

System og teknologi - Opdaterede teknologidata og potentialer

Delopgave B –
Potentiale vurdering
af varmekilder

VEKS, HOFOR, CTR, VESTFORBRÆNDING

15. MARTS 2021

Indhold

1	Introduktion	4
2	Delopgave B1 – Potentialet for varmepumper på spildevand	4
2.1	Tidligere arbejde	4
2.2	Datahåndtering og usikkerheder	4
2.3	Beregningsmetode	7
2.4	Potentialekortlægning	8
2.5	Yderligere potentiale	10
2.6	Mulige projekter	13
3	Delopgave B2 – Potentialet for havvandsvarmepumper	14
3.1	Tidligere arbejde	14
3.2	Metode	14
3.2.1	Eksisterende havvandsanlæg	14
3.2.2	Stand-alone anlæg	16
3.2.2.1	Indledende udvælgelse af interesseområde for havvandsvarmepumper	16
3.2.2.2	Udvælgelse baseret på havdybder	18
3.2.2.3	Prioritering baseret på landforhold	18
3.2.2.4	Vurdering af potentiale for at hente varme fra havvand	20
3.2.2.5	Vurdering af potentiale for fjernvarmeproduktion	24
3.3	Potentialekortlægning	24
3.3.1	Geografisk placering af potentialerne	25
3.3.2	Overvejelser i forhold til omkostninger for stand-alone havvandsanlæg	26
3.4	Mulige projekter og perspektiver	28
3.4.1	Konverteringer af havvandsindtag på kraftværker	28
3.4.2	Varmepumpe ved Lynetten som udnytter spildevand og havvand	28
3.4.3	Højtemperaturvarmepumper og havvand	28
4	Delopgave B3 – Potentialet for industriel overskudsvarme	30
4.1	Tidligere arbejde	30
4.2	Metode	30

4.2.1	Kortlægning af industriel overskudsvarme	30
4.2.1.1	Disaggregering af enkelte brancher	33
4.2.2	Kortlægning af overskudsvarme fra supermarkeder	35
4.2.3	Inddeling i temperaturniveauer	36
4.2.4	Fjernvarmepotentiale	36
4.3	Potentialekortlægning	36
4.3.1	Kortlægning af overskudsvarme	37
4.3.2	Intern varmeudnyttelse i supermarkeder	38
4.3.3	Fjernvarmeeffektpotentiale	39
4.4	Perspektivering	41
5	Opsamling	41

No table of contents entries found.

Projekt ID: 10410445
Ændret: 15-03-2021 14:03
Revision

Udarbejdet af GRAA /CREC
Kontrolleret af CRI
Godkendt af NBA

1 Introduktion

Formål med nærværende potentiale vurdering er at finde frem til de realiserbare tekniske potentialer for de af FFH50 udvalgte enkelte overskudsvarmekilder (spildevand, havvand og industriel overskudsvarme) indenfor de 21 ejerkommuner for HOFOR/CTR/VEKS og Vestforbrænding. Generelt arbejdes der med afsætning til fjernvarmenettene i to forskellige temperatur-setpunkter defineret af FFH50:

- Reference scenarie
- Lavtemperatur scenarie

2 Delopgave B1 – Potentialet for varmepumper på spildevand

2.1 Tidligere arbejde

Potentialet for etablering af varmepumper til fjernvarmeproduktion på renseanlæg har tidligere været analyseret i rapporten "kortlægning af effektpotentiale for store varmepumper". Dette arbejde inkluderede de største renseanlæg i hovedstadsområdet, og det blev vurderet at der samlet set er et effektpotentiale på 75 MJ/s fordelt således:

Figur 2.1: Tidligere opgjort effektpotentiale for varmepumper på spildevand i hovedstadsområdet. Enhed er [MJ/s].

Renseanlæg mv.	CTR	VEKS	HOFOR
Lynetten			28
Avedøre		14	
Sj.broens pumpestation			13
Mosede		2,4	
Tårnby	6,1		
Køge		3,3	
Roskilde		8	
I alt	6	28	41

Opgørelsen tog udgangspunkt i et gennemsnitligt dagligt spildevandsflow, en afkøling af spildevandet på 6 K og COP for varmepumpen ved denne afkøling på 3,2.

På de tre renseanlæg Sjællandsbroens pumpestation (Udløbet fra Damhusåens renseanlæg), Tårnby og Roskilde er der allerede gennemført varmepumpeprojekter. I Tårnby og Roskilde vurderes hele potentialet at være udnyttet. På Damhusåen renseanlæg vurderes der fortsat at være et restpotentiale.

2.2 Datahåndtering og usikkerheder

I det følgende er effekt- og energipotentialet opgjort for både store og mellemstørrelse renseanlæggene i ejerkommunerne for Vestforbrænding, CTR, HOFOR og

VEKS. I alt er inkluderet 13 renseanlæg. Tårnby og Roskilde renseanlæg er ikke inkluderet, fordi der allerede er installeret varmepumper på disse to lokationer med varmeeffekter på hhv. 6,4 og 8 MW.

Af de 13 renseanlæg har 10 renseanlæg bidraget til projektet med fremsendelse af data for både temperatur og flow i så høj opløselighed som muligt. Datagrundlaget var derfor en blanding af døgn-, time- og minutmålinger, og et enkelt af anlæggene havde kun sporadiske temperaturmålinger. Datakvalitet fra de forskellige anlæg ses i Appendix 1 som desuden indeholder alle forudsætninger, mellemregninger og resultater fra potentialeopgørelsen for de enkelte spildevandsanlæg.

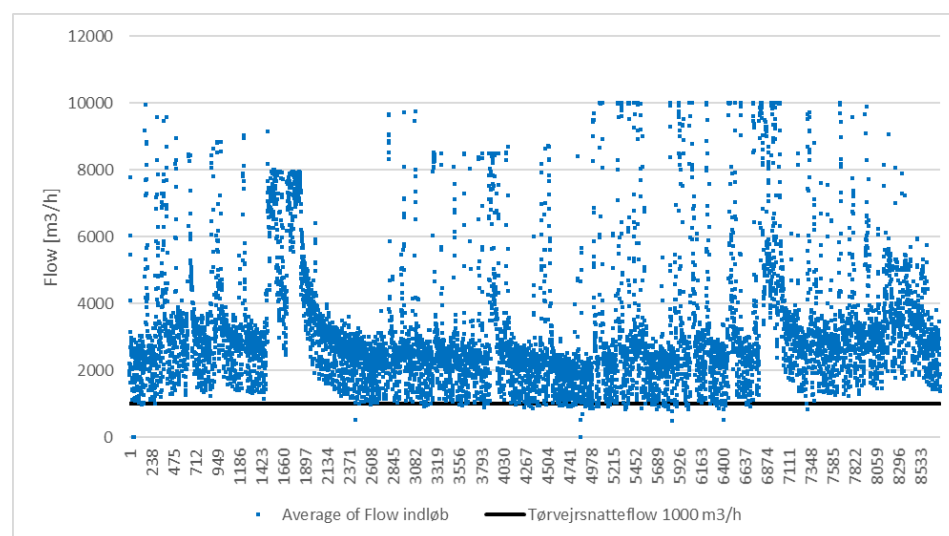
Opgørelsen af effekt beror på *tørvejrsnatteflowet* i de forskellige anlæg, hvilket forstås som den laveste time-middelværdi der ses i spildevandsdata under normal drift. *Tørvejrsnatteflowet* er fastsat som det minimale flow der findes på alle tidspunkter af året i et gennemsnitsår.

Opgørelsen tager udgangspunkt i spildevandsdata fra 2017-2019. Der er store forskelle på spildevandsmængderne i disse tre år, hvilket skyldes forskel i regnmængder de tre år imellem. 2018 var et ekstraordinært tørt år, mens 2017 var vådere end gennemsnittet, og 2019 var et år med ekstraordinært meget nedbør. Der er så vidt muligt anvendt et gennemsnit af de tre år. Da analysen ikke bygger på de samlede spildevandsmængder, men på tørvejrsnatteflowet, vurderes nedbør ikke at påvirke resultatet.

Der er ikke taget højde for andre mulige påvirkninger af de fremtidige spildevandsmængder på anlæggene. Eksempelvis løbende tilkobling af forbrugere til renseanlægget, etablering af separatkloakering eller andre ændringer i infrastrukturen.

Som et eksempel ses nedenfor fastsættelse af tørvejrsnatteflow for Damhusåen. Der er nogle perioder med rigtig meget regn, men udenfor disse kan flowet nå ned omkring 1000 m³/h. Der er enkelte målinger, som er lavere endnu, men det antages at dette skyldes enkeltstående begivenheder eller hændelser på renseanlægget, hvilket der ses bort fra.

Figur 2.2: Timegennemsnit af udløbsflow for Damhusåens renseanlæg og markering af tørvejrsnatteflow på ca. 1000 m³/h.



For de anlæg hvor der ikke foreligger data på timebasis til denne bestemmelse af tørvejrnsnatteflowet, er tørvejrnsnatteflowet bestemt til at udgøre samme andel af årsgennemsnitsflowet baseret på de anlæg hvor timedata var tilgængeligt (Damhusåen, Jyllinge, Mosede, Solrød, Stavnsholt). Gennemsnitligt udgør tørvejrnsnatteflowet 25 % af årsgennemsnitsflowet.

Eksempel (Jyllinge renseanlæg):

Samlet årligt spildevand: 697.524 m³/år

Årsgennemsnitsflow: 697.524 m³/år x 8760 h/år = 79,6 m³/h

Målt tørvejr natteflow: 20 m³/h

Andel i forhold til årsgennemsnitsflow: (20 m³/h) / (79,6 m³/h) = 25 %

Analysen tager udgangspunkt i timeværdier for spildevandsflow. I praksis kan der være betydelige udsving inden for en time og kortvarige flow ned til 0 m³/h. Dette er især afhængigt af renseanlæggenes drift og styring af pumper og tanke. Det er forudsat, at der kan etableres foranstaltninger på renseanlægget, som udjævner flows inden for en time. Disse omkostninger er ikke medregnet i nedenstående priser, da foranstaltninger primært er justeringer af drift på renseanlægget. Dette er ikke kun nødvendigt for kunne gennemføre potentialeanalyser, men i praksis har det også vist sig vanskeligt at holde en stabildrift på et varmepumpeanlæg, hvis der ikke er mulighed for at udjævne kortvarige udsving på flowet.

For de renseanlæg som ikke har fremsendt data for spildevandsmængder, er den gennemsnitlige spildevandsmængde pr. PE (person ækvivalent) skaleret til renseanlægget¹. Temperaturer for disse renseanlæg er antaget at svare til gennemsnitsværdierne fra de øvrige anlæg.

De værdier som er brugt i beregningen for tørvejrnsnatteflow, minimum spildevandstemperatur og gennemsnitlige vinter spildevandstemperaturer for hvert af de 13 renseanlæg ses i Tabel 2.1.

Tabel 2.1: Tørvejrnsnatteflow og minimum og gennemsnitlige vinter temperaturer for spildevandet i de 13 renseanlæg.

Lokation	Minimums tørvejrnsnatteflow [m ³ /h]	Minimum spildevandstemperatur [°C]	Gns. Vinter spildevandstemperatur [°C]
Avedøre	781	6,9	12,1
Borup	27	8,3	10,8
Damhusåen	1000	7,6	11,5
Jyllinge	20	9,3	10,6
Kallerup	37	8,3	10,8

¹ Værdier for PE belastning ved de forskellige renseanlæg er fra miljøstyrelsens udgivelse "Punktkilder 2018" bilag 1.8. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2019/12/978-87-7038-132-1.pdf>

Køge-Egnen	169	7,6	10,2
Lynetten	1823	8,9	13,2
Mosedede	150	8,8	10,5
Mølleåværet	397	8,3	10,8
Måløv	116	9,0	10,0
Solrød	80	8,4	10,0
Stavnsholt	40	8,2	11,0
Viby	24	7,8	8,9

2.3 Beregningsmetode

Varmeeffektpotentialet ($\dot{Q}_1$) i spildevandet beregnes ud fra masseflow af spildevand ($\dot{m}$), afkøling (dT) :

$$\dot{Q}_1 = \dot{m} \left[\frac{kg}{s} \right] \cdot 4,18 \left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right] \cdot dT [K]$$

Masseflowet er tørvejrnsnatteflowet omregnet vha. densitet på 1000 kg/m³.

Afkøling er forskellen mellem spildevandets indløbs- og udløbstemperatur. Udløbstemperaturen er antaget fast til 2 °C². Indløbstemperaturen er forskellig fra renseanlæg til renseanlæg. Der er udført beregninger for både den minimale indløbstemperatur målt på et år samt den gennemsnitlige vinter temperatur.

Herefter omregnes det til et varmeproduktionspotentiale for en varmepumpe ($\dot{Q}_2$) med COP (varme) værdi på følgende måde:

$$\dot{Q}_2 = \dot{Q}_1 \cdot \frac{COP}{COP - 1}$$

COP (varme) værdien afhænger af det specifikke anlæg, samt hvilke temperaturer anlægget skal optage varme fra (spildevandstemperaturen) og levere varme til (fremløbstemperaturen i fjernvarmesystemet). I beregninger antages en konstant Lorentz virkningsgrad, der angiver et anlægs COP værdi i forhold til det teoretisk maksimalt mulige. Lorentz virkningsgraden er defineret som følger:

$$\eta_{Lorentz} = \frac{COP_{m\ddot{a}lt}}{COP_{Lorentz}}, COP_{Lorentz} = \frac{T_{lm,H}}{T_{lm,H} - T_{lm,L}}$$

Hvor $T_{lm,H}$ og $T_{lm,L}$ er logaritmsk beregnede middeltemperaturer på henholdsvis den varme og den kolde side af varmepumpen. Dette vil på den varme side være temperaturen på frem og retur af fjernvarmevandet og på den kolde side være

² Afkøling til 2 °C er valgt for at have en sikkerhedsmargin til frysepunktet. Erfaringsopsamlingen, der er udført parallelt med potentialeopgørelsen, har vist at de anlæg der er i drift har temperaturgrænsen mellem 2 og 4 °C.

varmekildens frem- og returtemperatur. Erfaringsopsamlingen, som er udført parallelt med denne potentialeopgørelse, har en realistisk Lorentz-virkningsgrad på eksisterende spildevandsvarmepumpeanlæg på 57%. I det efterfølgende tages udgangspunkt i denne værdi.

Der er udført beregninger både med COP værdier svarende til fjernvarme temperatursæt (fremløb/retur) på 80 °C/50 °C (referencetemperaturer) og 70 °C/40 °C (lavtemperatur).

Der er derfor udført i alt fire forskellige beregninger af varme-effektpotentialet for renseanlæggene, hvilket ses i Tabel 2.2.

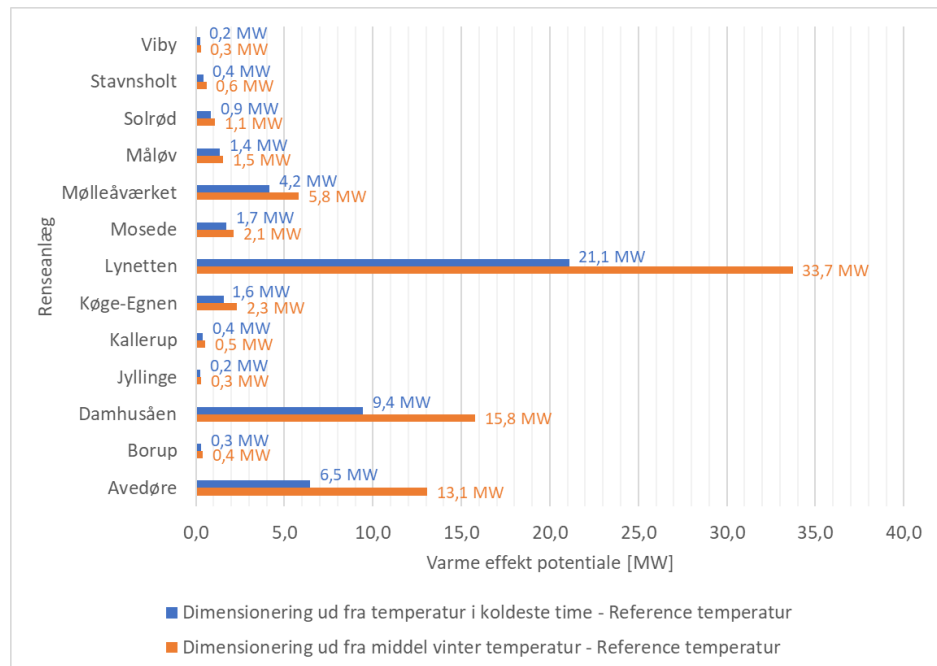
Tabel 2.2: Forudsætninger for beregninger af varmeeffektpotentialet.

	Masseflow	Afkøling fra	Afkøling til	COP
Beregning 1	Tørvejrsnatteflow	Laveste vinter temperatur	2 °C	Lorentzvirkningsgrad 57% - reference temperaturer
Beregning 2	Tørvejrsnatteflow	Gns. Vinter temperatur	2 °C	Lorentzvirkningsgrad 57% - reference temperaturer
Beregning 3	Tørvejrsnatteflow	Laveste vinter temperatur	2 °C	Lorentzvirkningsgrad 57% - lavtemperatur
Beregning 4	Tørvejrsnatteflow	Gns. Vinter temperatur	2 °C	Lorentzvirkningsgrad 57% - lavtemperatur

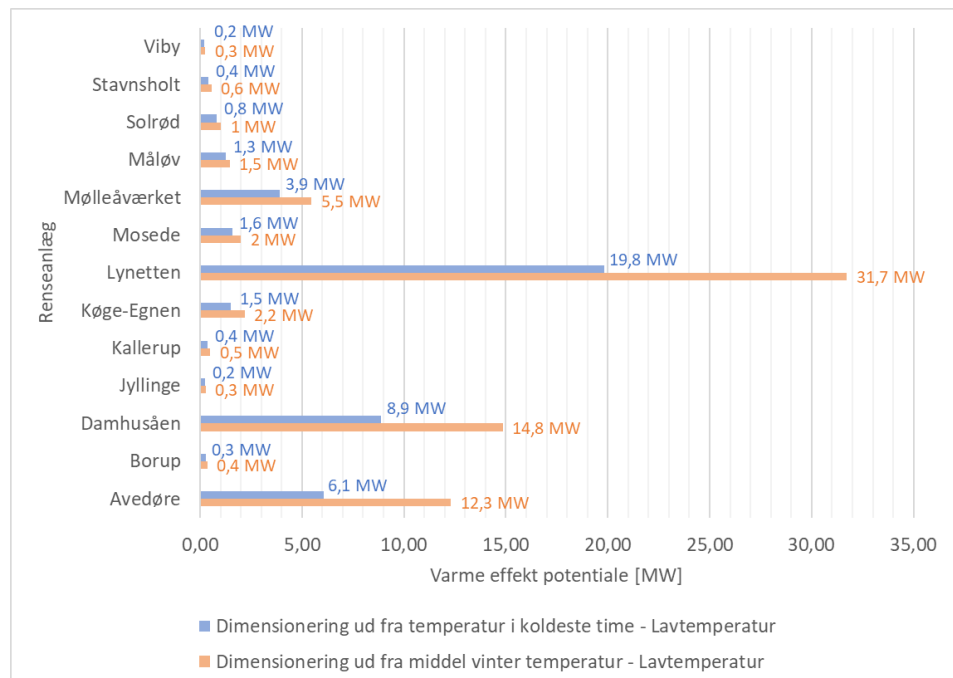
2.4 Potentialekortlægning

Ud fra de tørvejrsnatteflow og beregningsforudsætninger som er beskrevet ovenfor, er der beregnet et varmeproduktionspotentiale for varmepumper på de 13 renseanlæg. Effektpotentialer udregnet med de fire forudsætningssæt som vist i Tabel 2.2 er vist på Figur 2.3 og Figur 2.4.

Figur 2.3: Opgørelse af effekt-potentialer for renselanlæggene med forudsætning levering til net ved temperatursættet $T_f/T_r = 80/50$ °C (Referencetemperaturer)



Figur 2.4: Opgørelse af effekt-potentialer for renselanlæggene med forudsætning levering til net ved temperatursættet $T_f/T_r = 70/40$ °C (Lavtemperaturer)



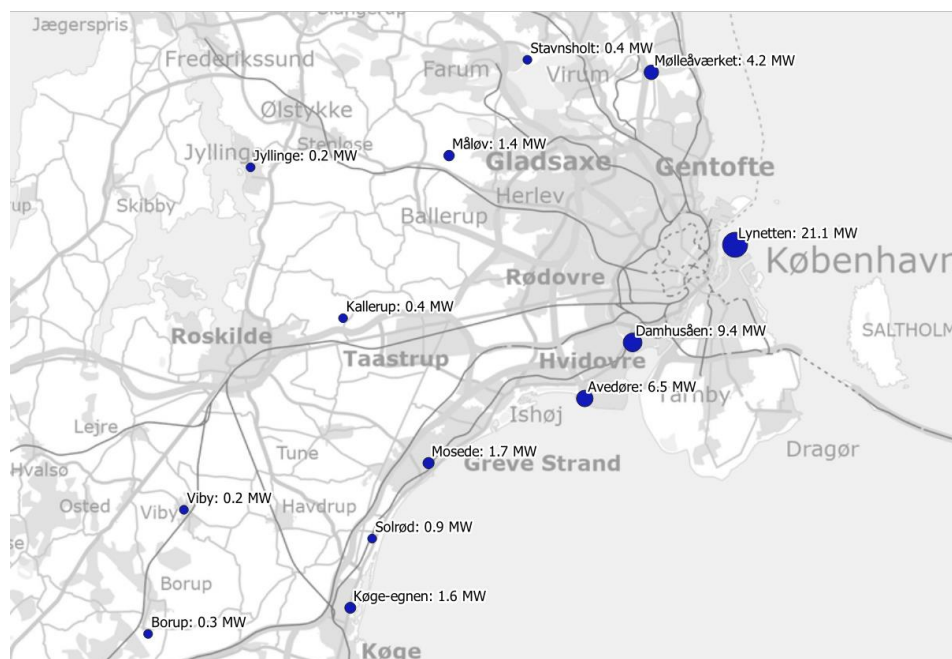
Det bemærkes, at der kan være meget store forskelle på varmeeffekterne for de anlæg, hvor der er store forskelle på målt minimumstemperatur og målt gennemsnitlig vintertemperatur.

Den samlede potentialeopgørelse for de 13 renseanlæg ses i Tabel 2.3. De geografiske placeringer for effektpotentialerne er vist i Figur 2.5.

Tabel 2.3: Samlet varme effekt potentiale for varmepumper på de 13 renseanlæg ved de fire forskellige beregningsforudsætninger.

		Samlet varme effekt [MW]
Beregning 1	Laveste vinter temperatur Fjv. reference temperaturer	48,3
Beregning 2	Gns. Vinter temperatur Fjv. reference temperaturer	77,6
Beregning 3	Laveste vinter temperatur Fjv. lavtemperatur	45,4
Beregning 4	Gns. Vinter temperatur Fjv. lavtemperatur	73,0

Figur 2.5: Geografisk placering af potentialerne. I Tårnby og Roskilde er der allerede gennemført varmepumpeprojekter og derfor er disse ikke vist på oversigten.



2.5 Yderligere potentiale

Varmeeffektpotentialet er opgjort på baggrund af de energimængder, som altid er til rådighed i spildevandet – 100 % tilgængelighed. Hvis varmepumpeanlæggene dimensioneres til at kunne udnytte større flowmængder og afkølinger, vil der være mulighed for langt større varmeproduktion. Som det ses på Figur 2.2, er spildevandsflowet ofte langt højere end minimumsnatteflowet (her for Damhusåen renseanlæg). Spildevandstemperaturerne er langt det meste af året også betydeligt højere end i den koldeste time.

Som eksempel har Damhusåen renseanlæg et timeligt gennemsnitsflow på op til 10.000 m³/h svarende til 10 gange minimumsnatteflowet. Temperaturen kan blive

op til ca. 21 °C (målt i 2019), svarende til en mulig afkøling på 19 °C, over 3 gange højere end i koldeste time hvor afkølingen er 5,6 °C.

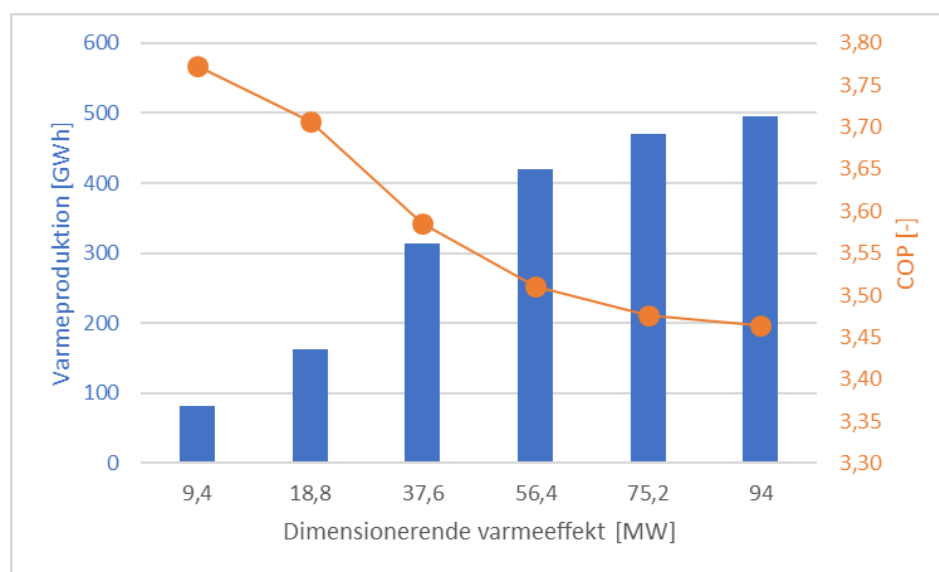
Der er udført beregninger for Damhusåens renseanlæg for at illustrere, hvor meget mere energi der kan produceres ved at øge den dimensionerende effekt. Beregningerne er udført ud fra antagelse om, at varmen altid kan afsættes i fjernvarmenettet ved 80/50 °C. Det vil sige at kun spildevandsmængderne er begrænsningen for, hvor meget varme anlægget kan producere. Den dimensionerende varmeeffekt forøges fra de 9,4 MW (svarende til minimumsflow og koldeste temperatur) i skridt op til 94 MW (svarende til faktor 10 opskalering). Resultatet ses på Figur 2.6.

Tabel 2.4: Varmeproduktion, års COP og ækvivalente fuldlasttimer for et år for varmepumpe ved Damhusåens renseanlæg ved forskellige dimensionerende varmeydelser.

*I flow- og spildevandsdata er der enkelte udfald på måler/manglende værdier, hvilket gør at beregnet fuldlasttimer ikke er 8760.

Varmeeffekt	[MW]	9,4	18,8	37,6	56,4	75,2	94
Faktor ifht. "tørvejsnatteflow"	[-]	1	2	4	6	8	10
Varmeproduktion	[GWh]	82	163	313	419	471	495
Ækvivalente fuldlasttimer	[h]	8688 *	8684	8331	7430	6259	5266
COP	[-]	3,77	3,71	3,59	3,51	3,48	3,46

Figur 2.6: Varmeproduktion og gennemsnitlig COP (ekskl. pumper og andet) for et år for en varmepumpe på Damhusåens renseanlæg.



Figur 2.6 viser, hvordan varmeproduktion stiger jo større den dimensionerende varmeeffekt er, men flader naturligt til sidst ud. Års COP værdien falder, hvilket skyldes at spildevandet skal køles længere ned jo mere varme der skal trækkes ud dog minimalt til 2 °C, hvilket påvirker effektiviteten negativt.

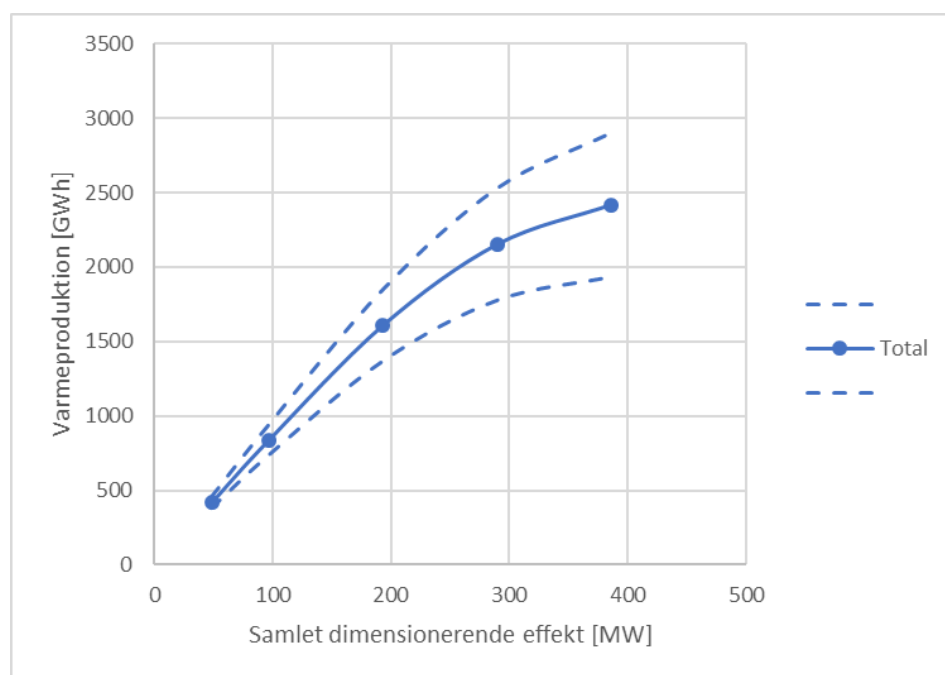
Det ses, at varmeproduktionen meget tydeligt flader ud fra 75,2 MW til 94 MW. Ved en dimensionerende effekt på 75,2 MW vil anlægget få produktionstid svarende til ca. 6.200 fuldlasttimer. Baseret på erfaring fra denne slags projekter, er dette fuldlasttimeantal hensigtsmæssigt i forhold til at opnå god projektøkonomi.

Det skal dog bemærkes, at der i de enkelte projekter kan være forhold som reducerer varmepumpens fuldlasttimer, såsom manglende varmebehov i det lokale net og øvrige produktionsenheder, som periodevist har fortrinsret eller lavere produktionspris end varmepumpen.

Omvendt kan fuldlasttimeantallet forøges ved hjælp af forskellige tiltag internt på renseanlæggene, såsom forbedret regulering af flow og udnyttelse af eksisterende eller etablering af nye tanke, som udjævner spildevandsflowet.

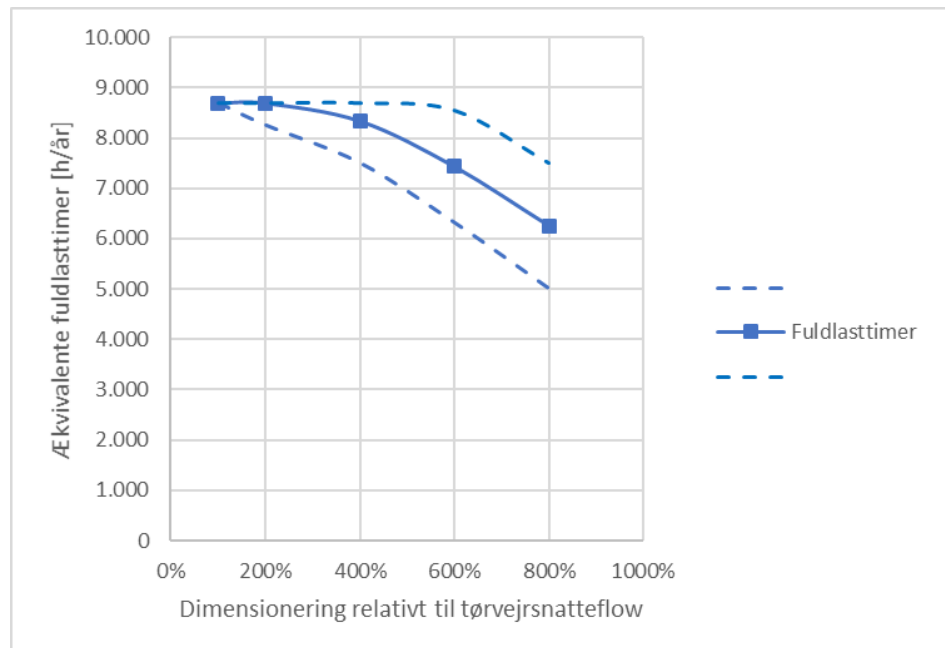
Den optimale varmeeffekt for hvert enkelt konkrete projekt kræver nærmere analyser, som tager højde for de ovenstående betragtninger. Fra et meget overordnet perspektiv vurderes det, at varmeproduktionen baseret på spildevand kan forøges op til maksimalt ca. 800 % af den minimale varmeproduktion (tørvejrnsnatteflow og laveste temperatur). Dette kræver dog et tilstrækkeligt stort varmebehov i nettet time for time. For de 13 anlæg betyder det samlet set, at effekten og varmeproduktionen kan forøges som vist på Figur 2.7. Det er indikeret på figuren at denne "prognose" er underlagt en høj grad af usikkerhed, som bliver højere i takt med at den dimensionerende effekt bliver højere end minimumseffekten. Det skyldes, at minimumseffekten er beregnet for hvert enkelt anlæg og "prognosen" er baseret på en ekstrapolation fra ét af de 13 datasæt.

Figur 2.7: Samlet årlig varmeproduktion som funktion af total installeret effekt.



En vurdering af hvordan antallet af ækvivalente fuldlasttimer ændres ved forøgning af installeret effekt er vist nedenfor på Figur 2.8. Ligesom på Figur 2.7 indikerer de stiplede linjer beregningens store usikkerhed, der skyldes at der er tale om en prognose, der beror på en ekstrapolation fra et anlæg til mange.

Figur 2.8: Vurdering af ækvivalente fuldlasttimer som funktion af samlet installeret effekt for varmepumper på spildevandsanlæg.



2.6 Mulige projekter

I udvælgelsen af de mest oplagte projekter, skal der tages hensyn til meget andet end potentialerne for varmeproduktionen, herunder placering i forhold til fjernvarmenet og fysisk pladskrav for maskininstallation og bygning, men der kan også være forretningsmæssige og ejerskabsmæssige hensyn. Fra potentialeopgørelsen er der alligevel lokationer, som springer i øjnene ved at have de højeste potentialer:

- Lynetten. Varmeeffektpotentialet er klart størst. Lynettens fremtid er i høj grad afhængig af planerne for Lynetteholmen. Der er derfor usikkerhed omkring den fremtidige placering derfor også mulighederne. Hvis man etablerede en varmepumpe kunne den evt. forberedes til havvandsdrift og skifte hertil hvis/når renseanlægget flyttes. Med renseanlæggets nuværende placering vil by-udvidelsen betyde et større lokalt afsætningsgrundlag for varmepumpen. Det kan også være relevant at integrere udnyttelsen af havvand, da Lynetten er placeret nær dybt havvand i Kongedybet. Se nærmere beskrivelse i afsnit 3.4.2.
- Avedøre. Renseanlægget er beliggende i umiddelbar nærhed af Avedøreværket. Etablering af et varmepumpeanlæg vil kræve en lang tilslutningsledning til distributionssiden af fjernvarmenettet. Til gengæld kan der være muligheder for besparelser ved at designe varmepumpeanlægget med en lav fremløbstemperatur og opnå den nødvendige temperatur ved at blande op med Avedøreværkets fremløb.
- Damhusåen. Selvom der allerede er etableret et varmepumpeanlæg i Sydhavn som producerer ca. 5 MW, er restpotentialet som minimum lige så stort.

3 Delopgave B2 – Potentialet for havvandsvarmepumper

Potentiale vurderingen for havvandsvarmepumper adskiller sig fra potentiale vurderingerne for spildevand, idet der for havvand ikke er tale om en varmekilde, som er tilgængelig i rør og lign. med veldefinerede flows per lokation. Til gengæld udgør havvand som varmekilde et enormt potentiale hvis hele havvandsmassen ud for Hovedstaden betragtes som tilgængelig. Der er imidlertid en række væsentlige tekniske, miljømæssige og lovgivningsmæssige faktorer, som giver begrænsninger for, hvor meget af det enorme potentiale der er realistisk at udnytte.

I det følgende gives et bud på et realiserbart potentiale for havvandsvarmepumper, som er baseret på en række overordnede betragtninger omkring mulige placeringer og estimater for, hvor stort varmepotentialet er per placering. De præ-senterede beskrivelser indeholder også overvejelser i forhold til udvælgelsen af placeringerne, hvilket giver mulighed for, at de placeringer der fravælges i nærværende potentialekortlægning, kan tages op til genovervejelse senere, hvis det viser sig relevant.

3.1 Tidligere arbejde

Der er tidligere blevet udført potentialekortlægninger for havvand som varmekilde til varmepumper i Hovedstadens fjernvarmenet bl.a. i Varmeplan Hovedstaden 3 og i SVAF-projektet. I Varmeplan Hovedstaden 3 var tilgangen til kortlægningen, at varmeudnyttelsen var begrænset af varmeoptagsmulighederne i distributionsnettene nær kysten. På denne baggrund blev potentialet opgjort til omkring 150 MW. I SVAF-projektet blev kortlægningen baseret på havvandsforhold ved Kongedybet ud for København og indledende analyser af potentialet for at udnytte eksisterende havvandsindtag på kraftværker. Det samlede potentiale blev opgjort til 440 MW.

3.2 Metode

Udgangspunktet for kortlægningen af potentialet for at udnytte varme fra havvand er lavet i to dele. Først opgøres potentialet for at benytte eksisterende havvandsinstallationer, primært ved eksisterende kraftværker, og derefter opgøres potentialet for at etablere nye stand-alone havvandsanlæg.

For begge delelementer i kortlægningen defineres det geografiske interesseområde baseret på nuværende fjernvarmeområde dækket af VEKS, HOFOR, CTR og Vestforbrænding. På Figur 3.2 er vist en indledende udvælgelse af interesseområder i forhold til at vurdere potentialet for udnyttelse af havvand som varmekilde for fjernvarmeproducerende varmepumper. Disse områder er valgt på baggrund af den nuværende udstrækning af fjernvarmeområdet.

Der tages ikke højde for afsætningsmulighederne for varmen i fjernvarmenettene, men potentialerne kobles til konkrete placeringer, hvilket muliggør en senere vurdering af varmeafsætningsmulighederne for havvands-varmekilden.

3.2.1 Eksisterende havvandsanlæg

For de eksisterende havvandsanlæg har kortlægningen taget udgangspunkt i de havvandsmængder, som forventes at kunne håndteres i de eksisterende havvandsanlæg. De viste anlæg og flows i Tabel 3.1 danner grundlaget for kortlægningen af potentialet for havvandsvarmepumper ved eksisterende havvandsanlæg.

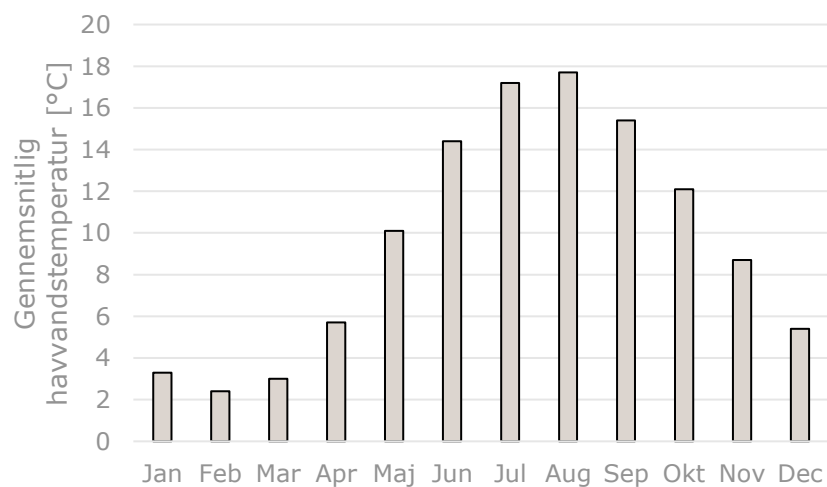
Tabel 3.1: Forventede flowkapaciteter for eksisterende havvandsanlæg

Anlæg	Havvandsflow [m ³ /h]
Svanemølleværket	18.000
HOFOR's energicentral Nordhavn	5.000
Amagerværket	50.000
HC Ørstedværket	35.000
Avedøreværket	87.315
Køge Kraftvarmeværk	2.100

Potentiale vurderingen opgøres baseret på havvandstemperaturer i de relevante områder i februar måned, som er den måned med de laveste havvandstemperaturer, se Figur 3.1. Vandtemperaturen ud for København er i februar måned mellem 2,1 °C og 2,9 °C med et gennemsnit på 2,4 °C³. Disse temperaturer er i overensstemmelse med havvandstemperaturerne for februar måned i forskellige havdybder i Kongedybet. Derfor udføres kortlægningen i det følgende baseret på en havvandstemperatur på 2,5 °C.

I SVAF-projektet afkøles havvand til 0,5 °C, hvilket giver en temperaturmargin til havvandets frysepunkt, som typisk er omkring -2 °C som følge af saltindholdet i havvand. Dette benyttes som grundlag for afkølingen af havvand i potentialekortlægningen, dvs. det antages, at havvandet afkøles fra indtagstemperaturen på 2,5 °C til 0,5 °C, hvilket giver en afkøling på 2 °C i februar måned. Det skal bemærkes at potentialet for afkøling er væsentligt større i månederne april til december, hvilket i sidste ende betyder, at varmeproduktionspotentialet i disse måneder også er betydelig større end for februar.

Figur 3.1: Gennemsnitlige havvandstemperaturer ud for København fra www.climate-data.org



³ www.climate-data.org

Resultatet af potentialekortlægningen for de eksisterende havvandsindtag er vist i afsnit 3.3 sammen med potentialerne for stand-alone anlæg.

3.2.2 Stand-alone anlæg

I forhold til stand-alone anlæg er potentialet vurderet igennem en udvælgelsesproces baseret på følgende elementer:

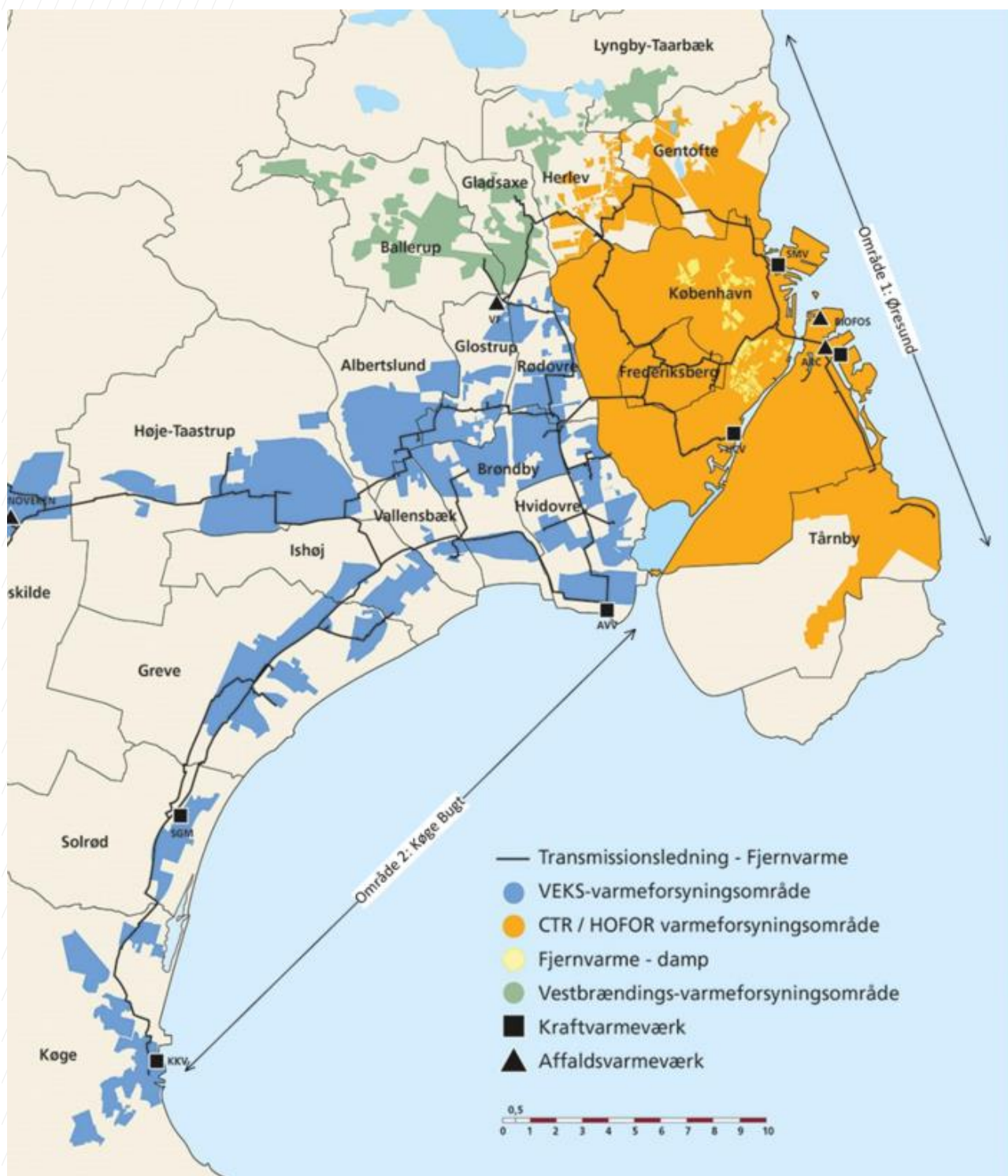
1. Indledende udvælgelse af interesseområde baseret på fjernvarmenettets nuværende udstrækning, se Figur 3.2.
2. Udvalgelse af lokationer udelukkende baseret på havdybder.
3. Prioritering af lokationer baseret på landforhold. Her fravælges lokaliteter i rekreative områder og områder hvor kobling til fjernvarmenettet vurderes at være særlig kompliceret.
4. Potentialekortlægning baseret på vurderinger af havvandsforhold og antagelser om hvor meget havvandet afkøles og tilladelige havvandsflows til varmepumpeanlægget.
5. Beregning af fjernvarmepotentialet baseret på reference- og lavtemperaturcases for fjernvarmetemperaturer.

I det følgende gennemgås metoden for potentialekortlægningen for stand-alone anlæg jf. de fem punkter ovenfor.

3.2.2.1 Indledende udvælgelse af interesseområde for havvandsvarmepumper

Undersøgelse af mulighederne for at placere nye stand-alone havvandsanlæg indledes med en udvælgelse af interesseområder ud fra fjernvarmenettets nuværende udstrækning. Interesseområderne er illustreret på kortet i Figur 3.2, som også viser fjernvarmenettets udstrækning. De to interesseområder dækker et område ud mod Øresund fra Taarbæk i nord til Københavns Lufthavn i syd, og et område ud mod Køge Bugt fra Avedøre Holme i nord til Køge Havn i syd.

Figur 3.2: Interesseområder for potentialekortlægningen for varmepumper der bruger havvand som varmekilde



3.2.2.2 Udvælgelse baseret på havdybder

Den første screening for mulige placeringer er baseret på en gennemgang af havdybder umiddelbart ud fra kysten i de to interesseområder. Denne indledende udvælgelse udføres udelukkende med udgangspunkt i havdybder, og tager ikke højde for, hvilke forhold der gør sig gældende på landsiden.

Følgende placeringer er udvalgt ved gennemgang af havdybder 2.000-3.000 m ud for kysten på søkort (listet fra nord til syd):

- Område øst for Jægersborg Dyrehave
- Kongedybet ud for København
- Område omkring Kastrup Havn
- Område omkring Avedøre Holme
- Område ud for Mosede Havn
- Område ud for Køge Havn

Områderne placeret i Øresund er vist i Figur 3.3 og områderne placeret i Køge Bugt er vist i Figur 3.4. Kortudsnittene for hvert område viser, hvor det relevante havområde er placeret. Havdybderne for de forskellige valgte områder varierer mellem 6 og 11 meter.

Syd for Taarbæk Havn er der et område, hvor der er vand med dybde omkring 6 meter. Baseret på havdybder virker dette som det mest egnede område nord for København. I Kongedybet ud for København er der havdybder på omkring 10 meter nær havnekajen. Kongedybets bredde er omkring 500-1000 meter og kan nås fra Nordhavnen, Lynetten, Refshaleøen, Kraftværkshalvøen og Prøvestenen. Kongedybet er dermed en lokation som er særdeles relevant for havvandsvarmepumper. Omkring 2000 meter øst for Kastrup Havn er der et område med havdybder omkring 8-11 meter.

Ud for Køge Havn er der områder nær kysten, hvor der er havdybder på omkring 9 meter. Køge Havn er dermed en relevant lokation, hvad angår adgang til dybt havvand. Nord for Køge er der et stort lavvandet område, hvor der er langt til dybt vand. Dette område er umiddelbart uegnet til etablering af stand-alone anlæg. Omkring Mosede Havn er der et område med havdybder omkring 7-9 meter relativt tæt på land. Ved Avedøre Holme er der et område, hvor der kan nås havdybder omkring 6 meter omkring 1.000 m fra kysten.

3.2.2.3 Prioritering baseret på landforhold

Udover havdybderne er der en række andre forhold, der er vigtige i forbindelse med at vurdere egnetheden af en placering til et stand-alone anlæg f.eks. placering i forhold til fjernvarmenettet, rekreative områder, boligområder, mm.

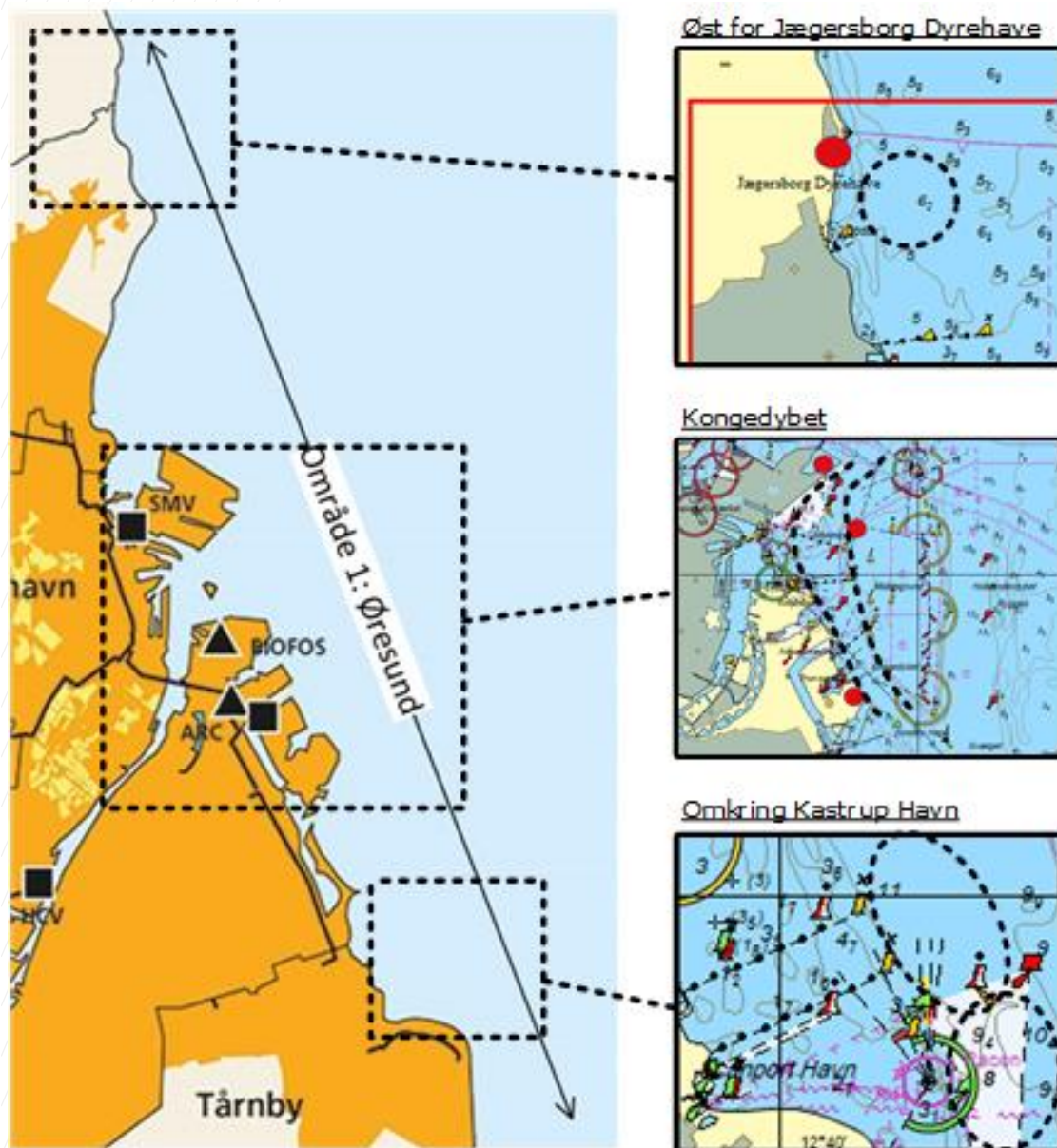
Ud af de seks områder der blev identificeret som relevante ud fra en screening af havdybder nær kysten, fravælges placeringerne ved Jægersborg Dyrehave, Kastrup Havn og Mosede Havn på baggrund af følgende overvejelser:

- Ved placeringen øst for Jægersborg Dyrehave er der ikke meget plads på land til at placere et stand-alone anlæg. Derudover er området rekreativt med boligbebyggelse helt ud til kysten. Området er også placeret langt fra fjernvarmenettene i deres nuværende udstrækning.

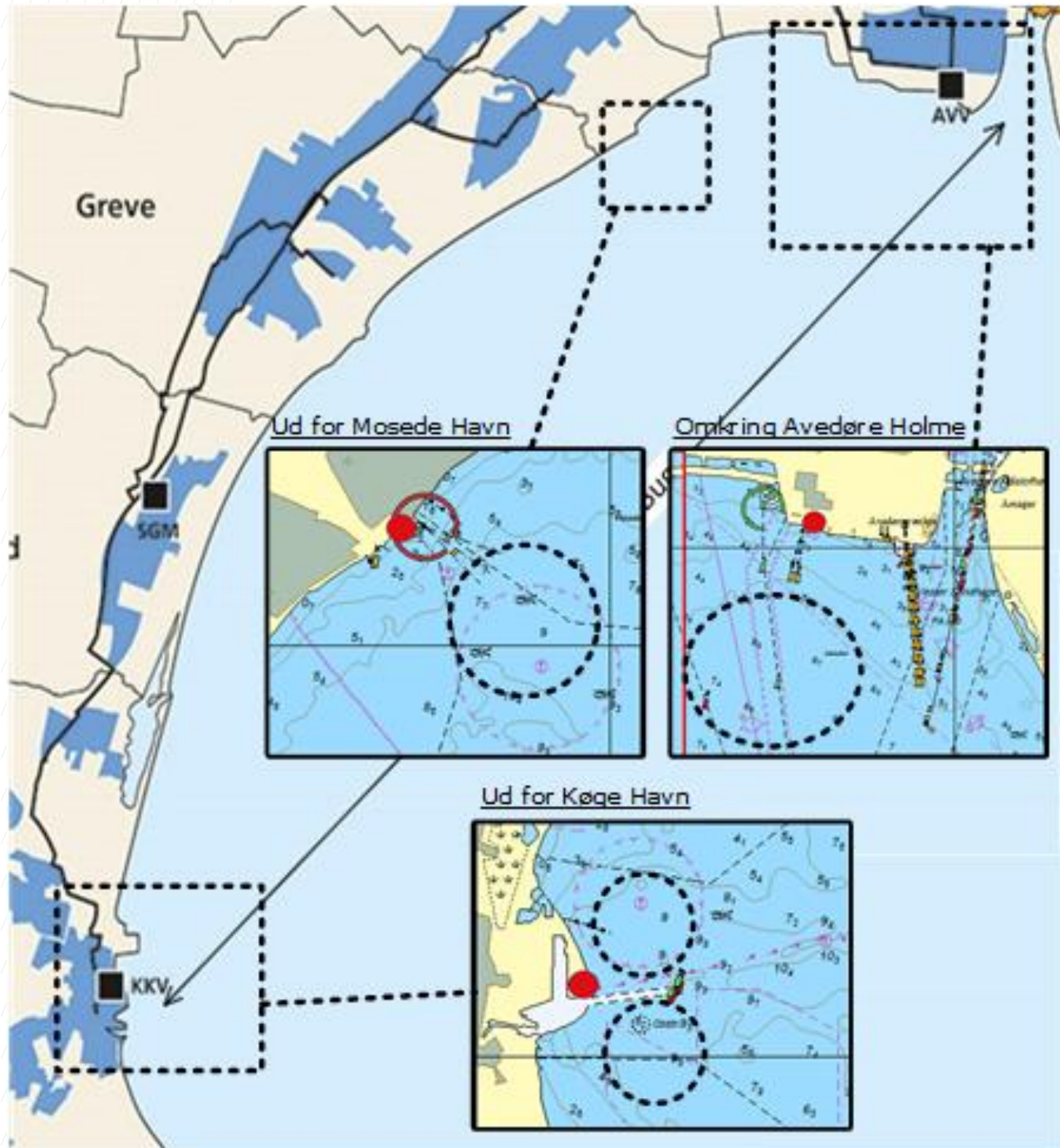
- Ved Kastrup Havn er der ikke meget plads til stand-alone anlæg, da der allerede er tæt bebygget på havnen. Kastrup Havn er også placeret yderligt i fjernvarmenettet og nær Tårnby Renseanlæg, hvor der allerede er installeret en varmepumpe på 6,4 MW.
- Ved Mosede Havn er der heller ikke meget plads på land til at placere et stand-alone anlæg. Derudover er området rekreativt med boligbebyggelse helt ud til kysten.

Potentiale vurderingen præsenteret i det følgende er dermed udført med udgangspunkt i stand-alone anlæg med placeringer ved Kongedybet, Avedøre Holme og Køge Havn.

Figur 3.3: Relevante områder i Øresund baseret udelukkende på havdybder. På kortudsnittene er de relevante havvandsområder markerede med sort-stiplede streger



Figur 3.4: Relevante områder i Køge Bugt baseret udelukkende på havdybder. På kortudsnittene er de relevante havvandsområder markerede med sort-stiplede streger



3.2.2.4 Vurdering af potentiale for at hente varme fra havvand

Med udgangspunkt i de udvalgte placeringer (Kongedybet, Avedøre Holme og Køge Havn) vurderes potentialet for at udnytte havvand som varmekilde til varmepumpeanlæg. Vurderingen indeholder overvejelser og antagelser om havvandstempe-

raturer, undertemperatur for havvand efter afkøling, flow af havvand til varmepumpeanlæg per placering, havvandsdybder ved valgte placeringer og antal mulige placeringer langs de udvalgte kyststrækninger.

Temperaturantagelserne, som er benyttet i kortlægningen for de eksisterende havvandsanlæg i afsnit 3.2.1, benyttes også for stand-alone. Dermed antages det også her, at havvandet køles fra 2,5 °C til 0,5 °C i varmepumpeanlægget, hvilket repræsenterer temperaturer for februar måned.

I det følgende estimeres dermed, hvor meget havvandsflow der forventeligt kan hentes ind til varmepumpeanlæg. Det samlede havvandsflow der kan udnyttes, er begrænset af følgende faktorer:

- Tekniske begrænsninger for hvor store havvandsanlæg der kan etableres per lokation, f.eks. rørdimensioner, havvandskammer, pumpestørrelser, mm.
- Afstanden mellem havvandsindtag og -udløb skal være så stor, at der ikke recirkuleres vand mellem forskellige indtag og udløb. Det giver en begrænsning for, hvor tæt anlæg kan placeres langs de udvalgte kyststrækninger
- Udløbet skal arrangeres sådan, at det ikke giver for store lokale temperaturændringer. Hvor store lokale temperaturændringer der kan accepteres, kan afklares i en miljøteknisk vurdering, hvor det f.eks. vurderes hvor temperaturreistente flora og fauna er i det pågældende område. I det følgende arbejdes ud fra en antagelse om, at en recipientafkøling på 1 °C er miljømæssigt acceptabelt

I det følgende bruges eksisterende store havvandsinstallationer for at vurdere hvilke flowstørrelser der er teknisk realiserbare. En række eksisterende anlæg inkl. kapaciteter er vist i Tabel 3.2.

Tabel 3.2: Eksempler på store havvandsanlæg

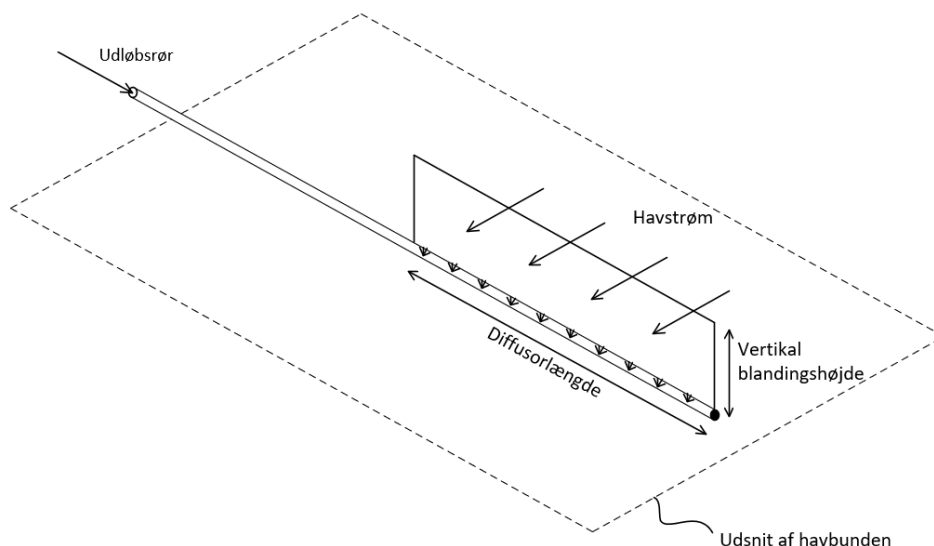
Anlæg	Havvandsflow [m ³ /h]	Kilde
Amagerværket	50.000	Anslået af forsyningsselskaberne
Avedøreværket, blok 2	58.000	https://mst.dk/media/mst/Attachments/AvedøreværketGodkendelseendeligtafgørelseaf19december.pdf
Skærbækværket, blok 3	50.400	https://mst.dk/media/mst/Attachments/SkaerbaekVaerk_Rev16dec091.pdf
Stockholm, Ropsten 1 & 2 (varmepumpeanlæg)	54.000	Interview

Eksemplerne på teknisk realiserbare havvandsflows i havvandsindtag ovenfor sammenholdes med en indledende screening af sammenhængen mellem recipientafkølingen og havvandsflowet. Screeningen indeholder en simplificeret analyse af, hvor meget havvandet ved udløbet (recipienten) afkøles, når der iblandes afkølet vand fra varmepumpen.

Skitsen i Figur 3.5 viser den simplificerede model, som ligger til grund for screeningen af recipientafkølingen. Udløbsvandet (temperatur på 0,5 °C) løber igennem udløbsrøret og opblandes med havvand (temperatur 2,5 °C) igennem en diffusor,

som udgør enden af udløbsrøret. Udløbsvandet blandes med det havvandsflow, som strømmer igennem fladen udspændt af diffusorlængden og den vertikale blandingshøjde. Diffusorlængden antages at være 50 m og den vertikale blandingshøjde antages at være 3 m. Havstrømmen antages at være 0,1 m/s, hvilket er baseret på havvandsdatagrundlaget fra SVAF-projektet.

Figur 3.5: Skitse af udløbsledning og opblanding af udløbsvand i havvand igennem diffusor

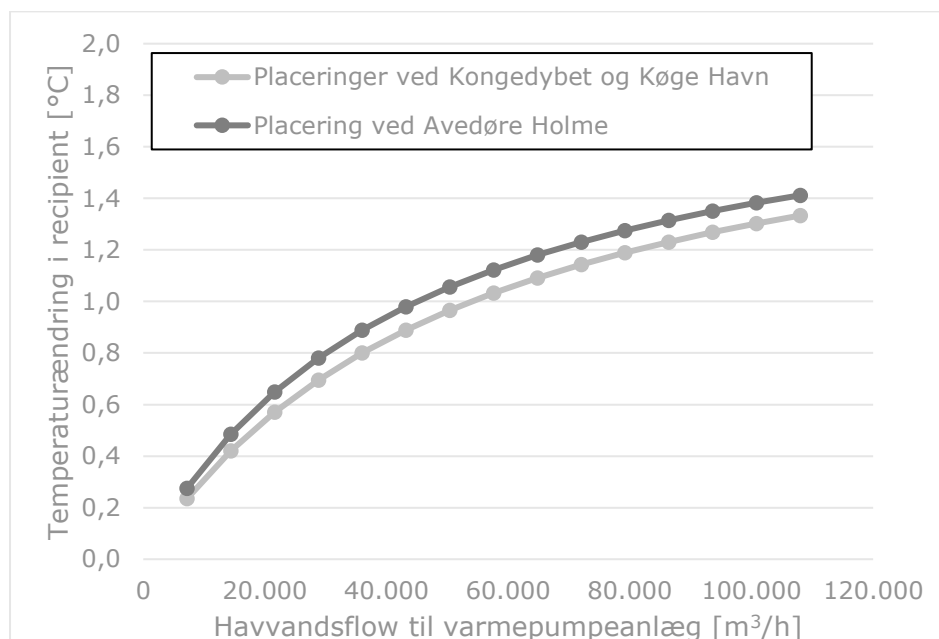


Sammenhængen mellem havvandsflowet til varmepumpeanlægget, som løber igennem ind- og udløbsledningen, og temperaturændringen i recipienten er vist i Figur 3.6. Da forskellen mellem havvandstemperaturen og det afkølede udløbsvand er 2 °C, så bliver recipientafkølingen i disse simplificerede beregninger ikke over 2 °C. Kurven for placeringen ved Avedøre Holme ligger højere end kurven for Kongedybet og Køge Havn, da udløbsledningen ved Avedøre Holme antages at være placeret ved 2,5 m dybt vand, og dermed er den vertikale blandingshøjde her antaget at være 2,5 m, se også afsnit 3.3.2.

Den præsenterede screening er ikke et forsøg på at afdække det store designrum der er for et havvandsanlæg, og kan dermed ikke i sig selv være designgivende for havvandsanlæg. Screeningen har til formål at give en sandsynliggørelse af muligheden for at opnå recipientafkølinger omkring 1 °C for store havvandsanlæg med flows omkring 40.000 og 50.000 m³/h og de forudsætninger som er beskrevet ovenfor.

I det følgende benyttes recipientafkølingen på 1 °C som et kriterie for at bestemme flowet til havvandsanlæggene i kortlægningen. Af Figur 3.6 følger dermed, at der for placeringer ved Kongedybet og Køge Havn kan anvendes et flow på op til 54.000 m³/h, og for Avedøre Holme et flow på op til 45.000 m³/h. Disse flows er sammenlignelige med eksemplerne på store havvandsanlæg fra Tabel 3.2.

Figur 3.6: Sammenhæng mellem temperaturændring i recipient og havvandsflow til varmepumpeanlæg baseret på simplificeret screeningsanalyse



Opgørelsen indeholder yderligere en antagelse om, at der kan placeres tre stand-alone anlæg ved Kongedybet, ét stand-alone anlæg ved Avedøre Holme og ét stand-alone anlæg ved Køge Havn. Medtages de store havvandsindtag fra Amagerværket og Avedøreværket, giver det dermed fire store anlæg ved Kongedybet, to store anlæg ved Avedøre Holme og ét stort anlæg ved Køge Havn. Der er en afstand mellem havvandsanlæggene ved hhv. Avedøre Holme og Kongedybet på omkring 1-2 km, hvilket vurderes at være nok til undgå ydelsesreducerende recirkulation mellem indtag og udløb. Til sammenligning har varmepumpeanlægget ved Stockholm 170 m mellem indtag og udløb, men dog også lettere adgang til dybt vand nær kysten. Der er forskellige designmuligheder, som kan hjælpe til at minimere risikoen for termisk kortslutning og dermed minimere afstanden mellem anlæggene f.eks. forskudt placering af indtags- og udløbsplaceringer langs kysten.

En oversigt over forudsætningerne der er benyttet til at opgøre potentialet for at hente varme fra havvand i februar måned, er opstillet i Tabel 3.3.

Tabel 3.3: Forudsætninger benyttet i kortlægningen af potentialet for at udnytte varme fra havvand i stand-alone anlæg

Placering	Volumenflow per placering [m³/h]	Afkøling fra [°C]	Afkøling til [°C]	Antal placeringer
Kongedybet	54.000	2,5	0,5	3
Køge Havn	54.000	2,5	0,5	1
Avedøre Holme	45.000	2,5	0,5	1
Total				5

3.2.2.5 Vurdering af potentiale for fjernvarmeproduktion

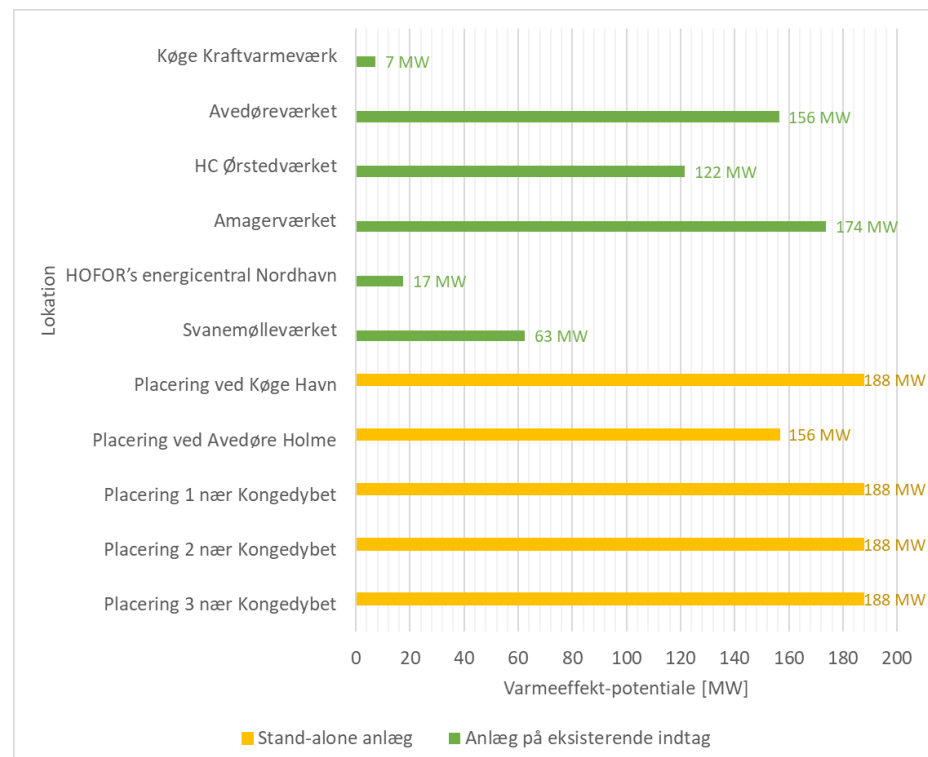
Potentialet for fjernvarmeproduktion er opgjort ved at antage en Lorentz-virkningsgrad på 57 % ligesom i kortlægningen af potentialet for spildevandsvarmepumper. Med afkøling af havvand fra 2,5 °C til 0,5 °C giver det en COP på 3 ved temperatursæt for fjernvarmen svarende til reference-casen, og en COP på 3,5 ved temperatursæt for fjernvarmen svarende til lavtemperatur-casen. Se afsnit 2.3 for nærmere beskrivelse af beregningsmetoden.

3.3 Potentialekortlægning

Varmeproduktionspotentialet for havvandsvarmepumper ved temperatursæt på (80 °C/ 50 °C) er vist i Figur 3.7. Det samlede varmeproduktionspotentiale for eksisterende havvandsanlæg er omkring 540 MW, og potentialet for stand-alone anlæg er opgjort til omkring 910 MW. Dermed er det samlede potentiale for havvandsvarmepumper opgjort til 1.440 MW.

I opgørelsen er varmeproduktionspotentialet for lokationen Avedøreværket bestemt ved at benytte kriteriet om 1 °C afkøling af recipienten, og dermed er havvandsflowet antaget at være 45.000 m³/h. Dette er gjort for at sikre konsistens i forhold til opgørelsen for stand-alone anlæg og dermed placeringen ved Avedøre Holme, som er naboplacering til Avedøreværket. Tilsvarende er gjort i opgørelsen for fjernvarmetemperatursæt på (70 °C/40 °C) svarende til lavtemperaturcasen.

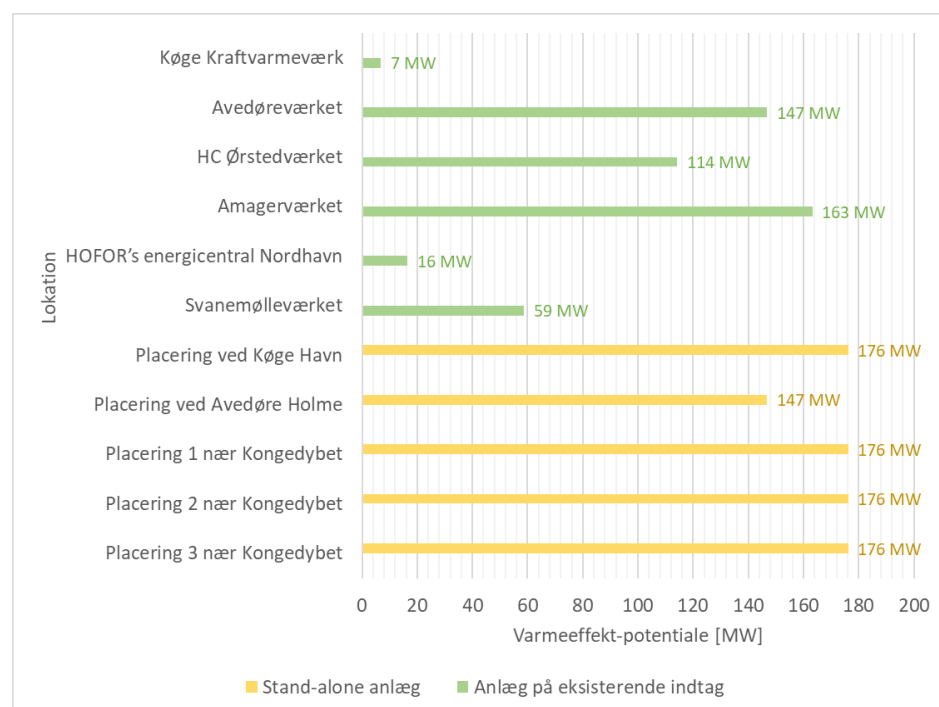
Figur 3.7: Varmeproduktionspotentialet for havvandsvarmepumper ved referencetemperaturer for fjernvarmen



Varmeproduktionspotentialiet for havvandsvarmepumper ved temperatursæt på (70 °C/ 40 °C) er vist i Figur 3.8. Det samlede varmeproduktionspotentialie for eksisterende havvandsanlæg er omkring 510 MW, og potentialiet for stand-alone anlæg er opgjort til omkring 850 MW. Dermed er det samlede potentialie for havvandsvarme-pumper opgjort til 1.360 MW. Potentialiet er mindre sammenlignet med referencecasen, da de lavere temperaturer for fjernvarmen giver en højere COP for varmepumpeanlæggene og dermed mindre bidrag fra el.

Data og beregninger af potentialerne er vedlagt i bilagsrapport B.

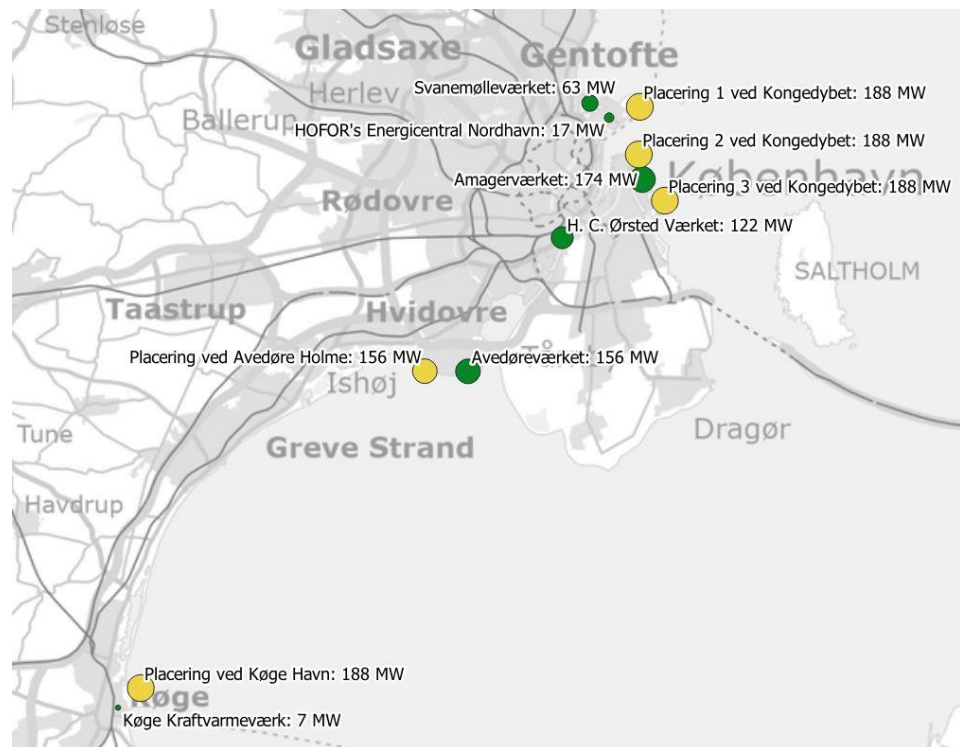
Figur 3.8: Varmeproduktionspotentialiet for havvandsvarmepumper ved lavtemperaturcasen for fjernvarmen



3.3.1 Geografisk placering af potentialerne

På kortet i Figur 3.9 er vist placeringerne for de opgjorte potentialer for havvandsvarmepumper. De viste effekter angiver fjernvarmeproduktionen ved reference-temperaturer (80 °C/ 50 °C). Placeringerne for stand-alone anlæg er eksempler på placeringer som muliggør afstande over 1 km mellem naboanlæg inkl. eksisterende havvandsanlæg.

Figur 3.9: Geografisk placering af potentialer for havvandsvarmepumper



3.3.2 Overvejelser i forhold til omkostninger for stand-alone havvandsanlæg

Med udgangspunkt i havdybderne omkring de udvalgte placeringer for stand-alone anlæg, er der i Tabel 3.4 opstillet eksempler på udlægninger af havvandsledninger inkl. estimater på priser for etablering af selve havvandsledninger (ekskl. indtags- og udløbsbygværker) baseret på nøgletal.

Tabel 3.4: Eksempler på længder for havvandsledninger og resulterende havvandsdybder

Placering	Rør-længde indtag (afstand fra kysten) [m]	Havdybde ved indtag [m]	Rør-længde udløb (afstand fra kysten) [m]	Havdybde ved udløb [m]	Ledninger (ekskl. indløbs- og udløbsbygværker) [kr.]
Kongedybet	300	10	50	10	10.050.000
Køge Havn	1000	9	50	9	31.500.000
Avedøre Holme	1000	6,5	200	2,5	36.000.000

I eksemplerne er det valgt at placere indtagene på dybt vand og udløbene nær kysten. Ved at placere indtagene på dybt vand får man generelt adgang til varmere vand med mere stabile temperaturer i forhold til indtagsplaceringer ved lavt vand. Udtage placeres ved kysten for så vidt muligt at undgå recirkulation mellem ud- og indløb.

For placeringerne ved Kongedybet er der adgang til dybt vand relativt kort fra kysten, dog antages havvandsindtagene placeret 300 m fra kysten for at sikre en vis afstand til udløbet. Udløbets rør længde er 50 m svarende til diffusorlængden antaget i screeningen for recipientafkølingen. For både indtag og udtag nås havdybder omkring 10 m. Hvis det, af hensyn til pladsforhold på landsiden eller lignende, er nødvendigt at placere anlæg relativt tæt på hinanden, kan det være nødvendigt at forskyde indtags- og udløbsplaceringer for enkelte anlæg. Dermed er det muligt at opnå længere afstande fra indtags- og udløbsplaceringerne for de nærliggende naboanlæg. En sådan situation vil kræve større rørlængder end estimeret her.

Ved Køge Havn er der et område med vanddybder på 9 m omkring 1000 m fra kysten. Det antages, at indtaget kan placeres her, og at udløbet placeres umiddelbart ud for kysten. Både indtag- og udløb placeres ved havdybder på omkring 9 m.

Erfaringer fra projekter som involverer etablering af havvandsindtag og -udløb, viser, at priser for lægning af havvandsrør på havbunden kan være op til 30.000 kr./m. Rørpriserne i Tabel 3.4 er baserede på de angivne rørlængder og en meterpris på 30.000 kr./m, og giver en indikation af at placeringerne ved Kongedybet kan være fordelagtige for stand-alone anlæg.

De høje omkostninger for etablering af havvandsindtag og -udløb skyldes primært, at det er kompliceret at lægge rørene i havbunden, hvilket kræver særlige maskiner og udstyr.

Udover ledninger på havbunden kræver etableringen af et stand-alone anlæg at der etableres et land-anlæg, så havvandet kan ledes hen til varmepumpeanlægget og retur til kysten/havnekajen. Baseret på erfaringer fra anlæggene ved Aarhus Ø og SVAF er omkostningerne for rørlægning (på land) inkl. gennemtrængning af havnespuns omkring 3-10 mio. kr. for anlæg med havvandskapacitet på omkring 1.000 m³/h og ledningslængder under 300 m. Udover selve ledningsarbejdet kan der forventes omkostninger til etablering af havvandskammer og teknisk udstyr herunder pumper, filtre, mm. Afhængigt af grundvandsstanden på den pågældende lokation kan det også være nødvendigt med grundvandssænkning.

De skitserede stand-alone anlæg i potentialekortlægningen har havvandsflows op til 54.000 m³/h. Hvis det antages at strømningshastigheden er 1 m/s⁴, kræves dermed et flowareal på 15 m² svarende til en ledningsdiameter på over 4 m. En mulig løsning der muliggør flowarealer i denne størrelse, er betonkanaler med kvadratisk tværsnit eller alternativt en række mindre parallelle flowkanaler. Det vurderes at den samlede anlægsomkostning for et stand-alone anlæg med kort afstand (under 300 m) mellem varmepumpe og havnekaj er i en størrelsesorden omkring 50 mio. kr. ekskl. omkostninger til havvandsledninger.

Ovenstående overvejelser og prisoverslag giver en indikation af at et stand-alone anlæg kræver store omkostninger til selve indvindingen af havvandet. Dette taler for at der etableres få store anlæg frem for mange små anlæg, og at udnyttelsen af eksisterende havvandsindtag prioriteres frem for etablering af nye stand-alone anlæg.

⁴ Svarer til strømningshastigheden for anlægget ved Aarhus Ø. Særligt for havvandsanlæg skal det sikres at flowhastigheden ikke er for stor, da det så vidt muligt skal undgås at smådyr suges ind i havvandsanlægget.

3.4 Mulige projekter og perspektiver

I de følgende afsnit skitseres forskellige muligheder for at arbejde frem mod at realisere noget af det kortlagte potentiale for havvandsvarmepumper.

3.4.1 Konverteringer af havvandsindtag på kraftværker

På kraftværkerne i og omkring Hovedstaden er der allerede etableret havvandsindtag, og særligt på Avedøreværket og Amagerværket kan anlæggene håndtere store flows af havvand. Udnyttelsen af de eksisterende havvandsindtag kræver overvejelser i forhold til, om det er muligt for kraftværket og varmepumpeanlægget at deles om den samme havvandsinstallation. Havvand benyttes som kølekilde til mange forskellige enhedsoperationer på kraftværket.

I forhold til samtidighed virker det umiddelbart sandsynligt at kraftværkernes kondensdrift⁵ og varmepumpernes drift kan være i modfase, da kondensdriften er attraktiv ved høje elpriser og varmepumpedriften er fordelagtig ved lave elpriser.

Kraftværkerne leverer typisk varme til transmissionsnettene i fjernvarmesystemet, og de høje fremløbstemperaturer kan ikke opnås med konventionel varmepumpe-teknologi. Ved samplacering af varmepumpen og kraftværket kan en mulig løsning være at lade varmepumpen lave den første temperaturstigning af fjernvarmevandet hvorefter kraftværket hæver temperaturen til den aktuelle fremløbstemperatur. Hvis dette ikke er muligt, kan der overvejes høj-temperaturvarmepumper, andre supplerende varmeproducerende enheder eller en lang forbindelsesledning til nærmeste distributionsnet.

3.4.2 Varmepumpe ved Lynetten som udnytter spildevand og havvand

Kortlægningen af potentialet for spildevandsvarmepumper viste et særligt stort potentiale for at udnytte rensed spildevand ved udløbet fra rensningsanlægget ved Lynetten. I øjeblikket er realiseringen af dette potentiale særlig udfordret af, at rensningsanlægget muligvis står overfor en flytning, hvilket kan gøre levetiden for en spildevandsvarmepumpe kort og dermed økonomisk uattraktiv.

Der kan være en mulighed for realisere potentialet i spildevandet fra Lynetten ved at etablere et SVAF-inspireret varmepumpeanlæg, som kan udnytte både havvand og spildevand. Dette vil således kræve etablering af et stand-alone havvandsanlæg nær rensningsanlægget ved Lynetten, som tager havvand fra Kongedybet.

Der kan være potentielle fordele ved denne løsning, da anlægget kan konstrueres sådan, at havvandet kan erstatte spildevandet som varmekilde hvis rensningsanlægget flyttes. Samtidig ville man kunne tænke i en opskalering af designkapaciteten for varmepumpeanlægget, som ikke behøver at være begrænset af tørvejr-natteflow af spildevand, da havvand potentielt ville kunne levere varme til anlægget ved lave eller ved udsving i spildevandsflow. I nuværende fjernvarmenet er Lynetten placeret yderligt, men fremtidig byudvikling på Refshaleøen og Lynetteholmen kan gøre placeringen mere central.

3.4.3 Højtemperaturvarmepumper og havvand

De fleste af de udvalgte placeringer i kortlægningen af potentialet for havvandsvarmepumper ligger nær kraftværker og dermed også nær centrale placeringer i

⁵ Driftstilstanden hvor havvandsanlægget benyttes til køling af kraftværkets kondensatorer

transmissionsnettene. Realiseringen af det fulde potentiale for havvandsvarmepumper kan dermed være afhængig af, at der udvikles gode og effektive teknologier for højtemperaturvarmepumper, som kan producere varme til transmissionsnettene ved udnyttelse af havvand. Se Delopgave A3 for nærmere diskussion af mulighederne for integration i højtemperaturvarmepumper i fjernvarmenettene.

Potentialekortlægningen fra Varmeplan Hovedstaden 3 anslog, at omkring 150 MW varme fra havvand kan udnyttes, hvis der kun leveres til distributionsnettene. Dermed kræver den fulde udnyttelse af varmeproduktionspotentialet i havvand, som i nærværende kortlægning er anslået til omkring 1,4 GW, at der også kan leveres til transmissionsnettene, f.eks. ved brug af højtemperaturvarmepumper. Alternativt skal fremløbstemperaturen i transmissionsnettet sænkes, og temperaturløft ske ved varmepumper ved de nuværende vekslerstationer i transmissionsnettet. Eller konventionelle varmepumper kan suppleres med andre varmeproduktionsenheder baseret på gas eller biomasse.

4 Delopgave B3 – Potentialet for industriel overskudsvarme

I dette afsnit er potentialet for udnyttelse af industriel overskudsvarme til fjernvarmeproduktion kortlagt for et geografisk område, som dækker forsyningsområdet for selskaberne VEKS, HOFOR, CTR og Vestforbrænding. Potentialet opgøres i forskellige temperaturintervaller og korrigeres for realiserede projekter. Udover overskudsvarme fra produktionsindustri dækkes også potentialet for varmeudnyttelse fra og i supermarkeder samt udnyttelse af overskudsvarme fra datacentre.

4.1 Tidligere arbejde

Der er tidligere blevet udført kortlægninger af overskudsvarme fra erhvervslivet f.eks. i forskningsprojektet THERMCYC¹. Et delelement i THERMCYC-projektet var en kortlægning af overskudsvarme fra erhvervslivet i Danmark. Kortlægningen af overskudsvarmen er præsenteret i rapporten fra 2015 *"Industrial Energy Mapping: THERMCYC WP6"*⁶ og viser et samlet potentiale for at udnytte overskudsvarme fra erhvervslivet i Danmark på 212 PJ/år. Af dette udgør industriel overskudsvarme 23 % og dermed omkring 49 PJ.

Kortlægningen af overskudsvarme i THERMCYC-projektet var baseret på energiforbrugsdata fra Danmarks Statistik og fra tidligere kortlægning af energiforbruget i det danske erhvervsliv fra rapporten *"Kortlægning af energiforbrug i virksomheder"*¹. Et resultat fra kortlægningen af energiforbruget i det danske erhvervsliv er en række "branchematricer", som muliggør konvertering af energiforbrugsdata fra Danmarks Statistik fordelt på energiarter til en energiforbrugsfordeling baseret på processer ved de enkelte industrier. Baseret på viden omkring andelen af udnyttelig overskudsvarme fra forskellige processer var det i THERMCYC-projektet muligt at estimere potentialet for overskudsvarme baseret på energiforbrugsdata fra Danmarks Statistik. Overskudsvarmen fra de forskellige processer blev yderligere suppleret med forventede temperaturer for overskudsvarmen.

4.2 Metode

Metoden for kortlægningen af overskudsvarme anvendt i nærværende arbejde er baseret på metoden, som blev brugt i THERMCYC-projektet, som er beskrevet ovenfor. En væsentlig forskel fra den tidligere kortlægning er, at den nuværende kortlægning er afgrænset til et område omkring Hovedstaden, som er defineret som de 21 kommuner der er vist på listen i Figur 4.1.

4.2.1 Kortlægning af industriel overskudsvarme

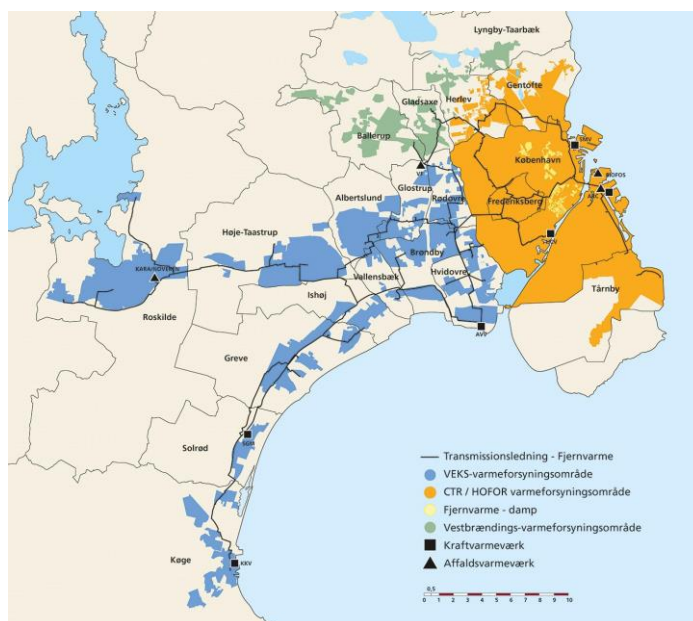
Potentialet for industriel overskudsvarme er opgjort på baggrund af energiforbrugsdata for danske virksomheder indsamlet af Danmarks Statistik. Det benyttede datasæt er ENE2HA, som indeholder virksomheders energiforbrug fordelt på brancher og energiarter. Datasættet fra 2018 danner udgangspunktet for kortlægningen af potentialet for udnyttelse af overskudsvarme. I Figur 4.2 er vist en liste over de NR117-brancher der er indeholdt i kortlægningen.

⁶ Link til rapport: <https://orbit.dtu.dk/en/publications/industrial-energy-mapping-thermcyc-wp6>

Figur 4.1: Kort over forsyningsområdet og en liste med de 21 kommuner som definerer den geografiske afgrænsning for kortlægningen af overskudsvarme

Kommuner:

København
Frederiksberg
Gentofte
Gladsaxe
Tårnby
Vallensbæk
Solrød
Køge
Ishøj
Glostrup
Greve
Rødovre
Hvidovre
Albertslund
Brøndby
Høje-Taastrup
Roskilde
Ballerup
Furesø
Herlev
Lyngby-Taarbæk



For at afgrænse kortlægningen til de 21 kommuner vist i Figur 4.1, er der hentet en særlig udgave af datasættet ENE2HA fra Danmarks Statistik, som kun indeholder virksomheder i disse kommuner. Datasættet indeholder ikke energiforbrug fordelt på energiarter, men i stedet det samlede energiforbrug per branche for de brancher vist i Figur 4.2.

På nationalt plan er det muligt at hente energiforbrug per branche fordelt på energiarter i datasættet ENE2HA. Derfor er de nationale tal benyttet til at lave fordelingsnøgler for hver branche, som gør det muligt at fordele det samlede energiforbrug per branche i de 21 kommuner på energiarter. Energiarterne følger de energiarter der er benyttet i rapporten "Kortlægning af energiforbrug i virksomheder".

Konverteringen af energiforbrugsdata til udnyttelig overskudsvarme er gjort ved at fordele energiforbruget per energiarart på relevante enhedsoperationer/processer for hver branche. Til dette er benyttet "branchematricerne" fra det tidligere arbejde i "Kortlægning af energiforbrug i virksomheder". Et eksempel på en branchematrice fra "Kortlægning af energiforbrug i virksomheder" er vist i Figur 4.3 **Error! Reference source not found..** I rækkerne er listet de forskellige processer, og i kolonnerne er listet de forskellige energiarter. Dermed udgør tabellen den matrix, som benyttes til at allokere energiarter på processer.

Ved denne konvertering af energiforbrug fordelt på energiarter til energiforbrug fordelt på processer, kan andelen af udnyttelig overskudsvarme per proces per branche beregnes. Datagrundlaget for antagelser om andel af overskudsvarme og andelen af udnyttelig overskudsvarme per proces er baseret på kortlægningen fra THERMCYC-projektet i rapporten "Industrial Energy Mapping: THERMCYC WP6".

Figur 4.2: Liste over brancher indeholdt i kortlægningen af industriel overskudsvarme

Branche	Erhvervskategori	NR117-kode
Indvinding af grus og sten mv.	Råstofudvinding	080090
Slagterier	Industri	100010
Fiskeindustri	Industri	100020
Mejerier	Industri	100030
Bagerier, brødfabrik mv.	Industri	100040
Anden fødevarerindustri	Industri	100050
Drikkevarerindustri	Industri	110000
Tobaksindustri	Industri	120000
Tekstilindustri	Industri	130000
Beklædningsindustri	Industri	140000
Læder- og fodtøjsindustri	Industri	150000
Træindustri	Industri	160000
Papirindustri	Industri	170000
Trykkerier mv.	Industri	180000
Fremstilling af basiskemikalier	Industri	200010
Fremstilling af maling og sæbe mv.	Industri	200020
Medicinalindustri	Industri	210000
Plast- og gummiindustri	Industri	220000
Glasindustri og keramisk industri	Industri	230010
Betonindustri og teglværker	Industri	230020
Fremstilling af metal	Industri	240000
Metalvarerindustri	Industri	250000
Fremstilling af computere og kommunikationsudstyr mv.	Industri	260010
Fremstilling af andet elektronisk udstyr	Industri	260020
Fremstilling af elektriske motorer mv.	Industri	270010
Fremstilling af ledninger og kabler	Industri	270020
Fremstilling af husholdningsapparater, lamper mv.	Industri	270030
Fremstilling af motorer, vindmøller og pumper	Industri	280010
Fremstilling af andre maskiner	Industri	280020
Fremstilling af motorkøretøjer og dele hertil	Industri	290000
Fremstilling af skibe og andre transportmidler	Industri	300000
Møbelindustri	Industri	310000
Fremstilling af medicinske instrumenter mv.	Industri	320010
Legetøj og anden fremstillingsvirksomhed	Industri	320020
Reparation og installation af maskiner og udstyr	Industri	330000

Figur 4.3: Eksempel på branchematrice (mejeri) fra rapporten Kortlægning af energiforbrug i virksomheder (link til rapport: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Energibesparelser/kortlaegning_af_energiforbrug_i_virksomheder.pdf)

Slut anvendelse af energi fordelt på energiart år 2012. Branche 9 Mejerier (100030)																				
Slut anvendelse	Enhed	LPG	Motorbenzin, farvet	Motorbenzin, blyfri	Fyringsgasolie	Diesel	Fuelolie	Petroleum s-koks	Naturgas	Kul	Koks	Halm	Skovflis	Træpiller mm	Biogas	Bioolie	Affald	Brændsel i alt	EI	Fjernvarme
																		GI	%	%
Konverterings- og nettab	%				16		16		16							16		560.438	15	
Opvarmning/kogning	%				43		43		43							43		1.528.878	40	
Tørring	%				25		25		25							25		915.153	24	
Inddampning	%				9		9		9							9		325.176	9	
Destillation	%																	0	0	
Branding/sintring	%																	0	0	
Smeltning/støbning	%																	0	0	
Anden procesvarme op til 150 °C	%																	0	0	
Anden procesvarme over 150 °C	%																	0	0	
Arbejdskørsel	%	100	100															518	0	
Transport	%			100		100												222.077	6	
Rumvarme	%				7		7			7							7	262.633	7	
Värmepumpers energiforbrug	%																	0	0	
Belysning	%																	0	2	100
Pumpning	%																	0	5	
Rumkøling	%																	0	0	
Køl/frys (ekskl. rumkøling)	%																	0	23	
Rumventilation	%																	0	17	
Blæsere	%																	0	0	
Trykluft	%																	0	7	
Hydraulik	%																	0	0	
Øvrige elmotorer	%																	0	26	
It og anden elektronik	%																	0	1	
Anden elanvendelse	%																	0	0	
Sum (energiartens procentdel af total)	%	100	100	100	100	100	100	0	100	0	0	0	0	0	0	100	0	3.814.873	100	100
Branchers forbrug til slutanvendelse	GI	487	31	2.183	53.942	219.894	19.007	-	3.502.799	-	-	-	-	-	-	16.530	-	3.814.873	100	1.827.642
Varmeeksport fra overskudsvarme	GI																			48.290
																				79.844
																				5.770.649
																				100

4.2.1.1 Disaggregering af enkelte brancher

I tråd med "Kortlægning af energiforbrug i virksomheder" er energiforbruget i brancherne 100050 Anden fødevarerindustri, 200010 Fremstilling af basiskemikalier og 230020 Betonindustri og teglværker blevet disaggregeret til en række underbrancher. Denne disaggregering er gjort, da de virksomhedstyper, der er samlet i disse branchekategorier, har væsentlige forskelligheder i den måde de omsætter energi på. I Tabel 4.1 er vist hvilke underbrancher energiforbruget for de tre nævnte brancher er fordelt på.

Tabel 4.1: Opdeling af energiforbrug i tre brancher på en række underbrancher (disaggregering)

100050 Anden fødevarerindustri	200010 Fremstilling af basiskemikalier	230020 Betonindustri og teglværker
Fremstilling af færdige foderblandinger	Fremstilling af industri-gas	Fremstilling af cement
Fremstilling af sukker	Fremstilling af enzymer mv	Fremstilling af teglsten mv.
Øvrig anden fødevarerindustri	Fremstilling af øvrige basiskemikalier	Fremstilling af asfalt og tagpap
		Fremstilling af stenuld
		Øvrig betonindustri

Disaggregeringen er udført med udgangspunkt i de nationale tal fra ENE2HA fra Danmarks Statistik. Fordelingen mellem underbrancherne er lavet ved at opstille fordelingsnøgler baseret på energifordelingen på underbrancherne fra "Kortlægning af energiforbrug i virksomheder".

De nationale energiforbrugstal er skaleret til de 21 kommuner ved at beregne de arealspecifikke forbrug baseret på nationale tal for hver underbranche per energiart. Arealerne for hver underbranche er fundet ved at koble CVR-data og BBR-data. Hver af underbrancherne er defineret som en eller flere DB07-branchekoder, og virksomheder med de relevante branchekoder kan identificeres via CVR-registeret. For de relevante virksomheder er efterfølgende lavet en kobling med

BBR-data via adresser, som muliggør optælling af arealer der udnyttes til produktionsformål (BBR-anvendelseskoder fra 200-299).

Denne optælling af produktionsarealer for de relevante DB07-brachekoder på hhv. nationalt plan og inden for de 21 kommuner gør det muligt at skalere de nationale energiforbrugstal for under-brancherne til området dækket af de 21 kommuner. Til slut er de beregnede energiforbrugstal for underbrancherne i de 21 kommuner skaleret endnu en gang, så summerne for hovedbrancherne 100050 Anden fødevareindustri, 200010 Fremstilling af basiskemikalier og 230020 Betonindustri og teglværker stemmer med de data, der er hentet fra Danmarks Statistik.

Kortlægningen af overskudsvarme fra datacentre er baseret på brancherne under NR-10-koden *J information og Kommunikation*. De NR-117- og DB07-branchekoder der ligger i denne kategori, er vist i Tabel 4.2. Baseret på DB07-koder og -navne vurderes det at datacentre vil befinde sig i NR-117 kategorierne *610000 Telekommunikation*, *620000 IT-konsulenter* og *630000 Informationstjenester*.

Tabel 4.2: NR-117- og DB07-branchekoder samlet under standardgrupperingen *J Information og Kommunikation* (jf. 10-grupperingen)

NR-117 koder	DB07-koder
580010 Forlag	581100 Udgivelse af bøger 581200 Udgivelse af telefonbøger og adresselister 581300 Udgivelse af aviser og dagblade 581410 Udgivelse af ugeblade og magasiner 581420 Udgivelse af distrikts- og annonceblade 581900 Anden udgivervirksomhed
580020 Udgivelse af computerspil og anden software	582100 Udgivelse af computerspil 582900 Anden udgivelse af software
590000 Produktion af film, tv og musik mv.	591110 Produktion af film og videofilm 591120 Produktion af tv-programmer 591200 Aktiviteter, der udøves efter produktion af film, video- og tv-programmer 591300 Distribution af film, video- og tv-programmer 591400 Biografer 592000 Indspilning af lydoptagelser og udgivelse af musik
600000 Radio- og tv-stationer	601000 Radiovirksomhed 602000 Tv-virksomhed
610000 Telekommunikation	611000 Fastnetbaseret telekommunikation 612000 Trådløs telekommunikation 613000 Satellitbaseret telekommunikation 619000 Anden telekommunikation
620000 It-konsulenter mv.	620100 Computerprogrammering 620200 Konsulentbistand vedrørende informationsteknologi 620300 Computer facility management 620900 Anden it-servicevirksomhed
630000 Informationstjenester	631100 Databehandling, webhosting og lignende serviceydelser 631200 Webportaler 639100 Pressebureauer 639900 Andre informationstjenester i.a.n.

Det har ikke været muligt at hente energiforbrugsdata for brancherne *610000 Telekommunikation*, *620000 It-konsulenter* og *630000 Informationstjenester* for de 21 kommuner direkte fra Danmarks Statistik. Fra Danmarks Statistik er det muligt, at hente energiforbrugsdata fordelt på energiarter for de tre udvalgte NR-117 brancher på nationalt plan. Kortlægningen er derfor baseret på de nationale tal,

som er skaleret til de 21 kommuner baseret på produktionsarealer (BBR-anvendelses-koder 200-299) tilsvarende arealskaleringen der er beskrevet i afsnit 4.2.1.1.

Konverteringen fra energiforbrug fordelt på energiarter er konverteret til energiforbrug fordelt på processer, og efterfølgende er energiforbrugene per proces omregnet til overskudsvarme jf. beskrivelsen i afsnit 4.2.1. Branchematrixen og overskudsvarmeantagelserne fra referencerapporterne¹ er opstillet for hele NR-10 branchen *J information og Kommunikation*, og indeholder en antagelse om, at 40 % af overskudsvarmen fra IT-udstyr er tilgængeligt. Med baggrund i det mere snævre fokus på datacentre, som er aktuelt i nærværende kortlægning, er det antaget at 100 % af overskudsvarmen fra IT-udstyr er tilgængeligt, da IT-udstyret antages at være aktivt kølet og overskudsvarmen dermed formodes at være fuldt udnyttelig.

4.2.2 Kortlægning af overskudsvarme fra supermarkeder

Kortlægningen af overskudsvarme fra supermarkeder indeholder også en vurdering af, hvor stor en andel af den tilgængelige overskudsvarme, der kan udnyttes internt i supermarkederne, og hvor stor en andel der kan leveres til fjernvarmenettet.

Vurderingen tager udgangspunkt i en opgørelse for et model-supermarked med nøgleparametre som vist i Tabel 4.3. I Tabel 4.4 er vist de eksempler der ligger til grund for antagelserne om andel af graddageuafhængigt varmemeforbrug (GUF-andel) og specifikt varmemeforbrug.

Tabel 4.3: Antagelser benyttet i kortlægningen af potentialet for udnyttelse af overskudsvarme fra supermarkeder

Parameter	Enhed	Værdi	Baggrund for antagelsen
Kapacitet, varmegenvindingsunit, køle/fryse-anlæg	kW	49	Erfaringsindsamling – leverandører af udstyr og interview med supermarkedskæder.
Gennemsnitlig belastningsgrad, køle/fryse-anlæg	-	0,43	Erfaringsindsamling – leverandører af udstyr og interview med supermarkedskæder.
Gennemsnitligt kondenseringsstryk	bar	60	Erfaringsindsamling – leverandører af udstyr og interview med supermarkedskæder.
Andel af samlet varmebehov som er graddageuafhængigt (GUF-andel)	-	0,5	Projektet <i>Super Supermarkets</i> ⁷ og data fra fjernvarmeselskaberne
Specifikt varmemeforbrug	MWh/m ² /år	130	Projektet <i>Super Supermarkets</i> ⁷ og data fra fjernvarmeselskaberne
Gennemsnitligt areal	m ²	1.000	CVR- og BBR-data

Opgørelsen breddes ud på hele området dækket af de 21 kommuner ved at estimere det samlede antal supermarkeder i området. Antallet af supermarkeder i hele landet er hentet i datasættet ERHV4 fra Danmarks Statistik med udvælgelse af DB07 GRP-127 kategorien *47001 Supermarkeder og varehuse mv.* og udvælgelse af lokationer med 10-49 ansatte. Skaleringen til de 21 kommuner er gjort

⁷ Link: <https://cleancluster.app.box.com/s/ogv3srpb674v03wua6rxvb64a40ma6tf>

ved at lave et forholdstal baseret på antallet af arbejdssteder i DB07 GRP-10 kategorien *4 Handel og transport mv.* (som indeholder kategorien *47001 Supermarkeder og varehuse mv.*) på hhv. landsplan og i de 21 kommuner. Med data for 2018 er antallet af supermarkeder anslået til 720.

Tabel 4.4: Baggrund for antagelse om GUF-andel og specifikt varmekonsum i supermarkeder

Eksempler på supermarkeder	GUF-andel [-]	Specifikt varmekonsum [MWh/m ² /år]	Kilde
Eksempel 1	0,74	133	Data fra fjernvarmeselskaberne
Eksempel 2	0,86	181	Data fra fjernvarmeselskaberne
Eksempel 3	0,24	105	Projektet Super Supermarkeds ⁷

Potentialet for at udnytte overskudsvarme hhv. internt i supermarkederne og til fjernvarmenettet er vurderet ved at sammenholde varighedskurver for køle- og varmebehovet i supermarkederne. Kølebehovet er i kortlægningen antaget at være konstant igennem året. Varighedskurven for varmebehovet er opstillet ved brug af standardkurver fra simuleringssværktøjet EnergyPRO og en GUF-andel (GraddageUafhængige Forbrug) på 0,5 jf. Tabel 4.3. GUF-andelen er relativ høj sammenlignet med f.eks. beboelsesbygninger, hvilket skyldes, at der i GUF-behovet for supermarkeder er et opvarmningsbehov som følge af kuldeudslip fra kølemontrer og lignende.

4.2.3 Inddeling i temperaturniveauer

Potentialerne for overskudsvarme er inddelt i følgende temperaturintervaller:

- Høj-temperaturinterval: $T > 80\text{ °C}$, som repræsenterer direkte varmeudnyttelse uden varmepumpe
- Mellem-temperaturinterval: $30\text{ °C} < T < 80\text{ °C}$, som repræsenterer varmeudnyttelse med varmepumpe ved høj COP
- Lav-temperaturinterval: $10\text{ °C} < T < 30\text{ °C}$, som repræsenterer varmeudnyttelse med varmepumpe ved lavere COP

Temperaturinddelingerne er opgjort baseret på informationer omkring forventede temperaturniveauer for overskudsvarmen for de forskellige processer fra rapporten *Industrial Energy Mapping: THERMCYC WP6* suppleret med erfaringer fra projekter i forsyningsselskaberne.

4.2.4 Fjernvarmepotentiale

For høj-temperaturintervallet for overskudsvarme er det antaget, at overskudsvarmen kan udnyttes direkte i fjernvarmenettet. For mellem-temperatur- og lav-temperaturintervallet er fjernvarmepotentialet opgjort ved at antage at der benyttes en varmepumpe med en Lorentz-virkningsgrad på 57 %. Fjernvarmepotentialet opgøres for to temperatursæt for fjernvarmen svarende til en referencecase og en lavtemperaturcase. Se afsnit 2.3 for nærmere beskrivelse af beregningsmetoden.

4.3 Potentialekortlægning

I de følgende afsnit er potentialekortlægningen præsenteret. Først vises de rå potentialer for overskudsvarme dvs. de varmemængder der anslås tilgængelige fra virksomhederne. Efterfølgende korrigeres varmepotentialet for supermarkeder for

potentiel intern udnyttelse, og til slut indregnes fjernvarmepotentialerne inkl. evt. elforbrug fra varmepumper.

4.3.1 Kortlægning af overskudsvarme

Kortlægningen af overskudsvarme er vist i Figur 4.4. De viste varmemængder inkluderer ikke evt. el-forbrug i varmepumper til at løfte temperaturen. El-forbruget til varmepumper er inkluderet i resultaterne i afsnit 4.3.3. Det samlede potentiale vist i figuren er opgjort til 935 GWh/år hvoraf 756 GWh/år er fra industriel overskudsvarme dvs. brancherne listet i Figur 4.2. Sammenlignes med den nationale kortlægning fra THERMCYC-projektet, hvor industriel overskudsvarme blev kortlagt til 49 PJ/år (ca. 13.600 GWh/år), udgør de 765 GWh/år omkring 5-6 %. Dette stemmer godt overens med energiforbrugsopgørelser fra Danmarks Statistiks ENE-GEO-datasæt, hvor industriens energiforbrug i de 21 kommuner i 2018 udgjorde 4-5 % af det samlede energiforbrug for industrien i hele landet.

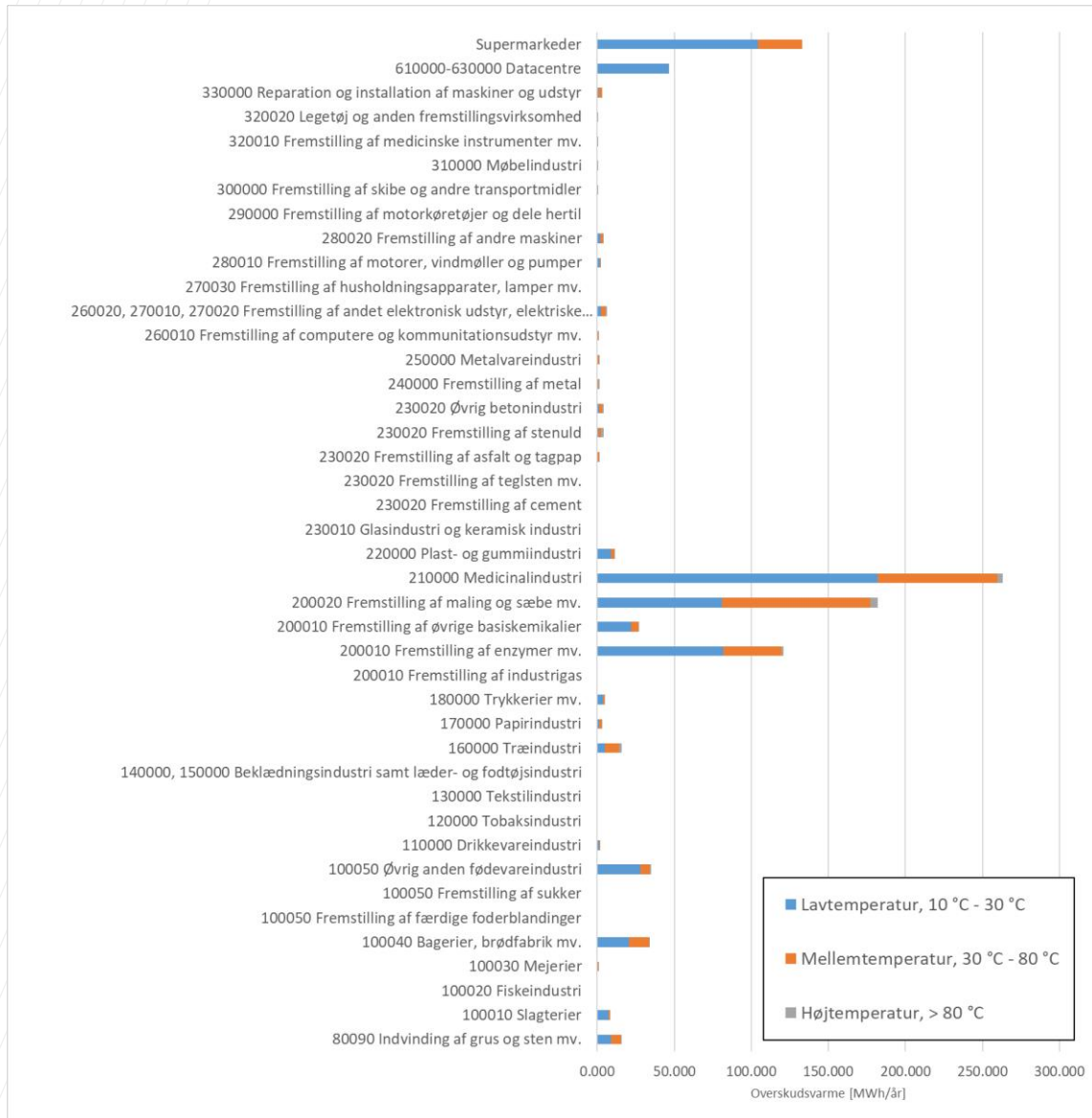
I brancherne *Medicinalindustri*, *Fremstilling af maling og sæbe mv.* og *Fremstilling af enzymer* findes en stor del af det samlede potentiale for industriel overskudsvarme. Eksempler på virksomheder placeret i disse branchekategorier er vist herunder:

- Medicinalindustri: Novo Nordisk, LEO Pharma
- Fremstilling af maling og sæbe mv.: CP Kelco
- Fremstilling af enzymer: Novozymes

Potentialet for udnyttelse af overskudsvarme fra datacentre er kortlagt til for NR117-kategorierne *610000 Telekommunikation*, *620000 IT-konsulenter mv.* og *630000 Informationstjenester*. Udover dette potentiale må der formodes også at være et potentiale fra datacentre i virksomheder uden for disse kategorier. Et eksempel er Nordeas datacenter i Høje Taastrup⁸. Der forventes herudover et stort varmepotentiale fra datacentre i forbindelse med kommende datacentre. Dette potentiale er inkluderet i afsnit 4.3.3.

⁸ Beskrivelse af eksisterende overskudsvarmeprojekt, link: <https://www.nordea.com/da/press-and-news/nyheder-og-pressemessages/news-local-dk/2020/overskudsvarme-fra-Nordea-bliver-til-fjernvarme.html>

Figur 4.4: Kortlægning af industriel overskudsvarme og overskudsvarme fra datacentre og supermarkeder

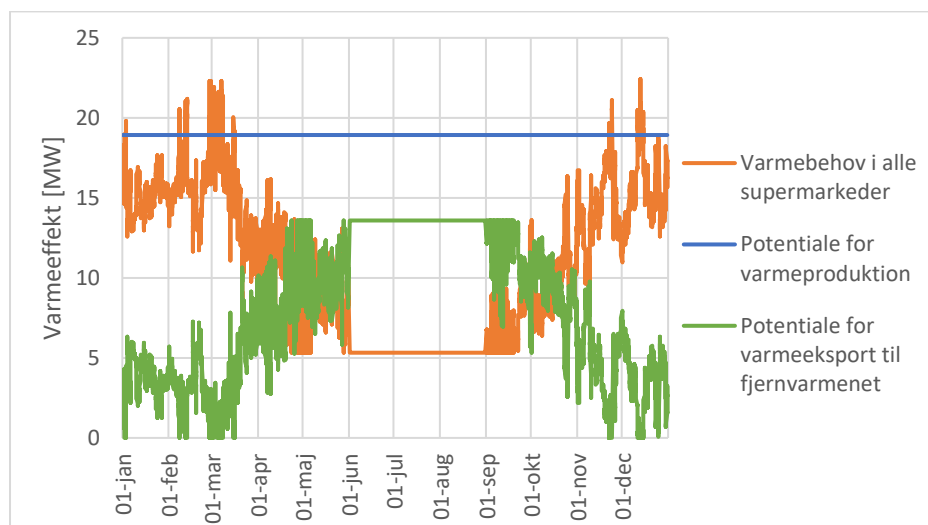


4.3.2 Intern varmeudnyttelse i supermarkeder

Supermarkeder står også for et stort potentiale, dog er dette potentiale fordelt på omkring 720 forskellige lokationer. Overskudsvarmen for supermarkeder vist i Figur 4.4 er ikke korigeret for muligheden for intern udnyttelse af varme i supermarkederne. Muligheden for intern udnyttelse i supermarkeder er behandlet i det følgende.

I Figur 4.5 er vist potentialet for varmeproduktion fra supermarkeder (blå kurve), som indeholder el-forbrug til temperaturløft i varmepumper svarende til referencecasen for fjernvarmetemperaturer. Den orange kurve viser varmebehovet i supermarkederne og den grønne kurve viser potentialet for varmeeeksport til fjernvarmenettet beregnet som forskellen mellem den blå og den orange kurve.

Figur 4.5: Anslåede årsvariationer for varmebehov og overskudsvarmepotentiale i supermarkeder



Gennemsnitseffekten for overskudsvarmen er anslået til 19 MW, hvoraf 11 MW kan udnyttes internt til at dække supermarkedernes egne varmebehov, og de resterende 8 MW kan eksporteres til fjernvarmenettet. Potentialet er størst om sommeren, hvor potentialet for at levere til fjernvarmenettet er opgjort til 14 MW. Dog er sommeren også den periode, hvor der generelt er mindst brug for varmen.

For lavtemperaturcasen for fjernvarme er potentialet for at eksportere varme fra supermarkeder til fjernvarmenettet opgjort til en gennemsnitseffekt på 18 MW.

4.3.3 Fjernvarmeeffektpotentiale

Fjernvarmeeffektpotentialet er opgjort i Figur 4.6 for referencetemperaturer for fjernvarmen. Potentialerne indeholder dermed også elforbrug i varmepumper til udnyttelse af overskudsvarme i mellem-temperatur- og lav-temperaturinterval-erne. Effektpotentialet er beregnet som gennemsnitseffekten baseret på 8.760 timer om året. Det samlede potentiale vist i Figur 4.6 er 130 MW. Potentialet ved lavtemperaturcasen for fjernvarme er 123 MW, hvilket skyldes højere COP for varmepumperne og dermed mindre bidrag fra varmepumpernes elforbrug. Begge disse værdier for fjernvarmepotentialet indeholder 11 MW-varmeeffekt, som kan udnyttes internt i supermarkederne.

Effektpotentialerne ovenfor er ikke korrigeret for allerede udnyttede potentialer, hvilket gøres i det følgende. For de viste branchekategorier er en del af potentialet allerede udnyttet i følgende projekter:

- Novozymes, gennemsnitseffekt på 3,4 MW⁹
- CP Kelco, gennemsnitseffekt på 4,8 MW¹⁰

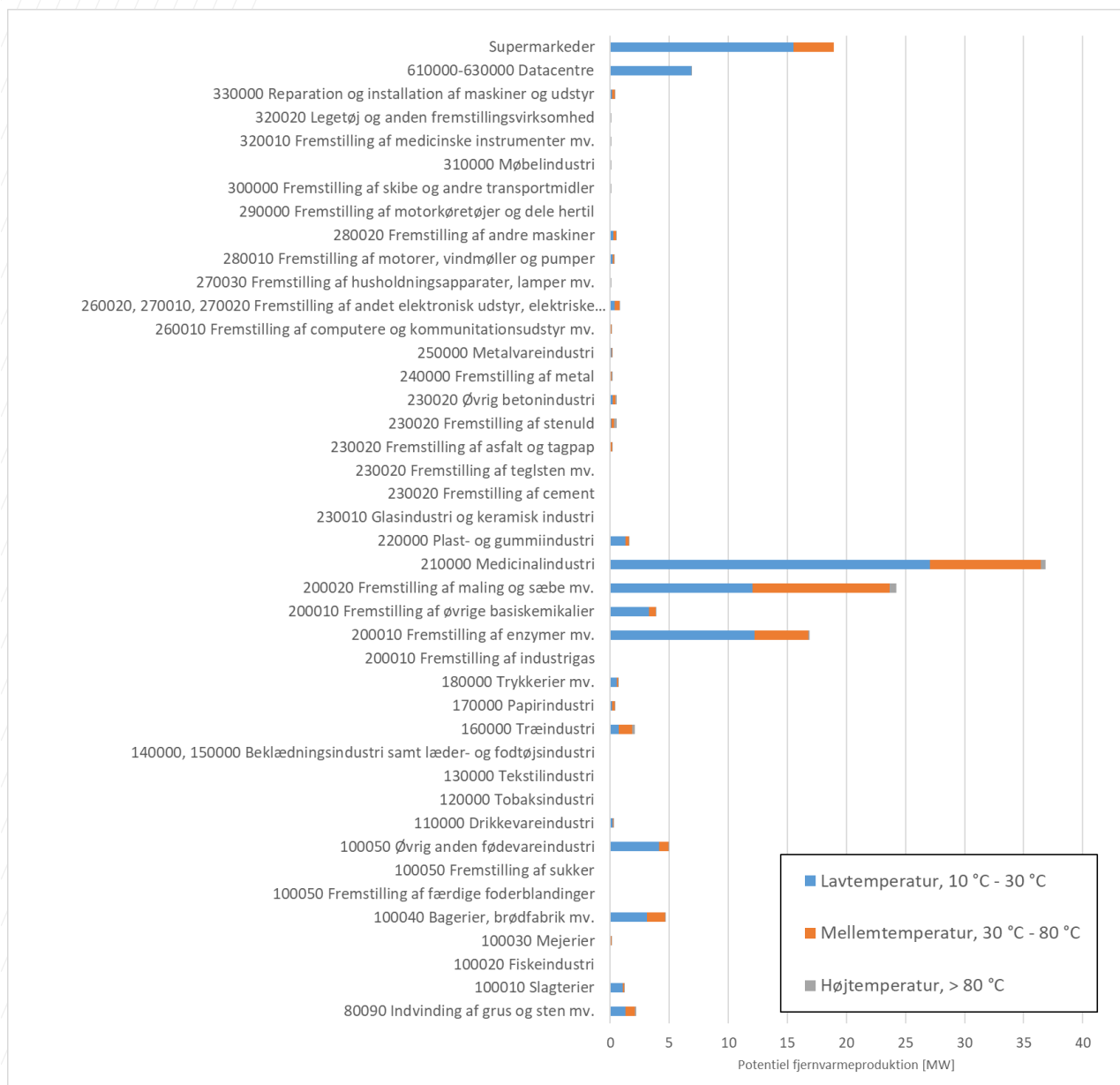
⁹ Beregnet som 30.000 MWh/8760 h. Reference: <https://www.hofor.dk/nyhed/overskuds-varme-novozymes-skal-holde-6-000-koebenhavnere-varme/>

¹⁰ Beregnet som 42.000 MWh/8760 h. Reference: https://www.danskfjernvarme.dk/-/media/danskfjernvarme/kurser_og_arrangementer/modematerialer/regionalm%C3%B8der/rm-2020/overskudsvarme_veks.pdf

- Rockwool, gennemsnitseffekt på 0,4 MW¹¹

Det forventes, at der vil komme en betydelig udbygning af datacentre omkring København frem mod 2050. Et overslag baseret på forventninger fra fjernvarmeselskaberne er omkring 100 MW.

Figur 4.6: Fjernvarmepotentiale for temperatursæt på fjernvarmen svarende til referencecasen (80 °C/50 °C). Det viste potentiale er ikke korrigeret for realiserede projekter og forventninger til kommende potentiale fra datacentre.



Det samlede potentiale for udnyttelse af overskudsvarme til fjernvarmeproduktion er beregnet som det rå potentiale (ikke korrigeret for realiserede projekter og

¹¹ Beregnet som 3.860 MWh/ 8760 h. Reference: <https://docplayer.dk/109283118-Projektfor-slag-fjernvarme-til-rockwool-campus.html>

kommende potentialer) vist i Figur 4.6, minus de realiserede projekter, og plus det forventede potentiale fra kommende datacentre.

Det samlede potentiale er dermed opgjort til 221 MW for fjernvarmetemperaturer i referencecasen og 214 MW for fjernvarmetemperaturer i lavtemperaturcasen.

4.4 Perspektivering

Inden for industriel overskudsvarme viser kortlægningen, at der er et uudnyttet potentiale på omkring 35-40 MW fjernvarme produktion indenfor medicinalindustrien. Omkring 10 MW af dette potentiale er tilgængeligt i mellem-temperaturintervallet. Det vil være relevant at afsøge dette potentiale nærmere.

Der er også store potentialer inden for branche-kategorierne *Fremstilling af maling og sæbe* og *Fremstilling af enzymer*, men dele af disse potentialer er allerede udnyttede. Kortlægningen indikerer dog, at der kan være mere at hente her.

Særligt er det relevant at følge udviklingen inden for datacentre, der afhængigt af udviklingen, kan komme til at udgøre den største overskudsvarmekilde. I kortlægningen er potentialet for kommende datacentre anslået til omkring 100 MW.

Fra supermarkeder er der et potentiale for varmeeeksport til fjernvarmenettet svarende til en gennemsnitseffekt på omkring 8 MW. I opgørelsen svarer dette til en gennemsnitseffekt per supermarked på omkring 11 kW. Til sammenligning er der i projektet *Super Supermarkets*¹² præsenteret en liste over realiserede overskudsvarmeprojekter i større supermarkeder (Kvickly, SuperBrugsen, Bilka, Føtex), som viser en gennemsnitseffekt for varmeeeksport på omkring 19 kW. Realiseringen af fjernvarme-produktionspotentialet på 8 MW kræver dermed etablering af mange små anlæg, hvilket kan gøre det svært at opnå god projektøkonomi. Derudover er varmeeeksporten primært aktuel i sommerperioden, hvor varmen har mindre værdi i fjernvarmenettet. Med baggrund i disse overvejelser vurderes det, at være mere relevant at fokusere på den interne varmeudnyttelse i supermarkeder, som muligvis gør en sænkning af fjernvarmebehovet svarende til en gennemsnitseffekt på omkring 11 MW.

Overskudsvarme som udnyttes til fjernvarme er primært relevant i distributionsnettet, da de fleste virksomheder er placeret decentralt i fjernvarmenettet, hvor der pga. lavere temperaturer opnås den højeste energieffektivitet ved varmepumper. Hvorvidt potentialet for udnyttelse af overskudsvarmen kan realiseres, afhænger dermed også af, om overskudsvarmekilderne er placeret således i nettet, at varmebehovet er tilstrækkeligt til at aftage varmen til enhver tid.

5 Opsamling

I Tabel 5.1 er vist en opsamling på potentialekortlægningen for de tre varmekilder. Beskrevet ovenfor. Potentialet er vist som varmeeffekt leveret til fjernvarmenettet ved de to referencecases for fjernvarmetemperaturer. For spildevand er potentialet opgjort baseret på en spildevandstemperatur svarende til den koldeste time på året og laveste flow, opskaleret med faktor 8 for at udnytte mere af flowvariationerne over året (se afsnit 2), for havvand er potentialet opgjort baseret på februar

¹² Link: <https://cleancluster.app.box.com/s/ogv3srpb674v03wua6rxvb64a40ma6tf>

måned, hvor havvandet er koldest (se afsnit 3), og for overskudsvarme er potentialet opgjort som gennemsnitseffekter (se afsnit 3.3).

Tabel 5.1: Opsamling på potentialekortlægning

Varmekilde	Fjernvarme, reference-case (80 °C/50 °C) [MW]	Fjernvarme, lavtemperaturcase (70 °C/40 °C) [MW]
Spildevand, maksimum	386	363
Havvand	1.440	1.360
Overskudsvarme	221	214
Total	2.047	1.937

Det ses, at der især er en rigtig stort potentiale for at udnytte havvand som varmekilde på en række rigtig store projekter som kan agere grundlast i det fremtidige fjernvarmesystem. Det er oplagt at gøre brug af de store havvandsindtag der ligger ved de eksisterende kraftvarmeværker der dog er begrænset ved, at de i dag leverer til transmissionsnettene. Enten vil temperaturen i disse skulle sænkes, eller også skal der etableres direkte afgang til distributionsnettene, hvilket vil kræve en større mængde rørarbejder. Spildevand ses naturligt som en varmekilde der skal agere i mellemlasten og designes til ca. 5.000 – 6.000 ækvivalente fuldlasttimer, da men vil få en bedre udnyttelse af varmekilden her end ved at designe efter den koldeste time med laveste flow. Faktisk vil der her være ca. 300 MW tilgængelig effekt i spildevandet ved denne designforudsætning, som forventeligt vil kunne levere konkurrencedygtig fjernvarme. Derudover ses et stort potentiale for udnyttelse af overskudsvarme fra kommende datacentre og et større uudnyttet potentiale i medicinalindustrien omkring København.