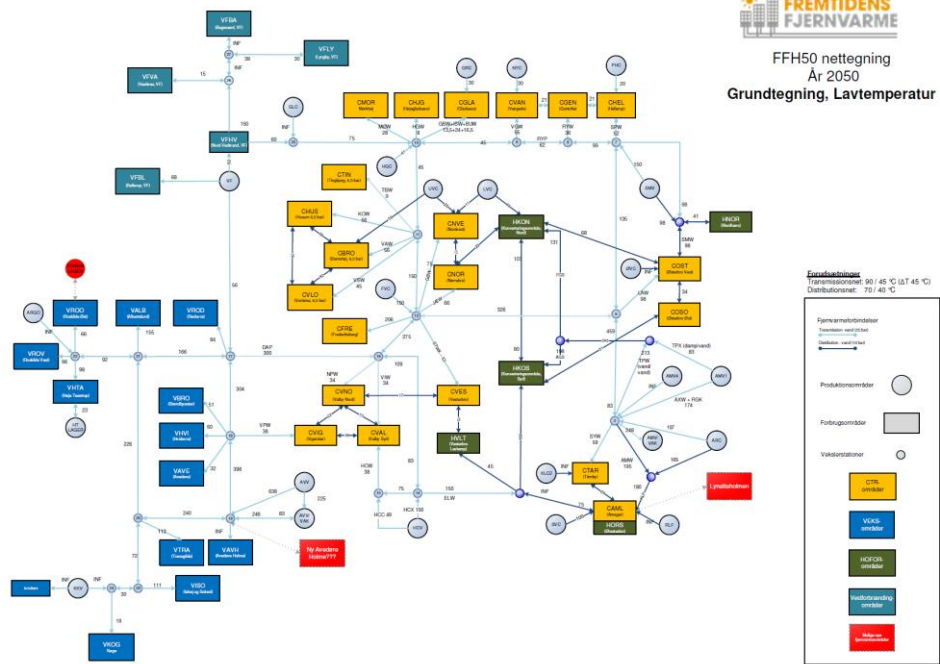


INTEGRATE 2, Deliverable 2.2



juni 2024



INTEGRATE 2-projektet har projektnummer:
64020-2025 hos EUDP

Deliverable 2.2 Guidelines for modeling and operation of thermal storages

Deltagere i INTEGRATE 2-projektet:

- PlanEnergi – Projektleder
- Vestegnens Kraftvarmeselskab I/S (VEKS)
- Ea Energianalyse
- Hjørring kommune
- JKU Linz

Forfatter på D2.2:

Jesper Troelsgaard Werling

E: jw@eaea.dk



Indledning

I INTEGRATE 2-projektet har formålet været at udvikle løsninger på termisk langtidslagring, som kan integreres i alle typer af eksisterende fjernvarme- og fjernkølesystemer. Lagrene udvikles, så de kan have funktioner både som lagre for overskudsvarme, for power to heat, som lager for solvarme, som lager til fjernkøling og til optimering af kraftvarmeproduktion.

Udviklingen har fundet sted i to cases i henholdsvis København og Hjørring/Hirtshals.

INTEGRATE 2 projektet har desuden bidraget til udvikling af metoder til aktiv inddragelse af aktører og forbrugere i planlægning og implementering af store varmelagre, udvikling af mere præcis beregningssoftware for optimal integration af varmelagre i fjernvarme og som regulering af elproduktion samt udvikling af tekniske løsninger til damvarmelagre, så de kan anvendes i alle typer af fjernvarmesystemer.

Projektets arbejdsplan 2 "Technological and systemic innovation" har omhandlet udvikling af teknologi og af metoder til systemanalyse af indpasning af damvarmelagre i fjernvarmesystemer. Ea Energianalyse har været ansvarlig for udvikling af modelværktøjer til analyse af damvarmelagre. Som en del af arbejdsplanen har Ea videreudviklet energisystemmodellen Balmorel til analyse af damvarmelagre på regionalt og lokalt niveau på en række områder. Der har bl.a. været fokus på samspil mellem temperaturbegrænsninger i varmelageret og varierende temperaturer i fjernvarmenet over året, samspil med varmeproduktionsteknologier og samspil med elmarkedet.

Dette notat giver en beskrivelse af den udførte modeludvikling i projektet.



Overblik over modelforbedringer i Balmorel

I projektet er der gennemført en række modelforbedringer af Balmorel-modellen, så drift og værdi af store damvarmelagre kan analyseres mere præcist. Følgende modelforbedringer er gennemført:

- Repræsentation af samspil mellem lager, distributionsnet og transmissionsnet med varierende temperaturer og produktionsanlæg (med Roskildesystemet som case)
- Repræsentation af varierende COP-værdier for varmepumper
- Repræsentation og modellering af forskellige vejrår
- Repræsentation af temperatursænkninger i varmenettet

Repræsentation af samspil mellem lager, distributionsnet og transmissionsnet med varierende temperaturer og produktionsanlæg (med Roskildesystemet som case)

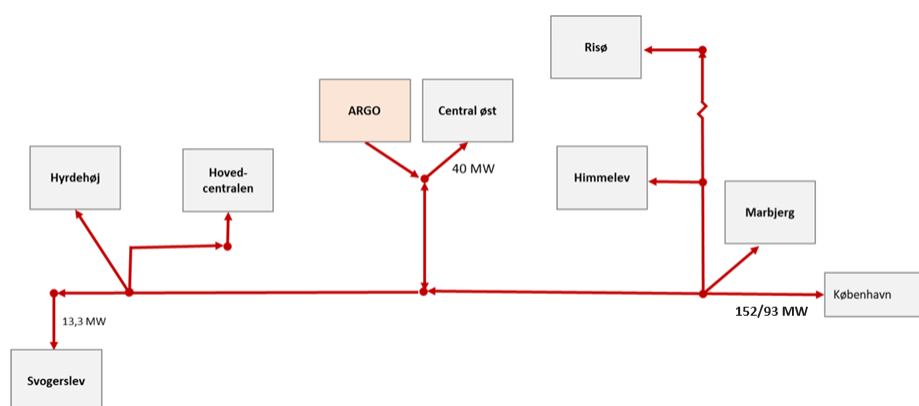
Der er opstillet en model for det lokale varmesystem i Roskilde, som lageret vil skulle indpasses i, samt for opkoblingen til transmissionssystemet mod VEKS. Der er udviklet en udvidet modellering af fjernvarmenettet i Roskilde, med større detaljeringsgrad. Som et væsentligt grundlag for analyserne er der opstillet forudsætninger for distributionssystemet i Roskilde på basis af analyser udført af Rambøll samt input fra bl.a. ARGO, Fors og VEKS. I Roskilde kobles lageret dels direkte på en del af distributionssystemet og dels på transmissionssystemet, der fordeler varmen til distributionssystemerne i Roskilde. Modellen tager hensyn til, at temperaturen i transmissionsnettet i de koldeste måneder er højere end den temperatur, som lageret kan levere, og at det derfor kan være nødvendigt med en opblanding med varme fra ARGO, der forsyner ved en højere temperatur.

Roskilde består i dag af 7 varmekonsumsområder: Hovedcentralen, Central øst, Marbjerg, Svogerslev, Hyrdehøj, Risø og Himmelev. Områderne er alle forbundet til et fælles transmissionsnet, men ikke med hinanden.

I Roskilde ligger ARGO forbrændingsanlæg som forsyner Roskildeområdet med fjernvarme, og samtidig har mulighed for at levere varme ind mod København vha. det eksisterende transmissionsnet.

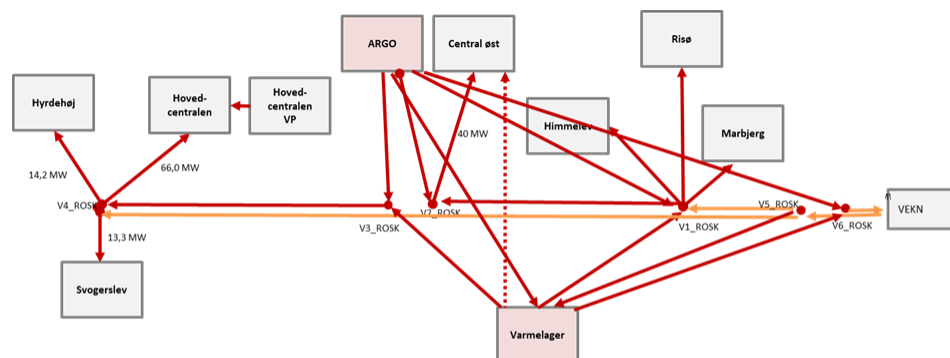
Den mindste rørdimension i transmissionsforbindelsen til København er Ø500. På basis af input fra VEKS er det estimeret, at ved en gennemsnitlig temperaturdifference på 50°C er det muligt at overføre 152 MW i vintermånederne og 93 MW i den øvrige del af året.

Som nævnt består Roskildes fjernvarmenet af 7 individuelle forbrugsområder. Nedenstående figur er et simplificeret blokdiagram af områderne og deres forbindelser. Pilene indikerer, hvilken retning varme kan overføres. Områdernes varmevekslere er ikke begrænsende, forstået på den måde, at de har en tilstrækkelig kapacitet til at forsyne områdets spidsvarmebehov, med undtagelse af Svogerslevs varmeveksler, som har en kapacitet på 13,3 MW, mens spidsvarmebehovet forventes at være 13,8 MW.



Figur 1: Simplificeret systemtegning for fjernvarmesystemet i Roskilde. Linjerne repræsenterer transmissionsnettet og forbindelserne hertil.

Rambøll har i en analyse set på 5 scenarier for tilslutning af damvarmelageret til fjernvarmenettet og har vurderet de mulige varmeafsetningsmuligheder og investeringsomkostninger i hvert scenarie. Analysens scenarie 5 blev vurderet som det bedste, og det er derfor dette, som er anvendt i modelanalyserne i Balmorel. I scenarie 5 tilsluttes lageret transmissionsnettet i Roskilde, transmissionsnettet mod det øvrige VEKS samt med en direkte tilslutning til distributionsnettet Central Øst. Modelleringen af fjernvarmesystemet i Roskilde i Balmorel med etablering af lageret er vist i figuren nedenfor.



Figur 2: Balmores repræsentation af varmesystemet i Roskilde med etablering af damvarmelageret.

Der er i projektet regnet med, at damvarmelageret kan levere varme ved 85 °C. I dele af året er temperaturkravet i transmissionsnettet imidlertid højere, og det kan derfor være nødvendigt at opblende vand fra damvarmelageret med vand fra ARGO for at opnå den nødvendige fremløbs-temperatur. Rambøll har foretaget hydrauliske beregninger af nettet i Roskilde, der viser, at temperaturkravet i transmissionsnettet er 100 °C i de 400 koldeste timer, 90 °C i de næste 2.200 timer (1.300 timer mod Hovedcentralen, Hyrdehøj og Svogerslev), og 85 °C resten af året.

Derfor gælder der følgende krav til varmeleverance fra damvarmelageret og ARGO til transmissionsnettet i Roskilde:

- 400 koldeste timer:
 - Temperatur på transmissionsnet: 100 °C
 - Min. 65% ARGO / Maks. 35% damvarmelager
- 400 til 1700/2600 timer:
 - Temperatur på transmissionsnet: 90 °C
 - Min. 27% ARGO / Maks. 73% damvarmelager

Mod VEKS er der regnet med, at temperaturkravet er 105 °C. Derfor gælder der følgende krav til produktionen fra damvarmelageret og ARGO ved forsyning af transmissionsnettet mod det øvrige system i VEKS:

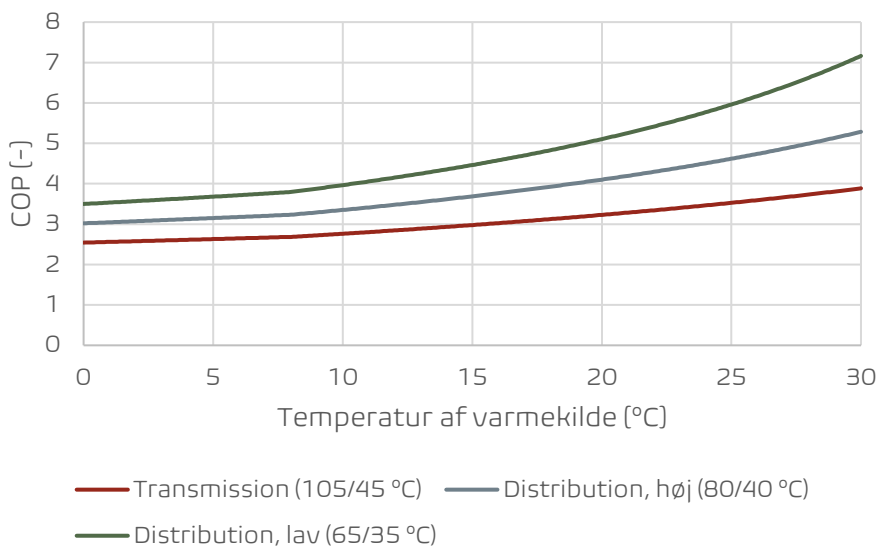
- Temperatur på transmissionsnet: 105 °C
- Min. 79% ARGO / Maks. 21% damvarmelager



Repræsentation af varierende COP-værdier for varmepumper

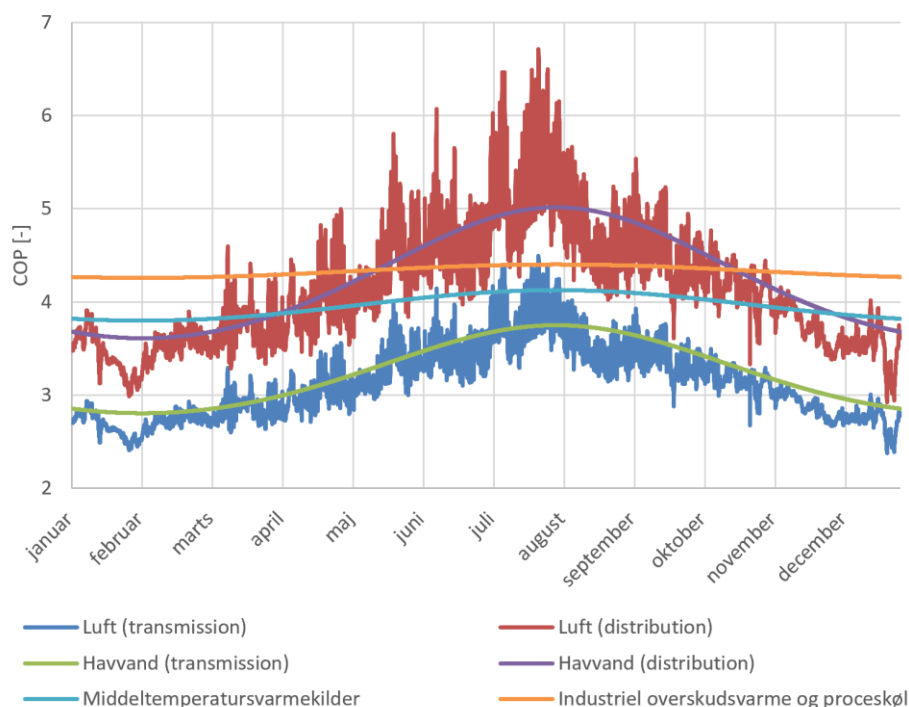
Varmepumper installeres med forskellige varmekilder: Luft, havvand, søvand, grundvand, spildevand, drikkevand og industriel overskudsvarme, som har forskellige tekniske og økonomiske udfordringer. Ikke alle varmekilder er tilgængelige og/eller relevante i forskellige dele af fjernvarmesystemet, hvilket gør det vanskeligt at skitsere en generel varmepumpeløsning for fjernvarmen som helhed. Her er man nødt til at tage hensyn til lokale forhold. Geotermi anvender også varmepumper som en del af den samlede, tekniske løsning.

Ved eldrevne varmepumper drives processen af en elektrisk kompressor, hvor det meste af energiforbruget frigives som brugbar varme. Eldrevne varmepumper har typisk en COP-værdi mellem tre og fire. COP-værdien afhænger i høj grad af temperaturforskellen på varmekilden og fjernvarmen, hvor det gælder, at jo lavere temperaturforskel jo højere COP. Figuren nedenfor illustrerer forholdet mellem COP og temperaturforskel, hvor temperaturen af varmekilden varieres og fjernvarmetemperaturen holdes konstant. Der antages en Lorentz-virkningsgrad på 55 % og fast temperatursænkning af varmekilden på 10 °C dog med en minimumudgangstemperatur på -2 °C.



Figur 3: Forhold mellem COP-værdi og temperatur af varmekilde i forhold til varierende fjernvarmetemperaturer. [Kilde: Egne beregninger]

Ovenstående betyder, at COP-værdien varierer hen over året, hvilket er vigtigt at repræsentere for at få afspejlet varmeproduktionen korrekt. Figuren nedenfor viser beregnede variationer af COP-værdier over året.



Figur 4: Variation af COP-værdier over året.

Varmepumper er en central del af fremtidens fjernvarme. En præcis modellering af varmepumpers tekniske egenskaber er derfor vigtig for at kunne forstå samspillet med andre varmeteknologier, herunder damvarmelagre. I løbet af projektet er Balmorel blevet udviklet til at kunne repræsentere timebaserede variationer af COP-værdier for en lang række teknologier over året. Modellen er udviklet, så COP-værdi beregnes på basis af input om kildetemperaturer og fjernvarmetemperaturer på timebasis, og driften optimeres ift. disse temperaturer.

Repræsentation og modellering af forskellige vejrår

Fremtidens energisystemer bliver langt mere vejrfafhængige i takt med at vind og sol udbygges på elproduktionssiden. Det giver markante variationer i elprisen i løbet af et normalt vejrår. Samtidig pågår en elektrificering af varmeproduktionen med elkedler og varmepumper som gør at



fjernvarmesystemerne ofte går fra at være netto elproducenter til netto elforbrugere. Et varmelager kan bruges til elprisoptimering af både elkøb til varmepumper/elkedler og elsalg fra kraftvarmeværker. Varmelagre kan derfor gøre fjernvarmesystemerne mindre sårbare over for variationer i vejrforhold og resulterende elpriser.

Typisk modelleres et enkelt vejrår baseret på gennemsnitlige vejrforhold. Selvom klimafremskrivninger viser, at vejret gennemsnitligt bliver varmere, så vil der imidlertid stadig være variationer mellem forskellige vejrår. Man kan eksempelvis forestille sig, at et koldt vejrår giver særlige udfordringer i et system der er dimensioneret til at levere varme i et normalår.

INTEGRATE 2-projektet har været med til at etablere arbejdsmetoder til at håndtere variationer af varmebehovet i forskellige vejrår. I projektet har der som en del af analyserne været fokus på at analysere konsekvenser for damvarmelagres drift og økonomi i forskellige vejrår. Dvs. påvirkning af om der er lavt eller højt varmeforbrug, og om varmeforbrugets variation hen over året har betydning.

Der er derfor gennemført statistiske analyser af forskellige vejrår, og repræsentative klimaår er udvalgt til referenceberegninger. Dernæst er en række særligt udfordrende og særligt gunstige vejrår udvalgt. Modellen er tilpasset, så disse alternative vejrår kan repræsenteres.

Repræsentation af temperatursænkninger i varmenettet

Det er væsentligt for driften af varmeproduktionsteknologier og dermed deres effektivitet og omkostninger, hvilken temperatur som varmen skal leveres ved. Det gælder særligt, når varmepumper skal indpasses i fremtidens fjernvarmesystem. For at reducere varmetab og forbedre effektiviteten af varmeproduktionsanlæg så arbejder mange fjernvarmeselskaber med sænkning af temperaturer i nettene. Sænkning af temperaturer har også indflydelse på overførselskapaciteten i varmenettet. Samlet set har temperaturændringer indflydelse på drift og nytteværdi af varmelagre. Derfor er der i Balmorel foretaget en udvikling, så forskellige temperaturer i nettet kan repræsenteres. Det omhandler dels modellering af COP på varmepumper, som er beskrevet ovenfor, og dels modellering af overførselskapaciteter i fjernvarmenettene. Damvarmelagre kan typisk levere varme ved temperaturer lavere end transmissionstemperaturer. For at modellere indpasningen af damvarmelagre er det derfor nødvendigt med en

