

F&U projekt
*Løft af brugsvands-
temperatur med
varmepumpe*



DECEMBER, 2023

Viborg Varme a.m.b.a.
Danmarks Tekniske Universitet



Projektdeltagere

Projektet er gennemført af Viborg Varme i samarbejde med Danmarks Tekniske Universitet

Forfattere

Viborg Varme, Tom Diget, Distributionschef

Tidligere ansat i Viborg Varme, Jesper Brink Olesen, Distributionsplanlægger

DTU, Michele Tunzi, Lektor

Kontaktpersoner

Viborg Varme, Tom Diget, td@viborgvarme.dk , +45 40752167

DTU, Michele Tunzi, mictun@dtu.dk , +45 45255019

Tidsramme

Projektet og rapporten er blevet udført i perioden fra Q2 2021 og afsluttet ultimo 2023.

Resumé

Fremtidens varmekilder, som varmepumper, overskudsvarme, geotermi og solvarme, har alle det til fælles at temperaturen i fjernvarmedistributionen har stor betydning for produktionsanlæggenes effektivitet og produktionspris.

Distributionsnettets temperaturer har nogle begrænsninger i, hvor lavt fremløbstemperaturen kan sænkes ift. brugernes fjernvarmeanlæg og desuden afhænger returtemperaturen også af brugernes opbygning af fjernvarmeinstallationen, men i lige så høj grad af, hvordan anlæggene drives og serviceres.

Denne rapport vil belyse, hvordan varmepumper kan benyttes, til at dække brugsvandscirkulationen, som dermed kan medvirke til, at fremløbstemperaturen kan sænkes i distributionsnettet, samtidig med returtemperaturen.

Desuden vil rapporten opstille beregninger, som viser, hvilke positive økonomiske gevinster Viborg Varme og bygningsejeren kan opnå, og hvilke omkostninger det vil have, samt komme med forslag til hvordan en ejerstruktur kan stilles op.

Indholdsfortegnelse

Forord	5
1. Indledning.....	6
2. Baggrund	7
3. Installationsbeskrivelse	9
3.1 Information om varmepumpen	9
3.2 Basissystem	10
3.3 Seriesystem.....	11
3.4 Parallelsystem.....	12
4. Teknisk analyse.....	13
4.1 Målinger, effekter og COP	14
4.2 Målinger, temperaturer	16
4.3 Regulering.....	17
5. Forudsætninger	18
6. Teoretisk analyse.....	19
6.1 Varmepumpetyper	19
6.2 Beregning af returtemperatur	21
7. Økonomisk analyse.....	22
7.1 Omfanget af installationer.....	23
7.2 Vægtet betydning af returtemperaturen.....	24
7.3 Økonomiske fordele i nettet og produktion af varme	24
7.4 Pumpeomkostninger	26
7.5 Modeller for ejerskab	27
7.6 Variable udgifter	28
7.7 Faste omkostninger	29
7.8 Totaløkonomi.....	30
7.9 Vurdering af økonomisk gevinst for Viborg Varme.....	32
8. Konklusion	33
9. Perspektivering.....	34
9.1.1 El-unit	35
9.1.2 Parallelsystem med en el-unit og efterafkøling	36
9.1.3 Parallelsystem med hypoklorid.....	37
9.2 Retur	39
9.3 Variable udgifter	39
9.4 Faste omkostninger	40
9.5 Totaløkonomi.....	41
9.6 Konklusion af perspektivering	42
10. Litteraturliste	43
Bilag 1 – Forudsætninger	44
Bilag 2 - Teoretisk analyse, beregninger	51
Bilag 3 - Økonomisk analyse, beregninger	53

Forord

Viborg Varme har i mange år haft megen fokus på at optimere distributionsnettet mest muligt. Dette projekt har været en god anledning til at afdække et emne, som vi længe har ønsket belyst – om decentrale booster varmepumper kan fungere i et fjernvarmesystem, samt den afledte effektivitet heraf. Vi håber på, at rapporten kan være en inspiration til øvrige fjernvarmeselskaber og andre interessenter.

Tak til

- Danmarks Tekniske Universitet
- Grundfos
- Danfoss Redan
- Danfoss
- Metro Therm

Forkortelser

Med henblik på at gøre læsningen af rapporten lettere, er der valgt at forkorte nogle betegnelser. Hvis ordet ikke sættes i forlængelse af andet, vil betydningen være som beskrevet nedenfor

- Fjernvarmenet, er transmissionsnet og distributionsnet
- Net, er distributionsnet
- Fremløb, er fremløbstemperatur i fjernvarmenet
- Retur, er returløbstemperaturen i fjernvarmenet
- Fjernvarmetemperatur, er både fremløb og retur

1. Indledning

Formålet med projektet er at finde en løsning, hvor det eksisterende fjernvarmenet kan omlægges til fremtidens reducerede fjernvarmetemperaturer, og deraf opnå øget effektivitet i hele fjernvarmesystemet, herunder fjernvarmenettet og produktionsenheder.

En af udfordringerne ved at sænke fremløb i nettet er at imødekomme de krav, der er i større ejendomme med cirkulation. Cirkulationskredsen i større ejendomme ikke komme under 50°C jf. danske standarder DS469 og DS439. Derfor har større ejendomme et behov for en fremløb på omkring 58-60°C, og som dermed sætter grænsen for hvor lav en fremløb, der kan sendes ud i nettet.

Disse installationer har typisk også en forholdsvis høj retur sammenlignet med anlæg uden cirkulation, da det i sommerperioden vil være de 50°C fra cirkulationssystemet, som skal opvarmes af fjernvarmen.

Dette projekt vil undersøge mulighederne for at sænke fremløbsbehovet til ca. 55°C hos forbrugeren, ved hjælp af en varmepumpe med fjernvarmevand som kilde, og samtidig se om returtemperaturen kan sænkes ved forskellige opbygninger af installationen.

Håndteringen vil bestå i at løfte temperaturen i cirkulationskredsen ved brug af en varmepumpe, hvor returen anvendes som kilde i perioder, hvor fremløbet er utilstrækkeligt. En løsningsmodel med en varmepumpe, forventes umiddelbart at være et fordyrende element for bygningsejeren, hvis ikke der ydes en kompensation eller ændres ejerforhold af installationen. Derfor vil projektet også belyse mulige måder at imødegå denne udfordring på.

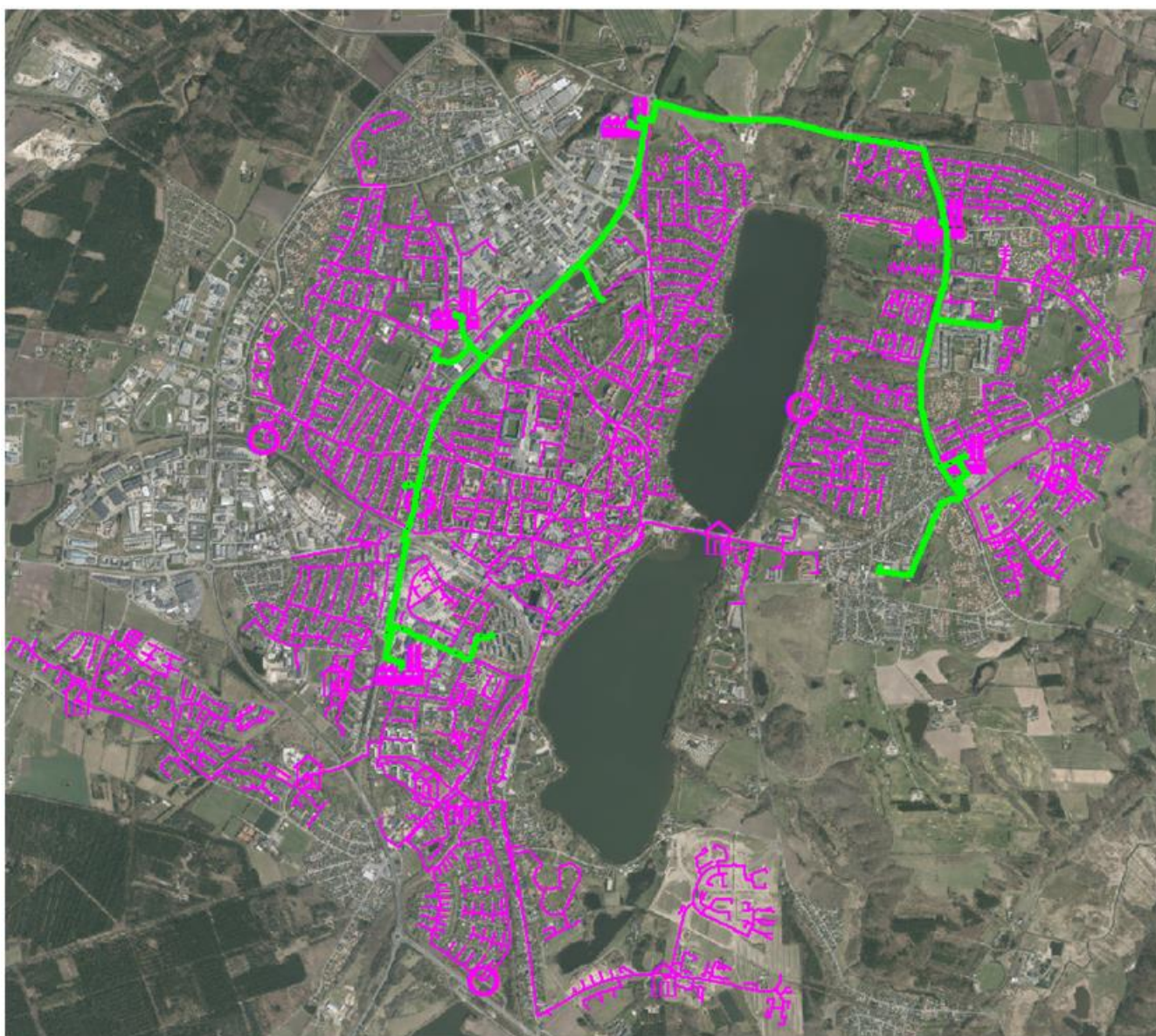
Hovedspørgsmålene for denne rapport vil således være:

- Kan der findes en teknisk løsning, hvor temperaturen i eksisterende cirkulationssystem i en større ejendom løftes ved brug af en varmepumpe?
- Kan en varmepumpeløsning optimere returtemperaturforholdene i installationen?
- Hvilke økonomiske fordele vil forbrugere og Viborg Varme opnå ved sænkningen af fjernvarmetemperaturer i nettet?
- Hvad er den bedste model, for ejerskab af en varmepumpe, set i forhold til besparelserne?

2. Baggrund

Viborg er i dag forsynet med varme fra Viborg Varme Produktion. Produktionsanlægget har i mange år været baseret på et naturgasforsynet gasturbineanlæg samt fire centraler med spids- og reservelastskedler, også forsynet med naturgas. Produktionsanlæggene er forbundet gennem et transmissionsnet. På spidslastcentralerne veksles transmissionsvandet over i distributionsnettet hos Viborg Varme, ligesom kedlerne kan forsyne hhv. ind i distributionsnettet og nogle også ind i transmissionsnettet.

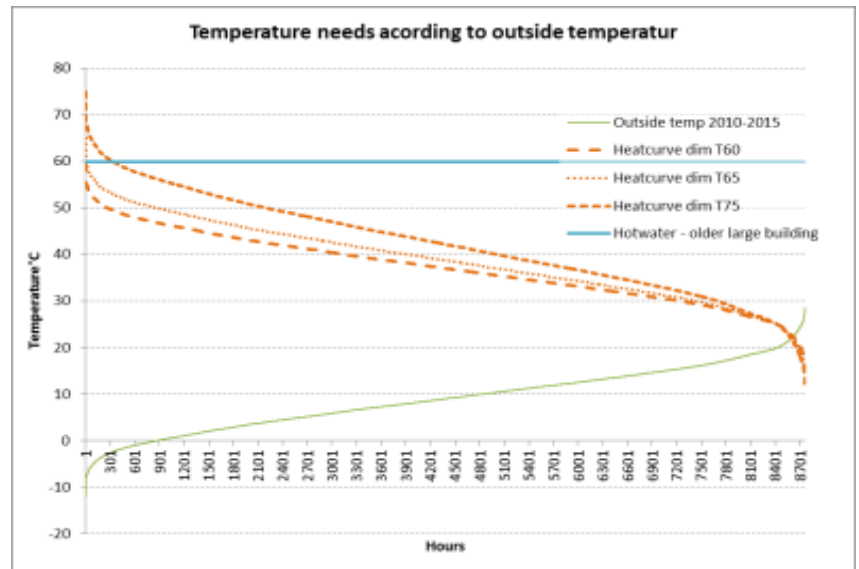
Transmissionsnettet drives ved relativt højere fremløb 75-95°C, for at kunne forsyne nogle blokvarmecentraler, som er forbundet til transmissionsnettet med en transmissionsveksler, ligesom transmissionsnettet også er dimensioneret til højere fremløb og en forbrugermasse, som var væsentlig mindre på opførelsetidspunktet.



Figur 2.1 - Oversigtsbillede over Viborg Varmes distributions- og transmissionsnet

I Viborg Varme er der en massiv omlægning i gang, ved at gå fra naturgasbaseret varmeproduktion til primært at producere varme baseret på el, i en elkedel eller gennem varmepumper, baseret på enten udeluft, Grundvand/søvand, eller forventeligt overskudsvarme.

Da effektiviteten af varmepumper øges, hvis temperaturerne i fjernvarmenettet kan reduceres, ser Viborg Varme derfor på, hvordan fjernvarmenettet kan indrettes, så temperaturen hen over de næste år kan sænkes ned til et niveau, som fortsat kan dække komfortbehovet i forbrugernes anlæg, men som effektiviserer driften med varmepumper.



Figur 2.2 – Nødvendig fremløbstemperatur afhængig af udetemperatur

Fremløb i nettet vil fortsat blive hævet, når radiatoren i de kolde perioder er dimensionsgivende. I de mange timer, når udetemperaturen er over frysepunktet, er det det varme brugsvand, der er dimensionerende for fremløbet. Derfor har Viborg Varme haft megen fokus på at finde løsninger, som sænker fjernvarmetemperaturene mest muligt i forskellige områder i byen. I et senere afsnit i denne rapport, belyses forventningerne til de økonomiske fordele afledt af tiltag, som rapporten omhandler.

Da de fremtidige produktionskilder ikke nødvendigvis har samme effektmæssige størrelse, som der afleveres på spidslastcentralerne i dag, vil det fortsat være nødvendigt at drive transmissionsnettet, så det kan bruges til at fordele varmen fra produktionen.

For at kunne gennemføre disse projekter, er det nødvendigt, at der også optimeres på anlæggene hos forbrugerne, så de udnytter fjernvarmen optimalt og kan fungere ved lavere fremløb.

For anlæg til enfamiliesejendomme er dette forholdsvis simpelt, da der kan anvendes en gennemstrømningsveksler, som er designet til at levere varmt brugsvand ved fremtidens fremløb. Sådanne veksler er allerede i drift i den nye bydel Arnbjerg, som også er udlagt til de fremtidige temperaturer, ligesom Banebyen med flere etageejendomme med individuelle varmeanlæg i hver lejlighed også er udført med disse veksler. Desuden har Viborg Varme en lejeveksler model, som forbrugeren kan benytte, hvor ældre varmeanlæg kan udskiftes til nye effektive anlæg, som også er designet til 50°C i fremløb. Disse anlæg kan levere den nødvendige komforttemperatur på 45°C til brugsvandssystemet ved fremløb på 50°C.

For de større anlæg med cirkulationssystemer, kan der være større udfordringer. Her er det nødvendigt at holde en højere temperatur i cirkulationssystemet af hensyn til bakterier, eller gøre nogle andre tiltag, som sikrer et system uden grobund for bakterier.

Til løsning i de større ejendomme ser Viborg Varme generelt på to løsninger. Enten at temperaturen i cirkulationen hæves med el via en elstav, eller via en varmepumpe. Alternativt kan der tilsættes desinfektionsvæske til det varme vand for fjernelse af biofilmen i rørene, som er grobunden for bakterier. Løsningen med tilsætning af desinfektionsvæske har været afprøvet gennem en årrække, og har vist sig meget effektivt til at sikre et bakteriefrit cirkulationssystem. Der har manglet at finde en løsning, hvor en varmepumpe anvendes til at løfte cirkulationens temperatur. Det vil dette projekt belyse.

3. Installationsbeskrivelse

Bygningen, hvor testene er foretaget, er en etageejendom i Viborg. Bygningen er bygget i 1970 og renoveret i 1993. Den består af 42 lejligheder og har hhv. to og tre etager. Bygningen forsynes i dag af Viborg Varmes et med et fjernvarmetemperaturer på omkring 65/40°C i gennemsnit.

I test-bygningens teknikrum blev systemet for det varme vand udvidet. Installationen blev opført på en sådan måde, at der kunne skiftes imellem tre systemer, hvilket gjorde det muligt at opsamle data og sammenligne dem.

Dette afsnit forklarer omkring varmepumpen, som benyttes i projektet og opbygningen af testinstallationen samt principperne i de forskellige systemopbygninger.

Tre systemer blev undersøgt:

- Basissystem - med kun hovedvarmeveksleren
- Seriesystem - med varmepumpe til opvarmning af cirkulationskredsen, forbundet i serie med hovedvarmeveksleren
- Parallelsystem - med varmepumpe til opvarmning af cirkulationskredsen, forbundet parallelt med hovedvarmeveksleren

De tre systemer beskrives i afsnittene herunder.

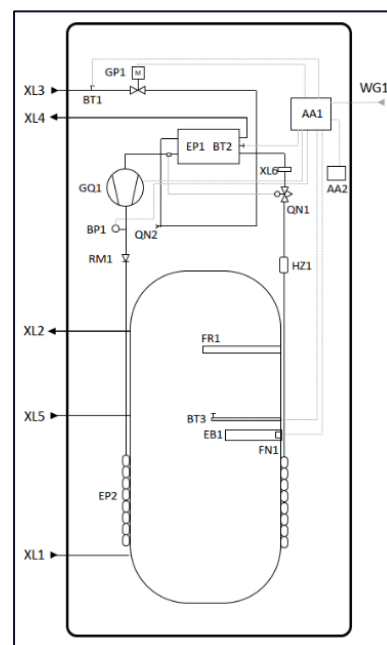
3.1 Information om varmepumpen

Varmepumpen, som anvendes i projektet, er en kommerciel konceptmodel beregnet til husstande. Den benyttes som en traditionel varmtvandsbeholder, hvor et forråd af brugsvand opvarmes inde i beholderen, men hvor en varmepumpe afkøler en varmekilde og opvarmer brugsvandet.

Vand/vand varmepumpen opvarmer vandet inde i beholderen, se opbygningen af varmepumpen på figur 3.1. En spiralveksler, som udvendigt omkranser beholderen, opvarmer brugsvandet ved, at der i spiralen gennemstrømmer varmt kølemiddel. Dette er varmepumpens kondensator.

Som i øvrige varmepumpesystemer er der en fordamper, som i dette tilfælde består af en varmeveksler med kølemiddel på den ene side, som benytter fjernvarmevand som varmekilde på den anden side af veksleren.

Den installerede varmepumpe er en varmepumpe produceret af Metro Therm, type Microbooster, model V. Varmepumpen har en nominel opvarmingskapacitet på 2,7 kW og en nominel COP-værdi på 6 ved en varmekildetemperatur på 40°C (Metro Therm, u.d.).



Figur 3.1 - Illustrering af varmepumpens opbygning (Metro Therm, u.d.)

3.2 Basissystem

Basissystemet med en hovedvarmeveksler vises på figur 3.2. I dette system benyttes en større varmeveksler til at opvarme det kolde brugsvand, som tilføres under tapninger og vand fra cirkulationskredsen.

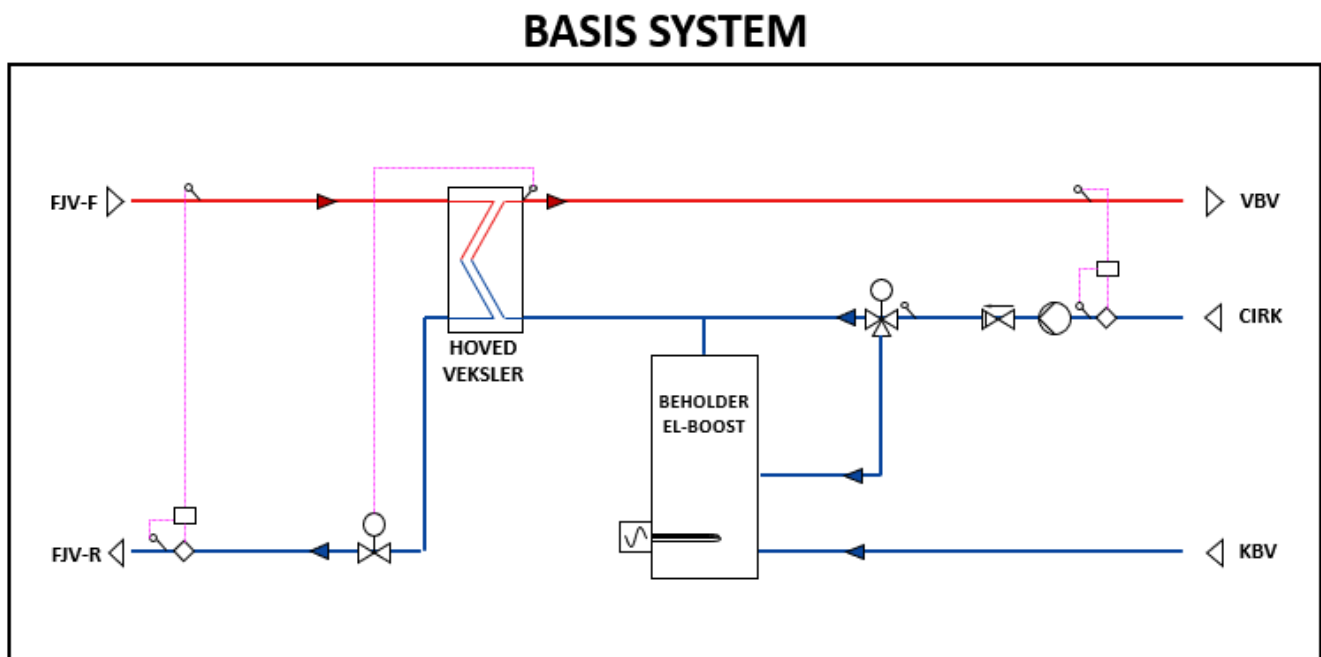
Sekundærsiden

På sekundærsiden i dette system blandes returstrømmen fra cirkulationskredsen med det kolde brugsvand, inden det går ind i hovedvarmeveksleren. Den blandede vandstrøm opvarmes til den ønskede cirkulationstemperatur i hovedvarmeveksleren.

Systemet er forsynet med en beholder med en elstav. Beholderen benyttes til termisk desinfektion, som en forebyggende foranstaltning imod vækst af legionellabakterier. Trevejs ventilen, som er illustreret på figur 3.2, benyttes under termisk desinfektion til at føre cirkulationsstrømmen ind igennem beholderen i stedet for direkte til hovedveksleren.

Primærsiden

Fjernvarmenettet leverer varmen til hovedveksleren på den primære side. Reguleringsventilen, som er placeret på returen af hovedveksleren, regulerer efter at holde den ønskede cirkulationstemperatur ud af veksleren på sekundærsiden.



Figur 3.2 – Skitse, opbygning af basissystem

3.3 Seriesystem

På figur 3.3 vises opbygningen af seriesystemet. I systemet er der tilføjet en afgrening med en forvarmingsveksler og en varmepumpe, forbundet i serie med hovedveksleren på sekundærsiden.

Forvarmingsveksleren er i denne opbygning ikke nødvendig, da hovedveksleren har den nødvendige kapacitet, men af hensyn til den parallelle opbygning er den nødvendig - se afsnit 3.4.

Tanken med dette system er bl.a., at det er nemt at integrere i et eksisterende system. Derudover kan hovedveksleren, uanset fremløb fra nettet, i mindre omfang fortsat bidrage til opvarmningen af cirkulationskredsen, ved at vandet på sekundærsiden først gennemstrømmer hovedveksleren, før det ledes videre i seriesystemet. På denne måde udnyttes fjernvarmen mest muligt til opvarmning, og derved reduceres elforbruget som tilføres varmepumpen.

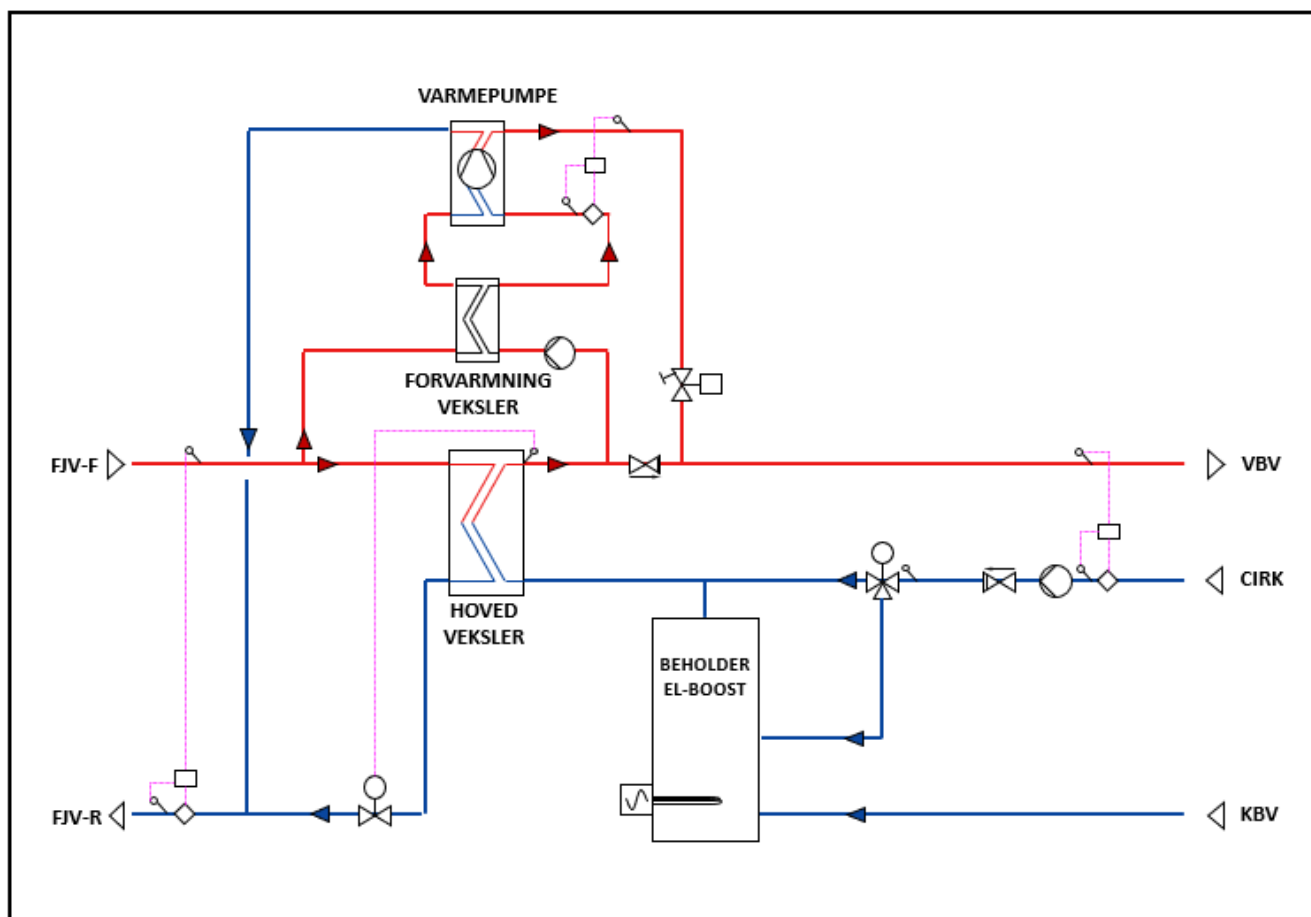
Sekundærsiden

På sekundærsiden blandes cirkulationskredsen og det kolde vand, tilsvarende basissystemet. Hovedvarmeveksleren opvarmer det blandede vand 1 til 2°C inden det ledes videre til forvarmingsveksleren, og varmepumpen opvarmer vandet til omkring 55°C. Efter at vandet har fået det sidste løft igennem varmepumpen, ledes det til cirkulationskredsen.

Primærsiden

På primærsiden, forsynes hovedveksleren direkte med fremløb, hvorefter returvandet herfra ledes til returen. I varmepumpekredsen gennemstrømmer fremløbet først forvarmingsveksleren forinden selve varmepumpen. På denne måde løfter forvarmingsveksleren det cirkulerede vand en anelse mere, før det kommer til varmepumpen. Således udnyttes fjernvarmen mest muligt. Det flow, som kommer fra forvarmingsveksleren, efterkøles af varmepumpen, som dermed benytter flowet som dens varmekilde.

SERIE SYSTEM



Figur 3.3 Skitse, opbygning af seriesystem

3.4 Parallelsystem

Dette system er i store omfang forbundet som seriesystemet. Den anderledes kobling af cirkulationskredsen er beskrevet nedenfor. Tanken bag denne testopstilling er at få en bedre udnyttelse af fjernvarmen ved, at hovedveksleren skal opvarme det kolde vand ved vandværkstemperatur, i stedet for en opblanding af koldt vand og vand fra cirkulationskredsen.

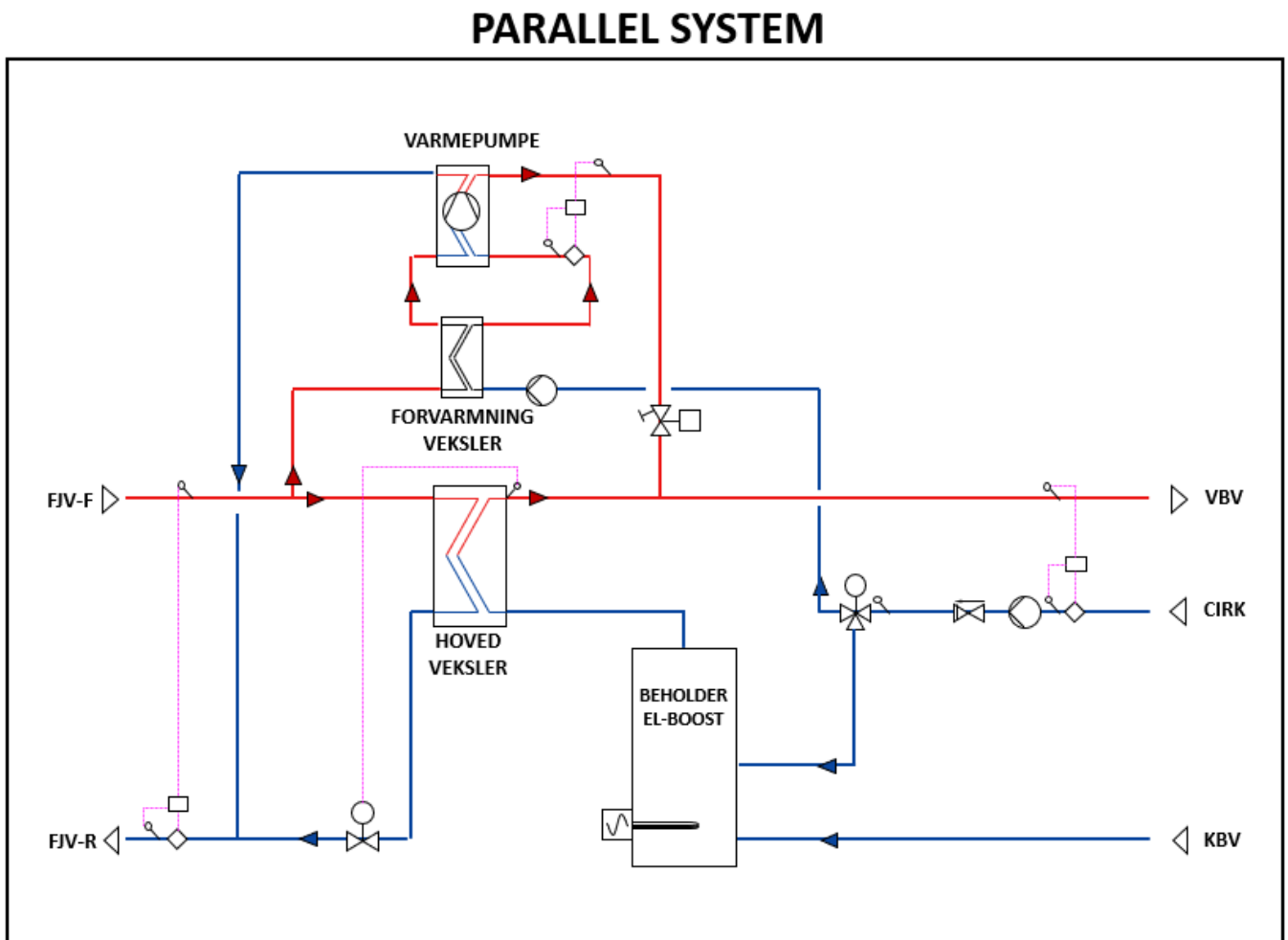
Sekundærsiden

I dette system er varmepumpen forbundet parallelt med hovedvarmeveksleren, som vist på figur 3.4. Hovedvarmeveksleren benyttes nu som en "kold veksler", hvilket betyder, at det eneste vand på sekundærsiden, som gennemstrømmer hovedveksleren, er det kolde brugsvand under tapninger. Varmepumpen og forvarmingsveksleren skal således opvarme cirkulationskredsen til den ønskede temperatur ud i cirkulationskredsen.

Forvarmingsveksleren er både indbygget for at kunne opvarme det der er muligt med fjernvarme før varmepumpen, men også af hensyn til varmepumpens kapacitet, som ikke var stor nok til denne bygning.

Primærsiden

På primærsiden er dette system forbundet ligesom seriesystemet.

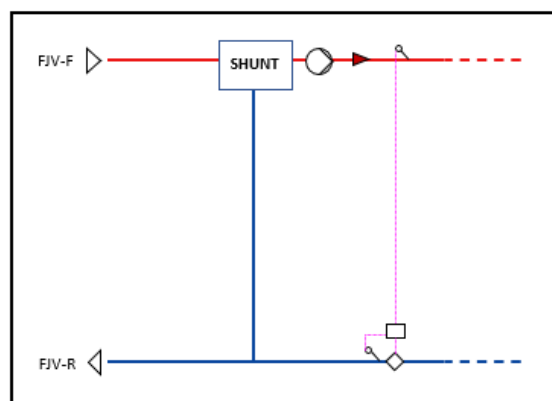


Figur 3.4 - Skitse, opbygning af parallelsystem

4. Teknisk analyse

I testinstallationen, blev der installeret en blandesløjfe / shunt på primærsiden, udformet som vist på figur 4.1. Tanken med shunten var, at der i projektet kunne dannes lave fremløbskonditioner for brugsvandssystemet, så de fremtidige forhold kunne afprøves i praksis. Opstillingen fungerede desværre ikke som forventet, eftersom fremløb efter shunten var meget ustabil, grundet at reguleringen ikke kunne tilpasses så få forbrugere og de udsving i forbruget, der var ved tapninger.

Derfor er data fra test anvendt i den tekniske analyse, baseret på stabile målinger i sommerperioden, hvor fremløb er lavest, omkring 62 til 64°C (uden shunt drift).



Figur 4.1 - Skitse, opbygning shunt

Dog var det med shunten muligt at lave nogle stabile konditioner ved specielle test med fuldt åben reguleringsventil på hovedveksleren, og dermed skabe en stabil fremløb på 55°C, hvilket gjorde det muligt at afprøve varmepumpens funktionalitet og performance ved fremtidens fremløb.

For at undersøge systemernes drift som helhed ved lav fremløb er der i et senere afsnit lavet et teoretisk analyseafsnit, hvor afprøvede faktorer for varmepumpen anvendes i en beregnet opstilling.

De tre forskellige systemer blev testet, hhv. basissystem, seriesystem og parallelsystem. Perioden hvor tests foregik var i sommeren 2022 fra juni til august måned.

Målinger og resultater i analyseafsnittet tager udgangspunkt i en fem-dages periode. Dette er grundet, at der i systemet en gang ugentlig natten imellem tirsdag og onsdag laves termisk desinfektion. Perioden er derfor torsdag til og med mandag. I perioden med termisk desinfektion slukkes varmepumpen. Data for denne periode er derfor ikke retvisende for analysen.

Målinger

For at opsamle data til den tekniske analyse var der i systemet installeret energimålere, som også er vist på figurerne i afsnit 3.

Energimålerne registrerer og logger:

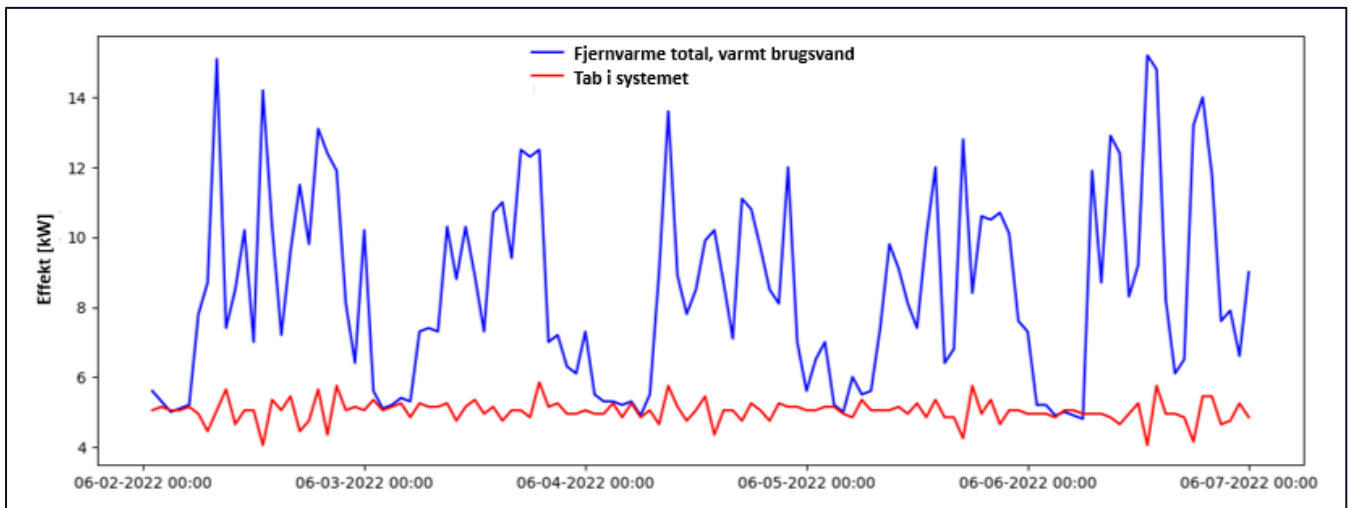
- Temperaturer, flow og energi leveret til det varme brugsvandssystem på primærsiden
- Temperaturer, flow og energi leveret fra varmepumpen til cirkulationskredsen på sekundærsiden
- Temperaturer, flow og energi leveret til cirkulationskredsen på sekundærsiden
- Optaget elforbrug i varmepumpen

Derudover var der monteret flere temperatursensorer til måling af øvrige temperaturer i installationen på primærsiden og sekundærsiden af installationen.

4.1 Målinger, effekter og COP

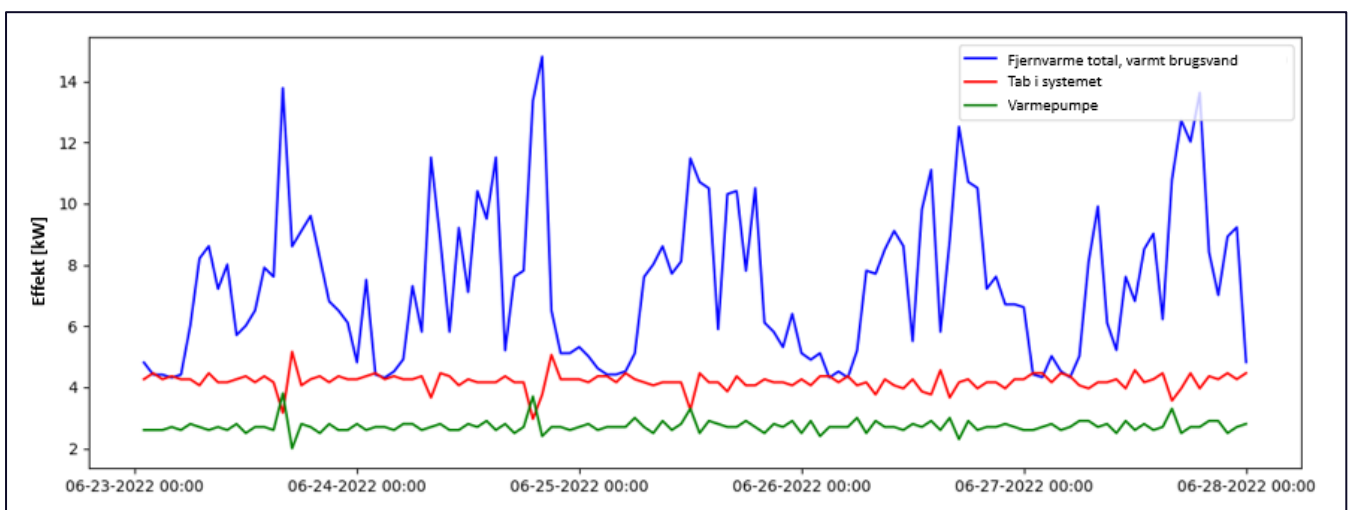
Figur 4.2 viser effektmålinger i basissystemet. Kurverne er et udtryk for gennemsnitlige målte værdier pr. time. Den blå kurve viser den varmeeffekt, der leveres til det varme brugsvandssystem, og den røde kurve viser systemtabet i form af tab til cirkulationskredsen og tab til omgivelserne i teknikummet.

Tabet i systemet var i gennemsnit ca. 5,0 kW i testperioden. Varmeeffekter i systemet varierede i overensstemmelse med brugernes tapninger. Typiske perioder med højt forbrug af varmt vand opstod om morgenen, eftermiddag og aften. Om natten var behovet relateret til systemtab.



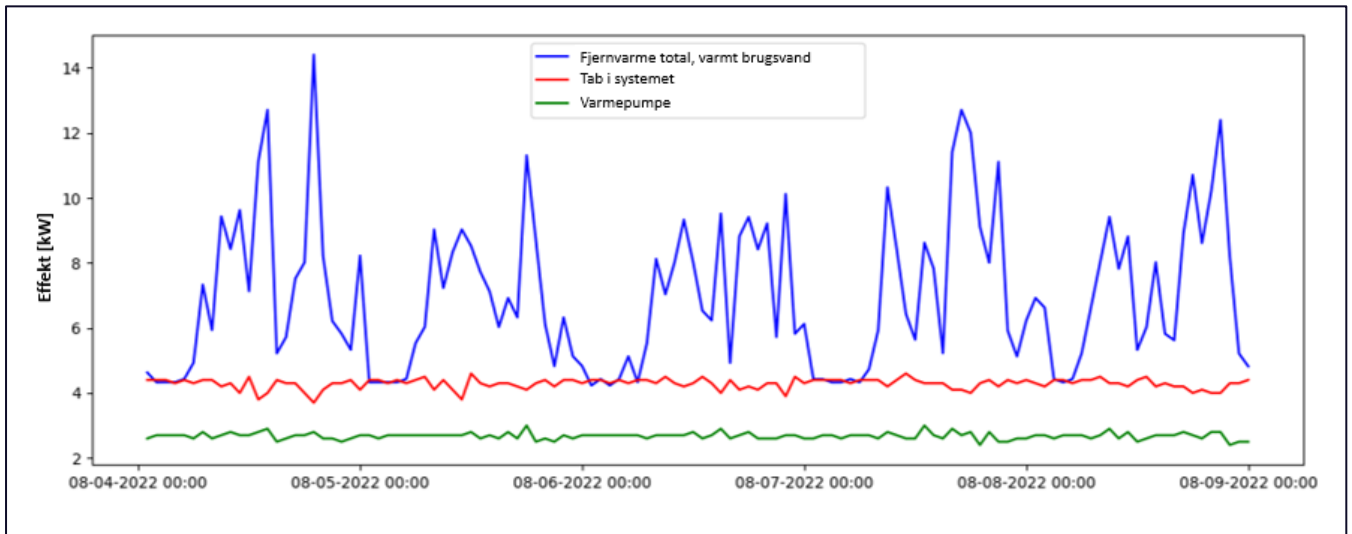
Figur 4.2 - Effekter, basissystem

Resultatet af målinger under testen af seriesystemet, er vist på figur 4.3. Systemtabet var reduceret til omkring 4,4 kW, og heraf varmeleverancen fra varmepumpen var omkring 2,5 kW.



Figur 4.3 - Effekter, seriesystem

Vist på figur 4.4 er effektmålinger under test af parallelsystemet. Systemtabet var omkring 4,3 kW, og varmeleverancen fra varmepumpen var omkring 2,5 kW.

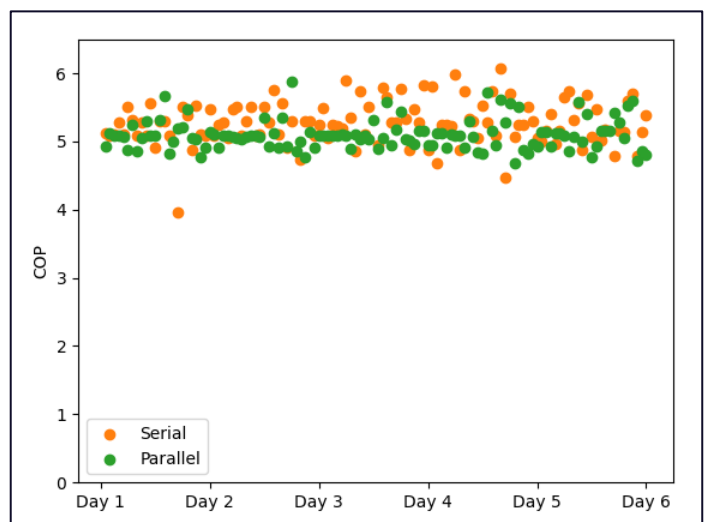


Figur 4.4 - Effekter, parallelsystem

Ud fra effektmålingerne er varmepumpens COP (Coefficient of Performance) beregnet. COP-værdierne for de to testinstallationer med varmepumpe, kan ses på figur 4.5. Ifølge målingerne var det timelige elforbrug omkring 0,5 kW, mens varmeleverancen fra varmepumpen var omkring 2,5 kW. De resulterende målte COP-værdier var i gennemsnit 5,3 og 5,1 for henholdsvis serie og parallel drift. Målingerne er som nævnt gjort ved 62 til 64°C i fremløb.

Som beskrevet i afsnit 4, blev der lavet nogle særlige tests med henblik på at skabe en stabil fremløb på 55°C for at afprøve varmepumpens effektivitet ved lav fremløb drift.

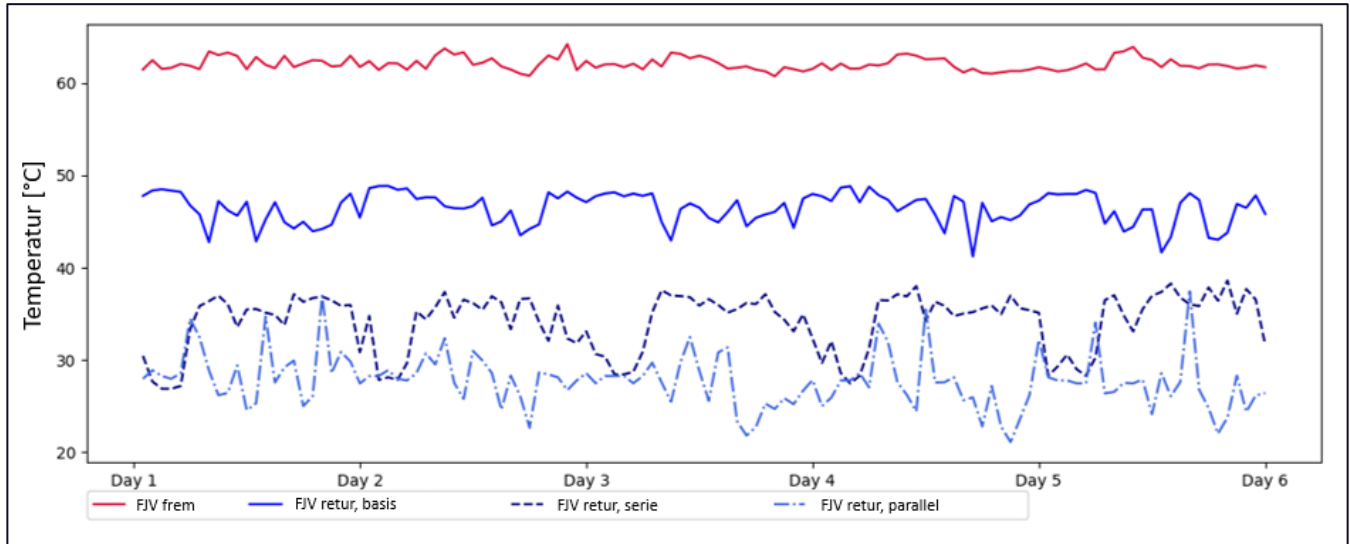
Test ved stabile 55°C i fremløb viste, at COP-værdien var omtrent uændret med en midlet værdi omkring 5,2. Afkølingen af fjernvarmen var også omtrent den samme. Dermed vurderes det, at en COP 5,2 for drift af varmepumpen vil være retvisende at anvende i de teoretiske og økonomiske beregninger.



Figur 4.5 – COP-værdier for testinstallationer, ved fremløb 62 til 64°C

4.2 Målinger, temperaturer

Under testene var fremløb stabil omkring 62 til 64°C. Fremløb, sammen med at varmebehovet i perioden, var omtrent det samme. Dette gør, at resultaterne for retur i de tre tests er sammenlignelige. Figur 4.6 viser målinger fra testene af de tre systemer.



Figur 4.6 - Temperaturmålinger

Kurven for returen i basissystemet indikerer tydeligt, at det ikke er muligt at opnå en lav retur med kun en hovedveksler, der opvarmer både det kolde brugsvand og cirkulationsstrømmen. Dog kan det bemærkes, at i perioder med forbrug af varmt brugsvand reduceres returen ved, at det kolde vand bliver blandet med cirkulationskredsen under opvarmning.

Testene viste, at forvarmningsveksleren og varmepumpen i begge systemer havde en positiv indvirkning på at reducere returtemperaturerne. Selvom varmepumpen var dimensioneret til 2,5 kW, som er mindre end systemtabet, var det muligt at opretholde temperaturniveauerne på det varme vand, som de var i basissystemet. Dette var på grund af den højere fremløb på 62 - 64°C, som bidrog til en markant andel af opvarmningen i forvarmningsveksleren.

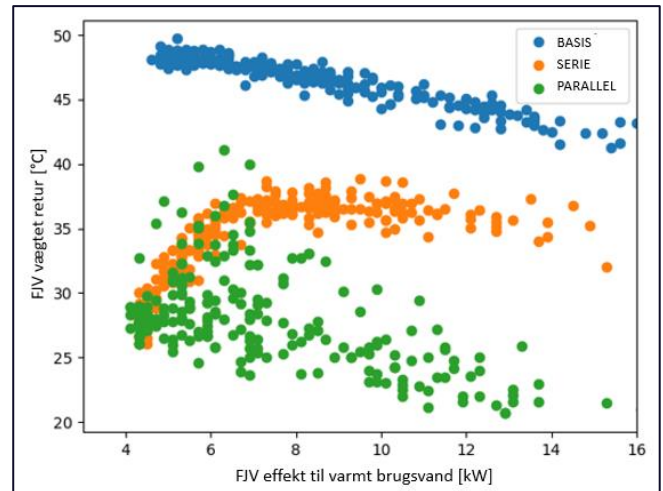
Den lavest volumen-vægtede retur i brugsvandssystemet opnås ved drift i parallelsystemet. Dette på grund af den positive effekt ved at adskille opvarmningen af varmt brugsvand og cirkulationskredsen. Resultaterne af returen i systemerne var hhv. 28°C for parallel, 34°C for serie og 46,5°C for basisdrift.

4.3 Regulering

Testene var også vigtige for at vurdere den overordnede regulering af systemerne og varmepumpen. Figur 4.7 viser forholdet mellem den samlede effekt leveret til det varme brugsvanssystem ud af x-aksen og den vægtede retur op ad y-aksen.

Målingerne i testene af basis- og seriesystemet viser en jævn udvikling af returen, imens test af parallelsystemet har en større spredning / afvigelse. Årsagen til afvigelserne i returen skyldes et problem med styringen af reguleringsventilen på primærsiden af hovedvarmeveksleren.

Reguleringsventilen, som styrer temperaturen ud af hovedveksleren, regulerer efter en temperaturmåling på sekundærsiden af veksleren. Årsagen til den ujævne drift under parallelsystemet skyldes, at temperaturmålingen sker i noget stillestående vand, fordi der kun sker gennemstrømning under tapninger. Stillestående vand gør det vanskeligt at overføre varme igennem veksleren. Det resulterer i ustabil kontrol med unødvendig ventilåbning, højere flow på den primære side og derfor højere retur.



Figur 4.7 - Graf, retur ud fra effekt

5. Forudsætninger

Forudsætningerne som anvendes til beregning af returtemperatur i dette teoretiske afsnit og i den økonomiske analyse, er vist i en liste nedenfor. Forudsætninger for varmepumpesystemet med vand/vand er dannet ved at se på målingerne i de forskellige driftsperioder, og for luft/vand varmepumper iht. datablad som nævnt i det forrige afsnit.

Værdier for nødvendige driftstimer og fremløb i nettet er dannet ved at se på data fra Viborg Varmes distributionssystem i 2021.

Fordeling af varmemeforbruget til varmt brugsvand, cirkulation mv. er dannet ved at kigge på de aktuelle aflæsninger fra test-installationen i 2021.

Uddybning og videre redegørelse for forudsætningerne, kan findes i "Bilag 1 - Forudsætninger".

De valgte forudsætninger, som er valgt at benytte, er listet herunder:

Værdier ved fremløb 55°C

Varmepumpe vand/vand, COP	: 5,2
Varmepumpe vand/vand, retur	: 30°C
Forvarmningsveksler, bidrag	: 1°C
Koldt vand, temperatur	: 16°C
Hovedveksler, retur ved tapninger	: 21°C (5°C over koldt vands temperatur)
Teoretisk nødvendig driftstimer	: 4.600 timer pr. år
Gennemsnitligt fremløb ved forbruger	: 56°C

Værdier ved fremløb 62-64°C

Varmepumpe vand/vand, COP	: 5,3
Varmepumpe vand/vand, retur	: 30°C
Forvarmningsveksler, bidrag	: 1,5°C
Koldt vand, temperatur	: 16°C
Hovedveksler, retur ved tapninger	: 19°C (3°C over koldt vands temperatur)
Teoretisk nødvendig driftstimer	: 4.160 timer pr. år
Gennemsnitligt fremløb ved forbruger	: 65,5°C
Vægtet retur ved basisdrift	: 46,5°C

Fælles

Cirkulationstab	: 4,3 kW kontinuerligt
Cirkulation	: 37.688 kWh/år
Tapning	: 35.373 kWh/år

Installationsomkostninger

Vand/vand varmepumpe	: 60.000 kr.
Luft/vand varmepumpe	: 70.000 kr.

Variable udgifter

Elpris, forbruger	: 1,60 kr.
Elpris, Viborg Varme	: 0,88 kr.

6. Teoretisk analyse

Som tidligere nævnt var det ikke muligt at benytte en shunt til at opretholde en stabil fremløb på 55°C. Derfor vil dette afsnit opstille en model, som skal beregne den vægtede retur ved brug af en varmepumpe ved lav fremløb.

Det er valgt også at kigge på mulighederne ved at benytte en luft/vand varmepumpe, som udnytter overskudsvarme i teknikrum, eller udetemperaturen som dens varmekilde. Baggrunden herfor, er at det vurderes at kunne give en bedre totaløkonomi for enten Viborg Varme eller forbrugeren, fordi luft som varmekilde ikke har en omkostning set i forhold til en vand/vand varmepumpe, som har et forbrug af fjernvarme som dens varmekilde.

I den del af analysen, hvor der vurderes på driften af en vand/vand varmepumpe, er det valgt at gå videre med parallelsystemet. Parallelsystemet vurderes at være den bedste løsning. Dette er på baggrund af, at systemet opnår den laveste retur samtidig med at forvarmningsveksleren hjælper med at reducere elforbruget.

6.1 Varmepumpetyper

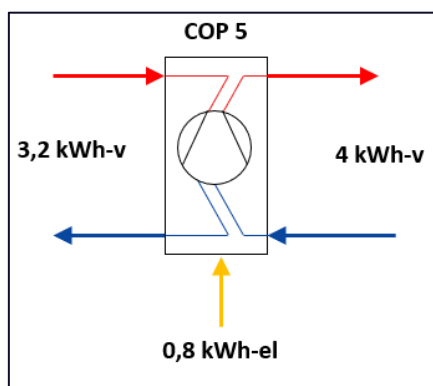
Vand/vand - fjernvarme

Varmepumpen, som er afprøvet i projektet, afkøler som nævnt fjernvarmevand på primærsiden. Opbygningen har en COP på ca. 5. Det betyder at ved brug af denne type varmepumpe, skal der hver gang der produceres 4 kWh varme til cirkulationen, bruges 0,8 kWh-el og der optages 3,2 kWh-fjernvarme som varmekilde/kølemedie. Energifordelingen er vist på figur 6.1

I forhold til returtemperaturen, er der under drift i test-installationen opnået en returtemperatur fra varmepumpen på ca. 30°C. Se mere herom i næste afsnit.

Varmepumpen, som er benyttet i test-installationen, er som tidligere nævnt af fabrikat Metro Therm. Figur 6.2 er et udklip fra varmepumpens manual. Her fremgår COP værdier ved nogle givne konditioner. Der forventes at kunne leveres en COP fra varmepumpen på 6 ved en varmekilde på 40°C.

I testinstallationen blev fjernvarmen kølet fra mere end 55°C, og ned til 30°C, hvorved der blev opnået en COP på ca. 5,3. Dog blev det varme vand også opvarmet til en højere temperatur, end hvad der er angivet i databladet. COP værdierne i testen, er således ikke væsentlig anderledes end forventet fra fabrikanten taget temperaturforskelle i testen og databladet i betragtning.



Figur 6.1 - Skitse, energifordeling vand/vand varmepumpe

Ydelsesdata			
Varmekilde ved 25°C, brugsvand ved 10-53,5°C (EN16147, L)			
COP	-	5,3	
Opvarmningstid	hh:mm		04:30
Varmekapacitet	W		2100
Varmetab ved stilstand	W		12
Varmekilde ved 40°C, brugsvand ved 10-53,5°C (EN16147, L)			
COP	-	6,0	
Opvarmningstid	hh:mm		02:50
Varmekapacitet	W		2700
Varmetab ved stilstand	W		9
Volumen ved 40°C	L		247
Lydkraftniveau	dB(A)		43

*Hvis brine benyttes som varmekilde er minimumtemperaturen 5 °C.
Hvis rent vand benyttes er minimumtemperaturen 10 °C.

Figur 6.2 - Udklip fra manual, ydelsesdata (Metro Therm u.d.)

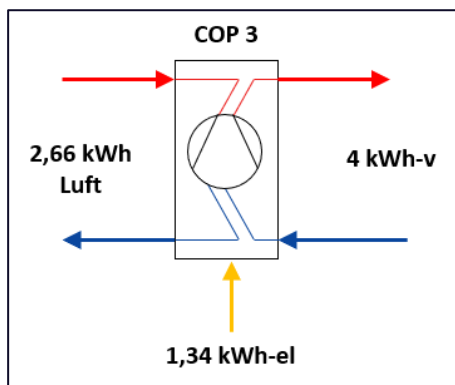
Luft/vand – indeluft

Som nævnt i indledningen af det teoretiske afsnit vælges der at kigge på luft/vand varmepumpetypen, fordi luften som varmekilde er omkostningsfri i den forstand, at der køles på omgivelserne i et teknikrum.

Metro Therm blandt andre har også en kommerciel varmepumpe af denne type. Figur 6.4 viser et udklip fra varmepumpens manual. Her fremgår det, at der omtrent kan opnås en COP på hhv. 3,6 ved køling på udeluft og 4,1 ved køling af indeluft.

Hvor vidt der er overskudsvarme nok i luften et teknikrum til at producere cirkulationsvarme afhænger af varmetab til omgivelserne fra bl.a. rumvarme- og brugsvands-installationer. Det afhænger således af den individuelle installation. Derfor tages der konservativt udgangspunkt i, at varmepumpens varmekilde er udeluft, som ifølge manualen giver en COP på ca. 3,6. I testen af vand/vand varmepumpen blev der åbnet en COP på ca. 5,3 svarende til ca. 12% mindre end den der var oplyst i manualen. COP for luft/vand reduceres også med 12% ned til 3,14.

For at producere eksempelvis 4 kW cirkulationsvarme, skal der ved en COP på 3, benyttes 1,34 kWh el og afkøles 2,66 kW indendørsluft.



Figur 6.3 - Skitse, energifordeling luft/vand varmepumpe

Ydelsesdata			
Udendørsluft ved 7°C (EN16147)			
COP	-	3,57	3,69
Opvarmningstid	tt:mm	06:28	09:12
Varmetab ved stand-by	W	17	20
Lydkraft niveau	dB(A)	49	49
Indendørs luft ved 20°C (EN16147)			
COP	-	4,13*	4,20
Opvarmningstid	tt:mm	05:15*	07:09
Varmetab ved stand-by	W	17*	21
Lydkraft niveau	dB(A)	55,6	55,6
Volumen ved 40°C	L	247	331
Auxiliary Power	W	1,61	1,61

*Skal tredjepartstestes.

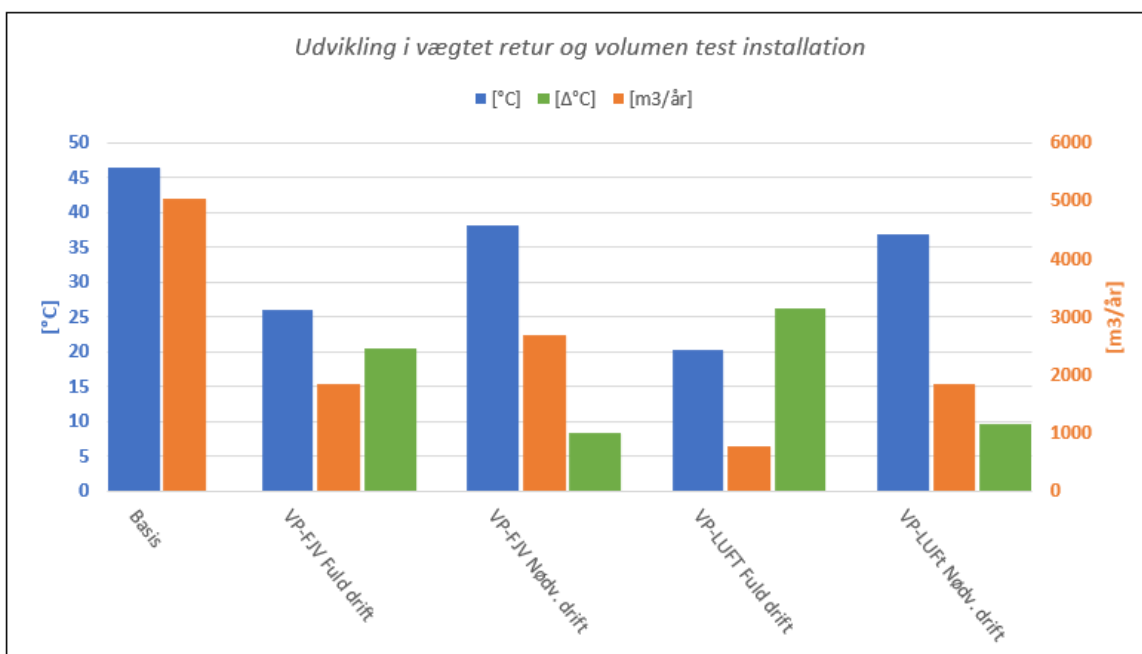
Figur 6.4 - Udklip fra datablad, ydelsesdata (Metro Therm, u.d.)

6.2 Beregning af returtemperatur

Beregning af returen sker ved at beregne volumener ved hhv. produktion af tapninger og cirkulationstab. De to volumener blandes og der kan nu beregnes en vægtet teoretisk retur. Der udføres to beregninger, en hvor varmepumpen kører hele året, og en hvor varmepumpen drifter de nødvendige timer. De nødvendige timer er det antal af timer, hvor fremløbet er for lav til at der kan produceres 55°C i cirkulationssystemet, se evt. mere i Bilag 1.

Resultatet af beregningerne i "Bilag 2 – Teoretisk analyse, beregninger" er vist i figur 6.5. Det fremgår, at en vand/vand varmepumpe kan opnå en retur på hhv. 26 og 38°C ved hel eller delvis drift, og en luft/vand varmepumpe tilsvarende kan opnå en returtemperatur på mellem 20 og 37°C. Den teoretiske analyse viser således, at den bedste returtemperatur hos forbrugeren opnås ved brug af en luft/vand varmepumpe. Dette skyldes, at når en vand/vand varmepumpe producerer cirkulationsvarme baseret på fjernvarme, leveres 30°C tilbage til fjernvarmesystemet, hvor en luft/vand varmepumpe, i de tidspunkter hvor den drifter, ikke leder noget tilbage til fjernvarmesystemet, men i stedet køler luften omkring den.

Disse vægtede returtemperaturer tages videre til den økonomiske analyse.



Figur 6.5 - Resultater, af teoretiske beregninger, vægtet returtemperatur ved varmepumpedrift

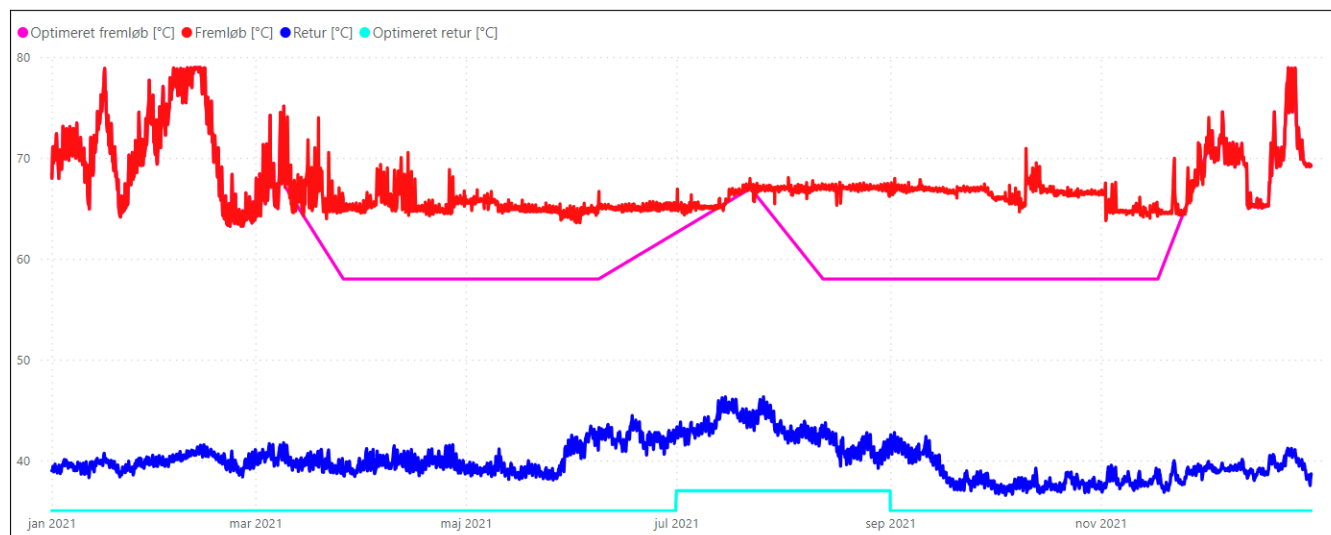
7. Økonomisk analyse

Mulighederne for økonomiske fordele ligger som tidligere nævnt hos Viborg Varme og til dels hos forbrugeren, afhængig af hvordan installationen og ejerskab af varmepumpeinstallationen opbygges.

Fordelene for Viborg Varme ligger i, at der kan leveres fjernvarme ved lavere fremløb i nogle perioder af året, og at der fra forbrugerinstallationer med varmepumpe som denne løsning leveres en lavere retur tilbage i systemet. Lavere temperaturer i nettet gør, at Viborg Varmes produktionsenheder får en større effektivitet, samt at der genereres et mindre varmetab i nettet.

Nedenstående figur 7.1 viser eksisterende fremløb i nettet med reference i året 2021 samt forventningerne til fremtidens optimerede temperaturer med effektivisering af mange tiltag, heriblandt installationer som rapporten omhandler.

Temperatursættet er optimeret med 4,6°C på fremløbet fra et årligt gennemsnit på 67,1°C til 62,6°. Returen er optimeret med 4,8°C fra 40,1 til 35,3°C.

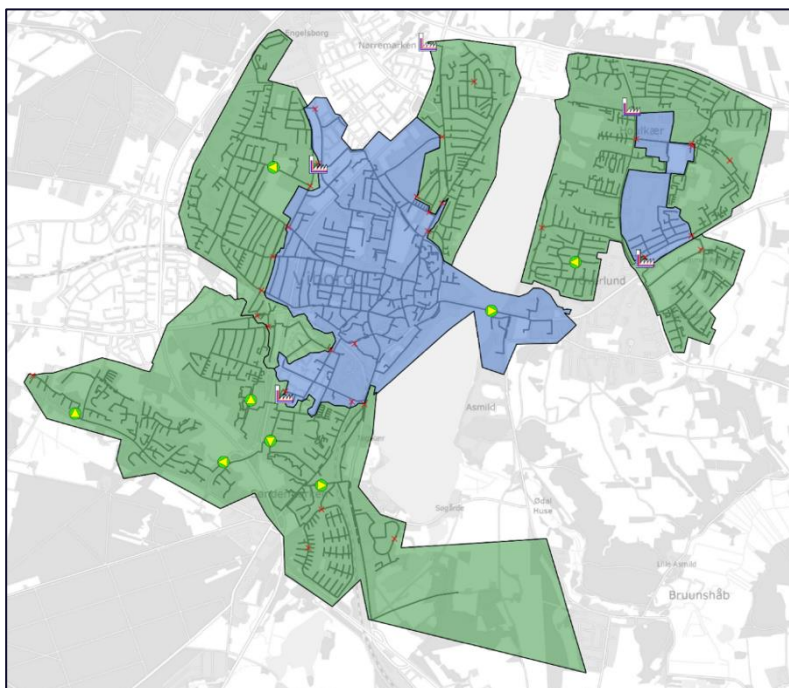


Figur 7.1 - Nuværende og fremtidige temperaturforhold i nettet

7.1 Omfanget af installationer

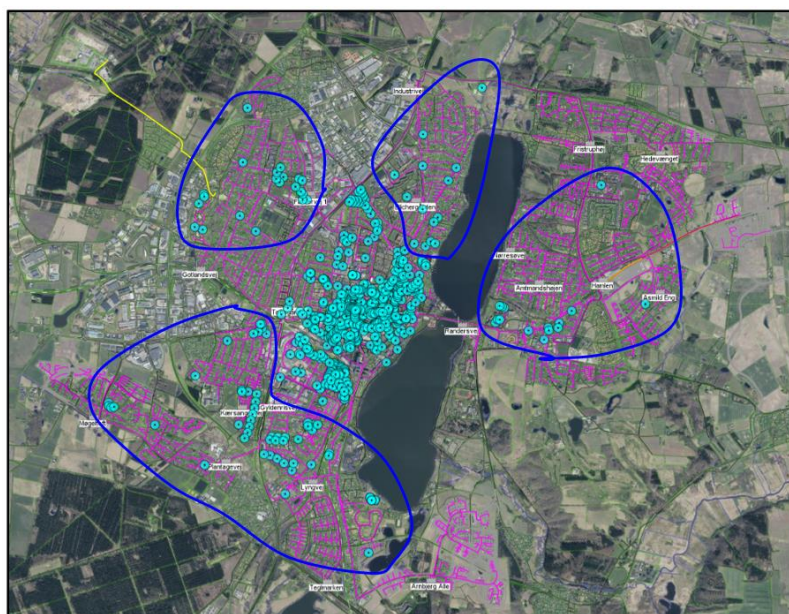
For at kunne beregne, hvilken indflydelse decentrale varmepumper har på forbedring af returen samt hvilke investeringsomkostninger der skal bruges, er det nødvendigt at kende omfanget/antallet af installationer, hvor det er nødvendigt at installere decentrale løsninger som en varmepumpe.

Figur 7.2 viser opdelingen af Viborg Varmes net med to temperaturzoner, hhv. blå og grøn. I de blå zoner findes mange etageejendomme og ældre bygninger med cirkulationssystemer, som har behov for højere temperaturer. Denne type bygninger findes også i de grønne zoner, men antallet er begrænset. Zoneopdelingen er mulig, såfremt det er rentabelt at finde decentrale løsninger til etageejendomme mv. i de grønne zoner.



Figur 7.2 - Fremtidige temperaturzoner

Det forventes, at der er ca. 100 bygninger med større cirkulationssystemer i de grønne zoner, som vil få behov for løft af cirkulationstemperaturen ved brug af en varmepumpe eller alternativer. Bygningerne forventes generelt ikke at have samme størrelse som den i test forsøget. Antallet reduceres vægtet til 75 stk., grundet at installationsomkostninger og driften ved mindre installationer forventes at være mindre.

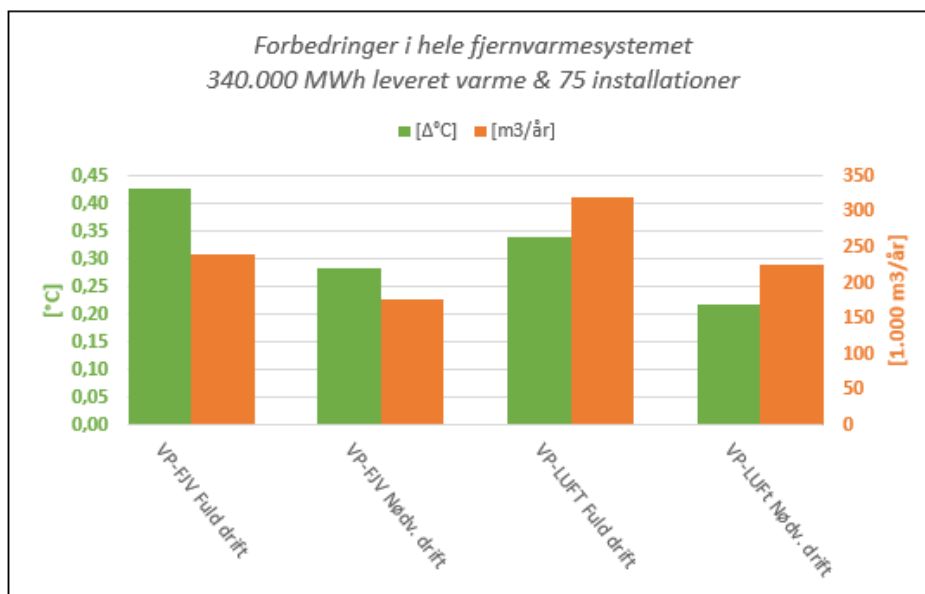


Figur 7.3 - Opmærkning af områder, ejendomme med behov for decentralt boost

7.2 Vægtet betydning af returtemperaturen

I afsnit 6 som omhandlede teoretisk analyse af returen blev det vist, hvilke returtemperaturer et system med en varmepumpe kunne driftes ved. Ved at omfanget af installationer nu er defineret, svarende til ca. 75 installationer som test ejendommen, kan betydningen for det fælles system findes.

I figur 7.4 vises hvilken betydning, som installation af 75 decentrale varmepumper vil medføre på den samlet vægtede retur. Ved brug af en varmepumpe baseret på fjernvarme som varmekilde, optimeres den tilbageførte retur, og der kan opnås en ændring på ca. 0,3 til 0,4°C for det samlede system. Ved brug af en luft/vand varmepumpe fjernes eller reduceres mængden af fjernvarme forbrug i cirkulationssystemet i perioder hvor varmepumpen er i drift, og det medfører forbedringer på det samlede system med ca. 0,2 til 0,35°C. Hvilken betydning det får for den samlede økonomi, belyses i de følgende afsnit.



Figur 7.4 – Ændringer i returen for det fælles system

7.3 Økonomiske fordele i nettet og produktion af varme

I forbindelse med denne rapport, er der foretaget analyser i produktions-softwaret Energy Pro samt andre beregninger på varmetabet i fjernvarmenettet.

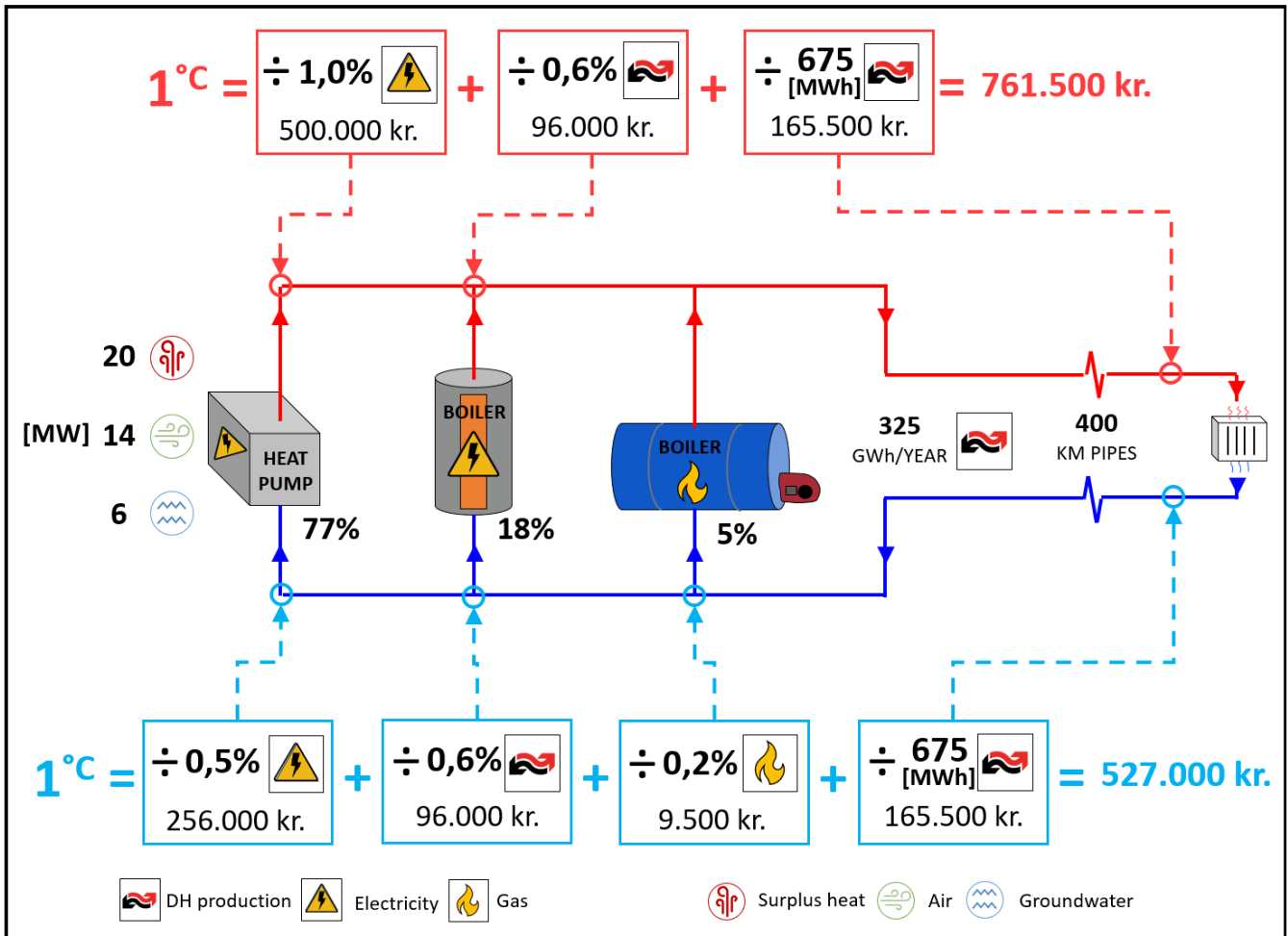
Viborg Varme har i 2023 idriftsat en luft til vand varmepumpe og en elkedel. I 2024 følger idriftsættelsen af yderligere to varmepumpe installationer, en baseret på udeluft og en anden på grundvand/søvand.

Viborg Varme er i gang med at undersøge mulighederne for at udnytte overskudsvarme fra flere aktører placeret i Foulum. Det være sig et datacenter og en transformerstation. Viborg Varme er i gang med at planlægge en varmepumpecentral, som skal udnytte overskudsvarmen fra de to energikilder. Projektet kaldes i daglig tale for "Energihub". Energihub skal forbindes til distributionssystemet via en transmissionsledning. Varmeeffekten fra Energihub vil gradvist øges efterhånden som varmekilderne udbygges.

I denne analyse benyttes en antaget varmeeffekt fra Energihub på 20 MW. Nedenstående figurer viser ca. fordeling af produktionen og besparelserne i kr. pr. forbedret grad på returen eller fremløbet. Tallene er beregnet ud fra Viborg Varmes kendskab til varmepumpeproduktion på nuværende tidspunkt. Det kan være ganske vanskeligt at beregne en repræsentativ besparelse, eftersom det afhænger af mange faktorer herunder COP-forbedringer for den enkelte varmepumpeteknologi, energimarkedet og særdeles også de forudsætninger som gives til beregningsprogrammerne. Det er valgt at forsøge at holde beregningen konservativ for ikke at medregne større besparelser, hvoraf der er tvivl om de kan opnås.

Hvis tiltagene som decentrale varmepumper indføres, og fremløbet reduceret med 4,6°C, ud fra grafen vist på figur 7.5, vil der kunne spares omkring 3,5 millioner kr. pr. år, eller 761.500 kr. pr. grad pr. år. Besparelsen udgør reduceret varmetab i nettet, reduceret elforbrug til varmepumperne ud fra en forventet forbedret COP-værdi, samt reduceret produktion på elkedel ved at produktionsprisen for varmepumperne forbedres.

Returen har en mindre betydning for COP-værdierne i den forventede varmepumpe sammensætning i Viborg Varme, hvilket resulterer besparelsen på 527.000 kr. pr. grad pr. år. Returen har mindre betydning i reduceret gasforbrug, når kedlerne producerer varme.



Figur 7.5 - Fordeling af besparelser ved reduceret temperatur i nettet

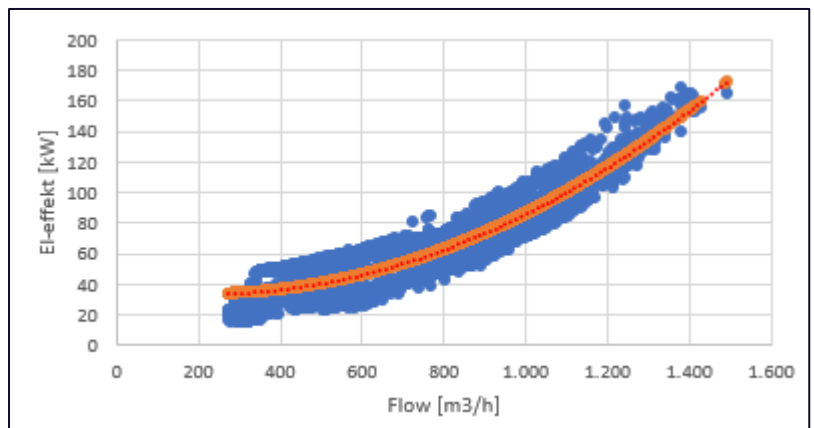
Forud for rapportskrivningen var der en forventning om, at returen ville blive forbedret på en måde, som gjorde at returen ville blive optimeret i samme grad som fremløbet, og at pumpeomkostningerne til at levere fjernvarmen ville være omtrent de samme. Men på baggrund af beregningerne i forrige afsnit som viser, at der maksimalt kan opnås 0,4°C forbedret retur ved implementering af 75 anlæg, vurderes det, at det er nødvendigt at indregne en meromkostning til pumpedrift.

Besparelserne afledt af den lavere retur vil blive brugt enten til reduktion i varmeprisen, eller bidrag til forbrugers incitamentstarif afhængig af ejerskabsforholdene og strategiske beslutninger for implementering af tiltagene. Det belyses i de følgende afsnit.

7.4 Pumpeomkostninger

Når fremløbet reduceres, øges flowet i nettet også. Der er til analysen lavet en repræsentativ vurdering af elforbruget ud fra et teoretisk elforbrug med reference til året 2021. Elforbruget er vist på figur 7.6.

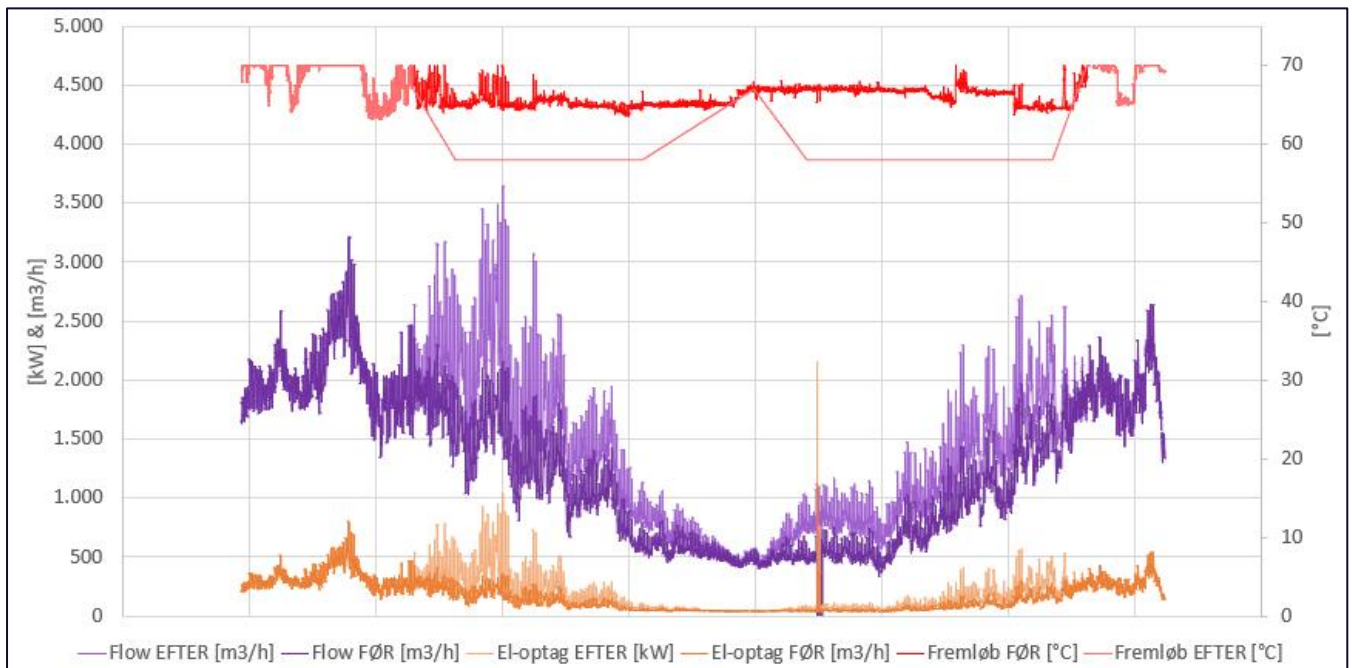
Figuren viser el effekt som et udtryk for hvor mange kubikmeter pr. time, som leveres til nettet. Der er på baggrund af data lavet en formel, som benyttes i beregning af det samlede elforbrug til pumperne.



Figur 7.6 - Kurve, el-effekt ud fra flow i nettet

På figur 7.7 er vist den afledte effekt af at sænke fremløbet henover året, i form af effekt optag i pumperne og øget flow i nettet.

Reduktionen af fremløbet påvirker forventeligt nettet med et øget eloptag på ca. 30% eller 410.000 kWh øget eloptag. Der er ikke medregnet øget eloptag i transmissionsledninger og de mindre pumpecentraler. Elprisen afhænger af aftagerpunktet og spotmarkedet men forventes at variere imellem 0,8 og 1,0 kr. / kWh. Omkostninger til øget elforbrug forudsættes at være ca. 500.000 kr. pr. år.



Figur 7.7 - Fremløb, el-effekt og flow før og efter

Det skal nævnes, at der også kan arbejdes på at minimere dette ved at anvende pumper, hvor pumpeløftet placeres længere ude i nettet, og energien der går til pumpeløft reduceres pga. det mindre flow i punktet hvor der løftes. Dette vil dog kræve en særskilt beregning og er som led i afgrænsning ikke medtaget her.

7.5 Modeller for ejerskab

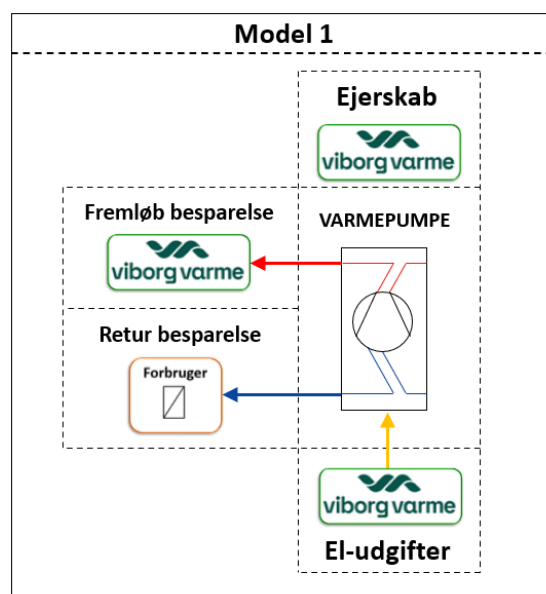
Der kan opstilles forskellige ejerskabsmodeller for installation af en decentral varmepumpe. Den store forskel i udgifter ligger i, at Viborg Varme benytter elektriciteten til varmeproduktion- / procesformål. Hvis Viborg Varme har egen tilslutning og elmåler, kan der fritages for elafgiften, hvilket har en stor betydning for totaløkonomien. Til gengæld, har forbrugeren bedre incitament til at spare på optaget af fjernvarme, fordi de betaler en højere pris end Viborg Varme selv gør. Dette er fordi der i Viborg tillægges distributions- og produktionsudgifter svarende til mere end 30% oveni den rå produktionspris.

Hvilke økonomiske fordele der er størst, vil blive belyst i de følgende afsnit. Nedenfor opstilles to modeller, som der tages udgangspunkt i, i de økonomiske analyser.

Model 1 – Viborg Varme ejerskab

Den typiske model i distributionsprojekter, hvor der genereres besparelser, som giver anledning til reduktion i varmeprisen, er, at Viborg Varme investerer i anlæggene. Produktions- og varmetabsbesparelser forårsaget af reduceret fremløbstemperatur honoreres ved at sænke den variable varmepris. Besparelser i returen kommer i de fleste tilfælde ved, at forbrugeren ændrer opbygningen eller driften af deres systemer, og dermed tilfalder besparelsen normalt forbrugeren ud fra Viborg Varmes incitamentsmodel.

Hvis der tages udgangspunkt i denne model, ville det betyde, at det er Viborg Varme som skal installere booster varmepumper hos hver enkel forbruger og som servicerer og vedligeholder installationerne. Varmen leveret fra varmepumpen vil så skulle afregnes tilsvarende fjernvarmen med en særskilt måler. Fordelene ved denne model er, at det er nemt for kunderne og at de opnår nogle mindre besparelser ved forbedret retur.

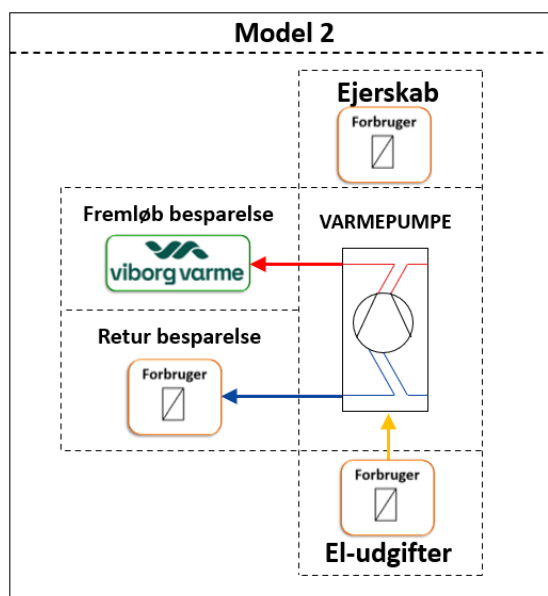


Figur 7.8 - Ejerskabsmodel 1

Model 2 – Forbruger ejerskab

En alternativ model er, at forbrugeren investerer i varmepumpen med henblik på at opnå besparelser, som samtidig gør det rentabelt at drive varmepumpen selv. Figur 7.9 viser at Viborg Varme fortsat opnår besparelser for produktion og varmetab afledt af reduktion af fremløbet.

Fordelen ved modellen er, at forbrugeren selv er herre over opbygningen af systemet og kan tilpasse komponenterne til deres konkrete ønsker til driften.



Figur 7.9 - Ejerskabsmodel 2

7.6 Variable udgifter

I dette afsnit vurderes på de økonomiske fordele / ulemper. De fulde udskrifter af beregninger er vedlagt i "Bilag 3 – Økonomisk analyse, beregninger".

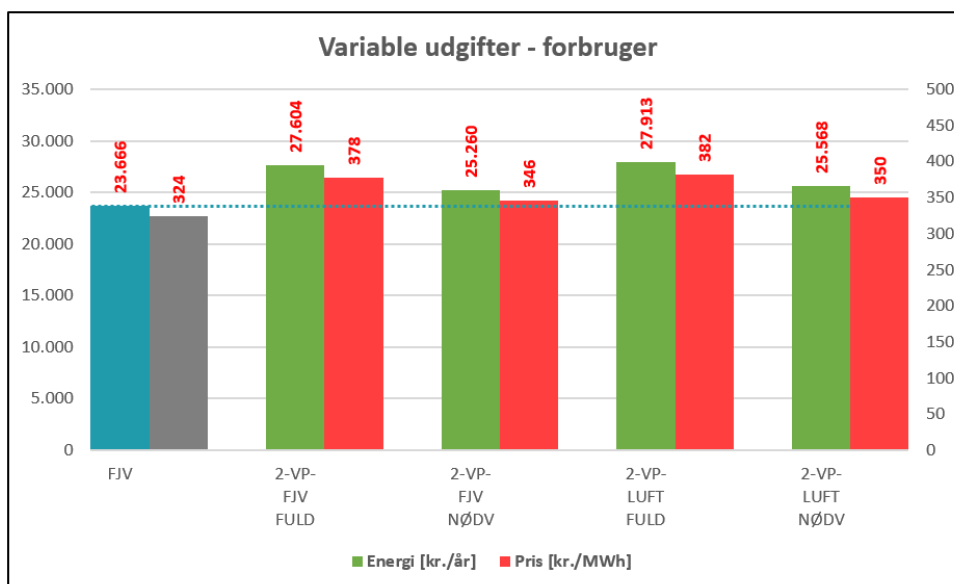
I resultater og beregninger er der overskrifter med hhv. "FJV" som svarer til kun brug af fjernvarme i basis drift, "1" betyder model 1 med ejerskab af Viborg Varme og "2" ejerskab af forbruger. "VP-FJV" er drift med en varmepumpe baseret på fjernvarme og endelig "VP-LUFT" som er brug af en varmepumpe baseret på inde/udeluft. For hver af varmepumpe opstillingerne, er der en beregning med "FULD" som er fuld drift hele året og "NØDV" som er nødvendig drift i de perioder hvor fremløbet er under 58°C, svarende til ca. 4.600 timer som tidligere nævnt.

De variable udgifter for hver løsning er præsenteret i figur 7.10 nedenfor. De variable udgifter udgør indkøb af el til varmepumpe samt indkøb af fjernvarme til tapningsforbrug og forbrug til cirkulationsvarme i perioder, hvor det er nødvendigt.

For model 2 med forbruger ejerskab, er bidrag fra optimeret retur i form af reduceret incitamentstarif fratrukket købt til energi. Energikøb består af el og fjernvarme.

Økonomien er ud fra fjernvarmepriser, som er baseret på det kendte produktionsmix med elkedel, luft/vand varmepumper og varmepumper som benytter grundvand/søvand som varmekilde, samt 20 MW overskudsvarmeudnyttelse fra Energhub.

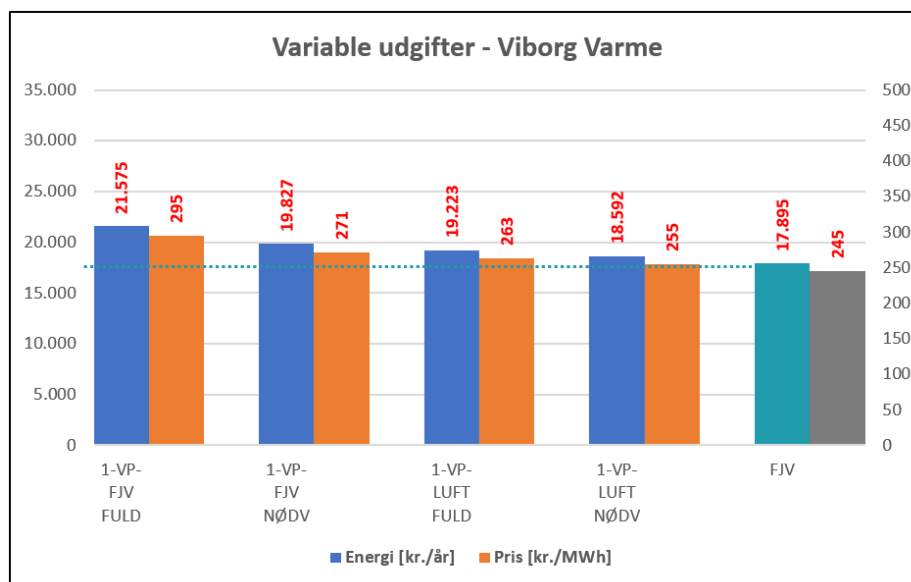
Figur 7.10 viser de resulterende udgifter og den gennemsnitlige pris for brugsvandsvarme ved model 2 med ejerskab af forbrugeren. Hvis forbrugeren traditionelt set benytter fjernvarme til varmt brugsvand, forventes de med den nye varmeproduktion at skulle betale ca. 324 kr. / MWh og med forbrugsprofilen for testinstallationen, betale 23.666 kr. pr. år. Resultaterne viser, at det umiddelbart ikke er muligt, at opnå en billigere variabel økonomi ved at installere en varmepumpe. De årlige udgifter er ca. kr 2.000 til 4.000 dyrere. Den billigste af de fire modeller er løsningen med en vand/vand varmepumpe ved nødvendig drift.



Figur 7.10 - Variable udgifter - forbruger

Resultatet med et ejerskab af installationen hos Viborg Varme er det samme, at der ikke kan opnås en bedre variabel økonomi ved brug af en decentral løsning isoleret set for levering af energi til varmt brugsvand. Dette er formentlig fordi, at den rå produktionspris på fjernvarme forventes at være 245 kr. / MWh. COP værdierne for varmepumperne i Viborg Varme er væsentlig højere end den individuelle varmepumpe, og det giver derfor ingen økonomisk fordel.

Viborg Varme vil opnå en øget årlig variabel udgift på ca. 700 til 3.500 kr. pr. installation ved installering af en decentral varmepumpe.



Figur 7.11 - Variable udgifter, Viborg Varme

7.7 Faste omkostninger

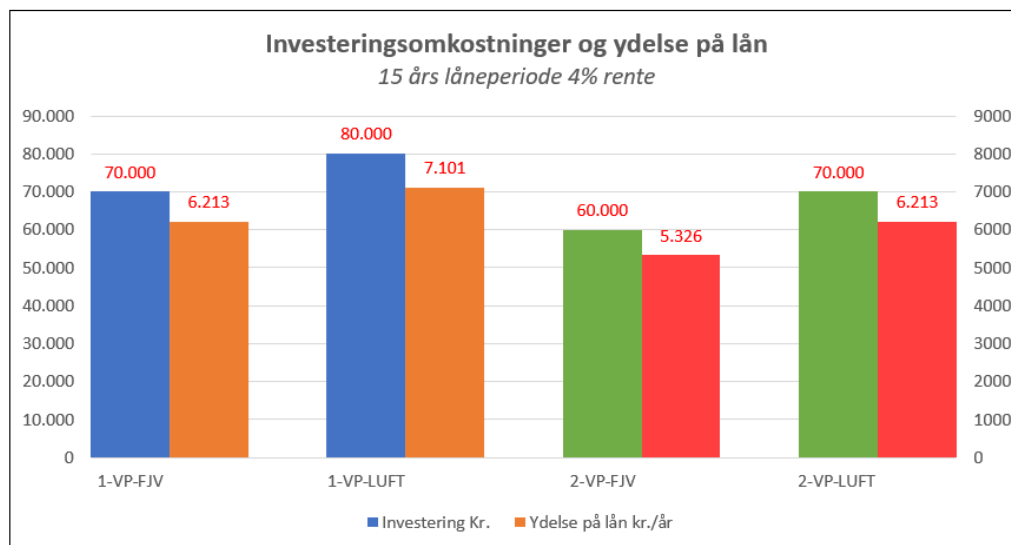
Kapitalomkostninger

Installationsomkostninger fra tidligere afsnit er indsat i beregningerne, og de totale investeringer er præsenteret i figur 7.12. Der er for model 1, ejerskab af Viborg Varme, indført en ekstra post for etablering af en elmåler og tilslutning til elselskabet. Dette er nødvendigt for, at Viborg Varme kan spare eludgifter med henblik på fritagelse for afgifter, eftersom der anvendes el til produktion af varme og som er fritaget for energiafgiften. Den vurderede omkostning pr. installation er sat til 10.000 kr. Prisen vil afhænge meget af den enkelte installation, dels hvor langt et kabel der skal etableres, og om der skal betales et tilslutningsbidrag.

Viborg Varmes kendskab til afskrivningsperiode/levetid for en varmepumpe er, ud fra tidligere analyser udført i samarbejde med rådgivere, at levertiden er 12 til 15 år afhængig af teknologi mv. I denne analyse er der valgt at benytte 15 år som afskrivningsperiode.

Renten er sat til 4% ud fra Viborg Varmes erfaringer i anlægsprojekter. Renten har dog haft en stigende tendens i den seneste periode.

Låne- / afskrivningsomkostningerne til et luft/vand anlæg er betydelig større. Det koster ca. 1.000 kr. mere pr. år, sammenlignet med en varmepumpe, som køler på fjernvarmen.



Figur 7.12 – Kapitalomkostninger for varmepumpeinstallation

Øvrige faste omkostninger

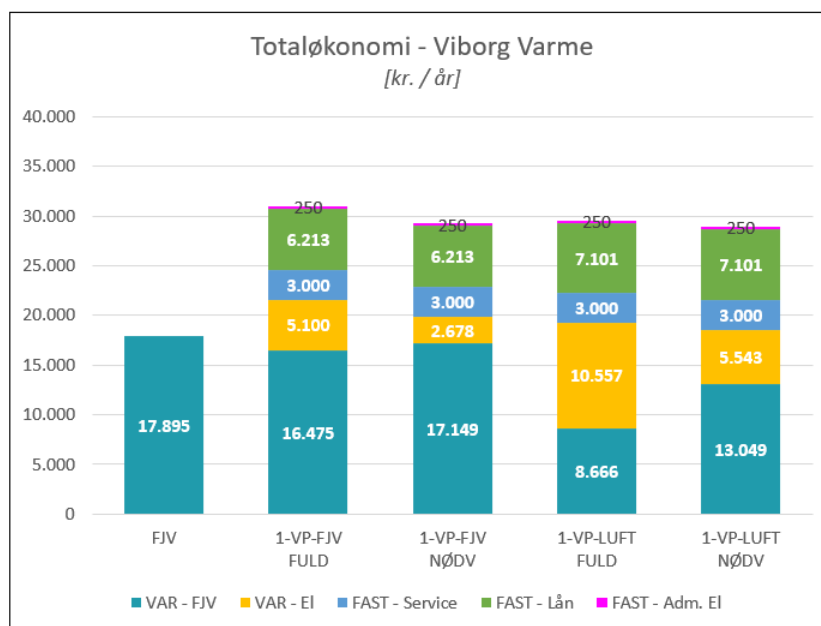
Udover afskrivningerne skal varmepumperne serviceres og vedligeholdes. Der forventes service og vedligeholdelsesomkostninger for både forbrugeren og Viborg Varme på 3.000 kr. pr. år. Derudover er der for Viborg Varme i de faste omkostninger et administrationsbidrag til el måler på 250 kr. pr. år.

7.8 Totaløkonomi

Dette afsnit belyser totaløkonomien for de to ejerskabsmodeller. Indeholdt i totaløkonomien er de variable energjudgifter og de faste omkostninger.

På figur 7.13 illustreres totaløkonomien for Viborg Varme ved de forskellige typer og anvendelse af en varmepumpe. Som det fremgår koster det i omegnen af 30.000 kr. pr. år i totaløkonomi at drifte en varmepumpeinstallation. Hvis der kan findes en metode til kun at drifte en varmepumpe baseret på fjernvarme i de nødvendige timer, er denne teknologi lige så billig som en luft/vand varmepumpe.

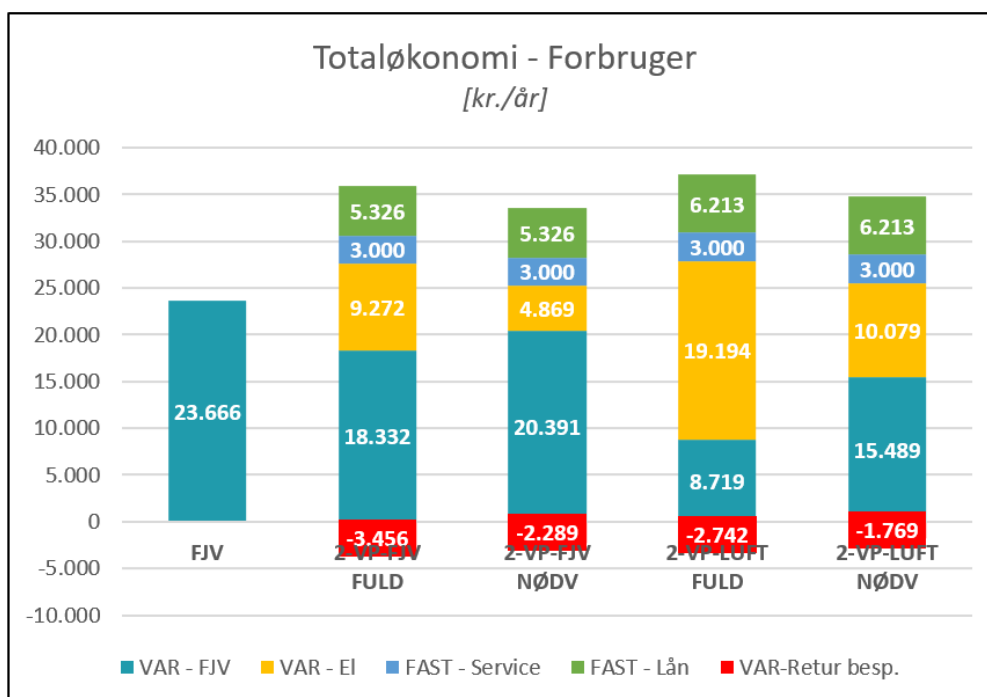
Hvis Viborg Varme ikke implementerer decentrale varmepumper, og fortsat driver nettet ved højere fremløb, koster det ca. 18.000 kr. årligt at forsyne en ejendom som test-installationen. Altså vil Viborg Varme opnå en merudgift pr. installation i den størrelse, på ca. 11.500 kr. pr. år. Bepærelsen for fællesskabet beskrives i de følgende afsnit.



Figur 7.13 - Totaløkonomi Viborg Varme

På figur 7.14 illustreres totaløkonomien for en forbruger med en størrelse ejendom som i testinstallationen. Hvis forbrugeren ikke installerer en varmepumpe og benytter fjernvarmen til at opvarme hele året, koster det ca. 23.500 kr.. Med et bidrag fra den forbedrede returtemperatur, kan der ved brug af en varmepumpe baseret på fjernvarme forventes en årlig totaløkonomi på ca. 34.000 kr. afhængig af driften. Ved brug af en luft/vand varmepumpe koster det en smule mere at drifte installationen, på baggrund af den øgede variable udgift til elektricitet.

Samlet set kan det altså for forbrugeren ikke betale sig at installere en varmepumpe med henblik på at forbedre økonomien.



Figur 7.14 - Totaløkonomi, forbruger

Når forbrugeren ikke kan spare penge på at installere en varmepumpe, er der ikke incitament til at gøre dette. Derfor vil den bedste løsning være, at Viborg Varme selv ejer og driver varmepumpen. Således opnår Viborg Varme en produktionsfordel ved at sænke fremløbet med mulighed for at reducere den variable varmepris, og forbrugeren opnår en besparelse på ca. 1.500 til 3.500 kr. pr. år i returforbedring, afhængig af hvilken varmepumpeløsning som vælges. Dette giver forbrugeren et incitament til, at lade Viborg Varme drive forbrugerenes cirkulationssystem.

7.9 Vurdering af økonomisk gevinst for Viborg Varme

Overført fra de tidligere afsnit opstilles et regnskab for de økonomiske besparelser og udgifter som decentrale varmepumpeløsninger medfører. Besparelsen ved reduceret fremløb udgør ca. 3,5 millioner kr. pr. år, ved et gennemsnitlig reduceret fremløb på 4,6°C.

For at implementere det reducerede fremløb, kræver det som nævnt installation af ca. 75 installationer magen til testinstallationen. Udgiften til at drifte en installation er ca. 11.500 kr. pr. år, som resulterer i en udgift på ca. 870.000kr. Pumpeudgifterne ved reduceret fremløb regnes som de samme, dog skal det her bemærkes at de naturligvis vil blive større ved etablering af lange transmissionsrør imellem Viborg og Energihub, men til gengæld vil varmetabsbesparelserne blive øget i ledningerne. Der er valgt at holde besparelser mod merudgifter neutrale i den sammenhæng.

Den økonomiske analyse er derved afslutningsvist illustreret på figur 7.13. Grafen viser, at der ved den planlagte produktion i Viborg Varme kan spares omkring 2,15 kr. millioner om året når udgifter til drift af decentrale varmepumper og udgifter til pumpedrift er trukket fra.

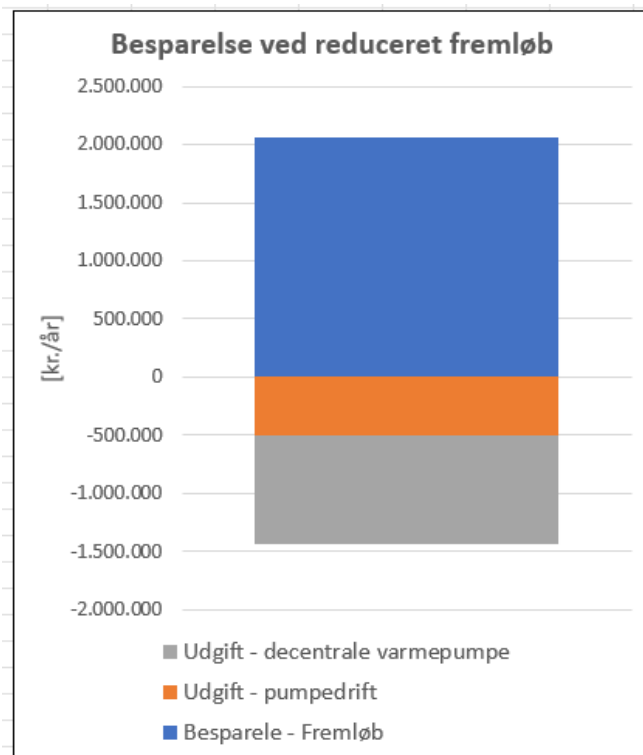
Det bemærkes, at besparelser er beregnet ud fra de bedst mulige forudsætninger på nuværende tidspunkt, og med en hvis konservativ tilgang til ikke at medtage for mange besparelser, som der hersker usikkerhed omkring.

Hvis der skal medregnes større besparelser, som er beregnet i Energy Pro modellen for Viborg Varme, kræver det et nærstudie af resultaterne og ændringer i produktionen ud fra de forskellige inputs. Men for nuværende er resultatet i denne rapport det bedste udgangspunkt.

Investeringen for at implementere 75 installationer ligger i omegnet af 6 millioner kr. og besparelsen ligger som nævnt på ca. 3,5 millioner kr. eller ca. 2,6 millioner kr. uden afskrivninger på varmepumpeinstallationerne. Det resulterer i en simpel tilbagebetalingstid på 2,3 år. Dette gør businesscasen yderst interessant set i forhold til mange andre projekter fx i distributionssystemet, hvor tilbagebetalingstider på 10 til 15 år er normale.

Løsningen kræver dog at der skal holdes styr på mange installationer, og der skal gøres noget koordinerende arbejde med samarbejdspartnere. Men holdt op imod besparelsen og effekten af investeringerne, vurderes det ikke at være en stor udfordring.

Investeringen i decentrale varmepumper kan dog ikke stå alene. Det vil muligvis kræve opgraderinger af rør og pumper i dele af nettet, som konsekvens af den lavere temperaturdifferens ved reduceret fremløb. Men foreløbig viser den økonomiske analyse et godt potentiale for Viborg Varme at arbejde videre med.



Figur 7.15 - Besparelse ved reduceret fremløb

8. Konklusion

Rapporten har undersøgt og belyst mulighederne for, at større ejendomme, i områder med lavere fremløb, kan benytte en varmepumpe til at løfte temperaturen til varmtvandsproduktion. En forsøgsopstilling på en større ejendom i Viborg har vist, at det er muligt at drive cirkulationssystemet ved fremløb i niveau 60-65°C. Pga. af for lav kapacitet på varmepumpen og udfordringer med at simulere lavtemperaturfjernvarme er der ikke udført en komplet test ved lavere fremløb. Men ud fra testopsamlingen og funktionaliteten af opstillingen, forventes det også at kunne fungere ved lavere fremløb på 55°C.

En varmepumpeløsning kan tydeligt forbedre returtemperaturforhold for den fjernvarme, som benyttes til det varme brugsvand. Den teoretiske analyse i denne rapport, som beregner dette på baggrund af tests i projektet, viser, at en varmepumpe, afhængig af type og hvilken systemopbygning der anvendes, kan forbedre returen med op til 20 til 25°C for den andel af fjernvarmen, som benyttes til det varme brugsvand.

Rapporten belyser to forskellige ejerskabsmodeller for installation af en varmepumpe. Én hvor Viborg Varme ejer og driver en varmepumpe, og en hvor forbrugeren har ejerskabet og driften. I den økonomiske analyse formidles der, hvilke besparelser hhv. Viborg Varme eller forbrugeren kan opnå ved de forskellige modeller. Besparelserne er beregnet ud fra en fremtidig produktionsopbygning med to luft/vand varmepumper, en grundvandsbaseret varmepumpe, elkedel og 20 MW overskudsvarme produceret på varmepumpe i et nyt projekt kaldet Energhub.

Analysen viser, at det for hverken Viborg Varme eller forbrugeren vil være en isoleret positiv businesscase i at investere og drive en varmepumpe til at drive cirkulationssystemet i en etageejendom. En opstilling af totaløkonomi, som indeholder variable og faste udgifter, viser, at det for Viborg Varme vil koste ca. 11.500 kr. pr. år ekstra at drive en varmepumpe og for forbrugeren ca. 9.500 kr. pr. år.

Der er for forbrugeren ikke noget økonomisk incitament i at anskaffe sig en varmepumpe til formålet. Viborg Varme har til gengæld mulighed for at sænke fremløbet med ca. 4,6°C gennemsnitligt. Dette vil medføre en besparelse på omkring 3,5 millioner kr. om året, hvis fremløbet sænkes i strategiske områder.

Den bedste løsning for installation af en decentral varmepumpe skal ud fra betragtningerne i denne rapport være, at det er Viborg Varme, som skal eje og drive varmepumperne med henblik på at opnå besparelser på fremløbsreduktion, og forbrugeren vil kunne opnå en returforbedring som incitament for at bidrage til denne omstilling.

For at det skal lykkes, skal Viborg Varme installere omkring 100 varmepumper for at sikre at etageejendomme i områder med lavere fremløb, kan bibeholde en god drift af det varme brugsvandssystem. Det forventes, at der med driften af varmepumperne og øgede udgifter til net udpumpning, vil være en udgift på omkring 1,5 millioner kr. pr. år, som resulterer i et overskud på omkring 2,15 millioner kr. pr. år.

Investeringen i decentrale varmepumper kan dog ikke stå alene. Det vil muligvis kræve opgraderinger af ledninger og pumper i dele af nettet som konsekvens af den lavere temperaturdifferens ved reduceret fremløb. Men foreløbig viser den økonomiske analyse et godt potentiale for Viborg Varme at arbejde videre med.

9. Perspektivering

Denne rapport har det primære formål at undersøge mulighederne for løft af brugsvand ved brug af varmepumper. Som perspektivering vil dette afsnit belyse de øvrige muligheder, som Viborg Varme har kendskab til.

Systemerne beskrives indledningsvist, hvorefter der opstilles resultater af returforbedringer, totaløkonomi mv. på samme måde som det blev gjort for varmepumpesystemerne.

Systemerne som belyses er:

- Parallelsystem med en el-unit
- Parallelsystem med en el-unit og efterafkølingskoncept
- Parallelsystem med en hypoklorid løsning

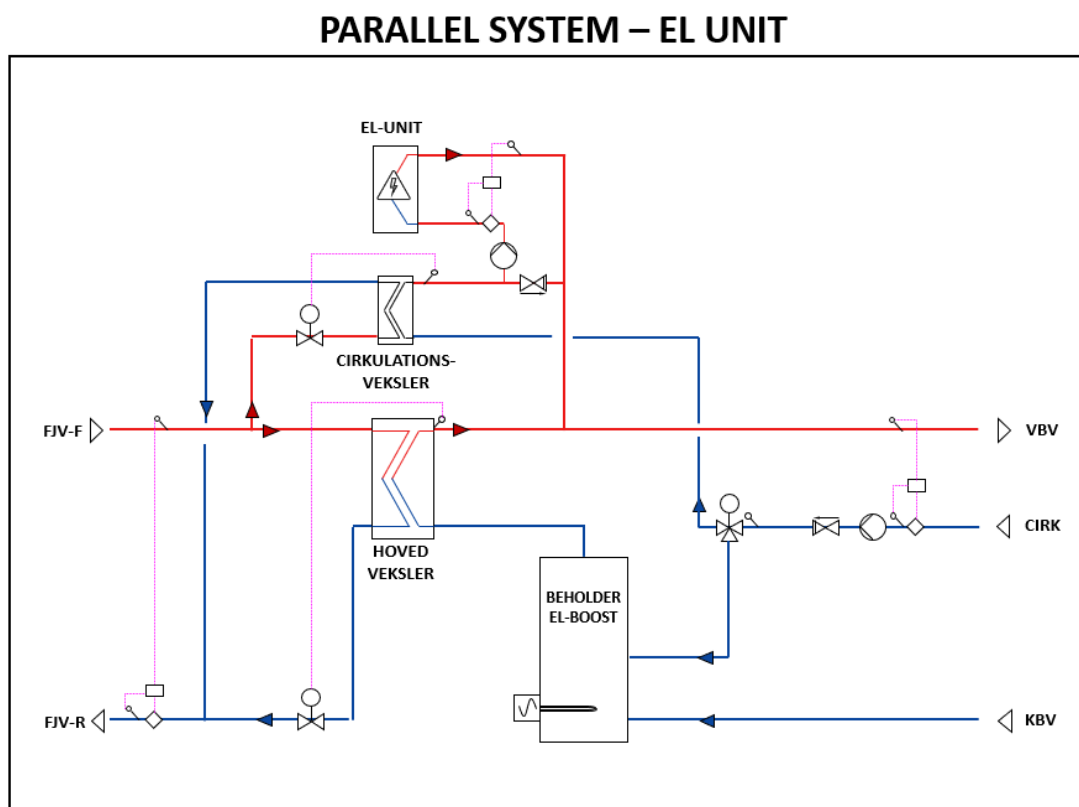
Resultater af beregninger som er udført på samme vis som for varmepumpe præsenteres i afsnittene. Forudsætninger som anvendes i beregninger nævnes løbende.

9.1.1 El-unit

Dette system har tilnærmelsesvis samme opbygning som det tidligere beskrevne parallelsystem. Som det fremgår af figur 9.1, er en varmepumpe erstattet med en "el-unit" og forvarmingsveksler er omdøbt til cirkulationsveksler. Cirkulationsveksleren er bestykket med sin egen temperaturregulering. Den elektriske del af el-unit tænkes enten at være en varmtvandsbeholder kombineret med nogle styringskomponenter, eller en kommercielt tilpasset el-unit beregnet til parcelhuse med elvarme.

Tanken med denne installation er, at den skal have en lavere etableringsomkostning, lavere drifts- og vedligeholdelsesudgifter og være nemmere at integrere i systemet. Ulemperne ved systemet er, at der forventeligt vil være et øget elforbrug, og at installationen i ingen eller reduceret omfang vil medvirke til reduceret retur, eftersom størstedelen af cirkulationsvarmen produceres på cirkulationsveksleren, som har samme konditioner som basissystemet.

I perioder hvor fremløb er højere end 56°C ved forbrugeren, kan cirkulationsveksleren fungere uden brug af el. I perioder med lavere fremløb indkobles el-delen og løfter cirkulationen op til 55°C. Det antages, at cirkulationsveksleren kan opvarme cirkulationen til 3°C under fremløbet, svarende til 53°C ved lavt fremløb. El-delen skal således løfte cirkulationen 2°C fra 53 til 55°C.



Figur 9.1 – Skitse, opbygning af parallelsystem med el-unit

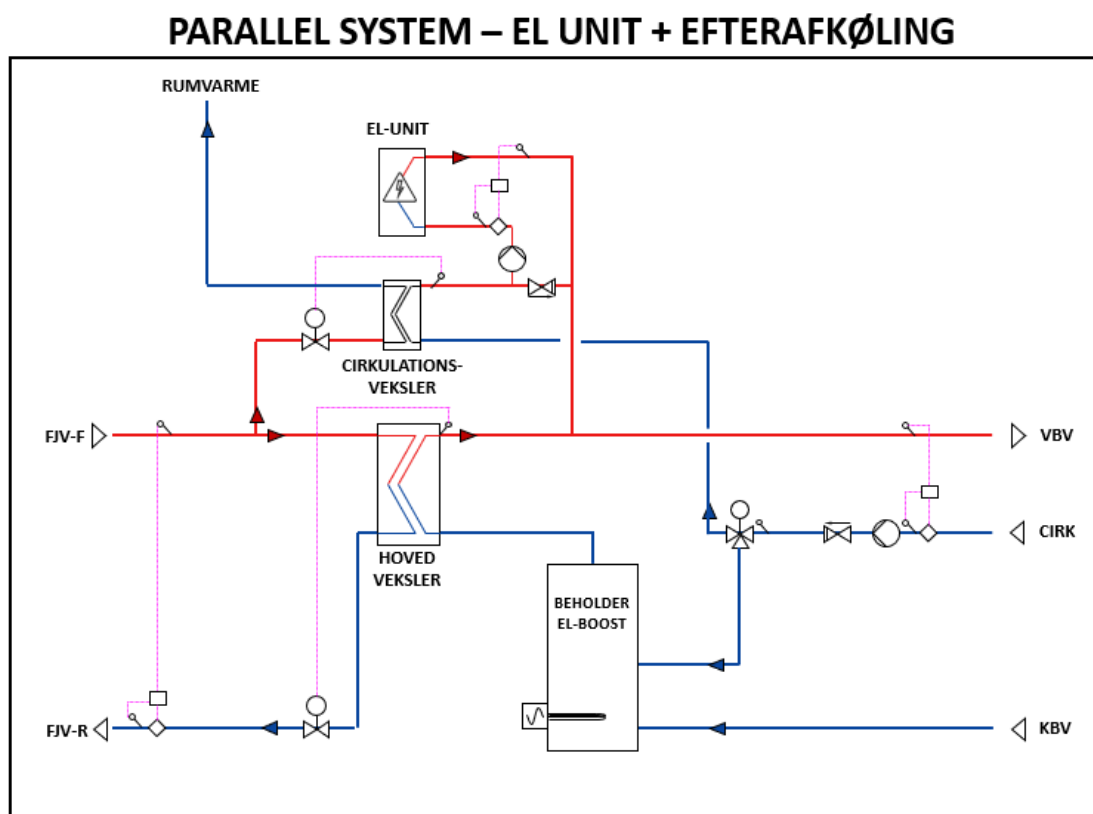
9.1.2 Parallelsystem med en el-unit og efterafkøling

På figur 9.2 er vist et system, som er identisk med systemet i afsnit 9.1.1, med den forskel at returen fra cirkulationsveksleren ledes et andet sted hen.

Viborg Varme er i samarbejde med Danfoss, DTU og Danfoss Redan ved at undersøge mulighederne for, at benytte et nyt styrings-koncept for cirkulationsvarme, kaldet efterafkøling. Det fungerer ved, at returen fra cirkulationsveksleren, ledes til fremløbet på primærsiden af rumvarmeveksleren, hvor flowet sammenblandes med fremløb fra nettet. Filosofien er, at blandingen af temperaturerne i størstedelen af året kan fungere til at opvarme rumvarmen med, uden at gå på kompromis med behovet i rumvarmedelen.

Systemet er testet delvist testet i praksis, men der er endnu ikke skabt resultater for drift i en hel sæson. Derfor vil en analyse for dette system være teoretisk, baseret på forudsætninger.

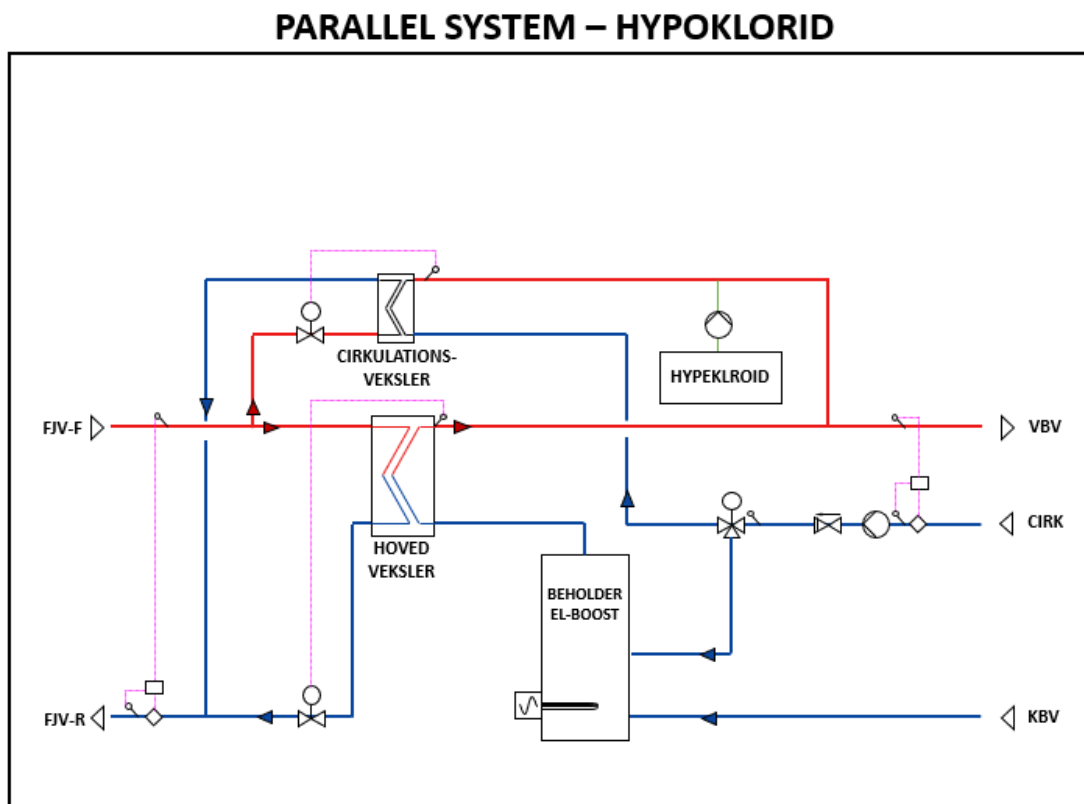
Det forudsættes, at systemet i hele året har mulighed for, at lede returen fra cirkulationsveksleren til rumvarmen. Rumvarmen forventes at have en gennemsnitlig retur på 38°C. Kombinationen af cirkulationsveksler og el-del fungerer på samme måde som det forrige system, ved at el-delen indkobles ved fremløb under 56°C ved forbrugeren.



Figur 9.2 – Skitse, opbygning af parallelsystem med el-unit og efterafkøling

9.1.3 Parallelsystem med hypoklorid

Det sidste system som belyses, er et parallelsystem med hypoklorid teknologi. Hypoklorid er en desinfektionsvæske, som bliver produceret i en elektrolyseproces med almindeligt salt. Desinfektionsvæsken tilføres på fremløbet i cirkulationssystemet, som vist på figur 9.3. Løsningen er ikke umiddelbar at benytte, fordi der er mangler klarhed omkring muligheder for ejerskab og holdninger til drift af brugsvandssystemer, dette beskrives i de nedenstående afsnit.



Figur 9.3 – Skitse, opbygning af parallelsystem med hypoklorid

Funktionalitet og drift

Kort beskrevet benyttes desinfektionsvæsken til at nedbryde biofilm på indersiden af rørene i cirkulationen, og dermed grobund for Legionella bakterier.

Undersøgelser har vist, at systemet kan opretholde meget lave niveauer af legionella forekomster ved drift af anlæg ved lavere temperaturer i cirkulationssystemet. Senest er dette belyst i et EUDP projektet "Legionellasikring og energieffektivisering for installationer og forsyning" (Teknologisk Institut u.d.), som er udgivet i januar 2023. I projektet er det vist, at der i et system med cirkulationstemperaturer i niveau 45-50°C kan opretholdes lave niveauer af legionella ved brug af et hypokloridsystem. Viborg Varme har også medvirket i projekter, hvor hypoklorid er anvendt på cirkulationssystemer i større ejendomme, hvor systemet har vist sig effektivt til fjernelse af Legionella, også ved lavere temperaturer.

Netop lavere temperaturer i et cirkulationssystem, er årsagen til at hypokloridsystem er med i perspektiveringsafsnittet. Lavere temperaturer gør, at tabet og fjernvarmeforbruget i et cirkulationssystem sænkes, uden at forbrugeren oplever en reduceret komfort på det varme vand. Derudover forbedres returen ved, at temperaturen på det returnerende cirkulationsvand er lavere. I denne analyse forudsættes det, at temperaturerne i cirkulationssystemet er 50/45°C, set i forhold til de oprindelige 55/50°C. Det reducerede varmetab beregnes forholdsvis, ud fra en antaget omgivelsestemperatur på 18°C.

Emner hvor der mangler klarhed

Udbredt forståelse for systemet – En af udfordringerne med systemet er, at teknologien ikke er så udbredt i bl.a. større boligejendomme. Desinfektionsvæsken betragtes af nogen som kemi, grundet der er klorindhold i væsken. I praksis er der styr på det klorindhold i cirkulationssystemet. Systemet er forsynet med en sensor som monitorerer, at niveauet er under de grænseværdier som der kræves for varmt vand.

Holdninger og regler i fremtiden - Opmærksomhed omkring legionella er i en positiv udvikling. Viden om vækst af legionella, brug af forskellige systemer, hvordan den måles, lovgivning for drift af anlæg m.v., er derfor også i en løbende udvikling. Viborg Varme kan derfor ikke verificere, at lavetemperatur-drift af et system som dette, i fremtiden ses som anbefalelsesværdig. Men ud fra gældende lovgivning, egne praktiske erfaringer og de undersøgelser som der er udført, er det Viborg Varmes vurdering, at drift af cirkulationssystemer ved lavere temperaturer og brug af et hypokloridsystem, kombineret med en fornuftig løbende risikovurdering, kan betragtes som en sikker og god drift på nuværende tidspunkt.

Ejerskab - En anden udfordring er, at ejerskabet på nuværende tidspunkt ikke kan ligge hos Viborg Varme. Hvis der alene ses på hypoklorid som teknologi, er det svært at redegøre for, at et sådant anlæg er en del af at drive fjernvarmeforsyning, fordi det vedrører behandling af varmt vand på sekundærsiden af et fjernvarmeanlæg. Hvis Viborg Varme skal kunne investere i et system, med henblik på at optimerer forholdene i nettet, skal teknologien sættes i velbegrunder kontekst i et fælles anlæg.

Viborg Varme har spurgt forsyningstilsynet omkring emnet, men endnu ikke fået svar. Modellen kan således ikke anvendes, hvis ejerskabet skal ligge hos Viborg Varme, men analysen kigger alligevel på ejerskab for både Viborg Varme og forbrugeren, for at se på udbyttet af det.

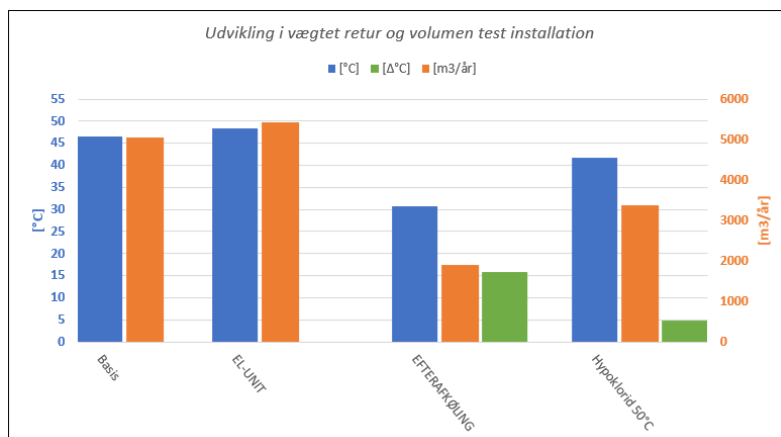
9.2 Retur

På figur 9.4 er vist returforhold af den samlede varmtvandsproduktion inkl. tapninger. Et el-unitsystem vurderes teoretisk at have omtrent samme returforhold som et basissystem, hvorimod efterafkølingssystemet opnår en retur på ca. 31°C, og hypoklorid anlæg med en fremført cirkulationstemperatur på 50°C, opnår en retur på ca. 42°C.

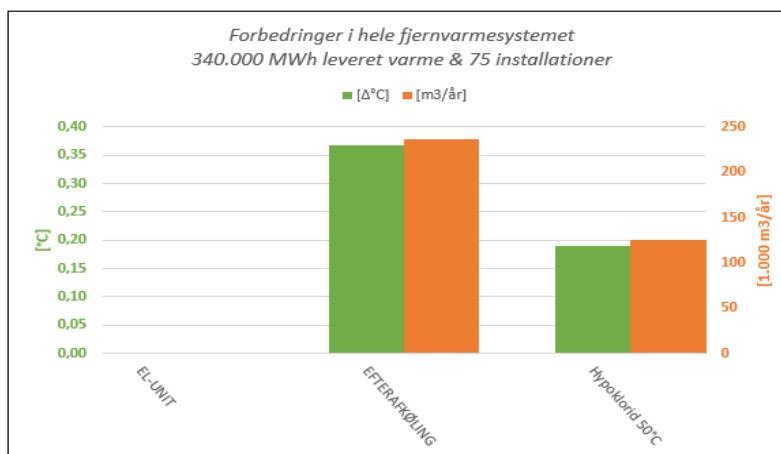
Sammenlignet med analysen af drift af varmepumper, er returen der i bedste fald 20 til 25°C, afhængig af driftstider og energikilde i form af luft eller fjernvarme.

Set i forhold til det fælles system, vil et efterafkølingssystem bidrage med en sænket retur på ca. 0,37°C og et hypokloridsystem ca. 0,19°C. Set i forhold til drift med varmepumpe var bidraget 0,2 til 0,4°C afhængig af driften og valg af system.

Alt i alt vil et efterafkølingssystem kunne konkurrere med varmepumper på retur-delen, hvor bidraget fra et hypoklorid system for den enkelte forbruger og fællesskabet, giver et reduceret bidrag. Til gengæld bruger hypoklorid systemet mindre fjernvarme. Betydningen af begge dele vises i de følgende afsnit.



Figur 9.4 – Resultater, af teoretiske beregninger, retur

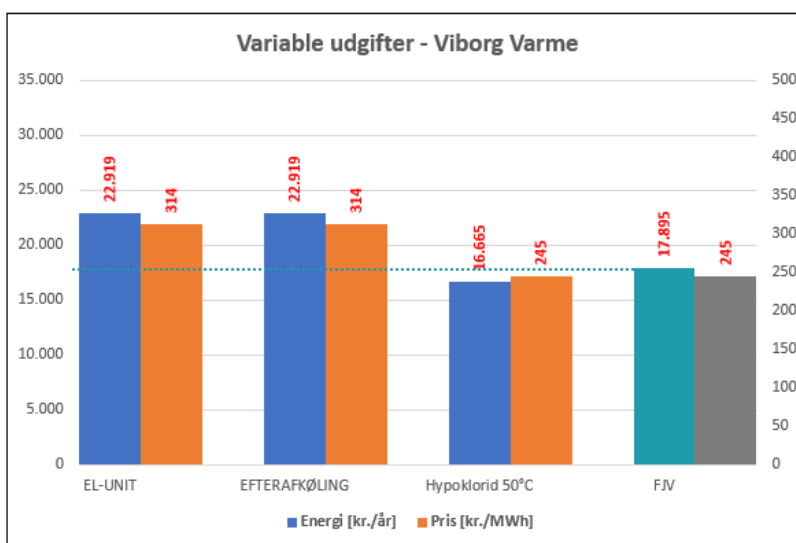


Figur 9.5 - Ændringer i returen for det fælles system

9.3 Variable udgifter

Energiforbruget for el-unit- og efterafkølingssystemet er det samme, ved at der benyttes samme cirkulationsveksler og el til løft af temperatur ved lavt fremløb. Bidrag til returforbedringer er som i afsnit 7.6 ikke medregnet i Viborg Varmes variable udgifter, men tilbagebetales til forbrugerne, hvorfor den del ikke er synliggjort her.

Udgifter til indkøb af el ved lavere fremløb gør, at udgifterne for el-unit og efterafkøling, ligger på ca. 23.000 kr./år. Ved at varmetabet reduceres i et hypokloridsystem, reduceres udgifterne til ca. 16.500 kr./år. Til sammenligning er variable omkostninger for varmepumpesystemer omkring 19.500 kr./år.

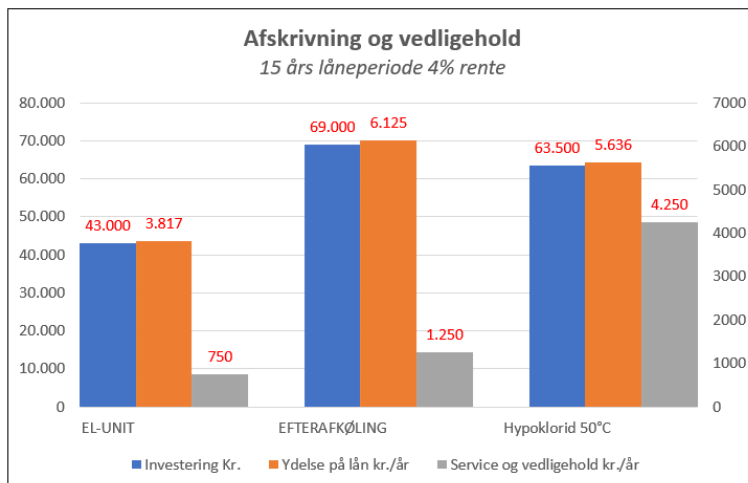


Figur 9.6 – Variable udgifter, Viborg Varme

9.4 Faste omkostninger

På figur 9.7 er omkostninger til afskrivning og vedligehold opstillet for de tre systemer. Fordelingen af omkostninger til etablering af en installation, er uddybet i bilag. Eftersom disse systemer ikke er en del af hovedrapporten, er installationsomkostninger baseret på erfaringer og skøn. Tallene skal derfor ses som vejledende, men vurderes at være retvisende.

Omkostningerne som er opstillet er ved Viborg Varme ejerskab, hvor der for el-unit og efterafkøling er indeholdt 10.000 kr. i investering, til etablering af separat elforsyning.



Figur 9.7 – Kapitalomkostninger for installationer

Som det fremgår på figur 9.7, er der med disse systemer meget stor forskel på omkostningerne. En el-unit er billig at etablere og vedligeholde, hvor hypoklorid omvendt er dyrere.

Billigst er el-unit med ca. 4.500 kr./år og dyrest er hypoklorid med ca. 10.000 kr./år. Sammenlignet er omkostningerne for varmepumper ca. 11.000 kr./år.

9.5 Totaløkonomi

Totaløkonomien for de tre løsninger, er illustreret på hhv. figur 9.8 for ejerskab af Viborg Varme og figur 9.9 for en forbruger.

Den overordnede konklusion, set i forhold til varmepumper, er den samme. Det giver ikke en isoleret besparelse for den enkelte installation at tilføje ny teknologi.

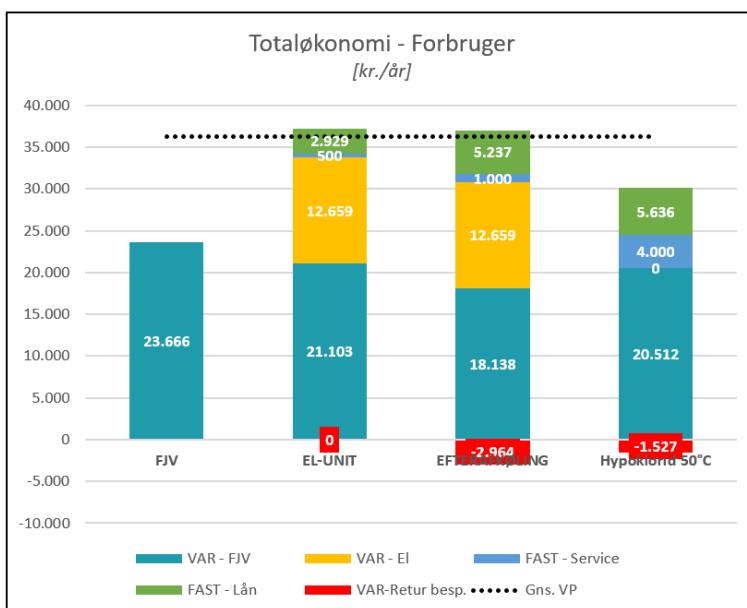
På figurerne er vist en gennemsnitlig totaløkonomi for varmepumpeløsningerne. For forbrugeren vil et hypokloridsystem opnå en forbedret totaløkonomi med ca. 7.000 kr./år, set i forhold til en varmepumpeløsning. Besparelser generet ved mindre varmetab i cirkulationssystemet og forbedret retur, er ikke nok til at det kan betale udgifterne til systemet for forbrugeren.

Hvis Viborg Varme skal eje og drive et af systemerne, har hypoklorid og el-unit lavest totaløkonomi, ca. 2.500 kr./år mindre end en varmepumpeløsning.

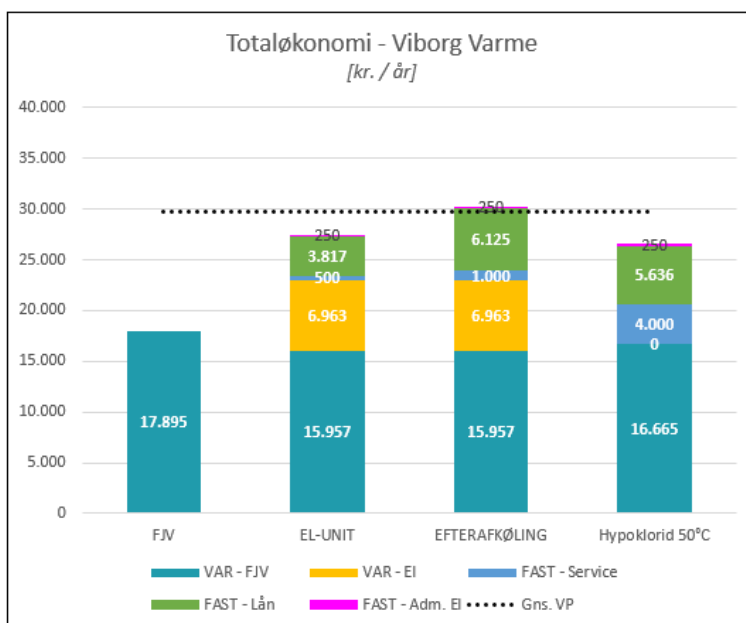
Dog giver efterafkølingssystemet forbrugeren det største incitament, for at medvirke til ændringer i deres eget system ved, at besparelsen for bedre retur er på ca. 3.000 kr. set i forhold til hhv. el-unit hypoklorid med ca. 0 og 1.500 kr./år.

Derudover er der en afgørende faktor i, at Viborg Varme på nuværende tidspunkt ikke kan eje og drive et hypokloridsystem, som nævnt i afsnit 9.1.3.

Efterafkølingssystemet anbefales derfor som en alternativ løsning til en varmepumpe, da totaløkonomien for Viborg Varme er den samme, og at der fortsat er mulighed for ejerskab, samt et incitament for forbrugeren, til at tillade ændringer i deres installation.



Figur 9.8 – Totaløkonomi, Forbruger



Figur 9.9 – Totaløkonomi, Viborg Varme

9.6 Konklusion af perspektivering

Perspektiveringsafsnittet har overordnet belyst alternativer til en varmepumpeløsning med henblik på at sænke fremløbet i nettet.

Analysen i afsnittet viser, at et efterafkølingskoncept medvirker til en forbedring af returen i samme niveau som en varmepumpe, hvor et hypoklorid system medvirker til en forbedret retur i et mindre omfang.

Viborg Varme kan eje og drive systemerne el-unit og efterafkøling, men pga. at et hypokloridsystem på nuværende tidspunkt ikke betragtes som en del af at levere fjernvarme, kan et ejerskab af dette system kun ligge hos forbrugeren.

Analysen af totaløkonomien viser overordnet samme resultat som for varmepumpeløsningerne. Omkostningerne ved at implementere nye systemer overstiger besparelserne, og det er derfor ikke attraktivt for en forbruger at eje et nyt system selv. Ejerskabet vurderes derfor fortsat at skulle ligge hos Viborg varme.

Da Viborg Varme ikke kan eje et hypokloridsystem, vurderes den bedste løsning som alternativ til varmepumper at være et efterafkølingssystem. For et efterafkølingssystem er totaløkonomien og incitamentet for forbrugeren, i form af reduceret incitamentstillæg, den samme. Løsningen vurderes derfor på lige fod med varmepumper at indgå i det videre arbejde Viborg Varme vil gøre for at undersøge mulighederne for implementeringen af disse tiltag i nettet.

Forudsætninger omkring installationsomkostninger, service og vedligehold mv. har en afgørende indflydelse på hvilket system, der giver Viborg Varme den laveste merudgift pr. system. Derfor vil det fremtidige arbejde med konceptudvikling, etablering og afprøvning af systemerne i praksis give et bedre indblik i hvilken løsning, der fungerer bedst for Viborg Varme.

Dog skal det bemærkes, at hvis efterafkølingssystemet viser sig at fungere godt i praksis og samtidig reducerer returen som forventet, vurderes denne løsning at være attraktiv for Viborg Varme såvel som for fjernvarmeforbrugere, der skal etablere nye anlæg eller udskifte deres ældre anlæg. Løsningen vurderes at være attraktivt, fordi den er opbygget omkring komponenter, som allerede er anvendt i fjernvarmeanlæg, samtidig med at der ikke er en ny hovedkomponent, som en kølekompressor, der skal fungere, efterses og serviceres.

10. Litteraturliste

Kildehenvisninger

Side 9, Metro Therm, u.d. – Metro Therm Micro Booster, Manual, senest hentet d. 04-09-2023, <https://www.metrotherm.dk/download/18.4ccfd67f186f21bb59653c3/1684242034560/Microbooster-P-V-PS-VS-Manual-DK-08225-2002.pdf>

Side 37, Teknologisk Institut, u.d. – EUDP Jnr64020-1099 Legionellasikring - Final report, senest hentet d. 30-11-2023, <https://www.teknologisk.dk/projekter/eudp2020-projekt-legionellasikring-og-energieffektivisering-for-installationer-og-forsyning/43496>

Figur henvisninger

Hvor der ikke er henvisninger ved figuren, er figuren Viborg Varmes egne illustrationer.

Figur 3.1, 6.2, 6.4 – Manual, Metro Microbooster, senest hentet d. 04-09-2023, <https://www.metrotherm.dk/download/18.4ccfd67f186f21bb59653c3/1684242034560/Microbooster-P-V-PS-VS-Manual-DK-08225-2002.pdf>

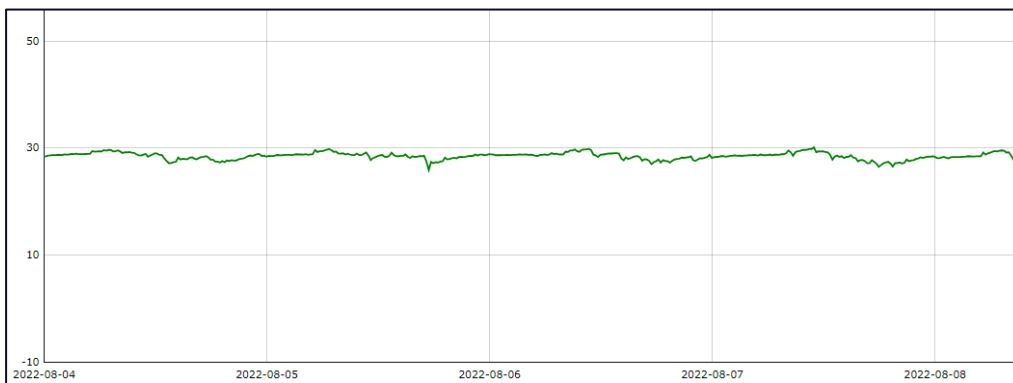
Bilag 1 – Forudsætninger

Varmepumpe vand/vand, COP

I afsnit 4.1 blev det ud fra målinger af effekter samt beregning af COP værdier med 62 til 64°C fremløbstemperatur og 55°C, valgt at bruge en COP værdi på omkring 5,2 ved 55°C fremløbstemperatur. Denne COP værdi forudsættes retvisende til brug i økonomiske beregninger.

Varmepumpe vand/vand, retur primær

Nedenfor på figur A ses et uddrag af målingerne for drift i parallelsystemet. Det ses at returtemperaturen fra varmepumpen ligger omkring 30°C eller derunder. Returtemperaturen fra varmepumpen på fjernvarmesiden antages at være omkring 30°C.



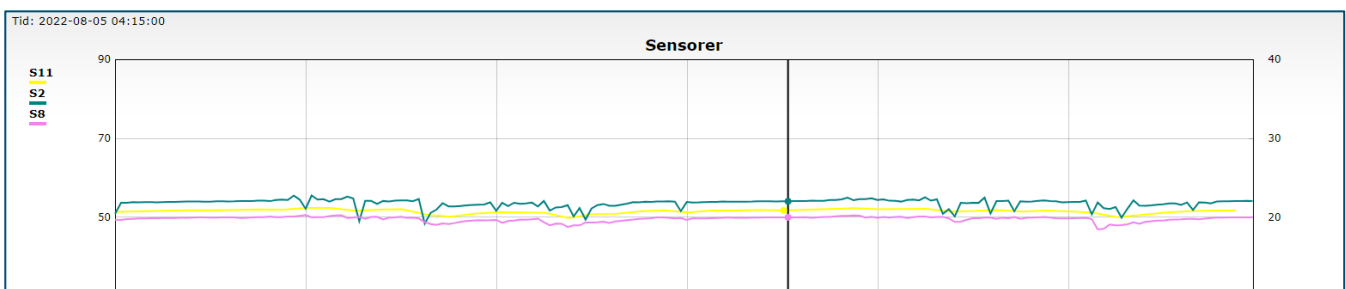
Figur A - Målinger af retur fra varmepumpe

Forvarmningsveksler, bidrag

I afsnit 4.2 blev vægtede returtemperaturer beregnede, for drift med 62 til 64°C i fremløb, hvor systemet i parallelt, opnåede den laveste returtemperatur på omkring 28°C. Dette var dog med en varmepumpe kapacitet på 2,5 kW.

På figur B, er målinger i test med 62 til 64°C fremløb i paralleldrif vist. Det ses at den tilbageførte cirkulationstemperatur vist med lyserødt, målt med en påspændingsføler, ligger på omkring 50°C. Cirkulationsreturen bliver løftet af forvarmningsveksleren til omkring 51,5 til 52°C, vist med gult på figur B.

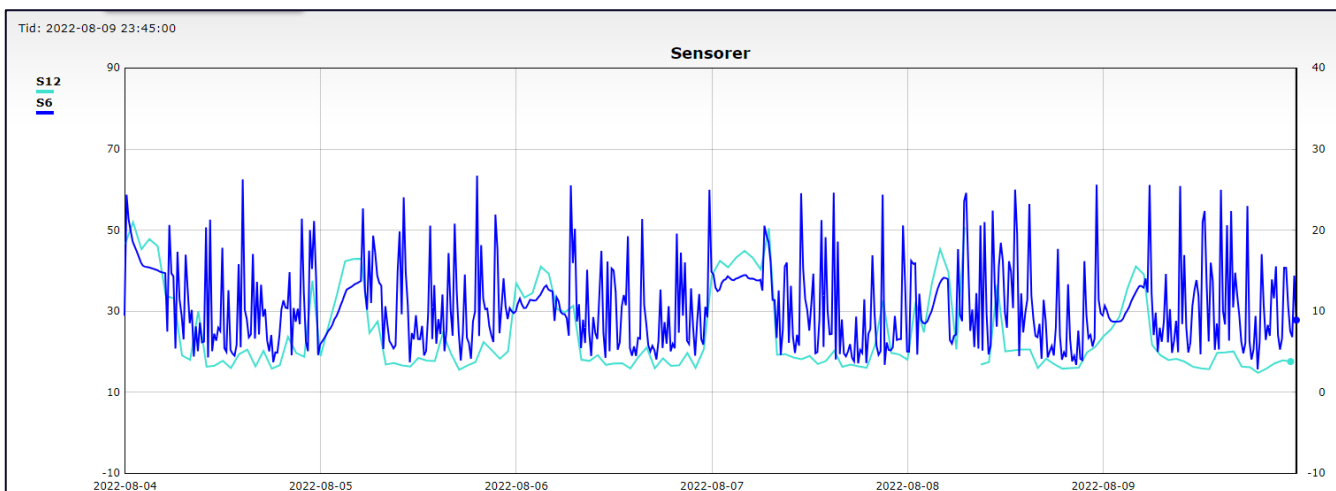
Bidraget fra forvarmningsveksleren afhænger bl.a. af vekslerens hedefladeareal, flowet som optages af varmepumpen på primærsiden, fremløb mv. Det vurderes at være en rimelig forudsætning, at forvarmningsveksleren er i stand til at hæve cirkulationstemperaturen med 1°C, ved fremløb 55°C.



Figur B - Registrerede målinger udført med påspændingsfølere, cirkulation retur & frem, løft af forvarmningsveksler.

Kold vand, temperatur & hovedveksler, retur ved tapninger

Målinger med påspændingsfølere, illustreret på figur C, viser i perioden for test af parallelsystemet, at vandtemperaturen fra vandværket, vist med lyseblåt, er omkring 16-17 °C og at returen på primærsiden af hovedveksleren, vist med mørkeblåt, ligger ca. 3°C over vandværkstemperaturen ved 62 til 64°C fremløb, i perioder hvor der er tapninger.



Figur C - Registrerede målinger udført med påspændingsfølere, koldt vand og fjernvarme retur, hovedveksler

Det må forventes, at veksleren ikke kan afkøle nært så meget, med en lavere fremløb. Det forudsættes, at veksleren kan afkøle fjernvarmen til 5°C over det kolde vand ved fremløb 55°C, og at det kolde vand er 16°C hen over året, altså en retur på 21°C ved tapninger.

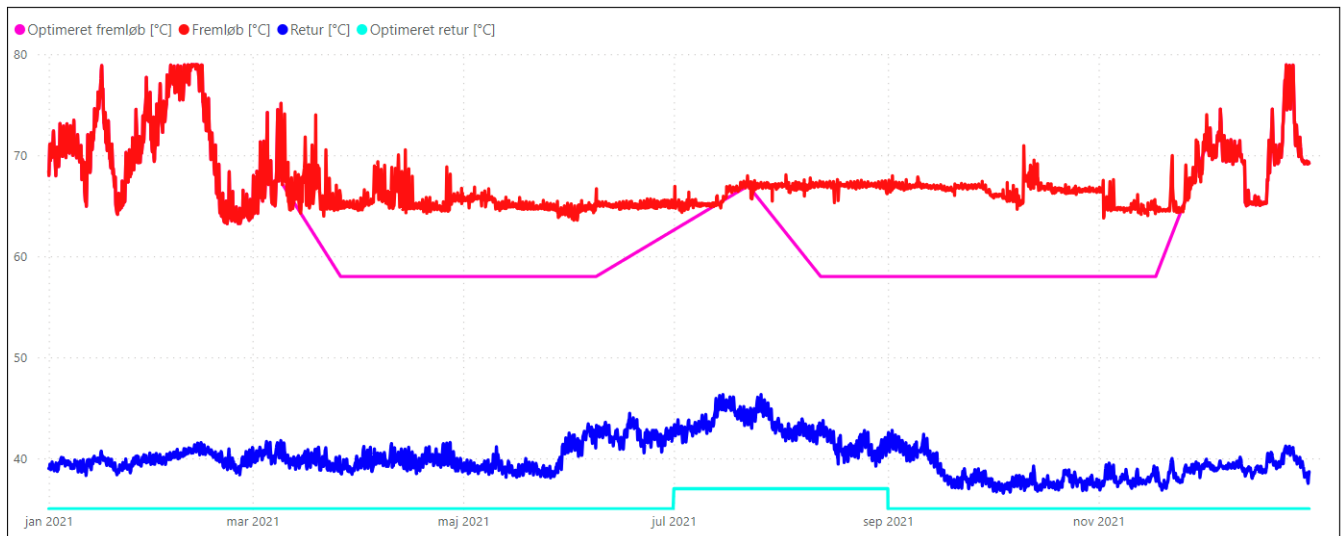
Teoretisk nødvendige driftstimer

Hvor mange timer, hvor det er nødvendigt, at varmepumpen er i drift og løfter cirkulationstemperaturen, afhænger dels af teknologien og fremløbet. Hvis fremløbet ved forbrugeren er omkring 58°C, burde installationen selv kunne løfte cirkulationstemperaturen til 55°C, som i de fleste cirkulationssystemer er nok til at opretholde en returnerende cirkulationstemperatur på 50°C, som er anbefalingen for at hindre vækst af bakterier.

På figur D er vist en temperaturkurve for de aktuelle vægtede fremløb og retur i Viborg Varmes net, samt fremtidige forudsatte mulige reducerede temperaturer.

Ved en forventet optimeret fremløb vurderes det at være nødvendigt at benytte varmepumpen i ca. 4.600 timer om året. I de resterende 4.160 timer om året er der mulighed for, at en varmeveksler kan opvarme cirkulationen uden brug af varmepumpen. Det vil kræve en form for automatiseret opkobling i systemet, som ikke er testet i dette projekt.

Timerne benyttes til at belyse mulighederne for en opnåelig returtemperatur ved drift af varmepumpen hele året og ved drift i de timer, hvor det teoretisk er nødvendigt.



Figur D - Nuværende og fremtidige temperaturforhold i nettet

Gennemsnitligt fremløb ved forbruger

I de timer hvor fremløb ved forbrugerne er over 58°C, er den gennemsnitlige fremløb på ca. 65,5°C målt ved udgangen af en distributions central. I timerne hvor temperaturen er mindre end 58°C ved en central, er den vægtede fremløb ca. 56°C ved forbrugerne.

Vægtet retur ved basisdrift

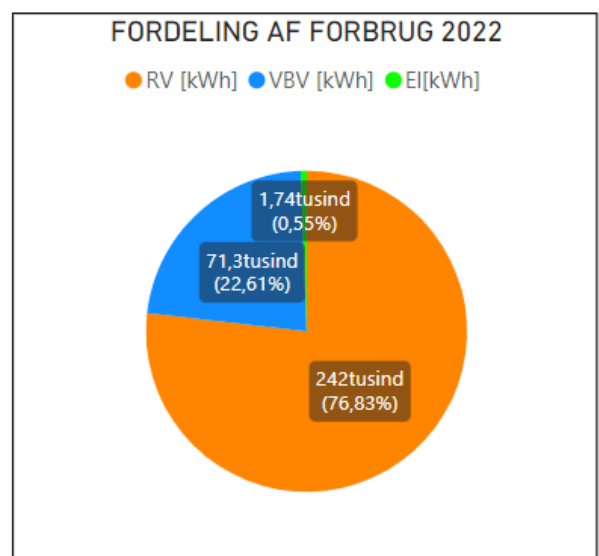
I timerne hvor fremløb ved forbrugere er over 60°C, vælges det at benytte resultatet af den tekniske analyse med basisdrift, som resulterede i en vægtet retur for brugsvandssystemet på 46,5°C. Dette er velvidende, at testen er udført ved fremløb 62 til 64°C, og at der i nogle timer vil være en ringere udnyttelse ved temperaturer under fremløb 62 til 64°C. Men der vil også være mange timer, hvor fremløbet er højere end 62 til 64°C, og returen vurderes derfor at være repræsentativ.

Cirkulationstab

Aflæsninger fra energimålere viser, at systemtabet i form af tab til omgivelser og cirkulation er omkring 4,3 kW som gennemsnit, om natten hvor der ingen tapninger er. Når der tilføres koldt vand til systemet, vil flow- og temperaturforhold ændre sig en smule, og tabet reduceres i perioder med tapninger. Dette er vanskeligt at beregne og det vælges derfor at antage, at tabet i cirkulationen er konstant.

Forbrug

Fjernvarmeforbruget for hele bygningen, herunder rumvarme, varmt brugsvand og tab i installationer, blev i 2022 målt til 315,3 MWh, som er fordelt som vist på figur E. Ca. 77% gik til rumvarme med 244 MWh og resten fordelt til varmt brugsvand, registreret i fjernvarme måler og elmåler med forbrug til varmepumpen i testperioder.

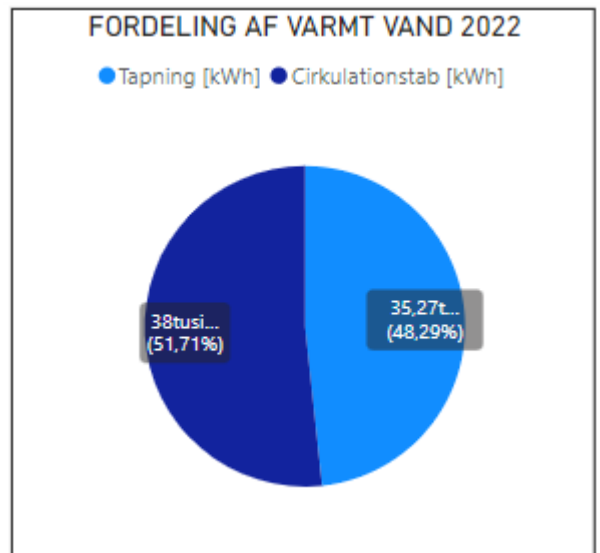


Figur E - Fordeling af fjernvarmeforbrug 2022

Udover det registrerede forbrug på de opsatte energimålere, bliver der tilført elektricitet til forrådsbeholderen under legionella drift en gang om ugen. Dette forbrug indgår ikke i analysen.

Figur F viser resultatet af fordelingen af forbruget til opvarmning af varmt vand, tab i systemet og cirkulationstab. Cirkulationstabet udgør ca. 52% af forbruget med 37,7 MWh/år og tapningerne ca. 48% med 35,3 MWh/år

Energimængderne på rumvarme, tapninger og varmt brugsvand, benyttes som en forudsætning, for at kunne beregne den gennemsnitlige teoretiske returtemperatur, under drift af parallelsystemet ved 55°C fremløb.



Figur F - Fordeling af varmt vandforbrug 2022

Installationsomkostninger - Vand/vand

For indkøb af af vamepumpe, komponenter VVS- og elarbejder forventes det at koste ca. 60.000 kr. pr. installation, ved brug af en vand/vand varmepumpe baseret på fjernvarme som varmekilde. Den varmepumpe som blev anvendt i projektet, var i parallelsystemet for lille i forhold til det varmeaftag som der ønskes. Det vides ikke om der findes modeller med en større kapacitet, men i prisen er varmepumpe indkøb belastet med 200% i forhold til prisen for varmepumpen i projektet. Montageomkostninger og komponenter til styring af systemet er baseret på faktiske omkostninger i projektet.

Installationsomkostninger - Luft/vand

Der er i forbindelse med analyse på denne type varmepumpe indhentet et konkret tilbud på en kommerciel varmepumpemodel med denne teknologi. Med udgangspunkt i samme VVS- og elarbejder som for vand/vand varmepumpen, vurderes det at en varmepumpe som luft/vand har en pris på ca. 70.000 kr. pr. installation. Det vurderes ud fra tekniske specifikationer mv., at kun en varmepumpe fra Metro Therm ikke er tilstrækkelig stor til det konkrete eksempel. Derfor er prisen også belastet 200% på indkøb af varmepumpe.

Elpriser

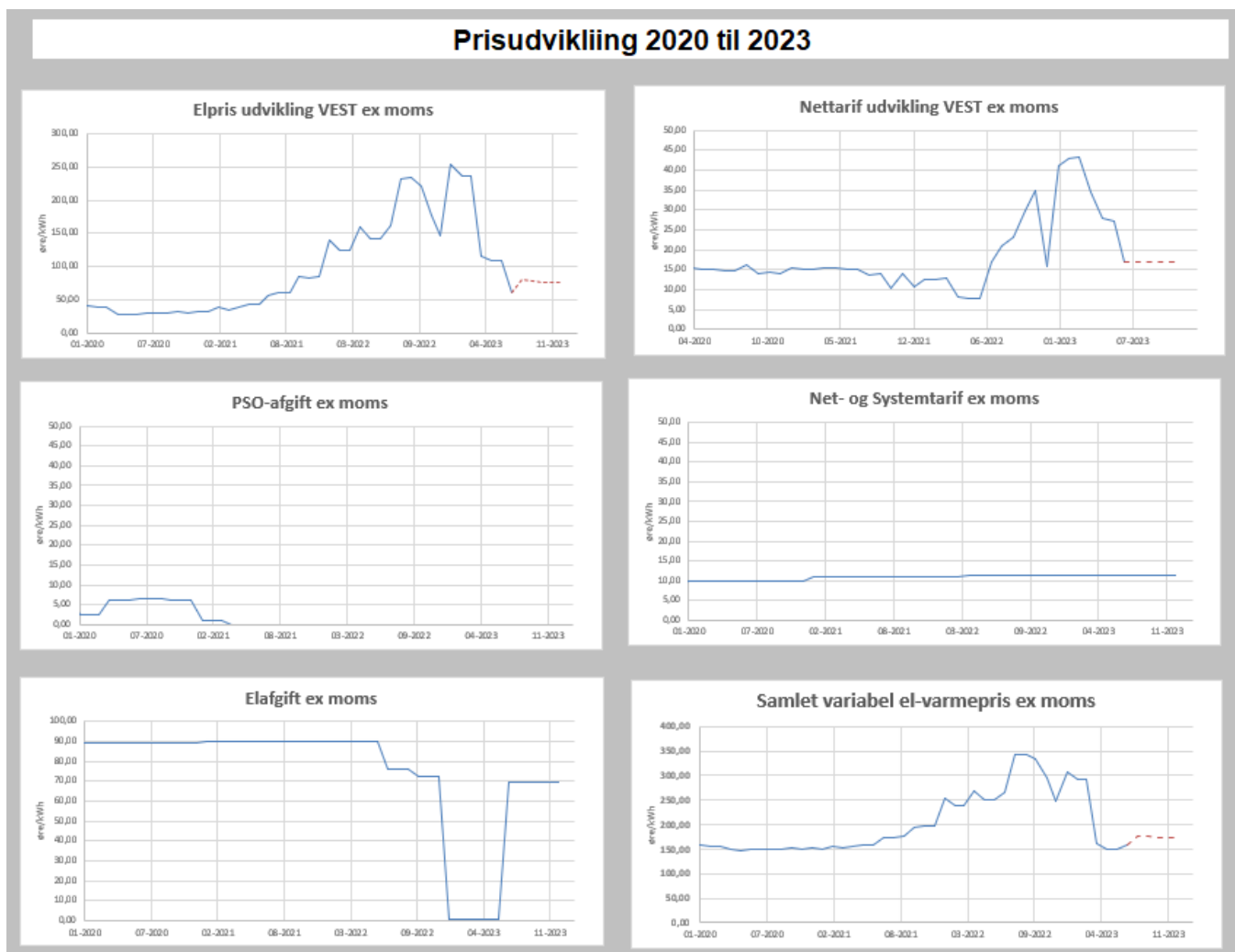
Elpris sammensætning

Elprisen som forbrugeren betaler til drift af varmepumpen og øvrigt forbrug, udgør flere elementer. Der er ligesom til et varmeforsyningselskab nogle faste udgifter som abonnement / administration. De faste udgifter har ikke indflydelse på økonomien eftersom forbrugeren uanset om de har varmepumpe er tilsluttet et elforsynings-net.

I forudsætningerne er anvendt 160 øre/kWh for forbrugeren i elpris og 88 øre/kWh for Viborg Varme. Dette bilag er dannet for at understøtte de forudsætninger.

De variable faktorer for er beskrevet i det følgende.

Rå elpris - Den rå elpris udgør spotmarkedsprisen på den strøm som man køber. Elprisen lå i 2020 omkring 50 øre/kWh. Under COVID-19 pandemien og krigen i Ukraine, har priserne været meget høje, men er nu stabiliseret omkring 75 øre/kWh i Q3 2023. Udviklingen kan på figur G er taget ud fra forsyningstilsynets statistik - <https://forsyningstilsynet.dk/tal-og-fakta/elpriser/prisstatistik-2-kv-2023>. Tal for Q3 2023 er gennemsnitlige spotværdier i Jylland VEST marked.



Figur G - Prisudvikling for el, i perioden 2020 til 2023

Nettarif – En tarif som betales til det netselskab, som ejer distributionsnettet der hvor strømmen aftages. Historisk set har denne tarif været fast, men er for nyligt blevet en variabel sats, som afhænger af timerne i døgnet.

- 9,5 øre/kWh i lavlast kl. 00 til 06
- 14,25 øre/kWh i højlast kl. 06 til 17 og 21 til 24
- 37,05 øre/kWh i spidslast kl. 17 til 21

Satserne er taget fra Elnet Midt på <https://www.elnetmidt.dk/priser>. Ved at brug af el til en varmepumpe som driver et cirkulationssystem 24 timer i døgnet, vil satsen bliver den gennemsnitlige sats, hvis der bruges 1 kWh hele døgnet. Det resulterer i en sats som er 16,86 øre/kWh. Historiske satser fra forsyningstilsynets statistik, samt den beregnede gennemsnitlige værdi, er illustreret på figur G.

Net- og systemtarif – er en fast tarif som betales til energinet. Satsen er i øjeblikket 11,2 øre/kWh, iht. energinets hjemmeside <https://energinet.dk/el/elmarkedet/tariffer/aktuelle-tariffer/>. Historiske satser fra forsyningstilsynets statistik, er illustreret på figur G.

Elafgift – Private betaler i 2. halvår 2023 69,7 øre/kWh i elafgift. Erhverv, herunder Viborg Varme, kan få godtgjort hele elafgiften til brug i en brugsvandsvarmepumpe, på nær 0,4 øre/kWh. Satser for elafgift og godtgørelse er taget fra SKATs hjemmeside under <https://skat.dk/erhverv/moms/fradrag-for-moms/fradrag-for-energiafgifter>. Historiske satser fra forsyningstilsynets statistik, er illustreret på figur G.

Fremtidig udvikling – den fremtidige udvikling i tariffer og afgifter kan ikke forudsiges. Men når man regner fremtidige elpriser, kan samfundsøkonomiske forudsætninger for udvikling af den rå elpris anvendes. På energistyrelsens hjemmeside findes publikationer for dette på <https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller/samfundsøkonomiske-analysemetoder>. I udgaven af 28. februar 2022, fremgår nogle forudsigelser som er gjort i 2021. I skemaet på figur H er der i de to først kolonner vist energistyrelsens forudsete elpriser fra 2022 til 2030. I de næste to kolonner, er der derudfra regnet et indeks, med reference i 2023. Den valgte elpris som vælges at regulere, er 750 kr./MWh, ud fra den pris som er set i 2. halvår 2023. Prisen i 2025, som er det år hvor der i rapporten analyseres på, forventes således at være 614 kr./MWh ud fra indekset.

2021-priser kr./MWh	Rå samfundsøkonomisk pris på el	Indeks	Rå elpris iht. statistik og indeksreguleret
2022	1.260		
2023	660	Reference	750
2024	560	0,85	636
2025	540	0,82	614
2026	530	0,80	602
2027	510	0,77	580
2028	490	0,74	557
2029	450	0,68	511
2030	390	0,59	443

Figur H - Samfundsøkonomisk regulering af elpris

Den indeksregulerede pris for en slutbruger, er opstillet i figur I. Den samlede pris for 2025 som anvendes i rapporten er 159,1 øre/kWh. For Viborg Varme som kan få godtgjort elafgiften på nær 0,4 øre, vil prisen være 89,7 øre/kWh

Som nævnt er der anvendt 160 øre/kWh for forbrugeren og 88 øre/kWh for Viborg Varme. Forudsætningerne vurderes ud fra dette bilag at være kvalitative.

-	-	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Rå elpris	[øre/kWh]	75,0	63,6	61,4	60,2	58,0	55,7
Nettarif	[øre/kWh]	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9	16,9
Energinet	[øre/kWh]	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2	11,2
PSO	[øre/kWh]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Elafgift	[øre/kWh]	69,7	69,7	69,7	69,7	69,7	69,7
Sum, ex moms	[øre/kWh]	172,8	161,4	159,1	158,0	155,7	153,4
Moms	[øre/kWh]	43,2	40,3	39,8	39,5	38,9	38,4
Sum inkl. moms	[øre/kWh]	216,0	201,7	198,9	197,5	194,6	191,8

Figur I - Indeksreguleret elpris, slutbruger

Bilag 2 - Teoretisk analyse, beregninger

Beregning af returtemperatur – vand/vand varmepumpe

Beregning af returtemperaturerne er foretaget i Microsoft Excel. Energiforbrug, timer mv. er indtastet ud fra de forudsætninger som er defineret. Beregningen omsætter energi og temperaturer til et volumen for hhv. cirkulationssystemet og tapninger. Der er et venstre- og midt afsnit, som viser resultater for hhv. drift ved fremløb under eller over 58°C. I det højre afsnit sammenlægges volumener og blandes til en samlet vægtet returtemperatur over hele året.

Den øverste udskrift viser returtemperaturen, hvis varmepumpen drifter hele året, og den nederste, hvis varmepumpen i perioder med fremløbstemperaturer over 58°C slukkes og fjernvarmen alene benyttes til at forsyne cirkulationssystemet, med henblik på at spare på elektriciteten og dermed måske kunne spare variable udgifter.

Beregning af returtemperatur ved - varmepumpedrift hele året

Timer ved fremløb under 58°C			Timer ved fremløb over 58°C			Vægtet returtemperatur		
<u>Flow cirkulationstab</u>			<u>Flow cirkulationstab</u>			<u>Cirkulation</u>		
Forbrug, årligt	kWh/år	37.688	Forbrug, årligt	kWh/år	37.688	Returtemperatur	°C	30,0
Timer	timer/år	4.600	Timer	timer/år	4.160	Volumen	m ³ /år	1.088
Vægtet forbrug	kWh/år	19.791	Vægtet forbrug	kWh/år	17.897	<u>Tapninger</u>		
Fremløbstemperatur	°C	56,0	Fremløbstemperatur	°C	65,5	Returtemperatur	°C	20,2
Returtemperatur	°C	30	Returtemperatur	°C	30	Volumen	m ³ /år	767
Volumen	m ³ /år	655	Volumen	m ³ /år	434	<u>Total vægtet</u>		
<u>Flow tapninger</u>			<u>Flow tapninger</u>			Returtemperatur	°C	25,9
Forbrug, årligt	kWh/år	35.373	Forbrug, årligt	kWh/år	35.373	Volumen	m ³ /år	1.855
Timer	timer/år	4.600	Timer	timer/år	4.160	<u>Vægtet retur i perioden</u>		
Vægtet forbrug	kWh/år	18.575	Vægtet forbrug	kWh/år	16.798	Returtemperatur	°C	26,3
Fremløbstemperatur	°C	56,0	Fremløbstemperatur	°C	65,5	Volumen	m ³ /år	1.111
Returtemperatur	°C	21,0	Returtemperatur	°C	19,0	<u>Vægtet retur i perioden</u>		
Volumen	m ³ /år	456	Volumen	m ³ /år	311	Returtemperatur	°C	25,4
<u>Vægtet retur i perioden</u>			<u>Vægtet retur i perioden</u>			Volumen	m ³ /år	744
Returtemperatur	°C	26,3	Returtemperatur	°C	25,4			
Volumen	m ³ /år	1.111	Volumen	m ³ /år	744			

Beregning af returtemperatur ved - ved nødvendig drift

Timer ved fremløb under 58°C			Timer ved fremløb over 58°C			Vægtet returtemperatur		
<u>Flow cirkulationstab</u>			<u>Flow cirkulationstab</u>			<u>Cirkulation</u>		
Forbrug, årligt	kWh/år	37.688	Forbrug, årligt	kWh/år	37.688	Returtemperatur	°C	39,1
Timer	timer/år	4.600	Timer	timer/år	4.160	Volumen	m ³ /år	1.465
Vægtet forbrug	kWh/år	19.791	Vægtet forbrug	kWh/år	17.897	<u>Tapninger</u>		
Fremløbstemperatur	°C	56,0	Fremløbstemperatur	°C	65,5	Returtemperatur	°C	36,9
Returtemperatur	°C	30	Returtemperatur	°C	46,5	Volumen	m ³ /år	1.217
Volumen	m ³ /år	655	Volumen	m ³ /år	810	<u>Total vægtet</u>		
<u>Flow tapninger</u>			<u>Flow tapninger</u>			Returtemperatur	°C	38,1
Forbrug, årligt	kWh/år	35.373	Forbrug, årligt	kWh/år	35.373	Volumen	m ³ /år	2.681
Timer	timer/år	4.600	Timer	timer/år	4.160	<u>Vægtet retur i perioden</u>		
Vægtet forbrug	kWh/år	18.575	Vægtet forbrug	kWh/år	16.798	Returtemperatur	°C	26,3
Fremløbstemperatur	°C	56,0	Fremløbstemperatur	°C	65,5	Volumen	m ³ /år	1.111
Returtemperatur	°C	21,0	Returtemperatur	°C	46,5	<u>Vægtet retur i perioden</u>		
Volumen	m ³ /år	456	Volumen	m ³ /år	760	Returtemperatur	°C	46,5
<u>Vægtet retur i perioden</u>			<u>Vægtet retur i perioden</u>			Volumen	m ³ /år	1.570
Returtemperatur	°C	26,3	Returtemperatur	°C	46,5			
Volumen	m ³ /år	1.111	Volumen	m ³ /år	1.570			

Beregning af returtemperatur – luft/vand varmepumpe

Nedenstående beregning er af samme princip, men hvor der i stedet ses på en luft/vand varmepumpe. Den store forskel ligger i, at cirkulationstabet reduceres til 0 i de timer hvor varmepumpen er i drift.

Beregning af returtemperatur ved - varmepumpedrift hele året

Timer ved fremløb under 58°C			Timer ved fremløb over 58°C			Vægtet returtemperatur		
<u>Flow cirkulationstab</u>			<u>Flow cirkulationstab</u>			<u>Cirkulation</u>		
Forbrug, årligt	kWh/år	0	Forbrug, årligt	kWh/år	0	Returtemperatur	°C	0,0
Timer	timer/år	4.600	Timer	timer/år	4.160	Volumen	m3/år	0
Vægtet forbrug	kWh/år	0	Vægtet forbrug	kWh/år	0	<u>Tapninger</u>		
Fremløbstemperatur	°C	56,0	Fremløbstemperatur	°C	65,5	Returtemperatur	°C	20,2
Returtemperatur	°C	30	Returtemperatur	°C	30	Volumen	m3/år	767
Volumen	m3/år	0	Volumen	m3/år	0	<u>Total vægtet</u>		
<u>Flow tapninger</u>			<u>Flow tapninger</u>			Returtemperatur		
Forbrug, årligt	kWh/år	35.373	Forbrug, årligt	kWh/år	35.373	Returtemperatur	°C	20,2
Timer	timer/år	4.600	Timer	timer/år	4.160	Volumen	m3/år	767
Vægtet forbrug	kWh/år	18.575	Vægtet forbrug	kWh/år	16.798	<u>Total vægtet</u>		
Fremløbstemperatur	°C	56,0	Fremløbstemperatur	°C	65,5	Returtemperatur		
Returtemperatur	°C	21,0	Returtemperatur	°C	19,0	Volumen		
Volumen	m3/år	456	Volumen	m3/år	311	Returtemperatur		
<u>Vægtet retur i perioden</u>			<u>Vægtet retur i perioden</u>			Volumen		
Returtemperatur	°C	21,0	Returtemperatur	°C	19,0	Returtemperatur		
Volumen	m3/år	456	Volumen	m3/år	311	Volumen		

Beregning af returtemperatur ved - ved nødvendig drift

Timer ved fremløb under 58°C			Timer ved fremløb over 58°C			Vægtet returtemperatur		
<u>Flow cirkulationstab</u>			<u>Flow cirkulationstab</u>			<u>Cirkulation</u>		
Forbrug, årligt	kWh/år	0	Forbrug, årligt	kWh/år	37.688	Returtemperatur	°C	46,5
Timer	timer/år	4.600	Timer	timer/år	4.160	Volumen	m3/år	810
Vægtet forbrug	kWh/år	0	Vægtet forbrug	kWh/år	17.897	<u>Tapninger</u>		
Fremløbstemperatur	°C	56,0	Fremløbstemperatur	°C	65,5	Returtemperatur	°C	36,9
Returtemperatur	°C	30	Returtemperatur	°C	46,5	Volumen	m3/år	1.217
Volumen	m3/år	0	Volumen	m3/år	810	<u>Total vægtet</u>		
<u>Flow tapninger</u>			<u>Flow tapninger</u>			Returtemperatur		
Forbrug, årligt	kWh/år	35.373	Forbrug, årligt	kWh/år	35.373	Returtemperatur	°C	40,8
Timer	timer/år	4.600	Timer	timer/år	4.160	Volumen	m3/år	2.027
Vægtet forbrug	kWh/år	18.575	Vægtet forbrug	kWh/år	16.798	<u>Total vægtet</u>		
Fremløbstemperatur	°C	56,0	Fremløbstemperatur	°C	65,5	Returtemperatur		
Returtemperatur	°C	21,0	Returtemperatur	°C	46,5	Volumen		
Volumen	m3/år	456	Volumen	m3/år	760	Returtemperatur		
<u>Vægtet retur i perioden</u>			<u>Vægtet retur i perioden</u>			Volumen		
Returtemperatur	°C	21,0	Returtemperatur	°C	46,5	Returtemperatur		
Volumen	m3/år	456	Volumen	m3/år	1.570	Volumen		

Bilag 3 - Økonomisk analyse, beregninger

Beregning af økonomi – Viborg Varme

Beregning af økonomi er foretaget i Microsoft Excel. Øverst i hvert afsnit er der en overskrift, som fortæller om ejerskab og hvilken type varmepumpe der regnes på.

Ved brug af forudsætningerne, som er nævnt i løbet af rapporten og i bilag, beregnes energiforbrug som videre resulterer i de variable udgifter. På baggrund af de tidligere beregnede returforbedringer beregnes den gennemsnitlige forbedring i returen pr. installation, i kr. pr. år. Besparelsen er fastlagt til at tilfalde forbrugeren som incitament til at lade Viborg Varme installere en varmepumpe, og er derfor ikke en del af totaløkonomien i dette regnestykke.

Energipriser

		FJV	1-VP-FJV	1-VP-FJV	1-VP-LUFT	1-VP-LUFT
Elpris	kr. / enhed	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
Fjernvarmepris	kr. / kWh	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Varmepumpe effektivitet	%		520	520	314	314

Energiforbrug

		FJV	1-VP-FJV	1-VP-FJV	1-VP-LUFT	1-VP-LUFT
Cirkulationstab total	kW	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3
Forvarmningsveksler, bidrag	[°C]	1	1	1	0	0
Cirkulationstab VP	[kW]	3,44	3,44	3,44	4,3	4,3
Cirkulationstab FJV	[kW]	0,86	0,86	0,86	0	0
Driftstimer pr. år - Fjernvarme	timer/år	8760	0	4160	0	4160
Cirkulationstab - Fjernvarme	kWh-fjv/år	37.668	7.534	21.844	0	17.888
Driftstimer pr. år - Varmepumpe	timer/år	0	8760	4600	8760	4600
Cirkulationstab - Varmepumpe	kWh-v/år	0	30.134	15.824	37.668	19.780
Eloptag varmepumpe	kWh-el/år	0	5.795	3.043	11.996	6.299
Fjernvarme forbrug under VP Drift	kWh-fjv/år		24.339	12.781	0	0

Tapningsforbrug	kWh-fjv/år	35.373	35.373	35.373	35.373	35.373
-----------------	------------	--------	--------	--------	--------	--------

Eloptag forbrug i alt	kWh-el/år	0	5.795	3.043	11.996	6.299
Fjernvarme forbrug i alt	kWh-fjv/år	73.041	67.246	69.998	35.373	53.261
Varme afsat til brugsvand total	kWh-varme/år	73.041	73.041	73.041	47.369	59.560
Solgt/købt fjernvarme total	kWh-varme/år	73.041	73.041	73.041	73.041	73.041

Returbidrag

		FJV	1-VP-FJV	1-VP-FJV	1-VP-LUFT	1-VP-LUFT
Forbedret fællesskab retur	°C	0,00	0,43	0,28	0,34	0,22
Besparelser	kr./år/°C		527000	527000	527000	527000
Retur besparelser samlet	kr./år	0	225.409	149.300	178.845	115.351
Antal af installationer	stk.	0	75	75	75	75
Retur besparelser installation	kr./år	0	3.005	1.991	2.385	1.538

Indkøb af el i alt	kr./år	0	5.100	2.678	10.557	5.543
Indkøb af fjernvarme i alt	kr./år	17.895	16.475	17.149	8.666	13.049
Energiudgifter total	kr./år	17.895	21.575	19.827	19.223	18.592
Varmepris, brugsvand	kr./kWh-varme	245	295	271	263	255

De faste omkostninger til lån mv. beregnes ud fra indtastninger, og overføres til den samlede beregning i bunden. Nederst fremgår de årlige omkostninger i en totaløkonomi, og det vises, hvilken merudgift driften i hver kolonne har, i forhold til, hvis der i stedet blev anvendt fjernvarme uden varmepumpe.

<u>Investering</u>		FJV	1-VP-FJV	1-VP-FJV	1-VP-LUFT	1-VP-LUFT
Varmepumpe	kr.	-	22.000	22.000	32.000	32.000
VVS Montage	kr.	-	25.000	25.000	25.000	25.000
El montage	kr.	-	8.000	8.000	8.000	8.000
Komponenter	kr.	-	5.000	5.000	5.000	5.000
Ny elforsyning	kr.	-	10.000	10.000	10.000	10.000
I alt	kr.	0	70.000	70.000	80.000	80.000

<u>Lån</u>		FJV	1-VP-FJV	1-VP-FJV	1-VP-LUFT	1-VP-LUFT
Rentesats	%	4	4	4	4	4
Lånets periode	år	15	15	15	15	15
Lån ydelse	kr. / år	0	6.213	6.213	7.101	7.101

<u>Faste</u>		FJV	1-VP-FJV	1-VP-FJV	1-VP-LUFT	1-VP-LUFT
Service og vedligehold	kr. / år	0	3.000	3.000	3.000	3.000
Abonnement el-måler	kr. / år	0	250	250	250	250
Lån ydelse	kr. / år	0	6.213	6.213	7.101	7.101
I alt	kr. / år	0	9.463	9.463	10.351	10.351

<u>Variable</u>		FJV	1-VP-FJV	1-VP-FJV	1-VP-LUFT	1-VP-LUFT
Elkøb	kr. / år	0	5.100	2.678	10.557	5.543
Fjernvarme køb	kr. / år	17.895	16.475	17.149	8.666	13.049
Fjernvarme salg	kr. / år	-17.895	-17.895	-17.895	-17.895	-17.895
Retubidrag sparet	kr. / år	0	-3.005	-1.991	-2.385	-1.538
Retubidrag, udbetalt	kr. / år	0	3.005	1.991	2.385	1.538
I alt	kr. / år	0	3.680	1.932	1.328	697

		FJV	1-VP-FJV	1-VP-FJV	1-VP-LUFT	1-VP-LUFT
Årlige omkostninger I alt	kr. / år	17.895	31.038	29.291	29.574	28.943
Merudgift ift. fjernvarme	kr. / år		13.143	11.396	11.679	11.048

Beregning af økonomi – Forbruger

Samme beregning foretages for forbrugeren. Den store forskel ligger i, som nævnt i rapporten, at indkøb af fjernvarme og el er dyre for forbrugeren. I denne beregning fratrækkes forbrugeren totaløkonomi gevinsten for den forbedrede retur.

Den årlige besparelse ved returforbedringer for forbrugeren er større end for fjernvarmeselskabet. Det skyldes at der er medregnet omkostninger til administration mv. af indsats til at forbedre returtemperaturen.

		FJV	2-VP-FJV FULD	2-VP-FJV NØDV	2-VP-LUFT FULD	2-VP-LUFT NØDV
Energipriser						
Elpris	kr. / enhed	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Fjernvarmepris	kr. / kWh	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
Varmepumpe effektivitet	%		520	520	314	314
Energiforbrug						
Cirkulationstab total	kW	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3
Forvarmningsveksler, bidrag	[°C]	1	1	1	0	0
Cirkulationstab VP	[kW]	3,44	3,44	3,44	4,3	4,3
Cirkulationstab FJV	[kW]	0,86	0,86	0,86	0	0
Driftstimer pr. år - Fjernvarme	timer/år	8760	0	4160	0	4160
Cirkulationstab - Fjernvarme	kWh-fjv/år	37.668	7.534	21.844	0	17.888
Driftstimer pr. år - Varmepumpe	timer/år	0	8760	4600	8760	4600
Cirkulationstab - Varmepumpe	kWh-v/år	0	30.134	15.824	37.668	19.780
Eloptag varmpumpe	kWh-el/år	0	5.795	3.043	11.996	6.299
Fjernvarme forbrug under VP Drift	kWh-fjv/år		24.339	12.781	0	0
Tapningsforbrug	kWh-fjv/år	35.373	35.373	35.373	35.373	35.373
Eloptag forbrug i alt	kWh-el/år	0	5.795	3.043	11.996	6.299
Fjernvarme forbrug i alt	kWh-fjv/år	73.041	67.246	69.998	35.373	53.261
Varme afsat til brugsvand total	kWh-varme/år	73.041	73.041	73.041	47.369	59.560
Solgt/købt fjernvarme total	kWh-varme/år	73.041	73.041	73.041	73.041	73.041
Returbidrag						
Forbedret fællesskab retur	°C	0,00	0,43	0,28	0,34	0,22
Besparelser	kr./år/°C		606050	606050	606050	606050
Retur besparelser samlet	kr./år	0	259.220	171.695	205.671	132.653
Antal af installationer	stk.	0	75	75	75	75
Retur besparelser installation	kr./år	0	3.456	2.289	2.742	1.769
Indkøb af el i alt	kr./år	0	9.272	4.869	19.194	10.079
Indkøb af fjernvarme i alt	kr./år	23.666	21.789	22.680	11.461	17.257
Returbidrag sparet	kr. / år	0	-3.456	-2.289	-2.742	-1.769
Energiudgifter total	kr./år	23.666	27.604	25.260	27.913	25.568
Varmepriis, brugsvand	kr./kWh-varme	324	378	346	382	350

			FJV	2-VP-FJV FULD	2-VP-FJV NØDV	2-VP-LUFT FULD	2-VP-LUFT NØDV
<u>Investering</u>							
Varmepumpe	kr.		-	22.000	22.000	32.000	32.000
VVS Montage	kr.		-	25.000	25.000	25.000	25.000
El montage	kr.		-	8.000	8.000	8.000	8.000
Komponenter	kr.		-	5.000	5.000	5.000	5.000
Ny elforsyning	kr.		-	-	-	-	-
I alt	kr.		0	60.000	60.000	70.000	70.000

<u>Lån</u>							
Rentesats	%		4	4	4	4	4
Lånets periode	år		15	15	15	15	15
Lån ydelse	kr. / år		0	5.326	5.326	6.213	6.213

			FJV	2-VP-FJV FULD	2-VP-FJV NØDV	2-VP-LUFT FULD	2-VP-LUFT NØDV
<u>Faste</u>							
Service og vedligehold	kr. / år		0	3.000	3.000	3.000	3.000
Abonnement el-måler	kr. / år		0	0	0	0	0
Lån ydelse	kr. / år		0	5.326	5.326	6.213	6.213
I alt	kr. / år		0	8.326	8.326	9.213	9.213

			FJV	2-VP-FJV FULD	2-VP-FJV NØDV	2-VP-LUFT FULD	2-VP-LUFT NØDV
<u>Variable</u>							
Elkøb	kr. / år		0	9.272	4.869	19.194	10.079
Fjernvarme køb	kr. / år		23.666	21.789	22.680	11.461	17.257
Fjernvarme salg	kr. / år		-	-	-	-	-
Retubidrag sparet	kr. / år		0	-3.456	-2.289	-2.742	-1.769
I alt	kr. / år		23.666	27.604	25.260	27.913	25.568

			FJV	2-VP-FJV FULD	2-VP-FJV NØDV	2-VP-LUFT FULD	2-VP-LUFT NØDV
Årlige omkostninger I alt	kr. / år		23.666	35.930	33.586	37.126	34.781
Merudgift ift. fjernvarme	kr. / år			12.264	9.919	13.460	11.115