

Inspirationskatalog

for store varmepumper

Oktober 2022

DIN Forsyning



Fjernvarme Fyn



Kalundborg forsyning



Udarbejdet af Grøn Energi

Udarbejdet af:



Udarbejdet af:



Dansk Fjernvarme
Alex Fredslund
afr@danskfjernvarme.dk

Dansk Fjernvarme
Casper Andersen
can@danskfjernvarme.dk

Dansk Fjernvarme
John Elmertoft
joe@danskfjernvarme.dk



DFP
Jørgen Risom
jri@dfp.dk

Forord

Dette inspirationskatalog er et supplement til det inspirationskatalog, som blev udgivet i 2017 på opdrag fra Energistyrelsen. Inspirationskataloget indeholder beskrivelser af konkrete anvendelser af varmepumper i danske fjernvarmesystemer. Fokus i inspirationskataloget er at vise de forskellige anvendelsesmuligheder, der er for varmepumper, samt at sætte fokus på de mange forskellige varmekilder en varmepumpe kan anvende. I dette supplement er der tilføjet detaljerede beskrivelser af fire (fem) nye cases:

- Kalundborg forsyning, spildevand
- Fjernvarme Fyn, overskudsvarme datacenter
- DIN Forsyning, havvand

Inspirationskataloget hører sammen med en drejebog. Drejebogen og inspirationskataloget kan læses som separate dokumenter.

Målgruppen for drejebogen og inspirationskataloget er primært fjernvarmeværker (driftsledere, direktører og bestyrelser) og varmeplanlæggere i kommunerne. De vil også kunne fungere som et nyttigt værktøj for rådgivere, leverandører af energianlæg samt personer og virksomheder, der har interesse for varmepumper

En afgørende parameter i forhold til varmepumper er hvilke varmekilder, der er til rådighed. Derfor er der i inspirationskataloget fokuseret på at medtage forskellige varmekilder. De forskellige typer af varmekilder er desuden beskrevet i drejebogens [kapitel 2](#).

Indholdsfortegnelse

Forord	3
1. Indledning	6
2. Cases	8
2.1 Fjernvarme Fyn - Overskudsvarmepumpe	8
2.2 Kalundborg Forsyning - Spildevandsvarmepumpe	12
2.3 DIN Forsyning - Havvandsvarmepumpe (under opførelse)	17
3. El tilslutning	19
3.1 Generelt om tilslutningsniveau	19
3.2 De tre tilslutningsformer	20
3.3 Udetid	20
3.4 Planfase	20
3.5 Nettariffer	21
3.6 Udvikling af afgifter og tariffer	22
4. Afrimning	24
4.1 Der findes flere muligheder for afrimning	24
4.2 Væskeafrimning giver bedre driftøkonomi	25
4.3 Strategi for afrimning	25
4.4 Erfaringer	25
4.5 Fordele/ulemper ved varmekilde	27
5. Kølemidler	29
5.1 Kuldioxid - CO ₂	30
5.2 Ammoniak	31

5.3 IsoButan	31
5.4 Propan.....	32
5.5 R1234ze (syntetisk kølemiddel)	32

1. Indledning

Dette inspirationskatalog supplerer “Inspirationskatalog for store varmepumpeprojekter i fjernvarmesystemet”. Inspirationskataloget beskriver idriftsatte varmepumper i danske fjernvarmesystemer med det formål at gøre erfaringer med varmepumper mere tilgængelige for branchen og dermed bidrage til en øget udbredelse af varmepumper i fjernvarmesystemet. Inspirationskataloget indeholder detaljerede beskrivelser af nogle danske varmepumpeprojekter. Beskrivelserne følger samme skabelon for at gøre beskrivelserne overskuelige og nemme at sammenligne. De detaljerede beskrivelser indeholder:

- Baggrund
- Information om systemet
- Driftserfaringer
- Organisation/ejerskab
- Teknik og specifikationer
- Budget og økonomi

Eksemplerne er beskrevet så kort som muligt, med fokus på tekniske og økonomiske forhold i hvert tilfælde. For at eksemplerne bedst beskriver de økonomiske forhold på en sammenlignelig måde, er der så vidt muligt brugt standardiserede el- og brændselspriser. Disse forudsætninger er fælles med antagelserne anvendt i den tilhørende drejebog . Reelt varierer el- og brændselspriserne i de enkelte tilfælde, og eksemplerne viser derfor ikke den eksakte økonomi i løsningerne, men giver et billede af, hvordan økonomien vil være under de givne forudsætninger.

Derudover er der lagt vægt på at beskrive nogle af de vigtigste erfaringer fra gennemførelsen af varmepumpeprojekterne. Dette giver en erfaringsudveksling som kan være værdifuld for kommende varmepumpeprojekter.

Inspirationskataloget spænder bredt over varmekilderne og varmepumpetyper, og det har fokus på de konkrete tal og erfaringer fra de beskrevne cases. Tabel 1.1 giver et overblik over de varmepumpeanlæg, som er beskrevet detaljeret i inspirationskataloget.

Case	Størrelse [MW]	Varmekilde	COP	Varmeproduktionspris [kr./MWh]	Investering [mio. kr.]	Simpel tilbagebetalings tid [år]
Fjernvarme Fyn	19	Overskudsvarme	4,4		215	
Kalundborg Forsyning	10	Spildevand	4,5	156		2,7
DIN Forsyning	50	Havvand	3,7	ej oplyst	ej oplyst	ej oplyst

2. Cases

2.1 Fjernvarme Fyn – overskudsvarmevarmepumpe

2.1.1 Baggrund

Fjernvarme Fyn arbejder målrettet mod at udfase fossile brændsler som benyttes til fjernvarmeproduktion og hermed reducere CO₂ og det er besluttet at udfase det kulfyrede anlæg med udgangen af 1. kvartal 2023.

Med Facebook etablering af sit datacenter i Odense fik Fjernvarme Fyn mulighed for at producere fjernvarme på et varmepumpeanlæg baseret på overskudsvarme fra køling af serverne hos Facebooks datacenter.

Dialogen om udnyttelse af overskudsvarmen fra Facebook blev påbegyndt i 2015 og aftalen underskrevet medio 2017 hvorefter byggeriet af Tietgenbyens Varmecentral (TBV) blev påbegyndt i 2018.

Fjernvarmeværk	Tietgenbyens Varmecentral, TBV-1
Kontaktperson	Kenneth Jensen - Fjernvarme Fyn
Rådgiver	Rambøll
Leverandør af varmepumpe	Johnson Controls
Type	9 stk. skruekompressorer på ammoniak, fabr. Frick/JCI
Installations år	2019
Årligt antal fuldlasttimer	5.000-7.000
Varmekilde	Overskudsvarme fra datacenter
Nominel varmeydelse	23,9 MW
Nominel COP	4,4
Fjernvarme opvarmes fra-til	40-75°C
Varmekilde afkøles fra-til	27-15 °C

Fjernvarmeværk	Tietgenbyens Varmecentral, TBV-2
Kontaktperson	Kenneth Jensen - Fjernvarme Fyn
Rådgiver	Rambøll
Leverandør af varmepumpe	IES/Victor
Type	3 stk. skruekompressorer + 2 stk. stempelkompressor på ammoniak. Fabr. Mayekawa MYCOM
Installations år	2020
Årligt antal fuldlasttimer	5.000-7.000
Varmekilde	Overskudsvarme fra datacenter
Nominel varmeydelse	20,7 MW
Nominel COP	4,9
Fjernvarme opvarmes fra-til	40-75°C



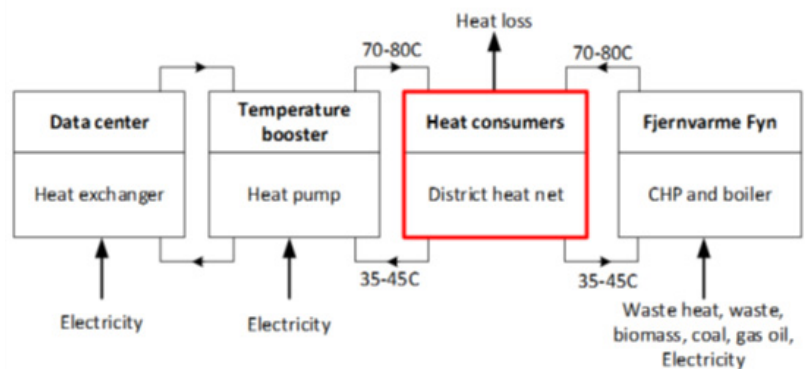
Tietgenbyens varmecentral (TBV).

2.1.2 Systemer

Fjernvarme Fyn leverer varme til mere end 100.000 boliger, industrivirksomheder og institutioner i Odense og omegn. Produktionen fra Tietgen-

byens Varmecentral dækker ca. 11.000 husstandes forbrug.

Den årlige varmeproduktion hos Fjernvarme Fyn er på ca. 160.000 MWh, hvoraf Tietgenbyens Varmecentral leverer ca. 7%.



Figur 1: Varmepumpeanlæggets opbygning og samspil med øvrige produktionsanlæg.

Fjernvarme Fyn står for den daglige drift af Tietgenbyens Varmecentral.

Fjernvarme Fyn producerer udover varme på TBV fjernvarme på følgende anlæg:

- Gaskedler: Decentrale gas og oliekedler på varmecentraler indenfor forsyningsområdet
- KV-anlæg:
 - Kul: FYV 7 (Fynsværket blok 7): Varme 490/610 MW + el 322/376 MW
 - Halm: FYV 8 (Fynsværket blok 8): Varme 88/120 MW + el 32 MW
 - Affald: FFA: Varme 105 MW + el 20 MW
 - Flis: DKV (Dalum Kraftvarme): Varme ca. 42 MW + el ca. 7 MW
 - Elkedler: 100 MW

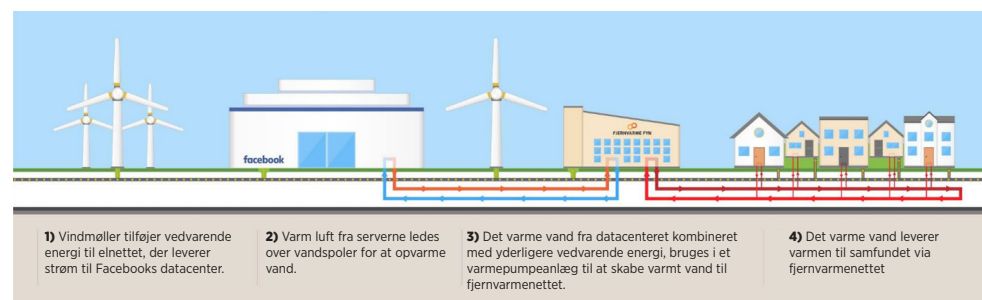
- Varmepumper: Ca. 95 MW
- Overskudsvarme: Fra flere mindre leverandører
- Akkumuleringskapacitet: 75.000 m³

Varmecentralen har egen 60 kV forsyning fra Fraugde med følgende transformernet:

- 1 transformer for 60/10 kV
- 5 transformere for 10 kV til henholdsvis 400 V og 690 V

TBV er direkte forbundet direkte til distributionsnettet og de er primært forbrugere som er koblet op på denne del af fjernvarmenettet som forsynes med spildvarme fra Facebook.

I perioder hvor varmepumperne ikke er i drift suppleres med varme fra de øvrige produktionsanlæg som er tilsluttet til fjernvarmesystemet.

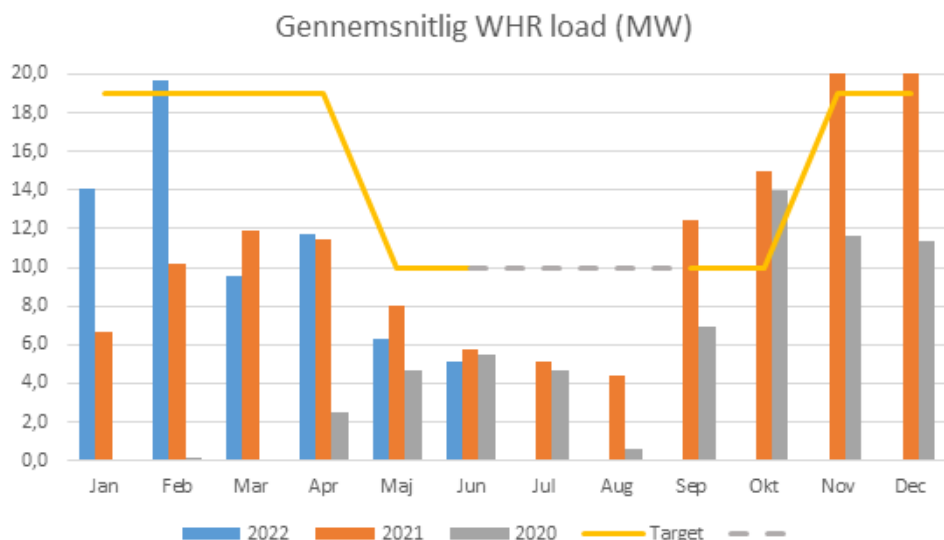


Figur 2: Princip for Tietgenbyens Varmecentralens genvinding af overskudsvarme fra Facebook.

2.2.3 Drifterfaringer

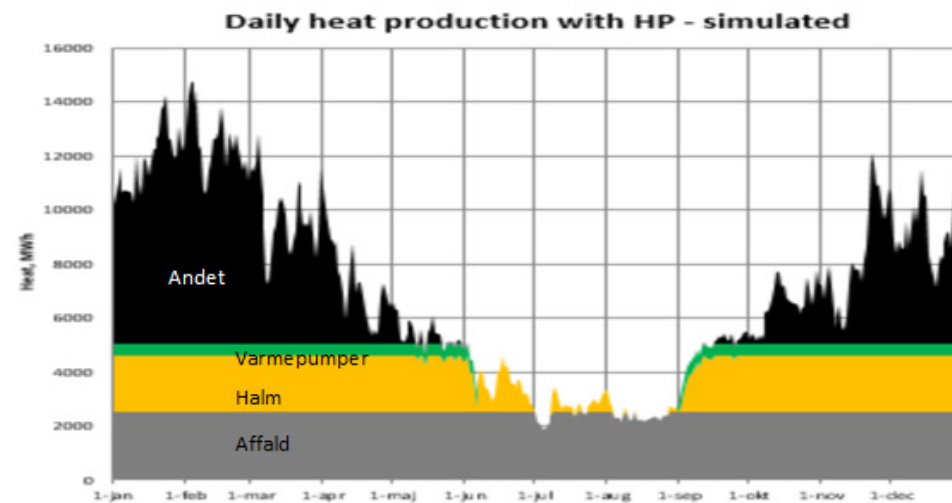
- Anlægget er stort set til rådighed for drift hele tiden, men der har været lange perioder, hvor der har været reduceret kapacitet som følge af, at varmepumperne har været ude for service.

- Indimellem opleves der udfald af varmepumperne, som følge af tekniske problemer, men de kan som regel startes hurtigt op igen.
- Driftsstoppe har været i forbindelse med opstart og indkøring af anlæggene forårsaget af væskeslag i kompressorer, snavs i ammoniaksystemet, utætte pakdåser i oliesystemet grundet højt ammoniaktryk, fejl på koblinger. Disse børnesygdomme er ved at være løst. Varmepumpeanlægget er relativt følsomt overfor ændringer i varmekildens temperatur fra Facebook (kølevandet) og skyldes, at der er stillet krav på fremløbstemperaturen af kølevandet efter varmepumpen.
- Kølevand som varmekilde kan på visse tider af året medføre kondens på kolde rør, hvilket løses ved at kondensisolere disse.



Figur 3: Gennemsnitlige overskudvarmeeffekt fra Facebooke inden varmepumpernes temperaturudnyttelse.

- Hen over foråret/sommeren 2022 har de høje elpriser spillet en stor rolle i forhold til, hvor meget fjernvarme varmepumperne skal producere i forhold til i stedet at vælge andre og billigere enheder.
- Nedenfor ses den gennemsnitlige overskudvarmeeffekt (MW), der været kørt på TBV fra 2020 og frem. Den producerede fjernvarme er ca. 30 procent højere end figurens værdier.
- Gennemsnits COP for 2021 og 2022 har ligget på 4,2 som en samlet opgørelse inklusive cirkulations- og distributionspumper.
- Estimat for en fremtidig driftsprofil er svær at forudsige, og Fjernvarme Fyn arbejder p.t. ud fra de antagelser, som er skitseret i det grønne område i nedenstående graf.



Figur 4: Årlig driftsprofil med varmeproduktionsfordelingen (MWh) på dagsbasis/ brændsler.



JCI kompressorer på TBV1.



MYCOM kompressorer på TBV2.

- Faktorer som f.eks. klima, el- og brændstofpriser, revisioner/rådighed på de øvrige anlæg vil også have indflydelse på driftsprofilen.

2.1.4 Organisation/ejerskab

Datacentret er ejet af Facebook.

Tietgenbyens Varmecentral ejes og driftes af Fjernvarme Fyn.

2.1.5 Budget og økonomi

Samlet anlægsinvestering for de to varmepumpeanlæg beløber sig til 215 mio.kr. (TBV1 og TBV2).

2.2 Kalundborg Forsyning – spildevandsvarmepumpe

På grund af den store koncentration af industrivirksomheder i Kalundborg er spildevandet i området varmere end normalt og derfor særligt interessant i forhold til varmepumper.

I forbindelse med at Asnæsværket ombygges og konverteres til biomasse, har Kalundborg Forsyning installeret Danmarks største varmepumpeanlæg med en effekt på 10 MW-varme. Anlægget udnytter energien i byens spildevand.

Fjernvarmeværk / Kontaktperson	Kalundborg Forsyning / Charlotta Værnstrøm
Leverandør	Johnson Controls
Type	3 parallelle sæt af 2 stk. serielt koblede DualPac ammoniak varmepumper med 4 kompressorer hver og 12 kompressorer i alt.
Installations år / årlige antal driftstimer	2017 / ca. 8.000 fuldlasttimer/år (indtil Asnæsværket er færdigombygget).
Varmekilde	Renset spildevand
Nominel varmeydelse	10 MW
Nominel COP	4,5
Fjernvarme opvarmes fra-til	57-72 °C
Varmekilde afkøles fra-til	25-15 °C

2.2.1 Baggrund

Kalundborg Forsyning har haft behov for en udskiftning og opgradering af nettets spidslastkapacitet, som tidligere har bestået af et antal ældre oliekedler. Da Asnæsværket samtidig skulle ombygges og kapaciteten herfra derfor vil være begrænset, valgtes at investere i varmepumpeanlægget. Hermed øges spidslastkapaciteten, og anlægget vil, indtil bio-

massekonverteringen er gennemført, kunne få et stort antal driftstimer. Varmepumpen agerede grundlastenhed, indtil Asnæsværket var færdigkonverteret til træflis, hvilket blev gennemført ultimo 2020. I denne overgangsperiode gav varmepumpen en betydelig driftsbesparelse. Derfor blev anlægget etableret på omkring 6 måneder, hvilket var meget hurtigt for denne type anlæg.

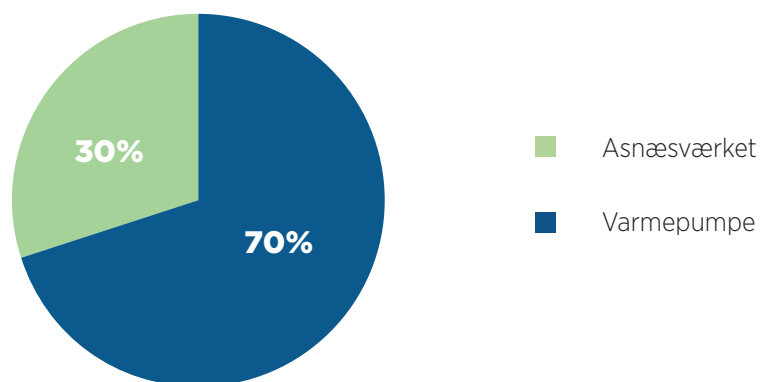
På grund af den store koncentration af industrielle virksomheder har Kalundborg en årlig spildevandsmængde på 6 mio. m³, og samtidig er vandet ved ca. 10 °C varmere end ved typiske rensningsanlæg. I Kalundborg er spildevandet i gennemsnit 25 °C, men varierer hen over året fra ca. 15 °C i vinterperioden og op til 30 °C i sommermånederne. Den højere temperatur gør udnyttelse af varmekilden særlig relevant i Kalundborg.

2.2.2 Systemet

Kalundborg Forsyning leverer fjernvarme til omkring 5.000 husstande og omkring 10 storforbrugere. Den samlede varmeproduktion udgør omkring 250.000 MWh. Indtil ombygningen af Asnæsværket var gennemført, producerede varmepumpen omkring 80.000 MWh. Herefter faldt varmeproduktion på varmepumpeanlægget til ca. 25.000-60.000 MWh afhængig af elprisen.

Varmepumpen kobles på transmissionssystemet i Kalundborg, hvorfor temperaturniveauerne er relativt høje. Der arbejdes særligt på en reduktion i returtemperaturen, og det forventes, at indløbet til varmepumpen på sigt kan komme under 45°C. Efter ombygningen af Asnæsværket har last-fordelingen ændret sig og er afhængig af aktuelle brændsels- og elpriser. I timer, hvor der er samproduktion på Asnæsværket og varmepumpen, vil varmepumpens fremløbstemperatur kunne reduceres, da produktionen fra varmepumpen kan opblandes med fjernvarme fra kraftvarmeverket.

Kalundborg Forsyning



Figur 5: Varmeproduktionsfordeling hos Kalundborg Forsyning.

Varmepumpens fordampere er af "shell and plate"-typen og kan derfor ikke adskilles og rengøres mekanisk. Derfor er anlægget udstyret med en mellemkreds, så spildevandet afkøles i traditionelle pladevekslere, som kan adskilles og renses, såfremt det skulle blive nødvendigt.

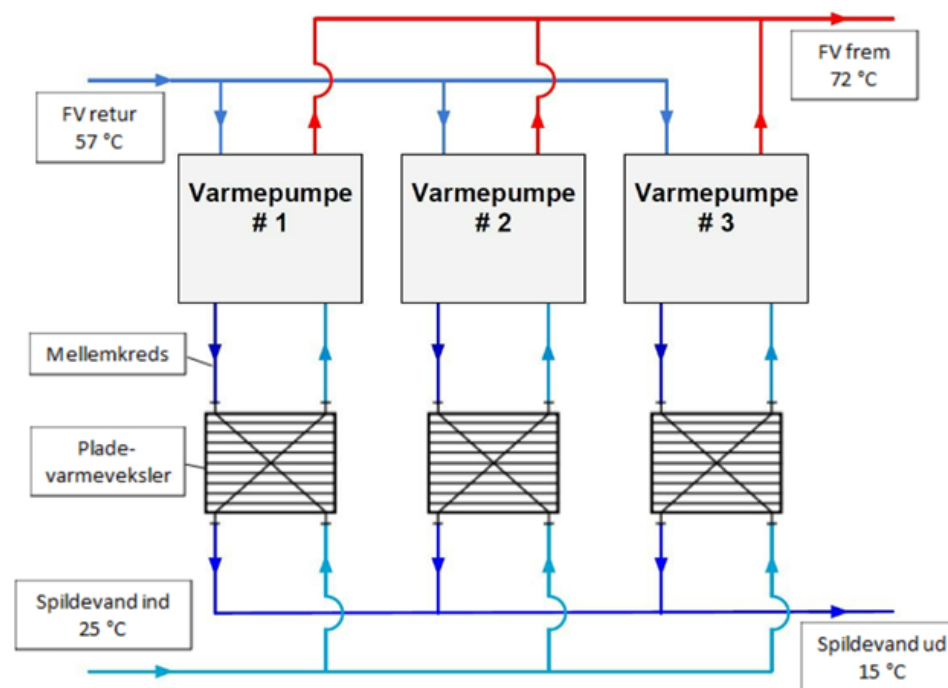
Det samlede anlæg består af tre parallelle varmepumpeenheder med hver sin pladevarmeveksler for spildevandet. Herved kan én varmeveksler renses, imens driften opretholdes på de to øvrige enheder.

Før anlægget blev taget i drift, blev der lavet simple forsøg med CIP-væske, hvor det blev eftervist, at udfældninger i spildevandet kan fjernes.

Varmepumpen

Anlægget er dimensioneret efter fjernvarmesystemets sommerlast på ca. 10 MW, så der opnås et højt antal årlige driftstimer. Anlægget består af tre identiske parallelle sæt, som hver er opbygget af to serielle 2-trinsanlæg med stempelkompressorer for at opnå en høj COP-værdi i et bredt temperaturområde. Hvert "sæt" har en kapacitet på 3,33 MW-varme ved en

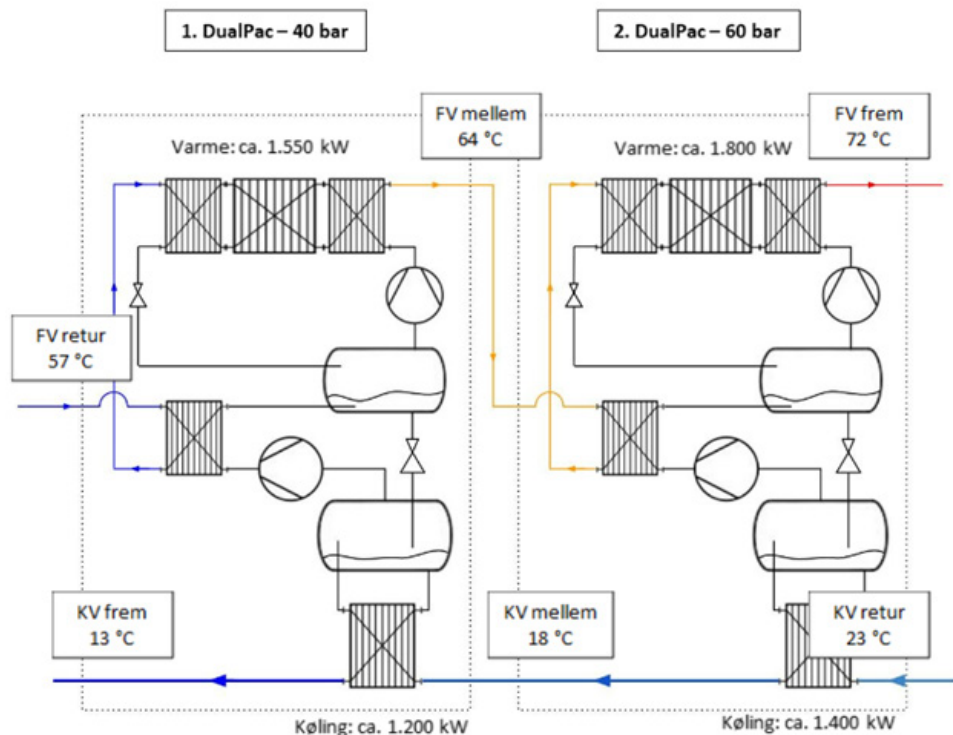
spildevandstemperatur på 15 °C. Og det samlede anlæg kan således også yde omkring 10 MW i en vintersituation.



Figur 6: Anlægsopbygning i Kalundborg. De tre parallelle varmepumper ses øverst, hvor fjernvarmevandet indløber fra venstre og leveres til fremløbet i højre side. Under varmepumperne ses pladevarmevekslerne, som adskiller spildevandet fra mellemkredsen.

Hvert 2-trinsanlæg består af en 16-cylindret lavtrykskompressor samt en mindre højtrykskompressor, som hæver trykket yderligere til den ønskede fjernvarmetemperatur. Lavtrykskompressorerne er alle ens, mens de to højtrykskompressorer i hvert "sæt" er forskellige. Her er højtrykskompressoren i det første 2-trinsanlæg designet til 40 bar, mens kompressoren i det andet 2-trinsanlæg er designet til 60 bar. Med det høje tryktrin i den sidste del af varmepumpeanlægget er det muligt at nå fremløbstemperaturer på ca. 85 °C.

De to højtrykskompressorer har stort set samme slagvolumen, men det andet 2-trinsanlæg har en lidt højere ydelse, da spildevandet indløber dette anlæg først. Her er spildevandstemperaturen ca. 5 °C højere, hvilket giver en højere ydelse på lavtrykskompressoren.



Figur 7: Principskitse af varmepumpeanlæg i Kalundborg. Figuren viser et ud af tre identiske sæt.

Hver lavtrykskompressor er udstyret med en overhedningsfjerner, så en del af energien allerede udnyttes ved det lave tryktrin. Højtrykskompressorerne er udstyret med et sammenbygget varmevekslersæt, som består af en overhedningsfjerner, en kondensator og en underkøler. Sammenbygningen af de tre varmevekslere sikrer et mere kompakt anlæg.

De tre varmepumpesæt er parallelt forbundne og driftes derfor ved identiske konditioner. Den samlede effekt for de tre sæt er 10 MW ved en spildevandstemperatur på 15 °C.

Da anlægget både skal kunne udnyttes selvstændigt som grundlast og som supplement til Asnæsværket, er der lagt vægt på høj ydelse og god virkningsgrad ved flere forskellige driftspunkter. Anlægget er designet til at operere med fremløbstemperaturer imellem 70 og 80 °C, og leverandøren har garanteret en maksimal fremløbstemperatur på 82 °C.

Varmepumpens fordampere er af "shell and plate"-typen og kan derfor ikke adskilles og rengøres mekanisk. Derfor er anlægget udstyret med en mellemkreds, så spildevandet afkøles i traditionelle pladevekslere, som kan adskilles og renses såfremt det skulle blive nødvendigt. Før anlægget blev taget i drift, blev der lavet simple forsøg med CIP-væske, hvor det blev eftervist, at udfældninger i spildevandet kan fjernes.



Varmepumpeanlægget i Kalundborg, Enheden forrest på billedet med de to elskabe, udgør den ene halvdel af et "varmepumpesæt". Det samlede anlæg består af i alt 6 lignende enheder.

2.2.3 Drifterfaringer

I skrivende stund (2022) har varmepumpeanlægget været i drift i ca. 6 år, og anlægget producerer efter hensigten. Ydelsen på pladevarmevekslerne overvåges hele tiden, og efter de første to måneders drift faldt ydelsen relativt drastisk, hvorefter varmevekslerne blev rensset med det monterede CIP-anlæg, hvilket er det interval, som Kalundborg Forsyning nu bruger som udgangspunkt. Dog har det vist sig, at specielt klokkedyr i spildevandet i sommerperioden gør, at vekslerne skal renses tiere. Erfaringen er, at ydelsen stort set ikke påvirkes i relativ lang tid, men at det så pludselig går hurtigt.

Derfor er det vigtigt med et godt overvågningssystem.

I forbindelse med et stort regnskyl har der været urensset vand i systemet, og herefter oplevede man et hurtigt ydelsestab.

2020		2021	
MWh	COP	MWh	COP
44.000	3,7	6.300	3,9

Historisk produktion og COP - produktion i 2021 var begrænset pga. de høje elpriser

2.2.4 Organisation/ejerskab

Det er Kalundborg Spildevandsanlæg, som har købt og installeret varmepumpen. Herved kunne anlæggets energibesparelse indberettes i 2016, hvilket reducerer investeringsomkostningen væsentligt. Driftsafdelingen fra Kalundborg Forsyning, som både indeholder Kalundborg Spildevandsanlæg og Kalundborg Varmeforsyning, står for den daglige drift af anlægget.

2.2.5 Teknik og specifikationer

- Kold side (fordamper)
Varmepumperne er leverede med almindelige fuldsvejsede "shell-and-plate"-fordampere. Fordamperne på de to varmepumper i hvert sæt er koblet i serie og afkøler en sekundær kreds, som herefter afkøler spildevandet igennem en traditionel pladevarmeveksler.
- Varm side (kondensator)
Hver af de to varmepumper er forsynet med en overhedningsfjerner på lavtrykstrinnet, samt en sammenbygget varmeveksler på højtrykstrinnet, som både indeholder overhedningsfjerner, kondensator og underkøler. Alle varmevekslerne er af "shell-and-plate"-typen.
- Varmepumpe
6 stk. DualPac 2-trins varmepumper, som er forbundet i serie to og to. Hver DualPac er bestykket med to stempelkompressorer, og den maksimale fremløbstemperatur er ca. 85 °C.
- Elforsyning
Anlægget er tilsluttet på 10 kV-nettet med fuld tilslutning.
- CO₂
Efter færdigkonverteringen af Asnæsværket og driften af varmepumpen er reduktionen af CO₂ gået fra 62.700tons/år til 1.400 tons/år.

2.2.6 Budget og økonomi

Så længe varmepumpen kører som grundlastenhed, producerer den omkring 30 procent af varmebehovet i Kalundborg. Denne varmeproduktion ville ellers foregå på interimistiske oliekedler/elkedel. Der vælges altid at producere fjernvarmen på varmepumpen før elkedlen, grundet at varmepumpen har en bedre COP-værdi. Dermed blev der opnået en meget høj besparelse i de første år af varmepumpens levetid.

Investering:

Nøgletallene for investeringen:

Varmepumpeanlæg	33,2 mio. kr.
El arbejde og SRO	6,6 mio. kr.
Transformatorstation og elkabler	4,8 mio. kr.
Bygning og ventilation	7,4 mio. kr.
Spildevand og anlægsarbejde	3,2 mio. kr.
Transmissionsledning	6,8 mio. kr.
Projektering	2,1 mio. kr.
Forundersøgelser	3,9 mio. kr.
Diverse	1,6 mio. kr.
Total	69,6 mio. kr.

Anlægget har udløst en energibesparelse, som kan kapitaliseres til omkring 31 mio. kr. Herved ender den samlede anlægsinvestering på 38,6 mio. kr.

Driftsøkonomi (2020):

Der er udgifter til vedligehold og indkøb af elektricitet. Disse udgør ca.:

- Vedligehold 20 kr./MWh-varme
 - Indkøb af elektricitet:
 - Spot 228 kr./MWh-el
 - Transport lokal 39 kr./MWh-el
 - Transport overordnet 83 kr./MWh-el
 - PSO-tarif 0 kr./MWh-el
 - Elafgift 305 kr./MWh-el
- Total 655 kr./MWh-el**

Afhængigt af den aktuelle spotpris vil varmeproduktionsprisen ligge på omkring 156 kr./MWh varme inklusive serviceomkostninger. I forhold til varmeleverancen fra Asnæsværket bliver besparelsen med varmepumpen omkring 220 kr. pr. produceret MWh varme.

Samlet økonomi

Den samlede økonomi varierer med produktionsmarginal og antallet af driftstimer fra år til år.

I det følgende er der regnet med disse forudsætninger:

- Varmepriis fra Asnæsværket = 376 kr./MWh
- Samlet elpris varmepumpe = 383 kr./MWh-el
- Vedligehold = 20 kr./MWh-varme
- Årligt antal driftstimer = 8.000

Med disse forudsætninger ses den samlede økonomi på tabellen herunder:

Varmepumpe på spildevand - 10.000 kW		
Investering	69.000.00	Kr.
Årligt antal driftstimer	8.000	Timer
Årlig varmeproduktion	66.00	MWh
Besparelse pr. MWh	220	Kr./MWh
Samlet værdi energibesparelser	31.000.00	Kr.
Årlig besparelse	14.500.00	Kr.
Simpel tilbagebetalingstid	2,7	År

2.3 DIN Forsyning – havvandsvarmepumpe (under opførelse)

2.3.1 Baggrund

DIN Forsyning arbejder målrettet mod at udfase fossile brændsler, som benyttes til fjernvarmeproduktion og hermed reducere CO₂. Det er besluttet at udfase det kulfyrede anlæg med udgangen af marts 2023.

I fase 1 etableres der en 50 MW havvandsvarmepumpe, 60 MW flis kedel og 40 MW elkedel.

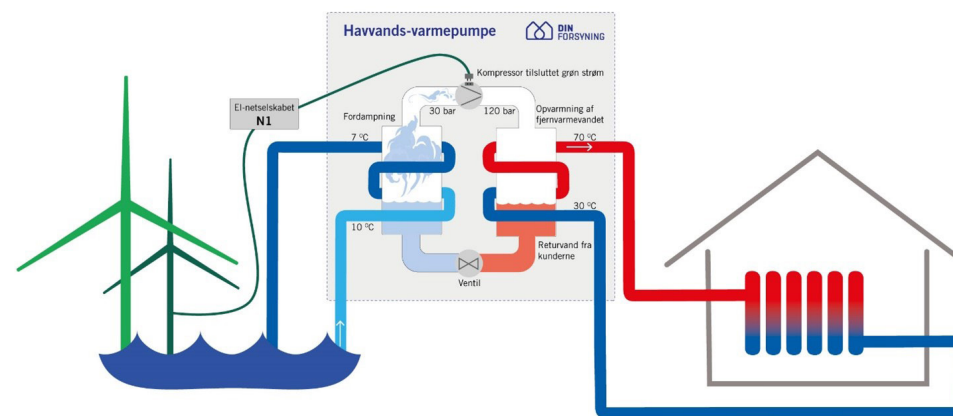
Projektet er under opførelse og forventes løbende idriftsat inden d. 1. april 2023.

Fjernvarmeværk	DIN Forsyning
Kontaktperson	Claus Nielsen
Rådgiver	Added Values, Rambøll, Ingeniør Huse, Picca, COWI
Leverandør af varmepumpe	MAN Energy Solutions
Type	2 turbokompressor på CO ₂
Installations år	2022-23
Årligt antal fuldlasttimer	3.000-6.000
Varmekilde	Havvand
Nominal varmeydelse	50 MW
Nominal COP	3,65
Fjernvarme opvarmes fra-til	Returvand ca. 38°C opvarmes til 50-90°C
Varmekilde afkøles fra-til	Fra havvandets temperatur (normalt 3-20°C) afkøles 2-4°C

2.3.2. Systemet

DIN Forsyning leverer varme til mere end 25.000 boliger, industrivirksomheder, institutioner mv. i Esbjerg, Varde og omegn. Det årlige varmesalg er ca. 1.200.000 MWh.

DIN Forsyning købte i 2021 ca. 50 procent affaldsvarme, ca. 50 procent kulvarme, samt en mindre andel overskudsvarme. I systemet er der en akkumuleringstank på 45.000 m³.



DIN Forsyning har flere spids- og nødlastcentraler spredt ud over forsyningsområdet. Centralerne er baseret på naturgas, gasolie og bioolie.

Fase 1 (forventes idriftsat i løbet af 2023) i omstillingen som skal erstatte kulvarmen:

- Havvandsvarmepumpe 50 MW
- Flis kedel 60 MW
- Elkedel 40 MW

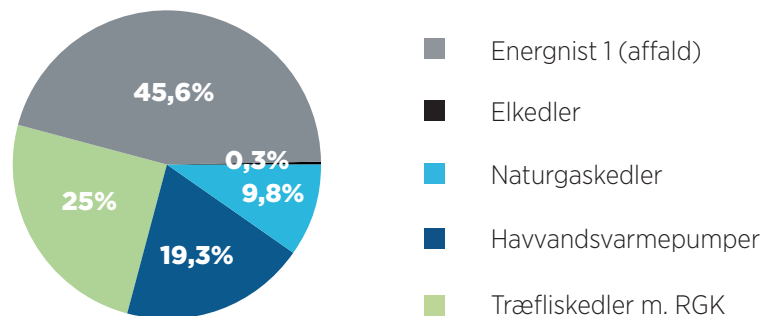
Varmecentralen har egen 60 kV forsyning med følgende transformeralæg:

- 1 transformer for 60/10 kV
- 5 transformere for 10 kV til henholdsvis 400 V og 690 V

2.3.3 Drifterfaringer

Anlægget er under opførelse, og har derfor ingen drift endnu.

Den forventede produktionsfordeling jf. projektansøgningen er:



2.3.4 Organisation/ejerskab

Produktionsenheden ejes af DIN Forsyning

3. El tilslutning

3.1 Generelt om tilslutningsniveau

For at få tilsluttet en varmepumpe eller en elkedel skal der betales et tilslutningsbidrag på den installerede effekt til det lokale netselskab. Tilslutningsbidraget er en engangsbetaling, der betales for et leveringsomfang pr. ny tilslutning til det eksisterende kollektive net. Tilslutningsbidraget finansierer udbygning af det eksisterende kollektive net til det tilsluttede kapacitetsbehov.

Tilslutningsbidragets størrelse afhænger af, hvor i det kollektive elnet, forbrugsanlægget skal tilsluttes. Formålet er, at tilslutningsbidraget afspejler gennemsnitsomkostningerne til kapacitetsforøgelsen, der er på de nedenstående tilslutningsniveauer.

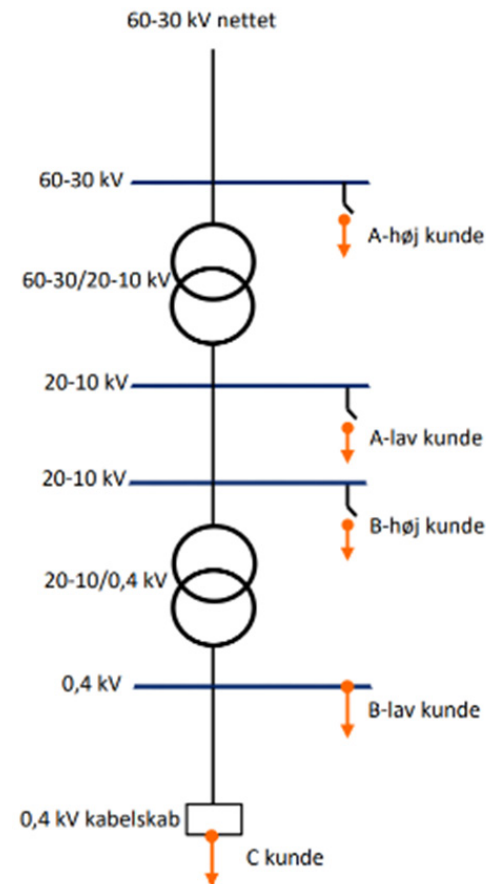
A-høj: Her tilsluttes forbrugsanlægget på 60/50 kV niveau i en 60/50 kV station. (stor kapacitet)

A-lav: Her tilsluttes forbrugsanlægget på 10 kV niveau i en 60 kV station. (mellem kapacitet)

B-høj: Her tilsluttes forbrugsanlægget på 10 kV niveau i en 10 kV station. (lav kapacitet)

Fælles for tilslutningspunkterne A-høj, A-lav og B-høj er, at kunden selv etablerer elnettet fra stationen frem til forbrugsanlægget inklusiv tilhørende anlæg. Typisk vil dette bestå af kabelanlæg, transformere, styring og beskyttelse. Måling etableres normalt i afgangsfeltet.

De gældende tilslutningsbidrag, de generelle tilslutningsbestemmelser samt tariffer kan hentes på netselskabernes hjemmeside.



3.2 De tre tilslutningsformer

Udover det førnævnte tilslutningsbidrag vil tilslutningsomkostningerne afhænge af, om der ønskes fuld effektrettighed til forbrugsanlægget, eller om der ønskes en nettilslutning med begrænset netadgang. Det er muligt at kombinere de to nævnte løsninger, så en del af tilslutningen får fuld effektrettighed og resten tilsluttes med begrænset netadgang.

En tilslutning med fuld rettighed betyder, at de ovennævnte tilslutningsbidrag skal anvendes.

Hvis kunden kan acceptere en reduceret forsyningssikkerhed, kan forbrugsanlægget blive tilsluttet med begrænset netadgang. Konkret betyder det, at tilslutningsbetalingen er reduceret ift. betalingen ved tilslutning på de almindelige vilkår. Kunden betaler de faktiske omkostninger, der er forbundet med tilslutningen. Princippet i ordningen for nettilslutning med begrænset netadgang er, at netselskabet i perioder med høj belastning af det lokale elnet har mulighed for automatisk eller manuel udkobling/nedregulering af det givne forbrugsanlæg. For netselskaberne er dette et fleksibilitetsprodukt til bedre udnyttelse af distributionsnettets kapacitet.

Nettilslutningen vil omfatte en begrænsning i netadgangen, der enten kan være aktuel allerede ved nettilslutning eller vil blive aktuel i fremtiden. Netselskabet kan typisk give et estimat for, hvor mange timer forbrugsanlægget kan blive udkoblet/nedreguleret. Dette estimat vil være baseret på historiske belastningsdata, samt forventet udvikling i elforbruget. Uforudsete tilslutninger af nye store kunder, udvidelse af effektaftag hos eksisterende forbrugere eller ombygning af elnettet kan imidlertid betyde, at begrænsningen af forbrugsanlægget øges ud over det forudsete. Begrænsningen kan i nogle tilfælde også blive permanent. Sådanne ændringer varsles af netselskabet på forhånd, mens havari i elnettet og deraf følgende midlertidige ombygninger eller omlægninger i elnettet ikke kan

varsles.

For yderligere oplysninger henvises til Green Power Danmarks hjemmeside:

www.danskeenergi.dk/vejledning/nettilslutning/aftaler-vedroerende-tilslutning-til-elnettet

Vær opmærksom på at tilslutning med begrænset netadgang kun tilbydes kunder tilsluttet på 10 kV elnettet og opefter.

3.3 Udetid

Udetid eller begrænsning forekommer ved følgende forhold:

- Effektaftag hos eksisterende kunder øges.
- Der er driftsforstyrrelse/havari i elnettet med unormale koblingstilstande i elnettet til følge.
- Revision/vedligehold af elnettets komponenter.
60/50 kV transformere tages ud til revision med faste intervaller af ca. en uges varighed. Derudover er der også revision af 60/50 kV og 10 kV afbrydere på 60/50 kV stationer samt tilhørende beskyttelsesudstyr.

3.4 Planfase

For at netselskabet kan vurdere det optimale tilslutningsniveau er følgende informationer nødvendige:

- Hvor stor en effekt ønskes tilsluttet
- Ønskes en tilslutning med fuld effektrettighed eller med begrænset netadgang.
- Kort eller tegning over placering af forbrugsanlægget.

Når ovennævnte forhold er fastlagt, udarbejder netselskabet en nettilslut-

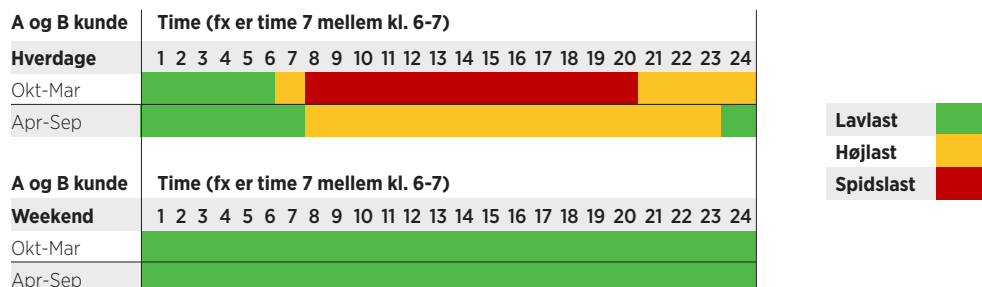
ningsaftale, der underskrives af parterne.

Leveringstiderne på en tilslutning afhænger dels af tilslutningsniveauet da der ofte er længere leveringstider på 60/50 kV anlægsdele end på 10 kV anlægsdele og dels af, hvor travlt netselskabets anlægsafdeling har. For tiden ses leveringstider på mellem 18-24 mdr. på 60/50 kV komponenter og op til 12 mdr. på 10 kV anlægsdele.

3.5 Nettariffer

Nettariffer er opdelt i prisgrupper alt efter, hvornår strømmen aftappes samt, hvorfra i nettet strømmen aftappes, 1.1.2.1.

Af de to prisgrupper er hovedgruppen baseret på tilslutningsniveau. Tarifferne er generelt højere, jo lavere spænding, der tilsluttes ved. Efter at tilslutningsniveauet er defineret, er tariffen delt op efter, hvilke timer forbruget aftages i. Der afregnes efter tre perioder, som er defineret som lavlast, højlast og spidslast. Perioderne, de dækker over, fremgår i Figur 8 og i Figur 9 kan ses et eksempel på afgifterne.



Figur 8: Tidsopdelte lastperioder for nettarif.

Ud fra Figur 8 i ovenstående har det en betydning, hvornår der produceres, og under hvilket tilslutningsforhold der produceres el. Perioden kan

Tarifferne er gældende fra den 1. april 2022

C	Aktuelle priser (øre/kWh)	Lavlast	Højlast	Spidslast
B-lav	Transport af el (Nettarif)	2,13	3,98	5,88
B-høj	Elafgift*	90,30	90,30	90,30
A-lav	Pris/kWh ekskl. moms	92,43	94,28	96,18
A-høj	Pris/kWh inkl. moms	115,54	117,85	120,23
AO	A-lav anvendes, hvor aftagepunktet er på 10 kV siden af hovedstation.			
Midlertidig tilslutning	Abonnement kr./md.	Ekskl. moms	Inkl. moms	
	Netabonnement uden moms	223,00	278,75	
	Netabonnement egenproducenter	297,00	371,25	
	Netabonnement producenter	223,00	278,75	

* Elopvarmede boliger og virksomheder har mulighed for at få reduceret deres elafgift (over 4.000 kWh for boliger) eller at opnå godtgørelse. [Læs mere her](#)

Figur 9: Uddrag af tarifstrukturen fra Radius.

påvirkes gennem en kombination af akkumulering og el-forbrugende enheder. Perioden kan påvirkes gennem en kombination af akkumulering og el-forbrugende enheder. Det kan blandt andet ses i Figur 9, hvor der sker et stort hop fra C og B tarif til A-lav tarif.

Forskellen mellem A-lav og A-høj er ikke så stor, og her vil det have en stor betydning, hvordan investeringsomkostningerne er. Fra B-høj til A-lav falder tarifomkostningerne med 45 til 105 kr./MWh, alt efter elselskab. Det er derfor relevant for de enkelte selskaber at undersøge flere tilslutnings-

muligheder, før der falder endelig beslutning om, hvilken teknologi der skal bruges, da det kan medvirke til dyre og færre driftstimer.

Udover prisforskellen i den enkelte tarif skal det også bemærkes, at der er stor forskel mellem selskaberne. Det ses helt specifikt i DK2, hvor Radius leverer. Der er prisen væsentlig dyrere, end i DK1 hvor N-1 leverer. Der er også prisforskelle mellem elselskaberne internt i DK1 og DK2. Nedenstående ses et oversigtskort over de forskellige elselskabers forsyningsområder.

3.6 Udvikling af afgifter og tariffer

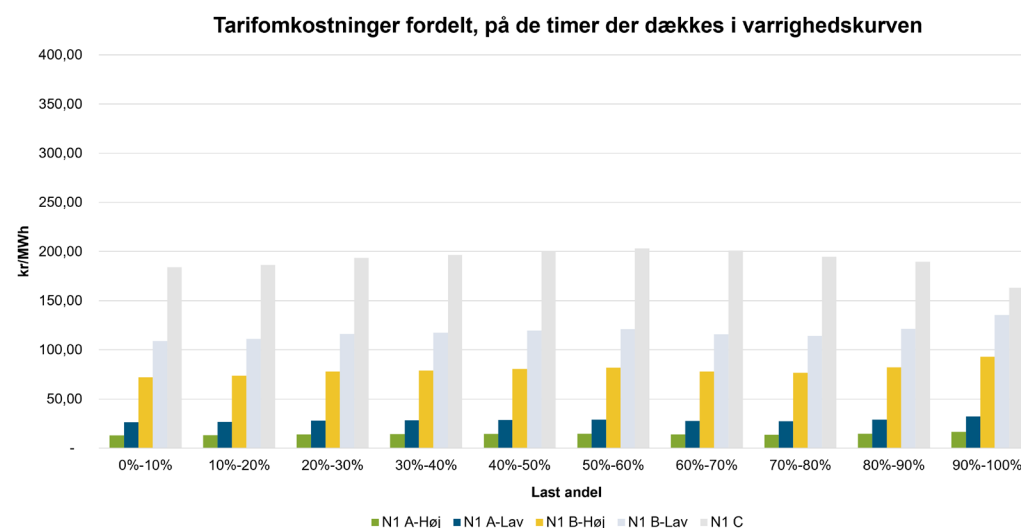
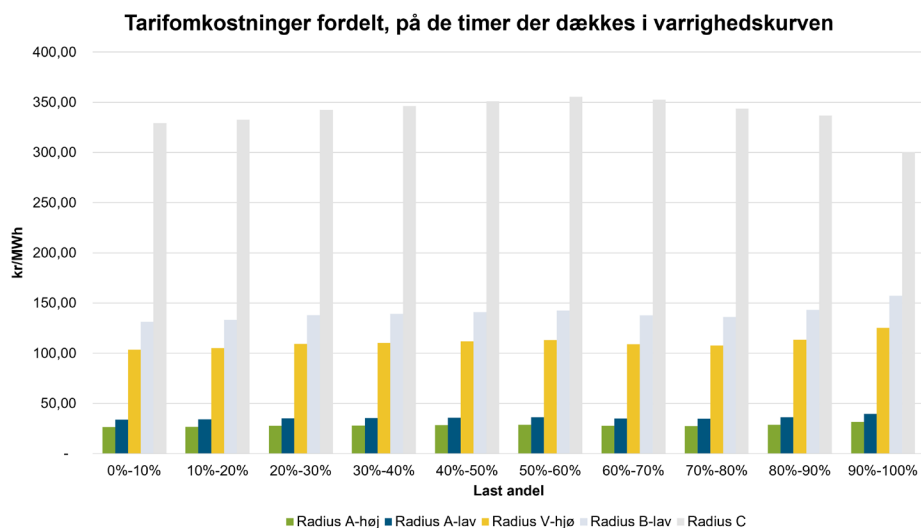
Tarifferne og afgifterne bliver normalt fastsat årligt.

Elafgifterne til varme (netto afgiften er elafgiften minus tilbagebetalingen) har været støt faldende til i dag, hvor den er næsten nul.

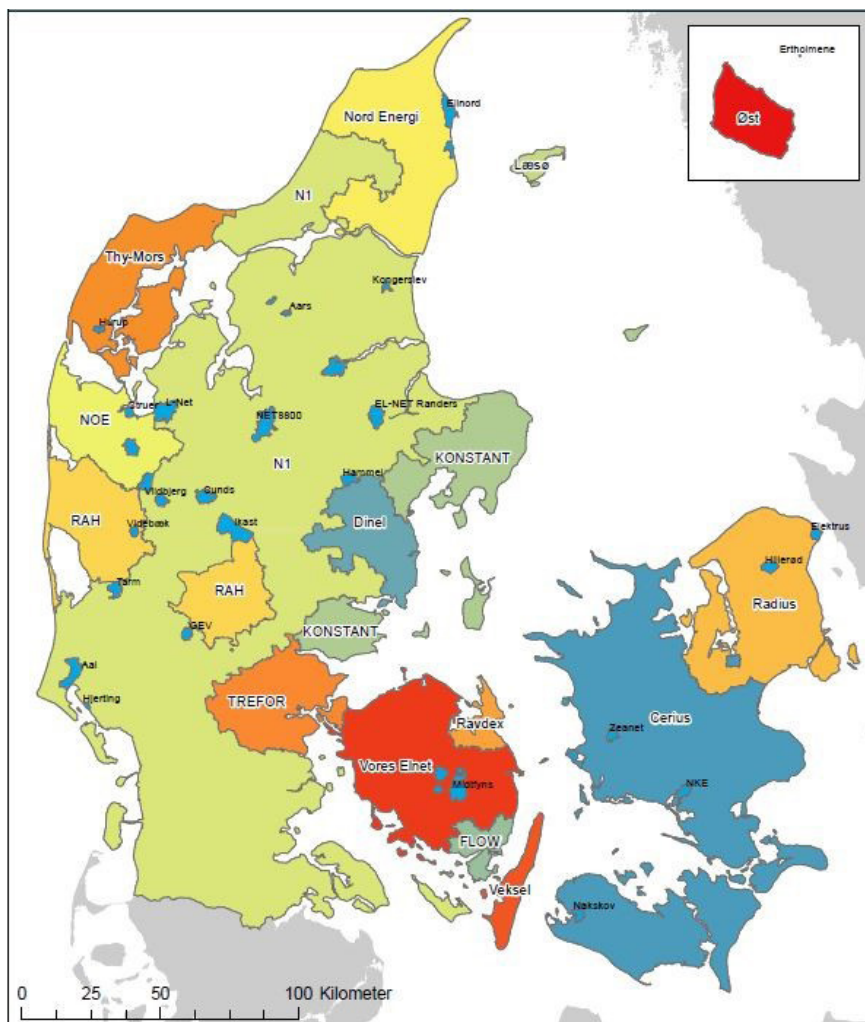
PSO var variabel og afhængig af elprisen. Den bortfaldt ved udgangen af 2021.

Tarifferne fra Energinet har været stigende. Den grønne omstilling skaber i de kommende år store forandringer og kræver nytænkning, når danskeres strøm skal sikres. Forventningen til niveauet for de fremtidige tariffer er derfor forbundet med usikkerhed. Udviklingen af de lokale tariffer er afhængig af, hvor i landet anlægget tilsluttes, samt hvilket spændingsniveau der tilsluttes på. Forventningerne til de lokale tariffer er også forbundet med usikkerheder grundet den grønne omstilling. Herudover er de lokale tariffer gået fra en fast tarif i hele året til at være variable over året og i døgnet, se evt. pkt. 3.5.

Reduktionen af netto elvarmeafgiften ses tydeligt. Fra at være en betydelig faktor er den fra 2021 stort set væk. Nu er elprisen blevet absolut den største faktor. Bemærk, her er benyttet årsgennemsnit for DK1; der er



Figur 10: Tarifstrukturens betydning.

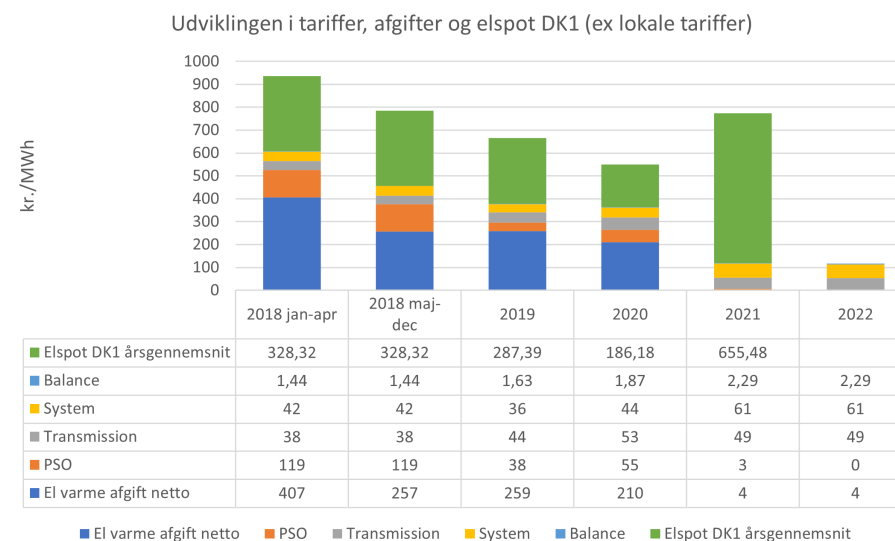


betydelige forskelle på prisen for de enkelte dage og timer.

For at få den marginale varmepris skal de lokale tariffer og drift/vedligehold lægges til og divideres med COP. Vær opmærksom på, at de lokale tariffer i dag som oftest er variable jf. pkt. 3.5

Den årlige gennemsnitlige spotpris på el har til og med 2020 været faldende. I 2021 steg den betydeligt, og i 2022 ser ud til at stige endnu mere.

Udviklingen af elementerne i elprisen ses nedenstående. Vær opmærksom på, at herudover kommer de lokale tariffer.



Figur 11: Udvikling af afgifter og tariffer

4. Afrimning

Afrimning af udendørs fordampere på luft/vand varmepumper viser sig at være en udfordring. Rimdannelsen på fordampere gør, at luftmodstanden forøges, og herudover virker rimdannelsen som isolering. Hvorved både effektoptaget i ventilatorer vil øges, og varmeledningsevnen forværres. For at forhindre dette bør der vælges en afrimningsstrategi. Der er flere metoder, og de mest gængse vil blive berørt i dette afsnit.

Hvad der har indflydelse på afrimningsprocessen (is opbygningen) på fordampere er:

- Fordampningstemperaturen
- Tiden
- Luftens fugtighed
- Luftens temperatur
- Luftens hastighed over fordampere

Årstids-, udetemperatur- og fugtafhængig.

4.1 Der findes flere muligheder for afrimning

Al afrimning er en afvejning mellem ydelsestab som følge af rimdannelse og ydelsestab som følge af afrimningen. For at finde den rigtige teknik for det givne anlæg må man gennemgå fordele og ulemper ved de forskellige teknikker.

Den simpleste og billigste model er at stoppe ventilatorerne og lade udeluftens temperatur gøre det, men det betyder samtidigt, at den tid, som det tager, afhænger meget af udeluftens temperatur. Hvilket kan udgøre

en udfordring i vinterhalvåret.

Afrimning med hotgas, hvor der benyttes kølemiddelsgas taget fra kompressorens trykside på varmepumpen, hvor denne er overhedet, og tilføres fordampere. Denne form for afrimning er passende på anlæg med oversvømmede fordampere, da der her ikke er risiko for væskeslag i kompressoren.

Afrimning med varmglykol kan gøres ved at varme glykolen med enten kondensatorvarmen eller spildvarme fra kompressoren. Her varmes glykolen og opbevares i en akkumuleringstank, indtil den skal bruges til afrimning. For at afrime effektivt med Glykol skal det sikres, at glykolen ikke bliver for kold, da viskositeten ved omkring -18°C bliver så høj, at energiforbruget til pumpning bliver forøget betragteligt. Afrimning med glykol bør kunne reducere energitabet ved afrimning, da man i mindre grad mister kondensatorydelse frem for hot gas afrimning. Dog kan det være usikkert, om man kan danne varme nok til glykolen før afrimning. Dette kan afhjælpes ved at samle glykol-varme fra to parallelle anlæg.

Elektrisk afrimning har lave startomkostninger, men driftsomkostningerne kan være høje afhængigt af elprisen. På trods af elvarmelegemets perfekte virkningsgrad er det praktisk umuligt ikke at spilde varme ved afrimningen, da temperaturen for varmelegemerne som oftest er meget høj.

Det er vigtigt, at anlægget er dimensioneret korrekt i forhold til rørstørrelser og cirkulationstal for at opnå den højeste effektivitet. Her bør der laves en behovsanalyse for, om anlægget primært kommer til at køre fuldlast

eller dellast, da der ved for store rør (fuldlast dimensioneret) kan forekomme opsamling af væske i returrøret under dellast, hvor der ved for små rør (dellast dimensioneret) vil forekomme for højt trykfald. Begge dele vil påvirke effektiviteten i den last situation, som de ikke er dimensioneret til. For at lempe dette kan man lave to parallelle rør, hvor man kører på det mest optimale i forhold til driftssituationen, ellers kan der gøres brug af en såkaldt hybridfordamper.

4.2 Forebyggelse af rimdannelse

For at forebygge rimdannelse er der flere strategier. I dette afsnit fokuseres der på det, som er relevant for udeluftsfordampere, og luftbehandling vurderes her ikke at være relevant.

Blæsehastigheden har direkte indflydelse på rimdannelsen, og denne bør holdes så høj som mulig. Dog skal der også tages hensyn til forøget støjdannelse og el-optag i blæserne, hvorved denne metode kan være uhensigtsmæssig. Ved lav blæserhastighed ses der ofte problemer med rimdannelse på eller omkring blæservingerne, når luftretningen er nedefra og op.

Finneafstanden er også en betydelig faktor for rimdannelsen, her holder man gerne afstanden mellem finnerne lav for både at mindske produktionsomkostningerne, pladsforbruget og hæve effektiviteten. Dog gør den lave afstand at anlægget får forøget behov for afrimning.

Det samme gør sig gældende for finnetypen, veksler typen og overfladebehandlingen af finnerne, der alle har betydning for rimdannelse, afrimning og effektiviteten af anlægget.

4.3 Afrimningsstyring

Afrimning kan struktureres på flere måder. Den mest simple og mindst

effektive er tidsstyret afrimning, hvor afrimningen følger et prædefineret tidsskema. Dette bevirker, at man vil komme til at afrime uden, at det er nødvendigt og ikke afrime, når det er nødvendigt. For at modvirke dette kan man variere tidsskemaet ud fra forskellige faktorer, heriblandt udetemperatur, erfaring og sæson.

Men for at minimere energispild bør afrimningen baseres på styring. Her findes flere muligheder for måling af afrimningsbehovet. De mest nærliggende er måling af differenstrykket over fordamperen og styring ved hjælp af blæserens effektoptag. Begge metoder måler på det samme: luftmodstanden over fordamperen, hvorved det kan bestemmes, om finnerne er tilsat i rim.

Hertil kan det styres, om der skal afrimes aktivt eller passivt, med et afrimningsanlæg eller ren udetemperatur ved måling af udetemperaturen.

Varighed af afrimningen og kapacitet til dette er meget afhængig af driftssituationen, derfor kan det være svært at afgøre, hvor længe afrimningen skal forgå, når der er tale om tidsstyret afrimning.

Her kan temperatursensorer sammen med luftmodstanden over fordamperen fortælle, hvornår afrimningen er tilstrækkelig. Rimdannelsen vil først aftage på midten af fordamperne og sidst i hjørnerne. Derved bør man ved temperatur styret afrimning, måle på fordamperens hjørner.

For at undgå tilfrysning af fordamperne, bør man efter endt afrimning, tørblæse fordamperne. Således at der ikke er væske på fordamperne, der risikerer at fryse når driften genoptages.

4.4 Erfaringer

Afrimning af fordampere skal til enhver tid være foran så tilisning ikke

opstår da det medfører en selvforstærkende effekt.

Væske flow og niveau i stænkudskillere er nødvendige parametre for at opnå en effektiv og optimal afrimning.

Fordampere skal blæses tørre, inden genstart af anlæg idet effekten af afrimningen ellers er ineffektiv. Vælger man at tørblæse, skal man reversere blæserne, da man ellers risikerer, at vandet sætter sig på blæservingerne som is.

Afrimning af fordampere eller mangel på samme vil reducere COP-værdien og øger hermed produktionsomkostningerne. Tidsinterval mellem afrimningssekvenser har betydning for anlæggets kapacitet som falder med øget tilsisning, hvor 25 procent reduktion i ydeevne ikke er unormalt ved manglende afrimning.

Teknologisk Instituts erfaringer:

- Is opbygninger en komplekst sag afhængig af tilstanden på luften
- Is densitet på over 200kg/m³ er sandsynlig
- Brugte tømme styret afrimning for kondenserende afrimning
- Optimering af afrimningen er alt afgørende for luft/vand varmepumper
- Den traditionelle tidsstyrede metode er ikke optimal - resulterer i unødvendigt energiforbrug og nogle gange i mangelfuld afrimning
- Intelligent databehandling af forskellige start-og stopsignaler fra en "masterfordamper" kan sikre effektiv afrimning med lavt energiforbrug

Når luft anvendes som varmekilde, er tilrimning et problem, som sænker varmepumpens effektivitet. Dog er det muligt at planlægge sig ud af dette ved at lave flere fordampere tilknyttet hver kompressor. Dermed kan

en enkelt fordamper tages ud af drift til afrimning, mens de resterende stadig er i drift. Tilrimning er specielt et problem i Danmark, da der er mange timer med temperaturer mellem 0-7 °C. Luften er ofte fugtig i dette temperaturniveau, hvilket skaber meget tilrimning. Når temperaturen kommer under frysepunktet, er tilrimningen mindre, da luften er mere tør i frostvejr. De lave temperaturer under fyringssæsonen gør, at virkningsgraden ved luft som varmekilde er lavere end de fleste andre varmekilder.

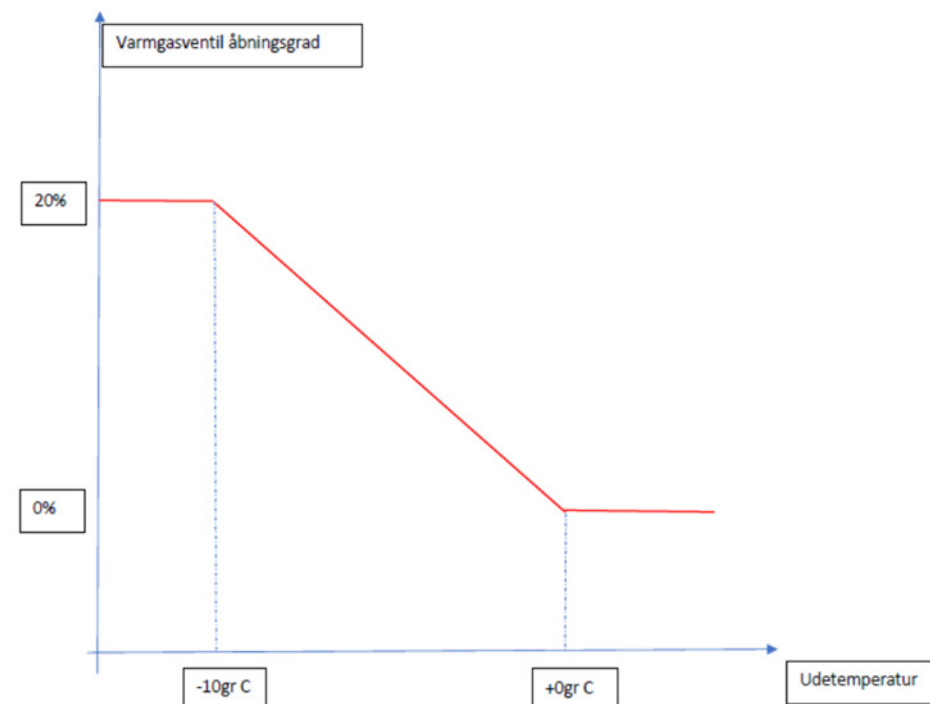
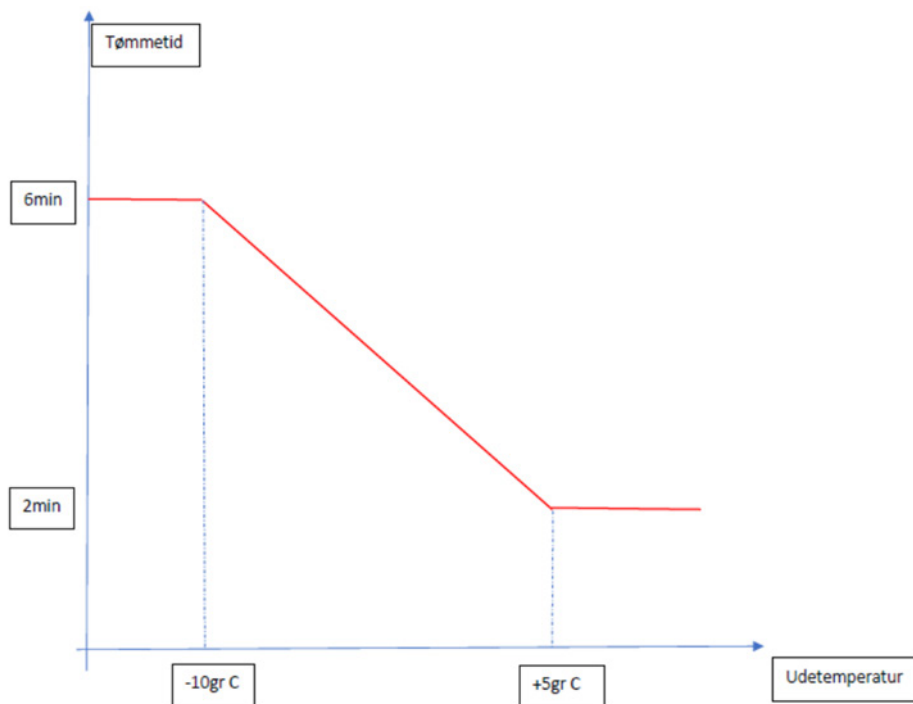
På trods af ovenstående kan luft være en tilstrækkelig varmekilde i områder uden andre varmekilder. Etableringsomkostningerne til en varme-pumpeløsning med luft som varmekilde kan også være væsentlig lavere end andre varmekilder. Dette kan være med til at opveje den lavere effektivitet i vintermånederne.

I øjeblikket er der flere anlæg i Danmark, som bliver etableret med luft som varmekilde.

Som udgangspunkt kan man dele afrimningen op i disse hovedpunkter:

Tømning	Fordamperen tømmes for væske
Afrimning	Der tilføres hotgas/varmvæske
Udligning	trykket udlignes
Påfrysning	Trykket sænkes til sugetryk, så tilbageværende vand fastfryses

Hotgas-afrimningen kan optimeres ved hjælp af en temperaturføler i bunden af fordamperen (væsketilgangssiden), hvorved et setpunkt for afrimningen fastsættes til f.eks. -2 °C, og rækkefølgen af fordampernes afrimning bestemmes ud fra, hvilken fordamper der har den koldeste temperatur. Under afrimningen vil tømmetiden variere med udetemperaturen grundet, at hotgassen vil kondensere i coilen hvor den er den la



veste temperatur (bunden af fordampere), derfor kan man med fordel benytte et afrimningsskema.

Hotgassen kan tilføres fra en economiser, hvor man samtidig har mulighed for at supplere med gas fra kompressorens afgangsside. Her kan man også optimere for at mindske overflødig sugetryk.

Fordamper-temperaturen kan også bruges til at stoppe afrimningen fremfor at køre på en fast tid. Dvs når fordamper-temperaturen kommer op på eksempelvis 10 °C, afsluttes afrimningen.

4.5 Fordele/ulemper ved varmekilden

Fordele:

- Varmekilden er nem at komme til.
- Varmekilden er til rådighed alle steder.
- Teknologien er afprøvet i stor stil ved mindre husstandsinstallationer, mens større varmepumper først netop er idriftsat, så erfaringerne er begrænsede.
- Myndighedsbehandlingen er mere simpel end ved for eksempel grundvand.

Ulemper:

- Varmekilden har lave temperaturer i vinteren
- Kræver afrimning, som reducerer effektiviteten når temperaturen er under 7 °C
- Ventilatorer til kølefladerne støjer, hvilket skal håndteres i planlægningsfasen, dette kan være en begrænsning, hvis der er beboelse omkring anlægsstedet
- Det kræver et areal at opstille fordampere. I Ringkøbing er der opstillet ca. 255 m² fordampere til varmepumpen, som samlet leverer 2,5 MW (om vinteren), hvilket svarer til 102 m²/MW.

5. Kølemidler

Valg af kølemiddel dets forskellige egenskaber i teknisk henseende har betydning for valget af en varmepumpe og dens opbygning, idet de enkelte kølemidler har specielle egenskaber, som stiller krav til anlæggets udførelse og drift.

Alle kølemidler er i teorien lige gode rent termodynamisk, men fungerer dog forskelligt ved forskellige temperaturniveauer, hvilket betyder, at bestemte kølemidler ofte er mest hensigtsmæssige i et system, som er tilpasset dette.

Desuden er der forskellige praktiske forhold, som trykniveau, brandbarhed, giftighed, udvalg af komponenter med mere, som kan gøre, at bestemte kølemidler er bedst egnede i visse applikationer.

Til fjernvarmeproduktion har det indtil nu primært været ammoniak, som anvendes i varmepumpeanlæggene. Man får her et afprøvet produkt, som giver en høj virkningsgrad, samtidig med at der kan anvendes standard komponenter fra kølebranchen, som kan designes til det konkrete anlæg og driftsmønster.

Udviklingen på verdensplan af kølemidler til større varmepumper sker primært ved anvendelse af naturlige kølemidler, og udvalget af disse vil fremover blive større end i dag.

Til de større varmepumper har det hovedsageligt været naturlige kølemidler som har været anvendt, idet disse ikke påvirker virkningsgrader og ydelser.

Det betyder derfor, at visse komponenter, som er udviklet specielt til syntetiske kølemidler, ikke direkte kan anvendes i varmepumper, og derfor kræver tilpasning.

Der er i dag en omfattende regulering af brugen af kølemidler ud fra ønsket om at reducere klimaeffekterne fra kølemidler, samtidig med at man vil tilgodese markedets behov, så der er kølemidler til alle relevante formål.

GWP er den påvirkning et kilo CO₂ har på klimaet
Et kilo CO₂ har en GWP-ækvivalent på 1
Kravene til GWP er maks. 5

Lovgivningen i Danmark forhindrer således, at kølemidler med en høj GWP (Global Warming Potential) kan benyttes i varmepumpeanlæg, og herved sikres, at disse ikke har en skadelig påvirkning på miljøet og er med til at øge drivhuseffekten.

I praksis er kravene i kølemiddellovgivningen således ikke et problem, idet den ikke udelukker brugen af syntetiske kølemidler og hermed hindrer udbredelsen af store varmepumper, men i stedet stiller krav til GWP-belastningen for kølemidlet.

De mest udbredte naturlige kølemidler er ammoniak (NH₃), kuldioxid (CO₂), isobutan (C₄H₁₀) og propan (C₃H₈). De findes alle naturligt i omgivelserne og har derfor ingen negativ klimaeffekteffekt.

Ammoniak har en GWP-faktor på 0, CO₂ en GWP-faktor på 1 mens isobutan og propan begge har en GWP-faktor på 3 og har således begrænset

påvirkning af drivhuseffekten.

Kølemidler som i dag anvendes i de større varmepumpeanlæg, har som tidligere nævnt primært været ammoniak, men i de seneste år er der kommet nye kølemidler på markedet. Der er etableret nye varmepumpeanlæg hvor kølemidlet er kuldioxid (CO₂), isobutan (C₄H₁₀) og propan (C₃H₈).

Alle er de naturlige kølemidler, som har begrænset påvirkning af miljøet omkring os og vil derfor fremover have betydning for etablering af store varmepumper.

Et CO₂-anlæg adskiller sig eksempelvis rent teknisk fra en ammoniakvarmepumpe, selvom arbejdsprincippet er det samme, stilles der forskellige krav til kompressorer, varmevekslere, rørsystemer m.m. Afhængigt af det valgte kølemiddel vil anlæggenes tekniske opbygning adskille sig fra hinanden.

Udover de naturlige kølemidler findes der syntetiske kølemidler, som har forskellige termiske og kemiske egenskaber der gør dem egnede til anlægstyper, hvor naturlige kølemidler har sine begrænsninger.

Eksempelvis vil syntetiske kølemidler kunne anvendes ved høje temperaturforhold og således være et alternativ til traditionelle anlæg som benytter naturlige kølemidler som normalt ikke kan levere disse.

Der er de sidste år dukket nye typer op blandt syntetiske kølemidler, et af dem er R1234ze(E), som har en GWP-faktor på under 1, som egner sig til store varmepumpeanlæg med turbokompressorer fra 20-150 MW og temperaturer op til 95°C.

Af egenskaber hos de omtalte kølemidler kan nævnes:

5.1 Kuldioxid – CO₂

CO₂ er et kendt kølemiddel, som kræver et højt arbejdsstryk og derfor tidligere kun har været anvendt ved lave temperaturer. CO₂ blev anvendt i køleanlæg i starten af det 20ende århundrede, men blev senere udkonkurreret af CFC kølemidlerne. Men med udfasningen af de drivhusbelastende kølemidler (CFC og HFC-kølemidler) i Danmark og andre lande, samt den teknologiske udvikling af kompressorer de seneste 10-15 år, har kølemidlet fundet plads i supermarkedskøleanlæg og anvendes nu også til varmepumpeanlæg hvor der er brug for højere temperatur. Udvalget af komponenter til varmepumpebrug er de samme komponenter, som anvendes til køleanlæg. Det betyder at der til et varmepumpeanlæg er behov for at montere flere ens komponenter når der skal laves et større anlæg for at få den ønskede ydelse.

CO₂ har termodynamiske egenskaber, som gør det er særligt egnet til opvarmning af vand hvor der er brug for et stort temperaturløft, eksempelvis fra 35 til 75°C og derfor egnet til fjernvarmedrift. Når CO₂ anvendes som kølemiddel, i anlæg med CO₂ som eneste kølemiddel, kan man ikke kondensere ved højere end 31 °C. Til Højtemperatursvarmepumper benyttes derfor gaskølere i stedet for kondensatorer. På denne måde kan man benytte CO₂ i det superkritiske (transkritiske) stadie. Herved vil man opleve en lavere virkningsgrad, et virkningsgradstab som dog kan lempes ved brugen af en 'expander' på kompressorakslen der udnytter noget af kølemidlets resterende energi som kinetisk energi.

CO₂-anlæg fås i dag i størrelser over 50 MW, fx det kommende anlæg hos DIN Forsyning i Esbjerg bliver på 50 MW baseret på 2 turbokompressorer.

Fordele:

- GWP 1
- Temperaturer op til 90 °C

- Ikke giftigt og ikke brændbar
- Velegnet til mindre anlæg hvor der er brug for et stort temperaturløft
- Kompakte anlæg
- Kan håndtere stor temperaturforskel mellem varm og kold side

Ulemper:

- Begrænset udvalg af visse hovedkomponenter med stor kapacitet (pga. kravet om højt tryk)
- Fungerer dårligt når returtemperaturen er over 40°C
- Giver en høj COP, men det kræver en lav returtemperatur
- Risiko for tørisdannelse ved sikkerhedsventiler
- Lav kritisk temperatur
- Kvælningsfare ved over 5% koncentration

5.2 Ammoniak - NH₃ - R717

Anvendes bredt i til industriel køling, men teknologien er videreudviklet så det nu også anvendes i varmepumper med få store komponenter og kapaciteter over 1 MW. Ammoniak er nuværende det mest udbredte kølemiddel i store varmepumper.

Ammoniakkøleanlæg har typisk et maksimalt arbejdstryk på 25 bar og kan levere en temperatur på 50-55 °C. Der findes varmepumper med 40 bars komponenter, som gør at man kan nå en temperatur på 70-75°C. Er der brug får højere temperaturer er der udviklet nye, specielle højtrykskomponenter, som gør det muligt at nå temperaturer på 90-95°C.

Fordele:

- GWP 0
- Temperaturer op til 95°C
- Stort udvalg af standardkomponenter som giver effektive og økonomiske anlæg

- Stor tilgængelighed af komponenter
- Høj virkningsgrad
- God som lavtryks kølemiddel i flertrins anlæg
- Lave investeringsomkostninger

Ulemper:

- Giftigt
- Svagt brændbar
- Anlæg skal opbygges i flere trin når der er store temperaturforskelle

5.3 IsoButan - C₄H₁₀ - R600a

Anvendes til mellemstore varmepumper på 4-500 kW med høj temperatur. De termodynamiske egenskaber betyder at det muligt at bruge hovedkomponenter som er udviklet til syntetiske kølemidler.

Det lave driftstryk gør det muligt at opnå temperaturer på op til 85°C uden at trykket overstige 20 bar.

Anlæg minder i opbygning om køleanlæg med syntetiske kølemidler.

Der er fortsat begrænset med erfaring med anlægstypen trods der findes et stort udvalg af egnede komponenter. Leverandører er tøvende med at give produktgaranti på anlæg med isobutan frem for syntetiske kølemidler.

Fordele:

- GWP 3
- Temperaturer op til 85°C
- Simple og prisbillige anlæg.
- Benytter standard kommercielle kølekomponenter
- Kan håndtere stor temperaturforskel imellem varm og kold side

Ulemper:

- Brændbar gas
- Visse hovedkomponenter findes ikke tilgængelig i industrielle størrelser
- Komponentleverandører er tilbageholdende med at yde produktgaranti

5.4 Propan - C₃H₈ - R290

Anvendes typisk til mellemstore varmepumper op til 4-500 kW med fremløbstemperaturer op til ca. 60°C.

Modsat isobutan arbejder propananlæg ved et højere tryk som betyder at en mindre kompressor får større ydelse og propananlæg kan således være fordelagtige, hvor der ikke kræves en høj temperatur.

Fordele:

- GWP 3
- Høj varmeydelse sammenlignet med isobutan
- Simple og prisbillige anlæg.
- Benytter standard kommercielle kølekomponenter

Ulemper:

- Brandbar gas
- Visse hovedkomponenter er ikke tilgængelige i industrielle størrelser
- Maksimal temperatur er ca. 60°C

5.5 Syntetisk kølemiddel - R1234ze (E)

Mest brugt som erstatning for HFC134A og er også udviklet med det in mente.

Dog viser kølemidlet potentiale når det angår store varmepumper, hvor

der også kan opnås høje temperaturer. Kølemidlet muliggør hurtig op og ned regulering, med eksempler på regulering ned til 30 procent af maks-kapacitet. Til forskel for R1234yf bliver R1234ze(E) produceret på industriel skala og er derfor forholdsvis let tilgængeligt.

Fordele:

- GWP<5
- Op til 150° C
- Ikke giftigt
- Høj virkningsgrad
- Kan håndtere hurtig regulering
- God kemisk kompatibilitet med plast og elastomer
- Meget lavt TFA indhold
- Lavt arbejdstryk

Ulemper:

- Begrænset driftserfaring i Danmark
- Let brandbar
- Lav kemisk kompatibilitet med smøreolier

