

VARMELAGRE I HOVEDSTADSOMRÅDET

En vurdering af
placeringsmulighederne for
varmelagre i hovedstadsområdet.





Udbygning med varmelagre i hovedstadsområdet

Indhold

Indledning og baggrund	2
Opsamling og perspektiv	3
Betydelige potentialer for varmelagre i hovedstadsregionen	6
Varmeplan Hovedstaden 3	7
Den Regionale Fjernvarmeanalyse	8
Hvorfor et damvarmelager og hvorfor en ståltank?	11
Valg af lokalitet for et varmelager	12
Damvarmelagerprojekter i hovedstadsområdet	12
Størrelsen på distributionssystemet	19
Tilslutningsmuligheder	20
Plads og en billig grund	21
Jord-, forurenings- og grundvandsforhold	23

Indledning og baggrund

Danmarks omstilling til et grønnere energisystem betyder indpasning af stigende mængder fluktuerende elproduktion fra fx sol og vind - energikilder som udfordrer energisystemet som vi kender det i dag. Med høje andele fluktuerende energi vil elproduktionen ofte overstige efterspørgslen og omvendt, hvilket øger behovet for værktøjer, der kan sikre balancen i elsystemet. Varmesystemet kan bl.a. bidrage med fleksible kraftvarmeværker, varmepumper, elpatroner og varmelagre.

På fjernvarmesiden giver omstillingen konkrete muligheder og udfordringer, også for varmeselskaberne i hovedstadsområdet. Som led i planlægningen er der de seneste år udført to større analyser, Varmeplan Hovedstaden 3 (VPH3) og den Regionale Fjernvarmeanalyse. Med de grønne målsætninger for øje, er der set på fjernvarmesystemets rolle på lang sigt, gevinsterne ved at øge sammenkoblingen af fjernvarmenet og hvilke investeringer, som bør prioriteres de kommende år.

Begge analyser peger på, at der er betydelige økonomiske potentialer ved etablering af varmelagre og dermed fornuft i at øge varmelagerkapaciteten i hovedstadsområdet markant. Varmelagre øger værdien af kraftvarmeværker, varmepumper, solvarmeanlæg etc., ved bedre samspil med elsystemet og ved bedre udnyttelse af billige varmeproduktionsanlæg, fx ved at erstatte spidslast med grundlast.

Fjernvarmesystemet i hovedstadsområdet er et stort sammenhængende system, som strækker sig bredt fra indre København til både Roskilde, Køge, Gentofte, Gladsaxe og endda videre mod Hillerød og Helsingør via Vestforbrændings og Nordfors' forsyningsområde. Systemets sammenhæng gør, at etablering af varmelagre kan skabe værdi for hele systemet og ikke bare lokalt, hvor lageret placeres. En overordnet økonomisk screening i VPH3 viser, at en varmelagerkapacitet på 6-7 gange den nuværende lagerkapacitet kan være økonomisk velbegrunder for fjernvarmesystemet i hovedstadsområdet frem mod 2050.

Selvom potentialet for etablering af varmelagre med god nytteværdi er betydeligt, er værdien af investeringerne følsomme over for den fremtidige regulatoriske-, økonomiske- og markedsmæssige udvikling. Business-casen ved at etablere varmelagre er også følsom over for investeringen størrelse, hvilket bl.a. er afhængigt af teknologivalg, afstanden til fjernvarmenettet samt betaling for grunden, hvorpå lagret skal ligge.

Flere aktører har analyseret forskellige konkrete muligheder for varmelagre i hovedstadsområdet, heriblandt HOFOR og VEKS, som bl.a. har undersøgt placeringmuligheder i Roskilde, Høje Taastrup og København, herunder i Nordhavn og på Amagerværket.

Det næste skridt i udviklingen af varmelagre i hovedstadsregionen vil være en konkret etablering af et eller flere varmelagre, og her er projektet i Høje Taastrup så langt fremskredet, at der forventes en investeringsbeslutning i løbet af første halvår 2018. Projektet blev præsenteret for en række af aktørerne i hovedstadsområdet på et møde i september 2017. Aktørerne var positive omkring projektet, men flere gav udtryk for, at der er behov for at se projektet i sammenhæng med andre mulige placeringer. Derfor har VEKS på vegne af det regionale projekt Energi på Tværs bedt Ea Energianalyse om at udarbejde nærværende notat med et overblik over de væsentligste analyser på området samt en gennemgang af kriterier for valg af lokalitet for et varmelager.

Opsamling og perspektiv

Potentiale for udbygning med varmelagre – både damvarmelagre og ståltanke

Varmeplan Hovedstaden 3 og Den Regionale Fjernvarmeanalyse peger begge på, at der er god økonomi i en betydelig forøgelse af varmelagerkapaciteten, både i det sammenhængende fjernvarmesystem i hovedstadsområdet, men også i flere af de decentrale områder, som ligger i den øvrige del af Region Hovedstaden.

Udover at pege på udbygning af varmelagerkapaciteten, fandt Den Regionale Fjernvarmeanalyse også, at der både er økonomisk fornuft i at investere i sæsonvarmelagre (damvarmelagre) og korttidsvarmelagre (ståltanke). HOFORs analyser af muligheder for varmelagre i HOFORs forsyningsområde har vist, at der er størst nytte i at tilslutte en ny ståltank til det eksisterende op- og afløseudstyr på Amagerværket.

Ikke afgørende betydning for systemværdien af varmelager hvor det placeres

Mulige placeringer af et damvarmelager har endnu ikke været systematisk af dækket for hovedstadsområdet, men det vurderes, at det for nytteværdien ikke er så væsentligt, hvor i systemet et lager placeres, hvis blot distributionsystemet er stort nok til, at lageret kan afsætte varmen. På grund af transmissionssystemets sammenhæng vil sæsonvarmelagre, som placeres i hovedstadsområdets yderområder derfor også blive udnyttet til at optimere varmeproduktionen på hovedstadsområdets øvrige anlæg. Det tyder dog på, at der i

en årrække vil være højere værdi ved at etablere varmelagre øst for Damhussøen pga. den nuværende transmissionsbegrænsning. Denne fordel kan dog blive mindre ved fremtidige stigninger i forbruget vest for Damhussøen og ved udbygning med yderligere produktionskapacitet øst for Damhussøen.

En barriere at finde gode lokaliteter i hovedstadsområdet

På omkostningssiden ser det anderledes ud, her kan grundprisen og omkostninger til tilslutning variere meget og derfor have stor betydning for økonomien ved forskellige lokaliteter.

Dybdegående undersøgelser af placeringsmuligheder er både tidskrævende og omkostningstunge. Udfordringen er at indskrænke mulighederne til de områder, hvor der er plads, lave grundpriser, et stort aftag og nærhed til varmedistributionsnettet, uden at der laves undersøgelser af samtlige lokaliteter i hovedstadsområdet. VEKS's nylige igangsatte undersøgelse hos GEO, som gennemgår geografiske visninger af jordbundsforhold på 34 lokaliteter vil, i kobling med viden om distributionsnettenes størrelse (og anden tilgængelig information), være med til at pege på særligt favorable lokaliteter. CTR har foretaget en lignende undersøgelse.

Varmeselskaberne i hovedstadsområdet har allerede i flere projekter analyseret konkrete muligheder for etablering af varmelagre. Både Høje Taastrup og Roskilde ser ud til at være gode placeringer for damvarmelagre, med lidt lavere grund- og tilslutningsomkostninger i Høje Taastrup end i Roskilde på de undersøgte lokaliteter, hvis der ses på lagre af sammenlignelig størrelse. Det er muligt, at der findes alternativer med lidt lavere omkostninger, men det bør fremhæves at én god lagerlokalitet ikke udelukker en anden god lagerlokalitet, da der forventes at være god økonomi i en betydelig forøgelse af varmelagerkapaciteten og altså etablering af ikke ét, men flere varmelagre i hovedstadsområdet. Umiddelbart vurderes gode lokaliteter at kunne blive en barriere for en betydelig udbygning med billige damvarmelagre i det sammenhængende fjernvarmesystem.

Et nyt lager vil tage nytte fra et andet nyt lager, så det er vigtigt at lagre etableres i takt med at værdien af lagre stiger i systemet.

Fordeling af investeringen mellem aktører er en særlig udfordring

En særlig udfordring er at sikre, at de aktører som får nytteværdien også medvirker til at betale investeringen. I det sammenhængende fjernvarmesystem i hovedstadsområdet er det både varmeselskaber, kraftvarmeværker og affaldsanlæg, der får nytte af lagret. Nyttens skabes både ved at flytte produk-

tion mellem værker og mellem timerne, så det mest effektive værk producerer over døgnet, optimering op mod elprisen og sparet spidslast og øget produktion på kraftvarme og affaldsværkerne.

En nærmere beskrivelse af udfordringerne ved at fordele investering og nytte mellem aktørerne og forskellige modeller for dette er således meget væsentligt, men er ikke omfattet af dette notat. I udviklingen af en model for finansiering af lageret i Høje Taastrup har dette dog været grundigt behandlet, og der henvises hertil.

Betydelige potentialer for varmelagre i hovedstadsregionen

Både Varmeplan Hovedstaden 3 og den Regionale Fjernvarmeanalyse peger på, at det kan betale sig at etablere yderligere varmelagerkapacitet i hovedstadsområdet. Baggrunden og resultaterne fra de to regionale analyser beskrives kort i de følgende afsnit.

I analyserne er der set på to typer af varmelagre, som adskiller sig både teknisk og økonomisk, ståltanke og damvarmelagre. Begge typer af lagre udnytter vands varmekapacitet til at lagre varme fra fjernvarmesystemet, men den tekniske udformning er forskellig. Tabellen nedenfor anskueliggør forskellen mellem de to typer af lagre.

Damvarmelager	Ståltanke
<p>Simplificeret er der tale om en stor nedgravet vandbeholder/kunstig dam, som kan anvendes til at lagre varme fra fjernvarmesystemet. Lageret er hele tiden fyldt med vand, men vandets temperatur stiger ved fyldning og aftager ved tømning. Damvarmelagre er begrænset i den mulige, maksimale temperatur og vil derfor normalt skulle placeres i varmedistributionssystemer, som har temperaturer under 95 grader.</p> <p>Damvarmelagre anvendes flere steder i Danmark som sæsonvarmelagre i forbindelse med solvarmeanlæg. Op- og afladningskapaciteten er oftest lille sammenlignet med lageret volumen, så det tager typisk dage til uger at tømme lageret helt.</p>	<p>Som navnet beskriver, er der tale om store isolerede ståltanke. Tankene fungerer som korttidsvarmelagre og er oftest etableret på et kraftvarmeværk, hvor de kan lagre varme over nogle timer eller dage. Vand i ståltanke kan evt. være under tryk, så de også kan matche tryk- og temperaturkrav fra varme-transmissionssystemet.</p> <p>Lagerets opladnings- og afladningskapacitet er typisk stor i forhold til det mulige energindhold. Investeringsomkostningen pr. lager-volumen er betydeligt højere end for damvarmelagre.</p>

Tabel 1: Karakteristika for damvarmelagre og ståltanke.

Andre lagerformer undersøges også. Der pågår således et EUDP-projekt om lagring i kalklag i undergrunden via borer til en dybde på 4-800 meter. Her er undergrunden i Københavnsområdet kortlagt, og der er udviklet beregningsmodeller til simulering af op- og afladning. Næste step er et demonstrationsprojekt med prøveboringer for bestemmelse af kalkens egenskaber (permeabilitet) og etablering af et lager i størrelsesordenen 200.000 m³. Dette lager er altså at sammenligne med et damvarmelager, hvor målet er at erstatte spidslast med overskud af grundlast produceret i sommerperioden.

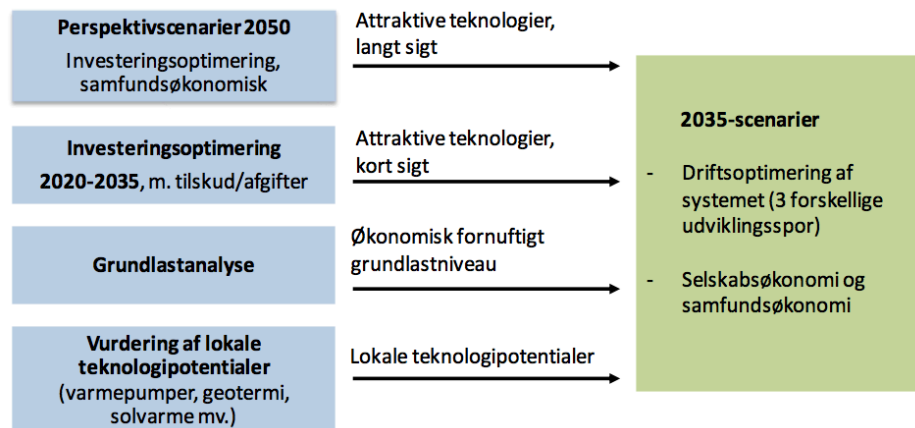
Varmeplan Hovedstaden 3

Formål

Varmeselskaberne CTR, HOFOR og VEKS har i fællesskab gennemført projektet Varmeplan Hovedstaden 3 i 2012-2014, som så på udviklingen af fjernvarmesystemet i hovedstadsområdet frem mod 2035 og 2050, herunder biomassens rolle, fjernvarmesystemets bidrag til indpasning af fluktuerende elproduktion og udviklingen ift. individuel forsyning og de fremtidige roller for kraftvarme- og affaldsforbrændingsanlæg i hovedstadsområdet.

Metode

Der er regnet på driftsoptimering af systemet og selskabs- og samfundsøkonomi for tre udviklingsspor/scenarier frem mod 2035. Basis for scenarierne er fire separate analyser:



Figur 1: Tilgang anvendt til udformning af 2035-scenarierne for hovedstadsområdets fjernvarmeforsyning.

Perspektivscenarierne afspejler forskellige udviklingsveje for energisystemet frem mod 2050 og undersøger den betydning samspillet mellem klimakrav, ressourcer, elmarked og fjernvarmeforsyningen vil have for fjernvarmeproduktionens sammensætning på lang sigt. Analyserne er baseret på en økonomisk optimeringsmodel, som under scenariernes forudsætninger og rammebetingelser, vælger de løsninger, som samlet set leverer billigst mulig el og varme.

Resultater

Både perspektivanalyserne for 2050 og investeringsoptimeringsanalyserne for 2035 finder, at der er god økonomi i en betydelig forøgelse af varmelagerkapaciteten, og at en varmelagerkapacitet på 6-7 gange den nuværende lagerkapacitet kan være økonomisk velbegyndt for varmesystemet i hovedstadsområdet frem mod 2050. Derfor anbefaler analysen, at mulighederne for udbygning af varmelagerkapaciteten undersøges nærmere, heriblandt passende lokaliteter i forhold til nettilslutning og pladsbehov.

Den Regionale Fjernvarmeanalyse

Efter VPH3's arbejde med at undersøge potentialerne for fjernvarmesystemets udvikling i hovedstadsområdet blev analyserne fulgt op med Den Regionale Fjernvarmeanalyse fra 2015, på foranledning af ti større fjernvarmeselskaber i Region Hovedstaden.

Formål med analysen

Den Regionale Fjernvarmeanalyse er en analyse af udbygningen af fjernvarmesystemet med varmeproduktions- og varmetransmissionsanlæg med særligt fokus på at identificere potentielle samarbejdsprojekter for fjernvarmeselskaberne, herunder i forbindelse med sammenkobling af eksisterende fjernvarmesystemer. Analysen dækkede perioden frem mod 2035.

Metode

Igennem projektet blev el- og varmemarkedsmodellen Balmorel anvendt til at optimere det sammenhængende fjernvarme- og elsystem, så investeringer i ny produktion-, transmission-, og lagerkapacitet fortages i det omfang, det ud fra en samlet systembetragtning er økonomisk attraktivt. En detaljeret model af regionens fjernvarmesystemer blev opbygget, og data blev valideret i grundig og gennemgående dialog med mange af regionens fjernvarmeselskaber. Som input til modellen indgik fjernvarmebehov, eksisterende og planlagte produktionsanlæg, varmelagre og varmetransmissionsanlæg samt brændsels- og CO₂-priser, tekniske og økonomiske data for nye anlæg, potentialer for vedvarende energi og energi/klimapolitiske målsætninger mv.

Analysen bestod af et grundscenarie for udviklingen i fjernvarmeproduktionen frem mod 2035 og tre følsomhedsanalyser. Modellen optimerer under de givne forudsætninger udviklingen ved at beregne, hvorvidt det kan betale sig at investere i nye fjernvarmeledninger mellem fjernvarmeområder og/eller nye kraftvarmeværker, kedler, varmepumper, solvarmeanlæg, geotermianlæg og/eller varmelagre. Modellen beregner også lastfordeling over året.

Resultater

Ligesom i VPH3 pegede Den Regionale Fjernvarmeanalyse på, at der er et betydeligt selskabsøkonomisk potentiale for varmelagerinvesteringer. Analysen viste derudover, at der både er økonomisk fornuft i at investere i sæsonvarmelagre (damvarmelagre) og korttidsvarmelagre (ståltanke). Endelig viste analysen, at der både er potentialer i at investere i varmelagre i det sammenhængende fjernvarmesystem i hovedstadsområdet, men også i flere af de decentrale områder, som ligger i den øvrige del af Region Hovedstaden.

Analysen viser, at varmelagre dels anvendes til at indpasse den fremtidige varierende varmeproduktion fra solvarmeanlæg, men også i høj grad til at optimere produktionen på kraftvarmeværker, varmepumper og elpatroner i forhold til variationer i elpris og varmebehov og til at reducere produktionen på spidslastanlæg.

I screeningen blev variationer i elpriser og varmebehov over døgnet og ugen repræsenteret på aggregeret niveau. Det betyder, at systemværdien af varmelagrene undervurderes i modellen. Varmelager-resultaterne skal derfor tages med forbehold. Mere detaljerede analyser med time-opløsning er nødvendigt for at kunne give et mere kvalificeret billede af varmelagrenes systemværdi.

Varmelagre var ikke fokus for analysen, og det var ikke et særskilt formål med analysen at se detaljeret på placeringen af varmelagre. Derfor blev der gjort nogle relativt simple antagelser om, hvor det var muligt at investere i varmelagre. Således blev det antaget, at der i CTR's, HOFOR's, VF's og VEKS's område (repræsenteret ved de centrale kraftværkspladser og på affaldsanlæggene) pga. pladsforhold alene kunne investeres i ståltanke. Her kunne modellen således ikke investere i sæsonvarmelagre. I de øvrige områder (inkl. de områder, som er eller blev forbundet til hovedstadsområdet) var det muligt at investere i både ståltanke og damvarmelagre.

Lagerinvesteringer i hovedstadsområdets fjernvarmesystem

Som vist i Tabel 2 foretager modellen betydelige investeringer i korttidsvarmelagre på de eksisterende kraftværkspladser på Amager og Avedøre (som repræsenterer de primære muligheder for investering i CTR, HOFOR og VEKS). Derudover investeres i sæsonvarmelagre i naboområderne til hovedstadsområdet, hvilket bl.a. skyldes antagelser om begrænsninger ift. pladskrav. Flere af naboområderne er forbundet til hovedstadsområdet med transmissionsledninger, og sæsonvarmelagrene vil derfor også blive udnyttet til at optimere varmeproduktionen på hovedstadsområdets anlæg. Således indikerer screeningen, at der i fjernvarmesystemet i hovedstadsområdet kan være økonomi i at investere i både korttidsvarmelagre og sæsonvarmelagre.

	Korttids- varmelagre (MWh)	Sæson- varmelagre (MWh)
Centrale kraftværkspladser (Amagerværket, Avedøreværket)	6.022	-
Nabo-områder til hovedstadsområdet (Vestforbrænding, DTU-HF og Smørum- nedre)	1.709	48.249
Øvrige større områder (Hillerød, Nordforbrænding, Køge m. fl.)	739	13.303
Mindre fjernvarmeområder (Frederikssund, Helsingø, Hornbæk m.fl.)	35	7.979
Total	8.504	69.531
Op/afladningskapacitet (MW)*	1.063	414

* Korttidsvarmelagre er antaget at have 8 timer for fuld op/afladning og sæsonvarmelagre 168 timer (1 uge) for fuld op/afladning. Det bestemmer relationen i mellem lagervolumenkapacitet og op/afladningskapacitet for hver af de to varmelagertyper, som modellen kan investere i (for yderligere forudsætninger om varmelagre se bilaget afsnit 4.11).

Tabel 2: Varmelagerinvesteringer i den regionale fjernvarmeanalyse frem mod 2035.

Geografisk placering af varmelagre

Som for Den Regionale Fjernvarmeanalyses øvrige investeringer i bl.a. produktionskapacitet, er der ikke lavet en detaljeret undersøgelse af lokaliteter til placering af varmelagre. Det er primært forudsætninger omkring begrænsninger på, hvor der kan investeres i de forskellige typer af lagre, der bestemmer, hvor lagerinvesteringerne finder sted. Således er det antaget, at der ikke på de store kraftværkspladser eller i den centrale del af området kan investeres i sæsonvarmelagre.

Overordnet set er der dog efter afvikling af dampnettet kun få væsentlige transmissionsbegrænsninger i hovedstadsområdets system, og hvis et lager har adgang til transmissionsnettet, er det derfor ikke så væsentligt, hvor i systemet det placeres. Dog er der en transmissionsbegrænsning ved Damhussøen, der særligt i vinterhalvåret betyder, at der er begrænsninger på overførsel mellem CTR's og VEKS's system. Da kapacitetsbalancen øst for Damhussøen er mere stram end vest for, kan der være lidt højere værdi af varmelagre øst for Damhussøen. Således viser modelberegningerne også, at ca. 2/3 af korttidslagerkapaciteten placeres på Amagerværket, mens den resterende tredjedel placeres på Avedøreværket. Denne fordel kan dog blive mindre ved fremtidige stigninger i forbruget eller lukning af grundlastanlæg (fx på Avedøreværket) vest for Damhussøen, eller ved udbygning med yderligere produktionskapacitet øst for Damhussøen.

Senere analyser for Vestforbrændings område

Analyser af udbygning af akkumulatortanke og spidslast i Vestforbrændings forsyningsområde indikerer værdi i at etablere 3.000 m³ lager (120 MWh). Værdien af et lager hænger dog sammen med hydrauliske begrænsninger i nettet.

Hvorfor et damvarmelager og hvorfor en stål-tank?

Damvarmelagre benyttes oftest som sæsonvarmelagre i forbindelse med solvarmeanlæg, men kan også i begrænset omfang (grundet der relativt lave effekt) bruges som korttidsvarmelager. Omvendt benyttes ståltanke til korttidsvarmelagring, der grundet den relativt høje effekt (i forhold til damvarmelagre), som ståltanke etableres med, kan skabe mulighed for at lagre og levere relativt meget varme (i forhold til damvarmelagre) på kort tid. Damvarmelagre kræver en del plads, da størrelsen af hensyn til pris og varmetab bør være over 50.000 m³ og højden er relativ lav (i forhold til ståltanke). Til gengæld har damvarmelagre en relativt lav investering pr. lagervolumen (i forhold til fx ståltanke) og skal pga. temperaturbegrænsninger tilsluttes på distributionsniveau. Ståltanke kan tryksættes, hvorved det varmemarked som tanken kan levere til øges betydeligt og energiindholdet i forhold til volumen i tanken forøges.

Etablering af et varmelager kan skabe værdi for det samlede fjernvarmesystem ved at:

- flytte varmeproduktion fra dyre varmeproduktionsanlæg til billigere produktionsanlæg (primært fra spidslast til kraftvarme),
- forbedre mulighederne for at udnytte variationer i elprisen så kraftvarmeanlæggene kan producere mere el, når elpriserne er høje, og varmepumper og elpatroner kan producere mere varme, når elprisen er lav eller negativ.
- forbedre mulighederne for at levere elsystemydelse.
- reducere start/stop af kraftvarmeværkerne.
- opretholde trykforskel mellem varm og kold side i fjernvarmesystemet (dP regulering) grundet ubalancer i produktion og forbrug. Det er billigere at lægge denne reservering på en ståltank frem for på et kraftvarmeværk.
- bidrage med opladning på tidspunkter, hvor varmeforbruget er lavt og afladning når varmebehovet stiger (fx sæsonlagring fra sommer til

vinter, hvor drift af de billigste produktionsanlæg om sommeren kan udnyttes). Denne mulighed anvendes primært ved damvarmelagre.

- reducere emissioner fra drivhusgasser, da fossil spidslast kan erstattes med fx biomasse-kraftvarme

En anden vinkel for forbrændingsanlæggene er muligheden for at strække revisionsperioden ved at "forlænge" lavsæsonen. Dermed kan der undgås op-hobning af affaldsmængder og undgås "komprimerede" vedligeholdelsesarbejder. Dette vil dog kræve varmelagre af en betydelig størrelse, væsentligt større end dem, som indtil videre er etableret i Danmark.

Valg af lokalitet for et varmelager

Der er en række forhold at tage i betragtning ved valg af placering for et damvarmelager, nogle af de vigtigste er:

- Størrelsen på distributionssystemet
- Plads, da et damvarmelager kræver et betydeligt areal.
- Omkostninger til køb af grund
- Tilslutningsmuligheder og afstand til eksisterende fjernvarmenet, samt at fjernvarmeledningen er i stand til at aftage varmekapaciteten
- Jord-, forurenings- og grundvandsforhold (grundvandsspejlet skal ligge lavt for at opnå en god dybde på lageret)
- Lokalplansforhold
- Lokal overskudsvarme- og solvarmeproduktion

Andre forhold, der bør tages i betragtning, kan være, hvis der findes lokale forsyningsområder med lavtemperatur fjernvarme, eller hvis der er lokale forsyningsområder, der af hydrauliske årsager har begrænset grundlastforsyning.

For en ståltank er nogle af de vigtigste forhold ved valg af placering:

- Størrelsen på distributionsnettet ved en atmosfærisk tank
- Tilslutningsmuligheder og afstand til eksisterende fjernvarmenet
- Lokalplansforhold

Damvarmelagerprojekter i hovedstadsområdet

Flere aktører har analyseret forskellige konkrete muligheder for varmelagre i hovedstadsområdet, heriblandt HOFOR, ARGO og VEKS, som bl.a. har undersøgt placeringmuligheder i Nordhavn, Roskilde og Høje Taastrup.

De følgende afsnit giver først en kort præsentation af de tre lokaliteter, som tidligere har været analyseret, hvorefter de forskellige forhold, som har betydning for valg af placering diskuteres.

Nordhavn

HOFOR har tidligere (i 2010 og igen i 2011) analyseret nytteværdien i et større vandvarmelager på 300.000 m³ i en nedlagt tørdok i Nordhavn. Den indledende analyse af systemværdi blev udarbejdet af COWI og Ea Energianalyse og viste et godt økonomisk potentiale. HOFOR fortsatte herefter undersøgelserne, der viste, at lagerets anlægsomkostninger blev så høje, særligt pga. høje tilslutningsomkostninger til fjernvarmenettet pga. den lange afstand ind til fjernvarmenettet, at systemnyttens ikke var tilstrækkelig til at finansiere investeringen. Derfor blev projektet ikke udviklet videre.



Figur 2: Placering af tørdok i Nordhavn.

Roskilde

I 2012 og 2015 har Rambøll på vegne af ARGO undersøgt økonomien ved etablering af et damvarmelager i Roskilde, hvor der også er set på egnede steder at placere lageret. Ea Energianalyse har efterfølgende for VEKS været med til at vurdere den samlede systemnytte ved etablering af et damvarmelager i Roskilde.

Der er i analysen fra Rambøll set på placering i en nedlagt grusgrav, hvor et lager på mellem 100.000 m³ og 600.000 m³ ville kunne tilsluttes distributionssiden ved Central Øst ved ARGO og/eller Hovedcentralen¹ (se Figur 3).

Vekslerkapaciteten mellem VEKS' transmissionssystem og Central Øst udgør ca. 40 MJ/s og mellem VEKS og Hovedcentralen ca. 70 MJ/s. Det er ikke i Rambøll analysen undersøgt om kapaciteten evt. kan øges ved udvidelse af veksleren.



Figur 3: Placering af damvarmelager i nedlagt grusgrav i Roskilde – udpeget af Roskilde kommune. Kilde: KARA / NOVEREN: Sæsonlager for Varme (2015), Rambøll, s. 7.

Tabellen nedenfor viser Rambøll analysens vurderede anlægsomkostninger for et sæsonvarmelager med en lagerstørrelse på 200.000 m³. Det fremgår, at investeringen blev vurderet til i alt 236 mio. kr., heraf udgjorde selve lageret 74 mio. kr., mens tilslutningen udgjorde 162 mio. kr. Tilslutningsomkostningerne er anslået ud fra målte afstande på et kort samt Rambølls erfaringspriser for ledninger. Der er set på tilslutning på distributionssiden ved hhv. Roskilde Forsynings Hovedcentral, Central Øst eller begge dele.

¹ Hovedcentralen er et tilslutningspunkt centralt i Roskilde (se **Fejl! Henvissningskilde ikke fundet.**). Central Øst kapacitet skønnes ikke stor nok.

Budgetpost	Estimat i mio. kr.
Grundkøb	4,7
Diverse Bygherreomkostninger	2,5
Vandindvinding til vandfyldning	2,8
Damvarmelageret	42,5
Bygninger	3,4
Vekslerinstallation og styring	7,0
Subtotal	63,0
Projektering, 5 %	3,2
Usikkerhed, 12 %	7,6
TOTAL	73,8
Tilslutningsomkostninger (inkl. projektering)	
Central Øst	19
Hovedcentralen	116
Pumper / vekslere og tilslutning	27
SAMLEDE OMKOSTNINGER	235,8

Tabel 3: Vurderede anlægsomkostninger for et varmelager på 200.000 m³ i Roskilde². Budgettet indeholder ikke omkostninger i forbindelse med eventuel VVM.

Ved et lager på 300.000 m³, anslås investeringen inden omkostninger til tilslutning at være på 94 mio. kr. og for et lager på 600.000 m³ vurderes investeringen til 160 mio. kr. Dog fremgår det, at det antages at der maksimalt kan etableres et lager på 300.000 m³. Det er ikke tydeligt, hvorfor lagerstørrelsen på 600.000 m³ er taget med, og hvorvidt det er en realistisk størrelse for et lager i Roskilde.

Med udgangspunkt i de forudsatte anlægsomkostninger, vurderer Rambøll rentabiliteten af et lager ud fra fem forskellige scenarier. I scenarie 1 og 2 tilsluttes lageret udelukkede distributionssiden ved Central Øst ved KARA/NOVEREN (ARGO), hvor lageret i scenarie 3 og 4 tilsluttes til både Central Øst og Hovedcentralen. I scenarie 5 tilsluttes lageret primærsiden i transmissionssystemet. Sidstnævnte forudsætter, at temperaturen efter lageret øges, hvilket nævnes at være forbundet med høje omkostninger, som ikke er medregnet i analysen (Figur 4).

² Rapporten fra Rambøll fremhæver usikkerhed ved anlægsomkostningerne og det er muligt, at omkostningerne ved etablering af rørledninger, pumper og vekslere kan reduceres, når der gennemføres mere detaljerede beregninger heraf.



Figur 4: Placering af damvarmelager i Roskilde

Samlet set udviser scenario 4 den bedste økonomi. I scenariet tilsluttes lageret både Central Øst og Hovedcentralen og fungerer ikke udelukkende som sæsonvarmelager, men har også mulighed for at fortrænge spidslast. Rentabiliteten er dog først positiv ved et lagervolumen på 600.000 m³, hvor de samlede investeringsomkostninger ender på 322 mio. kr.

Analysen konkluderer, at økonomien for lageret er bedst, når det ikke udelukkende fungerer som sæsonlager og det anbefales, at der foretages yderligere undersøgelser på baggrund af scenarie 4 og 5. Som nævnt, er det dog uklart, hvorvidt en lagervolumen på 600.000 m³ er realistisk. For scenarie 5 fremhæves det, at muligheden for at fortrænge spidslast forbedres væsentligt ved tilslutning til transmissionssystemet og at op- og afladningen forbedres i forhold til de øvrige scenarier.

Høje Taastrup

VEKS har i samarbejde med Høje Taastrup Fjernvarme a.m.b.a. undersøgt værdien ved at etablere et damvarmelager i Høje Taastrup, ikke langt fra det tidligere affaldsforbrændingsanlæg VEGA. Damvarmelageret forventes at kunne få en størrelse på 70.000 m³, lagerkapacitet på 3.300 MWh og en op- og afladningskapacitet på 30 MW. Investeringsomkostningen er ca. 75 mio. kr. inkl. tilslutning til fjernvarmenettet og påfyldning af vand. Man er langt i planlægningen af dette lager, og det forventes, at der tages investeringsbeslutning i april 2018.

Ea Energianalyse har bistået Høje Taastrup Fjernvarme og VEKS med analyser af nytteværdien af lageret. Analyserne viser en nytteværdi på 4-8 mio. kr./år afhængig af beregningsår og valg af forudsætninger. Denne værdi vurderes at

være tilstrækkelig til at kunne dække omkostningerne til investering og drift af lageret.

Analyserne viser endvidere, at den største værdi af lageret opnås, hvis lageret anvendes aktivt gennem hele året og således fungerer mere som et dags- og ugelager end et sæsonvarmelager. Således viser beregningerne, at lageret skal fyldes og tømmes 25-30 gange på et år for at blive anvendt bedst muligt. Dermed opnås værdien ved et aktivt, løbende samspil med det samlede system i hovedstadsområdet – og kun i begrænset omfang ved bedre udnyttelse af lokal varmeproduktion.



Figur 5: Placering af varmelager i Høje Taastrup (gul markering).

Sammenligning med andre projekter i Danmark

I nedenstående tabel er vist en oversigt over nogle af ovennævnte projekter sammenlignet med andre projekter i Danmark. Oversigten er lavet for at kunne foretage en sammenligning af størrelse, op- og afladecapacitet samt investeringsomkostninger. Alle data er dog ikke tilgængelige for alle lagrene, og det kan derfor være lidt vanskeligt at foretage sammenligningen fyldestgørende. Det fremgår dog, at lageret i Høje Taastrup er i den lavere ende størrelsesmæssigt, og at projekterne i Vestdanmark typisk har lidt lavere etableringsomkostninger end projekterne i hovedstadsområdet. Der foreligger dog kun i begrænset omfang data for tilslutningen af de etablerede damvarmelagre i

Vestdanmark, og for projekterne i hovedstadsområdet udgør denne del typisk over 50 %.

Sted og idriftsættelsesår	Pris (mio. kr.)	Pris kr./m ³	Tilslutningens andel af investering	Vandvolumen (m ³)	Kapacitet (MWh)	Op- og afladningseffekt (MW)
Ottrupgård, 1995 ³	1,68	1.120	?	1.500	43,5	0,390
Marstal, SUNSTORE 2, 2003 ⁴	5	500	?	10.000	638	6,51
Marstal, SUNSTORE 4, 2012 ⁵	19,9	266	Pris ekskl. tilslutning	75.000	6.960	10,5
Dronninglund, SUNSTORE 3, 2013 ⁶	17	283	Pris ekskl. tilslutning	60.000	5.570	26,1
Vojens, 2015	30,4	150 ⁷	?	203.000 ⁸	?	?
Gram, 2015	?	?	?	125.000 ⁹	?	?
Toftlund, 2017	20,1 ¹⁰	288	?	70.000 ¹¹	?	?
Nordhavn	280	933	Ca. 60 %	300.000	?	?
Høje Taastrup	75	1.071	Inkl. tilslutning – andel ukendt	70.000	3.300	30
Roskilde (Rambøll) 1	236	1.180	Ca. 69 %	200.000	?	99
Roskilde (Rambøll) 2	256	854	Ca. 63 %	300.000	?	99
Roskilde (Rambøll) 3	322	537	Ca. 50 %	600.000	?	99
Ståltank (teknologikatalog)	16	Ca. 1.600	Pris ekskl. tilslutning	10.000	700	50-100

Tabel 4: Oversigt over damvarmelagerprojekter i Danmark.

En sammenligning af damvarmelagrene i hovedstadsområdet viser som nævnt, at omkostningerne ligger relativt højt pga. lokale forhold og særligt pga. høje tilslutningsomkostninger. Sammenlignes de projekterne i hovedstadsområdet på tværs ser investeringerne pr. m³ ud til at ligge på nogenlunde samme niveau, dog med lidt lavere investering for de større lagre. Et større lager kræver dog et større afsætningsgrundlag for at være rentabelt, hvilket kan være en udfordring, når de tilsluttes på distributionsniveau.

³ Kilde: Udredning vedrørende varmelagringsteknologier og store varmepumper til brug i fjernvarmesystemet (2013). PlanEnergi, Teknologisk Institut, GEO, Grøn Energi: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Forskning_og_udvikling/udredning_om_varmelagringsteknologier_og_store_varmepumper_i_fjernvarmesystemet_nov_2013.pdf

⁴ Ibid

⁵ Ibid

⁶ Ibid

⁷ kilde: <https://ing.dk/artikel/verdens-stoerste-damvarmelager-indviet-i-voeens-176776>

⁸ Kilde: Damvarmelagre (2015). Rambøll: https://issuu.com/ramboll/docs/damvarmelagre_folder_spreads

⁹ Kilde: Damvarmelagre (2015). Rambøll

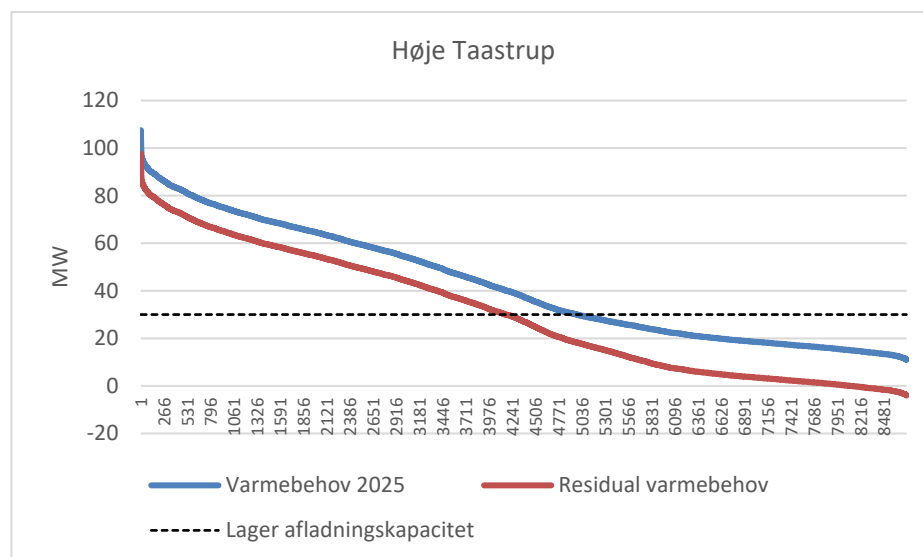
¹⁰ <http://www.toftlundfjernvarme.dk/media/2394262/Toftlund-Fjernvarme-Udvidelse-Solvarme-4-.pdf>

¹¹ Kilde: Damvarmelagre (2015). Rambøll

For at illustrere forskellen på omkostninger ved damvarmelagre og ståltanke er der også i tabellen inkluderet omkostninger for en ståltank fra Energistyrelsens Teknologikatalog. Det fremgår, at investeringer pr. m³ er væsentligt højere end for damvarmelagrene, men at forholdet mellem lagerkapacitet og op- og afladningskapacitet også er betydeligt højere.

Størrelsen på distributionssystemet

Et damvarmelager kan som tidligere beskrevet have stor værdi for det samlede fjernvarmesystem, men for at nytten kommer det samlede system til gode, skal forbrugets størrelse kunne matche lagerets afladningskapacitet og volumen. Størrelsen på distributionssystemet har derfor betydning for den nytte, som lageret vil tilføje til systemet, da lagerets udnyttelsesgrad begrænses, hvis ikke varmebehovet tillader afladning i det meste af året, samt hvis lagerets muligheder for afladning kan reduceres ved tvungen lokal produktion. Det kan være muligt at afsætte varme til transmissionssystemet, hvis temperaturforholdene om sommeren muliggør dette eller at booste lagertemperaturen med fx kedel til fremløbstemperaturen i transmissionssystemet, men det vil øge omkostningerne ved lagerløsningen, og er umiddelbart ikke rentabelt. Herudover vil en afsætning af varmen til returledningen i transmissionssystemet kunne reducere muligheden for brug af røggaskondensering fra de brændselsbaserede anlæg i systemet.



Figur 6: Varmebehov og residualt varmebehov (varmebehov minus lokal produktion) i Høje Taastrup sammenlignet med lagerets ladekapacitet.

I ovenstående graf vises som eksempel en varighedskurve for Høje Taastrups fjernvarmebehov samt det residuale varmebehov, dvs. varmebehovet fratrukket den lokale varmeproduktion. Det ses, at i ca. halvdelen af året findes ingen begrænsning på afladningsmulighederne for det foreslåede lager, og derved kan der opnås fuldt udnytte af lagerets afladningsmulighed på 30 MW.

Grafen viser også, at i den sidste halvdel af året, den varmeste tid på året, vil forbrugets størrelse påvirke nytten af lageret, da lagerets fulde kapacitet ikke kan afsættes til distributionssystemet, og derfor vil det kræve afsætning til transmissionsnettet i sommerperioden.

Forbruget bør derfor kunne matche lagerets kapacitet og effekt, hvilket peger på, at et damvarmelager bør placeres i et af følgende større systemer i hovedstadsområdet (distributionsnet med en levering an net på mere end ca. 200.000 MWh):

- HOFOR
- Frederiksberg Fjernvarme
- Roskilde Varme
- Gentofte Fjernvarme
- Gladsaxe Fjernvarme
- Høje Taastrup Fjernvarme
- Albertslund Forsyning
- Brøndby Fjernvarme

I HOFORs og Frederiksbergs systemer er der tæt bebyggelse, og det er derfor vanskeligt at finde gode placeringer for et damvarmelager her. Ovenstående screening efter områdernes størrelse peger derfor på, at et damvarmelager bedst placeres i Gentofte, Gladsaxe, Roskilde, Høje Taastrup, Albertslund eller Brøndby.

Tilslutningsmuligheder

Tilslutningsmuligheder til fjernvarmenettet har betydning for både lagerets nytte og omkostningsniveau.

Nordhavn

I Nordhavn-projektet blev lageret placeret på distributionsniveau med varmeleverance til Østerbro-nettet og Nordhavn. For at nå ind til Østerbro-nettet skulle der lægges en fjernvarmeledning helt ind til Svanemølleværket, hvilket er 2,5-3 km, og noget af vejen skal det krydse et havnebassin. Varmelageret blev vurderet til at koste ca. 110 mio. kr., mens net tilslutningen inkl. vekslere

og pumper blev vurderet til ca. 170 mio. kr. pga. det lange og dyre lednings-trace. Distributionssystemet viste dog stort potentiale, da analyserne viste, at nytten blev øget betragteligt med størrelsen af op/afladekapaciteten

Roskilde

I Roskilde har man set på tilslutning til distributionssiden ved Roskilde Forsynings Hovedcentral og Central Øst ved ARGO. For sidstnævnte, som er tættere geografisk placeret på det forudsatte område (se Figur 3), anslår Rambøll tilslutningsomkostningerne (inkl. projektering mv.) til at være på 19 mio. kr., hvor omkostningerne for tilslutning til Hovedcentralen vurderes noget højere, på 116 mio. kr. I alt er omkostninger til tilslutning 135 mio. kr. Omkostninger til pumper/vekslere anslås til 27 mio. kr. (se Tabel 3) ¹².

En alternativ mulighed, som fremhæves i Rambølls analyse, er at etablere to lagre frem for ét. Muligheden behandles dog ikke nærmere, om end det nævnes at opførelsen af et ekstra lager tæt ved Hovedcentralen vil reducere tilslutningsomkostningerne, som ellers er høje i situationen, hvor det oprindelige lager skal tilsluttes Hovedcentralen (116 mio.).

Sidst, finder Ea Energianalyse en positiv driftsnytted ved at tilslutte lageret direkte til transmissionssystemet ved KN / Central Øst via en ny veksler. Omkostningsniveauet, bl.a. ved at øge temperaturen, er dog ukendt.

Høje Taastrup

I Høje Taastrup har man fundet en placering ikke langt fra det tidligere affaldsforbrændingsanlæg VEGA. Her vil varmelageret relativt let kunne tilsluttes VEKS' transmissionsnet, så det kan aftage varme fra det overordnede net, men det vil hovedsageligt levere varme til Høje Taastrup Fjernvarmes distributionsnet. Omkostninger til tilslutningen til fjernvarmenettet er ikke oplyst.

Amagerværket

I et analyseprojekt om mulighederne for varmelagring i København har analyserne vist, at en ståltank der tilsluttes det eksisterende op/afladeudstyr for den eksisterende ståltank på Amagerværket medfører en besparelse til tilslutningsomkostningerne på ca. 20-25 %.

Plads og en billig grund

Foruden adgang til et stort distributionsområde og muligheder for billig tilslutning til fjernvarmenettet er det naturligvis afgørende, at der kan findes plads til damvarmelageret, og at grunden er billig. Dette er naturligvis også vigtigt

¹² Omkostningerne for tilslutning af Roskilde Forsyning net er anslået ud fra målte afstande på et kort samt Rambølls erfaringspriser for ledninger (Kilde: KARA / NOVEREN: Sæsonlager for Varme (2015), Rambøll).

for en ståltank, men er ikke lige så udslagsgivende grundet det mindre pladsbehov.

Der indgår allerede to varmelagre (ståltanke med en samlet kapacitet på ca. 3.000 MWh) i det sammenhængende fjernvarmesystem i hovedstadsområdet, et på Avedøreværket og et på Amagerværket. Den Regionale Fjernvarmeanalyse vurderede, at det pga. pladsmangel, ikke var muligt at etablere sæsonvarmelagre (damvarmelagre) på Avedøreværket og Amagerværket. Begge steder er der imidlertid eksisterende op/afladeudstyr, hvor der kan tilsluttes mere kapacitet i form af en ny ståltank. HOFOR har analyseret nytten ved at tilslutte en ny ståltank på henholdsvis Amagerværket og Avedøreværket. Analyserne viser, at der er størst nytte ved at etablere en ny ståltank på Amagerværket.

HOFOR har foretaget en analyse af mulighederne for varmelagre i HOFORs forsyningsområde. Her har HOFOR ikke kunne identificere egnede placeringer for damvarmelagre i deres forsyningsområde og har derfor rettet fokus mod etablering af ståltanke, som har et betydeligt mindre pladsbehov. VEKS har i højere grad set på damvarmelagre, hvilket bl.a. hænger sammen med, at der er bedre placeringsmuligheder for damvarmelagre i VEKS's område ude i distributionssystemerne.

Både i Nordhavn, Roskilde og Høje Taastrup er der set på potentielle arealer, som har plads nok til et damvarmelager, men for mere tætbefolkede distributionsnet, er muligheder ofte meget begrænsede. Det vurderes fx, at både pris og pladsmangel kan være en afgørende begrænsning i Frederiksberg og Københavns Kommune.

I fx Høje Taastrup er omkostninger til køb af grund, arkæologi og byggemodning for et damlager på 70.000 m² vurderet til 2 mio. kr., hvilket kun udgør en lille del af den samlede projektsum. Ligeledes er samme omkostning for et damlager på 200.000 m² i Roskilde vurderet til 4,9 mio. kr.

VEKS har for nylig igangsat en undersøgelse hos GEO, som gennemgår geografiske visninger af jordbundsforhold på 34 lokaliteter kan være med til at pege på særligt favorable lokaliteter.

CTR har foretaget en lignende undersøgelse, og i CTR's GEO kortlægning er der udpeget nogle placeringer som mulige, men det er i realiteten svært at bruge de grunde, der ses som mulige lokaliteter for et lager: I CTR's tæt bebyggede områder er det nødvendigt, at man kan anvende grunden, efter man

har bygget lageret, men dette kræver så et fast låg, som vil fordyre projektet væsentligt. Det er dog et felt, hvor der pt. er en udvikling i gang, f.eks. kigger DTU pt. i forbindelse med projektet GIGAstorage på en betonblanding som kan bruge som fast låg.

Jord-, forurenings- og grundvandsforhold

Udover at der skal findes plads til et lager, og at grunden skal have en rimelig pris, er det også vigtigt at få afdækket jord-, forurenings- og grundvandsforhold.

I Roskilde var den indledende idé at placere lageret i et af de udgravede grusområder i Roskilde, hvilket i flere tilfælde ikke viste sig muligt, da det rette grundvandsspejl ikke var til stede, eftersom at gruset hovedsageligt er udvundet betydeligt under grundvandsspejlet. Den grund, som blev udpeget (Figur 3), havde ifølge kommunen gode grundvandsforhold og ingen forureningsproblemer.

Som eksempler kan nævnes, at analysen af et potentielt lager i Nordhavn har ikke set på lokalitetens jord-, forurenings- og grundvandsforhold, da lageret var tænkt etableret i en gammel tørdok i beton. Arealet i Roskilde er udpeget af kommunen og har tidligere været anvendt til grusgrav. Ifølge kommunen er der ikke problemer med forurening.