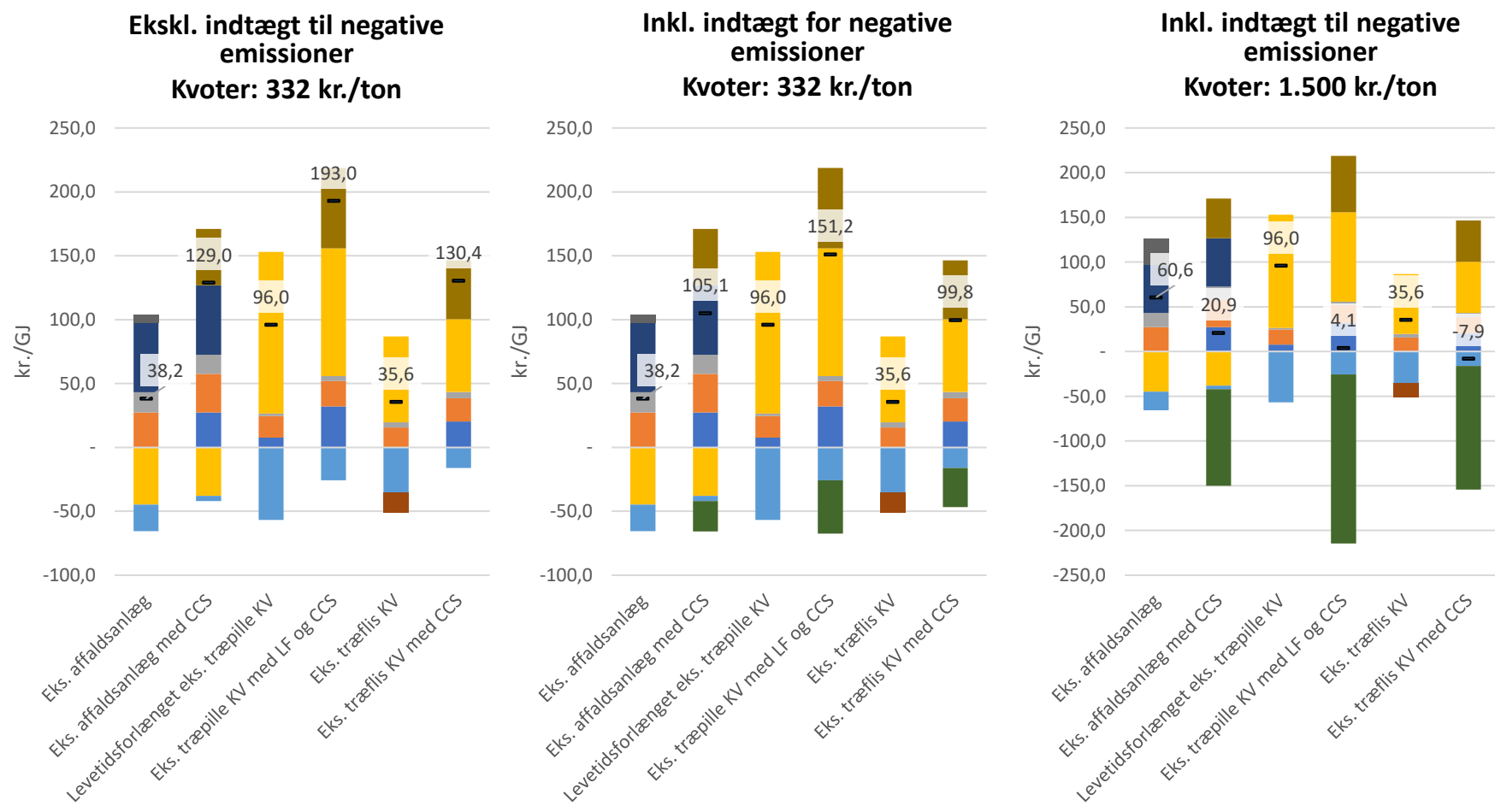


Beregningsår: 2030
Teknologiår: 2030
Rente: 3,5%
Trans. maks. temp.: 115/55°C
Dist. maks. temp.: 90/50 °C

- CO2 transport/lagring
- Tilskud
- Eltariffer
- Energiomkostninger
- CO2-kvoter & negative emissioner
- Afgifter
- Indtægt elsalg
- Variabel D&V
- Kapitalomkostning

Screening af systemomkostninger 2030

5.000 FLT (CCS – transport og lager til 500 kr./ton)



Opsamling

- For nye teknologier peger resultaterne på, at varmepumper i fremtiden vil være den billigste varmeproduktionsteknologi
- Nye biomasseanlæg har lidt højere omkostninger end varmepumper tilkoblet distributionsnettene, men lavere omkostninger end varmepumper tilkoblet transmissionsnettet
- Geotermi har højere omkostninger, også selvom stordriftsfordel ved mange geotermiboringer er indregnet for geotermi
- Varmepumper med gode varmekilder (fx industriel overskudsvarme) er mest gunstige, men potentialet er begrænset
- Også på kortere sigt kan varmepumper vise sig som en omkostningseffektiv teknologi, der ved kort afstand til fjernvarmenettet og gode varmekilder endog kan konkurrere med eksisterende biomasseanlæg
- Lavere nettemperaturer kan nedbringe varmeproduktionsomkostningerne
 - Fordel at tilslutte varmepumper på distributionsnettet
- Til grøn spidslast ser eldrevne teknologier ud til at have de laveste varmeproduktionsomkostninger
- Systemomkostninger for CCS på affalds- og biomasseanlæg er meget afhængige af den fremtidige udvikling af rammerne for prissætning af CO₂ fra fossile og biogene kilder

BILAG



Teknologiforudsætninger

Eksisterende teknologier

	Investering Mio. kr./MW _{ind}	Fast D&V kr./MW _{ind}	Variabel D&V kr./Gj _{ind}	Varmevirkningsgrad	Elvirkningsgrad
Eks. affaldsvarme ⁽¹⁾	-	402.900	12,9	82%	18%
Eks. træpille-KV ⁽²⁾	-	171.430	1,1	61%	30%
Levetidsforlænget træpille-KV ⁽⁴⁾	0,9	171.430	1,1	56%	34%
Eks. fliskraftvarme ⁽³⁾	-	246.100	3,2	82%	30%

(1) Middel af data for ARGO, VF og ARC

(2) Middel af data for AMV1, AVV1 og AVV2

(3) Middel af data for KKV8, AMV4

(4) Data for AVV2

Teknologiforudsætninger 2025

Nye teknologier (varmepumper)

	Investering Mkr./MW _{varme}	Fast D&V kr./MW _{varme}	Var. D&V kr./MWh _{varme}	Varmevirkningsgrad inkl. elforbrug til pumper ⁽¹⁾ 8760 FLT	Lorentz	Elforbrug til pumper % af MWh _{varme}	Levetid
Luft-vand varmepumpe på dist. (10 MW)	7,6 ⁽⁷⁾	16.020	13,5	326%	0,55	1,0%	25
Luft-vand varmepumpe på trans. (10 MW)	9,4 ⁽⁶⁾⁽⁷⁾	16.020	13,5	270%	0,55	1,0%	25
Havvandsvarmepumpe på KV på trans. (20 MW)	10,4 ⁽³⁾⁽⁶⁾	18.000	17,0	263%	0,58	3,3%	25
Havvandsvarmepumpe på KV på dist. (20 MW)	8,6 ⁽³⁾	18.000	17,0	317%	0,58	3,3%	25
Havvandsvarmepumpe stand alone på trans. (10 MW)	12,1 ⁽²⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾	18.000	17,0	263%	0,58	3,3%	25
Havvandsvarmepumpe stand alone på dist. (10 MW)	10,3 ⁽²⁾⁽⁷⁾	18.000	17,0	317%	0,58	3,3%	25
Spildevand på dist. (10 MW)	8,6 ⁽⁷⁾	18.000	17,0	331%	0,58	3,3%	25
Drikkevand på dist.	8,5 ⁽⁷⁾	18.000	17,0	281%	0,54	3,3%	25
Grundvand på dist.	7,8	18.000	17,0	295%	0,58	3,3%	25
Geotermi på dist. (>70 MW)	16,1 ⁽⁴⁾⁽⁷⁾	180.640	41,0	460% ⁽⁴⁾	0,50	4,0% ⁽⁵⁾	25
Industriel overskudsvarme VP på dist. (10 MW)	6,1 ⁽⁷⁾	16.020	13,5	357%	0,50	1,0%	25

(1) Trans. Maks temp: 115/55 grader. Dist. Maks. temp: 90/50 grader

(2) Der regnes her med 500 m havledninger til 30.000 kr./m.

(3) Der regnes med at havvandsudtaget fra kraftværket genbruges. Der er ikke havledninger.

(4) 12% af varmeproduktionen fra varmevekslere og resten fra varmepumpen.

(5) Varierer afhængig af temperatur niveauer

(6) Inkluderer 1,8 mio. kr./MW_{varme} for ekstra varmepumpekreds

(7) Inkluderer 0,75 mio. kr./MW_{varme} til fjernvarmetilslutning

Teknologiforudsætninger 2025

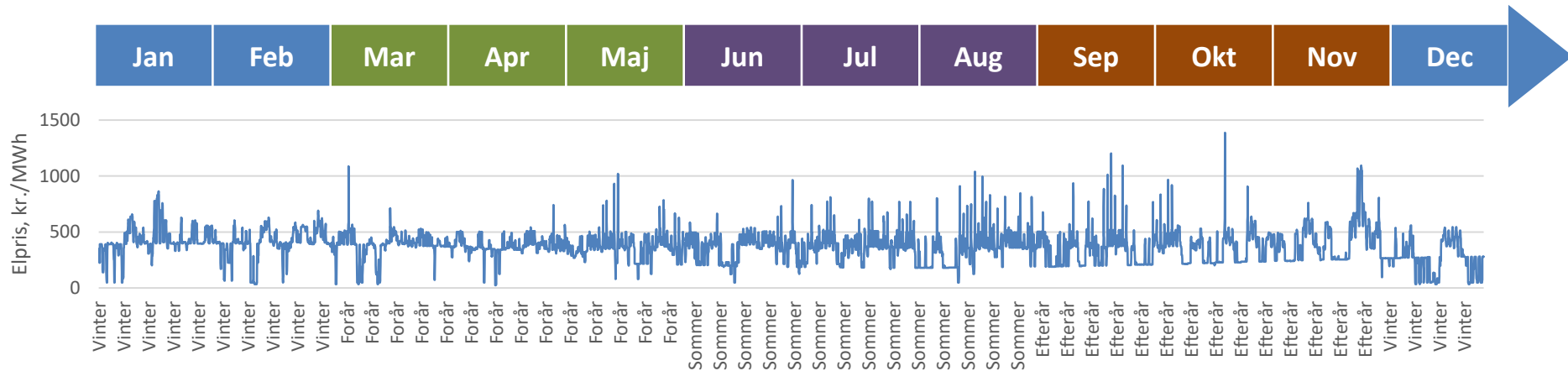
Nye teknologier (kedler)

	Investering Mio. kr./MW _{varme}	Fast D&V kr./Mw _{varme}	Variabel D&V kr./MWh _{varme}	Varmevirkningsgrad	Elvirkningsgrad
Afbrydelig elkedel (>10 MW)	0,7 ⁽¹⁾	8.600	8,6	99%	N/A
Uafbrydelig elkedel (>10 MW)	1,3 ⁽¹⁾	8.600	8,6	99%	N/A
Fliskedel (100 MW)	4,3 ⁽²⁾	276.800	9,6	115%	N/A
Træpillekedel	6,0 ⁽²⁾	262.000	4,3	101%	N/A
Halmkedel	6,8	395.300	5,3	103%	N/A
Gaskedel (10 MW)	0,5	15.600	8,0	103%	N/A
Biooliekedel (25 MW)	1,4	2.500	21,5	92%	N/A

(1) Investeringsomkostningerne for elkedler er især afhængig af afstanden til eltilslutningen.

(2) Inkl. lager til 10 dage.

Elpris i LCOE beregningen



Sæsonafhængighed

Gns. per sæson

Årsgns.	367 kr./MWh
Vinter	372 kr./MWh
Forår	374 kr./MWh
Sommer	353 kr./MWh
Efterår	366 kr./MWh



FLT	Vinter	Forår	Sommer	Efterår
500	81%	8%	4%	8%
1000	71%	11%	7%	11%
2000	58%	15%	13%	15%
3000	48%	18%	16%	18%
4000	42%	20%	19%	20%
5000	36%	21%	21%	21%
6000	33%	23%	22%	23%
7000	29%	24%	23%	24%
8000	27%	24%	24%	24%

5000 FLT

→ 369 kr./MWh



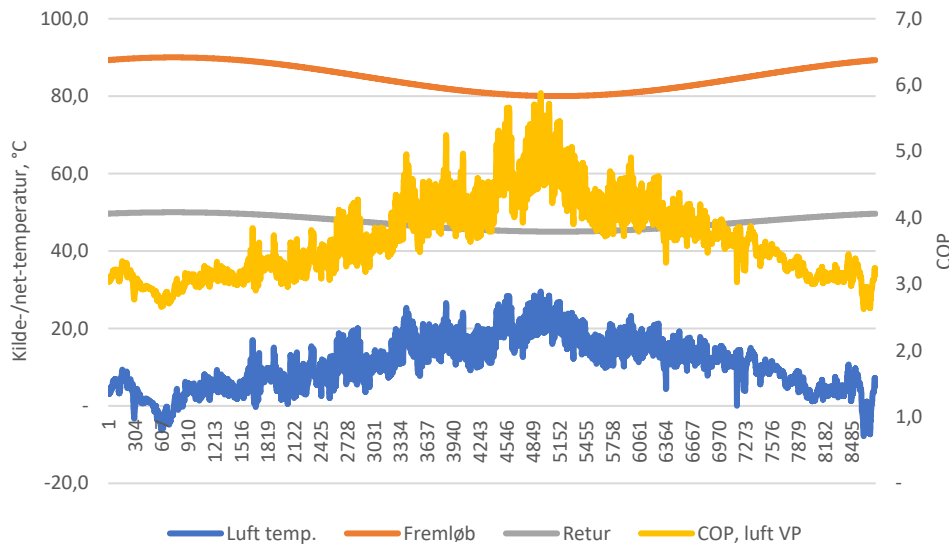
Driftoptimering

FLT	Elprod.	Elforb.
500	10%	-5%
1.000	9%	-4%
2.000	8%	-4%
3.000	7%	-3%
4.000	5%	-3%
5.000	4%	-2%
6.000	3%	-1%
7.000	2%	-1%
8.000	0%	0%

Elproducent
384 kr./MWh

Elforbruger
361 kr./MWh

COP'en i LCOE beregningen



Den teoretiske COP for hver time af et år baseret på forventet kilde- og nettemperaturer. Derefter ganges den forventet Lorentz virkningsgrad for den givne teknologi.

Det forventes at antallet af fuldlasttimer vil påvirke den opnået COP. Der anvendes følgende metode til beregning af COP som funktion af antallet af fuldlasttimer:

1. Antallet af driftstimer per sæson beregnes
2. Den gns. COP beregnes ud fra den forventede COP i dette antal **koldeste** timer i hver sæson.
3. Den vægtede COP beregnes.

Elforbrug til pumper tillægges efterfølgende.

Herunder beskrives trinene ved at beregne COP'en til LCOE beregningen for en 10 MW varmepumpe tilsluttet distributionsnettet med en Lorentz virkningsgrad på 0,55.

Denne varmepumper har en års gns. COP på 3,37 eks. pumper (8760 FLT)

Driftstabellen

FLT	Vinter	Forår	Sommer	Efterår
500	81%	8%	4%	8%
1000	71%	11%	7%	11%
2000	58%	15%	13%	15%
3000	48%	18%	16%	18%
4000	42%	20%	19%	20%
5000	36%	21%	21%	21%
6000	33%	23%	22%	23%
7000	29%	24%	23%	24%
8000	27%	24%	24%	24%

Antal driftstimer per sæson ved 5.000 FLT:

Vinter:	1820
Forår:	1070
Sommer:	1030
Efterår:	1070

10 MW Luft-VP (Dist.) med Lorentz virkningsgrad på 0,55.

Vinter:	2,76
Forår:	2,96
Sommer:	3,71
Efterår:	3,18
Vægtet COP (eks. pumper)	3,09

Elforbrug til pumper
1%/MWh_{varme}

**COP til LCOE:
3,00**

