



KORTLÆGNING AF EFFEKTPOENTIALE FOR STORE VARMEPUMPER

Fokus på lavtemperaturvarmekilder i Hovedstadsområdet



VAND



SPILDEVAND



HAVVAND



GRUNDEVAND

Kortlægning af effektpotentiale for store varmepumper

Fokus på lavtemperatur varmekilder i Hovedstadsområdet

Indhold

1. Resumé	4
2. Indledning - Formål.....	9
3. Metode	9
3.1. Vurdering af effektpotentialet for store varmepumper.....	10
3.2. Arealbehov til varmepumper	11
4. Effektpotentiale for havvand.....	12
4.1 Vurdering af effektpotentiale.....	12
4.2. Samlet vurdering af effektpotentialet for havvand.....	17
5. Effektpotentiale for rensset spildevand.....	18
5.1. Afgrænsning.....	18
5.2. Temperatur- og energiforhold.....	18
5.2. Effektpotentiale på Lynetten renseanlæg	19
5.3. Effektpotentiale på Damhusåens renseanlæg, Sjællandsbroens pumpestation og Kløvermarkens pumpestation	20
5.4. Effektpotentiale spildevand på Avedøre renseanlæg	21
5.5. Effektpotentiale for Tårnby renseanlæg	21
5.6 Effektpotentiale for Køge Renseanlæg.....	21
5.7 Effektpotentiale for Mosede renseanlæg	22
5.8 Effektpotentiale for Roskilde renseanlæg	22
5.10 Udfordringer og erfaringer med udnyttelse af rensset spildevand	22
5.11. Samlet vurdering af effektpotentiale for rensset spildevand	23
6. Effektpotentiale for drikkevand	23
6.1. Potentialet for varmepumper ved vandværker	24
6.2. Effektpotentiale for en varmepumpe ved Tinghøj reservoiret	24
6.3. Effektpotentiale for varmepumper tilsluttet drikkevandsledninger	26
Drikkevandspotentiale i HOFOR's forsyningsområde	26
6.4 Regulatoriske forhold og drikkevandssikkerhed	27

6.5. Samlet vurdering af effektpotentiale for drikkevand	27
7. Effektpotentiale for grundvand	29
7.1. Afværgeboringer og grundvandsvarmepumper.....	29
7.1.1. Afværgeboringer.....	29
7.1.2. Nye boringer til grundvandsvarmepumper	30
7.1.3. ATES-anlæg	33
7.2. Øvrige forhold - Regulering	33
7.3. Samlet vurdering af effektpotentiale for grundvand	33
8. Samlet vurdering af effektpotentiale	34
9. Økonomi	35
9. 1. Vigtige faktorer for store varmepumpers økonomi	35
9. 2. Generiske Business cases (projektøkonomi)	35
10. Udbygningstakt.....	39
10.1. Økonomisk prioritering af varmekilder	40
10.2. Mulig udbygning med varmepumper.....	42
11. Sammenfatning	44
12. Perspektivering.....	48
Bilag	49
Bilag 1: Referencer	49

1. Resumé

Denne undersøgelse er udført i regi af SVAF projektet – et projektpartnerskab med fokus på udvikling og test af store varmepumper til fjernvarme støttet af EUDP.

Analysens formål har været at vurdere effektpotentialet i varmekilder til varmepumper inden for Hovedstadsområdet sammenhængende fjernvarmesystem, svarende til CTR, VEKS og HOFOR's forsyningsområder. Varmepumper har brug for en varmekilde, hvorfra der kan optages energi. Dette kan bl.a. være jord eller luft som kendes fra mindre individuelle varmepumper til forsyning af sommerhuse og enkeltstående bygninger. Når der er tale om storskala varmepumper, her defineret som $\geq 0,5$ MJ/s, til fjernvarmeforsyning fordrer det, at der kan findes varmekilder med tilstrækkeligt flow og temperaturniveau over året. Analysen har fokus på lavtemperatur varmekilder; spildevand, havvand, drikkevand og grundvand, dvs. ikke geotermi og overskudsvarme fra industri, herunder Carbon Capture (CC) og Power-to-X (PtX), hvis udvikling i høj grad afhænger af, hvordan politiske rammer udformes i de kommende år. Luft som varmekilde til store varmepumper er heller ikke taget med, grundet en generelt lav COP om vinteren, hvor varmebehovet er størst, kombineret med begrænsede muligheder for opskalering samt udfordringer med at overholde støjkraV i et tæt bymiljø.

Kortlægningen viser, at der er et stort potentiale for at varmepumper kan blive en central del af Hovedstadens varmeforsyning, men det er en forudsætning for indfrielsen af denne ressource, at de økonomiske og planmæssige rammer er til stede. Det er på baggrund af centrale parametre blevet vurderet hvor stort det tekniske effektpotentiale er under hensyn til: Energiindhold i varmekilden, nærhed til fjernvarmenet, fysiske netbegrænsninger for at aftage varmen, samt tilstrækkelige pladsforhold med henblik på etablering af en varmepumpecentral. Det er væsentlig at bemærke at indfrielsen af dette potentiale, også er afhængigt af varmepumpernes konkurrencedygtighed i forhold til de andre tilgængelige energiteknologier og til behovet for ny produktionskapacitet i fjernvarmesystemet. Især spørgsmålet om udbygningen og vedligeholdelsen af de eksisterende kraftvarmeværker i Hovedstadsområdet samt en evt. udbygning med geotermi, overskudsvarme fra CC og PtX, der som konkurrerende teknologier kan påvirke udbygningstakten af store varmepumper med lavtemperaturkilder. Dertil kommer muligheden for at levere til lavtemperaturfjernvarmeområder, som kan være afgørende for COP og økonomi.

I skemaet nedenfor fremgår et overslag på det samlede effektpotentiale for lavtemperaturkilder, der vurderes realiserbart i Hovedstadsområdet under forudsætning af, at varmepumper baseret på lavtemperaturkilder bliver en konkurrencedygtig teknologi, og hvor der kun overordnet er taget hensyn til kapacitetsbehovet i fjernvarmesystemet.

2035

Potentiale MJ/s	CTR	HOFOR	VEKS	I alt
Spildevand	6	41	28	75
Havvand	0	60	120	180
Drikkevand	25	35	5	65
Grundvand / ATES	30	20	32	82
I alt	62	156	185	403

2050

Potentiale MJ/s	CTR	HOFOR	VEKS	I alt
Spildevand	6	41	28	75
Havvand	0	320	120	440
Drikkevand	25,4	35	5	90
Grundvand / ATES	30	30	52	112
I alt	62	426	205	717

Potentialerne er angivet for to årstal på mellemlangt og langt sigt, fordi det tager tid at udbygge sådanne nye energiforsyningsløsninger, som repræsenterer et større antal geografisk spredte anlægsprojekter. Ovenstående er et simpelt bud på en mulig udbygning, frem til 2035, og er baseret på mulige projekter, hvoraf en del er på idéplan, mens en mindre håndfuld er etableret eller under etablering. I perioden mellem 2035 og 2050 er der en forventning om at det er realiserbart, at få etableret yderligere 260 MJ/s havvandsvarmepumper, placeret kystnært ud til Øresund i Københavnsområdet. Derudover er der en forventning om et øget behov for ATES anlæg, især i VEKS forsyningsområde, svarende til en udbygningseffekt på omkring 20 MJ/s varmepumper. Denne antagelse baseres på, at der i VEKS' område er sammenfald mellem et større antal erhvervs og industrivirksomheder med kølebehov samt bedre pladsforhold end i mere tætbebyggede områder.

Der kan muligvis ikke undgås en periode med overkapacitet, hvis der skal være etableret tilstrækkelig effekt fra varmepumper frem mod udgangen af 2020'erne til at kompensere for dele eller hele udfasningen af de store kraftvarmeblokke, der forventes at ske i 2030'erne.

I det følgende opsummeres de vigtigste forhold for udnyttelsen af de forskellige lavtemperaturkilder.

Havvand

Som det fremgår af tabellen oven for udgør havvand den af lavtemperaturkilderne med det absolut største energipotential, og også et meget større teknisk potentiale end angivet i denne opgørelse. I Varmeplan Hovedstaden 3 blev det angivet som værende uendeligt, idet vandet i Øresund er en uudtømmelig ressource. Potentialerne for havvandsvarmepumper er baseret på de kystnære ressourcer. Dette skyldes bl.a. omkostningerne til at indvinde ressourcerne langt væk fra kysten. Denne rapport ser bort fra at udnytte varme fra Hollænderdybet (mellem Middelgrund og Saltholm), 5-6 km fra kysten, dybere og bredere end Kongedybet. Grundet afstanden til kysten og det forhold, at det vil være nødvendigt som første skridt at få indhøstet erfaringer på grundlag af mere kystnære ressourcer.

Viser det sig, om en årrække, hvor der foreligger erfaringer med havvandsvarmepumper, der udnytter mere kystnært vand, at det kan være økonomisk fornuftigt at inddrage fjerntliggende områder i Øresund, da vil potentialet kunne opjusteres.

Spildevand

For spildevand er usikkerheden i potentialevurderingerne betydeligt mindre, da vort kendskab til denne ressource og dens udvikling er mere eksakt. Her er usikkerhederne i højere grad forbundet med de konkrete byggearealer til rådighed, hvilket afhænger af ledigt areal på de eksisterende renseanlæg, ejerforhold, naboer, samt at der pågår overvejelser om at flytte det største af renseanlæg i København som bl.a. vil blive nødvendigt, hvis planerne om Lynetteholmen, en større opfyldning og udbygning af Refshaleøen bliver en realitet.

Varmepumper baseret på spildevand ser ud til at få god økonomi, og vil kunne konkurrere med biomassekraftvarme. Der er dog stadig driftsmæssige udfordringer med spildevandsvarmepumper, bl.a. grundet at biofilm fra bakterierne i spildevandet kan mindske varmeoverførelsen i veksleren og dermed reducere varmepumpens effektivitet. Men forudsat at der opnås tilstrækkelige driftserfaringer kombineret med modning af teknologien, forventes det at spildevand vil være den lavtemperaturkilde, som er mest rentabel. Dette skyldes de høje temperature om vinteren (min. 10 C) samt muligheden for at udnytte storskalafordele ved udløbet fra renseanlæggene, hvor der er store mængder spildevand til rådighed. Sammenlignet med havvand, er energipotentialt stadig forholdsvis begrænset. Dertil kommer at der skal tages højde for døgnvariationer i flow, som kan begrænse effekten til rådighed på de konkrete renseanlæg.

Drikkevand

Det tekniske potentialet for udnyttelse af drikkevand med varmepumpe er ikke behæftet med så stor usikkerhed, da varmekildernes tilgængelighed og mængder ikke forventes at forandre sig væsentligt over tid. Dog skal det undersøges nærmere, i hvor høj grad flowet reduceres om natten, hvor forbruget falder. Ved udnyttelse af varmekilden fra drikkevand, er det nødvendigt at indsætte en mellemkreds mellem varmekilde og kølemiddel af hensyn til drikkevandssikkerheden, hvilket medfører et varmetab, der påvirker COP i negativ retning. Derudover vil en nedkøling af drikkevandet medføre et øget elforbrug til genopvarmning af brugsvand i husholdningerne til fx bade, vaskemaskiner, madlavning osv. Der findes få tilslutningssteder med større kapacitet og dermed er det kun få anlæg, der kan drage fordel af storskalafordele.

Grundvand

Potentialet for at udnytte grundvand som varmekilde, er i princippet stort, men afhænger i høj grad af projektspecifikke forhold, og kan derfor bedst vurderes fra projekt til projekt. Potentialet for 2035 er derfor i en vis udstrækning, især frem mod 2025, baseret på allerede realiserede projekter og projektmuligheder, som forsyningsselskaberne er vidende om. Flere heraf vil formentlig ikke blive realiseret. Til gengæld vil andre nok dukke op.

I tætte byområder anvendes grundvandsanlæg typisk i form af ATES anlæg til at forsyne enkelte bygninger som hoteller eller hospitaler med både varme og køling. Der er ikke fundet referencer på anlæg over 4 MJ/s og udfordringen med at opskalere grundvandsvarmepumper yderligere er, at det påkrævede antal boringer er svære at finde plads til i tætte byområder. Dertil kommer hensyn til drikkevandsinteresser og evt. behandlingskrav i forhold til at sende vandet retur til undergrunden. Muligheden for at udnytte grundvand som varmekilde i tætte byområder vurderes derfor begrænset sammenlignet med de øvrige varmekilder.

Resultaterne for grundvand er ligesom for de øvrige varmekilde positive. Udover betydningen af den ændrede elafgift, er fordelene ved grundvandsvarmepumper at de ikke er så investeringstunge, men til gengæld er der meget begrænsede storskalafordele i tætte bymiljøer pga. pladsøptag til boringer.

Der, hvor der kan ske en stor udvikling, er i forbindelse med etablering af datacentre, som har behov for køling, her vil ATES anlæggene vise sig at være relevante, da de kan køle om sommeren og gemme varmen til om vinteren. ATES anlæg etableres typisk i forbindelse med servertunge erhvervsvirksomheder eller hoteller, mens store datacentre ejet af store IT virksomheder, er ikke medregnet i potentialet.

Vigtige faktorer for store varmepumpers økonomi

Store varmepumper er en ny teknologi i store danske fjernvarmesystemer og derfor er der usikkerhed omkring realiseringen af det tekniske potentiale, som er afhængig af, at teknologien er konkurrencedygtig. Der er et par centrale faktorer, som har stor betydning for økonomien og udbredelsen af varmepumper baseret på lavtemperaturvarmekilder.

Det første parameter er elprisen, som udgør den største del af varmepumpers driftsomkostninger. Prisen på el er meget fluktuerende og denne tendens forventes at stige fremover, i takt med udbredelse af sol- og vindenergi. For at varmepumperne kan få mange driftstimer i fremtidens fjernvarmesystem, er det vigtigt at de kan udnytte de varierende elpriser og producere varmen, når elprisen er lav.

Et andet centralt parameter er investeringsomkostningerne til selve anlæggene, som udgør en stor finansiell post. Det er vigtigt at forsøge at reducere disse omkostninger ved f.eks. at få placeret anlæggene tæt på varmekilde og fjernvarmeledninger og hvis muligt ved at opskalere anlæggene.

COP værdien for produktionen er endnu en afgørende faktor for at få et attraktivt anlæg med en god driftsøkonomi. Dette skal sikres ved at få lokaliseret de mest attraktive varmekilder, med de højeste mulige temperaturer i varmesæsonen, kombineret med, at der arbejdes med at få sænket fremløbstemperaturen i distributionsnettene. Dette arbejdes der løbende med i Hovedstadsområdet, men det afhænger i stor udstrækning af tilstanden af fjernvarmekundernes varmeinstallationer, og med mange tusinde kunder i Hovedstadsområdet, er det en langsigtet indsats. Byudvikling af byområder, hvor der fra start kan etableres lavtemperaturfjernvarme er en oplagt mulighed i kombination med varmepumper.

Det sidste parameter, som har stor betydning for økonomien, er den varmepris, varmepumperne kan få for deres leverance til nettet. Dette er ikke noget det enkelte varmepumpeprojekt kan påvirke, da dette er afhængigt af udviklingen for de konkurrerende teknologier, som kraftvarmeverker, og geotermi og ikke mindst af kapacitetsbehovet i fjernvarmesystemet. Men ved, at udbygningstakten er spredt over en lang

tidsperiode fordelt ud på mange forskellige anlæg, hvor effektbehovet det pågældende sted i fjernvarmenettet, bør vurderes i hvert enkelt tilfælde, bør det kunne minimere risikoen for fejlinvesteringer og overkapacitet.

I tillæg til disse overvejelser, er der beregnet nogle generiske business case eksempler, som giver nogle indikationer på, hvad der skal til for at opnå en nogenlunde økonomi i et varmepumpeprojekt til fjernvarme. Resultatet peger på at COP ofte vil skulle være højere end 3 for at der er en chance for at få afskrevet investeringen. De kommende afgiftsreduktioner på el til varme, er dog ikke nået at komme med i disse beregninger og derfor er det sandsynligt, at det allerede med en COP på 3, er muligt alt andet lige, at opnå god projektøkonomi

2. Indledning - Formål

Denne undersøgelse er udført af HOFOR, CTR og VEKS i regi af SVAF projektet – et projektpartnerskab med fokus på udvikling og test af store varmepumper til fjernvarme støttet af EUDP.

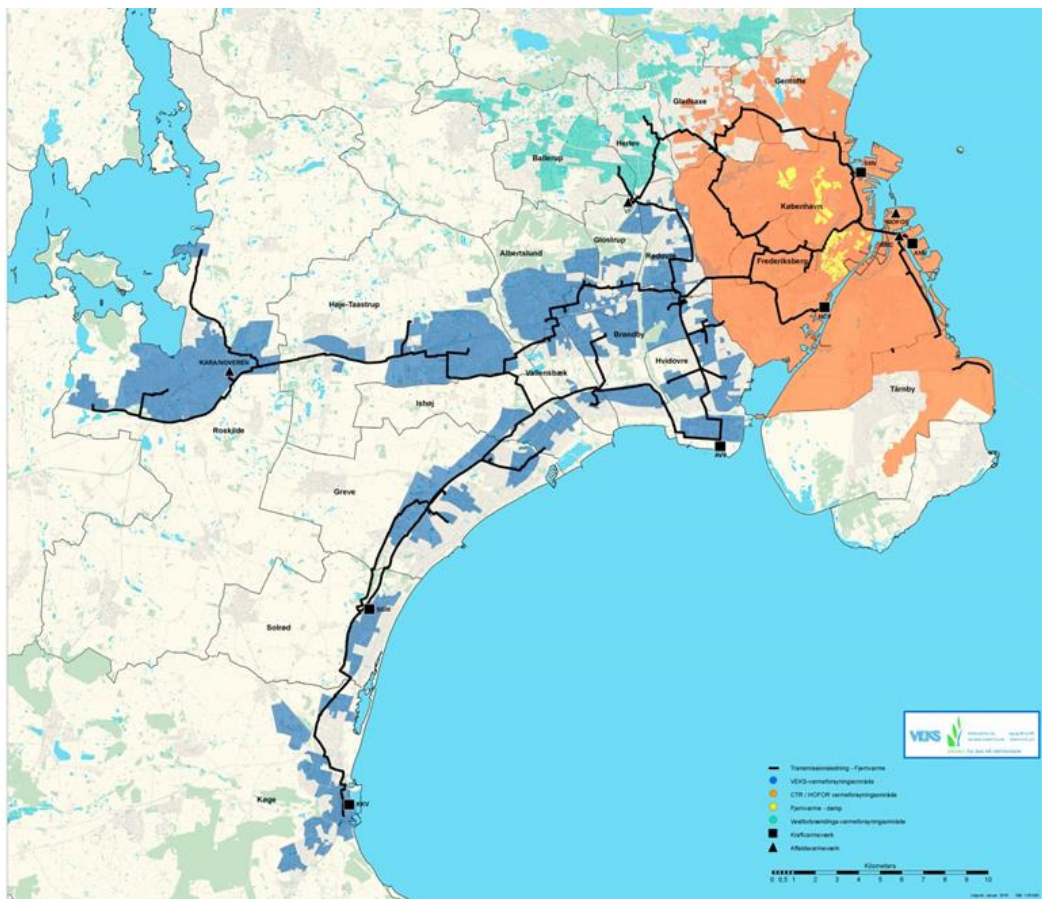
Energiteknologi er kendetegnet ved at investeringerne er meget langsigtede, og det er derfor nødvendigt at danne sig et overblik over de forskellige udviklingsmuligheder, for Hovedstadsområdet fjernvarmesystem. Dette arbejde blev allerede påbegyndt i et samarbejde mellem CTR, HOFOR og VEKS i 2009 med udarbejdelsen af analysen: Varmeplan Hovedstaden, som senest er blevet opdateret i 2014. Den seneste analyse, Varmeplan Hovedstaden 3 (VPH3), konkluderede bl.a. at store varmepumper anses som et relevant udviklingsspor for at sikre et mere fleksibelt fjernvarmesystem. Vurderingen af potentialet for varmepumper i VPH3 blev bl.a. baseret på et studie af energiindholdet i tilgængelige lavtemperaturkilder i Hovedstadsområdet.

Dette studie har til formål at opdatere vurderingen af energipotentialt for lavtemperatur varmekilderne spille-, hav-, grund- og drikkevands og derudover undersøge de tekniske og økonomiske parametre, som påvirker udnyttelsen af dette potentiale ved hjælp af varmepumper.

Rapporten indeholder en gennemgang af de relevante lavtemperaturvarmekilder, spild-, hav-, drikke- og grundvand for at kunne vurdere energipotentialt for hver enkelt kilde. Der er desuden foretaget nogle generiske business case beregninger, som peger på, hvor effektiv teknologien skal være for at blive konkurrencedygtige. Screenings formål er at skabe et mere robust plangrundlag for udbygningen med varmepumper som en del af Hovedstadsområdet fjernvarmeforsyning.

3. Metode

Kortlægningen foretages inden for CTR, VEKS og HOFOR's fjernvarmeforsyningsområder baseret på nøgletal til opgørelse af varmekilders energihold samt øvrige problemstillinger og faktorer, der påvirker effektpotentialet. Kortlægningen af potentialet og problemstillinger forbundet med forskellige typer varmekilder har dog også af relevans for andre kommuner og forsyningsselskaber, der har adgang til tilsvarende varmekilder. Fokus på geotermi og overskudsvarme behandles ikke i kortlægningen, men for overblikkets skyld er en overordnet potentiale vurdering medtaget i udbygningstakten kapitel 10. Derudover er der heller ikke kortlagt synergier mellem produktion af fjernkøling og fjernvarme med varmepumper, selv om det bestemt er et relevant, fordi det kan bidrage til øget udnyttelse af VE kilder samt billiggørelse af varmepumpeprojekter med kun en marginal ekstra investering. Når det ikke er taget med, er det fordi der de fleste steder ikke er erhvervsvirksomheder i nærheden med et tilstrækkeligt stort kølebehov.



Figur: Det storkøbenhavnske fjernvarmesystem fra VPH3.

Kortlægningen af effektspotentialet i lavtemperatur varmekilder i Hovedstadsområdet foretages i to trin: I kapitel 4-8 vurderes effektspotentialet for lavtemperaturvarmekilder i Hovedstadsområdet, mens kapitel 9 beskriver nogle generiske business case beregninger, der er repræsentative for forskellige typer varmekilder under forskellige forhold. Der er opstillet et bud på en udbygningstakt baseret på en forsigtig prioritering af varmekilderne set i forhold til behovet for ny effekt i fjernvarmesystemet.

3.1. Vurdering af effektspotentialet for store varmepumper

Opgørelsen af det realiserbare, tekniske potentiale i kapitel 4-8 forudsætter, at både mængder og energiindhold er til rådighed, samt faktorer som tilgængelige arealer til at placere anlægget i nærheden af fjernvarmenettet. Derudover kan der også være juridiske eller politiske interesser, der kan påvirke muligheden for at udnytte en varmekilde. F.eks. er det en udfordring at finde tekniske grunde til varmepumper *i nærheden* af relevante varmekilder i tætbebyggede områder, hvor kvadratmeterprisen ofte er høj. Disse forhold er beskrevet specifikt i vurderingen af de enkelte varmekilder. Nedenfor opsummeres de vigtigste faktorer, der er indgået i kortlægningen:

- Energiindhold: (flow m/s) og temperaturer over året.
- Adgang til varmekilden (arealer, tilladelser, samtykke fra myndigheder, ejere eller andre)

- Mulige placeringer nær fjernvarmenet med tilstrækkelig kapacitet til at aftage varmen
- Punktkilder: Placeringer hvor varmekilden er koncentreret og har et særligt stort energiindhold, som giver basis for at udnytte storskala og stordriftsfordele. Det mest oplagte eksempel er renseanlæg, hvor store mængder spildevand opsamles.

I rapporten henviser effektpotentiale således til ovenstående definition af teknisk effektpotentiale ved mindre andet er nævnt.

3.2. Arealbehov til varmepumper

Udnyttelse af en varmekilde forudsætter, som nævnt, at der er tilgængelige arealer i nærheden til etablering af en varmepumpecentral. Dertil kommer, at arealet skal kunne udnyttes til tekniske formål.

På grundlag af syv varmepumpeprojekter kan opstilles en vejledende angivelse af arealbehovet for varmepumpe bygninger, ekskl. adgangsveje m.v.:

Varmepumpecentraler	MJ/s	m ²	m ² pr. MJ/s	stadie
Krydstogtterminal (grundvand)	0,7	85	121	Realiseret
SVAF (hav/spildevand)	5	340	68	Realiseret
Oslo (10 MW køl)	16	480	30	Realiseret
SGE, Nordhavn (Havvand)	20	1000	50	Skitse
Geotermi, Nordhavn	75	1915	26	Skitse
Stockholm (Havvand)	180	4600	26	Realiseret
Stockholm (Havvand)	100	1000	10	Realiseret

Tabel: Projektreferencer for arealbehov for store varmepumper

Datagrundlaget er for spinkelt til sige noget om forskelle i arealbehov varmekilderne imellem. Alligevel er disse nøgletal anvendt til at foretage en overordnet vurdering af tilstrækkelige pladsforhold med henblik på at kunne udnytte varmekilderne, der hvor de er tilgængelige. Samtidig giver det en indikation på de storskalafordele, der opnås ved at m² pr. MJ/s falder ved opskalering.

4. Effektpotentiale for havvand

Havvand er ikke tidligere i Danmark blevet benyttet som varmekilde til varmepumper, mens der i Sverige er mange års erfaringer med meget store havvandsvarmepumpeanlæg på op til 180 MJ/s. Dette skyldes, at den svenske regering gav store tilskud til varmepumper i perioder med overskudsel (lave elpriser) i 1980'erne og 1990'erne kombineret med forholdsvis dybt vand langs den svenske kyst, som i modsætning til de lavvandede områder omkring København, giver mulighed for højere og mere stabile temperaturer på varmekilden over året. Derudover er Danmark gået foran med EU's planlagte udfasning af flourerede kølemidler, som giver mulighed for at bygge meget store anlæg, mens et mere begrænset marked for de kølemidler, der hidtil har været tilladt i Danmark har gjort at der hidtil kun har været mindre komponentstørrelser til rådighed. Det betyder at anlæg med stor effekt, opnås ved at stille mange mindre anlæg parallelt ved siden af hinanden, hvilket umiddelbart vurderes som en dyrere og mere pladskrævende løsning.

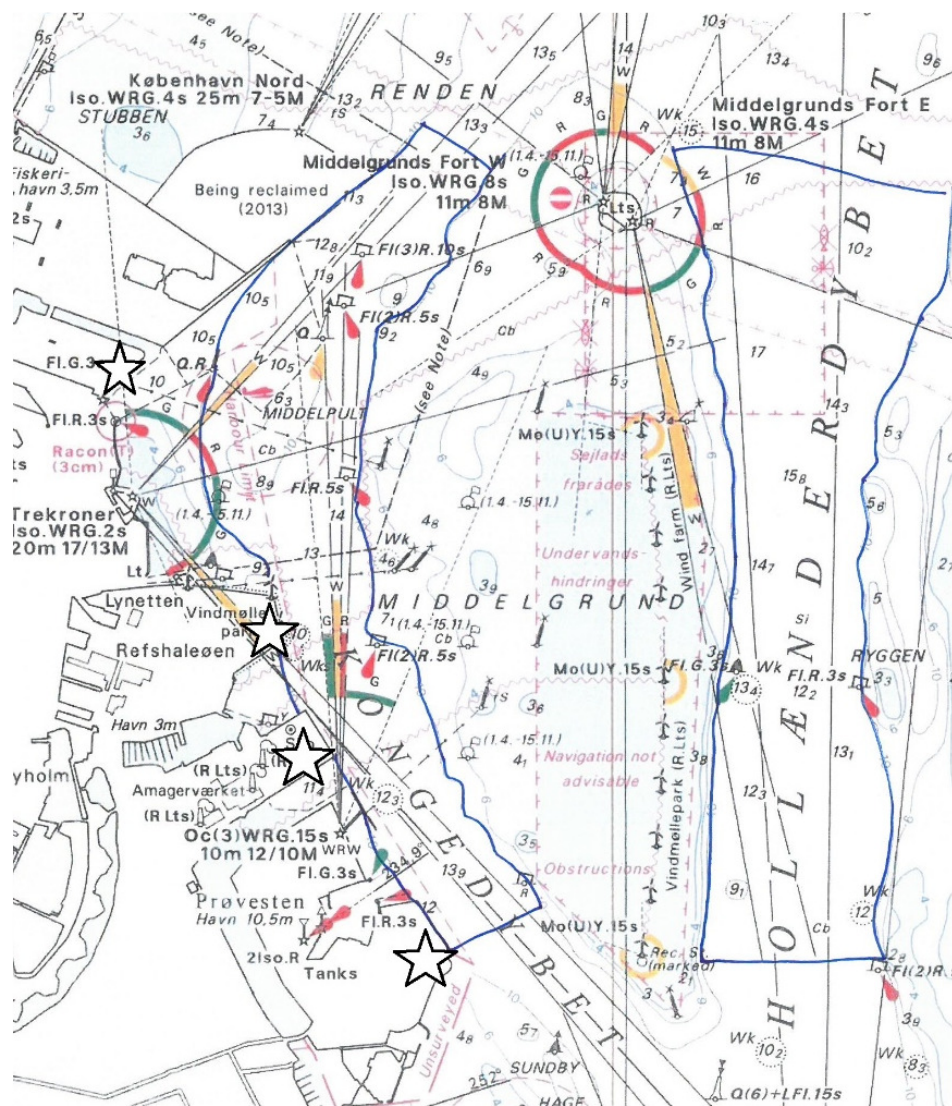
Grunden til havvand som lavtemperaturkilde kan være relevant for Hovedstadsområdet, er at det er den eneste varmekilde udover geotermi, der findes i rigtig store mængder og kan matche effektbehovet i Hovedstadsområdets fjernvarmesystem.

I VPH3 blev energiindholdet i havvand antaget uendeligt, og potentialet blev fastsat ud fra afsætningspotentialet (effekttrækket) i distributionsnettet i et kystområde, der strækker sig fra Nordhavn til Benzinøen. Effektpotentialet blev fastsat til ca. 160 MJ/s under forudsætning af, at noget af afsætningspotentialet udnyttes til andre varmepumper baseret på andre typer varmekilder. Blev hele afsætningsgrundlaget udnyttet til havvandsvarmepumper, ville der være et potentiale på ca. 260 MJ/s, der kunne udnyttes.

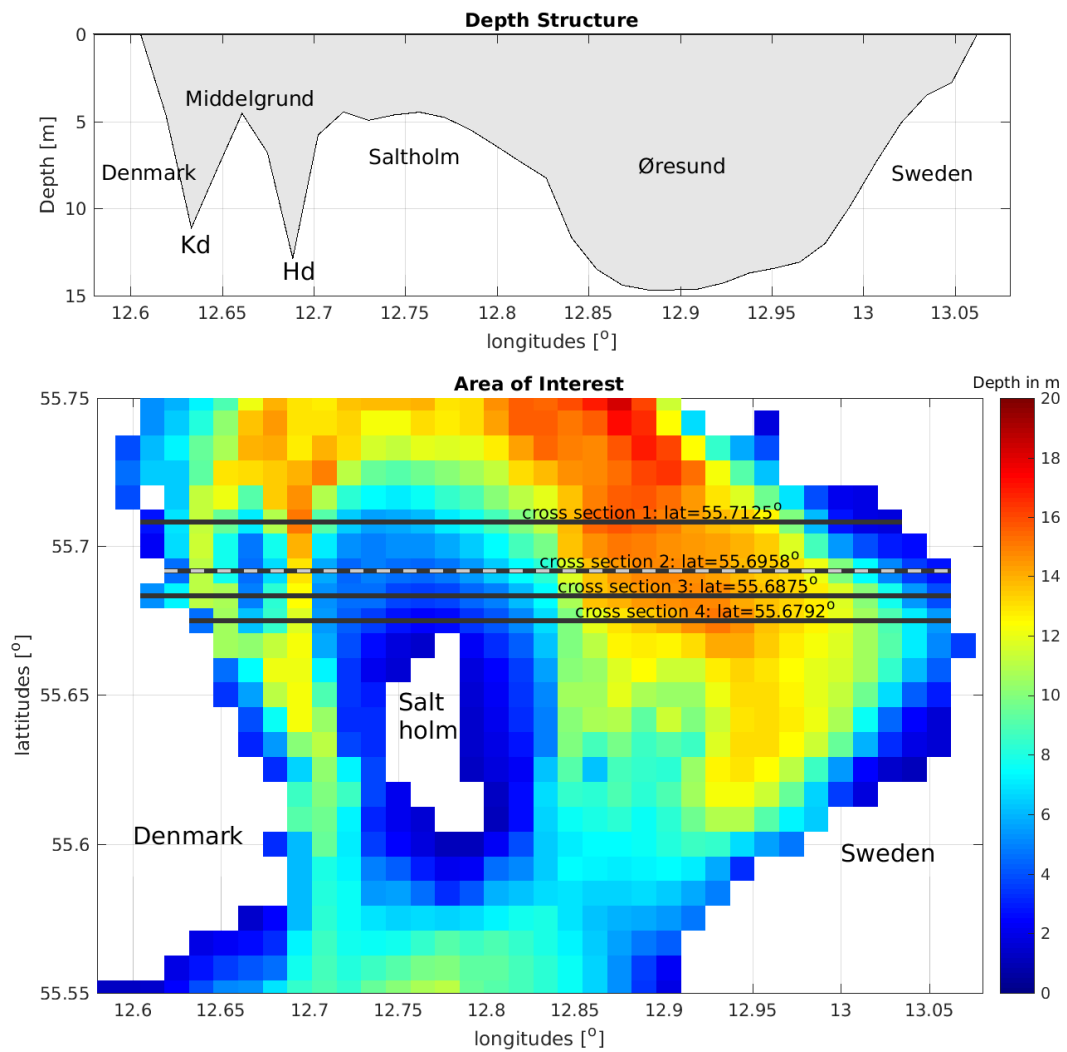
Der er foretaget en ny vurdering af energipotentialet i havvand baseret på dataanalyser fra DMI vedr. temperatur og flowprofiler for Øresund, herunder de to områder med størst dybde (ca. 11 m): Kongedybet og Hollænderdybet, som indeholder de største vandmængder med de mest stabile temperaturer over året, tættest på København. Derudover medtages også kystområder nær Køge og Roskilde, hvor især Køge har en havn med god dybde, som kunne egne sig til havvandsvarmepumper. Der er dog ikke taget højde for afsætningskapacitet i fjernvarmenettet med hensyn til at transportere varmen fra store havvandsvarmepumper ved kysten ind til byerne, som vil være relevant at undersøge nærmere.

4.1 Vurdering af effektpotentiale

Kongedybet er et forholdsvis dybt område i Øresund tæt på Prøvestenen, Kraftværkshalvøen, Refshaleøen og Nordhavn. Kongedybet har et areal på 5-6 km² og en vanddybde på over 10 meter, flere steder få meter fra kysten.

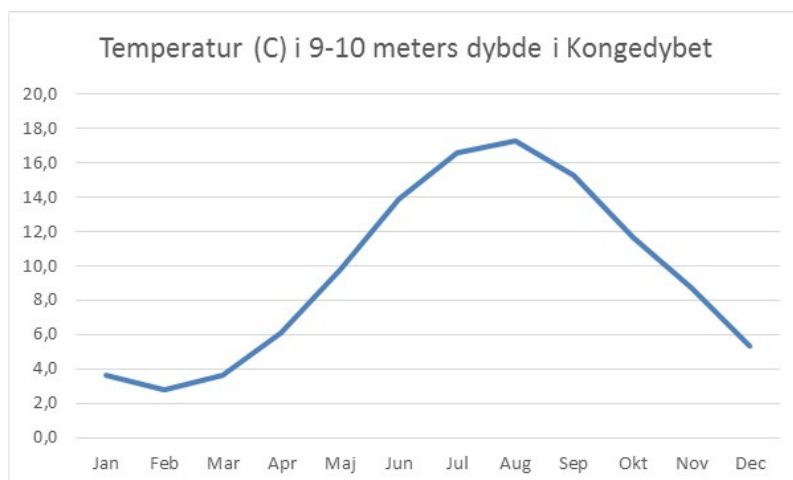


Figur: Søkort over Kongedybet og Hollænderdybet (indrammede områder har en dybde på ca. 11 meter). Imellem disse to dyb ligger Middelgrunden. Mulige placeringer af havvandsvarmepumper ved Kongedybet, markeret med stjerner (Nordhavn, Refshaleøen, Kraftværkshalvøen og Prøvestenen), jf. teksten sidst i dette afsnit.



Figur: DMI's model af bund-topografien i det sydlige Øresund, og positionen for de fire tværsnit, hvor DMI modellerede temperaturer og strømningsforhold. Kongedybet og Hollænderdybet er markeret med Kd og Hd. Tværsnit 2 blev analyseret i størst detalje.

Ifølge DMI rapporten varierer temperaturen i 9-10 meters dybde i Kongedybet ud for Refshaleøen som vist



Figur: Havvandstemperatur 2007-2016 (årgennemsnit 9,6 °C)

Under antagelse af:

- Vi udvinder varme fra alt vand, der strømmer igennem et tværsnit i Kongedybet som er 1 meter højt (i 9-10 meters havdybde) og 600 meter bredt (Kongedybets bredde i denne dybde).
- Vandhastigheden i dette tværsnit er 0,078 m/s, enten nord- eller sydgående
- Vandet afkøles med et maks. delta-T på 4 °C, dog ikke længere ned end til +0,5 °C.
- Varmepumpens carnot-virkningsgrad¹ er 60 %.
- Fjernvarmens fremløbstemperatur er 70 °C om vinteren og 60 °C om sommeren.

Dette giver en minimum system-COP i februar på 3,04 og maksimum 4,76 i august, og varmepumpen vil kunne levere følgende varmeydelser (MJ/s):

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Max varmeindtag, MJ/s	485	257	482	1100	1820	2612	3146	3289	2890	2178	1608	949
Varmeproduktion, MJ/s	716	381	712	1594	2500	3396	4019	4182	3723	2955	2290	1383

Den kritiske måned er således februar. Minimum havvandstemperaturer forekommer normalt senere end minimum lufttemperatur.

Det giver selvsagt ikke mening at installere varmepumper i overensstemmelse med potentialet om sommeren. Tallene er primært vist for at illustrere betydningen af, at temperaturerne i havvandet og fjernvarmen er ude af fase.

I månederne november-februar er overfladetemperaturen ca. 1 °C lavere end temperaturen i 9-10 meters dybde, i marts kun 0,6 °C lavere. Til gengæld er strømningshastighederne i overfladen betydeligt højere end i 9-10 meters dybde. Det kan derfor tænkes, at det kan give bedre økonomi at indvinde overfladevand end dybt vand, men dette kræver en detaljeret analyse, som vi endnu ikke har data til.

¹ Carnots formel for den maksimale varmepumpeeffektivitet: $\text{Varmepumpningseffektivitet}(\%) = 100 / (1 - T_{\text{kold}} / T_{\text{varm}})$. T skal indsættes i Kelvin (=Celsius+273,15).

Antages indvindingsrør på 1 meter i diameter og et max. flow på 2 m/s, vil ét rør kunne hente ca. 30 MJ/s. Udlægges systemet eksempelvis i forhold til potentialet i marts måned (480 MJ/s fra havvandet), skal der således bruges 16 rør til indvinding, plus formentlig et tilsvarende antal til tilbageledning. Hvordan indtag og tilbageførsel skal indrettes ude i Kongedybet, har vi endnu ikke studeret.

Med højere fjernvarme fremløbstemperaturer (90 °C om vinteren og 65 °C om sommeren) ændres ovenstående tabel til:

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Max varmeindtag, MJ/s	485	257	482	1100	1820	2612	3146	3289	2890	2178	1608	949
Varmeproduktion, MJ/s	739	384	735	1757	3673	7749	10037	10704	8901	4571	2703	1494

Af tabellen fremgår det, at varmeydelsen øges, hvilket skyldes at afkølingen holdes konstant, så der skal tilføres mere el for at kunne levere den højere fremløbstemperatur, og en øget el-tilførsel medfører så en højere varmeydelse, selv om COPen reduceres.

Skal der indvindes havvand længere væk fra byen, vil Hollænderdybet (mellem Middelgrund og Saltholm) være mest oplagt. Det er et område på godt 7 km², der ligger 5-6 km fra kysten. Vandet her er dybere og dermed varmere på bunden om vinteren. Grundet afstanden til kysten og det forhold, at det vil være nødvendigt som første skridt at få indhøstet erfaringer på grundlag af mere kystnære ressourcer, er denne ressource ikke medtaget i det teknisk realiserbare effektpotentiale.

En vigtig begrænsende faktor er afstand til fjernvarmenettet. I forhold til Kongedybet gælder følgende (i rækkefølge fra syd mod nord; markeret med stjerner på ovenstående kort):

- A. Prøvestenen: Der er ingen fjernvarme på selve Prøvestenen. Den nordligste del kaldes også Benzinøen eller Vådbulken, men den sydligste del benyttes til affaldssortering samt lagring og håndtering af sand og grus, kaldt Tørbulken. Syd for Tørbulken og HOFORs vindmøller er et pænt stort ledigt areal. Der ligger en fjernvarmeledning (610 mm²) på Raffinaderivej, ca. 1,9 km fra Kongedybet.
- B. Kraftværkshalvøen: Fjernvarmen ligger meget tæt på, men grundet al den øvrige produktion kan der bliver udfordringer med indelukket kapacitet. Hvis en kraftværksblok ikke bliver erstattet efter dens levetid, vil dette frigøre plads i nettet
- C. Refshaleøen: En stor del af det kystnære areal er optaget af Lynetten. Hvis man lægger en varmepumpe i det sydøstligste hjørne (der er en del grønne/ledige arealer), vil der være ca. 0,7 km til fjernvarmeledningen (320 mm) på Refshaleøen.
- D. Nordhavn: Århusgade kvarteret og Sundmolen ligger noget væk fra dybt vand, mens Østre Levantkaj og det nordligste Nordhavn ligger meget tættere på. Derfor er det umiddelbart mest oplagt at interessere sig for Østre Levantkaj. Her skal anskaffes areal, hvis det overhovedet er muligt (konkurrence med liebhaver lejligheder helt ud til Øresund; der er dog ikke behov for den alleryderste

² En ledning på 600 mm med et flow på 3 m/s og et delta-T på 30 °C kan transportere 110 MJ/s.

grund). Skønnet arealbehov: 1300 m² til et anlæg med en ydelse på 50 MJ/s³. Det samlede varmebehov i et fuldt udbygget Nordhavn skønnes at være 15-20 MJ/s.

Det vil kræve omfattende analyser at nå frem til et troværdigt bud på det samlede effektpotentiale fra varmepumper på disse fire halvøer, blandt andet fordi det afhænger meget af, hvordan den øvrige varmeforsyning udvikler sig. På grundlag af ovenstående tabeller, er effektpotentialet sat til 420 MJ/s frem mod 2050. Inden for en tidshorisont på omkring 20 år, skønnes det urealistisk at få installeret mere end 60-80 MJ/s.

I Køge Havn kan en varmepumpe blive nabo til Køge Kraftvarmeværk eller på den længere bane måske erstatte KKV. Der vurderes at være tilstrækkelige arealer i området til en varmepumpe. VEKS har på dette grundlag udarbejdet en business case på en 20 MJ/s varmepumpe. Køge Bugt har overvejende lavt vand og lave strømningshastigheder, bortset fra sejlrenden, der er 10-12 meter dyb. Særlige krav til etablering af tekniske anlæg i sejlrenden bør undersøges. Effektpotentialet er derfor ikke sat højere end de 20 MJ/s. Ørsted har gennemført en analyse, der peger på muligheden for at etablere en havvandsvarmepumpe på 100 MJ/s på Avedøreværket bl.a. ud fra erfaringer med drift af kølevandskanalen på værket. Derfor er der på trods af det lavvandede område omkring værket antaget yderligere 100 MJ/s i VEKS' område.

Tilsvarende er der forholdsvis langt til dybt vand fra Gentofte. Der er derfor ikke medtaget effektpotentiale for denne kyststrækning og placeringer af tekniske anlæg i et område med høje ejendomspriser er heller ikke oplagt.

4.2. Samlet vurdering af effektpotentialet for havvand

Nedenstående skøn er baseret på eksisterende teknologier. I Aarhus Havn er man i færd med at teste en ny teknologi, hvor havvandet efter nedkøling til frysepunktet fryses til en pumpbar blanding af omkring 15 % iskrystaller og resten vand (populært kaldet slush ice). Herved kan der tages 3-4 gange så meget varme ud af havvandet. Det er endnu for tidligt at vurdere, hvor velegnet teknologien er i større skala, og problemstillingen med opbevaring af store mængder is eller slush ice i et havneområde, er så vidt vides stadig ikke løst.

	CTR	VEKS	HOFOR
2035 Havvand (MJ/s)	0	20	60
2050 Havvand (MJ/s)	0	120	320

Tabel: Effektpotentiale fordelt på CTR, HOFOR og VEKS' forsyningsområder

³ En grund på 1300 m² i dette område koster skønsmæssigt 12 mio. kr.

5. Effektpotentiale for rensed spildevand

I dette afsnit om udnyttelse af rensed spildevand som varmekilde behandles effektpotentialet med fokus på renseanlæg og pumpestationer i København som punktkilder, der pga. stort flow og energiindhold i spildevandskamre og udløb, gør det muligt at udnytte storskalafordele, hvilket er nødvendigt for at få økonomi i store varmepumper. Derudover er arealerne ved disse anlæg i forvejen udlagt til tekniske formål.

5.1. Afgrænsning

Det er med hjælp fra BIOFOS blevet afklaret, at udnyttelse af urensed spildevand ikke er relevant, da effektiviteten af den biologiske renseproces på renseanlæggene er meget afhængig af temperaturen på det indkommende spildevand, især på den koldeste tid af året. Med koldere råspildevand reduceres behandlingskapaciteten på renseanlæggene, som i forvejen er udfordret i overløbssituationer med meget nedbør. Konkret vil bare 1-2 graders lavere temperatur på det urensede spildevand, dels betyde at elforbruget og kemikalieforbruget til rensning øges, og desuden at mængden af overløb (spildevand, der urensed sendes til recipient) vil øges med ca. 25% i januar og februar, hvor rensebehovet er størst. Det falder sammen med, at varmebehovet er stort i denne periode, og at det ikke ville give mening at standse et varmepumpeanlæg i netop disse måneder. For at øge behandlingskapaciteten på renseanlæggene, skulle der foretages investeringer i udvidelser af, som ville betyde koordinering med BIOFOS' investeringsplaner og evt. økonomisk kompensation. I de følgende afsnit henvises således udelukkende til rensed spildevand.

Selv om det er teknisk muligt at slutte en varmepumpe på en spildevandsledning også, er det mest nærliggende at starte med andre større punktkilder, som renseanlæg og pumpestationer, hvor store mængder spildevand, transporteres igennem og dermed giver mulighed for storskala fordele og i forvejen er placeret på grunde til tekniske formål. Derudover er spildevandet i ledningerne oftest urensed, hvilket kræver andre rensemetoder, og samtidig skal det sikres at spildevandet optager tilstrækkelig varme fra jorden, inden det når renseanlæggene, så der ikke skal tilføres mere energi i den anden ende af hensyn til den biologiske renseproces. Udnyttelse af energi fra spildevandsledninger kunne dog være relevant at undersøge som alternativ til at lægge nye fjernvarmeledninger for at øge netkapaciteten i mindre fjernvarmedistributionsnet.

Der blev i 2014 gennemført en screening, hvor BIOFOS, COWI og HOFOR besøgte de tre, store renseanlæg i Hovedstadsområdet: Lynetten, Damhusåen og Avedøre renseanlæg. Derudover er effektpotentialet i spildevand på Tårnby, Køge, Roskilde og Mosede renseanlæg blevet undersøgt inden for CTR og VEKS' forsyningsområder. Effektpotentialet for de respektive renseanlæg præsenteres i de følgende afsnit.

5.2. Temperatur- og energiforhold

Til illustration vises her et simpelt regnestykke, hvor der ses bort fra sekundært energiforbrug (til bl.a. pumper) og varmetab.

Afkøles et spildevandsflow på 500 m³/time fra 10 °C til 4 °C, vil der bliver overført 3,49 MJ/s fra spildevandet. Med fjernvarme fremløbs- og returtemperaturer på 80 og 50 °C, vil varmepumpens COP blive 3,02 (med antaget virkningsgrad på 65 %). Dermed bliver fjernvarmeleverancen 5,21 MJ/s og elforbruget 1,72 MW.

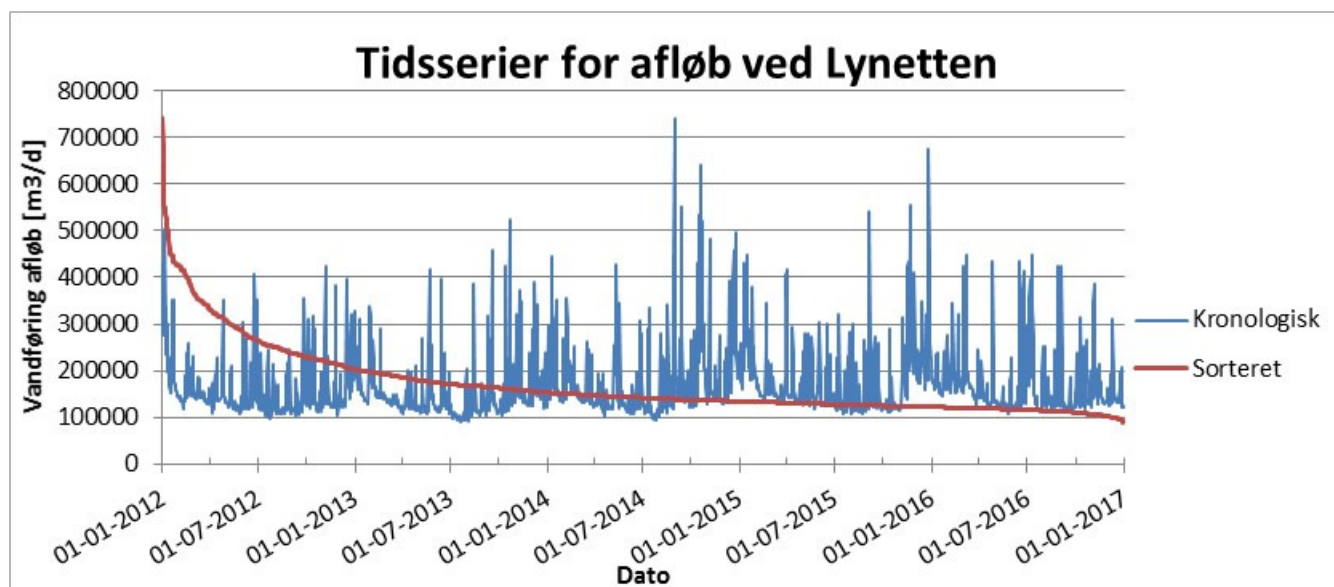
Ændres konceptet, således at samme flow afkøles fra 10 °C til 2 °C, vil der bliver overført 4,65 MJ/s fra spildevandet. COP bliver 2,94, mens fjernvarmeleverancen bliver 7,04 MJ/s og elforbruget 2,39 MW.

Overordnet set, øges fjernvarmen med 1,83 MJ/s (35 %) og el-forbruget med 0,67 MW (39 %). Dette betyder, at der vil være en økonomisk optimal afkøling. Beregning heraf kræver, at alle forhold tages i betragtning. Denne beregning, kan bl.a. være relevant hvis varmepumpen operer i forhold til elmarkedet. Men en sådan beregning er forholdsvis omfattende og er ikke medtaget i dette studie. I denne rapport er det derfor antaget, at spildevandet afkøles til 4 °C, hvilket giver en afkøling på omkring 6 °C.

Med en antagelse om en større afkøling, ville effektpotentialerne for spildevand altså øges og til gengæld vil COP blive reduceret, hvilket kan påvirke antallet af driftstimer og driftsøkonomien. Så det er en afvejning af om varmets værdi er høj i den pågældende del af nettet, og det dermed giver mening at øge varmeproduktionen på bekostning af COP og måske vil det også betyde at det nødvendige flow for max. kapaciteten ikke er til rådighed i samme grad. Det bør i den forbindelse tages med i betragtningen, at potentialevurderingerne for de konkrete renselanlæg i de fleste tilfælde er baseret på døgnmidlede flow, og dermed ikke tager højde for døgnvariationer, da data ikke har været tilgængelige, hvilket kan have stor betydning for optimal anlægsdimensionering og potentialeudnyttelse.

5.2. Effektpotentiale på Lynetten renselanlæg

Datagrundlaget for beregningen af det tekniske potentiale for Lynetten er leveret af BIOFOS og dækker data på døgnbasis for 2012-2016. Flowvariationer over året fremgår af figuren nedenfor.



Som følge af varierende flow over året på grund af især varierende regnmængder, er den tekniske effekt til rådighed også varierende. Ud fra det gennemsnitlige minimumflow over året vil der kunne etableres 28 MJ/s varmeproduktion med en spildevandsvarmepumpe på Lynetten. Hvis det på investeringstidspunktet

vurderes at varmens værdi tilsiger det, kan kapaciteten øges til f.eks. 30 MJ/s, men så vil flowmængderne kun kunne understøtte den fulde kapacitet ca. 90% af tiden.

Lynetten har således det største tekniske potentiale (størst flow/energiindhold over året) i Hovedstadsområdet, men er udfordret af pladsmangel til tekniske anlæg, fordi behovet for nye anlæg f.eks. pga. nye renskrav kan betyde, at BIOFOS selv ønsker at reservere de ledige arealer og generelt foretrækker kortvarige lejeaftaler, hvilket ikke harmonerer med tekniske levetider på 30 år.

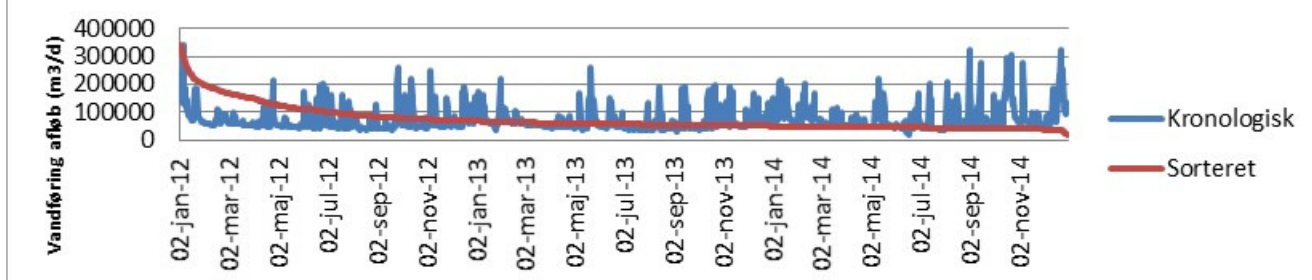
Derudover er der mulige fremtidsplaner om at flytte renskapaciteten på Lynetten et andet sted hen som følge af de nye skitseplaner for Lynetteholmen og/eller i forbindelse med et større udvidelsesprojekt af Avedøre holme, hvor renskapaciteten på Avedøre rensanlæg kunne udvides.

Ved Lynetten er det desuden relevant at være opmærksom på, at ved etablering af en storskala varmepumpe, kræver udskiftning af den eksisterende fjernvarmetilslutning til nettet, som ellers ikke vil have tilstrækkelig kapacitet til at transportere varmen. Til gengæld skal ledningen under alle omstændigheder, så omkostningen ville ikke kun tilfalde varmepumpeprojektet, men det forudsætter at renovering og etablering af varmepumpeanlæg kan koordineres.

5.3. Effektpotentiale på Damhusåens rensanlæg, Sjællandsbroens pumpestation og Kløvermarkens pumpestation

Det vurderes, at etablering af en stor varmepumpe ved Damhusåens rensanlæg ikke er hensigtsmæssig, dels pga. meget begrænsede pladsforhold til nye tekniske anlæg, og dels pga. lang afstand (ca. 1,4 km) til et større fjernvarmenet, der kan aftage ≥ 5 MJ/s. Til gengæld ledes det rensede spildevand fra Damhusåen, forbi to pumpestationer inden det ledes ud i Øresund. Sjællandsbroen og Kløvermarkens pumpestationer er begge ejet af HOFOR Spildevand A/S og har pladsforhold, som muliggør etablering af en stor varmepumpe et af stederne på omkring 10 MJ/s. Der vil være mulighed for at etablere op til omkring 13 MJ/s, hvis det på anlægstidspunktet vurderes økonomisk, selv om varmepumpen i enkelte situationer vil begrænses af spildevandsflowet og dermed kun vil kunne levere de ca. 10 MJ/s. Derudover er der kortere afstand (0,2-0,8 km) til et fjernvarmenet, der kan aftage varmen, hvilket betyder meget for økonomien i projektet. Det skal dog bemærkes, at det ikke vurderes at kunne betale sig at udnytte energien i spildevandet begge steder, da de to pumpestationer ligger på samme streng med få kilometers afstand, hvilket vil betyde, at temperaturen på spildevandet bliver så lav, når det køles anden gang, at det reducerer COP'en markant) og er derfor ikke regnet med i det teknisk realiserbare potentiale.

Tidsserier for afløb ved Sjællandsbroen pst.



CTR, HOFOR og VEKS er ved at etablere en demo-varmepumpe, på Sjællandsbroens pumpestation, som udnytter de første 5 MJ/s i regi af den demonstrationsvarmepumpe, der er etableret i forbindelse med SVAF projektet.

5.4. Effektpotentiale spildevand på Avedøre renselanlæg

Avedøre Renselanlæg blev i første omgang ikke vurderet som en relevant placering, pga. dets placering langt fra et større fjernvarmenet, der ville kunne aftage effekten. Men inden for 5-10 år forventes det eksisterende højtemperaturnet (130 °C fremløb), som ejes af en række grundejere, at blive omlagt til et almindeligt distributionsnet med fremløbstemperaturer, der egner sig til produktion med varmepumper. Samtidig forventes udvidelsen af Avedøreholme at øge afsætningsmulighederne for effekten fra en spildevandsvarmepumpe. Potentialet på Avedøre renselanlæg er baseret på en overslagsvurdering af rensekapaciteten (opgjort som udløbsflow m³/år) svarerende til ca. halvdelen af kapaciteten på Lynetten.

Pladsforholdene vurderes tilstrækkelige til at etablere en stor varmepumpe.

5.5. Effektpotentiale for Tårnby renselanlæg

Projekt om etablering og idriftsættelse af en spildevandsvarmepumpe ved Tårnby renselanlæg pågår i løbet af 2019 med en varmeydelse på 6,1 MW og en køleydelse på op til 4,3 MW max kapacitet, når anlægget er helt udbygget. Anlægget anvender spildevand til både køling og varmeproduktion med en akkumulerings tank til køleanlægget, og etableres i forbindelse med et større nyt erhvervsbyggeri.

5.6 Effektpotentiale for Køge Renselanlæg

Der er modtaget oplysninger om daglige spildevandsmængder på Køge renselanlæg i årene 2015 og 2016.

Der er som for øvrige beregninger regnet med en afkøling på 6^o C ved udløb. Før der besluttet et projekt på Køge renselanlæg, skal der gennemføres målinger der verificerer hvilken afkøling der kan regnes med, idet der er indikationer af at en højere afkøling kan benyttes.

Som det fremgår af nedenstående skema, er den maksimale effekt fra en varmepumpe på Køge renseanlæg 3,3 MJ/s såfremt man ønsker at kapaciteten skal være til rådighed 99% af tiden. Såfremt rådigheden kan sænkes til 70 % kan maksimaleffekten øges til 5 MJ/s. Afstanden til nærmeste distributionsledninger er ca. 1 km.

Udnyttelsesgrad%	Vandmængde m ³ /h	Effekt fra spildevand MW	Effekt fra VP MW	COP
99%	354	2,5	3,3	3,2
85%	421	2,9	3,9	3,2
70%	527	3,7	5	3,2

5.7 Effektpotentiale for Mosede renseanlæg

Størrelsen af renseanlægget i Mosede er en anelse mindre end Køge, og det registrerede flow i 2015 og 2016 er vist i tabellen.

Udnyttelses %	Vandmængde m ³ /h	Effekt fra spildevand MW	Effekt fra VP MW	COP
99%	266	1,9	2,4	3,2
85%	316	2,2	2,9	3,2
70%	395	2,8	3,7	3,2

Med de samme beregningsforudsætninger som i Køge, kan der ved Mosede renseanlæg opnås en maksimaleffekt på 2,4 MJ/s ved 99% rådighed og 3,7 MJ/s ved 70% rådighed. Afstanden til nærmeste distributionsledning er ca. 0,5 km, men det er et net med et maksimal effektbehov på 3,5 MJ/s.

5.8 Effektpotentiale for Roskilde renseanlæg

Der er ikke indhentet specifikke målinger fra Roskilde renseanlæg, men FORS er ved at etablere en spildevandsvarmepumpe med en kapacitet på 8 MJ/s.

5.10 Udfordringer og erfaringer med udnyttelse af rensed spildevand

Selv om spildevandet er rensed, findes der overraskende nok flere aktive bakterier i rensed end i urensed spildevand. Udfordringen med at bruge rensed spildevand som varmekilde, er at bakterierne danner en biofilm, der sætter sig i veksleren og kan nødvendiggøre jævnlig vedligehold for at varmeoverførslen og COPen ikke reduceres. I Frederikshavn etablerede DONG en spildevandsvarmepumpe, som havde store problemer med driften bl.a. pga. biofilm i veksleren, som krævede hyppig rensning af veksleren. Projektet

endte med at blive stoppet, og høje driftsomkostninger blev angivet som en af hovedårsagerne.

I Sverige findes adskillige store spildevandsvarmepumper, som fungerer uden problemer, hvilket skyldes at der anvendes rørvekslere, som er en velafprøvet teknologi til formålet, fordi de lukkede vekslersystemer giver mulighed for konstant rensning, mens anlægget er i drift. Alligevel kan det give mening at afprøve pladevekslere også til spildevand. Det skyldes, at pladevarmevekslere, forudsat de kan driftes fornuftigt, er billigere og mere energieffektive end rørvekslere. Derudover optager de også mindre plads, så der spares m². Men som nævnt forudsætter det at der opnås driftserfaringer og omkostningseffektive rensningsløsninger til pladevekslere også. Driftserfaringerne og dokumentationen heraf, er indtil videre meget sparsomme, og det er yderligere nødvendigt at gøre sig lokalt, da variationer i spildevandskvalitet og temperatur også spiller ind i forhold til drift af veksleren.

5.11. Samlet vurdering af effektpotentiale for rensset spildevand

Det samlede effektpotentiale for spildevand (MJ/s) i CTR, HOFOR og VEKS' forsyningsområder vurderes at være på omkring 60 MJ/s jf. oversigt nedenfor. For alle renselanlæg er der regnet med en afkøling på 6 °C

Nedenfor fremgår en oversigt over det samlede effektpotentiale i MJ/s for rensset spildevand i Hovedstadsområdet, som samlet set vurderes til 62 MJ/s. det vurderes at potentiale er til rådighed i 2035 og ikke vil ændres væsentligt frem mod 2050:

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

Tabel: Oversigt effektpotentiale for spildevand forventet realiseret frem mod 2035.

Som nævnt kan effektpotentialet fra spildevand øges ved valg af en højere afkøling (her anvendt 6 °C), hvis dette vurderes rentabelt på trods af en lavere COP. Samtidig bør der tages højde for døgnvariationer, som ikke har været tilgængelige for denne analyse, og kan betyde at muligheden for at udnytte det øgede potentiale reduceres pga. flowbegrænsninger over døgnet.

6. Effektpotentiale for drikkevand

Potentialet for at trække varme ud af drikkevand har været vurderet nogle gange de senere år:

- Potentialet for hele Danmark blev i 2013 vurderet til 265 MJ/s (PlanEnergi, 2013).
- To forskellige studier har vurderet potentialet i Storkøbenhavn til henholdsvis 13 MJ/s (Paaske, 2013) og 9 MJ/s (Bach, 2014).
- Senest har Helga Hubeck-Graudal analyseret det københavnske potentiale til 30 MJ/s i et samarbejde med HOFOR's Plan VS og Plan FBK (Hubeck-Graudal, 2015).

Beskrivelsen i nærværende rapport bygger på sidstnævnte studie, som fokuserer på effektpotentialer inden for Københavns Kommune. Derudover udvides vurderingen til også at dække potentialet for drikkevandsforsyningen inden for CTR og VEKS' fjernvarmeområder.

Der ses på tre forskellige typer tilslutningssteder: Vandværker, tryklagre og hovedledninger. Nærhed til et fjernvarmenet er afgørende for om disse tilslutningssteder, kan anvendes som varmekilder for varmepumper. Dernæst er det vurderet, hvor store effektpotentialer de dækker over på baggrund af flow og temperaturer.

Et andet væsentligt spørgsmål er, om der er tilgængelige arealer nær varmekilden, hvor der er plads til etablering af en varmepumpe. Det kræver kortlægning af de enkelte lokationer efter de er blevet prioriteret i forhold til, hvilke, der ligger inden for en rimelig afstand til fjernvarmenettet. Dette er kun undersøgt i begrænset omfang og derfor afviges lidt fra definitionen af at det teknisk realiserbare potentiale også indeholder en vurdering af om der er anvendelige byggearealer.

Drikkevandstemperaturen hos slutbrugerne bør ikke være under 4 °C eller over 12 °C. Afkøles vandet i en stor drikkevandsledning til fx 4 °C, vil vandet efterfølgende optage varme fra den omkringliggende jord, inden det når frem til slutbrugerne. Typisk vil man kunne antage, at halvdelen af nedkølingen genoprettes.

Det vil næppe være acceptabelt at have drikkevand og et kølemiddel på hver sin side af en varmepumpes fordampere, hvorfor det vil være nødvendigt at indsætte en vandkreds mellem varmepumpen og drikkevandet. Dermed indføres et ekstra temperaturtab på et par grader mellem drikkevandet og kølemidlet, og dermed en reduceret COP sammenlignet med en varmepumpe uden mellemkreds. Dette forhold er medtaget i rapportens overslagsmæssige beregninger.

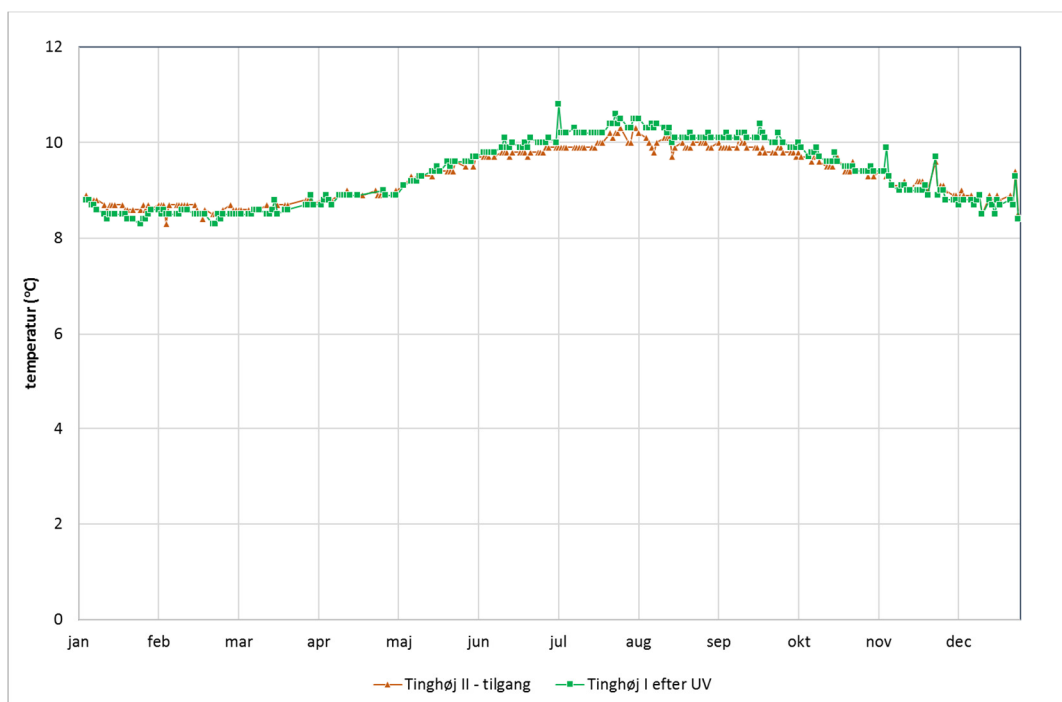
6.1. Potentialet for varmepumper ved vandværker

HOFOR indvinder ca. 50 mio. m³ grundvand pr. år fra 14 vandværker. Leverancerne på de 7 mindste værker er under 30 liter/sek og derfor ikke vurderet relevante. Derudover ligger de som regel for langt fra fjernvarmenettet. Udpumpningen på de 7 største værker er i størrelsesordenen 100-375 l/s og drikkevandsnettet fordeler sig ud over både CTR, HOFOR og VEKS' forsyningsområder.

6.2. Effektpotentialer for en varmepumpe ved Tinghøj reservoiret

Der findes et stort tryklager i Tinghøj, Gladsaxe (Tinghøj reservoiret) inden for CTRs forsyningsområde, som består af en række store tanke, der sikrer trykket i vandnettet i en del af København. Varmepumpen antages koblet på tilgangen til lageret, hvor der er konstant flow fra vandværkerne over hele døgnet.

De målte temperaturer i Tingshøj reservoiret varierer mellem 8,3 og 10,8, med de laveste temperaturer målt i januar og februar og de højeste målt i juli måned. Figur viser årsvariationen i temperatur for hhv. indløb og udløb til Tingshøj. I årets kolde måneder ses det, at temperaturen falder, mens vandet opholder sig i reservoiret, mens den stiger i de varmeste måneder.



Figur: Temperatur i indløb til Tingshøj reservoiret (Ting II – Tilgang) og i udløbet fra Tingshøj (Tingshøj I efter UV behandling som forebyggelse mod bakterievækst) målt i 2016.

Lageret får primært vand fra værkerne ved Slangerup og Søndersø, der sammenlagt producerer omkring 660 l/s. Herfra leveres der i gennemsnit 100 l/s til Herlev og Ballerup inden vandet pumpes ind til Tingshøj og tilgangen til Tingshøj reservoiret vil derfor være omkring 450-550 l/s. Idet produktionen på værkerne tilstræbes at holdes konstant i løbet af døgnet, vil tilgangen til Tingshøj også være relativt jævn. Dog kan leveringen til Ballerup og Herlev svinge i løbet af døgnet, men der findes ingen oplysninger om døgnvariation på disse leveringer.

Køles hele tilgangen på 550 liter/sek med 5 °C af en varmepumpe med COP 2,9 (inkl. tab til ekstra vekslerkreds af hensyn til drikkevandssikkerhed), vil der i gennemsnit, kunne leveres 15 MJ/s til fjernvarmen.

Tingshøj ligger i nærheden af en større fjernvarmeledning i Gladsaxe kommune, som vil kunne aftage ovennævnte effekt.

Der er rimelige pladsforhold ved Tingshøj reservoiret til etablering af en varmepumpe der optager et areal på omkring 500 m². Der skal dog tages højde for bevaringsværdige klausuler på grunden, men det vurderes at være muligt at opsætte en varmepumpe.

6.3. Effektpotentiale for varmepumper tilsluttet drikkevandsledninger

Ledningsnettet for drikkevand består af 4 typer ledninger:

- Transport-ledninger (diameter 650 – 1250 mm), der transporter vand fra kildepladserne til udkanten af byen plus Tinghøj reservoiret. I alt 126 km.
- Hovedledninger (diameter 300 – 1200 mm) inde i byen. I alt 157 km.
- Distributionsledninger (diameter 50 – 290 mm). I alt 787 km.
- Stikledninger, der forbinder kunderne til distributionsledningerne. I alt 187 km.

Ledningerne er mange steder forbundne, hvilket medfører, at strømmingen i en enkelt hovedledning eller distributionsledning kan skifte retning flere gange på et døgn, især om natten, hvilket vil betyde at der ikke tilgår varmepumpen noget flow i denne periode, hvilket udelukker en del placeringer. Dette kan skabe udfordringer for varmeudnyttelse, og det er derfor nødvendigt at have en præcis model af hydraulikken i det net, hvorfra der ønskes udtaget varme. Generelt er det især relevant at se på hovedledninger med et stort flow.

Drikkevandspotentiale i HOFOR's forsyningsområde

I sit DTU speciale udviklede Helga Hubeck-Graudal en varmetransmissionsmodel for vandnettet med fokus på hovedledningerne inden for Københavns Kommune. Modellen er baseret på HOFOR's hydrauliske model.

Til afgrænsning af et realistisk potentiale blev anvendt følgende kriterier:

- Vandhastighed større end 50 liter/sek, svarende til et varmeoptag på ca. 1 MJ/s.
- Afstand mellem vandledning og fjernvarmeledning mindre end 100 meter.
- Ledigt areal til varmepumpen på mindst 100 m² pr. MJ/s

Derudover blev der taget hensyn til variationer i vandhastigheden, temperaturen i fjernvarmeledningerne og adgangsforhold (særligt behovet for trafikoplægning ved anlægsarbejde).

På dette grundlag blev der i specialet identificeret nogle mulige tilslutningspunkter, som i denne rapport er blevet reduceret til 7 placeringer på baggrund af en overordnet vurdering af pladsforhold samt nærhed til fjernvarme og drikkevandsnet. Det teknisk, realiserbare potentiale for disse tilslutningspunkter vurderes samlet til at være ca. 55 MJ/s.

Temperaturen for grundvand er typisk 8 – 12 °C, mens det i ledningsnettet helt ude ved forbrugerne, allersidst på ledningen, er mere påvirket af årstiden og derfor kan ligge mellem 6 og 18 °C.

Kunderne bør ikke modtage vand koldere end 4 °C. Modelberegningerne viste, at dette vil kunne respekteres, hvis vandet nedkøles med omkring 5 °C.

Når vandet i ledningerne er koldere end omgivelserne, vil der overføres varme til vandet. Denne varmetransport er primært afhængig af varmeledningsevnen i jorden. Varmeledningsevnen i rør og vand er stort set uden betydning.

Omtrent halvdelen af den varme, som varmepumperne trækker ud af vandet, leveres tilbage fra jorden omkring ledningerne inden vandet når forbrugerne. Sagt på en anden måde, reduceres temperaturen hos kunderne med i gennemsnit 2,5 °C. Dermed vil energiforbruget hos kunderne stige. I en typisk dansk husholdning anvendes 46 % af vandet som varmt brugsvand, mens 30 % opvarmes af elektricitet (vaskemaskine, opvaskemaskine, komfur m.m.). De tilsvarende andele for erhverv er 10 % og 40 %.

På dette grundlag kan det øgede energiforbrugs betydning for varmepumpernes COP opgøres til at svare til en reduktion af COP med ca. 30%.

Det samlede effektpotentiale i Københavns Kommune kan således opgøres til omkring 55 MJ/s i forhold til den kapacitet der kan leveres til fjernvarmenettet, men da varmemeforbruget hos kunderne øges med knap 8 MJ/s, svarer nettoberegningen til en effekt på 46 MJ/s, som viser at det koster systemet ekstra energi at genopvarme drikkevandet til varme brugsvandsformål.

6.4 Regulatoriske forhold og drikkevandssikkerhed

Den mest optimale løsning ville af hensyn til drikkevandssikkerheden være at bruge CO₂ som kølemiddel. Imidlertid passer CO₂ dårligt til fjernvarmens returtemperatur, da den i givet fald ikke bør være over omkring 40 °C, da returen i Københavns Kommune er omkring 50-55 °C. For at kunne anvende mere egnede kølemidler som f.eks. ammoniak, vil det derfor formentlig være nødvendigt at indføre en ekstra kreds imellem drikkevandet og varmepumpen. Ulempen herved er, at den ekstra kreds medfører et varmetab samt ekstra investeringsomkostninger, som også skal indregnes i business casen. Det har dog ikke været muligt at finde datareferencer for overslag.

Materialer, der kommer i berøring med drikkevandet, skal være godkendt til dette formål og designløsningen skal generelt godkendes af det lokale vandforsyningselskab.

Erfaringer med udvinding af varme fra drikkevand i dag findes kun ét sted i Danmark hos Morsø Forsyning, der udvinder varme fra en vandbeholder.

6.5. Samlet vurdering af effektpotentiale for drikkevand

Screeningen af effektpotentialet i drikkevand har vist, at det vil være muligt i Hovedstadsområdet at udnytte varmen fra denne kilde. Potentialekortlægningen er afgrænset til vandværker, store drikkevandsledninger samt tryklagre. Pga. den stabile temperatur over året, vurderes drikkevand som en af de potentielt rentable varmekilder, der udnyttes fuldt ud frem mod 2035, og derfor antages ingen videre udvikling frem mod 2050.

Tabellen nedenfor beskriver de kortlagte effektpotentiale/drikkevandsvarmepumpe projekter.

Forsyningsområder	Vandværk/ hovedledning	Mængde (l/s)	Middel- temperatur (min-max)	MJ/s (Brutto)	MJ/s (Netto)
CTR	Tinghøj tryklager	550	(9-11)	18	16
	Frederiksberg vandværk	NA	(9-11)	NA	6
	Gentofte vandværk	111	(9-11)	3,6	3,2
	Tårnby vandværk	24	(9,5-11,5)	0,8	0,7
VEKS	Lejre (ledning)	190	9,3 (7,3- 10,1)	6,3	5,5
HOFOR	Kbh. (ledning)	Varierer	(9-11)	39	35
Potentiale i alt				68	66

Tabel: Kortlagte placeringer og potentiale i CTR, HOFOR og VEKS' forsyningsområder

I CTRs forsyningsområde, er mulige placeringer ved vandværker for Frederiksberg, Tårnby og Gentofte (Ermelunden) medtaget. På Frederiksberg er en drikkevandsvarmepumpe under etablering. Dertil kommer Tinghøj tryklageret, som er den eneste af de øvrige placeringer, hvor det er bekræftet, at der er tilstrækkelige arealer til at placere et varmepumpeanlæg.

I VEKS' område er der fundet, hvad der kunne kaldes for et interesseområde nær Lejre vandværk. Værket ligger for langt fra fjernvarmenettet, men hovedledninger i området har tilstrækkeligt flow over hele døgnet. Varmepumper på hovedledningen har en vandhastighed på ca. 190 liter/sek. Svarende til omkring 5 MJ/s, og er derfor pga. den mulige storskalafordele fundet interessant, selv om det ville forudsætte en udbygning af fjernvarmenettet, sker der byudvikling i området, som med tiden kunne gøre det aktuelt.

De øvrige vandværker i VEKS' område er fravalgt, enten fordi de ligger for langt fra fjernvarmenettet eller fordi der ikke er flow i den pågældende hovedledning om natten.

I HOFORs forsyningsområde er der især fundet en relevant placering nær HC Ørstedsværket med nærhed til både hovedledning for vandnettet og for fjernvarmedistributionsnettet. Derudover er der en række muligheder for placering af mindre anlæg på arealer nær genbrugspladser eller boligområder, som også indgår i opgørelsen af det realiserbare potentiale i Københavns Kommune, fordi de dels er over minimumskriteriet 0,5 MJ/s og derudover er pladsforholdene vurderet gunstige baseret på kortstudier og besøg.

	CTR	HOFOR	VEKS
2035 Drikkevand (MJ/s)	25	35	5
2050 Drikkevand (MJ/s)	25	35	5

Tabel: Effektpotentiale fra drikkevand i CTR, HOFOR og VEKS' forsyningsområder

7. Effektpotentiale for grundvand

I vurderingen af effektpotentialet for grundvand ses udelukkende på grundvand udvundet separat fra drikkevandssystemet. Dels i forbindelse med afværgeboringer til grundvandssænkning, og dels i forbindelse med nye boringer specifikt designet til varmeudnyttelse. Begge situationer kræver reinjektion. Indvindingsboringer er fravalgt fordi flow og dermed energiindhold er meget begrænset, og derudover ligger boringerne for langt væk fra fjernvarmenettet.

Der skal altid laves en ansøgning til kommunen om etablering af et varmeindvindingsanlæg eller grundvandskøleanlæg. Der skal overfor kommunalbestyrelsen kunne dokumentere at en lang række betingelser er overholdt. Om der kan gives tilladelse til nedsivning/reinjektion er afhængig af kvaliteten af det vand der pumpes op, mængderne samt interesser i området (vandindvinding o.a.). Hvis der gives tilladelse vil kommunen sandsynligvis stille krav til monitoring af både det vand der oppumpes og nedsives, samt en evt. monitoring af påvirkning i området⁴.

Under etableringen af metroen, er der blevet foretaget rigtig mange boringer for at blive bekendt med undergrundsforholdene i forbindelse med byggeriet, og der kunne være en mulighed for at udnytte disse til grundvandsvarmepumper. Det vurderes dog ikke at være realiserbart i praksis, og tages derfor ikke med som en mulighed i dette studie. For det første er boringerne alle placeret i tætbebyggede områder, hvor pladsforholdene er meget begrænsede og hvor risikoen for grundvandssænkning vil være kritisk for bygningerne. Derudover ville det i flere tilfælde kræve at der blev etableret en reinjektionsboring, som ville kræve yderligere plads. Sådanne projekter vurderes derfor at blive både u hensigtsmæssige dyre og besværlige og ikke mindst svære at få godkendt af myndighederne. Endelig kan flowet i boringerne forventes at være meget begrænset og dermed opnås ikke den størrelse anlæg, der giver de nødvendige, økonomiske storskala fordele.

7.1. Afværgeboringer og grundvandsvarmepumper

I det følgende vurderes effektpotentialet for grundvand med fokus på afværgeboringer, grundvandsvarmepumper og ATES anlæg.

7.1.1. Afværgeboringer

Afværgeboringer benyttes til at sænke grundvandet ved byggeri. Flowet i sådanne boringer er typisk omkring 7-8 liter/sek, altså betydeligt lavere end den nævnte afgrænsning på 50 liter/sek. De vurderes derfor ikke at være relevante for store varmepumper i fjernvarmeforsyningen, men kan naturligvis være det for mindre individuelle varmepumper.

Hvis vandet ikke reinjiceres, kan der opstå en uønsket balance i grundvandsmagasinet. Fx vil det være kritisk at sænke grundvandsspejlet i den indre by, bl.a. fordi flere ældre bygninger er funderet med træ.

⁴ Se <https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2015/1716>

Eksempler på afværgeboringer

I Skovlunde bruger Region Hovedstaden testgrunden "Innovationsgaragen" til udvikling og test af nye, energieffektive metoder til oprensning af jord- og grundvandsforurening. På grunden er der etableret en afværgeboring, som forhindrer, at en kraftig forurening spredes i grundvandet. Gennem afværgeboringen pumpes forurenede grundvand op til overfladen. Her bliver det renses, før det igen pumpes ned i grundvandsmagasinet. På boringen er der monteret en varmepumpe, som trækker energi ud af det 8 grader varme grundvand. Grundvandet fra afværgeboringen er således med til at opvarme "Innovationsgaragens" to bygninger.

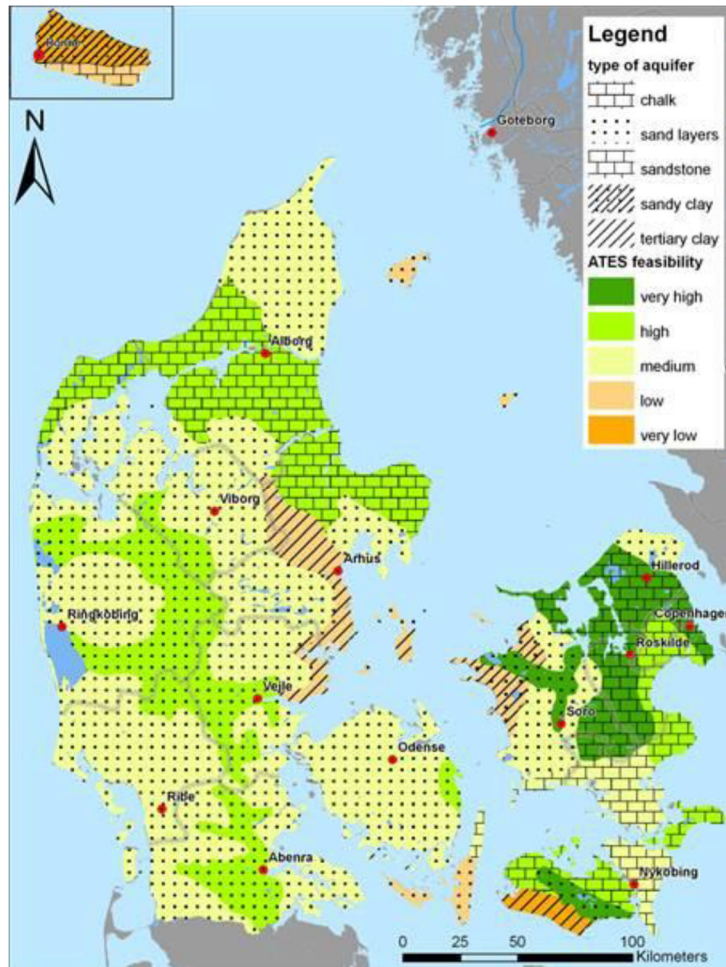
HOFOR har 5 boringer, hvorfra der afværge-oppumpes. Der oppumpes imellem 2 og 5 liter/sek til recipient fra disse boringer. Herudover er der en kompenserende udpumpning fra Haralsted Sø til Køge å. Det skal dog vurderes om der er stabilt flow på de tidspunkter af året, hvor der er behov for varmen. Den årlige mængde er 1 mio m³, svarende til ca 60 liter/sek, hvis det antages, at der pumpes i 6 måneder om året.

7.1.2. Nye boringer til grundvandsvarmepumper

HOFOR har etableret en grundvandsvarmepumpe i Nordhavn, taget i drift i 2018 forventet i drift februar 2018. De to boringer kan levere knap 30 liter/sek. Dette stemmer overens med to tilsvarende projekter i Rye og Dronninglund. Ifølge PlanEnergi m.fl. (2013) er det sjældent muligt at opnå mere end ca. 30 liter/sek pr. grundvandsboring, og der skal derfor etableres et større antal boringer pr. varmepumpe, før det kan blive rigtigt interessant for fjernvarme.

Afkøles 30 liter/sek vand med 7 °C, fx fra 10 til 3 °C, giver dette et varmebidrag fra kilden på 0,8 MJ/s.

På baggrund af GEUS' boringsdatabase Jupiter, har Hollandske ETP udarbejdet et interaktivt mulighedskort for grundvandsbaserede anlæg i form af både aquiferlagre og grundvandsvarmepumpeanlæg (PlanEnergi, 2013). Af nedenstående figur fremgår det, at der i store dele af Hovedstadsregionen er grundvandsmagasiner, som egner sig til etablering af grundvandsbaserede energianlæg.

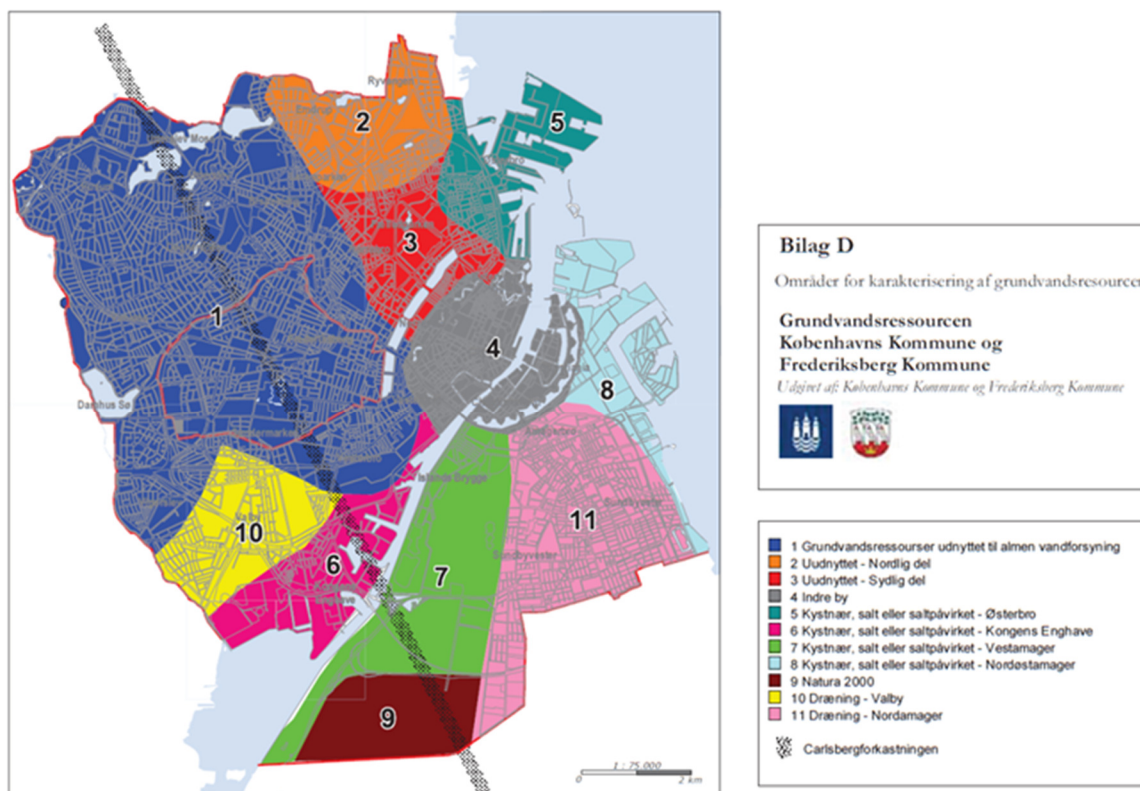


Med udgangspunkt i boringsdatabasen samt arealinformation, udførte PlanEnergi (2015) projektet en screening af de geologiske og hydrologiske forhold, samt det overordnede natur- og miljødatagrundlag. Følgende begrænsninger blev taget i betragtning:

- Ofte usammenhængende magasiner og relativt få pejledata.
- Indledende vurdering er afhængig af de typisk få hydrauliske parametre.
- Ofte er de lokale forhold ikke beskrevet tilstrækkeligt.
- Der vil som udgangspunkt ofte ikke kunne gives tilladelse til etablering af grundvandsvarme-pumper i områder med særlige drikkevandsinteresser (OSD) af hensyn til beskyttelse af den fremtidige vandforsyning. Imidlertid kan der ofte findes andre placeringsmuligheder lidt væk fra værket.
- I områder med drikkevandsinteresser og begrænsede drikkevandsinteresser kan der, efter en konkret vurdering af bl.a. grundvandsindvindingens og reinjektionens påvirkning på omgivelserne, gives tilladelse til etablering af grundvandsvarmepumper.
- Beskyttelseshensynet ift. udpegningsgrundlaget for Natura 2000 områder vægtes særligt højt og kan derfor forhindre etableringen af varmepumper i visse områder.
- Nærliggende beskyttet våd natur som mose, sø, eng med videre må ikke påvirkes i negativ retning.

På grundlag af en række vurderingsparametre vurderede PlanEnergi m.fl. (2013) grundvandsvarmepumpe potentialet for samtlige 473 fjernvarmeselskaber i landet. Heraf syntes det sandsynligt, at 150 fjernvarmeverker vil kunne etablere varmepumper med en gennemsnitlig grundvandskapacitet på 4 MJ/s, dvs. et samlet potentiale på 600 MJ/s. Derudover er der måske et potentiale ved op til yderligere 285 fjernvarmeverker, svarende til godt 1.100 MJ/s.

I bilag 2 er angivet data for et par konkrete anlæg.



Figur: Grundvandsressourcen i Københavns og Frederiksberg kommuner.

Væsentlige opmærksomhedspunkter ved identifikation af egnede pladser i vore ejerkommuner:

1. Miljøkrav til reinjektion af grundvand, jf. indledningen til kapitel 7.
2. Mulig konflikt med drikkevandsinteresser. På miljøportalen (arealinformation.dk) kan der hentes oplysninger om OSD og OD (Områder med Særlige Drikkevandsinteresser og Områder med Drikkevandsinteresser) samt oplysninger om indvindingsoplander uden for OSD og boringsnære beskyttelsesområder (BNBO). I disse område vil det ofte være vanskeligt at opnå tilladelse til ATES anlæg.

7.1.3. ATES-anlæg

Et ATES (aquifer thermal energy storage) anlæg fungerer primært som et sæson varmelager, typisk hvor varme fra et køleanlæg lagres i undergrunden om sommeren for at blive nyttiggjort med en varmepumpe om vinteren.

Varmekilden kan derfor karakteriseres som overskudsvarme. Da der benyttes samme vandførende lag i undergrunden som grundvandsvarmepumper og i visse tilfælde som drikkevandsindvindinger, er ATES anlæg imidlertid taget med i dette kapitel om grundvandsvarmepumper.

Der er i dag tilknyttet 4 ATES anlæg med en samlet effekt på 9 MJ/s til Hovedstadens fjernvarmesystem, som også er medregnet i potentialeopgørelsen. Yderligere 3 anlæg på tilsammen 10 MJ/s ventes tilsluttet i 2019.

7.2. Øvrige forhold - Regulering

Hensyn til drikkevandsboringer, spredning af forurening mv. andre lovgivningsmæssige barrierer er omtalt i begyndelsen af kapitel 7 og sidst i afsnit 7.1.2.

Det er muligt, at det indvundne vand kan betegnes "ledningsført" og dermed være afgiftspligtigt. Dette skal selvsagt undersøges nærmere ifm. egentlig projektforbereelse.

Udover drikkevand, kan grundvand bruges til køling eller varme, evt. begge dele (ATES), hvilket kræver indvindingstilladelse efter Vandforsyningslovens § 20 og en § 19 tilladelse efter Miljøbeskyttelsesloven – beskrevet i Bekendtgørelse om varmeindvindingsanlæg og grundvandskøleanlæg.

7.3. Samlet vurdering af effektpotentiale for grundvand

På kort sigt (frem til omkring 2025) vurderes der etableret omkring 3 MJ/s fra grundvand, inkl. afværgeboringer, og 23 MJ/s fra ATES anlæg. Der er ikke i dette skøn taget højde for konkrete placeringer, da dette forventes i høj grad at afhænge af efterspørgsel fra kunder som hoteller og servertunge servicevirksomheder.

I nedenstående skøn for effektpotentiale udgør ATES-anlæg inkl. realiserede projekter hovedparten:

	CTR	HOFOR	VEKS
2035 Grundvand (MJ/s)	0	1	2
2035 ATES (MJ/s)	30	19	30
2050 Grundvand (MJ/s)	0	1	2
2050 ATES (MJ/s)	30	29	20

I dag er der tre ATES anlæg i Hovedstaden: DR Byen (1 MJ/s varme), Copenhagen Towers (3 MJ/s) og Københavns Lufthavn (5 MJ/s). Bispebjerg Hospital regner med at sætte et anlæg (4,5 MJ/s) i drift i 2019. Når der skønnes at være et forholdsmæssigt stort potentiale for ATES anlæg i VEKS' område, skyldes det, at der her er mange store bygninger og bedre pladsforhold end i tættere byområder i Københavnsområdet.

8. Samlet vurdering af effektpotentiale

I skemaerne nedenfor fremgår en oversigt over det effektpotentiale for lavtemperaturkilder, der vurderes realiserbart i Hovedstadsområdet under forudsætning af, at varmepumper bliver en konkurrencedygtig teknologi.

2035

Potentiale MJ/s	CTR	HOFOR	VEKS	I alt
Spildevand	6	41	28	75
Havvand	0	60	120	180
Drikkevand	25	35	5	65
Grundvand / ATES	30	20	32	82
I alt	62	156	185	403

2050

Potentiale MJ/s	CTR	HOFOR	VEKS	I alt
Spildevand	6	41	28	75
Havvand	0	320	120	440
Drikkevand	25,4	35	5	90
Grundvand / ATES	30	30	52	112
I alt	62	426	205	717

2050 perspektivet er i sagens natur mere spekulativt og usikkert end 2035, dette skyldes bl.a. at teknologiudviklingen i hele energisystemet forventes at gennemgå en stor forandring frem mod 2050. Dette vil have stor effekt på hvor meget af potentialet er realistisk af realisere af energipotentialet i lavtemperaturkilder. En anden faktor er der ikke taget højde for bidrag fra overskudsvarme fra CC eller PtX. De antagne udviklinger for perioden 2036-2050 er følgende:

- Spildevand og drikkevands udnyttelse er uændret; potentialerne er tænkt fuldt ud udnyttede i 2035.
- Havvand udbygges med 260 MJ/s i områderne omkring de fire halvøer: Prøvestenen, Kraftværkshalvøen, Refshaleøen og Nordhavn i HOFORs område.
- Grundvand: Yderligere omkring 20 MJ/s ATES anlæg, overvejende i VEKS' område, en del heraf tilknyttet serverkøl, hvor der særligt i erhvervsområder antages bedre plads end i tættere byområder i Københavnsområdet.

9. Økonomi

9. 1. Vigtige faktorer for store varmepumpers økonomi

Store varmepumper er ny en teknologi i store danske fjernvarmesystemer og derfor er der usikkerhed omkring realiseringen af det tekniske potentiale, som er afhængig af at teknologien er konkurrencedygtig. Der er et par centrale faktorer, som har stor betydning for økonomien og udbredelsen af varmepumper baseret på lavtemperaturvarmekilder.

Det første parameter er elprisen, som udgør den største del af varmepumpers driftsomkostninger. Prisen på el er meget fluktuerende og denne tendens forventes at stige fremover, i takt med udbredelse af sol- og vindenergi. For at varmepumperne kan få mange driftstimer i fremtidens fjernvarmesystem, er det vigtigt at de kan udnytte de varierende elpriser og producere varmen, når elprisen er lav.

Et andet centralt parameter er investeringsomkostningerne til selve anlæggene, som udgør en stor finansiel post. Det er vigtigt at forsøge at reducere disse omkostninger ved f.eks. at få placeret anlæggene tæt på varmekilde og fjernvarmeledninger og hvis muligt ved at opskalere anlæggene.

COP værdien for produktionen er en afgørende faktor for at få et attraktivt anlæg med en god driftsøkonomi. Dette skal sikres ved at få lokaliseret de mest attraktive varmekilder, med de højest mulige temperaturer i varmesæsonen, kombineret med, at der arbejdes med at få sænket fremløbstemperaturen i distributionsnettene. Dette arbejdes der løbende med, men det afhænger i stor udstrækning af tilstanden af fjernvarmekundernes varmeinstallationer, og med mange tusinde kunder i Hovedstadsområdet, er det en langsigtet indsats. Byudvikling af byområder, hvor der fra start kan etableres lavtemperaturfjernvarme er en oplagt mulighed i kombination med varmepumper.

Det sidste parameter, som har stor betydning for økonomien, er den varmepris, varmepumperne kan få for deres leverance til nettet. Dette er ikke noget det enkelte varmepumpeprojekt kan påvirke, da dette er afhængigt af udviklingen for de konkurrerende teknologier, som kraftvarmeværker, og geotermi og ikke mindst af kapacitetsbehovet i fjernvarmesystemet. Men ved, at udbygningstakten er spredt over en lang tidsperiode fordelt ud på mange forskellige anlæg, hvor effektbehovet det pågældende sted i fjernvarmenettet, bør vurderes i hvert enkelt tilfælde, bør det kunne minimere risikoen for fejlinvesteringer og overkapacitet.

I tillæg til ovenstående overvejelser, er der beregnet nogle generiske business case eksempler, som medtager nogle af disse faktorer og giver nogle indikationer på, hvad der skal til for at opnå en nogenlunde økonomi i et varmepumpeprojekt.

9. 2. Generiske Business cases (projektøkonomi)

I det følgende er set nærmere på business casen (selskabsøkonomisk og for systemet som helhed) for varmepumper baseret på lavtemperaturvarmekilder i hovedstadsområdets fjernvarmesystem. Der er foretaget en række generiske modelsimuleringer af tre forskellige varmepumpe størrelser, hhv. 5 MJ/s, 10

MJ/s og 30 MJ/s, og med tre forskellige COP-værdier, hhv. 2,0, 3,0 og 4,0. Dermed er der ikke taget stilling til den påkrævede fremløbstemperatur, da dette overordnet er dækket ind af de valgte COP'er.

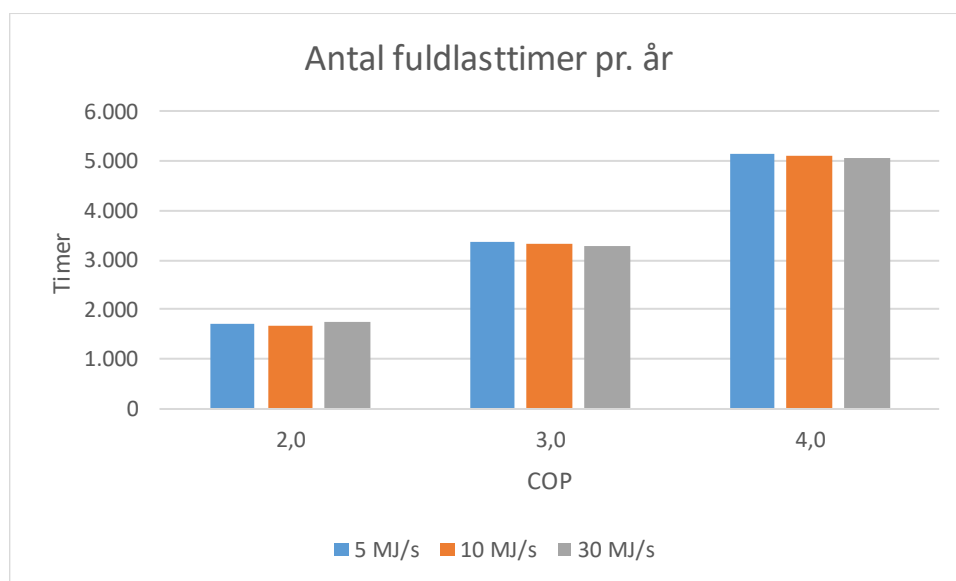
Der er i analysen set på hvor meget drift varmepumpen opnår, hvilket især afhænger af varmepumpens COP-værdi og dermed hvor konkurrencedygtig den er i fjernvarmesystemet. Der også set på hvilken årlig driftsnytte varmepumpen tilføjer systemet og deraf kan det konkluderes, hvor meget varmepumpen må koste at etablere inkl. tilslutningsomkostninger for at den er rentabel.

De valgte COP-værdier på hhv. 2,0, 3,0 og 4,0 vurderes at dække et realistisk spænd, når der er tale om lavtemperaturvarmekilder. Foruden at afhænge af varmekildens temperatur (temperaturene på den kolde side af varmepumpen), så afhænger COP-værdien også af temperaturene i fjernvarmenettet (den varme side af varmepumpen). Hvis varmepumpen skal levere en høj fremløbstemperatur er COP-værdien således lavere end hvis varmepumpen skal levere en lavere temperatur. Den høje COP-værdi på 4,0 vil i de fleste tilfælde med lavtemperaturvarmekilder nok kun være mulig såfremt varmepumpen kan nøjes med at levere en relativ lav fremløbstemperatur på en 65-70 C.

Beregningerne i det følgende er gennemført for år 2025. Det antages således, at dette beregning år er repræsentativt for hele varmepumpens levetid, hvilken er forudsat til 20 år. Væsentligt for varmepumpens driftsøkonomi er bl.a., at PSO-afgiften i 2025 er helt udfaset og at elvarmeafgiften er reduceret til 15,5 øre/kWh. Rent beregningsteknisk er det forudsat, at varmepumpen etableres på Amager. Men ved varmepumper op til 30 MJ/s som det analyserede vurderes der ikke at være nævneværdig forskel på om varmepumperne placeres det ene eller andet sted i fjernvarmenettet. Analysens resultater vurderes således også at gælde såfremt der var valgt en anden placering.

Figur A nedenfor viser det årlige antal fuldlasttimer for varmepumpen afhængigt af størrelsen og afhængigt af COP-værdien.

Figur A: Antal fuldlasttimer pr. år



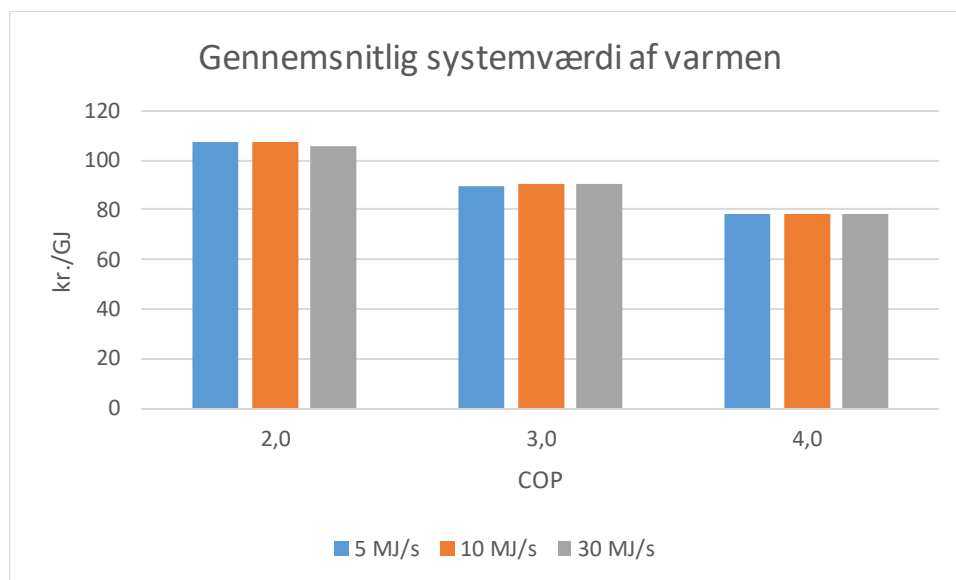
Som det fremgår af figuren så opnår varmepumpen ved en COP på 2,0 en årlig driftstid på cirka 1.700 fuldlasttimer (svarende til cirka 19 % af årets timer). Det hænger sammen med, at varmepumpen ved en COP på 2,0 ikke er særlig konkurrencedygtig i systemet. Det vil på langt de fleste tidspunkter være billigere at anvende nogle af de øvrige varmeproduktionsenheder i systemet. De tidspunkter hvor varmepumpen opnår drift er overvejende på tidspunkter, hvor elprisen er relativ lav og/eller hvor varmeforbruget er relativt højt.

Ved en højere COP for varmepumpen så øget antallet af fuldlasttimer. Ved en COP på 3,0 opnår varmepumpen således en årlig driftstid på cirka 3.300 fuldlasttimer og ved en COP på 4,0 opnår varmepumpen en årlig driftstid på cirka 5.100 fuldlasttimer.

Som det fremgår af figuren, så er benyttelsestiden meget afhængig af COP-værdien, men den afhænger stort set ikke af om varmepumpen er 5 MJ/s, 10 MJ/s eller 30 MJ/s. Det skyldes at både 5 MJ/s og 30 MJ/s er meget lidt i det samlede fjernvarmesystem i hovedstadsområdet. Hvis der derimod var analyseret på en 200 MJ/s varmepumpen, så ville benyttelsestiden for denne være lavere, dels som følge af eventuelle netbegrænsninger, afhængigt af hvor i systemet den var placeret, dels pga. at "MJ/s nr. 200" ikke vil være lige så konkurrencedygtig i systemet som "MJ/s nr. 1". Det skyldes, at den første MJ/s som etableres vil fortrænge den dyreste alternative produktion, den næste MJ/s som etableres vil fortrænge den næstdyreste alternative produktion osv. Med andre ord så gælder det, at værdien af varmen fra varmepumpen vil være marginalt aftagende, hvis der etableres en meget stor varmepumpe.

Figur B nedenfor viser den gennemsnitlige systemværdi af varmen fra varmepumpen. Med systemværdi menes den værdi som varmen fra varmepumpen har i systemet som følge af sparede variable produktionsomkostninger på øvrige anlæg.

Figur B: Gennemsnitlig systemværdi af varmen



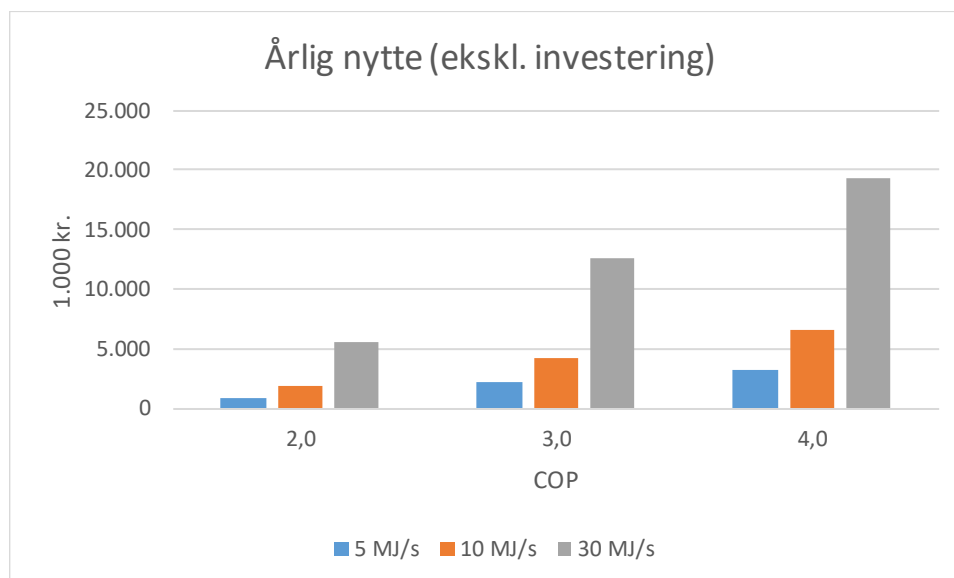
Som det fremgår af figuren, så fås ved en lav COP-værdi for varmepumpen på 2,0 en relativ høj værdi af den producerede varme på lidt over 100 kr./GJ. Det hænger sammen med, at varmepumpen ved en COP-værdi på 2,0 kun er konkurrencedygtig i timer hvor den alternative varmeproduktionsomkostning i systemet er

allerhøjest. Derfor opnår varmepumpen i dette tilfælde også, som vist ovenfor, en relativ beskednen driftstid på rundt regnet 1.700 fuldlasttimer pr. år.

Ved en højere COP-værdi bliver varmepumpen mere konkurrencedygtig i systemet og opnår drift i flere timer, herunder også timer, hvor værdien af varmen i systemet er mindre. Derfor falder gennemsnitsværdien af varmen i disse tilfælde til rundt regnet 90 kr./GJ ved en COP-værdi på 3,0 (3.300 fuldlasttimer pr. år) og 78 kr./GJ ved en COP-værdi på 4,0 (5.100 fuldlasttimer pr. år). Til gengæld har varmepumpen her flere driftstimer og dermed mere "volumen".

Ud fra varmepumpens driftstid, værdien af varmen i systemet samt omkostningerne forbundet med at producere varme på varmepumpen, kan varmepumpens årlige driftsnytte (ekskl. investering) beregnes. Denne er vist i figur x nedenfor.

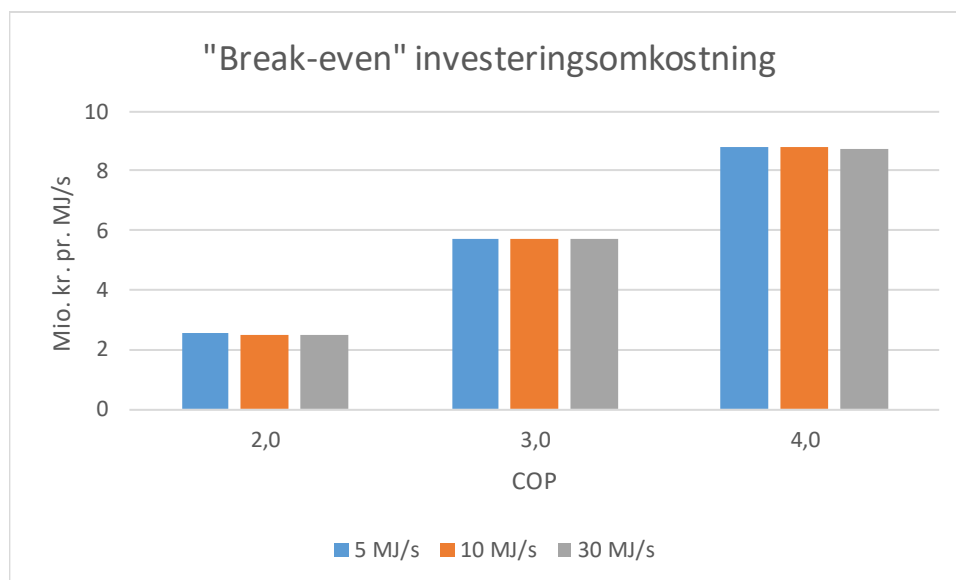
Figur C: Årlig nytte (ekskl. investering)



Som det fremgår af figuren så øges driftsnyttens med øget COP-værdi samt med øget størrelse på varmepumpen. Når driftsnyttens øges med øget COP-værdi så skyldes det, at det bliver billigere at producere varme på varmepumpen. Hermed er der flere tidspunkter, hvor der kan opnås en driftsnytte (besparelse) ved at køre med varmepumpen frem for de øvrige varmeproducerende anlæg i fjernvarmesystemet. Når driftsnyttens øges med øget størrelse varmepumpe, så skyldes det blot, at en større varmepumpe producerer mere varme – og fortrænger mere varme på øvrige anlæg – end en mindre varmepumpe.

Ud fra den årlige driftsnytte kan det beregnes, hvor meget varmepumpen må koste i samlet investeringsomkostning (inkl. tilslutningsomkostninger) for at varmepumpen er rentabel. Dette er vist nedenfor, idet der er forudsat en levetid på varmepumpen på 20 år og en kalkulationsrente på 4 %.

Figur D: "Break-even" investeringsomkostning pr. MJ/s



Som det fremgår af figuren, så må en varmepumpe med en COP-værdi på 2,0 ikke koste mere end cirka 2,5 mio. kr. pr. MJ/s hvis den skal være rentabel i fjernvarmesystemet. Da det ikke er realistisk at man kan etablere en varmepumpe til den pris kan det umiddelbart konkluderes, at det ikke er rentabelt med kombinationer af lavtemperaturvarmekilder og temperaturkrav i fjernvarmesystemet som resulterer i en COP-værdi på kun 2,0.

Ved en COP-værdi på 3,0 er break-even ved en etableringsomkostning på rundt regnet 5,7 mio. kr. pr. MJ/s og ved en COP-værdi på 4,0 er break-even ved en etableringsomkostning på rundt regnet 8,8 mio. kr. pr. MJ/s. Investeringsomkostningen til en varmepumpe vil ofte ligge over 5,7 mio. kr. og derfor kan generelt udledes at der skal opnås en COP på >3 for, at investeringen bliver afskrevet. Med nye reduktioner af elvarmeafgiften på vej, er der dog mulighed for at allerede med en COP på omkring 3, er der mulighed for positiv projektøkonomi.

Det skal understreges, at beregningerne i dette afsnit alene er af generisk karakter. Ved vurdering af konkrete varmepumpeprojekter i hovedstadsområdet skal naturligvis gennemføres detaljerede analyser af de specifikke projekter. I den sammenhæng er finansieringsomkostninger, som kan fordyre projektet f.eks. ikke medregnet.

10. Udbygningstakt

I forhold til økonomien for de forskellige anlæg samt fordelagtige placeringsmuligheder, er der udarbejdet et bud på, hvordan udbygningstakten i Hovedstadsområdet kunne blive.

10.1. Økonomisk prioritering af varmekilder

Hvis det antages, at store varmepumper vil blive udbygget optimalt, således at det hele tiden er den type varmepumpe og varmekilde med bedst økonomi, der vil blive bygget, forventes udbygningen i store træk at foregå i nedenstående rangordning, velvidende at det ofte er projektspecifikke forhold uafhængigt af varmekilde- byudvikling, mulighed for at levere lavere fremløbstemperaturer nærhed til fjernvarmenettet mv. der afgør rækkefølge og økonomi.

1. Spildevand.

Fordele:

- i) Højeste temperatur blandt lavtemperaturkilder;
- ii) Skalafordel (de kan bygges større end drikkevand og grundvand).

Ulemper:

- iii) Bergænset energipotentiale.
- iv) Risiko for dårlig driftsøkonomi pga. tilsmudsning af veksler

2. Havvand.

Fordele:

- i) Størst energipotentiale
- ii) Skalafordel (de kan bygges større end drikkevand og grundvand).

Ulemper:

- iii) Kystplacerede varmepumper kan ligge langt fra fjernvarmenettet.
- iv) Havvandsindtag kan være kostbare.
- v) Varmekilden kan være så kold omkring februar-marts, at det mulige varmeoptag kan blive kritisk lavt, således at anlægget enten ikke kan køre eller at effektiviteten og økonomien bliver for ringe til at det kan betale sig at køre med anlægget i en periode.

3. Drikkevand.

Fordele:

- i) Få udgifter til varmekilde ved fornuftig placering (vandrør og fjernvarmerør inden for kort afstand).
- ii) Stabil, tilstrækkelig temperatur over året

Ulemper:

- iii) Forholdsvist begrænset energipotentiale
- iv) Bortset fra enkelte tilfælde vil de være forholdsvis små
- v) Behov for ekstra vekslerkreds af hensyn til drikkevandssikkerhed medfører energitab og dårligere driftsøkonomi
- vi) Lavere flow i drikkevandsledninger om natten, kan reducere kapacitetstørrelse
- vii) Tab til genopvarmning af brugsvand ude hos kunden bør måske smedregnes i samfundsøkonomi

4. Grundvand.

Fordele:

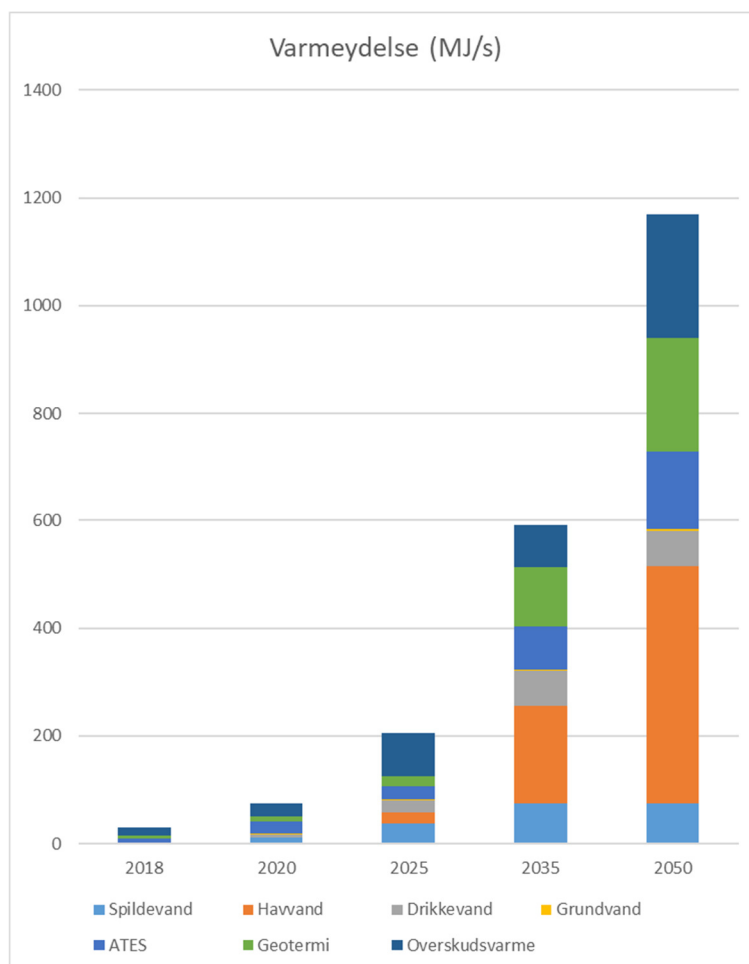
- i) Kan i princippet placeres, hvor der er ledigt areal, og der ikke er drikkevands interesser.
- ii) Stabil, tilstrækkelig temperatur over året

Ulemper:

- iii) Begrænset energipotential;e;
- iv) Der skal adskillige boringer til for at komme op i en passende størrelse, dermed kostbart.
- v) Tilladelse til udledning samt renskrav kan fordyre projektet

10.2. Mulig udbygning med varmepumper

På ovennævnte grundlag plus det strategiske hensyn, er det vigtigt at afprøve de to store potentialer, havvand og geotermi inden det kan blive nødvendigt at satse stort på varmepumper. Fjernvarmeselskaberne har udarbejdet en skitse til udbygningstakt for varmepumper, ifølge hvilken den installerede varmeeffekt vil være:



Geotermi og overskudsvarme, der ikke er behandlet i denne rapport, men overslag for disse varmekilder er taget med i figuren for overblikkets skyld. Overskudsvarme fra CCS og Ptx, der kan forventes at få relativt høje temperaturer (indikationer pt. fra omkring 50 C) er ikke medregnet, men kan antages at ville være i konkurrence med anden energiproduktion, herunder varmepumper der udnytter lavtemperaturkilder og geotermi. Derfor er det sandsynligt, at hvis CCS og Ptx udvikles i storskala, vil det et vist omfang erstatte noget af effektpotentialitet i denne kortlægning.

Den samlede ydelse i 2018 og 2025 er henholdsvis 30 og 130 MJ/s. Springet fra 2025 til 2035 er begrundet med tre forhold:

- De to største varmekilder i Hovedstadsområdet er havvand og geotermi. Det vil vare nogle år, før der evt. har været velfungerende demonstrationsanlæg i stabil drift, og det vil derfor vare en del år før en egentlig udbygning vil kunne tage fart.

- I 2030'erne vil et par kraftvarmeblokke muligvis blive taget ud af drift og dermed levne plads til anden form for varmeproduktionskapacitet.
- Den skitserede udbygning afhænger af, at der både sker teknisk og økonomisk modning af teknologierne.

Udviklingen 2036 – 2050 er et simpelt estimat baseret på følgende antagelser:

- Ingen yderligere udbygning på spildevand, drikkevand, og grundvand.
- Havvand udbygges med 360 MJ/s i HOFORs område.
- Grundvand: Yderligere 60 MJ/s ATES anlæg, overvejende i VEKS' område, nogle heraf tilknyttet datacentre.
- Overskudsvarme: Primær fra køleprocesser i industrien

Ovenstående er et simpelt bud på en mulig udbygning, der frem til 2035 kan forklares anlæg for anlæg.

Det samlede potentiale er større end angivet ovenfor, og det vurderes løbende i forbindelse med strategiarbejdet for varmepumper både hvad angår det tekniske potentiale som her og på sigt også det økonomisk realiserbare potentiale, i takt med at der opnås flere erfaringer med store varmepumper til fjernvarme.

Til sammenligning indeholdt Varmeplan Hovedstaden 3, oktober 2014, følgende scenarier for det såkaldte Alternativ 1:

2035 scenarier:

-2025: 135 MJ/s; drikkevand, spildevand, industri og geotermi.

-2035: 300 MJ/s (0,5 PJ); havvand, drikkevand, spildevand, industri og geotermi.

-Perspektiv scenariet (frem til 2050) havde 600 MJ/s varmepumper.

11. Sammenfatning

Screeningens formål har været at vurdere effektpotentialer i varmekilder til varmepumper inden for Hovedstadsområdet sammenhængende fjernvarmesystem, svarende til CTRs, VEKS' og HOFORs forsyningsområder. Varmepumper har brug for en varmekilde at aftage varme fra som fx vand, jord eller luft, og når der er tale om storskala varmepumper på over 0,5 MJ/s til fjernvarmenettet fordrer det, at der kan findes varmekilder med tilstrækkeligt flow og temperaturniveau over året. Analysen har fokus på lavtemperatur varmekilder; spildevand, havvand, drikkevand og grundvand. Luft som varmekilde til store varmepumper er ikke taget med, grundet lav temperatur om vinteren, hvor varmebehovet er størst, samt udfordringer med at overholde støjkrav i et tæt bymiljø, men det er muligt at særlige placeringer langt fra beboelse vil muliggøre nogle enkelte anlæg også i nærheden af fjernvarmenettet.

Effektpotentialer for lavtemperatur varmekilder er blevet vurderet, og fremgår i tabellerne nedenfor, for de respektive varmekilder i Hovedstadsområdet under forudsætning af, at varmepumper bliver en konkurrencedygtig teknologi.

2035

Potentiale MJ/s	CTR	HOFOR	VEKS	I alt
Spildevand	6	41	28	75
Havvand	0	60	120	180
Drikkevand	25	35	5	65
Grundvand / ATEs	30	20	32	82
I alt	62	156	185	403

2050

Potentiale MJ/s	CTR	HOFOR	VEKS	I alt
Spildevand	6	41	28	75
Havvand	0	320	120	440
Drikkevand	25,4	35	5	90
Grundvand / ATEs	30	30	52	112
I alt	62	426	205	717

Potentialerne er angivet for to årstal på mellemlangt og langt sigt, fordi det tager tid at udbygge sådanne nye energiforsyningsløsninger, der består af et stort antal mindre anlægsprojekter sammenlignet med centrale kraftvarmeblokke.

Det, der især er udslagsgivende for varmepumpers konkurrencedygtighed og de respektive varmekilders økonomiske betingelser, er:

- Anlægsinvestering (kan variere afhængig af de særlige forhold, der gælder den enkelte varmekilde så som stort flow, der giver mulighed for storskala fordele, lovkrav til håndtering, behov for filtrering og rensning o.lign.)

- COP (varmepumpens energieffektivitet og dermed driftsøkonomi, afhænger især af varmekildens temperatur over året særligt om vinteren, derudover af fjernvarmetemperaturerne og her kan muligheden for at levere til lavtemperaturområder kan få stor betydning pga. den positive effekt på COP.)
- Elpris, såvel markedspris som elafgifter, som pt. er under revidering i forbindelse med igangværende energiforlig, og vil kunne påvirke varmepumpers økonomi markant begge veje.
- Varmepris – som tidligere økonomiberegninger indikerer kan det vedmindre der kan opnås en forholdsvis lav anlægsinvestering, blive svært med udbredelse af store varmepumper i Hovedstadsområdet fjernvarmesystem, hvis ikke der betales et højt fast kapacitetsbidrag eller på anden vis findes økonomisk anlægsstøtte.

Den sidste betydende faktor er som nævnt placeringsmuligheder, hvor der både er adgang til varmekilden, fjernvarmenettet og ledige arealer, der ikke er for dyre. Omkostningerne forbundet med den konkrete placering af en varmepumpecentral er afgørende for anlægsinvesteringen, da omkostninger til ledningstilslutninger (varmekilde, fjernvarmenet og el-net), samt bygning kan udgøre op til 70% af investeringen.

Det er værd at nævne, at f.eks. potentialet for havvandsvarmepumper er meget større end angivet her. I VPH3 blev det angivet som værende uendeligt, idet der er meget vand i Øresund. Denne rapport ser bort fra muligheden for at udnytte varme fra Hollænderdybet (mellem Middelgrund og Saltholm), 5-6 km fra kysten. Vandet her er dybere og dermed varmere på bunden om vinteren. Grundet afstanden til kysten og det forhold, at det vil være nødvendigt som første skridt at få indhøstet erfaringer på grundlag af mere kystnære ressourcer, er denne ressource ikke medtaget i det teknisk realiserbare effektpotentialer.

Viser det sig, om en årrække, hvor der foreligger erfaringer med havvandsvarmepumper, der udnytter mere kystnært vand, at det kan være økonomisk fornuftigt at inddrage fjernereliggende områder i Øresund, da vil potentialet evt. kunne opjusteres.

For spildevand og drikkevand er usikkerheden i potentiale vurderingerne betydeligt mindre, da vort kendskab til disse ressourcer og deres udvikling er mere eksakte. Her er usikkerhederne i højere grad forbundet med de konkrete byggearealer til rådighed, hvilket afhænger af lokalplaner, ejerforhold, naboer og meget andet.

Potentialet for at udnytte grundvand, hvoraf der er meget, som i princippet kan udnyttes, afhænger i høj grad af projektspecifikke forhold, som er tilnærmelsesvis umulige at forudsige og derfor bedst kan vurderes fra projekt til projekt. Potentialet for 2035 er derfor i en vis udstrækning, især frem mod 2025, baseret på konkrete projekter og projektmuligheder, som forsyningsselskaberne er vidende om. Flere heraf vil formentlig ikke blive realiseret. Til gengæld vil andre nok dukke op.

I tætte byområder anvendes grundvandsanlæg typisk i form af ATES anlæg til at forsyne enkelte bygninger som hoteller eller hospitaler med både varme og køling. Der er ikke fundet referencer på anlæg over 4 MJ/s og udfordringen med at opskalere grundvandsvarmepumper yderligere er, at det påkrævede antal boringer er svært at finde plads til i tætte byområder. Dertil kommer hensyn til drikkevandsinteresser og usikkerhed

omkring behandlingskrav i forhold til at sende vandet retur til undergrunden. Muligheden for at udnytte grundvand som varmekilde i tætte byområder vurderes derfor begrænset.

I 2035 potentialet indgår varmepumper, der er i drift, i alt omkring 20 MJ/s, hovedsageligt grundvand (ATES anlæg) vil være tilsluttet fjernvarmenettet hovedstadsområdet i 2020.

De antagne udviklinger for perioden 2036-2050 er:

- Spildevand og drikkevand er uændrede; potentialerne er tænkt fuldt ud udnyttede i 2035.
- Havvand udbygges med 360 MJ/s på de fire halvøer Prøvestenen, Kraftværkshalvøen, Refshaleøen og Nordhavn i HOFORs område.
- Grundvand: Yderligere 20 MJ/s ATES anlæg, overvejende i VEKS' område, en del heraf tilknyttet serverkøl i erhvervsområder, som der er bedre plads til her end i tættere byområder.

Til sammenligning ses nedenfor den tidligere opgørelse fra Varmeplan Hovedstaden 3. Oversigten udtrykker det tekniske potentiale (uanset begrænsninger i forhold til placeringer eller afsætningspotentiale) og forholder sig ikke til udbygning over tid.

Varmekilder	Teknisk potentiale (MJ/s)
Spildevand (renset)	87
Havvand	∞
Drikkevand	15
Grundvand	∞
Luft	∞

Tabel: Varmekildepotentialer, Bach 2014 anvendt i VPH3.

I Varmeplan Hovedstaden 3 (VPH3) blev der foretaget en overordnet analyse af effektpotentialet for lavtemperaturvarmekilder. Analyserne adskiller sig på nogle områder fra nærværende undersøgelse:

- CTR og VEKS forsyningsområder blev ikke konsekvent medtaget i VPH3. Til gengæld var Vestforbrændingens forsyningsområde medtaget.
- Opgørelse af det tekniske potentiale (VPH3 har primært fokus på energiindholdet i varmekilden og ikke på betydningen af projektspecifikke faktorer som placeringsmuligheder nær varmekilde og fjernvarmenet kun overordnet placering i forhold til vekslerområder.)
- Havvandspotentialet var kun analyseret overordnet, teoretisk
- I VPH3 blev det øvre effektpotentiale defineret ud fra afsætningsgrundlag dvs. ikke ledningskapacitet, men effekttræk i nettet. (Dette emne er der heller ikke arbejdet videre med i denne analyse.)
- Økonomiforudsætninger (Rammebetingelser for varmepumper har ændret sig og konkrete projekter har givet ny viden siden VPH3. Elafgiften er blevet reduceret og anlægsinvesteringer for

varmepumper har vist sig at være omkring det dobbelte af, hvad Energistyrelsens teknologikatalog dengang angav.)

Varmeplan Hovedstaden 3 vurderede tilbage i 2014, at der kan være økonomi i at etablere omkring 300 MJ/s varmepumper i Hovedstadsområdet frem mod 2035 og op imod 600 MJ/s frem mod 2050. I disse tal indgår også geotermi, som denne rapporten ikke har beskæftiget sig med. For overblikkets skyld er geotermi og overskudsvarme dog medtaget i figur s. 43 for det samlede potentiale for både højtemperatur- og lavtemperaturkilder. Heraf fremgår det, at denne undersøgelse samlet set kommer frem til stort set samme resultat som i VPH3 på mellemlangt sigt (2035) men noget mere effektpotentialer på langt sigt (2050). Det skyldes, dels en større antaget udbygning med havvand, og på baggrund af en mere detaljeret vurdering, fremgår det at potentialet for drikkevand, er højere end antaget i VPH3, mens både spildevand og grundvand anses for at være mere begrænset, når pladsforhold og flowvariationer medtages. Sidstnævnte med særligt fokus på ATES anlæg, som i dag er de mest udbredte i Hovedstadsområdet.

Inden for de enkelte varmekilder er der således i nogle tilfælde forskel på resultaterne, og formålet med denne undersøgelse var at komme et spadestik dybere, hvilket især er lykkedes for havvand, spildevand og drikkevand, hvor de faktorer, (både tekniske, økonomiske mv.) der påvirker udnyttelsen af lavtemperaturvarmekilder, er blevet mere indgående beskrevet.

Endelig er der foretaget nogle generiske business case beregninger (selskabsøkonomisk og for systemet som helhed) for varmepumper baseret på lavtemperaturvarmekilder i hovedstadsområdets fjernvarmesystem. Beregningerne er baseret på modelsimuleringer af tre forskellige varmepumpe størrelser, hhv. 5 MJ/s, 10 MJ/s og 30 MJ/s, og med tre forskellige årsCOP-værdier, hhv. 2,0, 3,0 og 4,0, som er repræsentative for lavtemperaturkilder under forskellige omstændigheder. En gennemsnitlig årlig COP på 3 er typisk for havvand, spildevand og grundvand, men forskellige faktorer så som udfordringer med fouling af spildevandsveksleren eller en lang kold vinter med meget lave havvandstemperaturer, kan trække COP'en ned mod 2. En drikkevandsvarmepumpe vil typisk have en COP gående mod 2, når tabet i den ekstra vekslerkreds regnes med. En COP på 4 kan typisk kun opnås med en lavtemperaturkilde, hvis der er mulighed for at levere fremløbstemperaturer på omkring 65-70 C. Resultaterne peger desuden på, at der er størst sandsynlighed for en positiv business case med en COP >3. Hvis der er mulighed for at levere til et lavtemperaturfjernvarmeområde, burde varmepumper, der udnytter de nævnte varmekilder burde alt andet lige kunne opnå en COP på omkring 4 og dermed at få afskrevet investeringen. Med yderligere elvarmeafgiftsreduktioner på vej, er det dog sandsynligt at allerede med en COP på omkring 3, kan det alt andet lige være muligt at opnå en positiv projektøkonomi. I den sammenhæng er finansieringsomkostninger, som kan trække den anden vej dog ikke medregnet.

Ikke overraskende peger resultaterne på at COP'en spiller en afgørende rolle, både for anlæggets driftstid og mulighed for at kunne afskrives over en rimelig tidshorison. Varmepumpens kapacitet spiller en mindre rolle for driftstid og økonomi med de størrelsesordner, der er regnet på. Hvis der derimod var analyseret på en 200 MJ/s varmepumpen, ville benyttelsestiden forventeligt blive lavere, dels som følge af eventuelle netbegrænsninger og dels som følge af øget konkurrence om plads i lastfordelingen af produktionsenheder i hovedstadsområdets fjernvarmesystem.

12. Perspektivering

I forlængelse af dette bud på en takt for udbredelse af store varmepumper til fjernvarme, er der en række emner, som bør undersøges nærmere for at kunne udarbejde en egentlig udbygningsplan for varmepumper i CTR, VEKS og HOFORs forsyningsområder.

Som det er fremhævet tidligere, afhænger økonomien i at udnytte VE kilder med varmepumper i høj grad af varmepumpernes driftstimer og indtægt og dermed af den alternative produktion som varmepumperne konkurrerer med i fjernvarmesystemet. For at kvalificere plangrundlaget for udbygningen med varmepumper yderligere, er det derfor relevant at regne på varmepumpernes driftstid og økonomiske nytte i en energimodel som Balmorel, der under givne forudsætninger kan simulere varmepumpernes placering i fjernvarmesystemets lastfordeling under nogle givne forudsætninger.

Realiseringen af et varmepumpeprojekt er også meget afhængigt af placeringsmuligheder og lokale faktorer som tilgængelige byggearealer nær varmekilde og fjernvarmenet. Varmepumpens placering har på den måde stor betydning for anlægsøkonomien. Derfor er det også relevant at lave mere projektspecifikke business cases for konkrete placeringer af varmepumper i en udbygningsplan. I den forbindelse er det både relevant at gå mere i dybden med de besparelser, der kan opnås i forbindelse med opskalering, og at have fokus på de mulige placeringer, hvor der mangler produktionseffekt i nettet, da mangel på eller overskud af kapacitet i nærområdet har stor indflydelse på varmepumpers driftstid og økonomi.

Endelig bør det fremhæves at analyser og økonomiberegninger i sig selv ikke er nok, men må suppleres af teknologiudvikling og demonstration for at fjernvarmeselskaber mfl. kan erhverve sig den nødvendige viden og driftserfaring med ikke bare med teknologien, men også dens samspil med egnede, lokale varmekilder, som ofte undervurderes som altafgørende forudsætning for fremtidens varmepumper til fjernvarme.

Bilag

Bilag 1: Referencer

Varmepumper og varmekilder generelt

HOFOR, CTR og VEKS (2014) Varmeplan Hovedstaden 3.

Bach, B. (2014). Integration of Heat Pumps in Greater Copenhagen. M.Sc. rapport, DTU-MEK.
Kortlægning af teknisk effektpotentiale for varmepumper anvendt i Varmeplan Hovedstaden 3 (VPH3)

Lund R. et al., AAU, (2015) Mapping of potential heat sources for district heating in Denmark.

Notat om erfaringer med havvands og spildevandsvarmepumper i Norge, Finland og Sverige (syntetiske kølemidler), 2015, HOFOR/COWI.

PlanEnergi m.fl. (2013). Udredning vedrørende varmelagringsteknologier og store varmepumper til brug i fjernvarmesystemet. For Energistyrelsen.

Energistyrelsen (2015). Inspirationskatalog.

Energistyrelsens rejsehold, (2016) Store varmepumper i fjernvarmeforsyningen.

Havvand

Modelled hydraulic conditions in Øresund and Kongedybet, analyse udført af DMI på vegne af HOFOR, CTR og VEKS, (2017).

Drikkevand:

Hubeck-Graudal, H. (2015). Feasibility of using drinking water supply as heat source in the DH network, 2015, M.Sc. rapport, DTU-MEK.

Paaske, B. L. (2013). Opfølgning og anbefalinger i forlængelse af varmepumpeseminar ved HOFOR januar 2013. Teknologisk Institut.

PlanEnergi m.fl. (2013). Udredning vedrørende varmelagringsteknologier og store varmepumper til brug i fjernvarmesystemet. For Energistyrelsen.

Spildevand

HOFOR (2014) Arbejdsnotat om effektpotentiale (MJ/s) på Lynetten og Sjællandsbroens pumpestation

Grundvand

PlanEnergi m.fl. (2013). Jf. ovenfor.