

Marts 2021

FREMTIDENS FJERNVARMEFORSYNING I HOVEDSTADSOMRÅDET 2050

DELOPGAVE 1E – SEKTORKOBLING

AFFALDSKOBLING



INDHOLD

1.	Introduktion	1
1.1	Varme fra termisk affaldsbehandling	1
2.	Sammenfatning og resume	2
2.1	Varmeproduktion	2
2.2	Affaldssortering og CO ₂ emission	3
2.3	CO ₂ fangst og lagring (CCS)	4
3.	Eksisterende termisk affaldsbehandling	5
3.1	ARC	5
3.2	ARGO	6
3.3	Vestforbrænding	6
3.4	Varmeproduktion fra affaldsenergianlæg	7
3.5	CO ₂ emission fra affaldsenergianlæg	7
4.	Fremtidig varmereproduktion fra termisk affaldsbehandling	9
4.1	Reduceret affaldsmængde	9
4.1.1	Frem til 2030	9
4.1.2	2030 - 2050	11
4.1.3	Fremtidig varmereproduktion	11
4.2	Betydning ved CCS	12
4.2.1	Aminteknik og energiforhold	12
4.2.2	Liquefaction	13
4.2.3	Samlet varmereproduktion med CCS	14
4.3	Sammenfatning af fremtidig varmereproduktion	17
4.4	Scenarieperspektivering af fremtidig varmereproduktion	18
5.	Udvikling i fossil CO₂ emission	20
5.1	Ændret affaldssammensætning	20
5.1.1	Sammensætning af affald	20
5.1.2	Effekt af udsortering	21
5.1.3	CO ₂ emission ved ændret affaldssammensætning	23
5.2	CCS	24
5.3	Netto fossil CO ₂ emission ved CCS og sortering	24

Udarbejdet af **KIMB**
 Kontrolleret af **THC**
 Godkendt af **THC**

1. INTRODUKTION

Fjernvarmesektoren i Danmark står over for at skulle gennemføre forskellige omstillingsprocesser, hvor varmeproduktion baseret på fossile brændsler udfases, eller på anden måde sikre, at varmeforsyningen tilvejebringes med reduceret CO₂ udledning til følge.

De fire selskaber VEKS, CTR, Vestforbrænding og HOFOR, der alle producerer og/eller distribuerer fjernvarme til hovedstadsområdet, har derfor iværksat et tværgående samarbejde med det formål at skitsere, hvorledes den fremtidige fjernvarmeforsyning i Hovedstadsområdet kan forventes udviklet.

I skitseringen af den fremtidige fjernvarmeforsyning-/distribution ønskes belyst, hvorledes og i hvilken udstrækning ændrede rammevilkår for fjernvarmeproduktionen vil påvirke varmeproduktion, og det skal således beskrives, hvorledes ændrede vilkår for elforsyning, termisk affaldsbehandling, produktion af E-fuels og CO₂ fangst på termiske anlæg, kan komme til at influere på den fremtidige fjernvarmeforsyning i hovedstadsområdet.

I nærværende notat belyses, hvorledes ændrede rammevilkår for den termiske affaldsbehandling kan komme til at påvirke fjernvarmeforsyningen i hovedstadsområdet. De øvrige forhold med elforsyning, produktion af E-fuels og CO₂ fangst på termiske anlæg behandles i selvstændige noter.

1.1 Varme fra termisk affaldsbehandling

Fjernvarmeforsyningen i hovedstadsområdet fødes i dag i høj grad med varme fra termisk affaldsbehandling ved kraftvarmeproduktion og varme fra kraftvarmeproduktion baseret på både fossile og biogene brændsler. Varmen fra de termiske affaldsbehandlingsanlæg fungerer i dag i høj grad som grundlast for fjernvarmeforsyningerne, idet behovet for affaldsbehandling, og dermed varmeproduktion, er nogenlunde konstant over året.

Der er i dag tre anlæg med termisk affaldsbehandling, der producerer og leverer fjernvarme til fjernvarmeforsyningen i hovedstadsområdet nemlig ARC og Vestforbrænding i København og ARGO i Roskilde. Udover disse tre anlæg, er der også perifere berøringsflader til Norfors i Hørsholm, der leverer fjernvarme til eget fjernvarmenet. Denne berøringsflade er dog af mindre betydning og varmen til/fra Norfors inkluderes ikke videre i nærværende betragtninger.

Mængden af varme fra termisk affaldsbehandling afhænger af mængden af affald der behandles. Forskellige forudsigelser og politiske udmeldinger om det fremtidige behov for termisk affaldsbehandling, som følge af tiltag for øget genanvendelse og udsortering af delfraktioner af affald, influerer derfor på den fremtidige forventede varmeproduktion på affaldsenergianlæg. Videre vil tiltag som øget anvendelse af røggaskondensering og etablering af CO₂ fangstanlæg på anlægene til termisk affaldsbehandling medvirke til, at varmeproduktionen forøges relativt i forhold til de behandlede affaldsmængder.

I nærværende notat gives en kort redegørelse af hvilken varmeproduktion, der i dag eksisterer fra de tre førnævnte anlæg til termisk affaldsbehandling, og der redegøres kort for, hvorledes denne varmeproduktion kan forventes ændret som følge af forskellige politiske beslutninger.

2. SAMMENFATNING OG RESUME

2.1 Varmeproduktion

Der leveres varme fra termisk affaldsbehandling til fjernvarmenettet i hovedstadsområdet fra ARC og Vestforbrænding i København og ARGO i Roskilde fra i alt 6 ovnlinjer, og den samlede fjernvarmeproduktion fra de tre anlæg er i dag ca. 430 MW (uden røggaskondensering). I takt med at varmebehovet stiger i hovedstadens fjernvarmenet, kan røggaskondensering successivt slås til, og den samlede varmeproduktion bliver således ca. 493 MW. De tre anlæg besidder i dag en samlet affaldsbehandlingskapacitet på ca. 1,4 mio. ton affald.

Med den politiske aftale af 16. juni 2020 "Klimaplan for en grøn affaldssektor og cirkulær økonomi" er politisk udtrykt, at affaldsmængderne til forbrænding ønskes reduceret. Forbrændingskapaciteten ønskes derfor reduceres frem mod 2030 med 30 %, således at i 2030 kun rådes over en affaldsbehandlingskapacitet i Danmark på 2,8 mio. ton årligt.

De tre affaldsenergianlæg behandler i dag affald fra et meget stort affaldsopland, og ved en national kapacitetsreduktion på 30 % som følge af politiske planer og vigende affaldsproduktion forudsættes dette også at slå gennem på de affaldsoplande, der i dag leverer affald til de tre anlæg.

Der opstilles forskellige udfald for, hvorledes affalds-/kapacitetsreduktionen kan udmøntes for de tre anlæg. Kommunernes Landsforenings (KL) udsendte d. 18. december deres forslag til en kapacitetsreduktion. Forslaget, som var aktuelt da denne rapport blev udarbejdet, er et af de mulige udfald.

På baggrund af de forskellige opstillede udfald for den fremtidige produktion, beregnes varmeproduktionen under varierende forudsætning om etablering af CO₂ fangst og lagring (CCS), og der opstilles følgende tre scenarier for den fremtidige varmeproduktion fra affaldsenergianlæg, der leverer varme til fjernvarmenettet i hovedstadsområdet for henholdsvis 2030 og 2050. I 2025 antages det, at situationen er nogenlunde uændret i forhold til i dag, da ændringer i f.eks. affaldsmængderne gennem øget sortering eller mindske importaffald, først forventes at kunne slå igennem for alvor mellem 2025 og 2030.

Scenarie 1. Lav varmeproduktion

Ved lav varmeproduktion forudsættes for 2030, at kapaciteten på de tre affaldsenergianlæg reduceres uden etablering af CCS med tilhørende varmegenvinding. For 2050 antages yderligere kapacitetsreduktion således, at udelukkende to af de nyeste ovnlinjer driftes

Scenarie 2. Middel varmeproduktion

Som scenarie for middel varmeproduktion opstilles og beregnes middelværdien af en række scenarier, hvor 4-6 ovnlinjer driftes, og hvor der med reducerede ovnlinjer i drift forudsættes etablering af CCS. For 2050 antages yderligere en kapacitetsreduktion således, at det eksempelvis udelukkende er de tre nyeste ovnlinjer der driftes, og det forudsættes, at der er etableret CCS med varmegenvinding på alle tre linjer.

Scenarie 3. Høj varmeproduktion

Ved høj varmeproduktion forudsættes for 2030, at kapaciteten er reduceret til 70 % for hele Sjælland, men at produktionskapaciteten på de tre affaldsenergianlæg opretholdes grundet bedre forhold for etablering af CCS på disse anlæg. For 2050 antages affaldsmængderne dog reduceret så meget, at det oprindelige mål for kapacitetsreduktion i 2030 kan indfris, hvormed det høje scenarie for 2050 bliver identisk med middelscenariet (varmeproduktionsmæssigt) i 2030.

For hver af de tre scenarier er det muligt at øge varmeproduktionen med røggaskondensering, om end etablering af CCS båndlægger denne noget. I nedenstående tabel ses en oversigt over varmeproduktionen i de forskellige scenarier.

Scenarie	Enhed	2030		2050	
		Varme	RGK	Varme	RGK

Lav	MW	300	45	170	20
Middel	MW	425	46	292	20
Høj	MW	582	31	425	46

I forhold til tabellen ovenfor skal bemærkes, at varmeproduktionen i søjlen med "varme" kun kan ændres hen over en sommerperiode eller lignende, hvis driften på en eller flere ovnlinjer reduceres eller indstilles helt eksempelvis ved revision på en ovnlinje. Varmeproduktionen i søjlen med "RGK" viser hvilken tillægsvarmeproduktion, der kan opnås med røggaskondensering.

2.2 Affaldssortering og CO₂ emission

Ved termisk behandling af affald udskilles CO₂ fra processerne og mængden og sammensætningen (biogent/fossilt) af CO₂ er stærkt afhængig af affaldets sammensætning. Den gennemsnitlige brændværdi på det affald, der blev behandlet af de tre anlæg i 2019, kan beregnes til ca. 10,4 GJ/t, og affald med denne brændværdi vil afgive ca. 1,0 ton CO₂ pr. ton affald der behandles.

Fordelingen mellem biogenbaseret CO₂ og CO₂ af fossil oprindelse påvirkes i væsentlig grad af affaldets indhold af plastic, og erfaringsmæssigt varierer indholdet af den emitterede CO₂ af fossil oprindelse med den nuværende erfarede affaldssammensætning i Danmark mellem 30 og 50 %. Der anvendes følgende et gennemsnit på 40 % i nærværende beregninger.

Ved udsortering af energirige affaldsfraktioner fra det forbrændingsegnete affald som eksempelvis plast, vil brændværdien af det resterende affald falde og hvilket også vil være tilfældet for affaldets indhold af fossilt CO₂. På tilsvarende vis vil udsortering af eksempelvis kildesorteret organisk dagrenovation (KOD) fra det forbrændingsegnete affald medføre en stigning i brændværdien af det resterende affald, ligesom også indholdet af fossilt CO₂ vil stige (alt andet lige).

Ved udsortering af KOD fra den mængde affald de tre anlæg kan behandle (1,4 mio. ton årligt) kan beregnes, at affaldsmængden reduceres fra 1,4 mio. ton til 1,1 mio. ton årligt, samtidig med at brændværdien stiger til 12,5 GJ/t. Det betyder, at den affaldets energiindhold "kun" reduceres med 6 %, hvorfor udsortering af KOD kun har en ringe effekt på det termiske affaldsbehandlingsbehov.

Hvis det omvendt forudsættes, at der udsorteres plast fra den mængde affald de tre anlæg kan behandle (1,4 mio. ton årligt), kan beregnes at affaldsmængden reduceres fra 1,4 mio. ton til 1,3 mio. ton årligt, men brændværdien reduceres til 8,4 GJ/t. Det betyder så, at affaldets energiindhold reduceres markant, og det ses således, at udsortering af plast har meget stor effekt på det termiske affaldsbehandlingsbehov.

Hvis det antages, at både KOD og plastic fjernes i det omfang beskrevet ovenfor, reduceres den samlede mængde af affald på 1,4 mio. ton årligt til ca. 1,0 mio. ton svarende til en reduktion i affaldsmængden på ca. 29 % og affaldets gennemsnitlige brændværdi vil, under de samme betingelser blive reduceret fra 10,4 GJ/t til ca. 10,1 GJ/t.

Som det fremgår af ovenstående, kan det være vanskeligt at forudsige, hvorledes den fremtidige brændværdi af affaldet vil ændres i takt med, at der successivt udsorteres stigende mængde, og variationer på +/- 2 GJ/t synes ikke urimeligt.

Hvis det antages, at både KOD og plastic fjernes i det omfang, der er beskrevet ovenfor, vil indhold af CO₂ pr ton affald blive ændret fra 1000 kg/ton affald til 1027 kg/ton affald. En stigning i affaldets indhold af CO₂ på ca. 3 % kan synes paradoks, men stigning er et resultat af, at udsortering af KOD medfører, at CO₂ indholdet i det residuale affald stiger, da KOD indeholder relativt mindre CO₂ pr. kg end gennemsnitsaffaldet.

Da der tillige fjernes plast fra affaldet, reduceres affaldets fossile indhold markant, og fordelingen mellem fossil og biogent CO₂ ændres fra 50:50 til 26:74, således, at et ton affald fremadrettet kun vil emitte 270 kg fossilt CO₂.

2.3 CO₂ fangst og lagring (CCS)

En anden og mere effektiv måde at fjerne CO₂ fra den termiske affaldsbehandling er at underkaste røggassen CO₂ fangst og lagring (CCS). Effektiviteten af et CO₂ fangstanlæg bevirker, at der typisk fjernes 85 % af røggassens samlede indhold af CO₂ (biogent og fossilt)

Da den fangede mængde CO₂ (85 %) udgør en meget større andel end den fossile del af røggassens CO₂ indhold, medfører etablering af CCS, at et affaldsenergianlæg de facto fjerner CO₂ fra atmosfæren.

Det kan således beregnes, at der i dag uden CCS må forventes en udledning af fossilt CO₂ på 0,56 Mt årligt, og at dette tal kun kan forventes reduceret til ca. 0,27 Mton årligt hvis den beskrevne udsortering, der både er meget omfattende og meget ambitiøs, gennemføres. Hvis der derimod etableres CCS på de tre affaldsenergianlæg i dag ændres udledning af CO₂ til -0,35 Mton årligt.

CO₂ emissionsreduktionen ved etablering af CCS er således ca. 3 gange større end ved alene at satse på udsortering af KOD og plastic.

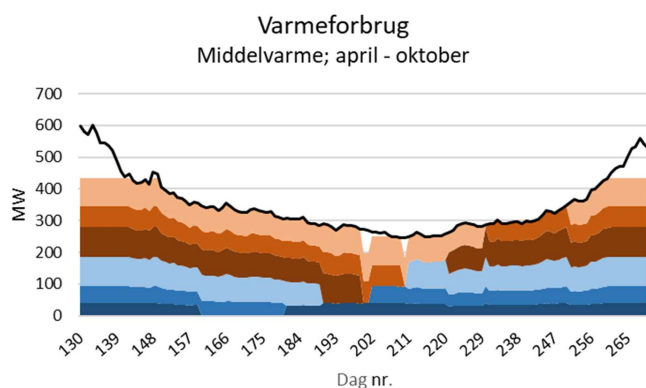
3. EKSISTERENDE TERMISK AFFALDSBEHANDLING

Der leveres varme fra termisk affaldsbehandling til fjernvarmenettet i hovedstadsområdet fra ARC og Vestforbrænding i København og ARGO i Roskilde. Anlæggene råder over i alt 6 ovnlinjer til affaldsbehandling, og anlæggene leverer fjernvarme til forskellige dele af hovedstadens samlede fjernvarmenet.

ARC leverer primært fjernvarme til CTR og ARGO leverer til VEKS, mens Vestforbrænding kan levere til både CTR og VEKS samt til sit eget fjernvarmenet. Vestforbrænding har herudover videre mulighed for at levere varme til række omegnskommuner, hvilket dog ikke er inkluderet i nærværende betragtninger.

Den samlede fjernvarmeproduktion fra de tre anlæg er i dag ca. 430 MW (uden røggaskondensering), hvilket overstiger den typiske maksimale sommerafsætning af fjernvarme, hvorfor de tre anlæg foretager en gensidige koordinerede produktionstilpasning og revision af de enkelte ovnlinjer over en periode på 3-4 måneder om sommeren, hvormed varmeproduktionen reduceres med 50-100 MW. Der kan derfor sommeren igennem maksimalt produceres 340-390 MW, og når varmebehovet i varme somre understiger dette niveau, reduceres lasten kollektivt på de ovnlinjer, der er i drift.

I [figur 1](#) ses et eksempel på, hvorledes denne gensidige koordinering af drift, revisioner og lasttilpasning i sommerperioden medfører, at varmemarked er fuldt ud udnyttet med varme fra affaldsenergianlæg. Kurven viser middelvarmeforbruget i perioden april til oktober for 2010-2019.



Figur 1 Eksempel på gensidige koordinering af drift og revisioner samt lasttilpasninger i hovedstadsområdet.

I det følgende gives en kort præsentation af de enkelte anlægs og deres ovnlinjer med hensyn til affaldsbehandling og varmeproduktion.

3.1 ARC

Amager Ressourcecenters (ARC) anlæg ligger i København, og anlægget har to ovnlinjer med etableret røggaskondensering. En oversigt over ovnlinjerne og deres karakteristika ses i [tabel 1](#).

For ARCs anlæg gælder specielt, at anlægget med én ovnlinje i drift er nødsaget til at drifte denne med direkte røggaskondensering og delvist med drift af varmepumperne således, at anlægget kan producere vand til eget forbrug. Dette betyder så, at varmeproduktionen ikke fordobles, når ovnlinje nr. 2 sættes i drift, da dette kan ske uden yderligere drift af kondenseringsenhederne. Varmeproduktionen ved idriftsættelse af to ovnlinjer stiger således "kun" fra 93 MW til

170 MW (begge ved fuldlast). Effekten af røggaskondenseringen på 20 MW repræsenterer således den yderligere varme, der kan produceres i forhold til den tvangsdriftede røggaskondensering.

Ovnlíne	Byg- geår	Renov./ opgrad.	Type	Installe- ret kapa- citet	Nominel brænd- værdi	FV-effekt uden røg- gas-kond.	FV-effekt fra røg- gas-kond.
[-]	[år]	[år]	[-]	[ton/time]	[GJ/ton]	[MJ/s]	[MJ/s]
En ovnlíne	2017	-	KV	35,0	11,5	93	0
To ovnlíner ¹⁾	2017	-	KV	2 x 35,0	11,5	170	20

Tabel 1 Oversigt over ARCs kraftvarmeproducerende ovnlíner på Amager. ¹⁾ Sammenkoblingen af de to ovnlíner medfører, at varmeproduktionen ikke fordobles ved drift af to identiske ovnlíner, hvorfor ovnlínerne er vist som en ovnlíne og to ovnlíner i drift.

Anlægget har en årlig installeret kapacitet på 546.000 ton/år ved 7.800 årlige fuldlasttimer og ved anlæggets nominelle brændværdi på 11,5 GJ/ton. Ved fuld last producerer anlægget 170 MW fjernvarme uden brug af ekstra røggaskondensering. ARCs anlæg er videre bestykket med røggaskondensering på begge ovnlíner, og ved direkte kondensering kan der produceres yderligere 20 MW fjernvarme, og hvis anlæggets varmepumper aktiveres bringe røggaskondenseringens energi op på 85 MW.

3.2 ARGO

Affaldsenergianlægget ARGO ligger i Roskilde og har to ovnlíner med røggaskondensering etableret på den ene líne. En oversigt over ovnlínerne samt deres karakteristika ses i [tabel 2](#).

Ovnlíne	Byg- geår	Renov./ opgrad.	Type	Installe- ret kapa- citet	Nominel brænd- værdi	FV-effekt uden røg- gas-kond.	FV-effekt fra røg- gas-kond.
[-]	[år]	[år]	[-]	[ton/time]	[GJ/ton]	[MJ/s]	[MJ/s]
Ovnlíne 5	1999	-	KV	20,0	11,7	48	0
Ovnlíne 6	2013	-	KV	25,0	11,7	55	8

Tabel 2 Oversigt over ARGOs kraftvarmeproducerende ovnlíner i Roskilde

Anlægget har en årlig installeret kapacitet på 360.000 ton/år ved 8.000 årlige fuldlasttimer og ved anlæggets nominelle brændværdi på 11,7 GJ/ton. Ved fuld last producerer anlægget 103 MW fjernvarme uden brug af røggaskondensering. ARGO ovnlíne 6 er videre bestykket med røggaskondensering, der ved direkte kondensering kan producere yderligere 8 MW fjernvarme.

3.3 Vestforbrænding

Vestforbrændings affaldsenergianlægget ligger i Glostrup, og anlægget har to ovnlíner med etableret røggaskondensering på líne 5 og på líne 6 forventes røggaskondensering etableret i løbet af 2020/2021. En oversigt over ovnlínerne samt deres karakteristika ses i [tabel 3](#).

Ovnlíne	Byg- geår	Renov./ opgrad.	Type	Installe- ret kapa- citet	Nominel brænd- værdi	FV-effekt uden røg- gas-kond.	FV-effekt fra røg- gas-kond.
[-]	[år]	[år]	[-]	[ton/time]	[GJ/ton]	[MJ/s]	[MJ/s]
Ovnlíne 5	1999	2013	KV	37,0	9,6	67	15
Ovnlíne 6	2005	2018	KV	42,0	9,6	89	21 ¹⁾

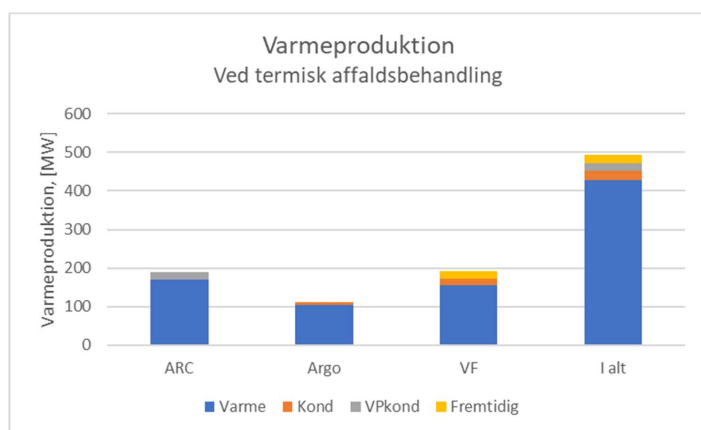
Tabel 3 Vestforbrændings kraftvarmeproducerende ovnlíner i Glostrup. ¹⁾ Forventet effekt af røggaskondensering efter etablering i 2020/2021.

Anlægget har en årlig installeret kapacitet på 632.000 ton/år ved 8.000 årlige fuldlasttimer og ved anlæggets nominelle brændværdi på 9,6 GJ/ton. Ved fuld last producerer anlægget 156 MW

fjernvarme uden brug af røggaskondensering. Vestforbrænding har etableret røggaskondensering på ovnlinje 5, der med varmepumpe kan yde ca. 15 MW. Den tilsvarende forventede effekt på ovnlinje 6 er 21 MW

3.4 Varmeproduktion fra affaldsenergianlæg

Den samlede varmeproduktion fra de tre anlæg til termisk affaldsbehandling kan således opgøres til ca. 430 MW når anlæggene kører uden røggaskondensering. I takt med at varmebehovet stiger i hovedstadens fjernvarmenet, kan røggaskondensering successivt slås til og den samlede varmeproduktion bliver således ca. 493 MW. I figur 2 ses en grafisk fremstilling af den nuværende varmeproduktion fra de tre affaldsenergianlæg. Det er i figuren forudsat, at Vestforbrænding har etableret røggaskondensering på ovnlinje 6.



Figur 2 Nuværende varmeproduktion fra de tre affaldsenergianlæg ARC, ARGO og Vestforbrænding.

Som det ses af figur 2, hidrører ca. 15 % af den samlede varmeproduktion fra de tre anlæg fra eksisterende røggaskondenseringsanlæg eller røggaskondenseringsanlæg under etablering.

3.5 CO₂ emission fra affaldsenergianlæg

De tre anlæg havde i 2019 en samlet affaldsbehandling på ca. 1,4 mio. ton affald. Brændværdien af affaldet for de tre anlæg varierede i 2019 fra 10,0 til 10,7 GJ/t (alle som årsmiddelværdier) og omregnet til en national affaldsbrændværdi på 10,6 GJ/t svarer dette til ca. 36 % af den nationale behandlede affaldsmængde i 2019. Fordeling mellem de tre anlæg er ca. 12 % til ARC, 10 % til ARGO og 14 % til Vestforbrænding.

Ved termisk behandling af affald udskilles CO₂ fra processerne. Mængden af CO₂ er stærkt afhængig af affaldets sammensætning, idet det er affaldets indhold af kulstof (C), der giver anledning til dannelse af CO₂. Traditionelt opdeles CO₂ afhængig af, om kulstoffet er af biogen eller fossil oprindelse, idet det ofte antages, at kun CO₂ af fossil oprindelse giver et nettobidrag til udledningen af drivhusgasser. Det forudsættes således, at CO₂ af biogen oprindelse ikke giver anledning til udledningen af drivhusgasser udover det, der netop er optaget fra atmosfærens umiddelbart forinden.

Der forventes på lang sigt ingen grundlæggende forskel på det affald, der behandles på de tre affaldsenergianlæg. Dette gælder i særdeleshed, når det efterfølgende forudsættes at nogle ovnlinjers drift indstilles, hvorfor der i dette tilfælde, skal "flyttes" rundt på affaldet. Det forudsættes følgelig heraf, at der sker samme udledning fra de tre anlæg pr. ton affald, der behandles.

Emissionen af CO₂ afhænger af affaldets kulstofindhold (C), der igen (primært) afhænger af affaldets nedre brændværdi og dermed af affaldets sammensætning.

Den gennemsnitlige brændværdi på det affald, der blev behandlet af de tre anlæg i 2019, kan beregnes til ca. 10,4 GJ/t, og affald med denne brændværdi vil afgive ca. 1,0 ton CO₂ pr. ton affald der behandles.

Når CO₂ emissionen afhænger af brændværdien skyldes det, at en stor del af affaldets energiindhold er bundet op på kulstofoxidation. Hvis affaldets brændværdi stiger, stiger emissionen af CO₂ pr. ton affald også, mens en reduceret brændværdi vil medføre en lavere CO₂ emission.

Fordelingen mellem biogenbaseret CO₂ og CO₂ af fossil oprindelse påvirkes i væsentlig grad af affaldets indhold af plastic, og erfaringsmæssigt rapporteres ca. 30-50 % af den emitterede CO₂ som værende af fossil oprindelse.

Det skal bemærkes, at det i forudsætningsnotat om affaldsenergi udarbejdet af CTR, VEKS, HOFOR og Vestforbrænding (fremover kaldet *Affaldsenergiforudsætningsnotat*) antages, at der emitteres ca. 40 kg fossilt CO₂ pr. GJ indfyret effekt, hvilket er baseret på Energistyrelsens data for affaldsmængder og CO₂ udledninger. Dette indhold svarer til middelværdien af ovenstående erfarede indhold, og der tages i de videre beregninger følgelig udgangspunkt i, at 40 % af den emitterede CO₂ er fossil. Ved behandling af 1,4 mio. ton affald med en gennemsnitlig brændværdi på 10,4 GJ/t må derfor forventes emission af ca. 1,4 mio. ton CO₂, hvoraf 40 % eller ca. 0,6 Mton er af fossil oprindelse.

4. FREMTIDIG VARMEPRODUKTION FRA TERMISK AFFALDSBEHANDLING

Der er i Danmark i dag en kapacitet til termisk behandling af affald på ca. 4,0 mio. ton årligt.

Med den politiske aftale af 16. juni 2020 "Klimaplan for en grøn affaldssektor og cirkulær økonomi" er det fra politisk hold aftalt, at man ønsker en målrettet indsats for øget genanvendelse af affald generelt, og at forbrændingskapaciteten i Danmark skal reduceres frem mod 2030.

Kommunernes Landsforening er i den forbindelse blevet bedt om at udarbejde forslag til, hvorledes en kontrolleret nedlukning af affaldsforbrændingskapaciteten kan gennemføres. Planen skal give en kapacitetsreduktion på 30 %, således der i 2030 kun rådes over en affaldsbehandlingskapacitet i Danmark på 2,8 mio. ton årligt.

En del af ovenstående klimaplan indeholder en vision om, at affaldssektoren skal være klimaneutral i 2030, herunder at 80 % af dansk plast skal udsorteres fra forbrændingen, og at affaldskurven skal "knækkes", således at EU's mål om genanvendelse kan indfris.

En så voldsom reduktion af affaldsmængder kan kun afstedkommes, hvis der både gennemføres omfattende kildesortering af affald og ved at udsortere organisk dagrenovation fra de affaldsfraktioner, der i dag energiudnyttes på affaldsenergianlæggene. Det er muligt, at det i den forbindelse er nødvendigt helt at fjerne visse affaldsfraktioner fra det affald, der i dag energiudnyttes (eksempelvis biomasseaffald) for at indfri det politiske reduktionsmål.

Hvorvidt ovenstående politiske aftale om kapacitetsreduktion og reduktion af affaldsmængder kan gennemføres vurderes ikke videre i nærværende rapport, udover at det skal bemærkes, at reduktionsmålene af branchen vurderes som endog meget ambitiøse, og at virkemidlerne til at opnå det politiske mål ikke kendes til fulde i dag. I det følgende forudsættes desuagtet, at affaldsmængderne til termisk behandling faktisk reduceres så meget, at der skal ske en kapacitetstilpasning i Danmark på 30 %, og at dette også påvirker kapaciteten i hovedstadsområdet. I det følgende beskrives, hvilket konsekvenser dette vil have på varmeforsyningen fra affaldsenergianlæg i hovedstadsområdet, og de mulige konsekvenser for anlæggenes CO₂ emission belyses.

4.1 Reduceret affaldsmængde

Bestræbelserne på at øge mængden af affald til genanvendelse og udsortering af delfraktioner vil forventeligt medføre, at mængden af affald til energiudnyttelse reduceres i fremtiden. Hvor meget affaldsmængder vil blive reduceret, er i skrivende stund meget uklart, og virkemidler m.v. til indfrielse af de politiske ønsker er ikke kendte. I det følgende beskrives, hvorledes en generel nedgang i affaldsmængderne til termisk behandling, vil påvirke den fremtidige forventede varme-produktion.

4.1.1 Frem til 2030

De tre affaldsenergianlæg behandler affald fra et meget stort affaldsopland, og ved en national kapacitetsreduktion på 30 %, som følge af politiske planer og vigende affaldsproduktion, forudsættes dette også at slå gennem på de affaldsoplande der i dag leverer affald til ARC, ARGO og Vestforbrænding og dermed den behandlingskapacitet, der kan forventes anvendt til energiproduktion på de tre anlæg.

Af Affaldsenergiforudsætningsnotat fremgår det, at der forventes en reduktion i de nationale affaldsmængder til forbrænding på ca. 17 % i 2030 i forhold til 2017, hvorfor en samlet kapacitetsreduktion i Danmark, der ikke fordeles ligeligt, kan anvendes til at sikre, at de resterende affaldsenergianlæg udnyttes 100 %.

De tre affaldsenergianlæg behandlede i 2019 ca. 1,14 mio. ton affald fra egne oplande (data fra Affaldsenergiforudsætningsnotatet, data for 2017 foreligger desværre ikke) Ved en affaldsbehandlingskapacitet på ca. 1,4 mio. ton for de tre anlæg svarer dette til, at kapaciteten i 2019 udnyttes 88 %, hvis de tre anlæg alene skal behandle affald fra egne oplande.

Med ovenstående reduktion i affaldsmængderne frem mod 2030 forventes mængden reduceret til 0,93 mio. ton årligt svarende til en kapacitetsudnyttelse på ca. 70 %, igen under forudsætning af at de tre anlæg alene skal behandle affald fra egne oplande, og der ikke forudsættes ændringer i affaldets resulterende brændværdi.

Mere om ændringer i brændværdier som følge af udsortering af affald følger senere i nærværende rapport.

Udover de umiddelbart reducerede affaldsmængder, følger en række forhold, der alle påvirker, hvilken fremadrettet varmeproduktion, der kan forventes fra de tre affaldsenergianlæg, herunder kan bl.a. import af affald, modtagelse af affald fra andre dele af Sjælland og termisk behandling af have-/parkaffald nævnes. Derfor er den fremtidige affaldsvarmeproduktion er vanskelig at estimere, hvorfor der i det følgende beskrives forskellige udfald for den fremtidige produktion.

Kommunernes Landsforenings (KL) forslag til en kapacitetsreduktion er udsendt d. 18. december 2020.

Uagtet KL's forslag af 18. december foreligger der i skrivende stund ingen aftale om, hvorledes denne kapacitetsreduktion i 2030 faktisk skal nås. På baggrund af dette anses adskillige udfald for den fremtidige affaldsbehandling som mulige, hvilket er beskrevet nedenfor:

1. Kapacitet i hovedstaden opretholdes
2. KL planforslag
3. Solidarisk kapacitetsreduktion
4. Ældste ovnlinjer udtages

Ad 1.

De tre anlæg er alle placeret meget centralt for etablering af CO₂ fangst og lagring (CCS) og er samtidig af en størrelse hvor implementering af carbon capture forventes at være mest effektivt i forhold til andre anlæg. Det kunne derfor være formålstjenstligt, at netop de tre anlæg varetager affaldsbehandlingen på Sjælland. Da ca. halvdelen af det danske affald genereres på Sjælland, bliver behandlingskapaciteten på Sjælland, ved et nationalt kapacitetsbehov på 2,8 mio. ton årligt, derfor ca. 1,4 mio. ton årligt, hvilket netop svarer til kapaciteten på de tre anlæg. Et muligt udfald af kapacitetsreduktionen i 2030 er derfor, at de tre anlæg opretholder en produktion svarende til produktionen i 2020.

Ad 2.

Kommunernes Landsforenings (KL) forslag til en kapacitetsreduktion indbefatter, at 10 navngivne affaldsenergianlæg skal indstille driften inden 2030. Af listen fremgår det, at kapacitetsreduktionen bl.a. kan nås ved indstille driften på ARGOS to ovnlinjer. Det skal bemærkes at forslaget også inkluderer indstilling af drift på de to ovnlinjer hos Norfors, men selv om Norfors' varmeproduktion i en mindre udstrækning påvirker varmeforsyningen i hovedstadsområdet, inkluderes dette anlæg ikke i de videre betragtninger, da det kun er en mindre del af varme herfra der tilgår hovedstadsområdet.

Med KL's forslag reduceres varmeproduktionen fra affaldsenergiudnyttelse med over 100 MW

Ad 3.

Ved en solidarisk kapacitetsreduktion forudsættes dette at ske ved, at alle tre affaldsenergianlægs affaldsgrundlag reduceres svarende til de 30 % kapacitetsreduktion. Denne kapacitetsreduktion kan ske på to måder, i) enten reduceres den timebaserede affaldsbehandling med 30 % eller ii) det årlige antal fuldstimer reduceres med 30 % således, at der fortsat kan opretholdes fuld produktion når der er stort varmebehov.

Med solidarisk kapacitetsreduktion reduceres den timebaserede varmeproduktion fra 0 MW til ca. 130-150 MW uden/med røggaskondensering

Ad 4.

Ved udtagelse af de ældste ovnlinjer af varmeproduktionen indstilles driften af de ældste ovnlinjer successivt således, at varmeproduktionen opretholdes med de yngste ovnlinjer. Både ARGOs ovnlinje 5 og Vestforbrændings ovnlinje 5 er fra 1999, og ved indstilling af driften på disse ovnlinje inden 2030, vil begge ovnlinjer kunne have opnået op til 30 års drift.

Med udtagelse af de ældste ovnlinjer reduceres den timebaserede varmeproduktion med 115 MW, når der ikke foretages røggaskondensering og med 130 MW, når der inkluderes røggaskondensering i varmeproduktionen.

De fire forskellige mulige udfald af den fremtidige affaldsbehandlingskapacitet er vist grafisk i [figur 3](#) og i figuren svarer varmeproduktionen i 2030 for udfald nr. 1 til den nuværende varmeproduktion i 2020. Figuren viser de timemæssige varmeproduktion, og for den *solidariske* kapacitetsreduktion er det forudsat, at alle ovnlinjers timemidlede varmeproduktion reduceres med 30 %. Som det er beskrevet ovenfor, giver dette udfald også mulighed for uændret varmeproduktion i forhold til i dag (på timebases) idet, det kun er anlæggenes årlige antal fuldlasttimer, der reduceres i modellen

4.1.2 2030 - 2050

Mængden af affald til termisk behandling i perioden 2030 til 2050 er endog særdeles usikker. I henhold til Affaldsenergiforudsætningsnotatet forventes ingen reduktion i affaldsmængderne fra 2030 til 2050.

Den politiske målsætning om reduktion af affaldsmængden til termisk behandling i 2030 således at behandlingskapaciteten kan reduceres til ca. 2,8 mio. ton årligt, kan forventes opnået enten i 2030 eller i årene fremover, hvorfor det ikke er usandsynligt, at kapacitetsreduktionen først en rum tid efter 2030 kan effektueres. Frem mod 2050 må der dog forventes yderligere tiltag, således at behandlingskapaciteten evt. skal tilpasses yderligere. Reduktionsmålene må dog generelt forventes at være meget afhængige af, hvad der faktisk kan opnås og indfris de næste 10 år frem mod 2030.

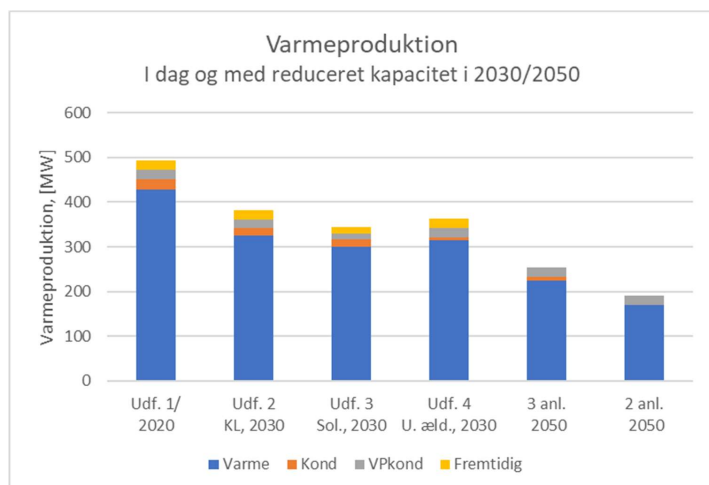
I 2050 vil begge ovnlinjer på Vestforbrænding være henholdsvis 45 og 51 år gamle og ARGOs ovnlinje 5 vil ligeledes være 51 år gammel. Det kan på den baggrund forventes, at kun ARCs to ovnlinje, der i 2050 er 33 år gamle, samt evt. ARGOs ovnlinje 6, der vil være 37 år gammel, vil være i drift, medmindre erstatningskapacitet etableres for de ældste ovnlinjer. Hvorvidt kapaciteten på Vestforbrændings to ovnlinjer og ARGOs ovnlinje 5 er helt eller delvist erstattet af ny kapacitet, kan ikke afgøres i skrivende stund, da det dels afhænger af udviklingen i affaldsmængderne, dels af graden af centralisering af affaldsbehandlingskapaciteten og endelig afhænger behovet af erstatningskapacitet af, hvornår og hvordan CCS vinder indpas på danske affaldsenergianlæg.

Der kan således opstilles to udfald for den fremtidige varmeproduktion fra affaldsenergianlæg i 2050. Et udfald med tre ovnlinjer i alt, hvor ARGOs ovnlinje 6 bidrager til varmeproduktionen og et med to ovnlinjer i alt, hvor ARGOs ovnlinje 6 ikke bidrager til varmeproduktionen. I det omfang, Vestforbrænding og/eller ARGOs ovnlinjer erstattes af ny kapacitet, vil varmeproduktionen fra affaldsenergianlæg i 2050 forventes at svare til et af de fire udfald for kapacitetsreduktion for 2030, hvilket svarer til, at kapacitetsreduktionsmålene først realiseres i årene frem mod 2050.

4.1.3 Fremtidig varmeproduktion

De forskellige udfald for de fremtidige varmeproduktioner er vist grafisk i [figur 3](#). Såfremt reduktionen i behandlingskapacitet gennemføres på andre anlæg, vil varmeproduktionen være uændret ca. 430 MW. Hvis dette ikke er tilfældet, kan den maksimale varmeproduktion i 2030 (uden røggaskondensering) forventes reduceret til mellem 300 og 326 MW. Ved sammenligning med [figur 1](#) ses, at der om sommeren maksimalt forventes et varmekonsum på ca. 250 MW, hvorfor der, uanset hvilket reduktionsudfald, der bliver gældende, fortsat vil være behov for, at de tilbageblevne anlæg/ovnlinjer gennemfører en gensidige koordinerende produktionstilpasning og revision af de enkelte ovnlinjers drift hen over sommerperioden.

I 2050 kan varmeproduktionen uden røggaskondensering forventes yderligere reduceret til mellem 170 og 225 MW, og på [figur 1](#) ses, at der om sommeren, ved uændret varmemarked, ikke længere er behov for en gensidige koordinering af varmeproduktion og revisioner hen over sommerperioden. Med røggaskondensering kan den maksimale varmeproduktion forventes reduceret til mellem 190 og 253 MW.



Figur 3 Forskellige udfald for varmeproduktion i hovedstadsområdet med reduceret produktionskapacitet i Danmark. Udfald 1, hvor produktionsreduktionen sker på øvrige anlæg på Sjælland. Udfald 2 svarer til KLs planforslag for 2030. Udfald 3 Sol., 2030 er varmeproduktion med solidarisk kapacitetsreduktion i 2030. Udfald 4 u. æld., 2030 er varmeproduktion uden de ældste ovnlinjer i 2030. For 2050 opstilles to mulige udfald. 3 anl., 2050 er varmeproduktion i 2050 med tre ovnlinjer i alt, mens 2 anl., 2050 er varmeproduktion i 2050 alene på to ovnlinjer.

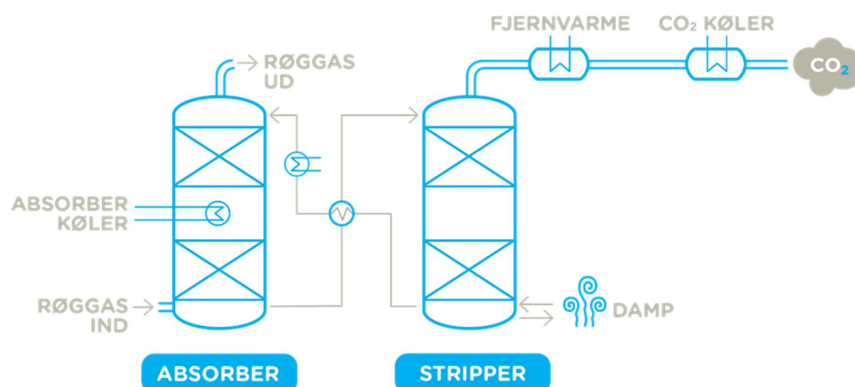
4.2 Betydning ved CCS

Ved etablering af CO₂-fangst på affaldsenergianlægget med henblik på gennemførelse af eksempel CCS (Carbon Capture and Storage) ændres energiforholdene omkring et affaldsenergianlæg markant. Processen kræver en del tilførsel af energi i form af damp ønskværdigt i form af lavtryksdamp fra turbinen, alternativt som friskdamp fra kedlen. Energien i dampen kan genvindes på forskellig vis til fjernvarmeproduktion og temperaturniveauerne for den genvundne varmeenergi afhænger af det enkelte anlægs beskaffenhed og mulighed for bl.a. etablering af varmepumper.

Etablering af CCS på de tre anlæg til termisk behandling af affald er nærmere beskrevet i selvstændigt notat og i det følgende givet en kort introduktion for de forhold, der indvirker på anlæggenes varmeproduktion. I [figur 4](#) vises en skematisk fremstilling af den mest gængse og p.t. mest anvendte teknik til fangst af CO₂ fra termiske processer som et affaldsenergianlæg.

4.2.1 Aminteknik og energiforhold

Fangst af CO₂ ved aminteknikken, som den der vises i [figur 4](#), består af absorber (amin-skrubber), hvor CO₂en i røggassen "fanges" med en amin. Den efterfølgende regenerering af absorberens amin foretages i en stripper, hvor CO₂ frigives igen for videre disponering. Aminen føres efter regenerering tilbage til absorberen. Absorberprocessen generer varme ved relative lave temperaturer, mens stripperprocessen er meget energikrævende og kræver tilførsel af damp.



Figur 4 Skematisk fremstilling af CO₂ fangst med aminteknik

Dampbehovet udgør ca. 0,9 MWh pr ton CO₂ der skal fanges i absorberen og frigøres igen i stripperen. Der er tre steder i processen, hvor dampenergien kan genvindes nemlig i) Kondensveksler i toppen af stripperen (mærket "Fjernvarme" i figur 4), ii) Afkøling af CO₂ fra kondensveksleren (mærket "CO₂ køler" i figur 4) og endelig iii) køling af absorptionsenergi (mærket "Absorber køler" i figur 4).

Ad i)

Når CO₂ forlader stripperen sker det ved en blanding af CO₂-gas og vanddamp ved eksempelvis 1,5 bar, hvorfor vanddampen fra processen kan udkondenseres ved ca. 100 °C og dermed anvendes direkte til fjernvarmeproduktion (afhængig af det lokale fjernvarmenet). Der kan vindes ca. 0,3 MWh/ton CO₂ fjernvarme fra stripperkondenseren.

Ad ii)

Når CO₂ forlader stripperkondenseren er den kølet til ca. 100 °C og en yderligere afkøling og tørring er nødvendig inden CO₂'en kan forlade fangstanlægget for videre disponering. Afkølingen foretages til ca. 40 °C, hvorfor denne proces fordrer, at der er en passende lavtemperaturstrøm, der ønskes opvarmet fra eksempelvis 30 °C til 60 °C. Andre temperaturniveauer er mulige, men jo mindre temperaturforskellen er (grædighed'en) jo større skal vekslerne være. Der kan vindes ca. 0,3 MWh/ton CO₂ fjernvarme fra stripperkondenseren, og mange anlæg vil være nødsaget til at etablere varmepumpe for dette trin.

Ad iii)

Absorberen opereres typisk ved omkring 50-60 °C. En stor del af den varme, der dannes under absorptionsprocessen, anvendes til vandfordampning, således, at røggas, der ledes ind i absorberen og er vandmættet ved 40 °C forlader røggassen ved 50-60 °C. Dette medfører, at absorberen "taber" vand og røggassen må efterfølgende køles for at genvinde varmen og det tabte vand. Hvis afkølingen af røggassen foretages efterfølgende til ca. 40 °C, minder dette meget om almindelig røggaskondensering. Der kan vindes ca. 0,3 MWh/ton CO₂ fjernvarme fra absorberkøling, og mange anlæg vil være nødsaget til at etablere varmepumpe for dette trin.

4.2.2 Liquefaction

Efter fangst af CO₂ med CO₂ fangstanlægget er det nødvendigt at fortætte gassen, således at denne omdannes til en væske (liquefaction), der lettere kan transporteres. Processen er energikrævende, og der kan udvindes fjernvarme fra processen, hvorfor den med fordel kan etableres i umiddelbar nærhed af affaldsenergianlægget, hvor CO₂ fangsten foretages.

Der er grundlæggende to variationer for liquefaction. Den ene er komprimering og afkøling af CO₂-gassen til ca. 15 bar/-30 °C, hvilket gør den velegnet til landevejstransport med tanktrailer

eller lignende. Den anden variation er komprimering og afkøling af CO₂-gassen til ca. 120 bar/40 °C, hvorefter den er velegnet til transport gennem en rørledning.

Det meget store kompressionsarbejde, der er nødvendigt i begge processer, er energikrævende men også varmeproducerende. Komprimeringen af CO₂ foretages i kaskader, og efter hvert kompressionstrin er CO₂-gassen typisk opvarmet til 110-130 °C, hvorfor det ved afkøling af gassen er muligt, at udnytte varmen direkte til produktion af fjernvarme med temperaturer på eksempelvis 90-100 °C. Ved liquefaction til 15 bar/-30 °C hidrører ca. 70 % varmen fra kølekompresoren, hvilket forventelig "kun" giver varme ved 50 °C, hvorfor yderligere varmepumper er nødvendige, hvis energien skal løftes op til fjernvarmefremløbstemperaturer på eksempelvis 90-100 °C.

I [tabel 4](#) ses varmeproduktion fra liquefaction processer. I tabellen er varmeproduktionen opdelt i to undergrupper. HT (*højtemperatur*) betegner varme ved omtrent 90-100 °C, hvilket umiddelbart kan anvendes direkte til fjernvarmeproduktion og MT (*mediumtemperatur*) betegner varme ved omtrent 50 °C, hvorfor der skal anvendes varmepumpe eller lign, hvis varmen skal overføres til fjernvarmenettet.

Liquefactionproces	Enhed	HT	MT
15 bar/-30 °C	MWh/ton affald	0,05	0,12
120 bar/40 °C	MWh/ton affald	0,10	0,03

Tabel 4 Varmeproduktion fra liquefaction processer. HT betegner varme ved 90-100 °C og MT betegner varme ved omtrent 50 °C

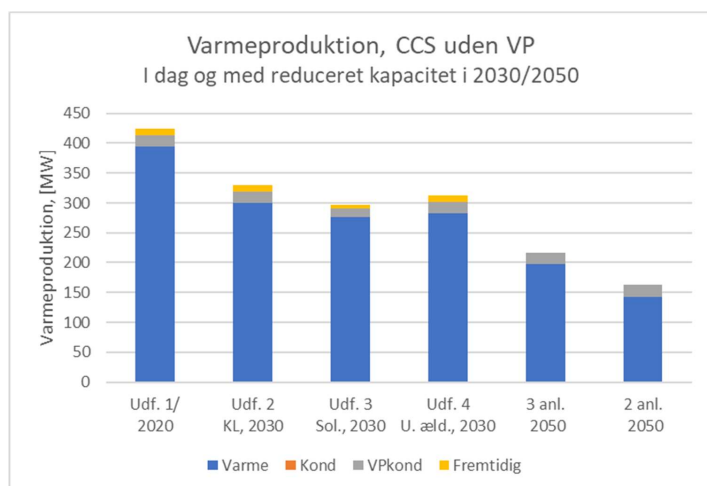
Som det fremgår af [tabel 4](#) kan der samlet set hentes mest liquefactionvarme, når der fortættes til 15 bar/-30 °C, hvorfor denne mulighed anvendes i den følgende ved vurdering af det fremtidige varmeproduktionspotentiale fra affaldsenergianlæg.

4.2.3 Samlet varmeproduktion med CCS

Ved etablering af CO₂ fangst på et affaldsenergianlæg ændres varmeproduktionen grundet forhold forklaret i afsnit 4.2.1. Med udgangspunkt i varmeproduktionen fra turbinen, vil denne, under standardiserede forhold med en brændværdi af affaldet på 10,4 GJ/t, typisk være 1,8 MWh/ton affald. Hvis der etableres CO₂ fangst uden anden varmegenvinding end varme fra strip-perkondenseren, falder denne varmeproduktion med ca. 16 %, mens varmeproduktionen med fuld varmegenvinding med eksempelvis kompressionsvarmepumper stiger med 20 %. Disse varmeproduktionsændringer er uden liquefactionvarme.

I [figur 3](#) er den nuværende og den fremtidige mulige varmeproduktion fra affaldsenergianlæg for de forskellige udfald for kapacitetsreduktionen vist under antagelse af, at det nuværende energi-set-up forbliver uforandret. I [figur 5](#) vises de samme udfald for den fremtidige varmeproduktion, men under antagelse af, at der på alle anlæg (de der driftes) er etableret CO₂ fangst uden varmepumper og uden liquefactionvarme.

Ved sammenligning af [figur 3](#) med [figur 5](#) ses, at den maksimale varmeproduktion i 2030 (uden røggaskondensering) forventes reduceret fra i dag ca. 430 MW til mellem 250 og 270 MW for udfald 2-4, mens varmeproduktionen for udfald 1 kun reduceres til 360 MW. I forhold til [figur 1](#) ses, at der om sommeren kun vil være et mindre behov for en gensidige koordinerede produktionstilpasning og revision af de enkelte ovnlinjers drift hen over sommerperioden for kapacitetsreduktionsudfald 2-4, mens der for udfald 1, fortsat vil være noget behov.

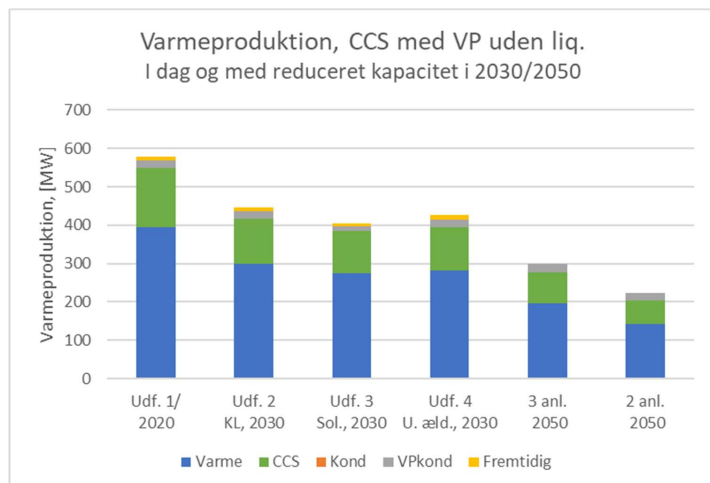


Figur 5 Forskellige udfald for varmereproduktion i hovedstadsområdet med reduceret produktionskapacitet i Danmark, og under antagelse af, at alle affaldsenergianlæg har etableret CO₂ fangst uden varmepumper. Udfald 1, hvor produktionsreduktionen sker på øvrige anlæg på Sjælland. Udfald 2 svarer til *KLs planforslag for 2030*. Udfald 3 *Sol., 2030* er varmereproduktion med solidarisk kapacitetsreduktion i 2030 Udfald 4 *u. æld., 2030* er varmereproduktion uden de ældste ovnlinjer i 2030. For 2050 opstilles to mulige udfald. 3 *anl., 2050* er varmereproduktion i 2050 med tre ovnlinjer i alt, mens 2 *anl., 2050* er varmereproduktion i 2050 alene på to ovnlinjer

Det skal til [figur 5](#) bemærkes, at anvendelse af røggaskondensering efter etablering af CO₂-fangst ikke længere kan gøres valgfri idet et CO₂-fangstanlæg forudsætter, at røggassen inden rensning i absorberer er kølet til ca. 40 °C. Det vil derfor kun være varmepumpekondenseringen på røggaskondenseringen, der kan justeres under drift.

I [figur 6](#) vises som [figur 5](#) affaldsenergianlæggenes varmereproduktion efter etablering af CO₂ fangst, men i figur 6 er det forudsat, at lavtemperaturvarmen fra CO₂ fangstprocesserne er indvundet til fjernvarmereproduktion gennem etablering af kompressionsvarmepumper. Figuren viser varmereproduktionen uden liquefactionvarme.

Da driften af et CO₂ fangstanlæg må formodes at skulle driftes i hele det øvrige anlægs driftstid, kan varmen fra turbinen og CO₂-fangstanlægget ikke stoppes, og i [figur 6](#) skal den blå og den grønne søjle derfor adderes, medmindre der etableres tilsvarende køleenheder på anlæggene. I forhold til [figur 1](#) ses, at der om sommeren i 2030 (uden bortkøling af lavtemperaturvarme) vil være en nærmest uforandret behov for en gensidige koordinerede produktionstilpasning og revision af de enkelte ovnlinjers drift i kapacitetsreduktionsudfald 2-4, mens behovet i udfald 1 er stigende. Ved etablering af køleenhed til lavtemperaturvarme er koordineringsbehovet minimalt i udfald 2-4, mens det i udfald 1 er reduceret lidt i forhold til driftssituationen i 2020.



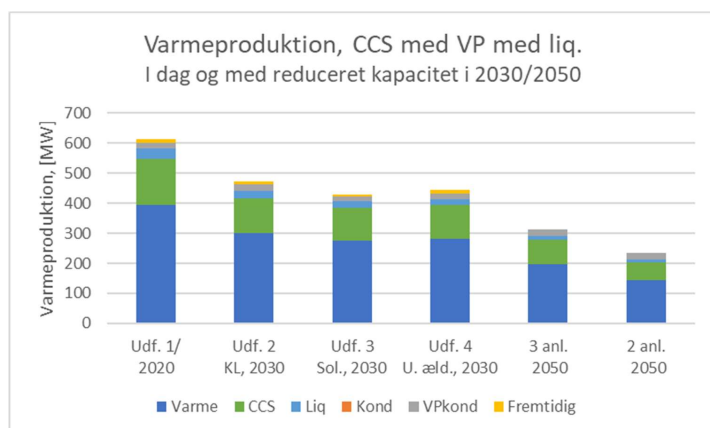
Figur 6 Forskellige udfald for varmereproduktion i hovedstadsområdet med reduceret produktionskapacitet i Danmark, og under antagelse af, at alle affaldsenergianlæg har etableret CO₂ fangst med varmepumper men uden liquefactionvarme. Udfald 1, hvor produktionsreduktionen sker på øvrige anlæg på Sjælland. Udfald 2 svarer til KLs planforslag for 2030. Udfald 3 Sol., 2030 er varmereproduktion med solidarisk kapacitetsreduktion i 2030. Udfald 4 u. æld., 2030 er varmereproduktion uden de ældste ovnlinjer i 2030. For 2050 opstilles to mulige udfald. 3 anl., 2050 er varmereproduktion i 2050 med tre ovnlinjer i alt, mens 2 anl., 2050 er varmereproduktion i 2050 alene på to ovnlinjer

Som beskrevet til figur 5 skal det til figur 6 bemærkes, at anvendelse af røggaskondensering efter etablering af CO₂-fangst ikke længere kan gøres valgfri, hvorfor det kun vil være varmepumpekondenseringen på røggaskondenseringen, der kan justeres under drift.

Hvis varme fra liquefactionsprocesserne inkluderes i den samlede varmereproduktion, stiger den samlede varmereproduktion, og det forudsættes i det følgende, at den fangede CO₂ fortættes til 15 bar/-30 °C, og at der anvendes varmepumper som beskrevet i afsnit 4.2.2 med henblik på at nyttiggøre lavtemperaturvarmen fra processen til fjernvarmeformål.

I figur 7 ses den således resulterende varmereproduktion i de forskellige produktionsreduktionsudfald for 2030, når der både etableres CO₂ fangst med fuld varmegenvinding og når hele varmepotentialet fra den tilhørende liquefactionprocesser nyttiggøres. På tilsvarende vis vises varmereproduktionen i 2050.

formaterede: Skriftfarve: Tekst 1



Figur 7 Forskellige udfald for varmereproduktion i hovedstadsområdet med reduceret produktionskapacitet i Danmark, og under antagelse af, at alle affaldsenergianlæg har etableret CO₂ fangst med varmepumper og med liquefactionvarme. Udfald 1, hvor produktionsreduktionen sker på øvrige anlæg på Sjælland. Udfald 2 svarer til KLS planforslag for 2030. Udfald 3 Sol., 2030 er varmereproduktion med solidarisk kapacitetsreduktion i 2030 Udfald 4 u. æld., 2030 er varmereproduktion uden de ældste ovnlinjer i 2030. For 2050 opstilles to mulige udfald. 3 anl., 2050 er varmereproduktion i 2050 med tre ovnlinjer i alt, mens 2 anl., 2050 er varmereproduktion i 2050 alene på to ovnlinjer

4.3 Sammenfatning af fremtidig varmereproduktion

Den fremtidige varmereproduktion fra termisk affaldsbehandling er vanskelig at forudsige. Dels er de fremtidige affaldsmængder til energiudnyttelse i hovedstaden usikre og dels er det usikkert, hvilken produktionskapacitet der på længere sigt vil være tilbage.

Uden CCS

Uden etablering af CCS er der for 2030 beregnet en varmereproduktion (efter kapacitetsreduktionsudfald 2-4) på mellem 300 og 326 MW uden kondensering og med røggaskondensering på mellem 345 og 382 MW, mens produktionen i kapacitetsreduktionsudfald 1 i 2030 opretholdes som i dag med 429 MW uden kondensering og 493 MW med røggaskondensering. Hvorvidt kapacitetsreduktion for udfald 2-4 bliver effektueret er i skrivende stund usikkert, hvorfor der må forventes en varmereproduktion mellem varmereproduktionens udfald 1 og den minimale varmereproduktion for udfald 2-4 som nærmere beskrevet i afsnit 4.1.1

I Tabel 5 er det således dannede varmereproduktionsinterval vist idet den nedre intervalgrænse afspejler den minimal varmereproduktion i 2030 i henhold til de fire udfald for kapacitetsreduktion i 2030 og den øvre intervalgrænse er den tilsvarende varmereproduktion i udfald 1, hvor produktionen på de eksisterende anlæg opretholdes.

Produktion	Enhed	Interval
Uden røggaskondensering	MW	300 – 429
Med røggaskondensering	MW	345 – 493

Tabel 5 Forventet varmereproduktionsinterval for 2030 for affaldsenergianlæg uden etablering af CCS

Med CCS

Med etablering af CCS og tilhørende liquefaction stiger varmereproduktionen. For 2030 er beregnet en varmereproduktion (efter kapacitetsreduktionsudfald 2-4) på mellem 415 og 453 MW uden kondensering og med røggaskondensering på mellem 429 og 473 MW, mens produktionen i kapacitetsreduktionsudfald 1 i 2030 bliver 593 MW uden kondensering og 613 MW med røggaskondensering. Hvorvidt kapacitetsreduktion for udfald 2-4 bliver effektueret sammen med etablering af

CCS er i skrivende stund usikkert, hvorfor der må forventes en varmeproduktion mellem varmeproduktionen udfald 1 og en minimale varmeproduktion for udfald 2-4 som nærmere beskrevet i afsnit 4.1.1

Efter etablering af CCS kan der således dannes et varmeproduktionsinterval som vist i [figur 6](#). Den nedre intervalgrænse afspejler den minimal varmeproduktion i 2030 jf. de tidligere beskrevne kapacitetsreduktionsudfald og den øvre intervalgrænse er den tilsvarende varmeproduktion i udfald 1, hvor produktionen på de eksisterende anlæg opretholdes, og hvor der etableres CCS på alle kraftvarmeproducerende ovnlinjer til termisk behandling af affald.

Produktion	Enhed	Interval
Uden røggaskondensering (minimal varmegenvinding på CCS)	MW	415 – 593
Med røggaskondensering (maksimal varmegenvinding på CCS)	MW	429 – 613

Tabel 6 Forventet varmeproduktionsinterval for 2030 for affaldsenergianlæg med etablering af CCS med fuld varmegenvinding

4.4 Scenarieperspektivering af fremtidig varmeproduktion

Som beskrevet i de forrige afsnit er der mange udfaldsmuligheder for den fremtidige varmeproduktion, og det er endog særdeles vanskeligt at forudsæ, hvorledes varmeproduktionen fra de affaldsenergianlæg, der leverer fjernvarme til fjernvarmenettene i hovedstadsområdet, vil udvikle sig i 2030 og 2050.

Til perspektivering af det samlede udfaldsrum opstilles en række scenarier, der repræsenterer et henholdsvis lavt varmeproduktionsscenarie, et middel varmeproduktionsscenarie og et højt varmeproduktionsscenarie. I nogle af scenarierne er det muligt at øge varmeproduktionen ved røggaskondensering, hvilket anføres separat under de enkelte scenarier.

Det skal bemærkes, at de to af de tre opstillede scenarier repræsenterer nogle yderpunkter for såvel affaldsbehandling som varmeproduktion fra affaldsenergianlæggene, og at der er mange forskellige driftssituationer og produktionskombinationer der falder mellem de to yderpunkter.

For scenariet med middelproduktion (affaldsbehandling og varmeproduktion) fra affaldsenergianlæg gælder, at dette scenarie ikke dækker over et enkelt opstillet scenarie med et bestemt antal ovnlinjer i drift og med en given kombination af CCS og røggaskondensering m.v., da der kan opstilles en lang række forskellige udfald, der alle giver en varmeproduktion, der kan betegnes som et middelscenarie. Middelscenariet bliver på den baggrund opstillet som et blandingsscenarie.

For alle scenarier gælder, at varmeproduktionen i sommerperioden kan tilpasses varmebehovet som tidligere beskrevet ved kombination af en gensidig koordinering og produktionstilpasning af de enkelte ovnlinjers revision over en periode på 3-4 måneder om sommeren, samt ved kollektiv produktionsreduktion (lastreduktion).

De enkelte scenarier defineres som følger.

Scenarie 1. Lav varmeproduktion

Ved lav varmeproduktion forudsættes for 2030, at kapaciteten på de tre affaldsenergianlæg reduceres i henhold kapacitetsreduktionsudfald 2-4, hvor kapaciteten er reduceret til 70 % for de tre anlæg. Der forudsættes ingen etablering af CCS med tilhørende varmegenvinding. For 2050 antages yderligere kapacitetsreduktion således, at der udelukkende driftes to af de nyeste ovnlinjer, og at det ikke opstilles erstatningskapacitet for de ovnlinjer, der nedlægges.

Scenarie 2. Middel varmeproduktion

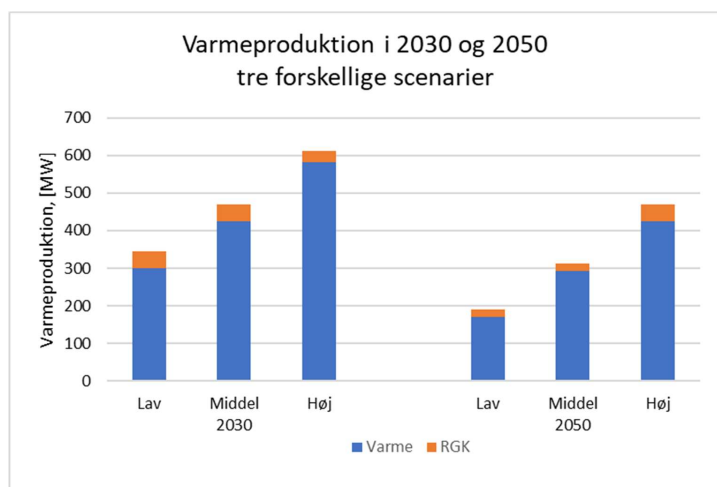
Mange mulige udfald af den politiske vedtagne kapacitetsreduktion for 2030 giver en reduktion af affaldsbehandlingen og varmeproduktionen i forhold til i dag. Det er derfor som tidligere beskrevet ikke muligt at definere et enkelt udfald som værende et bedre centralt estimat for den fremtidige affaldsbehandling og varmeproduktion end de øvrige beskrevne udfald. Som beskrevet i afsnit 4.1.1 er der tre udfald, der kan reducere affaldsbehandlingen 2030, mens et fjerde udfald

koncentrerer affaldsbehandlingen i Københavnsområdet, hvorved affaldsbehandling fastholdes. Med hensyn til affaldsbehandlingen på de tre anlæg kan der således være 4-6 ovnlinjer i drift, og varmeproduktion kan selv med reduceret affaldsbehandlingskapacitet og drift på kun 4 ovnlinjer fastholdes på det nuværende niveau ved etablering af CCS. Et middelscenarie for affaldsbehandling og varmeproduktion spænder således fra 6 ovnlinjer i drift uden etablering af CCS til 4 ovnlinjer i drift med etablering af CCS. Følgelig anvendes en middelværdi for dette spænd til at repræsentere et middelscenarie for affaldsbehandling og varmeproduktion. For 2050 antages yderligere en kapacitetsreduktion således, at det eksempelvis udelukkende er de tre nyeste ovnlinjer der drives, og det forudsættes, at CCS med varmegenvinding er etableret på alle tre linjer.

Scenarie 3. Høj varmeproduktion

Ved høj varmeproduktion forudsættes for 2030, at kapaciteten på de tre affaldsenergianlæg følger kapacitetsreduktionsudfald 1. Kapaciteten er her reduceret til 70 % for hele Sjælland, men produktionskapaciteten på de tre affaldsenergianlæg opretholdes, da den termiske affaldsbehandling koncentrerer omkring København, da denne lokalitet er meget velegnet til etablering af CCS med kollektiv håndtering af CO₂ i fællessystem. Scenariet fordrer således, at der er etableret CCS med tilhørende varmegenvinding på alle anlæg til affaldsbehandling. For 2050 antages affaldsmængderne dog reduceret så meget, at det oprindelige mål for kapacitetsreduktion i 2030 kan indfris svarende til kapacitetskapacitetsudfald 2-4, det forudsættes videre, at der er etableret CCS med varmegenvinding på alle anlæg.

I figur 8 vises varmeproduktionen i de tre scenarier til perspektivering, og det er i figuren vist, hvor meget røggaskondenseringsenergi, der kan tændes/slukkes for, når det samtidig skal tages hensyn til, at den direkte røggaskondensering efter etablering af CCS er relativt båndlagt. Således kan varmeproduktionen herfra ikke slukkes og varmen er derfor inkluderet i den blå søjle i figuren.



Figur 8 Varmeproduktion for de tre forskellige perspektiveringsscenerier lav, middel og høj i henholdsvis 2030 og 2050.

5. UDVIKLING I FOSSIL CO₂ EMISSION

Der er to effekter, der påvirker CO₂-emission fra anlæg til termisk behandling af affald. i) affaldets sammensætning og dermed indhold af kulstof af fossil oprindelse og ii) etablering af CO₂ fangstanlæg. I det følgende behandles de to effekter separat, og den samlede effekt fra begge forhold på CO₂-emission vurderes.

5.1 Ændret affaldssammensætning

I afsnit 4.1 er betydningen for varmeproduktion af tiltag med udsortering af forskellige affaldsfraktioner til genanvendelse m.v. beskrevet, og der er i afsnittet ikke taget stilling til, hvilke fraktioner der fjernes, og hvilken indvirkning dette på have på brændværdien af det resterende affald, der tilgår den termiske affaldsbehandling.

Ved udsortering af energirige affaldsfraktioner fra det forbrændingsegnete affald som eksempelvis plast, vil brændværdien af det resterende affald falde. På tilsvarende vis vil udsortering af eksempelvis kildesorteret organisk dagrenovation (KOD) fra det forbrændingsegnete affald medføre en stigning i brændværdien af det resterende affald.

Det er et politisk ønske, at der udsorteres mere plast fra affald, men erfaringsmæssigt udgør dette kun en relativ begrænset mængde (masse) af det samlede affald. Udsortering af KOD andrager derimod mængdemæssigt helt andre størrelser, omend energiindholdet i det udsorterede KOD er begrænset.

Der eksisterer ingen mål for, hvor meget plast og KOD mv., der påtænkes fjernet fra mængden af forbrændingsegnet affald og følgelig heller ingen konsekvensberegning af, hvor meget dette vil betyde for kapacitetsbehovet udtrykt som energiindhold, hvilket definerer den egentlige behandlingskapacitet. Dette skyldes, at når brændværdien stiger som følge af eksempelvis udsortering af KOD, vil den faktiske behandlingskapacitet på anlæggene falde.

5.1.1 Sammensætning af affald

Der findes i Danmark relativt få opgørelser af affaldssammensætningen, for det affald, der tilgår termisk behandling, da udtagning af stikprøver, der kan give et repræsentativt billede af den samlede affaldsstrøm, er meget vanskelig, ligesom affaldssammensætningen varierer hen over året blandt andet som følge af visse virksomheders varierende produktion.

Generelt opereres i Danmark med to forskellige affaldstyper i) husholdningsaffald og ii) erhvervsaffald.

Husholdningsaffald består fortrinsvist af dagrenovation. Med dagrenovation menes affald, der indsamles direkte fra de enkelte husstande og boligforeninger, mens erhvervsaffald både betegner dagrenovationslignende affald fra kontorer og kantiner men også egentlig industriaffald fra nærtliggende industriproduktion. Typisk modtages på et affaldsenergianlæg lige dele kommunalt indsamlet dagrenovation og erhvervsaffald.

Hertil kommer affald indsamlet på kommunale genbrugspladser, hvor affaldskategorierne småt brændbart og stort brændbart også tilføres affaldsenergianlæggene

Dagrenovation

Dagrenovationsaffald er som oftest en blanding af følgende store hovedfraktioner:

- madrester og planteaffald m.v. med lav brændværdi og højt vandindhold
- fødevarekontamineret og rent emballageaffald af pap og papir med høj brændværdi og lavt vandindhold
- fødevarekontamineret og rent emballageaffald af plast med høj brændværdi og lavt vandindhold
- ubrændbare fraktioner af glas, metal, sand m.v.

Dagrenovation er kendetegnet ved typisk en relativ lav brændværdi sammenlignet med erhvervsaffaldet, hvilket skyldes den store fraktion af organisk affald (madaffald m.v.), og typisk angives dagrenovationen at have en nedre brændværdi varierende fra 8-10 GJ/ton dog med store udsving afhængig af indholdet af pap, papir og plastic.

I dagrenovationen vil det være muligt at udsortere en vis del af det organiske affald med det formål at lade affaldet behandle andetsteds (f.eks. bioforgasning eller kompostering). I dette tilfælde reduceres affaldsmængden direkte med den fjernede affaldsmængde, hvorimod den indfyrede effekt nærmest forbliver uændret som følge af den fjernede fraktions relative lave brændværdi.

Erhvervsaffald

Erhvervsaffald kan opdeles i nedenstående fraktioner:

- dagrenovationslignende affald fra kontorer og kantiner m.v.
- industriaffald

Sammensætningen af det dagrenovationslignende affald vil minde meget om kommunalt indsamlet dagrenovation.

Industriaffaldet kan ikke karakteriseres nærmere, end at det typisk har relativ høj brændværdi med lavt vandindhold, da andelen af emballagelignende affaldstyper med relativ stor plastandel som oftest udgør en stor del af affaldet. Hertil kommer kasserede brændbare produkter og restprodukter udformet i brændbare materialer som træ, pap og plast m.v.

Blandet erhvervsaffald angives typisk at have en nedre brændværdi fra 12-16 GJ/ton.

5.1.2 Effekt af udsortering

I det følgende behandles konsekvenserne af, at der fjernes visse affaldsfraktioner til det affald, der forventeligt modtages på de tre anlæg til termisk affaldsbehandling. Til illustration af effekterne heraf antages øget udsortering af kildesorteret organisk dagrenovation (KOD) og plast, da disse to fraktioner har størst indflydelse på mængdereduktionen og ændringen i det residuale affalds brændværdi. I praksis forventes der også øget udsortering af papir, pap og tekstiler m.v., men effekten af dette er i store træk indeholdt i ovenstående eksemplificering ved udsortering af KOD og plast.

Beregningerne gennemføres med udgangspunkt i en brændværdi på det modtagne affald (før ændringen) på 10,4 GJ/t hvilket svarer til denne vægtede gennemsnitsbrændværdi for affald modtaget af ARC, ARGO og Vestforbrænding i 2019. Det skal bemærkes, at der i tidligere omtalte Affaldsenerginotat anvendes en brændværdi på 10,6 GJ/t svarende til Energistyrelsens landsmiddel, men for nærværende notats beregninger tages der udgangspunkt i de tre anlæg erfarede middelbrændværdi,

Udsortering af KOD

Blandet affald bestående af kommunalt indsamlet dagrenovation og erhvervsaffald indeholder forventeligt 15-30 % organisk affald. Miljøstyrelsen har tidligere vurderet, at potentialet for udsortering af organisk fraktion fra dagrenovationen (kildesorteret organisk dagrenovation – KOD) er ca. 164 kg pr. husstand pr. år¹. Med en gennemsnitlig produktion af dagrenovation fra husstandene på henholdsvis 408 kg/år for enfamiliehuse og 337 kg/år for etageboliger² giver dette med en boligfordeling på 60/40 (landsgennemsnit for 2020) en gennemsnitlig affaldsmængde på 380 kg or husstand. Potentialet for udsortering af KOD fra husholdningsaffaldet synes således i henhold til Miljøstyrelsen af udgøre ca. 43 %. Da husholdningsaffald typisk udgør ca. halvdelen af

¹ Miljøstyrelsen; Kildesorteret organisk dagrenovation (KOD) – Business Case med miljømæssige og økonomiske konsekvenser; Miljøprojekt nr. 2092, 2019.

² Miljøstyrelsen; Kortlægning af sammensætningen af dagrenovation og kildesorteres organisk affald fra husholdningerne; Undgå affald, stop spild nr. 17, 2018.

det affald, der tilgår et affaldsenergianlæg, vurderes det således muligt at reducere affaldsmængden gennem kildesortering af KOD med i alt ca. 22 %, således at affaldsmængden til de tre anlæg reduceres fra 1,4 mio. ton til 1,1 mio. ton årligt, svarende til 80 %, når det som udgangspunkt forudsættes, at de tre anlægs kapacitet på ca. 1,4 mio. ton udnyttes helt.

Hvis det antages, at den nedre brændværdi af det organiske affald er 3 GJ/ton (beregnet som den fraktion der reelt fjernes med KOD, idet rejekt fra behandling af KOD føres tilbage til affaldsenergianlæggene), reduceres den indfyrede effekt med 924.000 GJ/år svarende til ca. 6 %. Brændværdien på det resterende affald stiger herved til ca. 12,5 GJ/ton.

Da den indfyrede effekt "kun" reduceres med ca. 6%, svarer dette til, at den oprindelige affaldsmængde på 1,4 mio. ton reduceres til 1,3 mio. ton, hvis brændværdien forudsættes uændret på 10,4 GJ/t, og det ses således, at udsortering af KOD kun har en ringe effekt på det termiske affaldsbehandlingsbehov.

Udsortering af plast

Udsortering af plast er et omstridt diskussionsemne, da meget af den plast, der i dag havner i det affald, der går til energiudnyttelse, ikke, eller kun yderst vanskeligt kan genanvendes og/eller at ressourceforbruget ved genanvendelse overstiger det ressourcepotentiale affaldet besidder.

Plastindholdet i "typisk" affald varierer meget, men med udgangspunkt i affald med et plasticindhold på eksempelvis 15 % og med en gennemsnitlig brændværdi på 35 GJ/ton vil ca. halvdelen af affaldets energiindhold hidrøre fra plastic. Resten af affalds brændværdi hidrører fra KOD og forskellige former for tilsmudset celluloseprodukter og tekstiler m.v.

Plastic fra husholdningsaffald er generelt yderst vanskelig af genanvende, da en stor del af affaldet er kontamineret med fødevarer. Endvidere er tynde plastprodukter og plastfolier vanskelige at underkaste en sikker og separation i forskellige plasttyper. Selv om plasten kildesorteres til separat behandling i husholdningerne, vil en del af plasten blive returneret til affaldsenergianlægge som "sorteringsrejekt", og det forudsættes i det følgende, at den videre sortering og oprensning af plastic foretages i Københavnsområdet, således at sorteringsrejektet returneres til et af de tre affaldsenergianlæg. Alternativt, skal alt udsorteret plastic betragtes som "tabt" for varmeforsyningen.

Med udgangspunkt i, at 50 % af affaldets plastindhold reelt kan udsorteres til genanvendelse, vil affaldsmængden til de tre anlæg blive reduceret 1,4 mio. ton til 1,3 mio. ton årligt, svarende til 8 % når det som udgangspunkt forudsættes, at de tre anlægs kapacitet på ca. 1,4 mio. ton udnyttes helt, inden udsorteringen påbegyndes.

Hvis det antages, at den nedre brændværdi af plasten er 35 GJ/ton, reduceres den indfyrede effekt med 3.675.000 GJ/år svarende til ca. 25 % af den oprindelige indfyrede energi. Brændværdien på det resterende affald falder herved til ca. 8,4 GJ/ton. Uagtet, at affaldsmængden kun reduceres med 8 %, reduceres den indfyrede effekt markant svarende til en affaldsmængde på 1,1 mio. ton med uændret brændværdi på 10,4 GJ/t, og det ses således, at udsortering af plast har meget stor effekt på det termiske affaldsbehandlingsbehov.

Boks 1 – Brændværdi af plastic

Brændværdien af plastic varierer meget mellem de forskellige plasttyper, ligesom der kan være stor forskel på brændværdien af den "rene" plast og det plastic, der kan fjernes fra affald grundet iblanding af fyldstoffer, additiver, pigmenter og andet i det endelige plasticprodukt. For rene termoplasttyper gælder at 100 % rent PE, PP og PS har brændværdier på 42-44 GJ/t og 100 %, ren PC og PA har brændværdier på ca. 30 GJ/t og ren PVC og PET ligger mellem 18 og 22 GJ/t. For hærdeplasttyper som ABS og PUR varierer brændværdien mellem 23 og 38 GJ/t.

Det plastic, der typisk kan udsorteres fra dagrenovation dominere af termoplasttyper som PE og PP, men en del PET kan også udsorteres. Som gennemsnitsværdi for brændværdien af det udsorterede plastic (regnet som tørstof) anvendes følgende en nedre brændværdi på 35 GJ/t.

Udsortering af både KOD og plast

Hvis det antages, at både KOD og plastic fjernes i det omfang beskrevet ovenfor, reduceres den samlede mængde af affald, der føres til termisk behandling, når de tre anlægs kapacitet udnyttes helt før udsortering, fra 1,4 mio. ton årligt til ca. 1,0 mio. ton svarende til en reduktion i affaldsmængden på ca. 29 %. Affaldets gennemsnitlig brændværdi vil, under de samme betingelser blive reduceret fra 10,4 GJ/t til ca. 10,1 GJ/t, hvorved reduktionen i anlæggende indfyrede effekt kan beregnes til ca. 32 %.

Et scenarie, hvor både KOD og plastic fjernes vil således modsvare en reduktion i affaldsmængde og indfyret effekt på ca. 30 %. Hvis imidlertid udsortering af KOD bliver 5 procentpoint lavere ændres brændværdien af det residuale affald til 9,6 GJ/ton. Hvis udsortering af plastic bliver 2,5 procentpoint lavere, ændres brændværdien af det residuale affald til 10,9 GJ/t.

I førnævnte Affaldsenergiforudsætningsnotat antages ligeledes udsortering af organisk affald og følgelig forudsættes brændværdien at stige fra 10,6 GJ/t til 12,3 GJ/t, hvilket er i tråd med ovenstående beregninger, når der alene udsorteres KOD. Affaldsenergiforudsætningsnotat beskriver også udsortering af plast, men udsorteringerne er ikke nærmere kvantificeret. Som det vises ovenfor, har udsortering af plast en stor indvirkning på brændværdien af det residuale affald, hvor dette forhold er vigtigt at komme nærmere ved vurdering af de fremtidige mængder affald til termisk affaldsbehandling.

Som det fremgår af ovenstående, kan det være vanskeligt at forudsige, hvorledes den fremtidige brændværdi af affaldet vil ændres i takt med, at der successivt udsorteres stigende mængde, og variationer på +/- 2 GJ/t synes ikke urimeligt.

5.1.3 CO₂ emission ved ændret affaldssammensætning

I afsnit 3.5 vises det, at det affald, der i dag tilgår termisk behandling på de tre affaldsenergianlæg, der leverer varme til fjernvarmenettet i hovedstaden, forventeligt afgiver ca. 1,0 ton CO₂ pr. ton affald der behandles. CO₂-mængden af fossil oprindelse heraf udgør endvidere ca. 400 kg.

Ved udsortering af KOD fjernes der udelukkende CO₂ af biogen oprindelse, idet det forudsættes, at alt rejekt fra behandlingen af KOD føres tilbage til de tre affaldsenergianlæg. Endskønt energiindholdet i KOD er relativt lavt (3 GJ/t), er indholdet af biogent CO₂ relativt højt idet kulstoffet i biologisk materiale er delvist kemisk oxideret (eksempelvis i carbonhydrater), hvorfor det energiindhold, der knytter sig til emission af et molekyle CO₂ er lavere end for fossile brændsler. Dette betyder, at der ved forbrænding af 1 GJ KOD forventeligt emitteres 100 kg CO₂.

Når der fjernes plast fra affaldet, fjernes der fortrinsvist CO₂ af fossil oprindelse, idet anvendelse af plasttyper produceret på baggrund af biologisk materiale så som cellofan og lignende ikke er særlig udbredt (mængdemæssigt), og ligeledes er anvendelsen af PLA (plast produceret på baggrund af mælkesyre) fortsat i sin vorden. For blandet plast med en brændværdi på 35 GJ/t, er indholdet af CO₂ i forhold til brændværdien relativt lavt sammenlignet med biologisk materiale, da kulstofatomerne i plasten besidder en relativ højere energimængde. Dette betyder, at der ved forbrænding af 1 GJ plast forventeligt emitteres 80 kg CO₂.

Hvis det antages, at både KOD og plastic fjernes i det omfang, der er beskrevet i afsnit 5.1.2, vil indhold af CO₂ pr ton affald blive ændret fra 1000 kg/ton affald til 1027 kg/ton affald. En stigning i affaldets indhold af CO₂ på ca. 3 % kan synes paradoks, men stigning er et resultat af, at udsortering af KOD medfører, at CO₂ indholdet i det residuale affald stiger, da KOD indeholder relativt mindre CO₂ pr. kg end gennemsnitsaffaldet.

Da der tillige fjernes plast fra affaldet, reduceres affaldets fossile indhold markant, og fordelingen mellem fossil og biogent CO₂ ændres fra 40:60 til 26:74, således at et ton affald fremadrettet kun vil emitte 270 kg fossilt CO₂ eller 27 kg fossilt CO₂ pr. GJ affald.

Det skal bemærkes, at dette CO₂ indhold ikke umiddelbart synes at stemme overens med Affaldsenergiforudsætningsnotat, hvor der forventes en fossil CO₂ udledning på ca. 193 kg pr. ton

affald eller ca. 16 kg fossilt CO₂ pr. GJ affald. Data i Affaldsenergiforudsætningsnotatet er imidlertid ikke nærmere begrundet beregningsmæssigt, hvorfor det er vanskeligt at vurdere årsag til denne diskrepans med ovenstående.

5.2 CCS

En anden og meget mere effektiv måde at fjerne CO₂ fra den termiske affaldsbehandling er at underkaste røggassen CO₂ fangst som beskrevet i afsnit 4.2. Effektiviteten af et CO₂ fangstanlæg bestemmes indenfor visse rammer i anlæggets design og engineering fase, og typisk anvendes en reduktionsrate på 85 % som årsmiddelværdi.

Kemien og fysikken i et CO₂ fangstanlæg kan ikke skelne mellem CO₂ af biogen og fossil oprindelse, hvorfor anlægget fanger en blanding af de to oprindelser. EU's kvotesystem er i dag ikke forberedt på CO₂-fangst, og systemet er indrettet, således at den indfangede mængde CO₂ kan modregnes i den fossile CO₂ emission, der ville have været, hvis der ikke havde været etableret CCS dog således, at der ikke opnås negative CO₂ emissioner (fossilt) rent kvoteteknisk.

Uagtet at kvotesystemet ikke kan håndtere negative CO₂ emissioner, vil et CCS på et affalds-energianlæg medvirke til reduktion af atmosfærens CO₂ indhold, idet CO₂ fangst på biogene kulstofkilder netop medfører, at CO₂'en af biogen oprindelse ikke tilbageføres, men lagres for stedse.

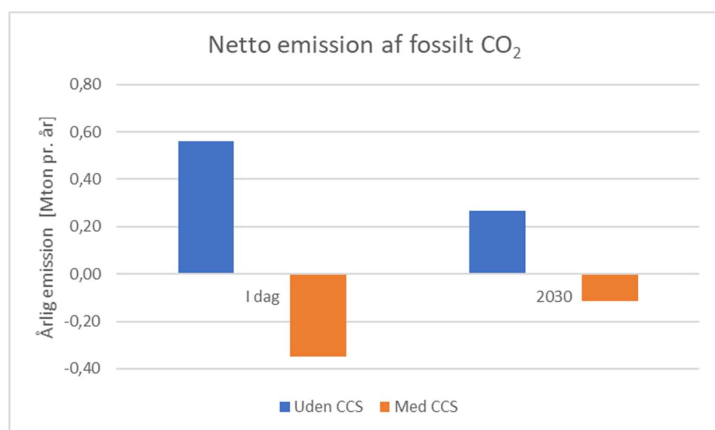
5.3 Netto fossil CO₂ emission ved CCS og sortering

Nettoemissionen af CO₂ af fossil oprindelse betegnes nu som den reelle emission af CO₂ (af fossil oprindelse) fratrasket den opfangede og lagrede CO₂ af biogen oprindelse. På den måde kan den reelle effekt af CCS og affaldssortering på atmosfærens indhold af CO₂ belyses.

I figur vises den således beregnede samlede netto-CO₂-emission under antagelse af, at der i dag under de nugældende driftsbetingelser, etableres CCS på samtlige ovnlinjer til termisk behandling af affald. Figuren viser de tilsvarende forhold i 2030 under antagelse af, at der både fjernes KOD og plastic i det omfang, der er beskrevet i afsnit 5.1.2.

Af figur 9 fremgår det, hvorledes der i dag med CCS på alle ovnlinjer vil kunne opnås en negativ CO₂ emission på ca. 0,35 Mton CO₂ årligt, hvilket i forhold til anlæg uden CCS, svarer til en CO₂ emissionsreduktion på 0,9 Mton CO₂ årligt (reduktion af 0,56 Mton til -0,35 Mton årligt).

CO₂ emissionsreduktionen ved alene at satse på udsortering af KOD og plastic er til sammenligning ca. 3 gange mindre (reduktion af 0,56 Mton til 0,27 Mton årligt).



Figur 9 Nettoemissionen af CO₂ efter udsortering af KOD og plastic og ved etablering af CCS

FFH50 - SEKTORKOBLING