

Dokumentering og evaluering av ny teknisk løsning for vannbåren varme i norske leilighetsbygg

Kristin Nørstebø

Master i energibruk og energiplanlegging

Innlevert: juli 2018

Hovedveileder: Natasa Nord, EPT

Medveileder: Rolf Julin, Agder Energi Varme

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for energi- og prosesseteknikk

EPT-M-2018- 63

MASTEROPPGAVE

for

Student Kristin Nørstebø

Våren 2018

Dokumentering og evaluering av ny teknisk løsning for vannbåren varme i norske leilighetsbygg

Documentation and assessment of a new technical solution for hydronic system in Norwegian residential buildings

Bakgrunn og målsetting

Nye og strenge byggetekniske forskrifter stilles det blant annet krav til at bygninger skal være energifleksible. Årsaken til krav om energifleksibilitet knyttes mot urbanisering og leveringssikkerhet i byene. Energifleksible bygg kan benytte seg av flere energikilder (fornybare) til oppvarmingsformål. Krav om energifleksibilitet legger til rette for økt bruk av vannbåren varme. Et kjent problem med vannbåren varme er mangel på gode og moderne løsninger som kan lett installeres uten feil. For å gjøre vannbårne løsninger mer attraktiv har fjernvarmeselskapet Agder Energi Varmer (AEV) i Kristiansand utarbeidet en ny og mindre omfattende vannbåren oppvarmingsløsning i leilighetsbygg. Deres målsetning har vært å fremme bruken av vannbårne løsninger i bygg, slik at de får levert fjernvarme til leilighetsbygg og næringsbygg i Kristiansand. AEV har sammen med utbyggere utarbeidet en ny løsning for vannbåren varme hvor rørstrukturen i bygg er enklere. Den nye vannbårne løsningen utnytter varmen i varmt tappevann til oppvarming ved hjelp av et spesialdesignet varmeveksler i hver leilighet. Varmeveksler overfører varmen fra sirkulasjon til varmt tappevann til gulvvarme i hver leilighet. Noen av fordelene ved denne løsningen er halvering av rørstrekk, noe som fører til mindre varmetap og plassbruk. En forutsetning for løsningen er at det begrenses til leilighetsbygg. Studenten har samlet en del drifts data i sin prosjektoppgave. Ideen er at grunnlag fra prosjektoppgave skal videreføres for dokumentering og evaluering av løsningen i masteroppgave.

Målet med oppgaven er å dokumentere om den nye løsningen for enklere bruk av vannbåren varme i leilighetsbygg er robust og driftssikker og om den gir besparelser i investerings- og driftskostnader og energibruk.

Oppgaven bearbeides ut fra følgende punkter

1. Litteraturstudie av de mest brukte og innovative systemløsningene for oppvarming av leiligheter med vannbåren varme nasjonalt og internasjonalt. Litteraturstudie skal også se på kostnader ved tradisjonelle og forenklet løsning, spesifikt se på valg av komponenter slik som pumper, målere, rør og isolering og reguleringsventiler.
2. Samle og organisere drifts og sikkerhetserfaringer. Utføre legionella og kalk prøver. Intervjue rørentreprenører, fjernvarmeselskap og byggherrer som har montert løsningen.
3. Samle data og dokumentere to byggeprosjekter. Et bygg med CO₂- varmepumpe og et med fjernvarmetilknytning. Dokumentere med måledata hvordan løsningen fungerer. Organisere data at de kan benyttes videre i oppgaven.
4. Utvikle modellere for trykktap, temperaturnivå og energiflyten i bygget. Modellene skal omfatte energibalansen, styring av temperatur og vannmengde samt med varmetap på byggets hovednett. Modellen skal fungere helhetlig

for en bygning og ett rørsystem i bygningen. Utvikle modeller for tradisjonell og den nye løsningen. Excel kan benyttes for å utvikle modellene.

5. Simulere årlig drift av systemet. Test flere scenarier relevante for de to observerte prosjektene.
6. Sammenligne investerings- og driftskostnadene for tradisjonell og ny vannbåren løsning.
7. Skrive en draft artikkel på basis av resultatene.

” - ”

Senest 14 dager etter utlevering av oppgaven skal kandidaten levere/sende instituttet en detaljert fremdrift- og eventuelt forsøksplan for oppgaven til evaluering og eventuelt diskusjon med faglig ansvarlig/veileder. Detaljer ved eventuell utførelse av dataprogrammer skal avtales nærmere i samråd med faglig ansvarlig.

Besvarelsen redigeres mest mulig som en forskningsrapport med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, innholdsfortegnelse etc. Ved utarbeidelsen av teksten skal kandidaten legge vekt på å gjøre teksten oversiktlig og velskrevet. Med henblikk på lesning av besvarelsen er det viktig at de nødvendige henvisninger for korresponderende steder i tekst, tabeller og figurer anføres på begge steder. Ved bedømmelsen legges det stor vekt på at resultatene er grundig bearbeidet, at de oppstilles tabellarisk og/eller grafisk på en oversiktlig måte, og at de er diskutert utførlig.

Alle benyttede kilder, også muntlige opplysninger, skal oppgis på fullstendig måte. For tidsskrifter og bøker oppgis forfatter, tittel, årgang, sidetall og eventuelt figurnummer.

Det forutsettes at kandidaten tar initiativ til og holder nødvendig kontakt med faglærer og veileder(e). Kandidaten skal rette seg etter de reglementer og retningslinjer som gjelder ved alle (andre) fagmiljøer som kandidaten har kontakt med gjennom sin utførelse av oppgaven, samt etter eventuelle pålegg fra Institutt for energi- og prosesssteknikk.

Risikovurdering av kandidatens arbeid skal gjennomføres i henhold til instituttets prosedyrer. Risikovurderingen skal dokumenteres og inngå som del av besvarelsen. Hendelser relatert til kandidatens arbeid med uheldig innvirkning på helse, miljø eller sikkerhet, skal dokumenteres og inngå som en del av besvarelsen. Hvis dokumentasjonen på risikovurderingen utgjør veldig mange sider, leveres den fulle versjonen elektronisk til veileder og et utdrag inkluderes i besvarelsen.

I henhold til ”Utfyllende regler til studieforskriften for teknologistudiet/sivilingeniørstudiet” ved NTNU § 20, forbeholder instituttet seg retten til å benytte alle resultater og data til undervisnings- og forskningsformål, samt til fremtidige publikasjoner.

Besvarelsen leveres digitalt i DAIM. Et faglig sammendrag med oppgavens tittel, kandidatens navn, veileders navn, årstall, instituttnavn, og NTNUs logo og navn, leveres til instituttet som en separat pdf-fil. Etter avtale leveres besvarelse og evt. annet materiale til veileder i digitalt format.

- Arbeid i laboratorium (vannkraftlaboratoriet, strømmingsteknisk, varmeteknisk)
- Feltarbeid

NTNU, Institutt for energi- og prosesssteknikk, 15. januar 2018



Natasa Nord

Faglig ansvarlig/veileder

Medveileder(e): Rolf Julin, Agder Energi Varme, e-post: Rolf.Julin@ae.no

Forord:

Som en obligatorisk del i masterprogrammet på linjen Energibruk og energiplanlegging ved Norges Tekniske-Naturvitenskapelige Universitet (NTNU) i Trondheim, skal det i siste semester skrives masteroppgave. Denne masteroppgaven har blitt skrevet våren 2018 i samarbeid med Agder Energi Varme i Kristiansand. Jeg føler meg privilegert som har fått tatt del i utviklingen av tappevannsløsningen. At jeg har hatt kontorplass i et så engasjert og positivt miljø har vært helt avgjørende for lærings – og skriveprosessen. Jeg vil spesielt takke ekstern veileder Rolf Julin som har stilt opp med gode faglige innspill og tips. En takk rettet også til daglig leder Hege Jortveit og de andre ansatte i Agder Energi Varme som har motivert og støttet meg.

Jeg vil takke hovedveileder Natasa Nord ved NTNU for et godt samarbeid til tross for stor avstand. Hun har vist stort engasjement og bidratt med gode innspill. Jeg må også få takke NTNU med toppidrettsveileder Jan Erik Tangen i spissen som har fremstått enestående for å tilrettelegge toppidrettsutøvelse i håndball og sivilingeniørstudiet.

Etter som masteroppgaven evaluerer en ny teknisk løsning for vannbåren varme bærer den preg av en praktisk tilnærming til emnet. Håpet er at leseren skal få en forståelse av hvordan tappevannsløsningen er bygget opp og hvilke positive egenskaper løsningen bringer med seg.

Til slutt vil jeg takke familien min som har kommet med gode faglige innspill og stilt opp som korrekturlesere.

Kristin Nørstebø

Kristin Nørstebø, Lommedalen 01.07.18

Sammendrag

I Norge er det strenge krav til energibruk i leilighetsbygg og byggereglene stiller krav om minst 60 % energifleksibel oppvarming. Dette har gjort at etterspørselen etter effektive og billigere løsninger for vannbåren oppvarming er økende. I Kristiansand er det utviklet en løsning som bruker tappevannet som energibærer og som har fjernet hele den tradisjonelle varmekretsen. Varmebehovet dekkes ved å bruke varmt tappevann med 65 °C som energibærer til lavtemperatur varmeavgivere.

For å sammenligne tradisjonell løsning med tappevannsløsningen ble det gjort beregninger for et eksempelbygg med 12 leiligheter for begge løsningene. Eksempelbygget hadde et varmebehov på 41 kW og samtidig vannmengde for tappevann på 1,1 l/s. Resultatene fra begningene viser at tappevannsløsningen har;

- 53 % mindre sirkulert vannmengde.
- 46 % færre installerte rørmeter
- Beskjeden økning i rørdiameter i turlledning for tappevann, fra DN32 til DN40.
- 30 % redusert varmetap
- 70 % redusert effektbehov til pumpe sirkulasjon ved dimensjonerende forhold
- 54 % reduksjon i kostnad for rør og komponenter i røranlegget

Reduksjon i antall rør fører til plassbesparelse og lavere investeringskostnad. At rørnett for varme er fjernet reduserer driftskostnadene og energiforbruket fordi en har mindre sirkulert vannmengde, mindre varmetap og mindre pumpearbeid.

Det har vist seg vanskelig å få tilgang på beregninger av montasjekostnader fra rørleggere for begge løsningene, men utførende rørleggere med erfaring fra tappevannsløsningen forteller om en raskere og kortere prosjektering- og monterings tid. Tidsbesparelsen er spesielt knyttet til bruk av prefabrikkerte varmevekslerskap som kommer monteringsklare med riktige tilslutninger til byggeplass.

En innføring av tappevannsløsningen vil gjøre leilighetsbygg energifleksible og energieffektive samtidig som det overholder byggereglene i TEK17. Tappevannsløsningen gjør at varmekretsen i leilighetene er uavhengig av hverandre. Den vil gi fordeler for beboer, men også for rørleggere og driftspersonell i form av:

- Bedre tilpasning til den enkelte beboers behov
- Muligheter for å stenge av varmeanlegget hvis leilighet er ubebodd
- Mer effektiv sommerdrift fordi en kan holde i gang en gulvvarmekurs uten å måtte holde i gang et separat røranlegg for oppvarming.
- Bedre driftssikkerhet fordi feil i en leilighet vil ikke påvirke de andre leilighetene. Det vil også være enklere å oppdage feilen.
- Tappevannsløsningen legger til rette for individuell fakturering av forbruk basert på måling av vannmengder.

Måledata fra bygg i drift med tappevannsløsningen viser at løsningen fungerer som forutsatt. Over fjernvarmeveksleren på primærsiden var det i løpet av et år en gjennomsnittlig returtemperatur på 34,5°C, med en variasjon fra 18 °C til 40°C. Sammenlignet med bygg med andre vannbårne løsninger er denne returtemperaturen lav. Fra måledata går det frem at returtemperaturen i tappevannsløsningen også er jevnere med mindre variasjoner enn den tradisjonelle løsningen. Tappevannsløsningen er bedre til å kompensere for variasjoner i varmebehov både som følge av beboernes vaner, men også endringer i utetemperatur. En god og jevn regulering gir bedre driftsforutsetninger og lavere energiforbruk.

For fjernvarmebransjen har tappevannsløsningen vist seg å gi god vannavkjøling som er ettertraktet fordi det gir bedre utnyttelse av anleggsinvestering og lavere driftskostnader i fjernvarmenettet. Ved innføring av tappevannsløsningen trenger hvert bygg mindre vannmengde som vil øke kapasiteten i et eksisterende fjernvarmenett.

Tappevannsløsningen fremstår som en driftssikker og energieffektiv løsning for vannbåren varme i nye leilighetsbygg.

Summary

In Norway there are strict requirements for energy use in apartment buildings. The building codes have required at least 60% flexible energy source for heating. This has meant that the demand for efficient and cheaper solutions for hydronic heating is increasing. In Kristiansand a solution has been developed that uses the tap water pipes as an energy carrier and has removed the entire traditional heating circuit. The heat demand is covered by using hot tap water of 65 °C as energy carrier for low temperature heaters.

To compare the traditional solution with the “tap water solution”, calculations were made for an example building with 12 apartments using both solutions. The example building had a heating requirement of 41 kW and a simultaneous hot tap water flow of 1.1 l/s. The results from the calculations show the “hot water solution” has;

- 53 % less circulated water flow.
- 46 % fewer installed pipe meters
- Modest increase in pipe diameter of the tap water feed pipe, from DN32 to DN40.
- 30 % reduced heat loss
- 70 % reduced power requirement for pump circulation at dimensional conditions
- 54 % reduction in the cost of pipes and components in the pipesystem

The reduction in number of pipes leads to less need of space and lower investment cost. Removing one set of pipes reduces the operational expenses and the use of energy as there are less circulated water flow, less heat loss and less pumping electricity demand.

It has been found difficult to do calculations for assembly costs from plumbers for both solutions. Plumbers with experience from the tap water solution report a faster and shorter design and assembly time. The time saving is especially related to the use of prefabricated heat exchanger cabinets that comes ready for installation with prepared connections to the construction site.

An introduction of the tap water solution will make apartment buildings more energy-efficient and comply with the national TEK17 building codes. The tap water solution makes the heating system in each apartment independent of each other. It will provide benefits for residents, but also for plumbers and operating personnel in the form of:

- Better adaptation to individual residents' needs
- Possibility of closing the heating system if the apartment is uninhabited
- More efficient summer operation because one can maintain floor heating without having to start a separate pipesystem for heating
- Improved reliability because failure in one apartment will not affect the other apartments. It will also be easier to detect the faults
- The tap water solution allows for individual billing of consumption based on water volume measurement.

Registered data from the tap water solution in operation shows that the system works as intended. Over a year, the return temperature in one buildings was 34.5 °C in average, ranging from a minimum of 18 ° C to a maximum of 40 ° C. Compared to buildings with other hydronic solutions, this return temperature is low. The average return temperature in the district heating network in Kristiansand, where these measurements took place, is 55 ° C. From the metered data it appears that the return temperature in the tap water solution is also smoother with less variation than for the traditional solution. The tap water solution is better for compensating for variations in heating requirements, coming because of different resident behaviour, but also due to changes in outdoor temperatures. Good and stable regulation provides better operating conditions and lower energy consumption.

For the district heating industry, the tap water solution has been shown to provide high delta T between the feed- and return line to the building, resulting in a lower volume flow. This provides better utilization of plant investment and lower operating costs for the district heating network. When introducing the tap water solution, each building needs less water which subsequently will increase the capacity of the district heating network

The “hot water solution” appears to be a reliable and an energy efficient solution for hydronic heating in new apartment buildings.

Innholdsfortegnelse

1	Introduksjon	1
1.1	Bakgrunn og motivasjon.....	1
1.2	Mål.....	2
1.3	Struktur	2
1.4	Begrensninger	3
2	Litteraturstudie	4
2.1	Elektrisitetsforbruk i Norge	4
2.2	Varmebehov i boliger	6
2.3	Norske og internasjonale klimamål og energipolitikk.....	8
2.4	Norsk regelverk	9
2.5	Utvikling og valg av oppvarmingsløsning i leilighetsbygg.....	13
2.6	Tradisjonell vannbåren varme	16
3	Innovative løsninger for vannbåren varme i leilighetsbygg.....	28
3.1	Tappevannsløsningen	28
3.1.1	Oppbygning og flytskjema	29
3.1.2	Prosjektering.....	37
3.1.3	Estetikk og montering	39
3.1.4	Måling, varmetap og energibruk	40
3.1.5	Potensiale og tilleggseffekter for fjernvarmebransjen	43
3.2	Varmeløsningen.....	46
3.3	Kostnader for vannbårne løsninger.....	47
4	Metodikk for modellering og analyse av sekundærnett i leilighetsbygg ved overgang til tappevannsløsningen	49
4.1	Modell for eksempelbygg.....	49
4.1.1	Vannmengde og varmebehov	50
4.1.2	Varmetapsberegning.....	55

4.1.3	Trykktapsberegning og valg av pumpe	56
4.1.4	Investeringskostnader	58
4.2	Måle og driftsdata fra bygg i Kristiansand	60
4.2.1	Bygg-portefølje for måleresultater	60
4.2.2	Innhenting av erfaringer	63
5	Resultater.....	64
5.1	Resultat for eksempelbygg	64
5.1.1	Rørdimensjoner i eksempelbygg	64
5.1.2	Varmetap	68
5.1.3	Trykktap og pumpearbeid	70
5.1.4	Investeringskostnader	73
5.2	Resultat måle og driftsdata i Kristiansand	76
5.2.1	Tappevannsløsningen	76
5.2.2	Sammenligning av vannbårne løsninger	84
5.2.3	Driftserfaring og kostnader	88
6	Diskusjon og konklusjon.....	91
7	Referanser.....	100
8	Vedlegg	104

Figurer

Figur 1: Forventet elektrisitetsforbruk i Norge i 2030 fordelt per bruksområde	4
Figur 2: Forventet fordeling av energiforbruk i husholdningssektoren i 2030.....	5
Figur 3: Prinsippskisse av energibalanse i bygninger	6
Figur 4: Prosentvis økning i boligtyper i Norge i perioden 2002 – 2015	7
Figur 5: Økende avvik mellom målt og prosjektert totalt energibehov.....	10
Figur 6: EBLE rapport.....	11
Figur 7: Avvik mellom målt og beregnet energiforbruk for lavenergibolig i EBLE-prosjektet	11
Figur 8 Energibehov i husholdningene sortert etter byggestandard	12
Figur 9: Prinsippskisse av tradisjonelt anlegg med tre hovednett og 5 rør i sekundærnettet	16
Figur 10: Flytskjema av tappevannskretsen i tradisjonell løsning	18
Figur 11: Overlevelsestid legionellabakterien som en funksjon av temperatur	20
Figur 12: Hardhet vann, Norsk Vann	20
Figur 13: Flytskjema av varmekrets i tradisjonell løsning	21
Figur 14: Ulike komponenters ekvivalente lengde.....	23
Figur 15: Prinsippskisse av reguleringsventil.....	23
Figur 16: Reguleringsventil [32]	23
Figur 17: Prinsippskisse av tappevannsløsningen med tre hovednett og 3 rør i sekundærnettet	29
Figur 18 : Flytskjema av tappevannsløsningen	30
Figur 19: Prinsippskisse av tilkobling i varmesentral i et tradisjonelt anlegg.....	31
Figur 20: Prinsippskisse av tilkobling i varmesentral for tappevannsløsningen	31
Figur 21: Tre-delt oppbygning av vekslerskap for tappevannsløsningen.....	33
Figur 22: Energiflyt over varmeveksler i leilighet for tappevannsløsningen	34
Figur 23: Prinsippskisse av reguleringsventiler i vekslerskap i tappevannsløsningen	35
Figur 24: Energiflyt over varmeveksler i varmesentral i tappevannsløsningen	36
Figur 25: Fotografi av vekslerskap i drift.....	39
Figur 26: Prinsippskisse for måling av vannmengder i tappevannsløsningen.....	41
Figur 27: Prinsippskisse for to-trinnsveksling med returrør fra fjernvarme.....	45
Figur 28:Prinsippskisse av varmeløsningen [45]	46
Figur 29: Kostnader mer m ² for alternative scenarioer av vannbåren varme, [20]	48
Figur 30: Prinsippskisse av sekundærnettet til eksempelbygg	50
Figur 31: Variasjon i spesifikk varmekapasitet for vann.....	53
Figur 32: Variasjon i vannets tetthet	53
Figur 33: Plantegning av leiligheter i eksempelbygg med sjakter og tappepunkter.....	55
Figur 34: Fotografi bygg 1 (Kasernehagen) [47]	60
Figur 35: Fotografi av bygg 2 (Q42) [48]	61

Figur 36: Fotografi bygg 5 (Kuholmsveien) [50].....	62
Figur 37: Prinsippskisse av sekundærnett i eksempelbygget med tappevannsløsningen	66
Figur 38: Prinsippskisse av sekundærnett i eksempelbygget med tradisjonell løsning	67
Figur 39: Varmetap i rørstrekk for tappevannsløsningen og tradisjonell løsning	70
Figur 40: Tur og returtemperatur i primærnett for bygg 2 (Q42) en sommeruke og en vinteruke....	77
Figur 41: Vannmengder i bygg 2 (Q42) for en sommeruke og en vinteruke	77
Figur 42: Effektbehov i bygg 2 (Q42) for en sommeruke og en vinteruke	78
Figur 43: Effekuttak bygg 2 (Q42) et døgn	79
Figur 44: Vannmengde fordelt på leilighetsstørrelse, 13.februar 2017 med timesoppløsning.....	80
Figur 45: Sammenheng mellom effekt og leilighetsstørrelse etter varmebehov, 13.februar 2017.....	80
Figur 46: Tur og returtemperatur for bygg 2 (Q42) gjennom et helt år.....	81
Figur 47: Tur og returtemperatur i bygg 2 (Q42) – vinter.....	82
Figur 48: Tur og returtemperatur i bygg 2 (Q42) - sommer.....	82
Figur 49: Tur og returtemperatur bygg 3 (nybygg), 1.jan - 25.mai 2018	83
Figur 50: Tur og returtemperatur bygg 1 (Kasernehagen) og bygg 6 (Kasernen), mars 2017	84
Figur 51: Svingning i temperatur 8.mars 2017, bygg 1 (Kasernehagen) og bygg 6 (Kasernen).....	85
Figur 52: Svingning i vannmengde 8.februar 2017, bygg 1 (Kasernehagen) og bygg 6 (Kasernen)...	85
Figur 53 Svingninger i temperatur i bygg 5 (Kuholmsveien) 15.mars - 15.april 2018,	86
Figur 54: Svingninger i temperaturen i bygg 4 (Sintef), 15.mars - 15.april.....	87
Figur 55: Svingninger i bygg 1 (Kasernehagen) 15.mars - 15.april 2018	87
Figur 56: Utvikling av salg av vekslerskap fra LK-systems [24].....	89
Figur 57: Kostnadsutvikling for tappevannsløsningen sammenlignet med tradisjonell løsning	90

Tabeller

Tabell 1: Anbefalte isolasjonstykkelser i Varmenormen	25
Tabell 2: Mulig besparelse i vannmengde på fjernvarmenettet ved bedre ΔT	44
Tabell 3: Beregnet varmebehov i eksempelblokk	51
Tabell 4: Beregnet normalvannmengde i eksempelblokk	51
Tabell 5: Prosjekteringstabell sannsynlig samtidig tappevannsmengde [48]	52
Tabell 6; Oppsummering av nødvendige komponenter i sekundærnettet	58
Tabell 7: Kostnader per komponent for ulike rørdimensjoner	59
Tabell 8: Rørdimensjoner og vannmengde for tappevannsløsningen	64
Tabell 9: Rørdimensjoner og vannmengde for tradisjonell løsning	65
Tabell 10: Rørlengder i eksempelbygget for tappevannsløsningen.....	67
Tabell 11: Rørlengder i eksempelbygget for tradisjonell løsning	68
Tabell 12: Oversikt over varmetap for rørstrekene i tappevannsløsning og tradisjonell løsning	68
Tabell 13: Varmetap i sekundærnettet for tappevannsløsningen.....	69
Tabell 14: Varmetap i sekundærnettet med den tradisjonelle løsningen.....	69
Tabell 15: Oppsummering av trykktap for tappevannsløsningen.....	70
Tabell 16: Oppsummering av trykktap i varmekretsen med tradisjonell løsning.....	71
Tabell 17: Oppsummering av trykktap i tappevannskretsen for tradisjonell løsning	72
Tabell 18: Sammenligning av trykktap i rørrnettet for tradisjonell løsning og tappevannsløsningen	72
Tabell 19: Kostnader for komponenter til sekundærnett for tappevannsløsningen	73
Tabell 20: Kostnader for komponenter til sekundærnettet for tradisjonell løsning	73
Tabell 21: Værdata for Kristiansand februar 2018 og juli 2017.....	76
Tabell 22: Temperatur i Kristiansand 13.februar 2017	79
Tabell 23: Oppsummering av resultater for eksempelbygg.....	92
Tabell 24: Investeringskostnader for eksempelbygg	94

Forkortelser og definisjoner

ΔT	Temperaturdifferanse (delta-T). Temperaturforskjell mellom 2 punkter (K eller °C)
AEV	Agder Energi Varme AS
Bygningsreglementet	Dansk offentlig byggereglement (tilsvarer norsk TEK - Byggteknisk forskrift)
Byvann	Vann fra offentlig vannforsyning
Bløder/bypass	Rør som leder vann forbi forbruksstedet og tilbake til varmesentralen, ofte for å sikre en minimums sirkulerende vannmengde.
Dimensjonerende varmebehov	Varmebehovet ved dimensjonerende utetemperatur
Direktevirkende elektrisk oppvarming	Elektrisk oppvarmingsløsning med panelovner og/eller varmekabler individuelt i hver leilighet
EBLE	EBLE (E valuering av B oliger med L avt E nergibehov) norsk forskningsprogram 2012-2016.
Elektrisitetsforbruk	Bygningens forbruk av elektrisitet
Energiforbruk:	Bygningens totale energiforbruk
ENOVA	Norsk Statsforetak (SF) som ble opprettet i 2001 for å skape varige endringer i tilbud og etterspørsel etter effektive og fornybare energi- og klimaløsninger.
EØS	"Det europeiske økonomiske samarbeidsområde". Tilknytningsform til EU som Norge er en del av.

Fordelerskap	Skap for fordeling av varmt og kaldt vann rør-i-rør eller skap til å fordele varme til varmekretsen
Hovedledning	Rør tilhørende sekundærnettet
Lavenergihus	Fellesbetegnelse for hus som er bygd med vesentlig lavere energibehov enn kravene i Teknisk Forskrift. (oppvarmingsbehov < 30 kWh/(m ² /år) NS 3700:12)
Leilighetsbygg	Bolighus i flere etasjer med flere leiligheter (typisk mer enn 4). "Boligblokk".
LK-systems	LK Systems AS (AB) er produsent av utstyr for vannbårne varmesystemer som har vært industriell partner for utviklingen av tappevannsløsningen sammen med Agder Energi Varme.
Lukket system	Røranlegg hvor samme vann sirkulerer hele tiden.
Manometer	Trykkmåler
Mapress	Mye brukt skjøtemetode for rør med egne spesielle rørdeler/skjøtestykker som klemmes tett rundt røret med stor kraft (opprinnelig svensk patent)
Oppholdstank	Tank for å sikre oppholdstid for å ufarliggjøre legionellabakterier. Ofte velges varmtvannsberedere med el-kolbe for ekstra sikkerhet og back-up
Primærnett	Rørnettet som fører varme fra fjern-/nærvarme anlegg fram til og inn i byggets tekniske rom.
Returledning	Rør som fører vann tilbake fra forbruksstedet

Rør-i-rør	Vannrør med et ytre trekkerør som leder vann fra eventuell lekkasje til sted der det kan oppdages og ikke medfører fuktskade.
Rørstrekk	Komplett røranlegg fra et punkt til et annet.
Sekundærnett	Felles røranlegg fra teknisk rom til tilkoblingspunktet for hver leilighet.
Sirkulasjonsledning	Rør som fører en liten vannmengde fra turledningen for tappevann i bypass tilbake til varmesentralen for å kompensere varmetap og opprettholde kravet til rask tilgang på varmt tappevann i alle tappepunkt.
Stikkledning	Rør fra hovedledning som betjener en leilighet.
Tappevannskrets	Røranlegg for varmt tappevann.
Tappevannsløsning:	Systemløsning hvor tappevannskretsen også brukes som varmekrets
T_{DUT}	Dimensjonerende utetemperatur ($^{\circ}\text{C}$)
TEK / TEK 17	Byggteknisk Forskrift (FOR-2017-06-19-840 Kommunal- og moderniseringsdepartementet FOR-2017-06-19-840; Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift) TEK 17
Teknisk rom	Eget rom i bygg til tekniske installasjoner og varmesentral
Temperaturdifferanse, ΔT	Temperaturforskjell mellom 2 punkter (K eller $^{\circ}\text{C}$)

Temperaturutnyttelse	I hvilken grad løsningen tar ut energi ved temperatursenkning i forhold til mengde
Tradisjonell løsning	Systemløsning med separat varmekrets og tappevannskrets
T-rør	T-formet rørdel for avgrensning av vann
Turledning	Rør som fører vann til forbruksstedet
Tertiærnett	Røranlegg for oppvarming av hver leilighet etter tilkoblingspunktet til sekundærnettet.
Vannbåren varme	Oppvarmingssystem basert på sirkulasjon av varmt vann (tidligere sentralvarme, sentralfyr)
Varmebehov	Byggets varmebehov til oppvarming inkludert varmt tappevann
Varmekrets	Røranlegg for romoppvarmingsformål
Varmeløsning:	Systemløsning hvor varmekretsen også brukes som tappevannskrets.
Varmesentral	Den tekniske installasjonen for oppvarming i en bygning, for eksempel varmeveksler for fjernvarme eller varmpumpeanlegg
Varmetap	Varme som ikke blir nyttiggjort på grunn av utilsiktet varmeavgivelse (varmelekkasje)
Vekslerskap	Her spesielt for tappevannsløsningen; Skap som installeres i tilknytning til hver leilighet som inneholder varmeveksler for gulvvarme, gulvvarme fordelingsstokk,

reguleringsutstyr, rør-i-rør fordelere for varmtvann og kaldt vann, passtykker for mengdemålere.

Åpent system

Røranlegg tilkoplek byvann

1 Introduksjon

1.1 Bakgrunn og motivasjon

Samfunnet stiller høye krav til bygningsstandarden i Norge. Norske bygg skal ha høy bo-komfort, de skal være miljøvennlige og energieffektive.

Myndighetene legger føringer på at bygninger skal være energifleksible. Et energifleksibelt bygg innebærer at bygget ikke er avhengig av en energikilde, men at det med enkle grep kan benyttes andre energikilder til oppvarmingsformål. Likevel har 60 % av den norske bygningsmassen direktevirkende elektrisk oppvarming [1]. Kravene til energifleksibilitet burde tilrettelegge for økt bruk av vannbåren varme. Byggenæringen stritter imot fordi de mener installasjon av vannbåren varme er uforholdsmessig dyr og komplisert, de mener også at de tradisjonelle vannbårne anleggene er overdimensjonerte og umoderne.

Som fjernvarmeleverandør i Kristiansand hadde Agder Energi Varme pågang av misfornøyde kunder som klaget på oppvarmingsløsningen i boligen sin. Flertallet av klagen kom fra beboere i leilighetsbygg. På bakgrunn av denne klagestrømmen starter Agder Energi Varme i 2013 pilotprosjektet «Vannbåren varme til lavenergibygg: introduksjon av ny teknologi». Ønske var å drive frem nye og bedre løsninger for bruk av vannbåren varme som var optimalisert og tilpasset dagens krav. Løsningen skulle være robust og driftssikker slik at det var liten risiko ved å investere i vannbåren oppvarming.

En viktig motivasjonsfaktor var å gjøre vannbårne løsninger i leilighetsbygg mer attraktiv for utbyggere og entreprenører. I tillegg hadde Agder Energi Varme et ønske om å bli mer kunderettet og ivareta en god relasjon til beboerne i Kristiansand. Enova ga økonomisk støtte til prosjektet.

Pilotprosjektet til Agder Energi Varme har vurdert flere løsninger for vannbårne varme. Tappevannsløsningen som presenteres i denne oppgaven er den det ble satset videre på. Strategien for pilotprosjektet har i stor grad vært å prøve nye løsninger i praksis.

Tappevannsløsningen tar utgangspunkt i at det alltid er behov for varmt tappevann i leilighetsbygg. Energien i det varme tappevannet benyttes til å varme leilighetene. En sentral komponent er et spesialdesignet vekslerskap i hver leilighet. Vekslerskapet veksler varmt

tappevann mot den interne varmekretsen i hver leilighet. På denne måten kan den separate rørkretsen for oppvarming fjernes.

1.2 Mål

Målet med oppgaven er å undersøke hvordan den nye tappevannsløsningen fungerer i nye leilighetsbygg. Det skal vurderes om løsningen gir reduksjon i drifts- og investeringskostnader og om løsningen er driftssikker og enkel å drifte. Det skal også dokumenteres om tappevannsløsningen vil føre til redusert plass- og energibruk.

For å besvare målsetningen er det satt opp delmål som listet opp under.

- Litteraturstudie som beskriver energibruk i norske leilighetsbygg, gjeldende regelverk og tradisjonelt vannbårent oppvarmingssystem
- Teknisk beskrivelse av tappevannsløsningen inkludert fysiske og tekniske egenskaper ved løsningen
- Prosjektering av et eksempelbygg for å sammenligne viktige parametere som rørnnett, vannmengder, pumpearbeid, varmetap og investeringskostnader med tappevannsløsningen og tradisjonell oppvarmingsløsning
- Sammenligne og analysere måldata fra bygg i drift med tappevannsløsningen og med tradisjonell løsning

1.3 Struktur

Oppgaven er delt inn i seks kapitler. I kapittel 1 gis en introduksjon til oppgaven og innsikt i hvorfor løsningen er relevant og hvilke begrensninger som er gjort under kartleggingen av tappevannsløsningen. I kapittel 2 er litteraturstudie som gir en introduksjon av hvilke faktorer og trender som er sentrale for valg av oppvarmingsløsning i leilighetsbygg.

I kapittel 3 presenteres den tekniske oppbygningen av tappevannsløsningen. I dette kapitlet gis en innføring i sentrale valg ved prosjektering, drift, vedlikehold og kostander for bruk av tappevannsløsningen. I Kapittel 4 blir metodikken for modellering og analyse lagt frem. Kapittel 5 er resultatkapitlet, her presenteres resultatene fra sammenligningen mellom tradisjonell løsning og tappevannsløsningen og måldata fra bygg i drift. Kapittel 6 er en felles diskusjons- og konklusjonsdel.

1.4 Begrensninger

I arbeidet med tappevannsløsningen og pilotprosjektet er det satt noen begrensninger. Oppgaven har vurdert utbedring og innovasjon i sekundærnett i leilighetsbygg. Tappevannsløsningen er energifleksibel og det kan benyttes flere varmeavgivere. I denne oppgaven er det satt en begrensning ved at det er valgt å undersøke bygg tilknyttet fjernvarme og vannbåren gulvvarme. I utgangspunktet skulle det vurderes et bygg med CO₂-varmepumpe, men dette bygget er forsinket og ikke satt i full drift enda. Det er i stedet gjort sammenligning med en annen innovativ løsning for vannbåren varme, kalt varmeløsningen.

Tappevannsløsningen er fremdeles ny og under utvikling det har derfor ikke vært mye litteratur og forskning å vise til. Mye av litteraturen er av den grunn hentet fra muntlig kilder som har erfaring med løsningen. Deler av oppgaven har derfor en mer praktisk tilnærming.

Det har vært krevende å gjøre en god kostnadsvurdering. Dette fordi det er lite tilgjengelig litteratur å vise til fra utførte prosjekter og det foretas sjelden etterkalkyler. Rørbransjen forholder seg til akkordtariffer hvor det brukes sjablongverdier for lagt lengde rør. Denne sjablongverdien tar ikke hensyn til hvilken systemløsning som er valgt. Dette virker hemmende for innovasjon og gjør det vanskelig å få vist reelle besparelser. Kostnadssammenligningen mellom tradisjonell løsning og tappevannsløsningen er derfor basert på innkjøpskostnader av rør og deler.

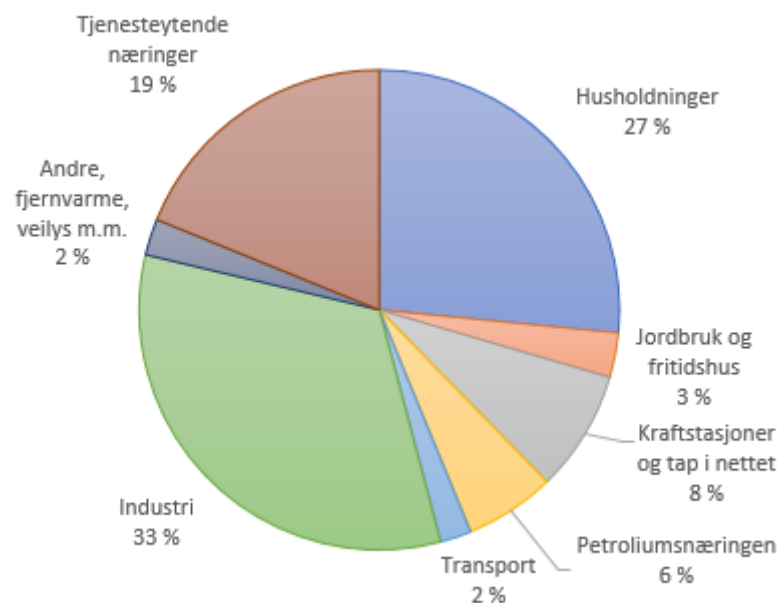
Måledata som har vært tilgjengelig er fra primærsiden av fjernvarmeveksleren i varmesentralen i hvert bygg. Bakgrunnen for dette er at de er hentet fra Agder Energi Varme sine energimålere for fakturering av samlet energiforbruk i bygget. Turtemperatur som er levert ut på bygget er derfor en annen enn turtemperaturen som er vist i målingen. Temperaturdifferansen på primærsiden i varmesentralen vil likevel gi en god indikasjon på temperaturforløpet i bygget. For en mer direkte analyse av anleggene må det installeres måleinstrumenter på sekundærsiden.

2 Litteraturstudie

Verdens klimautfordringer gjør at myndighetene legger føringer for energibruk og energieffektivitet i bygg. Litteraturstudie gir en introduksjon av hvilke faktorer og trender som er sentrale for valg av oppvarmingsløsning i leilighetsbygg.

2.1 Elektrisitetsforbruk i Norge

Som følge av befolkningsvekst, urbanisering, elektrifisering av transportsektoren og økning av energikrevende industri er det totale elektrisitetsforbruket i Norge forventet å øke fra 132,9 TWh [2] i 2017 til 143,2 TWh i 2030 [3]. En konsekvens av et økende elektrisitetsbehov er at det nåværende norske kraftnettet ikke lenger har kapasitet til å levere elektrisitet når effektbehovet er høyt. Det er ventet at husholdningene vil stå for 27 % av fastlands-Norges totale elektrisitetsforbruket i 2030 slik som vist i Figur 1.

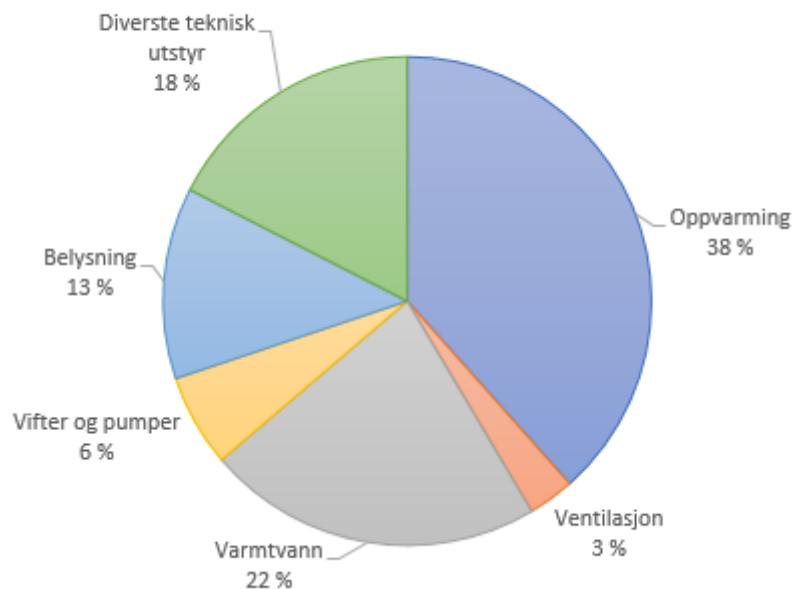


Figur 1: Forventet elektrisitetsforbruk i Norge i 2030 fordelt per bruksområde

Som et virkemiddel for å redusere effekttoppene i det norske kraftnettet ønsker myndighetene å redusere elektrisitetsforbruket i husholdningene. I Norge er vi bortskjemt med rikelig tilgang på miljøvennlig, fornybar og billig vannkraft. Det har ført til høyt elektrisitetsforbruk hos

befolkningen med lite fokus på sparing. Elektisitetsforbruket per innebygger i Norge er ti ganger høyere enn gjennomsnittet i verden og det er ingen andre land i Europa som bruker så mye elektrisitet per person som Norge [4]. Husholdningene i Norge bruker 42 % mer elektrisitet enn husholdningene i Sverige og 75 % mer elektrisitet enn i Danmark [4]. Som følge av at Norden nå har et felles kraftmarked, er det ikke lenger en selvfølge at Norge kun har fornybar strømforsyning. Det vurderes å øke avgiftene på strøm som et virkemiddel for å redusere strømforbruket i husholdningene [5].

Prognosene fra NVE er at energiforbruket i den norske husholdningssektoren vil fordele seg som vist i Figur 2 frem mot 2030. I den etablerte bygningsmassen i Norge vil oppvarming og varmtvann stå for 60% av bygningenes totale energiforbruk etter prognosene fra NVE.



Figur 2: Forventet fordeling av energiforbruk i husholdningssektoren i 2030

I nyere bygg med høy byggstandard står oppvarming av tappevann for over 50 % av byggets samlede oppvarmingsbehov [6].

I Norge benytter 60-63 % av alle husholdninger direktevirkende elektrisitet til oppvarming [1]. Det gjør at det norske kraftnettet er ekstra belastet på kalde dager når varmebehovet er høyt.

Norske myndigheter har som målsetning at elektrisitet til oppvarming skal reduseres og at oppvarming av bygg skal skje med andre energiformer enn direktevirkende elektrisitet.

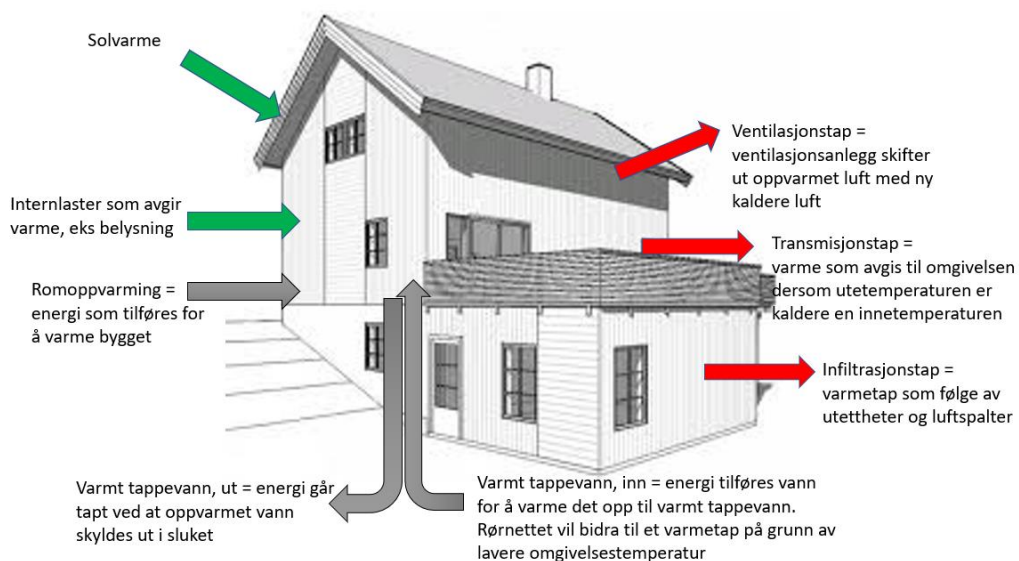
Som alternativ til direktevirkende elektrisitet for oppvarmingsformål er spesielt vannbåren varme utbredt. Fordelen med vannbåren varme er at det kan tilknyttes flere energikilder som gjør de energifleksible. Muligheten til å benytte nyeste teknologi og billigste energikilde gjør bygget godt rustet uansett fremtidige endringer i miljøpolitikk, klimatiltak og energipriser. Det etterspørres derfor kostnads- og energieffektive løsninger for vannbåren varme, slik at andre energikilder kan dekke en større andel av energiforsyningen i leilighetsbygg og på den måten redusere effektstoppene i kraftnettet.

I Norge satses det på fjernvarmeutbygging og 92% av alle byer med mer enn 10 000 innbyggere har etablert fjernvarmenett. Likevel dekker fjernvarme under 10 % av varmebehovet i husholdningssektoren [7]. Måledata som er tilgjengelige for oppgaven er fra bygg i Kristiansand som er tilknyttet fjernvarme.

2.2 Varmebehov i boliger

Byggets energi- og varmebehov beskriver hvor mye energi som går med til oppvarming av bygget over et gitt tidsrom. Energi er produktet av effekt og tid med benevnningen kWh [1].

Målsetningen for et godt oppvarmingssystem er å effektivt frakte termisk energi fra et sted til et annet med minst mulig tap. For å opprettholde jevn innetemperatur må varmemengden som tilføres huset tilsvare den varmemengden som slippes ut gjennom transmisjon, ventilasjon og utettheter i fasaden. I Figur 3 vises en skisse av energibalansen i en bygning [8]

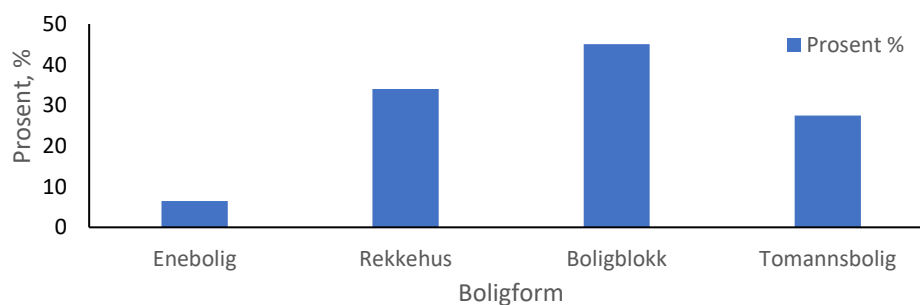


Figur 3: Prinsippkisse av energibalanse i bygninger

Et velfungerende og godt dimensjonert oppvarmingsanlegget skal dekke varmetapet fra transmisjon, ventilasjon og infiltrasjon, mens varmetilførselen fra belysning, intern laster, personer og innstrålt solvarme skal trekkes fra. Oppvarmingsanlegget skal gi en jevn temperaturfordeling i leiligheten. Med bedre bygningskropper og strengere krav til energibruk vil varmebehovet reduseres [1].

Kravet til et oppvarmingsanlegg er at det skal tilføre bygningen tilstrekkelig energi til romoppvarming, ventilasjonsluft og varmt tappevann på de kaldeste dagene i året. Når bygningens effektbehov skal beregnes benyttes stedets dimensjonerende utetemperatur (T_{DUT}). T_{DUT} baseres på de tre sammenhengende kaldeste døgnmiddeltemperaturene i en «meteorologisk» 30 års periode [1]. Leilighetsbygg med høy bygningsstandard har normalt et effektbehov til romoppvarming på 35-40 W/m² i eksisterende bygg og 20 W/m² i nyere bygg [9]. Effektbehovet vil variere avhengig av beliggenhet og beboernes ønskede innetemperatur.

Antall husholdninger øker i takt med befolkningsveksten. Leilighetsbygg er den boformen som øker raskest og det stilles av den grunn ekstra strenge krav til byggteknisk standard. Urbanisering og tilflytning til byene gjør at etterspørselen etter leiligheter øker. Figur 4 viser den prosentvise økningen av boligtyper fra 2002 til 2015 [10]. Leilighetsbygg har størst økning. En fordel med slike bygg er at de har et lavere varmebehov per bruksareal på grunn av mindre overflateareal mot omgivelsene [11].



Figur 4: Prosentvis økning i boligtyper i Norge i perioden 2002 – 2015

De fleste nye leilighetsbygg har felles tekniske løsninger for romoppvarming, ventilasjon og tappevann. Det gjør at de tekniske installasjonene overlates til driftspersonell som kan overvåke og vedlikeholde installasjonene gjennom året. Ved å ha driftspersonell til å ivareta det tekniske

anlegget stilles det lite krav til kompetanse blant beboere. Dagens teknologi gir mulighet for å regulere temperaturen i hver leilighet automatisk eller med beboernes smarttelefon.

2.3 Norske og internasjonale klimamål og energipolitikk

I 2015 ble det signert en klimaavtale som alle land i verden er bundet til. Avtalen har fått navn Parisavtalen og trådte i kraft 4. november 2016 [12]. Avtalen er den første rettslige bindende og reelt forpliktende klimaavtalen mellom verdens ledere. Formålet med Parisavtalen er å styrke det globale samarbeidet mot verdens klimautfordringer. I tillegg til Parisavtalen har Norge forpliktet seg gjennom EØS-avtalen til å drive en streng og effektiv energipolitikk [13]. I avtalen har Norge forpliktet seg til tre klima- og energimål innen 2020.

1. 20 % reduksjon i klimagassutslipp fra 1990-2020
2. 20 % av sluttforbruket av energi skal være fornybar
3. 20 % reduksjon i energiforbruk fra 1990 – 2020

For å nå målsetningen må medlemslandene i EØS etablere en langsiktig strategi for rehabilitering og drift av bygg. Strategien skal fornyes hvert tredje år. Et av de viktigste målene er å avvikle bruk av fossilt brensel som kull, gass og olje. Det skal satses på miljøvennlige energikilder som solceller, fjernvarme, biobrenselanlegg og varmepumper. Det skal også skje en oppgradering av bygningsmassen.

I de fleste EU-landene fokuseres det i stor grad på forbedring av bygningskroppen med isolerende og energieffektive tiltak slik som isolering av yttervegg, bedre behovsstyring og solskjerming. Etter flere år med strenge byggekrav holder den norske bygningsmassen høy standard i forhold til EU-landene. Det gjør at en i Norge må spare energi på andre måter. I Norge fokuseres det på høy effektivitet på tekniske installasjoner, intelligente/smarte løsninger, automatisering og lignende.

2.4 Norsk regelverk

Direktoratet for Byggkvalitet har ansvaret for regelverket som skal oppfylle de politiske målsetningene for energibruk i bygg. Regelverket har hjemmel i Plan og bygningsloven og er spesifisert i Byggeteknisk forskrift, vanlig forkortet til TEK [14]. Byggeteknisk forskrift angir minimumskravene som byggverk i Norge skal ha for å kunne oppføres lovlig. I denne oppgaven er det kravene i TEK 17 kapittel 14, som omhandler energibruk i bygninger, og kapittel 15, som omhandler installasjoner og anlegg, som er sentrale.

I kapittel 14 stilles det krav til energibruk og energiforsyning til bygninger. Det er ikke tillatt å installere varmeinstallasjon med fossilt brensel. Og bygningene skal prosjekteres og utføres slik at det tilrettelegges for et forsvarlig energibruk.

I bygg over 1000 m² skal minimum 60 % av normert netto varmebehov være energifleksibelt. Netto varmebehov omfatter oppvarming til rom, ventilasjonsluft og varmtvann. I forskningsprosjektet EBLE utgitt av Sintef Byggforsk [15] blir begrepet energifleksibilitet definert:

Med «energifleksible varmesystemer» menes at utskifting mellom energikilder kan skje uten inngrep i bygningskroppen, og utelukkende innen teknisk rom (uten at det gjennomføres vesentlig ombygging). Det vil i praksis bety at det må benyttes et internt varmedistribusjonsnett (vann eller luftbårent), som forsynes med varme fra en varmesentral i bygget, eventuelt fjernvarme/nærvarme»

Dersom en skal kunne bytte energikilde uten inngrep i bygningskroppen vil ikke et direktevirkede elektrisk oppvarmingssystem overholde kravet til energifleksibilitet. I store bygg er en derfor nødt til å investere i energifleksibel oppvarming for enten tappevann eller romoppvarming eller begge.

I kapittel 14 stilles det også krav til at bygninger over 1000 m² skal tilrettelegges for bruk av lavtemperatur varmeløsninger. Det innebærer at turtemperaturen i varmesystemet ikke skal overstige 60 °C ved T_{DUT} [14].

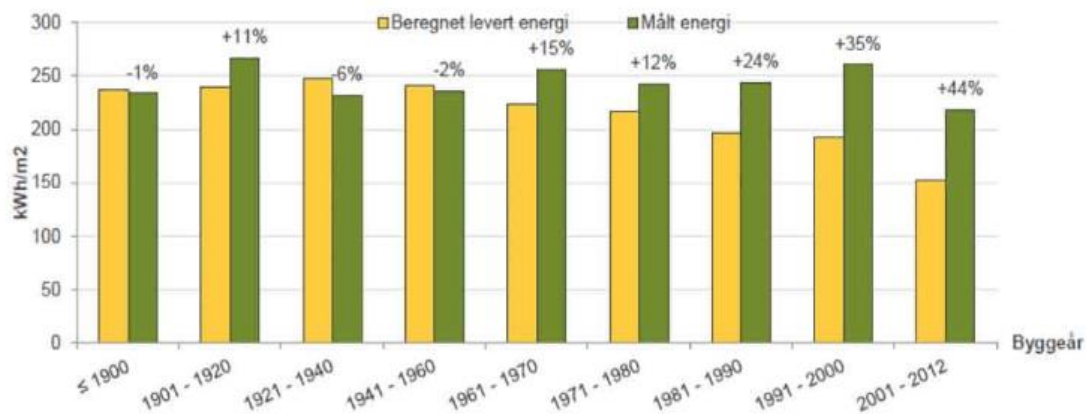
Kapittel 15 stiller krav til installasjoner og anlegg og spesielt kapittel 15-5 «krav til innvendig vanninstallasjon» er relevant i denne oppgaven. Installasjoner skal prosjekteres og utføres slik at god helse ivaretas. Spesielt bakterievekst skal forbygges. I veiledningen til kapittel 15-5b står det «Vekst og spredning av legionellabakterien kan forhindres ved at «Varmtvann i sirkulerende systemer holder minimum 65 °C». Også Folkehelseinstituttet har kommet med

egne veileder for vanninstallasjoner. De stiller krav til at varmtvann i sirkulerende systemer må holde minimum 65°C [16].

Erfaringer gjort med ny forskrift

Strengere krav til energifleksibilitet og bygningsstandard har skapt utilsiktede effekter. Flere forskningsartikler viser at avviket mellom prosjektert og målt energiforbruk har økt etter som det kommer nye og strengere byggestandard.

Det rådgivende ingeniørfirmaet Erichsen & Horgen har undersøkt hvordan utviklingen på avviket mellom beregnet levert energi og målt energiforbruk har endret seg med innføring av nye byggstandarder. Figur 5 viser at avviket mellom beregnet og målt energiforbruk har økt [17].



Figur 5: Økende avvik mellom målt og prosjektert totalt energibehov.

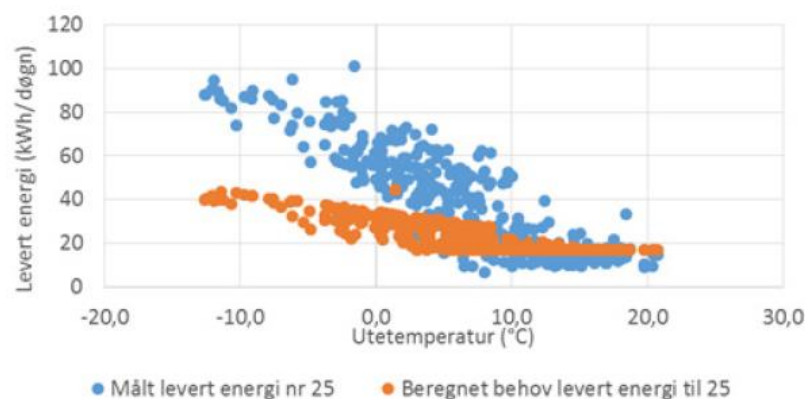
Å bruke teoretisk beregnet energibruk kan føre til at varmeløsningen underdimensjoneres. Dette kan igjen kan føre til at det blir nødvendig med elektrisk oppvarming [17]. Det er mest sannsynlig at elektrisk oppvarming vil bli valgt som tilleggsvarme fordi det er lett å etterinstallere.

I forskningsprosjektet EBLE [15] ble det gjort lignende observasjoner ved å undersøke avviket mellom prosjektert og målt energiforbruk i lavenergiboliger.

Et av funnene er at målt energi er 23 % høyere enn beregnet behov for passivhus og 4 % høyere for TEK10-boliger. I Figur 7 vises en kurve mellom målt levert energi og beregnet energibehov gitt av utetemperaturen. Det går frem at avviket er betinget av utetemperaturen. Det er størst avvik ved lave utetemperaturer. Ved høye utetemperaturer er avviket mindre. Det går frem at oppvarmingsbehovet underestimeres og at det er et betydelig varmebehov i lavenergiboliger.



Figur 6: EBLE rapport



Figur 7: Avvik mellom målt og beregnet energiforbruk for lavenergibolig i EBLE-prosjektet

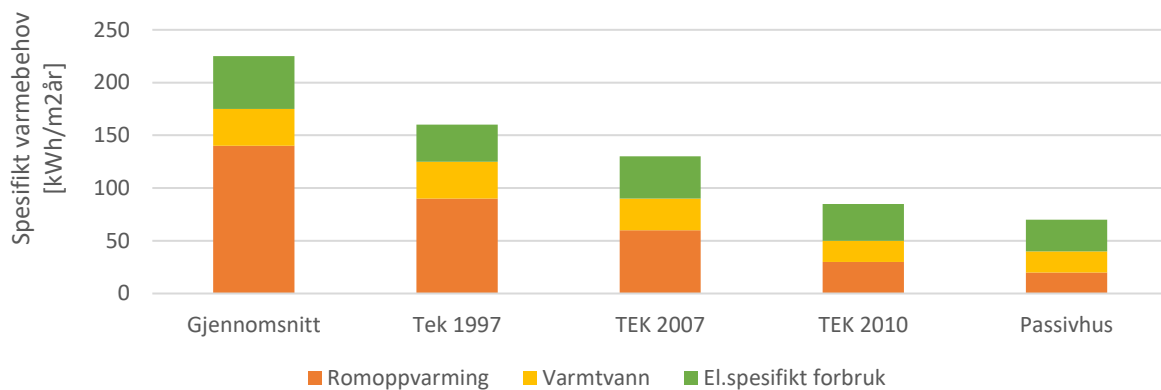
EBLE-prosjektet [15] konkluderer også med at beboere ikke ønsker å ofre komfort for å spare energi. I oppholdsrom ønskes en høyere innetemperatur enn det som legges til grunn når varmeanlegget prosjekteres. Beboerne opplyste i intervjuer at de ønsket en innetemperatur mellom 22-24 °C. Det vil påvirke varmebehovet i stor grad [15].

TEK17 tar ikke hensyn til ulike innetemperaturer internt i boligen. Det rådgivende ingeniørfirmaet Multiconsult ga i 2018 ut rapporten «Energibruk på badrom i nye leiligheter» [18]. Rapporten gjorde en kartlegging av hvordan energiforbruket vil være dersom en tar hensyn til beboernes temperaturønsker. Antagelsen er at beboere ønsker en badromstemperatur opp mot 26 °C. Etter å ha utført simulering med ulike temperaturer og ventilasjonsluftmengder gikk

det frem at andelen som går til baderomsoppvarming er mellom 10-20% av leilighetens totale varmebehov. Dersom en skal bruke normalisert beregning vil baderommet ha et varmebehov på bare 2%. Dette viser at det reelle varmebehovet kan være betydelig høyere enn det varmeanlegget er prosjektert for.

Dekningsgrad:

Figur 8 viser energibehovet i husholdningene sortert etter byggestandard [6]. Det totale oppvarmingsbehovet i husholdningene er på vei ned. Romoppvarmingsbehovet reduseres kraftig, mens tappevannsbehovet har hatt en jevnere utvikling. Nyere studier viser at oppvarming av tappevann vil stå for over halvparten av oppvarmingsbehovet i leilighetsbygg [18].



Figur 8 Energibehov i husholdningene sortert etter byggestandard

Energifleksibilitetkravet har ført til diskusjon rundt dekningsgraden for oppvarming av bygg. Noen mener at 60 %-kravet oppfylles hvis en benytter energifleksibel løsning for oppvarming av tappevann og at det kan være direktevirkende elektrisk løsning for romoppvarming og ventilasjonsanlegg. Andre mener at en er nødt til å inkludere en delvis energifleksibel løsning for romoppvarming eller ventilasjonsanlegget for å oppfylle kravet. Varmebransjen har ytret ønske om å skjerpe energifleksibilitetskravet fordi TEK17 vil åpne for økning av direktevirkende elektrisk oppvarming.

På oppdrag fra Kommunal- og moderniseringsdepartementet har Direktoratet for byggkvalitet sendt høringsforslag til endringer i TEK17 for å skjerpe kravet til energiforsyning. Høringsforslaget vurderes våren 2018. Forslaget er at kravet til energifleksibilitet skal heves fra 60 % til 80 % av normert netto varmebehov [19]

2.5 Utvikling og valg av oppvarmingsløsning i leilighetsbygg

I Europa er vannbåren oppvarming utbredt, spesielt radiatorer knyttet til oljekjeler eller fjernvarme. I Øst-Europa har flere fjernvarmesystemer grunnlasten basert på kull [1]. Dette ønsker EU å redusere som et ledd i klimapolitikken. EØS-avtalen innebærer at 20 % av EUs energiproduksjon skal komme fra fornybare energikilder innen 2020. En stor andel av dette skal oppnås gjennom å forbedre oppvarmingsløsningene i husholdningene.

Danmark er et foregangsland i å ta i bruk nye fornybare energikilder og for energieffektivisering av bygninger. 63 % av alle private bygg i Danmark er tilknyttet fjernvarmeanlegg [20]. Byggene benytter fjernvarme til romoppvarming og til tappevannsoppvarming. I Bygningsreglementet i Danmark står det at oppvarming skal baseres på vedvarende energi (fornybar energi) [21]. Boliger skal ha et maksimalt oppvarmingsbehov (rom, ventilasjon og varmtvann) på 30 kWh/m². Det er innført primærfaktor for de ulike energikildene, hvor elektrisk oppvarming har primærfaktor på 2,5, mens fjernvarme har 0,8. Varmebehovet skal multipliseres med primærfaktoren. Det gjør at et bygg med fjernvarme vil kunne bruke mer energi enn et bygg med elektrisk oppvarming og fremdeles tilfredsstillende kravet.

Sverige har som målsetning at alle nye bygg som oppføres i år 2021 og senere skal være nære-nullenergibygg. For å nå kravet gjøres det en rekke tiltak når det gjelder tekniske anlegg i bygg. [22]. I Sverige er det stor etterspørsel etter vannbåren varme og over 50 % av bygningsmassen er tilknyttet fjernvarmeanlegg [20]. Tidligere delte de bygg i elektrisk oppvarmede og «ikke-elektrisk oppvarmede» bygg, dette har de gått bort fra. De har heller opprettet en ny faktor kalt bygningens «primærenergitall». Hver energikilde har sitt primærtall basert på fornybarhet og virkningsgrad. Tallet brukes for å beregne byggets energiforbruk. Totalt forbruk må være innenfor rammekravet. Utover krav til primærenergitall stilles det krav til varmeisolering slik som i Norge. I Sverige har de også innført regelverk som begrenser maks installert el-effekt til oppvarming i bygg. Makseffekten innebærer maksimalt effektuttak for romoppvarming, tappevannsproduksjon og ventilasjonsanlegg [22]

I Norge har 60 % (ref. kap. 2.1) av bygningsmassen direktevirkende elektrisk oppvarming. I årene før 1975 valgte flere eneboliger og leilighetsbygg vannbåren oppvarming med sentrale olje-kjeler [23]. Med nye byggestandarder skal oljekjelene fases ut. I tidsperioden fra 1975 til 2000 valgte de fleste nye bygg elektrisk oppvarming. Fra 2000-tallet har myndighetene lagt til rette for økt bruk av vannbåren varme. Særlig kravet til energifleksibel oppvarming i bygg over 1000 m² har ført til at det i nye boligprosjekter velges vannbåren varme. I leilighetsbygg velges det i stor grad vannbåren gulvvarme som varmeavgiver, men også radiatorer og viftekonvektorer velges i noen prosjekter [24].

I tillegg til energifleksibilitet har vannbåren varme andre positive aspekter. Spesielt vannbåren gulvvarme bidrar til et bedre innemiljø. Vannbåren gulvvarme gir høy en lun og behagelig varme. At gulvoverflaten er noen grader varmere enn romtemperaturen gir optimal god varmekomfort. De siste årene har vannbåren gulvvarme fått et positivt omdømme som gir økt markedsverdi ved salg og utleie av bolig [1].

Fra et helseperspektiv anbefaler Astma og Allergiforbundet vannbåren gulvvarme fordi det gir et bedre inneklima. Med lav overflatetemperatur unngår en at støv blir brent og virvles opp i omgivelsene. Vannbåren gulvvarme gir ingen begrensninger når det gjelder møblering i motsetning til elektriske panelovner med høye overflatetemperaturen [25].

Valg av oppvarmingsløsning i leilighetsbygg

Byggeprosesser er komplekse med mange aktører med ulike preferanser. Tidligere var det liten interesse for hvordan bygget skulle varmes opp, særlig blant utbyggere. Utbyggere valgte ofte oppvarmingsløsninger som var billig og mest mulig usynlig og begrensende for andre kvaliteter ved bygget. De siste årene har dette endret seg og flere utbyggere bruker fornybare, energieffektive og moderne oppvarmingsløsninger aktivt i markedsføringen av byggene sine.

Større byggeprosjekter er ofte organisert som totalentrepriser hvor byggherre får laget et konkurransegrunnlag eksternt, oftest av et arkitektfirma. Om ikke byggherren allerede på dette tidspunktet stiller krav til energiløsningen, blir det ofte neglisjert i konkurranse med andre fag og byggetekniske utfordringer.

Totalentreprenørene har ofte med seg et fast team av underentreprenører. Dersom det ikke stilles spesifikke krav til oppvarmingsløsning blir ofte standardløsninger valgt. Det fordi disse

krever lite prosjektering og er løsninger som underentreprenørene er trygge på. Totalentrepriser kan derfor være et hinder for å få fram nye innovative løsninger for vannbåren varme.

For boligkjøpere i Norge er komfort det viktigste ved valg av oppvarmingsløsning. Dette går fram av flere studier, blant annet EBLE [15]. Den norske befolkningen tar seg råd til god komfort. De fleste moderne leiligheter som er bygget etter 2010 har derfor vannbåren gulvvarme. Beboere er også opptatt av at anlegget skal være enkelt å drifte og regulere, gjerne med selvregulerende automatikk.

Investeringskostnader

Investeringskostnaden for vannbårne varmesystemer er høyere enn kostnaden ved å installere elektrisk oppvarming [26]. Byggenæringen har vært skeptisk til om merkostnaden forsvarer fordelene ved å ha energifleksibilitet. Enkelte i byggenæringen mener at prisen på vannbårne anlegg er for høy. Delvis fordi kravet til energifleksibilitet gjør at vannbårne løsninger prises høyt. Andre mener at vannbårne anlegg over tid vil gi besparelse på grunn av lavere elektrisitetsforbruk og bruk av energieffektive oppvarmingskilder.

Det som påvirker investeringskostnaden for sekundærnettet til et vannbårent anlegg er:

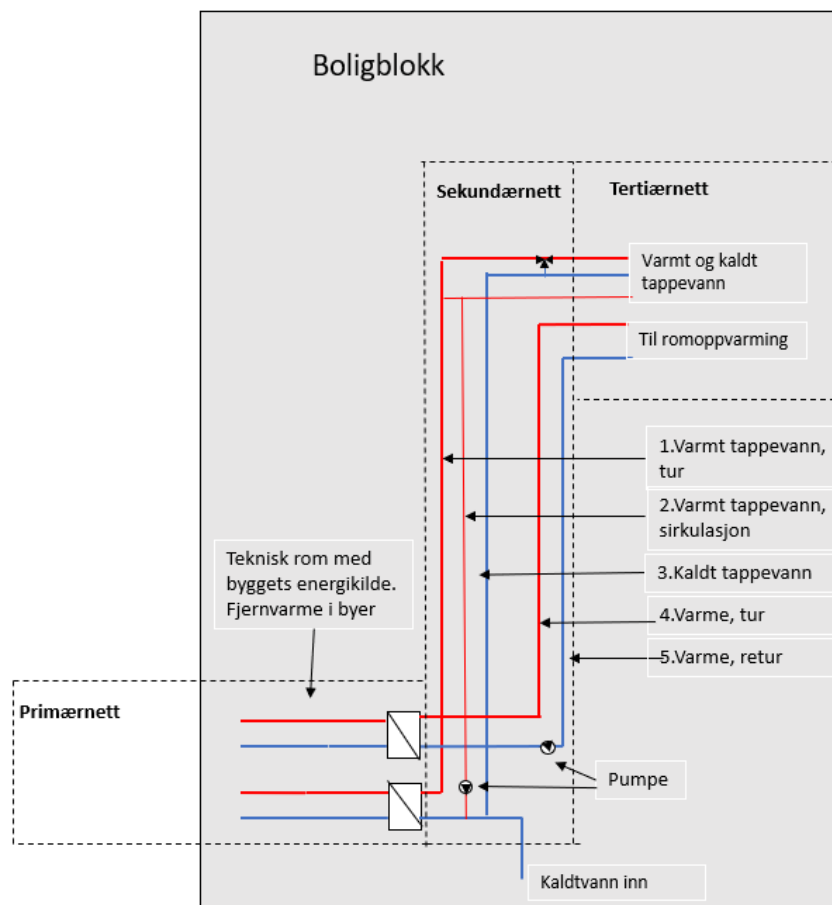
- 1) Prosjektering og rørarbeid
- 2) Innkjøp av komponenter, målere og automatikk
- 3) Optimal systemløsning

1. Den største investeringskostnaden for vannbårne anlegg er arbeidskraft [26]. Det tar tid å prosjektere og montere vannbårne anlegg. Arbeidskraft i Norge er dyrt. Dersom de vannbårne løsningene blir enklere og raskere å montere vil det gi kostnadsbesparelser.
2. Den andre faktoren som påvirker investeringskostnaden er innkjøp av komponenter, regulatorer og automatikk. Det er mange komponenter i et vannbårent anlegg sammenlignet med en elektrisk oppvarmingsløsning. Merkostnaden for oppdimensjonering av det elektriske anlegget er lav. Innkjøp av komponenter gjør vannbårne anlegg dyrere enn en elektrisk oppvarmingsløsning.

3. Den siste faktoren som påvirker investeringskostnaden er utformingen av sekundærnettet. Dimensjonen på det vannbårne anlegget bestemmes av ΔT som er temperaturdifferansen mellom tur og retur. En stor ΔT betyr at det er stor energiutnyttelse i forhold til vannmengden som sirkuleres. Med god varmeutnyttelse kan en redusere vannmengden og dermed rørdimensjonen i anlegget. Et vannbårent anlegg med stor ΔT vil ha reduserte driftskostnader i forhold til et anlegg med liten ΔT [27].

2.6 Tradisjonell vannbåren varme

I Norge har det vært vanlig med to separate røranlegg i sekundærnettet for oppvarming av bygg. Et til romoppvarming og et til varmt tappevann. En slik oppbygning gjør at det er nødvendig med fem distribusjonsrør mellom teknisk rom og leilighetene i sekundærnettet. Figur 9 viser oppbygningen av et tradisjonelt vannbårent anlegg med tre hovednett



Figur 9: Prinsippkisse av tradisjonelt anlegg med tre hovednett og 5 rør i sekundærnettet

Primærnettet

Nederst til venstre på Figur 9 er byggets varmesentral i teknisk rom. Her produserer den valgte energikilden varmt vann som skal distribueres i røranlegget for romoppvarming og varmt tappevann. For tappevannsoppvarming tar primærnettet inn kaldt byvann og varmer det opp til tappevannstemperatur. Vannet til romoppvarming sirkuleres gjentatte ganger i bygget i en lukket krets.

Tidligere ble det brukt olje- og el-kjeler som energikilder. I dagens anlegg brukes det mer miljøvennlige energikilder som bio-kjeler og CO₂-varmepumper eller bygget er tilknyttet fjern- eller nærvarmenett. Kravet til valg av energikilde er det skal kunne produsere varmtvann i hele effektområdet.

Tertiærnettet

Til høyre på Figur 9 vises tertiærnettet som frakter vann internt i hver leilighet. I hver leilighet er det to fordelerskap, det ene skapet fordeler kaldt og varmt tappevann i et rør-i-rør system til tappepunktene, mens det andre skapet fordeler romoppvarmingsvann til varmeavgiverne via en fordelerstokk. Regulerbarheten og funksjonen av tertiærnettet har utviklet seg mye. Mer effektive varmeavgivere med bedre automatikk og styring har gjort at innetemperaturen reguleres bedre.

Sekundærnettet

Sekundærnettet består av vanddistribusjonen mellom primær- og tertiærnettet. Det er spesielt sekundærnettet i vannbårne varmesystemer som har blitt ansett som umoderne og kostbare. De siste årene har det skjedd mye innovasjon for å forenkle og forbedre sekundærnettet i leilighetsbygg.

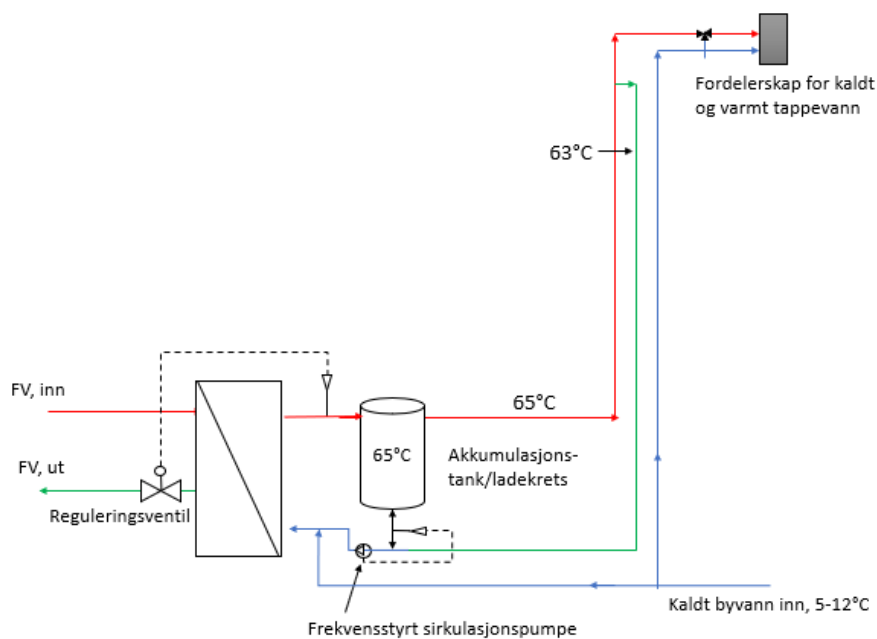
Figur 9 viser de 5-rørene som sekundærnettet vanligvis består av. Rørstrekk 1, 2 og 3 er tappevannskretsen, mens rørstrekk 4 og 5 er varmekretsen.

- 1) Varmt tappevann som fordeles til hver leilighet.
- 2) Varmt tappevann som sirkuleres. I store bygg er det nødvendig å sirkulere varmt tappevann for å sikre hurtig tilgang på varmt vann.
- 3) Kaldt tappevann som forsynes direkte til hver leilighet.

- 4) Varme, turvann til varmekretsen.
- 5) Varme, returvann fra varmekretsen tilbake til byggets varmesentral for ny oppvarming.

Flytskjema og krav til tappevannskrets

Tappevannskretsen frakter vann til tappepunkter (vannkraner, dusj etc.) i hver leilighet. Dimensjonering av tappevannsmengder bestemmes etter «Standard abonnementsvilkår for vann og avløp, Tekniske bestemmelser». Ved dimensjonering av tappevannsbehov må først vannmengden til alle tappestedene bestemmes og summeres, dette kalles normalvannmengde. Normalvannmengden til et dusjbatteri er for eksempel 0,2 l/s. Når alle tappestedene er summert benyttes en prosjekteringstabell til å finne maksimal sannsynlig samtidighet. Figur 10 viser flytskjema for tappevannskretsen.



Figur 10: Flytskjema av tappevannskretsen i tradisjonell løsning

For oppvarming av tappevann har det tidligere vært vanlig med en elektrisk varmtvannsbereder i hver leilighet. For å oppfylle kravet om 60 % energifleksibilitet i TEK er det vanligvis nødvendig med sentral oppvarming av tappevann i teknisk rom. Tappevannet er et åpent system hvor byvannstrykket er tilstrekkelig til å frakte tappevannet opp i hver leilighet uten pumpe på turledningen. Normalt byvannstrykk er på 5-8 bar [28]. Det høye byvannstrykket og kapasiteten

i turlledningen gjør at det ikke trengs innregulering. Kapittel 15.5 (2) i TEK fastsetter et maksimalt driftstrykk er 6 bar før det må installeres trykkreduksjonsventil i inntaket til bygget.

I store bygg er det nødvendig med sirkulasjon av varmtvann for å sikre at ventetiden for varmtvann ikke er for lang. Ventetiden for å få tilgjengelig varmtvann i tappepunktene skal være mindre enn 10 sekunder [28]. For å sikre dette må sirkulasjonsledningen ha en pumpe for å trekke vannet tilbake og løfte trykket opp til byvannstrykksnivå. For å unngå problemer med at vannet strømmer feil vei ved tapping på grunn av trykkforskjeller, skal det monteres tilbakeslagsventil i sirkulasjonsledningen. Det er tilstrekkelig at sirkulasjonsledningen legges til 3.etasje for å overholde 10 sekunders kravet. Det vil gi besparelse av både rør og varmetap at sirkulasjonsledningen ikke trenger å legges helt til toppetasjene i leilighetsbygg [27]. Sirkulasjonsledningen dimensjoneres for å dekke det totale varmetapet i tappevannskretsen [29].

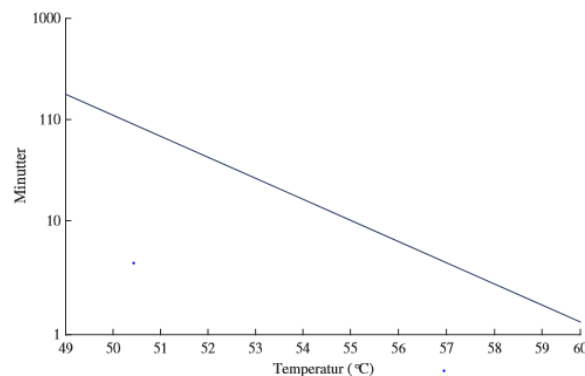
Effektbehovet for tappevann varierer mye gjennom et døgn, det kan vært nødvendig å gjøre tiltak for å jevne ut effektstoppene. På natten er tappevannsbehovet lavt, mens det spesielt på morgningen er høyt forbruk. Ofte benyttes en akkumuleringstank som lades i perioder med lavt forbruk, og som det kan «styrt-tappes» fra ved stort forbruk. Ved samtidig tappevannsbehov under 100 kW kan normalt tappevannet hentes direkte fra varmeveksler dersom bygget er koblet mot et fjern-/nærvarmeanlegg. Dersom samtidig tappevannsbehov er over 100 kW bør det vurderes å koble inn en akkumulatortank [30]. En akkumulatortank for lagring av varmt tappevann og kan kobles inn som vist i Figur 10.

Byvannet holder normalt 5-12 °C. Kaldt tappevann fordeles direkte til hver leilighet i et eget kaldtvannsrør. Byvannstrykket løfter kaldtvannet opp til hvert tappepunkt.

TEK anbefaler at temperaturen på det varme tappevannet bør være minimum 65°C for å hindre bakterievekst [14]. Byggets energikilde varmer derfor tappevannet opp til 65 °C. Tappevannet blandes med kaldt tappevann i en tre-veis ventil før tappepunktene for å unngå skåldingsfare. Anbefalt tappevannstemperatur ut av armaturene er maksimalt 55 °C [16].

Tappevannet må være sikret mot legionellabakterien. Legionella er en bakterie som finnes i alt vann, men bakterien er først sykdomsfremkallende ved inhalering i store konsentrasjoner. Konsentrasjonen i kaldtvann er lav. Derfor er det ikke nødvendig med legionellasikring av kaldtvann. Legionella har størst veksthastighet i stillestående vann mellom 25-45 °C og bakterien dør ved 60 °C. Folkehelseinstituttet har kommet med en veiledning for varmtvannsprosjektering hvor de anbefaler en tappevannstemperatur på minimum 60 °C [16].

Figur 11 viser nødvendig oppholdstid ved forskjellige temperaturer for å gjøre bakteriene ufarlige. Ved høye temperaturer er nødvendig oppholdstid kort [16].



Figur 11: Overlevelsestid legionellabakterien som en funksjon av temperatur

Det kan oppstå problemer ved kalkdannelser i drikkevannet. Kalkdannelser kan øke energiforbruket og ødelegge varmeelementer fordi kalket legger seg på rør og varmeveksler. Dersom det oppstår kalk-/beleggdannelse vil virkningsgraden reduseres og gi økt slitasje. Norsk Vann har inndeling for hardhet i vann som vist i Figur 12 [31].

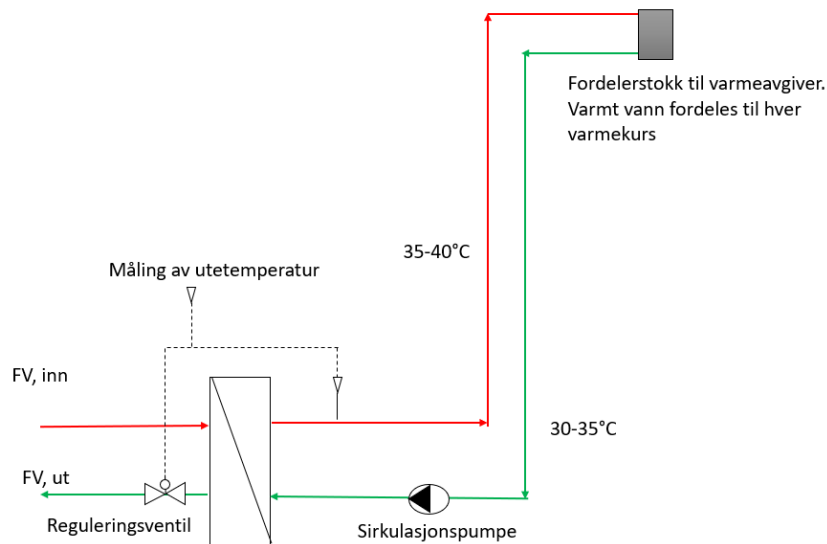
Hardhetsklasse	dH° (tyske hardhetsgrader)	mg Ca/l
Meget bløtt vann	0 - 2,1	0 - 15
Bløtt vann	2,1 - 4,9	15 - 35
Middels hardt vann	4,9 - 9,8	35 - 70
Hardt vann	9,8 - 21	70 - 150
Meget hardt vann	> 21	> 150

Figur 12: Hardhet vann, Norsk Vann

I Norge er vanligvis ikke kalkdannelse et problem fordi det er lite kalk i grunnvannet. For å unngå problemer med korrosjon og beleggdannelse bør kalkinnholdet være mellom 15 – 25 mg Ca/l. For å håndtere kalkdannelse kan det installeres avkalkningsanlegg i vanninntaket i bygget [28].

Flytskjema varmekrets

For å tilføre leilighetene varme har det vært vanlig med en egen varmekrets. Varmekretsen er et lukket system som betyr at det samme vannet sirkuleres ved hjelp av en pumpe. Figur 13 viser flytskjema for varmekretsen.



Figur 13: Flytskjema av varmekrets i tradisjonell løsning

Rørdimensjonen på varmekretsen bestemmes av varmebehovet ved T_{DUT} , ønsket ΔT og maksimal vannhastighet i kretsen. Dersom vannhastighetene blir for stor kan det bli problemer med støy. Det anbefales en vannhastighet på 1-2 m/s i vannbårne anlegg [29]

Drift og optimalisering av vannbårne anlegg

Ved optimalisering av et tradisjonelt vannbårent anlegg må følgende parametere vurderes;

- 1) Sirkulert vannmengde
- 2) Regulering og pumpearbeid
- 3) Varmetap
- 4) Drift og vedlikehold

Felles for alle som leverer eller bruker vannbåren varme er ønske om stor ΔT . Kort oppsummert vil en stor ΔT bety god varmeutnyttelse og reduserte vannmengder og rørdimensjoner.

Reduserte vannmengder gir mindre pumpearbeid. Mindre rørdimensjoner gir mindre varmetap fordi røret har mindre varmeoverføringsflate. Alle disse faktorene vil bidra til redusert energiforbruk og driftskostnader.

For å oppnå stor ΔT er det viktig at anlegget regulerer effektivt slik at endring i behov kompenseres raskt. De fleste termiske anlegg har en viss treghet som følge av «tunge» konstruksjoner, for eksempel vil et betonggulv ha høy varmekapasitet slik at det må tilføres energi over tid før temperaturen i gulvet øker [29].

Nye større vannbårne varmeanlegg er vanligvis mengderegulert. Det betyr at varmeavgivelsen styres av vannmengden som sirkuleres i anlegget. For å ha god varmeutnyttelse er det ønskelig å opprettholde en stor ΔT mellom tur og returrør. Vannmengden reguleres med en frekvensregulert sirkulasjonspumpe som styres etter et fast ønsket trykkløft over pumpa.

For å velge ut sirkulasjonspumpe må det tas hensyn til alle trykktap som oppstår i den mest ugunstige kretsen. Trykkløftet til pumpa må sørge for at den mest ugunstige kretsen får nok vannmengde til å dekke behovet. Ofte er den ugunstigste kretsen leiligheten lengst unna teknisk rom.

Rørleggere bruker ofte et nomogram for å regne trykktap i rør. Et nomogram gir en forenklet beregning for trykkfallet i rør basert på rørdimensjon, vannmengde og vannhastighet. Ved å bruke et nomogram er feilmarginen lavere enn 10 % for vann i varmeanlegg mellom 60-110 °C [29]. Det er likevel viktig å gjøre noen kontrollberegninger. Trykktap kan deles inn i tre kategorier:

- Friksjonstap i rør
- Støttap i bend, T-rør, varmevekslere og enkeltkomponenter
- Tap over reguleringsventiler

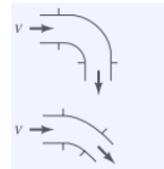
For å beregne friksjonstap i rør er det mulig å benytte Hazan-Williams ligning [29]. For plast og kobberør er friksjonstapet gitt ved:

$$R = 3623 \cdot \dot{m}^{1,707} \cdot D_i^{(-4,646)}$$

Støttap er trykktap som oppstår på grunn av retningsendringer i bend og T-rør og over komponenter som stengeventiler, varmevekslere, tilbakeslagsventiler, filtre og ved rørreduksjoner. Det er vanlig å beregne trykktap i komponenter ved å bruke «ekvivalent

lengde». For eksempel vil et 90°-bend ha en ekvivalent lengde på 0,3 m som vist i Figur 14. Ved å summere alle ekvivalente lengder kan en bruke Hazan-Williams ligning for å finne summen av støttap i anlegget.

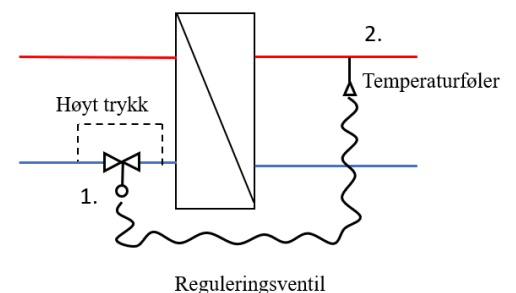
Komponent	Ekvivalent lengde [m]
a. Elbows	
Regular 90°, flanged	0.3
Regular 90°, threaded	1.5
Long radius 90°, flanged	0.2
Long radius 90°, threaded	0.7
Long radius 45°, flanged	0.2
Regular 45°, threaded	0.4



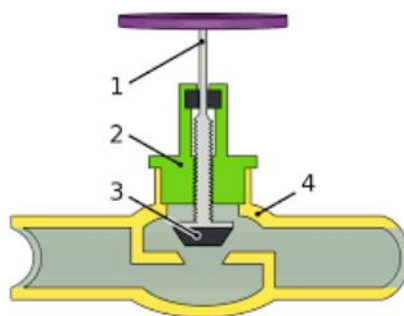
Figur 14: Ulike komponenters ekvivalente lengde

I moderne vannbårne anlegg er det reguleringsventiler som regulerer vannmengden og derav varmeavgivelsen gjennom et punkt. En reguleringsventil som regulerer vannmengden gjennom en varmeveksler vil plasseres på returrøret (1.) og regulere vannmengden gjennom varmeveksleren ved å måle temperaturen på turrøret (2.) ut av veksleren. For illustrasjon se Figur 15.

Reguleringsventilen må stilles inn på en forhåndsinnstilling. Det gjøres ved å strupe ned og skape store trykkforskjeller over ventilen slik at den har gode forutsetninger til å regulere vannmengden. Ventilen struper ved å variere strømningsarealet med et stempel slik som på Figur 16 [29]. Dette gjør at det blir nært konstant trykk over reguleringsventilene som slipper mer eller mindre vann gjennom varmeavgiveren avhengig av effektbehovet.



Figur 15: Prinsippskisse av reguleringsventil



Figur 16: Reguleringsventil [32]

For å oppnå god regulering må ventilen ha høy ventilautoritet. Høy ventilautoritet betyr at det er ventilen som regulerer mengden som slippes igjennom og ikke trykktapet ellers i systemet. Derfor må trykktapet i reguleringsventiler prosjekteres høyt i forhold til resten av rørsystemet. En reguleringsventil som fungerer godt i hele reguleringsområdet, også ved lave vannmengder og lite effektbehov, er viktig for å oppnå god ΔT .

Ventilens kapasitetstall K_v brukes til å gjøre forinnstilling over reguleringsventilen slik at anlegget blir innregulert. Ventilens forinnstillings-diagram finnes i produktbladet til ventilen og angir hvilken innstilling ventilen må ha for å regulere.

Sirkulasjonspumpa må også overvinne trykkfallet over varmesentralen i teknisk rom. I praksis regnes det med et trykkfall over varmesentralen på 30 kPa [33]. I tradisjonelle anlegg er det i praksis vanlig å legge inn en sikkerhetsmargin som skal sikre at pumpa har nok kapasitet. Sikkerhetsmarginen settes ofte til 10 % av det totale trykkfallet frem til den ugunstige kretsen [33].

Etter at vannmengder og trykktap i rørsystemet og over reguleringsventilen i den ugunstigste kretsen er beregnet velges det ut en frekvensregulert sirkulasjonspumpe. Leverandørene av sirkulasjonspumper har gode beregningsprogrammer på sine nettsider. Ved å oppgi ønsket løftehøyde/trykkfall og vannmengde kan pumpa velges ut. Pumpearbeidet kan avledes av Bernoullis ligning [34].

I et tradisjonelt vannbåret anlegg trengs det to pumper, en til varmekretsen og en til tappvannskretsen.

- Varmekretsen er en lukket krets og pumpa sirkulerer i et mengderegulert anlegg en varierende vannmengde i forhold til varmebehovet. Pumpa styres som regel for å gi en konstant trykkøkning over seg selv, men de er også i noen tilfeller styrt av en trykkdifferanse ute i anlegget. Dersom det ønskes varme på badegulvet hele året, slik som det er blitt vanlig i nye leilighetsbygg, må sirkulasjonspumpa gå hele året [27]. Utenfor fyringssesongen vil pumpa justere ned pådraget.
- Tappevannskretsen må ha pumpe på sirkulasjonsledningen for å gi varmtvann i alle tappepunkt innen 10 sek. Etter som det alltid er behov for varmt vann vil denne pumpa være i kontinuerlig drift.

Varmetap i vannbårne anlegg

Varmetap fra vannbårne anlegg medfører at energi går tapt ved å utilsiktet tilføre energi til omgivelsene. Varmetap oppstår som en følge av temperaturdifferansen mellom vannet i rørene og omgivelsene og avhenger av størrelsen og isolasjonen på røret [29]. Varmetap fører til høyere energikostnad enn nødvendig. Det er beboerne som må betale for det økte energiforbruket. Derfor er det viktig at vannbårne varmeanlegg er godt isolert i hele rørnett. God isolering gir redusert energibruk.

I kapittel 14.3 (2) i TEK 17 står det følgende: «Rør, utstyr og kanaler som er knyttet til bygningens varmesystem skal isoleres. Isolasjonstykkelsen skal være økonomisk optimal beregnet». Varmenormen, som er VVS-bransjens egen veileder og oppslagsverk for prosjektering av vannbårne anlegg i bygg anbefales isolering av røranlegg varmere enn 35°C [35].

Tabell 1 viser anbefalte isolasjonstykkelser.

Rørdimensjon	Anbefalt isolasjonstykkelse [mm] i Varmenormen [35]
DN 10	20
DN 15	20
DN 20	30
DN 25	30
DN 32	40
DN 40	40
DN 50	50
DN 65	50
DN 80	50

Tabell 1: Anbefalte isolasjonstykkelser i Varmenormen

Varmetap i rørnett påvirkes av:

- Temperaturer, mindre temperaturdifferanse mellom vannet i røret og omgivelsene reduserer varmetapet.
- Lengden på rørnettet, kortest mulig føringsveier vil redusere varmetapet.
- Dimensjon på rørene, jo større rørdimensjon, jo større overflate som gir større varmetap.
- Isolasjon
 - isolasjon langs hele rørstrekket også oppheng og gjennom etasjeskiller vil redusere varmetapet,
 - brudd på isolasjonen vil øke varmetapet,
 - demonterbar isolasjon over ventiler og utstyr vil redusere varmetapet, men likevel gi tilgang for inspeksjon og service. Dersom isolasjonen ikke er demonterbar fører det ofte til at isolasjonen ikke blir satt på igjen av servicørleggeren. Det brukes ofte spesialfirmaer til isoleringsjobben.

Leverandører av rørisolasjon har prosjekteringsverktøyet på sine hjemmesider. Glava Isolasjon, som er markedsledende innenfor isolasjon, sitt prosjekteringsverktøy heter Isodim og er mye brukt av bransjen. Ved hjelp av verktøyet er det mulig å regne varmetapet for ulike rørtyper og isolasjonsklasser [36]. Varmetapet kan også beregnes teoretisk med hjelp av varmeledningstall for isolasjon, rørvegg-materiale og varmeovergangstall inne i og på utsiden av isolasjonen.

Valg av rør

I vannbårne anlegg velges det som oftest kobber- eller stålrør i hovedledningene. Hovedledningene frakter vann fra varmesentralen langs kjeller/underetasje/parkeringskjeller til de vertikale sjaktene som fører vannet videre til leilighetene oppover i etasjene. I stikkledningene som går oppover i etasjene er det vanlig med preisolerte PEX-plastrør på kveil opp til dimensjon DN32 dersom de finnes med ønsket isolasjonstykkel. For enklere montering og utskiftning av rør kan det også benyttes PEX- rør-i-rør. Rør-i-rør løsninger gir god sikkerhet for å oppdage lekkasjer. Preisolerte rør med tett cellegummi tjener til en viss grad også dette formålet. For større rørdimensjoner (> DN32) i stikkledningene brukes enten stive PEX eller stål/kobber med Mapress-fittings som må isoleres på stedet [37]. Ved valg av rørdiameter velges nærmeste standard rørdimensjon, kalt nominell diameter (DN). I produktblader for gjeldene rørtype kan en slå opp indre og ytre diameter. Den indre og ytre diameteren kan variere mye for ulike rørvalg, særlig PEX rør har tykk rørvegg.

Drift og forvaltning

En faktor som kan vanskeliggjøre regulering er beboernes vaner. Det er store individuelle forskjeller i ønsket innetemperatur. Ved å ha god kontroll på effektuttak og vannmengder kan en enklere regulere anlegget. Ny teknologi muliggjør bedre regulering i forhold til beboernes vaner. Moderne regulatorer kan regulere innetemperaturen gjennom døgnet.

Ønske om stor ΔT gjør også at det etterstrebes lav returtemperatur. Lav returtemperatur betyr at det er høy utnyttelsesgrad av det sirkulerte vannet. Ved lav returtemperatur oppnås bedre regulering og bedre utnyttelse energikilden. En forutsetning for lav returtemperatur er at temperaturdifferansen i anlegget er stabil i hele effektområdet uavhengig av utetemperatur. Erfaring viser at returtemperaturen øker og ΔT minker når utetemperaturen øker [38]. Årsakene kan være et misforhold mellom vannmengde og heteflater i bygningene slik at den økte vannmengden ikke klarer å utnyttes, feil innregulering eller dårlig regulering.

Feil i styring på sekundærsiden er en vanlig årsak til høy returtemperatur. Eksempel på dette er dersom beboere ønsker høyere romtemperatur og driftsansvarlig skrur opp temperaturen i hele varmeanlegget fremfor å styre opp vannmengden eller påse at pumpen har høyt nok trykk. Returtemperaturen vil da stige unødvendig.

Bruk av blødere/bypass på sekundærside er dessverre vanlig, men bør unngås fordi det fører til at varmt vann sirkuleres unødvendig og gir forstyrrelser i reguleringen. Overvåking av anlegget på både primær og sekundærside kan avdekke feil og sikre riktig drift [39].

3 Innovative løsninger for vannbåren varme i leilighetsbygg

De siste årene har vært fokus på å forenkle sekundærnettene for vannbåren varme i nye leilighetsbygg. Som følge av et lavere varmebehov i nye bygg har det vist seg at energiinnholdet i varmekrets og i tappevannskrets hver for seg er store nok til å dekke det totale varmebehovet [40].

De nye løsningene forenkler sekundærnettene gjennom å kombinere tappevannskrets og varmekrets. Dette kan gjøres på to måter

1. Tappevannsløsningen, her er varmekretsen fjernet og det totale varmebehovet dekkes med tappevannskretsen
2. Varmeløsningen, her er tappevannskretsen fjernet og det totale varmebehovet dekkes med varmekretsen

Denne oppgaven har fokus på tappevannsløsningen. I kapittel 3.2 presenteres potensiale og mulighetene en omlegging til tappevannsløsningen vil gi for fjernvarmebransjen. Varmeløsningen blir presentert i kapittel 3.3.

3.1 Tappevannsløsningen

Varmebehov i nye leilighetsbygg har vært synkende, mens tappevannet har forholdt seg stabilt ved innføring av nye byggestandarder [6]. I leilighetsbygg sirkuleres det varmt tappevann kontinuerlig for å sikre hurtig tilgang på varmt tappevann. I denne vannmengden ligger det mye energi. Agder Energi Varme tok utgangspunktet i dette og undersøkte muligheten for å fjerne rørkretsen som forsyner energi til varmeavgivere ved å hente energi fra tappevannet. For å veksle varmt tappevann med varmekretsen ble det utviklet et spesialdesignet vekslerskap. LK-systems har vært en viktig samarbeidspartner for Agder Energi Varme ved utvikling av vekslerskapet. I dag selger LK-systems vekslerskap til prosjekter i hele Norge.

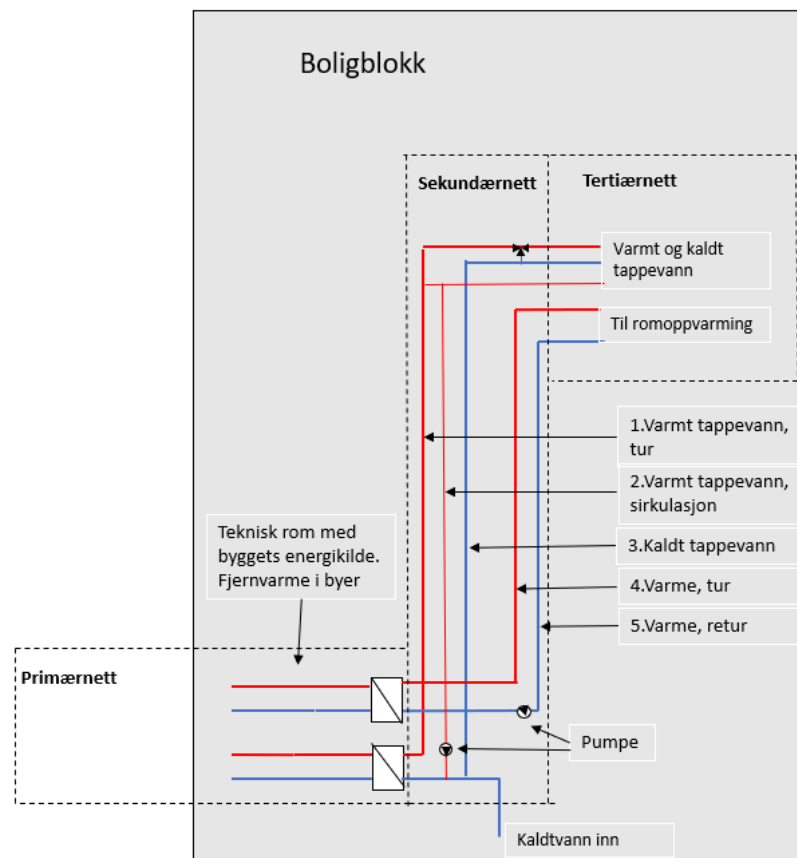
Motivasjonen til Agder Energi Varme for å utvikle bedre løsninger for å bidra til at nye bygg er energifleksible. Fordelen med energifleksible bygg er at det vil redusere elektrisitetsforbruket i husholdningssektoren som vil bidra til å redusere belastningen på det norske kraftnettet. En

annen motivasjonsfaktor var å gjøre vannbårne løsninger i leilighetsbygg mer attraktiv for utbyggere og entreprenører. Agder Energi Varme hadde også et ønske om å bli mer kunderettet og ivareta en god relasjon til beboerne i Kristiansand.

3.1.1 Oppbygning og flytskjema

Som vist i Figur 9 har et tradisjonelt vannbåret anlegg fem distribusjonsrør i sekundærnettet. Tappevannsløsningen har gått fra fem til tre distribusjonsrør i leilighetsbygg ved å fjerne rørrettet for varme slik som vist i skjema for oppbyggingen av tappevannsløsningen Figur 17.

Reduksjon i antall rør fører til plassbesparelse og lavere investeringskostnad. Et mindre rørrnett reduserer driftskostnadene fordi en har mindre varmetap og mindre pumpearbeid.

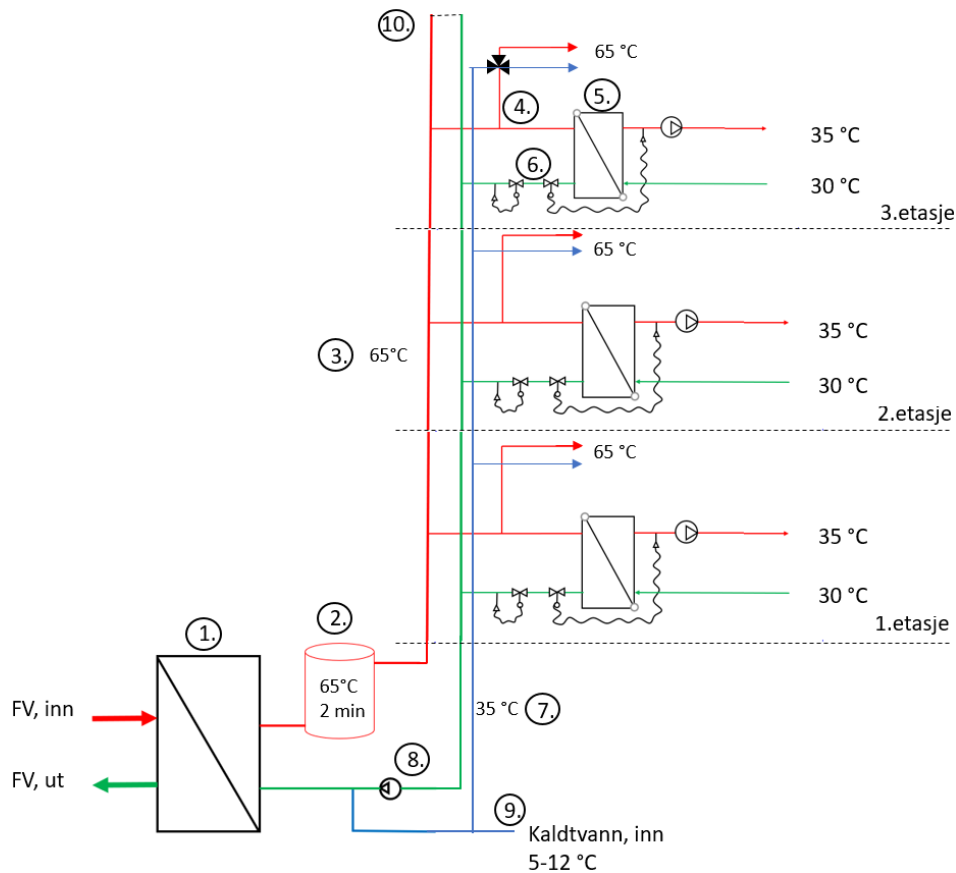


Figur 17: Prinsippskisse av tappevannsløsningen med tre hovednett og 3 rør i sekundærnettet

1. Varmt tappevann som fordeles til hver leilighet.
2. Varmt tappevann for sirkulasjon
3. Kaldt tappevann distribueres opp til hver leilighet.

Flytskjema tappevannsløsningen

Figur 18 viser energiflyten og viktige komponenter i sekundærnettet for tappevannsløsningen.



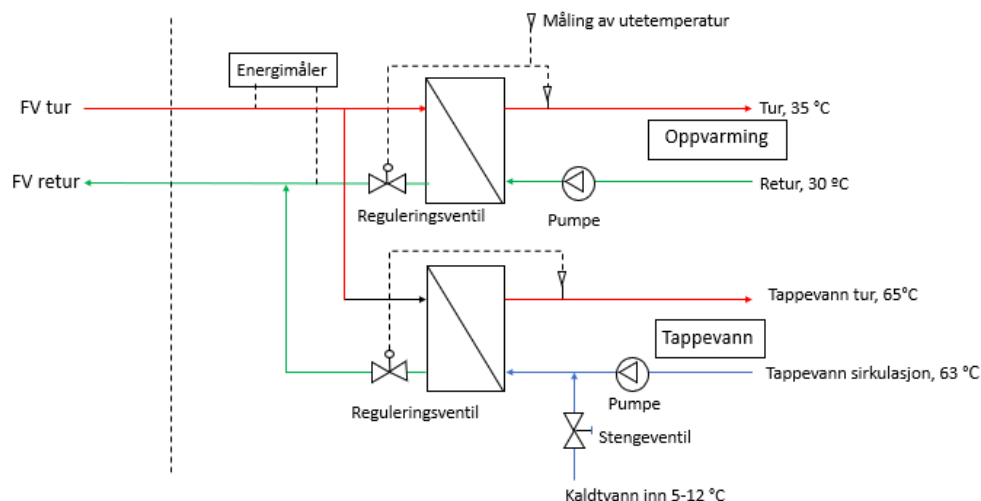
Figur 18 : Flytskjema av tappevannsløsningen

1. Energikilde som kan levere oppvarmet vann på 70 °C
2. Oppholds-tank for desinfisering av legionellabakterien
3. Turledning tappevann på 65 °C
4. T-rør til tappepunkter for varmt og kaldt vann. Tre-veis ventil blander inn kaldt byvann for å gi skåldingsbeskyttelse
5. Varmeoverføring mellom sekundær- og tertiærkretsen.
6. Reguleringsventiler. Reguleringsventil styrer varmeoverføringen gjennom varmeveksler. Temperaturkontrollør, sikrer maksimal returtemperatur ~ 37°C
7. Returrøret/sirkulasjonsledningen har en temperatur på 35°C ved optimale driftsforhold
8. Frekvensstyrt sirkulasjonspumpe
9. Kaldt byvann inn i bygget. Temperatur ~ 5-12°C
10. Bløder/bypass i øverste etasje

Punkt 1, Energikilde og fjernvarme

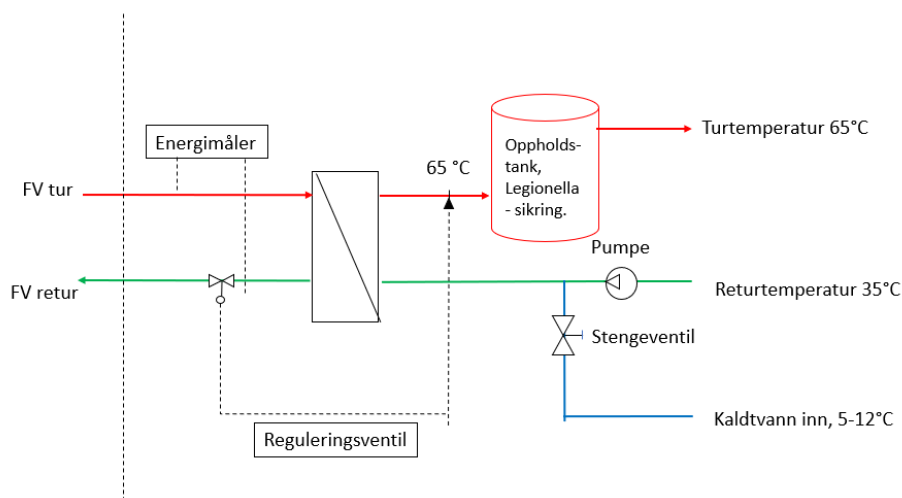
Tappevannsløsningen er energifleksibel og kan benytte seg av alle energikilder som kan levere oppvarmet vann på 70 °C ved stort effektbehov. I området hvor det er etablerte fjernvarmenett vil fjernvarme være en naturlig energikilde.

Tappevannsløsningen forenkler installasjonene i teknisk rom. I et leilighetsbygg som er tilknyttet fjernvarme trengs det to varmevekslere for en tradisjonell løsning slik som i Figur 19.



Figur 19: Prinsippkisse av tilkobling i varmesentral i et tradisjonelt anlegg

For tappevannsløsningen trengs en varmeveksler i teknisk rom som vist i Figur 20. Det gir betydelige besparelser i komponenter. En kan redusere komponentene til en varmeveksler, en sirkulasjonspumpe, en reguleringsventil og mindre sikkerhetsutstyr.



Figur 20: Prinsippkisse av tilkobling i varmesentral for tappevannsløsningen

Punkt 2, Sikring mot legionellabakterien

Det er strenge krav for å unngå oppblomstring av legionellabakterien (se kapittel 2.5.3). For legionellasikring har tappevannsløsningen en oppholds-tank som sikrer at alt vann som sirkulerer i bygget har hatt en oppholdstid på 65 °C i minimum to minutter.

Oppholds-tanken kan utelates dersom bygget er koblet mot fjernvarme og det er mulig å gjennomspyle rørene frem til tappepunkt med 70 °C jevnlig. Med moderne blandebatterier med skåldingsbeskyttelse er gjennomspyling med 70°C ikke mulig. Derfor har de fleste bygg med ny tappevannsløsning installert en oppholds-tank.

For å unngå oppblomstring av legionellabakterien bør det i tillegg til oppholds-tanken gjøres følgende tiltak:

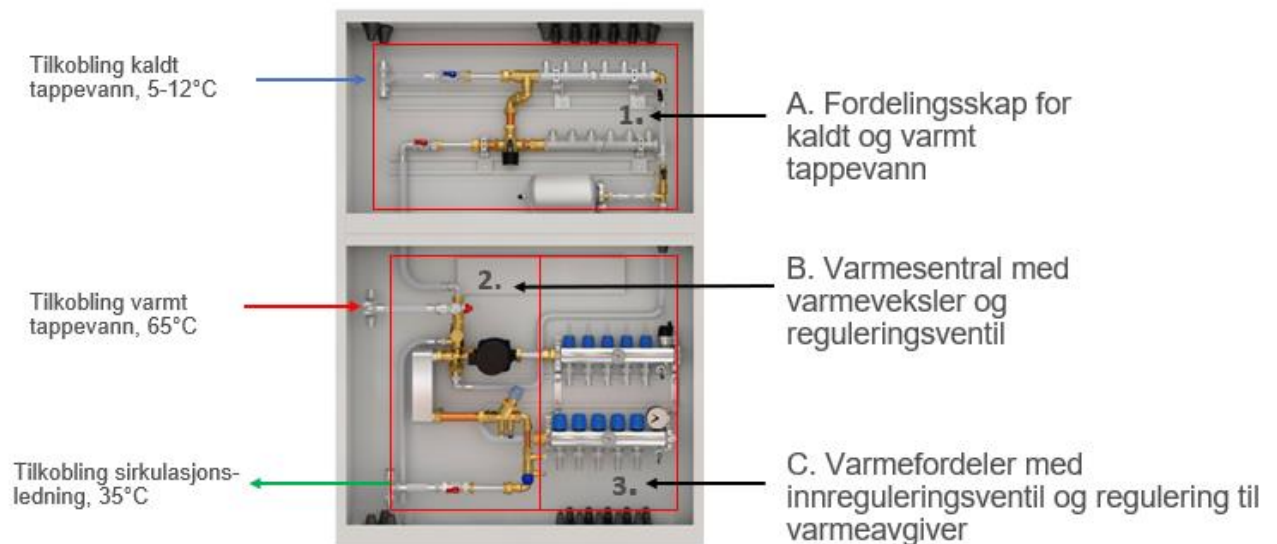
- Det er installert tilbakeslagsventiler i alle blandeventiler for å sikre at nedkjølt varmtvann ikke kan trekkes feil vei ved trykkendringer i systemet.
- Tappevannsveksleren har kapasitet til å levere varmtvann på 70 °C ved maks tappevannsforbruk slik at varmeveksleren har høy nok temperatur til å uskadeliggjøre potensielt innkommende legionellabakterier.
- En temperaturvakt i turledningen varsler dersom tappevannstemperaturen synker under 65 °C.
- Frekvensstyrt sirkulasjonspumpe med kapasitet nok til å sikre minimum 63°C.
- Prøvetakningspunkter og legionellafeller er montert i sirkulasjonsledning slik at det er mulig å ta prøver ved mistanke om legionella.

I tillegg til å fungere som legionellasikring skal oppholds-tanken også sikre ønsket temperatur på turledningen og den skal kompensere for eventuell treg respons i varmeveksler.

Oppholds-tanken har en el-kolbe som kan kobles inn dersom temperaturen ut fra veksleren er for lav. El-kolben i oppholds-tanken kan benyttes som back-up/spisslast ved behov, for eksempel ved driftsproblemer på energikilden.

Punkt 3, 4 og 5, Varme- og vannveksling mellom sekundær- og tertiærnett

Tappevannsløsningen frakter tappevann ved 65 °C til et spesialdesignet vekslerskap i hver leilighet. Tilkoblingen mellom sekundærnettet og vekslerskapet gjøres med T-rør fra stikkledningene og inn til skapet. Det er stengeventiler i alle de tre tilkoblingspunktene. Vekslerskapet har en tre-delt oppbygning som vist i Figur 21 [41].



Figur 21: Tre-delt oppbygning av vekslerskap for tappevannsløsningen

A)

I den øverste delen av skapet er vannfordelingssentralen. Her tappes kaldt og varmt tappevann inn i et T-rør og blir fordelt til via en fordelingsstokk og videre ut til tappepunktene. Byvannstrykket driver tappevannet frem til tappepunktene som i et tradisjonelt tappevannsanlegg. Når det er tapping i anlegget er tappevannsløsningen et åpent system. Det varme tappevannet blandes med kaldt tappevann i en blandingsventil for å gi skåldingsbeskyttelse.

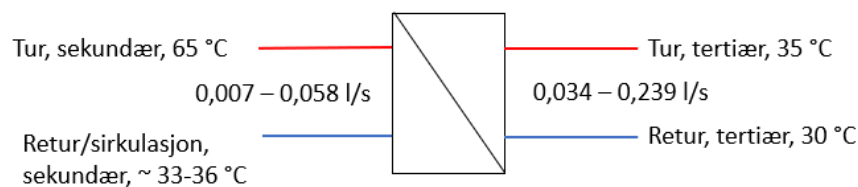
B)

Nede til venstre i Figur 21 er skapets varmesentral. For å dekke varmebehovet veksles varmt tappevann i en varmeveksler med den interne varmekretsen i hver leilighet. Varmeavgiveren i leiligheten kan være lavtemperatur vannbåren gulvvarme, radiatorer eller viftekonvektorer. Vannbåren gulvvarme vil gi best driftsforhold over varmeveksleren fordi vannbåren gulvvarme

sirkulerer vann med lavere temperaturer enn radiatorer og viftekonvektorer. Vannbåren gulvvarme vil gi best energi-økonomisk effekt.

Selve varmeoverføringen mellom tappevannskretsen og oppvarmingskretsen skjer i en motstrøms-platevarmeveksler. Det er ikke direkte kontakt mellom fluidene. Det velges en varmeveksler med lange veksleplater som gir god varmeoverføring. Varmeveksleren har et smussfilter for å beskytte mot smuss og uønskede partikler. Dette filteret må skiftes første gang ved et par måneders drift og deretter ved behov.

Med forutsetning om vannbåren gulvvarme kan varmeveksleren i LK-systems sitt vekslerskap, UNI-X, levere en effekt fra 1-7 kW ved driftsbetingelsene som vist i Figur 22.



Figur 22: Energiflyt over varmeveksler i leilighet for tappevannsløsningen

Vannmengden som sirkuleres på sekundærsiden er liten som følge av stor temperaturredifferanse over varmeveksleren. På sekundærsiden av varmeveksleren er ΔT på ~ 30 K. På tertiærsiden er ΔT lik 5 K. Det gjør at det må sirkuleres $30/5 = 6$ ganger så mye vann på tertiærsiden av varmeveksleren.

Det er tertiærsiden som blir bestemmende for den fysiske størrelsen på varmeveksleren. På sekundærsiden blir trykkfallet lavt fordi vannmengden er liten. Trykketapet over varmeveksleren på sekundærsiden er cirka 0,1 kPa [42].

C)

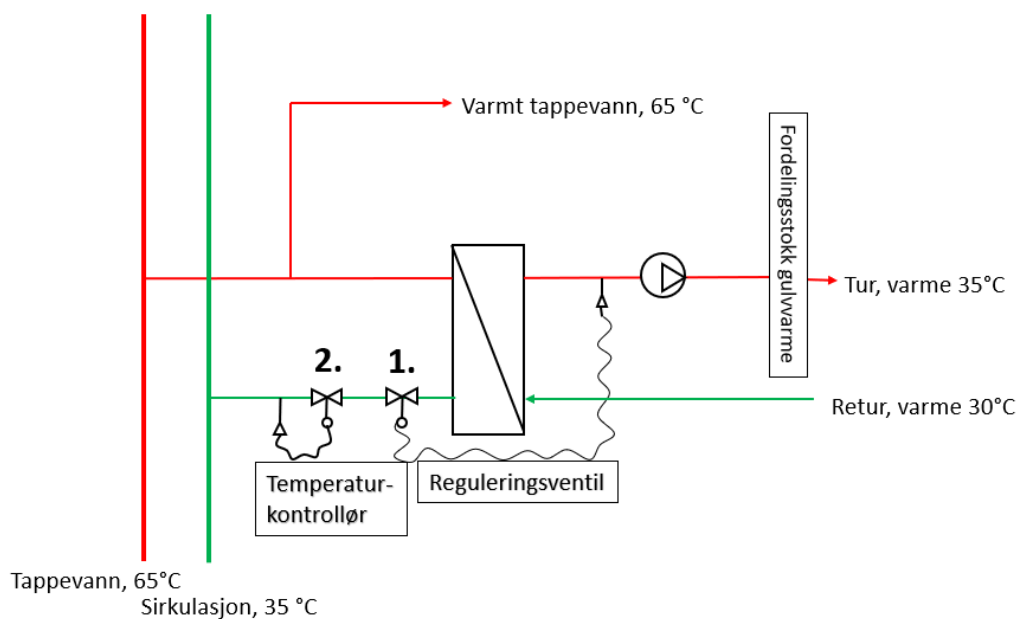
Til høyre i Figur 18 er leilighetens interne varmekrets. Varmekretsen i tertiærnett er et lukket system som drives av en intern sirkulasjonspumpe. Pumpa skal påse at varmekretsen opprettholder høyt nok trykk til å fordele varmtvann via fordelingsstokken og ut på hver gulvvarmekurs.

I vekslerskapet er det en automatisk luftepotte som gjør oppstart av varmekretsen enkel. Det er montert et lite ekspansjonskar for å ta opp trykkvariasjoner internt i tertiærkretsen. Et

manometer er montert på varmfordelerens retur og viser trykket på varmesystemet. For å sikre gode driftsforhold for komponentene i skapet bør systemtrykket i teriærnettet ikke overstige 2,5 bar. I hvert skap er det montert luft og trykkføler.

Skapene skal ha sprutdeksel på innsiden av skapdøren. Det skal også være et lekkasjesluk nederst i skapet som går til nærmeste sluk. Vekslerskapene kan med fordel låses slik at det kun er servicørleggeren som kan gjøre justeringer inne i skapet.

Punkt 6 og 7, Reguleringsventiler og returtemperatur



Figur 23: Prinsippkisse av reguleringsventiler i vekslerskap i tappevannsløsningen

I vekslerskapet er det to reguleringsventiler plassert på returrøret på sekundærsiden. En utfordring med skapene har vært å finne reguleringsventiler som styrer godt med små vannmengder.

Den første ventilen (1) regulerer temperaturen på vannet i den interne varmekretsen i leiligheten. Den andre ventilen (2) sikrer en forhåndsbestemt returtemperatur tilbake til sirkulasjonsledningen.

Reguleringsventilen (1) er montert med en temperaturføler som er plassert på turrøret for varmekretsen. Ventilen sikrer riktig temperatur ut fra fordelingsstokken til varmeavgiveren.

Reguleringsventilen har tre funksjoner, forinnstilling, differansetrykkkontroll og regulering. Funksjonene kombineres slik at tilgjengelig trykk setter maksbegrensning for innstilt vannmengde. Reguleringsventilen TOV 15 fra MMA [32] regulerer godt i denne type anlegg og minimum trykkfall over ventilen er satt til 10 kPa for å sikre god ventilautoritet.

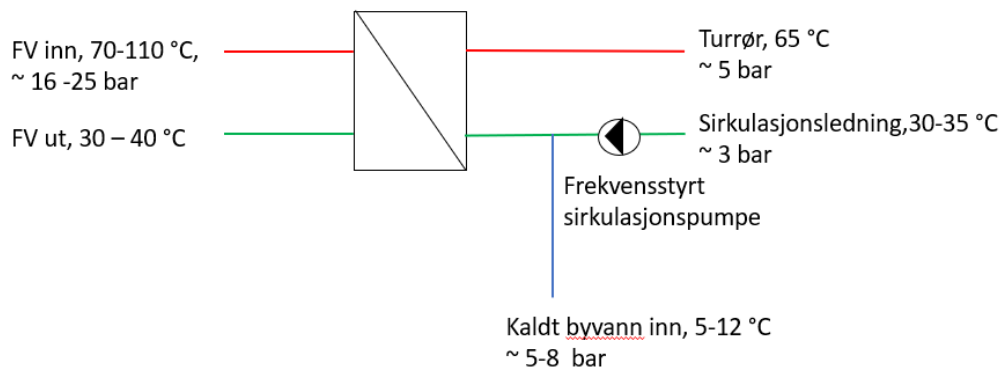
Den andre ventilen (2 - temperaturkontrollør) sitter på returrøret etter reguleringsventilen (1). Den er koblet mot en temperaturføler på returrøret til sirkulasjonsledningen og sikrer at returtemperaturen ikke er høyere enn innstilt verdi (oftest 35 °C). Ventilen vil stilles inn et par grader høyere enn reguleringsventilen.

Ved optimale driftsforhold for vannbåren gulvvarme skal returtemperatur på sirkulasjonsledningen være ± 35 °C.

Punkt 8 og 9, Frekvensstyrt sirkulasjonspumpe og kaldtvanninntak

Kaldtvann til varmtvannoppvarmingen tas inn mellom sirkulasjonspumpe og varmeveksler, se Figur 24. Når det ikke er tapping i bygget vil kun vann fra sirkulasjonsledningen strømme gjennom fjernvarmeveksleren. Når det er tapping i anlegget strømmer vannet uten behov for pumpe da det er byvannstrykket som frakter vannet gjennom fjernvarmeveksleren og fram til tappepunktene, da er det et åpent system. Den frekvensstyrte sirkulasjonspumpa sørger for at sirkulasjonen over vekslerskapene opprettholdes.

Det har vært stilt spørsmål ved om et åpent og et lukket system kan fungere sammen, fordi trykket i anlegget endres mye når det er tapping.



Figur 24: Energiflyt over varmeveksler i varmesentral i tappevannsløsningen

Punkt 10, Bløder/bypass i øverste skap

I motsetning til tradisjonelle anlegg må sirkulasjonsledningen legges helt til øverste etasje. Der legges det inn en liten bløder som sørger for sirkulasjonen i anlegget. Bløderen sikrer at varmt tappevann er raskt tilgjengelig til tappestedene dersom både tappevannsforbruket og varmebehovet er lavt. Ved lite varmebehov kan bløderen føre til at returtemperaturen øker.

3.1.2 Prosjektering

Når sekundærnettet skal prosjekteres må det gjøres noe utradisjonelt. Vannmengdene skal dimensjoneres etter både romoppvarmings- og tappevannsbehovet.

Tappevannet er dimensjonerende for vannmengden som sirkuleres i turledningen, mens varmebehovet bestemmer dimensjonen på sirkulasjonsledningen.

Turledning i sekundærnettet

Turledningen er prosjektert som et vanlig tappevannsanlegg og skal ha tilstrekkelig vannmengde til å levere til alle tappepunkter. Vannmengden for kaldt og varmt tappevann beregnes på tradisjonell måte basert på normal vannmengde og sannsynlig samtidig bruk av tappestedene [28].

Vannmengden som er nødvendig for å dekke oppvarmingsbehovet skal legges til tappevannsbehovet. Som følge av stor temperaturredifferanse mellom varmt tappevann (65 °C) og turtemperatur til varmeavgiveren (35°C) blir vannmengden som trengs til romoppvarming liten. Det gjør oppdimensjoneringen av turledningen for tappevann marginal. Under følger et dimensjoneringsseksempel:

En moderne leilighet på 80 m² med maksimal samtidig vannmengde på 0,45 l/s og varmebehov på 3 kW vil ha en total vannmengde på:

$$\text{Total vannmengde} = 0,45 \frac{l}{s} + \left(\frac{3 \text{ kW}}{4,185 \frac{kJ}{kgK} \cdot (65 - 35)^\circ C} \right) = 0,45 + 0,02389 = 0,47 \text{ l/s}$$

Hovedledninger og stikkledninger dimensjoneres ved å summere maksimal sannsynlig tappevannsmengde og vann til oppvarming ved dimensjonerende utetemperatur til alle leilighetene.

Retur/sirkulasjonsledning

Dimensjoneringen av sirkulasjonsledningen følger av romoppvarmingsbehovet i bygget og baseres på varmebehovet ved T_{DUT} . Ved dimensjonering av sirkulasjonsledningen tas det ikke hensyn til tappevannsforbruket. Det er alltid romoppvarmingsbehovet som blir styrende for dimensjoneringen av sirkulasjonsledningen. Etter som ΔT er stor mellom tappevann og gulvvarmen er vannmengden som trengs gjennom hver leilighet liten. Det gjør at rørdimensjonen på sirkulasjonsledningen er liten sammenlignet med turledningen.

Trykk, regulering og valg av sirkulasjonspumpe

Trykkmodellen må skille mellom tappevann og vann til oppvarming til tross for at de går i samme rør. Når det ikke er tapping i bygget, men maksimalt varmebehov vil vannmengden i turledningen være liten i forhold til rørdimensjonen. Friksjonstapet vil derfor være lavt (nesten neglisjerbart). Når det er mye tapping i anlegget og høyt varmebehov vil trykktapet i rørene være høyt.

Når det skal plukkes ut sirkulasjonspumpe til sekundærnettet må en først finne trykkfallet (Δp) ut fra anleggets mest ugunstige krets. Sirkulasjonspumpen skal overvinne trykktap i:

- Friksjonstap i rør
- Støttap i bend og komponenter i sekundærnettet
- Tapet over vekslerskapet
- Tap over varmesentral

Sammenlignet med tradisjonelle systemer er det ikke nødvendig å legge inn sikkerhetsmargin over pumpa. Det skyldes at når det ikke er tapping i anlegget vil det være lite friksjonstap i turledningen fordi vannmengden som da går i turledningen er liten. Når alle tapper er derimot trykket høyere. Likevel er det ikke nødvendig å legge inn sikkerhetsmargin fordi tregheten i systemet vil gjøre at den korte perioden med mye tapping ikke vil slå ut på innetemperaturen

[37]. En fordel med dette er at det kan velges en mindre pumpe. En mindre pumpe bruker mindre energi som gjør at livsløpskostnaden går ned.

Når trykktapet over anleggets «ugunstige-krets» er funnet, kan en benytte trykktap og total vannmengde i sirkulasjonsledningen til å plukke ut en pumpe som har tilstrekkelig løftehøyde. Valg av sirkulasjonspumpe gjøres ut fra prosjekteringsveiledning på leverandørens hjemmeside [43].

3.1.3 Estetikk og montering

Det monteres et spesialdesignet vekslerskap i hver leilighet. LK-systems har kommet langt i utvikling av vekslerskapene og leverer skap over hele Norge. De har også kommet med egen veileder [41]. Nordic Heatsystems, med fabrikk hos VVS-prefab i Stavanger, har også utviklet et eget vekslerskap. Skapene kan leveres med spesialtilpasninger som horisontale skap, vertikale skap eller skap som plasseres i himlingen [44].

Aller helst plasseres skapene vertikalt over sisternen på badet slik at en enkelt kan koble seg til turledningen for tappevannet og sirkulasjonsledningen. Vekslerskapene plasseres helst over hverandre i etasjene i nærheten av teknisk sjakt for enklest mulig montering og kortest mulig føringsveier.

Enkelte arkitekter og beboere ønsker ikke å ha skapdøren til vekslerskapet i badet, det er derfor mulig å plassere skap i bod/walk in closet slik som i Figur 25. Det er ønskelig at skapene plasseres vegg i vegg med badet slik at føringsveien er så korte som mulig.



Figur 25: Fotografi av vekslerskap i drift

For å gjøre monteringen rask og effektiv bør vekslerskapene komme prefabrikkerte til byggeplassen så tidlig som mulig. Rørleggeren trenger kun å koble til rørene til de prefabrikkerte vekslerskapene på stedet. Tappevannsløsningen trenger ikke innregulering av sekundærnett. Det er tappevannet som er energibærer og byvannstrykket vil sørge for at det alltid er tilstrekkelig effekt tilgjengelig til hver leilighet. Innreguleringen av leilighetens interne varmekrets gjøres som for et tradisjonelt varmeanlegg

Ferdige skap reduserer sjansen for feil og reduserer arbeidstiden for rørleggerne på byggeplassen. Tappevannsløsningen kan også leveres kombinert med en prefabrikkert baderskabin. Blant annet BOXEN med kontorer i Grimstad leverer nå tappevannsløsningen i sine baderskabinetter.

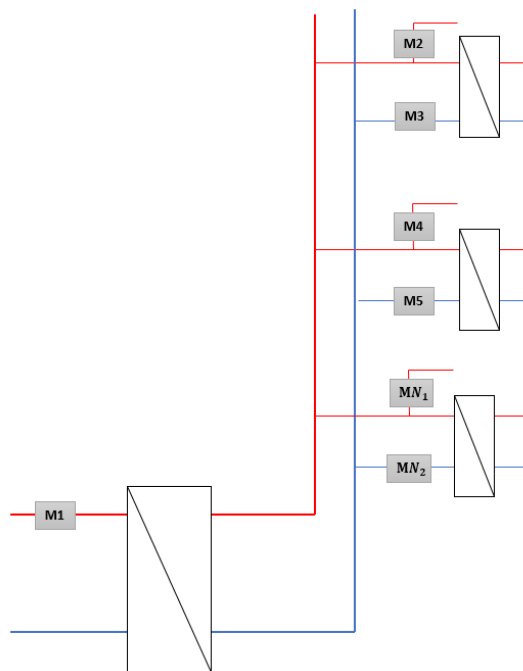
3.1.4 Måling, varmetap og energibruk

Måling

Tappevannsløsningen gjør måling og fakturering enklere fordi systemet er 100% mengderegulert. Temperaturen er nær fastlåst (turledningen er 65°C og sirkulasjonsledning er 35 °C), slik at faktureringen kan avregnes på mengde med tilstrekkelig nøyaktighet.

I TEK er det ikke krav om måling på leilighetsnivå. Det gjør at hver beboer kan faktureres ved å dele byggets totale energiforbruk på leilighets størrelse (m²). For en mer presis avregning kan vannmengden måles i hvert vekslerskap. I vekslerskapene er det satt av plass til mengdemålere som kan bestilles som tilleggvalg.

For måling på leilighetsnivå trengs to mengdemålere. Den ene måleren måler vannmengden til tappevannskretsen, M1 og den andre måler vannmengden til varmekretsen, M2.



Figur 26: Prinsippkisse for måling av vannmengder i tappevannsløsningen

Faktureringen til hver leilighet kan da gjøres mer presis som vist under:

$$\text{Fakturering for leilighet 1} = \frac{(M2 + M3)}{\sum(M2 + M3 + M4 + MN_1 + MN_2 + \dots)} \cdot M1$$

Ved individuelle målere på varmekretsen faktureres beboerne for faktisk forbruk. En beboer som ønsker høy innetemperatur kan dermed faktureres for kostnaden dette medfører.

Varmetap

Fjernvarmeleverandører og beboere har ofte en konflikt om hvem som skal betale for varmetapet som oppstår i sekundærnettet i leilighetsbygg. Agder Energi Varme fokuserer på at alle rør skal være godt isolert, både i fjernvarmenettet og i bygget. De gir anbefalinger til utbyggere om å isolere bedre enn minstekravet i Varmenormen. En av fordelene med tappevannsløsningen er at varmetapet er redusert.

Sammenlignet med en tradisjonell varmekrets kan alt tap for varmekretsen i tappevannsløsningen neglisjeres. Varmetapet mellom tappevannet og varmekretsen i vekslerskapet er minimalt fordi avstanden er liten.

Varmetapet som oppstår i tappevannsløsningen er tapet i turledning og sirkulasjonsledningen. Turledningen holder 65°C og vil ha tilnærmet likt varmetap som et tradisjonell tappevannsrør til tross for en noe større rørdimensjon. Sirkulasjonsledningen vil derimot ha et redusert varmetap fordi vanntemperaturen er redusert fra 65 °C til 35°C.

At hver beboer faktureres på mengde målt i egen leilighet gir en mer rettferdig fordeling for betaling av varmetap i byggets sekundærnett. En beboer med stort forbruk betaler for en større andel av varmetapet.

Fleksibilitet

Leilighetene er uavhengige av hverandre og det gir hver beboer mulighet til å regulere sin leilighet ut ifra sine behov. Dersom en beboer ønsker å ha eksempelvis 28 °C i leiligheten sin er det mulig.

Tappevannsløsningen er også fleksibel på andre områder fordi;

1. Det er mulig å overlevere leiligheter etter hvert som de ferdige. Det gir en mer effektiv byggeprosess og beboerne kan flytte inn etter hvert som leiligheten deres blir ferdig.
2. I tradisjonelle anlegg har det vært problem med at varmeanlegget skrues av på sommeren til tross for at det er ønske om oppvarming på baderommet [18]. Med den nye løsningen vil oppvarming av baderommet være mulig hele året. Det vil alltid være varmt tappevann tilgjengelig for å holde en varmekurs åpen. Den nye løsningen er mer fleksibel og enklere å tilpasse hver enkelt forbruker.
3. Det er mulig å stenge av et vekslerskap uten at den vil påvirke resten av bygget dersom en leilighet står ubebodd.
4. At vekslerskapene er uavhengige av hverandre vil også tydeliggjøre eventuelle feil i en leilighet. En feil i varmeanlegget vil være lett å oppdage på fakturaen. Utgangspunktet her er at beboerne er klar over eget forbruk. Med dagens teknologiutvikling med diverse apper burde det være lett for beboere å følge sitt eget forbruk.

3.1.5 Potensiale og tilleggseffekter for fjernvarmebransjen

Tappevannsløsningen er designet for å gi en returtemperatur tilbake til energikilden på 35°C ved bruk av vannbåren gulvvarme. En så lav returtemperatur er ettertraktet av fjernvarmeselskaper fordi de kan få større virkningsgrad i produksjonssystemene når det for eksempel brukes varmpumper. Også anlegg som utnytter spillvarme vil dra nytte av lav returtemperatur. Med en lavere returtemperatur kan en større grad av spillvarmen utnyttes. En spillvarmekilde som er seriekoblet med en biokjel kan i første trinn øke temperaturen fra 35 – 50 °C med spillvarme, mens biokjelen kan spisse temperaturen opp 70 °C i neste trinn.

Gevinstene ved høy ΔT i fjernvarmenettet er de samme som i sekundærnettet i bygget. En stor ΔT gir mindre vannmengder, bedre utnyttelse av varmeproduksjonsenheten og mindre pumpearbeid.

Lavere returtemperaturer i fjernvarmenettet gir lavere varmetap, billigere anlegg og mindre behov for isolasjon. Det vil også redusere termiske spenninger i rørettet. Ved en jevnere temperaturvariasjon langs rørledningene vil utmattingen av rørene og skjøtene reduseres. Faren for lekkasje vil reduseres og det gir reduserte vedlikeholdskostnader.

Ved bruk av tappevannsløsningen bruker hvert bygg mindre vann. Det vil være positivt for kapasiteten i primærnettet til fjernvarme. For et nytt fjernvarmeområde kan utstrakt bruk av tappevannsløsningen bety at rørdimensjonene kan reduseres fra starten. I et allerede lagt fjernvarmenett kan vannmengden reduseres og medføre besparelser i pumpearbeid eller kan gjøre at det blir større kapasitet i nettet. Dersom fjernvarmenettet er nær fullt belastet, kan det kobles på flere bygg på samme nett dersom de benytter seg av tappevannsløsningen. Det vil øke kapasiteten ved bedre vannavkjøling og ikke kreve særlig større vannmengde.

Kristiansand er i sterk vekst og det antas en økning på 4000 nye leiligheter i bykjernen de neste 10 årene. I bykjernen, Kvadraturen, hvor fjernvarmens distribusjonsnett allerede er gravd ned i gata kan det føre til kapasitetsmangel dersom det bygges tradisjonelle vannbårne anlegg. Ved å sette krav om å benytte ny tappevannsløsning kan en unngå å legge nye rør.

Dersom de nye leilighetene har et gjennomsnittlig oppvarmingsbehov på 3 kW tilsvarer det en økning i varmelast på 12 000 kW totalt. Fjernvarmenettet i Kristiansand må derfor heve effekten på nettet med 12 000 kW ved T_{DUT} .

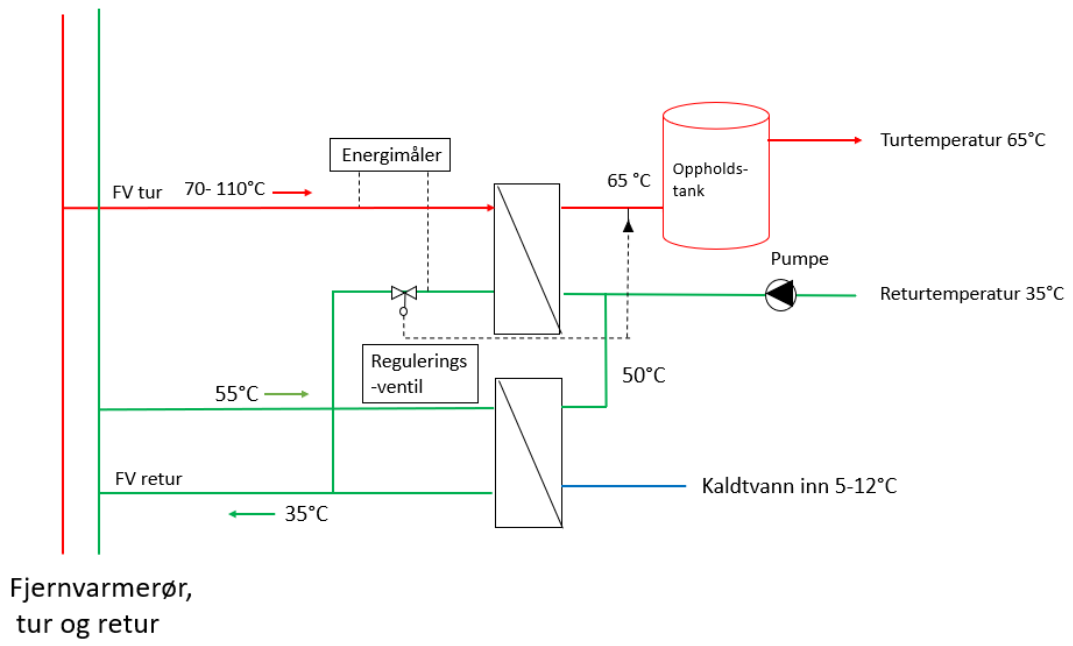
Ved T_{DUT} er turtemperaturen i fjernvarmenettet i Kristiansand cirka 110 °C. Ved å bruke tappevannsløsningen som gir høyere ΔT kan vannmengden til de nye leilighetene reduseres med 20-33% i forhold til tradisjonell løsning der returtemperaturen er cirka 55 °C.

	<i>Behov</i> [kW]	<i>Tur</i> [°C]	<i>Retur</i> [°C]	<i>Vann- mengde</i> [l/s]	<i>Prosentvis Økning</i> [%]
<i>Tradisjonell løsning med dårlig ΔT</i>	12 000	110	60	57,3	33 % mer vann enn for tappevannsløsningen
<i>Tradisjonell løsning med god ΔT</i>	12 000	110	50	47,8	20 % mer vann enn for tappevannsløsningen
<i>Tappevannsløsning</i>	12 000	110	35	38,2	

Tabell 2: Mulig besparelse i vannmengde på fjernvarmenettet ved bedre ΔT

To-trinnsveksling med returvann fra fjernvarmenettet

Om kapasiteten i et ferdig utbygd område blir anstrengt kan en med tappevannsløsningen utnytte restvarmen i returrøret for fjernvarme. Dersom temperaturen i returrøret i fjernvarmenettet er for eksempel 55 °C, som ofte er tilfellet i fjernvarmenett [33] [27] kan dette utnyttes ved at returvannet kan veksles mot sirkulasjonsledningen i tappevannsløsningen. På den måten kan returvannet fra fjernvarmenettet heve temperaturen med rundt 15 °C (fra 35 til 50 °C). Det krever at det legges et ekstra fjernvarmerør i tillegg til vanlig tur- og returrør til bygget. Vannmengden for ettervarming med vanlig turvann reduseres vesentlig da dette bare skal heve temperaturen fra 50 til 65 °C. Se Figur 27 for prinsippskisse.



Figur 27: Prinsippskisse for to-trinnsveksling med returrør fra fjernvarme

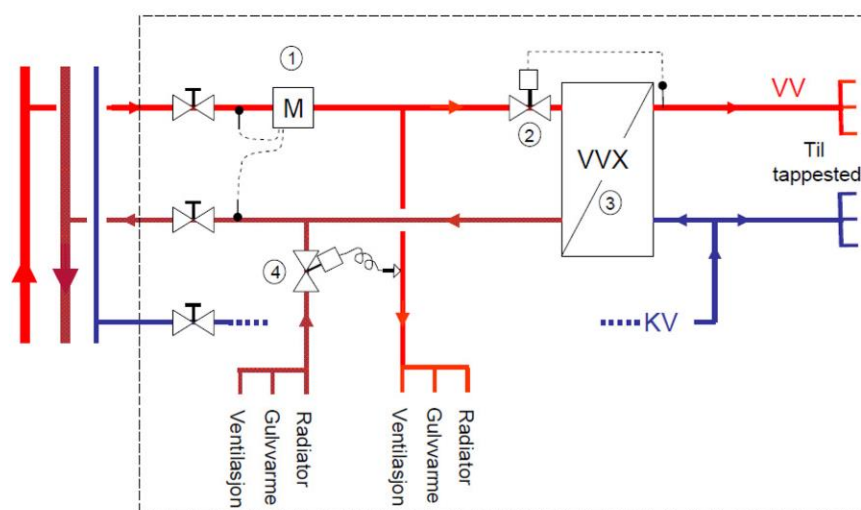
3.2 Varmeløsningen

I 2009 ga Sintef ut veilederen «Forenklet anlegg for vannbåren oppvarming av boliger» [45]. I veilederen vurderes muligheten for å redusere de tekniske installasjonene på sekundærnettet når varmebehovet reduseres på grunn av bedre og tettere bygninger. Veilederen beskriver en forenklet løsning hvor en har fjernet hele tappevannskretsen. I denne oppgaven refereres denne løsningen som varmeløsningen.

Hver leilighet forsynes kun med varmt vann i varmekretsen og kaldt byvann. I hver leilighet er det en fordelingssentral som produserer varmt tappevann ved hjelp av en varmeveksler. Varmeveksleren veksler vann fra varmekretsen og produserer varmt tappevann.

Kravene i TEK17 gir noen utfordringer for denne løsningen. Tappevannet må ha en temperatur på 65°C for å hindre bakterier, mens kravet til lavtemperatur varmesystemer er maksimal vanntemperatur på varmekretsen på 60 °C. Det kan derfor være nødvendig med andre sikkerhetstiltak for å sikre bakteriefritt tappevann. Det er mulig å hindre bakterievekst ved å ha UV-filter i kaldtvannstiltaket [40].

Fordelen med varmeløsningen er at sekundærnettet er en lukket krets som gjør at driftsforholdene for pumpa er mer jevn. Ulempen er at varmekretsen må driftes kontinuerlig. I leilighetsbygg skal ventetid for tilgang på varmt tappevann ikke overstige 10 sekunder. For å varme byvannet fra 5-12°C opp til ønsket tappevannstemperatur må det sirkuleres mye vann i varmekrets gjennom hele året. Anbefalt tappevannstemperatur er 55°C [46].



Figur 28: Prinsippkisse av varmeløsningen [45]

Laboratorieforsøk viser at tapping av tappevann ikke har betydning for varmeavgivelsen til leiligheten på grunn av termisk treghet i vannbårne systemer [45]. Når det ikke er tapping av varmtvann i leilighetene, brukes det varme vannet til romoppvarming.

I dag er det flere bygg i Kristiansand som benytter denne løsningen. I resultatdelen legges det fram måledata fra to av disse byggene.

3.3 Kostnader for vannbårne løsninger

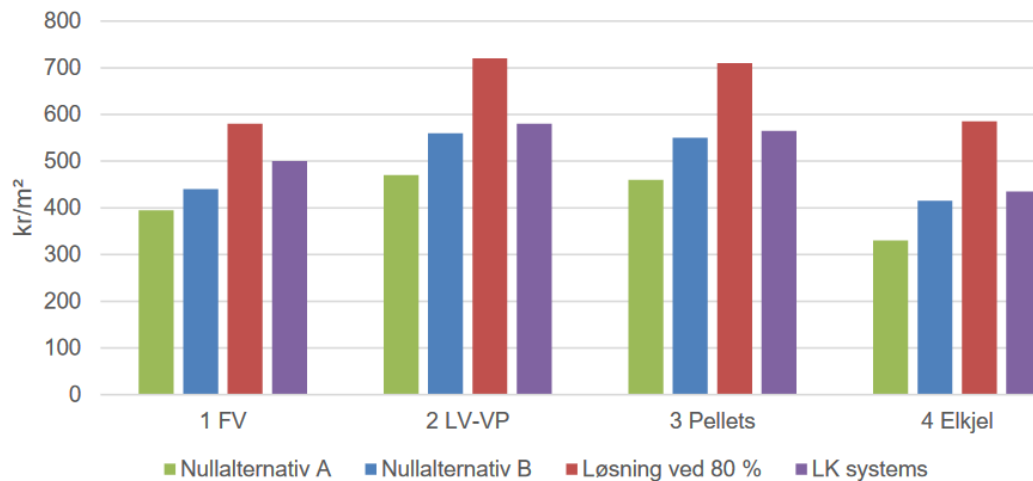
Tappevannsløsning er antatt å gi betydelig besparelser i investering og driftskostnader. Først og fremst fordi løsningen reduserer behov for komponenter og utnytter energien i høy temperatur tappevann.

Asplan Viak har kartlagt kostnadene for å investere i vannbårne anlegg gitt dagens TEK. De har også gjort en konsekvensutredning for hvordan kostnadene vil endre seg dersom kravet til energifleksibilitet øker fra 60 % til 80 %. De mener kriterier for valg av oppvarmingsløsning baseres på hvordan det kan bygges billigst mulig, samtidig som minimumskravet til energifleksibilitet overholdes [47].

I kartleggingen har de vurdert kostnader ved fire ulike scenarier hvor 60 % - kravet er overholdt.

- Nullalternativ A (grønn), hvor det er elektrisk rom- og ventilasjonsoppvarming og sentral vannbåren tappevannsoppvarming
- Nullalternativ B (blå), hvor det er sentral vannbåren tappevannsoppvarming og hvor 25 % av romoppvarmingsbehovet er vannbårent, resterende 75 % er elektrisk oppvarmet
- Løsning ved 80 % (rød), hvor det er 100 % energifleksibel løsning for både tappevann og vannbåren oppvarming
- LK systems/tappevannsløsningen (lilla), hvor det er 100 % energifleksibel løsning med ny tappevannsløsning på oppvarming

Figur 29 viser kostnader per kvadratmeter for de fire scenariene som Asplan Viak har vurdert ved bruk av ulike energikilder.



Figur 29: Kostnader mer m^2 for alternative scenarioer av vannbåren varme, [20]

Nullalternativ A (grønn søyle), som kun er energifleksibel på tappevann, gir en investeringskostnad på 390 – 470 kr/ m^2 . Nullalternativ B (blå søyle), som er energifleksibelt på tappevann og på 25 % av romoppvarmingsbehovet, gir en investeringskostnad på 410 – 560 kr/ m^2 .

De to siste løsningene er 100 % energifleksible. Den røde søylen viser investeringskostnaden for en tradisjonell vannbåren løsning. Kostnaden for dette avhenger av energikilden, men varierer fra 590 - 710 kr/ m^2 . Den lilla søylen (LK systems) viser investeringskostnaden for tappevannsløsningen. Kostnaden vil da ligge mellom 415 – 580 kr/ m^2 .

Fra denne kartleggingen går det frem at det vil koste 6-19 % mer å gå fra en direktevirkende elektrisk oppvarmingsløsning til tappevannsløsningen. Fordelen med tappevannsløsningen er at den vil overholde energifleksibilitetskravet i TEK også dersom det heves fra 60 % til 80 %.

Kostnadene varierer avhengig av hvilken energikilde som er valgt. Kostnaden avhenger av installasjonskostnaden til kilden, driftskostnadene og forsyningssikkerheten. En el-kjel er billig å kjøpe, men dyr å drifte. En varmepumpe eller pellets-kjel er dyrere å kjøpe, men billigere i drift. Det er kun ved tilkobling til fjernvarme en ikke trenger annen spisslast.

4 Metodikk for modellering og analyse av sekundærnett i leilighetsbygg ved overgang til tappevannsløsningen

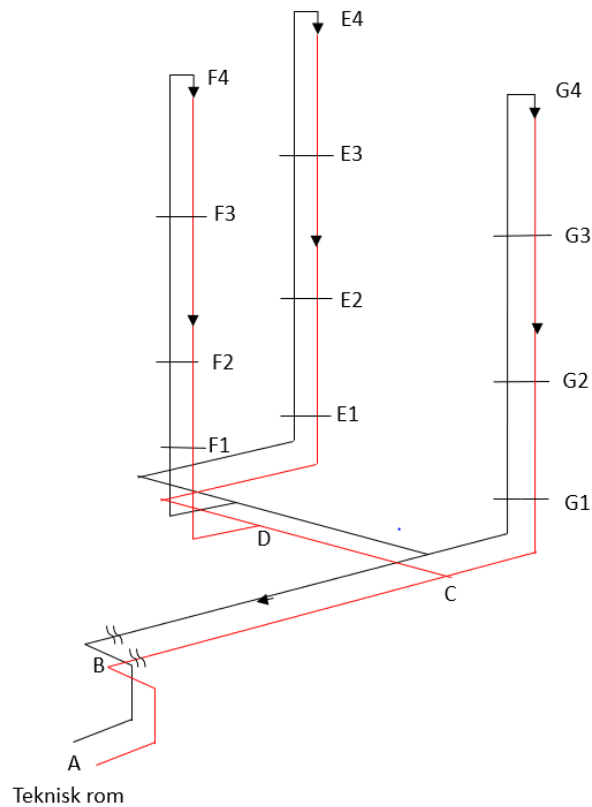
I kapittel 4 beskrives den metodiske fremgangsmåte for modellering og sammenligning av vannbårne varmeløsninger i leilighetsbygg. Kapittelet er to-delt. Kapittel 4.1 beskriver et eksempelbygg med tekniske parametere som gjør det mulig å sammenligne et tradisjonelt vannbåret varmeanlegg med tappevannsløsningen. I kapittel 4.2 introduseres leilighetsbyggene i Kristiansand hvor det er hentet måledata fra. Leilighetsbyggene har ulike oppvarmingsløsninger installert og gir derfor godt grunnlag for å gjøre sammenligninger.

4.1 Modell for eksempelbygg

Det er gjort en modellering av et eksempelbygg bestående av 12 leiligheter. Et slikt bygg vil være i den nedre del av størrelsesområdet ($>1000 \text{ m}^3$) som har krav om energifleksibel oppvarmingsløsning etter TEK 17. Det er forventet at tappevannsløsningen vil prosjekteres og driftes likt også i større bygg, tappevannsløsningen medfører ingen begrensinger eller andre behov ved å øke antall leiligheter. Tilsvarende vil det ikke være noen vesentlige endringer i den tradisjonelle løsningen med økning av antall leiligheter. Eksempelbygget antas å gi et representativt resultat for sammenlikningen av tappevannsløsningen og den tradisjonelle løsningen.

Det er forutsatt at alle leilighetene i eksempelbygget har vannbåren gulvvarme. Nødvendig vannmengde i sekundærnettet til leilighetsbygget ble beregnet som grunnlag for å prosjektere både tappevannsløsningen og den tradisjonelle løsningen. Hensikten er å bruke eksempelbygget som basis for å undersøke om tappevannsløsningen gir besparelsen i rørnett, varmetap, vannmengder, pumpearbeid, energibruk og kostnader i fht den tradisjonelle løsningen.

Eksempelbygget er et leilighetsbygg med tre leiligheter fordelt på fire etasjer. Totalt areal er 1356 m^2 . Det valgt å ha lik planløsning i alle etasjer. I hver etasje er de tre leilighetene på henholdsvis 94 m^2 , 115 m^2 og 128 m^2 . Det er ikke beregnet varmebehov i fellesarealer og garasjeanlegg. En prinsippskisse av sekundærnettet til eksempelbygget er vist i Figur 30.



Figur 30: Prinsippskisse av sekundærnett til eksempelbygg

- Hovedledning er angitt av rørstrekk A-C, C-D
- Stikkledning er angitt av rørstrekk D-E4, C-G4 og D-F4
- Turledning er vist i svart
- Sirkulasjonsledning er vist i rødt

4.1.1 Vannmengde og varmebehov

Ved prosjektering av det vannbårene anlegget er det først kartlagt varme og tappevannsbehov for hver leilighet. Varmebehovet ble satt til 30 W/m² som tilsvarer høy bygningsstandard, ref. kapittel 2.2. [9].

<i>Leilighet</i>	<i>m²</i>	<i>W/m²</i>	<i>kW</i>
<i>E1</i>	128	30	3,84
<i>E2</i>	128	30	3,84
<i>E3</i>	128	30	3,84
<i>E4</i>	128	30	3,84
<i>F1</i>	115	30	3,45
<i>F2</i>	115	30	3,45
<i>F3</i>	115	30	3,45
<i>F4</i>	115	30	3,45
<i>G1</i>	96	30	2,88
<i>G2</i>	96	30	2,88
<i>G3</i>	96	30	2,88
<i>G4</i>	96	30	2,88
<i>Sum</i>	1356 m ²		40,68 kW

Tabell 3: Beregnet varmebehov i eksempelblokk

Tappevannsbehovet er funnet ved å summere normalvannmengdene fra «Standard abonnementsvilkår for vann og avløp» utgitt av Norsk Vann [28]. Normalvannmengden for varmtvann til en dusj er for eksempel 0,2 l/s. Leilighetene har 2 dusjer og 3 eller 4 vasker.

<i>Leilighet</i>	<i>Dusj, 0,2 l/s</i>	<i>Vask, 0,2 l/s</i>	<i>Normalvannmengde l/s</i>
<i>E1</i>	2 · 0,2	4 · 0,2	1,2
<i>E2</i>	2 · 0,2	4 · 0,2	1,2
<i>E3</i>	2 · 0,2	4 · 0,2	1,2
<i>E4</i>	2 · 0,2	4 · 0,2	1,2
<i>F1</i>	2 · 0,2	3 · 0,2	1,0
<i>F2</i>	2 · 0,2	3 · 0,2	1,0
<i>F3</i>	2 · 0,2	3 · 0,2	1,0
<i>F4</i>	2 · 0,2	3 · 0,2	1,0
<i>G1</i>	2 · 0,2	4 · 0,2	1,2
<i>G2</i>	2 · 0,2	4 · 0,2	1,2
<i>G3</i>	2 · 0,2	4 · 0,2	1,2
<i>G4</i>	2 · 0,2	4 · 0,2	1,2

Tabell 4: Beregnet normalvannmengde i eksempelblokk

Leilighetsbygget har en samlet normalvannmengde på 13,6 l/s. Når alle tappestedene er summert brukes prosjekteringstabell vist i

Tabell 5 for sannsynlig samtidig vannmengde [48]. Sannsynlig samtidighet for hele leilighetsbygget er 1,1 l/s.

<i>Sum normalvannmengde [l/s]</i>	<i>Samtidighet [l/s]</i>
12,0	1,06
12,5	1,08
13,0	1,1
13,5	1,11
14,0	1,13
14,5	1,15
15,0	1,17

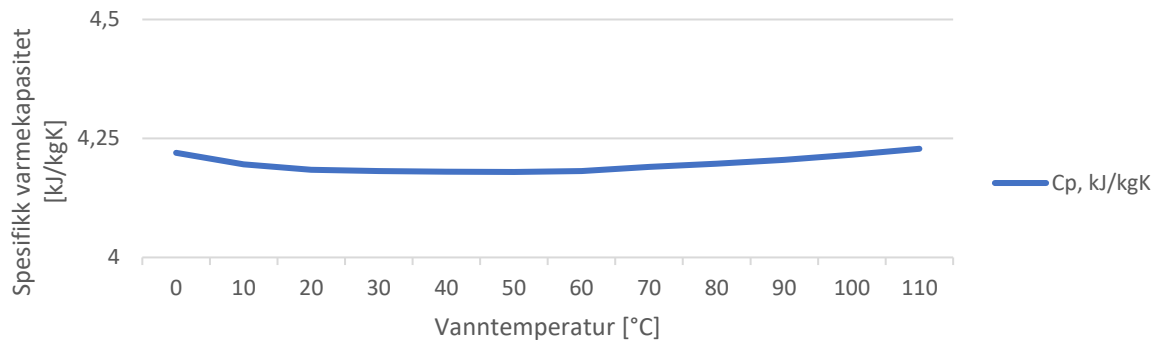
Tabell 5: Prosjekteringstabell sannsynlig samtidig tappevannsmengde [48]

Med utgangspunkt i varmebehovet til hver leilighet prosjekteres røranlegget. Massestrømmen i hvert rørstrekk finnes av ligning for varmebehov.

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \text{ [kWh]}$$

- \dot{Q} – varmebehov [kW]
- ΔT – Temperaturdifferanse mellom tur- og returledning [K]
- \dot{m} - Massestrøm [kg/s]
- c_p - Spesifikk varmekapasitet [4,185 kJ/kgK]

For å dekke varmebehovet, \dot{Q} , må det sirkuleres en gitt mengde vann, \dot{m} , med en gitt ΔT . c_p er den spesifikke varmekapasiteten til vann. I de fleste tilfeller settes denne verdien lik 4,2 kJ/kgK fordi varmekapasitet til vann mellom 0 og 110 °C varierer med mindre enn 0,5 % [49].

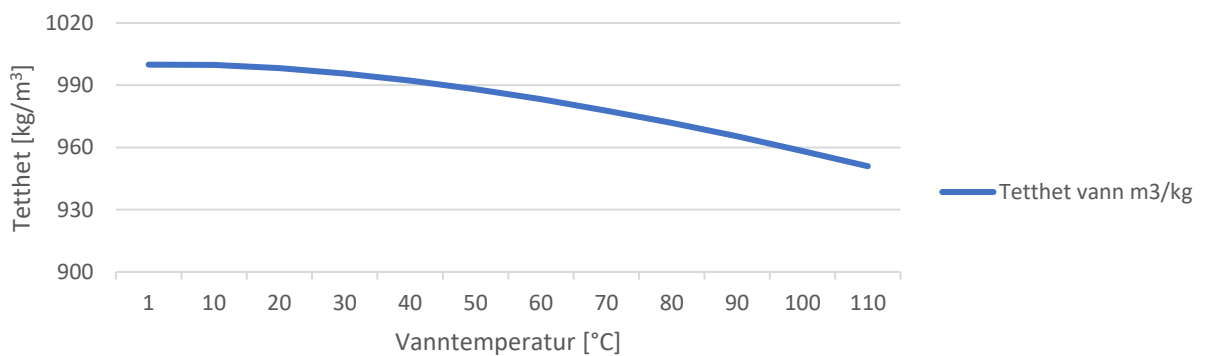


Figur 31: Variasjon i spesifikk varmekapasitet for vann

Når vannmengdene og varmebehovet er kjent kan røranlegget dimensjonere. For å finne rørdiametrene benyttes volumstrømmen fremfor massestrømmen. Volumstrømmen angir hvor mange kubikk vann som må fraktes per sekund. Volumstrømmen er gitt ved formel:

$$\dot{V} = \frac{\dot{Q}}{\rho \cdot c_p \cdot \Delta T} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

- ρ - tetthet for vann [$1000 \text{ kg}/\text{m}^3$]



Figur 32: Variasjon i vannets tetthet

Tettheten til vann anslås også å være konstant. Avviket mellom 10-110 °C er på 3%. I vannbårne anlegg er temperaturen sjelden høyere enn 70 °C og det benyttes derfor konstant tetthet for vann lik $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$ [49].

Når volumstrømmen er kjent kan det lages sammenheng mellom vannhastighet, v , og den indre rørdiameteren, Di . Maksimal hastighet på volumstrømmen bør holdes 0,5-2 m/s for å unngå strømningsstøy fra rørene i leilighetsbygget [38].

$$v = \frac{\dot{V}}{A} \quad [\text{m/s}]$$

Arealet til for en sirkel er gitt ved formelen:

$$A = \frac{\pi R^2}{2} [\text{m}]$$

Ved å sette hastigheten lik 1 m/s kan formelen omformuleres som vist i ligning.

$$Di = \frac{\sqrt{\dot{V}}}{\pi \cdot v} \cdot 4 \quad [\text{m}]$$

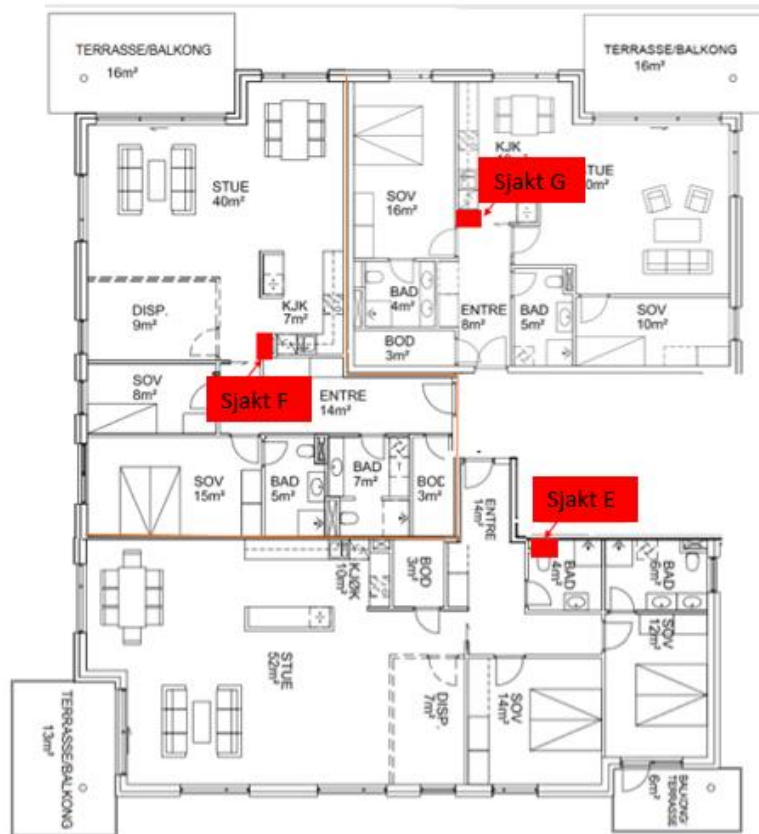
- Di - rørets indre diameter [m]

Ved valg av rørdiameter velges nærmeste standard rørdimensjon, kalt nominell diameter (DN). I produktblader for gjeldene rørtype kan en slå opp indre og ytre diameter. For å ikke få problemer med støy på grunn av for store vannhastigheter kan det være fornuftig å dobbeltsjekke vannhastighetene med nominelle diameter.

$$v = \frac{4 * \dot{V}}{\pi * Di^2}$$

Rørtypen som er valgt i eksempelbygget er kobberrør. Kobberrør er valgt på grunn av lav kostnad og god kvalitet.

Når røranlegget er dimensjonert er rørene lagt i tre sjakter som vist i Figur 33



Figur 33: Plantegning av leiligheter i eksempelbygg med sjakter og tappepunkter

Vannmengdene og varmebehovet som ble funnet for rørstrekene for tappevannsløsningen og for tradisjonell løsning er tegnet manuelt inn i PowerPoint. I resultatdelen er vannmengden for å dekke varmebehov lagt til på prinsippskissen i Figur 28.

4.1.2 Varmetapsberegning

I dette kapitlet blir fremgangsmåten for beregning av varmetapet i sekundærnett presentert. Det er valgt samme isolasjonsklasse for begge løsningene etter veiledning fra produktkatalogen til Glava [36]. Isolasjonstykkelsene er gitt etter anbefalinger i Varmenormen.

I leilighetsbygg med kontinuerlig gjennomstrømming av varmt tappevann gjennom året, vil det være et kontinuerlig varmetap. Varmetapet oppstår fordi det er høyere temperatur på det varme tappevannet enn omgivelsestemperaturen. For å beregne varmetapet må en beregne tapet gjennom rørveggen og gjennom isolasjonen. U-verdien til de ulike sjiktene gjennom røret bestemmes av:

$$U = \frac{\pi}{\frac{1}{D_i \cdot \alpha_i} + \sum \frac{1}{2 \cdot \lambda} \cdot \ln\left(\frac{D_2}{D_1}\right) + \frac{1}{D_y \cdot \alpha_y}}$$

- λ : 0,033 W/mK. Konduktiv varmeledningsevne hentet fra produktblad fra Glava
- α_i : 7,7 W/m²K, Indre konvektiv varmeovergangskoeffisient
- α_y : 25 W/ m²K, Ytre konvektiv varmeovergangskoeffisient
- D_i : rørets indre diameter
- D_y : Yre diameter på isolasjon
- D_1 : Indre diameter for aktuelt sjikt
- D_2 : Ytre diameter for aktuelt
- Varmeledning for kobberrør: 390 W/mK

Når U-verdien gjennom røret er kjent kan det totale varmetapet i rørstrekket beregnes. Varmetapet fra rørstrekket er gitt av formelen:

$$Q_{\text{tapt i rørstrekk}} = \sum \left(\frac{3,6}{1000} \right) \cdot U \cdot L \cdot (Trør - Tomg)$$

- U : Varmemotstand i isolasjonssjikt og rør, kalt U-verdi
- L : rørets lengde
- $Trør$: temperatur på mediet i røret
- $Tomg$: temperatur på omgivelsene, i bygg 20 °C

4.1.3 Trykktapsberegning og valg av pumpe

For å ta ut en optimalisert sirkulasjonspumpe til eksempelbygget må det gjøres en trykktapsberegning.

Trykktapsberegning

Det er mer komplisert å gjøre trykktapsberegning for tappevannsløsningen enn for den tradisjonelle løsningen fordi turrøret er dimensjonert etter tappevannsbehovet og har betydelig større dimensjon enn sirkulasjonsledningen som er dimensjonert etter varmebehovet. Vannmengden som er nødvendig til hvert vekslerskap er liten fordi temperaturdifferansen er stor og rørdimensjonene på sirkulasjonsledningen blir derfor små. Når det ikke er tapping i anlegget vil vannmengden i turledningen tilsvare vannmengden i sirkulasjonsledningen. Trykktapsberegning i tradisjonelle anlegg er mer forutsigbare fordi driftsforholdet stabile.

For både den tradisjonelle løsningen og tappevannsløsningen skal sirkulasjonspumpene tas ut for å overvinne trykktap frem til den ugunstige kretsen. I eksempelbygget er den ugunstige kretsen leiligheten E4.

Trykktapet i hver krets må regnes separat fordi rørdiameteren og vannhastigheten varierer i hvert rørstrekk. Friksjonstapet beregnes ved Hazan-Williams forenklete ligning [29]. For plast og kobberør er friksjonstapet gitt ved:

$$R = 3623 \cdot \dot{m}^{1,707} \cdot D_i^{(-4,646)} \text{ [Pa/m]}$$

Friksjonstapet per meter multipliseres med rørlengdene. Støttapene ble anslått etter ekvivalente lengder. Tapet over varmesentralen i teknisk rom ble etter råd fra muntlige kilde satt til 30 kPa [33]. Tapet over reguleringsventilen i leilighet E4 ble satt til 10 kPa for å sikre god ventilautoritet.

Når alle trykktapene i de ulike kretsen var summert ble det valgt sirkulasjonspumpe fra Grundfos sin produktside. I produktbladet står pumpas virkningsgrad som benyttes for å beregne pumpearbeidet. Pumpearbeidet kan avledes av Bernoullis ligning [34]

$$P = \left(\frac{\dot{m} \cdot g \cdot h}{\eta} \right)$$

- \dot{m} – massestrøm [l/s]
- g – jordas gravitasjon [9,81 m/s²]
- h – løftehøyden til pumpe [mVs]
- η – pumpas virkningsgrad

4.1.4 Investeringskostnader

Det er innhentet investeringskostnader for tappevannsløsningen og den tradisjonelle løsningen for kjøp av komponenter. Prisen for montasje er ikke lagt ved beregningen fordi det har vist seg vanskelig å få sammenlignbare kostnader fra utøvende rørleggere. Det er talt opp antall koblinger som må utføres for de to løsningene og det er laget en oversikt over alle rørstrekk, bend og komponenter som trengs i sekundærnettet i eksempelbygget. Videre er det innhentet kostnader for fordelerskap for rør-i-rør løsning og gulvvarmefordeler for tradisjonell løsning. I vekslerskapene fra LK-systems inngår fordeling for rør-i-rør og gulvvarmefordeling.

Tabell 6 viser komponentene for sekundærnettet for begge løsningene.

<i>Rørstrekk</i>	<i>Rør</i> [m]	<i>Bend</i> [ant.]	<i>Stengeventil</i> [ant]	<i>Reg.ventil</i> [ant]	<i>T-rør</i> [ant]	<i>Reduksjon</i> [ant]
<i>A-B</i>	4,5	4	1	0	0	0
<i>B-C</i>	5,5	0	1	0	0	0
<i>C-D</i>	6,3	0	1	0	1	1
<i>D-E</i>	7,3	1	1	0	0	1
<i>E1-E2</i>	1,3	0	0	0	1	0
<i>E2-E3</i>	2,9	0	0	0	1	0
<i>E3-E4</i>	2,9	0	0	0	1	0
<i>C-G</i>	1,3	0	1	0	0	1
<i>D-F</i>	1,8	0	1	0	1	0

Tabell 6; Oppsummering av nødvendige komponenter i sekundærnettet

Ved å bruke plantegningen vist i Figur 33 er det talt opp antall gulvvarmekurser og tappesteder. Leilighetene E1-E4 er 128 m² og har syv gulvvarmekurser. Fordelerne for rør-i-rør har seks varmtvannskurser og ti kaldtvannskurser.

Leilighetene F1-F4 er 115 m² og har syv gulvvarmekurser. Fordelerne for rør-i-rør har fem varmtvannskurser og ni kaldtvannskurser.

Leilighetene G1-G4 er 96 m² og har seks gulvvarmekurser. Fordelerne for rør-i-rør har seks varmtvannskurser og ti kaldtvannskurser.

Kostnadene er beregnet basert på prisene hentet fra grossist fratrukket rabatt på 48-51 % på veiledende pris ihht. anbefaling [49].

Tabell 7 viser kostnadene per komponenten for ulike rørdimensjoner. Det er brukt kobberør med mapress-skjøter for alle rør.

DN	Rør [kr/m]	Bend [ant]	Stenge- -ventil [ant]	Reg. -ventil [ant]	T-rør [ant]	Reduksjons -ventil [ant]	Nipler¹ [ant]	Isol. [kr/m]
12	70	29	154	673	59	24	174	36
15	85	35	152	673	55	24	192	55
20	100	43	227	772	61	27	203	56
25	154	85	272	979	124	72	283	56
32	244	172	396	1 207	204	84	549	95
40	297	333	684	1 489	344	142	707	100
50	385	458	975	1 945	517	186	788	137

Tabell 7: Kostnader per komponent for ulike rørdimensjoner

¹ Nipler til ventilfeite

Prisen for alle rørestrekkene er beregnet ved å summere alle komponentene og multiplisere med kostnadene i

Tabell 7.

For beregning av kostnader til installasjon i hver leilighet er det hentet priser fra grossist og antatt 48-51% rabatt på veiledende priser. En rabatt i denne størrelsesorden er vanlig for mellomstore rørleggerbedrifter [50]. For den tradisjonelle varmeløsningen er det benyttet priser fra Uponor og Geberit Mapress, som er to av flere leverandører, som har produkter som dekker

behovet. Kostanden for vekslerskapet som benyttes i tappevannsløsningen er oppgitt av LK-systems.

4.2 Måle og driftsdata fra bygg i Kristiansand

I kapittel 4.2 introduseres de seks byggene i drift i Kristiansand hvor det er innhentet måleresultater. Resultater fra målingene legges frem i kapittel 5. Alle byggene mottar fjernvarme fra hovednettet til Agder Energi Varme. Tre av byggene har tappevannsløsningen, et bygg har tradisjonell løsning og to bygg har varmeløsningen.

Tre av byggene er en del av pilotprosjektet til Agder Energi Varme, mens tre av byggene er ikke det.

4.2.1 Bygg-portefølje for måleresultater

Bygg 1 – Tappevannsløsning (Kasernehagen)

Pilotprosjekt 2 var Kasernehagen. Bygget ble ferdigstilt våren 2016 [51]. Bygget består av 26 leiligheter hvor tappevannsløsning er montert med vannbåren gulvvarme i hver leilighet. Agder Energi Varme mener prosjektet er godt utført og anlegget fungerer tilfredsstillende. Kasernehagen er det første prosjektet hvor løsningen har blitt industrialisert ved at vekslerskap ble levert direkte til byggeplass og montert over sisternene på baderommene i hver leilighet. Varmesentralen tar liten plass og det har ikke vært problemer med driften av det vannbårne anlegg. Det er direkte varmeveksling med en oppholds-tank for legionellasikring. Utførende part var Moi Rør.



Figur 34: Fotografi bygg 1 (Kasernehagen) [47]

Bygg 2 – Tappevannsløsning (Q42)

Pilotprosjekt 3 er Q42. Q42 ligger i bykjernen i Kristiansand og ble ferdigstilt november 2016 [52]. Bygget består av et helt kvartal med et totalt areal på 23 000 m². Bygget består av to deler, en del med konferanse- restaurant- og næringsliv og en leilighetsdel med i 68 leiligheter i toppetasjene. Det vannbårne anlegget er adskilt for de to delene.



Figur 35: Fotografi av bygg 2 (Q42) [48]

Næringslivsdelen bruker tradisjonell løsning for oppvarming og det er ikke hentet måledata for denne delen. Leilighetsdelen bruker tappevannsløsningen med vannbåren gulvvarme i leilighetene. Årsaken til at tappevannsløsningen ble valgt var i utgangspunktet plassmangel. Arkitektene hadde lagt inn for små sjakter for et tradisjonelt anlegg. Det sies at det ble spart 1,5 km rør ved å erstatte tradisjonell rørføring med tappevannsløsningen. Vekslerskapet er plassert over sisternen på baderoommene. Det er direkte varmeveksling for tappevann, men med en oppholds-tank for legionellasikring og sikkerhet [53]. Moi Rør var utførende rørlegger.

Bygg 3 – Tappevannsløsning (nybygg)

Bygg 3 er et nybygg som ligger i Kristiansand. Bygget sto innflytningsklart i desember 2017. Bygget består av 21 leiligheter fra 40 – 175 m² samt en kontordel i 1.etg. Alle leilighetene har tappevannsløsning med vannbåren gulvvarme. I trappeoppgang og fellesareal er det gulvvarme og en radiator. Varmebatteriet for ventilasjonsanlegget er også tilknyttet tappevannskursen med en egen varmeveksler.

Bygg 4 – Varmeløsning (Sintef)

Etter at Sintef i 2009 ga ut veilederen hvor de presenterte en forenklet løsning for vannbåren varme har løsningen blitt forsøkt ut flere steder på Vestlandet. Løsningen er også prøvd ut i noen bygg i Kristiansand. I resultatdelen er det brukt måledata fra et av bygningene for å sammenligne løsningen med tradisjonell og tappevannsløsningen. Bygget består av 21 leiligheter med vannbåren gulvvarme. Bygget holdes anonymt fordi det ikke har vært en del av pilotprosjektet.

Bygg 5 – Varmeløsning (Kuholmsveien)

Pilotprosjekt 1 var Kuholmsveien og sto ferdig i 2015. Agder Energi Varme bidro sammen med entreprenør til å forsøke ut varmeløsningen fra Sintef. Vaske- og oppvaskmaskiner er koblet mot varmt tappevann. Alle leilighetene har vannbåren gulvvarme. Bygget fikk byggepris for innovasjon og nytenkning. I juryens bedømming ble det sagt følgende:



Figur 36: Fotografi bygg 5 (Kuholmsveien) [50]

«Årets prisvinnere har tilført både byggebransjen, lokalsamfunnet og regionen betydelige verdier. Arbeidet fremstår som innovativt og bærekraftig innen sitt felt» [54].

Bygg 6: Tradisjonell løsning (Kasernen)

Bygg 6 er Kasernen og er nabobygget til bygg 1 (Kasernehagen). Disse to byggene ligger rett ved siden av hverandre slik at turtemperaturen fra Agder Energi Varme er lik. Det gir gode sammenligningsmuligheter mellom tradisjonell og tappevannsløsning. Bygget er et rehabilitert militærbygg bestående av 68 små leiligheter. Bygget sto innflytningsklart våren 2015. Hver leilighet har vannbårne radiatorer. Moi Rør har vært utførende rørlegger.

4.2.2 Innhenting av erfaringer

Det er innhentet erfaringer fra to rørleggerfirmaer som begge har montert tappevannsløsningen for å kartlegge sider ved montering, drift og vedlikehold. Erfaringene er hentet i møter og telefonsamtaler, samt ved befaring i teknisk rom og leiligheter. Det er også innhentet erfaringer fra en rørleggebedrift vedrørende kostnader for prosjektering og montering av vannbårne oppvarmingsløsninger.

For å undersøke driftssikkerheten for vekslerskapene er det diskutert direkte med LK-systems som er Norges største leverandør av vekslerskap.

Erfaringer rundt kostnader for pilotprosjektene er hentet i samarbeid med Agder Energi Varme og LK-systems.

I oppgaven er det gjennomført vannprøver for flere av byggene i Kristiansand for å kartlegge om vannet inneholder problematiske mengder av kalk eller legionella. Vannprøvene er gjort i samarbeid med Kristiansand Vannlab. Det er gjort prøver med desinfiserte prøvetagningsglass. Prøvene ble kjørt direkte til vannlaben etter prøvetagningen. Det ble tatt vannprøver fra to bygg med tappevannsløsning. I hvert bygg ble det tatt vannprøve av kaldt og varmt tappevann, samt at det ble tatt en vannprøve i et av vekslerskapene (tertiærkretsen).

5 Resultater

I kapittel 5 presenteres resultater fra modelleringen av eksempelbygg og måledata fra byggene i Kristiansand. I kapittel 5.1 presenteres av resultater fra eksempelbygget antatt tappevannsløsning og antatt tradisjonell løsning for å sammenligne og kartlegge egenskaper ved tappevannsløsningen. I kapittel 5.2 presenteres resultater fra måledata på byggene i Kristiansand.

5.1 Resultat for eksempelbygg

Alle analyser og resultater i kapittel 5.1 er basert på prinsippskissen Figur 30, plantegning, Figur 33 og beskrivelsene i kapittel 4.1 av varmebehov, sannsynlig samtidig tappevannsmengde og antatt vannhastighet.

5.1.1 Rørdimensjoner i eksempelbygg

I Tabell 8 viser vannmengdene og rørdimensjonene for tappevannsløsningen. Eksakte rørdimensjoner og vannhastigheter ligger i vedlegg.

Rørstrekk	m	Tappevann tur [l/s]	Varme tur [l/s]	Total l/s tur	DN	l/s Sirl.- ledning	DN
A-C	10	1,11	0,32	1,43	40	0,32	20
C-D	6,3	0,93	0,23	1,16	40	0,23	20
D-E	7,3	0,73	0,12	0,85	32	0,12	15
E1-E2	1,3	0,66	0,09	0,75	25	0,09	15
E2-E3	2,9	0,58	0,06	0,64	25	0,06	15
E3-E4	2,9	0,47	0,03	0,50	25	0,03	15
C-G	1,3	0,73	0,09	0,82	32	0,09	15
G1-G2	1,3	0,66	0,07	0,73	25	0,07	15
G2-G3	2,9	0,58	0,05	0,63	25	0,05	15
G3-G4	2,9	0,47	0,02	0,49	25	0,02	15
D-F	1,8	0,68	0,11	0,79	25	0,11	15
F1-F2	1,3	0,62	0,08	0,70	25	0,08	15
F2-F3	2,9	0,55	0,05	0,60	25	0,05	15
F3-F4	2,9	0,45	0,03	0,48	25	0,03	15

Tabell 8: Rørdimensjoner og vannmengde for tappevannsløsningen

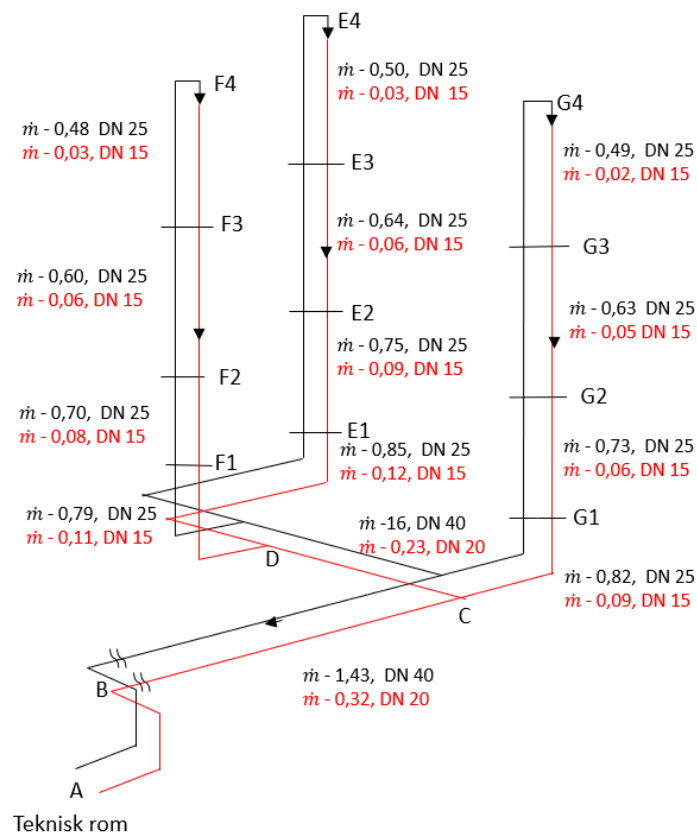
Tabell 9 viser vannmengdene og rørdimensjonene for den tradisjonelle løsningen.

Rørstrekk	m	Tappevann		Sirk. Led		Varme tur		Varme retur	
		tur [l/s]	DN	DN	DN	tur [l/s]	DN	retur [l/s]	DN
A-C	10	1,11	32	0,06	15	1,94	40	1,94	40
C-D	6,3	0,93	32	0,04	15	1,39	40	1,39	40
D-E	7,3	0,73	25	0,02	15	0,73	25	0,73	25
E1-E2	1,3	0,66	25	0,01	15	0,55	25	0,55	25
E2-E3	2,9	0,58	25			0,37	20	0,37	20
E3-E4	2,9	0,47	25			0,18	20	0,18	20
C-G	1,3	0,73	25	0,02	15	0,55	25	0,55	25
G1-G2	1,3	0,66	25	0,01	15	0,41	20	0,41	20
G2-G3	2,9	0,58	25			0,28	20	0,28	20
G3-G4	2,9	0,47	25			0,14	20	0,14	20
D-F	1,8	0,68	25	0,02	15	0,66	25	0,66	25
F1-F2	1,3	0,62	25	0,01	15	0,49	25	0,49	25
F2-F3	2,9	0,55	25			0,33	20	0,33	20
F3-F4	2,9	0,45	25			0,16	20	0,16	20

Tabell 9: Rørdimensjoner og vannmengde for tradisjonell løsning

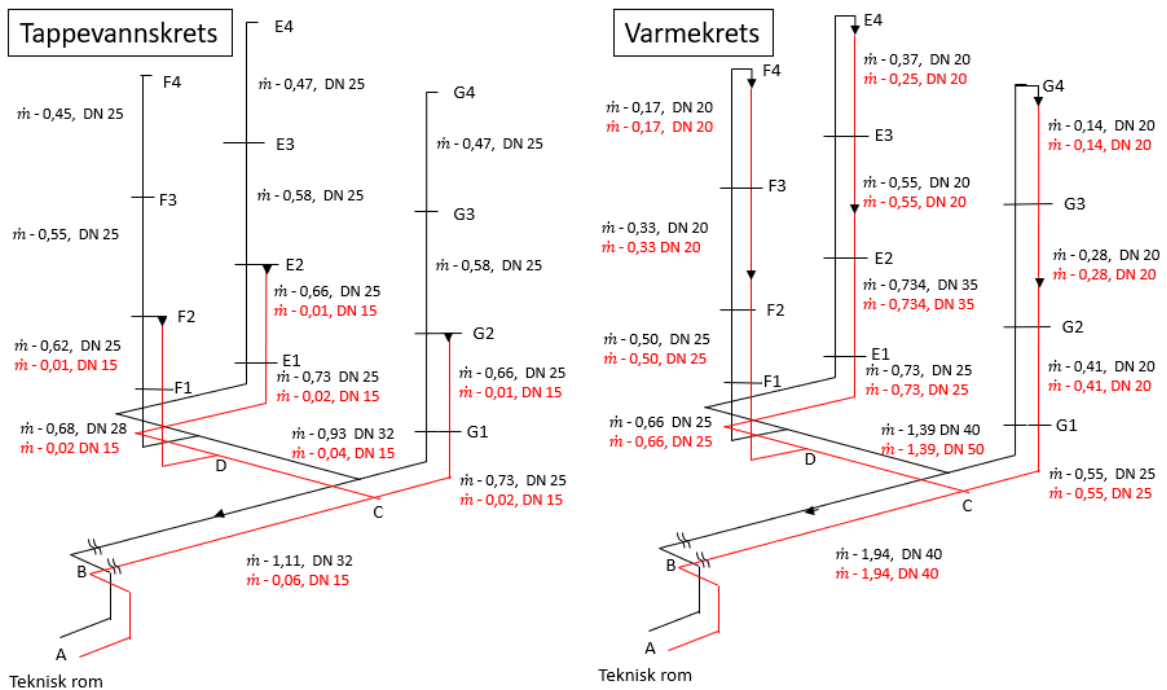
Den totale vannmengden som sirkuleres i turledningen for tappevannsløsningen og som dekker både oppvarming og tappevannsbehovet ved T_{DUT} er 1,43 l/s i hovedledningen (rørstrekk A-C). I den tradisjonelle løsningen må det sirkuleres 1,11 l/s for tappevann og 1,94 l/s for oppvarming, totalt 3,05 l/s i hovedledningen (rørstrekk A-C) ved T_{DUT} og dimensjonerende tappevannsmengde. Det gir en reduksjon i total vannmengde på 53 %. Tappevannsløsningen kan dekke varmebehovet i eksempelbygget ved å øke vannmengden i den tradisjonelle tappevannkretsen bare med 23% ved T_{DUT} .

I Figur 37 vises rørskjema for tappevannsløsningen. Hovedledningen på sekundærnettet har en dimensjon på DN 40. Turledningen er i svart farge og sirkulasjonsledning i rød. For tappevannsløsningen går sirkulasjonsledningen helt opp til 4. etasje (E4, F4 og G4). Det er antatt at turtemperatur på 65°C og temperatur i sirkulasjonsledningen på 35°C.



Figur 37: Prinsippkisse av sekundærnett i eksempelbygget med tappevannsløsningen

Rørskjema for den tradisjonelle løsningen er vist i Figur 38. Rørskjema for tappevann er til venstre med sirkulasjonsledning i rødt. For den tradisjonelle løsningen er det antatt at det er tilstrekkelig at sirkulasjonsledningen går opp til 2.etasje (E2, F2 og G2). På høyre side er rørskjema for varmekretsen. For varmesystemet er turtemperaturen 35°C og returtemperaturen 30°C som gir DN 40 for både tur og returrøret på hovedledningene. For tappevann er turtemperaturen 65°C og temperaturen i sirkulasjonsledningen 63°C , det gir DN 32 på turlledningen og DN 15 på sirkulasjonsledningen.



Figur 38: Prinsippskisse av sekundærnettet i eksempelbygget med tradisjonell løsning

Ved å sammenligne rørrnettene ser en at antall rør er nært halvert i tappevannsløsningen. Hele varmekretsen til høyre i Figur 38 er fjernet.

Oppdimensjoneringen av turrøret fra tradisjonell tappevannskrets er fra DN 32 til DN 40 i tappevannsløsningen, samt at sirkulasjonsledningen må trekkes helt opp i øverste etasje. I stikkledningene i sjaktene opp til hver leilighet er dimensjonen den samme for tappevannsløsningen og den tradisjonelle varmekretsen.

Tabell 10 viser oppsummeringen av rørlengdene for tappevannsløsningen

Tappevannsløsning:

Turledning	48	m
Sirkulasjonsledning	48	m
Sum	96	m

Tabell 10: Rørlengder i eksempelbygget for tappevannsløsningen

Tabell 11 viser oppsummering av rørlengdene for den tradisjonelle løsningen.

Tradisjonell løsning:

Turledning, varme	48	m
Returledning, varme	48	m
Turledning, tappevann	48	m
Sirkulasjonsledning	33,5	m
Sum	177,5	m

Tabell 11: Rørlengder i eksempelbygget for tradisjonell løsning

Tappevannsløsningen gir en redusert rørlengde på 81,5 meter som tilsvarer en rørbesparelse på 46 %.

5.1.2 Varmetap

I Tabell 12 vises varmetapet i sekundærnett for tappevannsløsningen og den tradisjonelle løsningen ved T_{DUT} . For utregninger av varmetap for de to løsningene se vedlegg.

Rørstrekk	Tappevannsløsning		Tradisjonell tappevann		Tradisjonell varme	
	Tur [W]	Retur [W]	Tur [W]	Retur [W]	Tur [W]	Retur [W]
A-C	77	24	48	68	26	17
C-D	48	15	55	43	16	11
D-E	55	16	10	47	19	13
E1E2	10	3	21	8	3	2
E2-E3	21	6	21		7	5
E3-E4	21	6	10		7	5
C-G	10	3	10	8	3	2
G1-G2	10	3	21	8	3	2
G2-G3	21	6	21		7	5
G3-G4	21	6	13		7	5
D-F	13	4	10	12	4	3
F1-F2	10	3	21	8	3	2
F2-F3	21	6	21		7	5
F3-F4	21	6	21		7	5
Sum	360	109	303	203	119	79

Tabell 12: Oversikt over varmetap for rørstrekene i tappevannsløsning og tradisjonell løsning

Tappevannsløsning:

Turledning	360	W
Sirkulasjonsledning	109	W
Sum	469	W

Tabell 13: Varmetap i sekundærnett for tappevannsløsningen

Tradisjonell løsning:

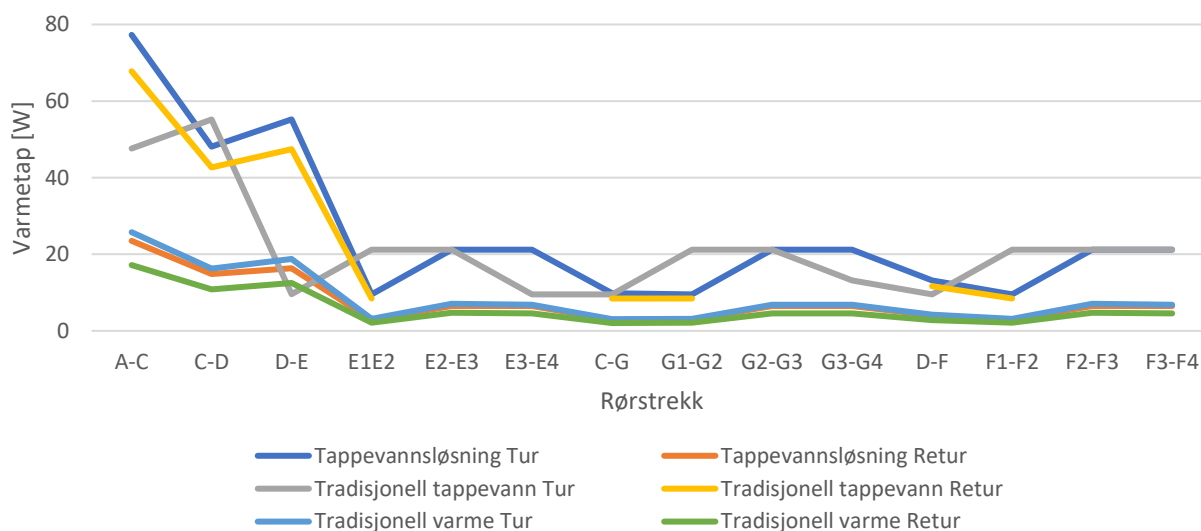
Turledning, varme	119	W
Returledning, varme	79	W
Turledning, tappevann	303	W
Sirkulasjonsledning	203	W
Sum	704	W

Tabell 14: Varmetap i sekundærnett med den tradisjonelle løsningen

Fra

Tabell 14 går det frem at varmetapet for tappevannsløsningen er 469 W ved T_{DUT} og maksimal samtidig vannmengde. For tradisjonell løsning er varmetapet 704 W ved samme driftsforhold. Til tappevannsløsningen i eksempelblokk reduseres varmetapet med 30 % i sekundærnett. Denne besparelsen vil gi lavere energikostnader for beboerne.

I Figur 39 er varmetapene i hvert rørstrekk ved T_{DUT} . Vanntemperaturen påvirker varmetapet i stor grad. Det er rørene med høyest temperatur som har størst varmetap. Rørdiameteren påvirker også varmetapet. I hovedledningen fra A til C med stor diameter er varmetapet størst, mens varmetapet avtar oppover i etasjene når diameteren reduseres. Varmetapet fra den tradisjonelle varmekretsen og sirkulasjonsledningen til tappevannsløsningen er lav som følge av lav temperatur på vannet (35°C).



Figur 39: Varmetap i rørstrekk for tappevannsløsningen og tradisjonell løsning

5.1.3 Trykktap og pumpearbeid

For å sammenlikne pumpearbeidet og sirkulasjonskostnadene i tradisjonell løsning i forhold til tappevannsløsningen må trykktapet for løsningene beregnes. For beregninger se vedlegg. Leiligheten E4 har den ugunstige kretsen og trykktapet over leiligheten blir dimensjonerende for hvilken løftehøyde pumpene må tas ut etter.

Tappevannsløsningen

Pumpa for tappevannsløsningen må overvinne trykktapet i røranlegget, varmesentralen og vekslerskapet i leilighet E4. Trykktapet i varmeveksler og komponenter er satt til 3 kPa og reguleringsventilen er gitt et trykktap på 10 kPa for å sikre god ventilautoritet. Trykktapet over varmesentralen er satt til 30 kPa [33].

<i>Trykktap</i>		
<i>Teknisk rom</i>	30	kPa
<i>Veksler i leilighet</i>	3	kPa
<i>Reguleringsventil</i>	10	kPa
<i>Rørsystem</i>	36	kPa
<i>SUM</i>	79	kPa

Tabell 15: Oppsummering av trykktap for tappevannsløsningen

Pumpa må overvinne et trykkfall på 79 kPa (7,9 mVs) med en vannmengde på 0,32 l/s for å sikre varmetilførselen til leilighet E4 ved T_{DUT} . En pumpe som passer godt til de driftsforutsetningene er Magna 25-80 fra Grundfos [43]. Driftsdata for pumpa ligger i vedlegg. Pumpevirkningsgraden inkludert tapene i motor og frekvensomformer er 29,4 %

Pumpearbeidet for sirkulasjonspumpa i tappevannsløsningen er:

$$P = \frac{0,32 \frac{l}{s} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 7,9 mVs}{0,223} = 111 W$$

Tradisjonell løsning

I den tradisjonelle løsningen trengs det to pumper, en for tappevannskretsen og en for varmekursen. Trykktapene i varmekretsen er vist i

Tabell 16.

<i>Trykktap</i>		
<i>Teknisk rom</i>	30	kPa
<i>Reguleringsventil</i>	10	kPa
<i>Rørsystem</i>	46	kPa
<i>Sikkerhetsmargin, 10 %</i>	10	kPa
<i>SUM</i>	96	kPa

Tabell 16: Oppsummering av trykktap i varmekretsen med tradisjonell løsning

Friksjonstapet og støttapet i den tradisjonelle varmekretsen er 46 kPa. Tapet over varmesentralen er det samme som i den tradisjonelle løsningen og 30 kPa. Trykktapet over reguleringsventilen til varmekretsen i leilighet E4 settes til 10 kPa [55]. For varmekretsen bør det legges inn en sikkerhetsmargin på 10 %. Ved T_{DUT} er totalt trykkfall i den tradisjonelle varmekretsen 96 kPa og det sirkuleres en vannmengde i kretsen på 1,94 l/s. Pumpen TPE 25-90 fra Grundfos er valgt ut i varmekretsen. Pumpevirkningsgraden er 52,7%.

$$P = \frac{1,94 \frac{l}{s} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 9,6 mVs}{0,527} = 347 W$$

For den tradisjonelle sirkulasjonsledningen er vannmengden liten og derav trykktapet som pumpa må overvinne lavt.

<i>Trykktap</i>		
<i>Teknisk rom</i>	30	kPa
<i>Rørssystem</i>	23	kPa
<i>SUM</i>	53	kPa

Tabell 17: Oppsummering av trykktap i tappevannskretsen for tradisjonell løsning

$$P = \frac{0,06 \frac{l}{s} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 5,3 mVs}{0,146} = 21 W$$

Sammenligning pumpearbeid

<i>Tappevannsløsning</i>	111	W
<i>Tradisjonell løsning</i>	347 + 21 = 368	W
<i>Differanse</i>	257	W

Tabell 18: Sammenligning av trykktap i rørrettet for tradisjonell løsning og tappevannsløsningen

Tappevannsløsningen vil redusere nødvendig pumpeeffekt med 70 % sammenlignet med et tradisjonelt vannbårent anlegg ved T_{DUT} . Mens sirkulasjonsledningen for tappevannskretsen i tradisjonell løsning er i drift hele året vil varmekretsen gå med lav mengde utenfor fyringssesongen. Etter som det er ønske om oppvarming på baderommet hele året vil pumpa være i drift kontinuerlig, men med lavere effekt. For tappevannsløsningen gjelder tilsvarende. Sirkulasjonspumpa vil opprettholde sirkulasjonen for å dekke behovet for oppvarming av badegulvene, men også den med en lavere effekt.

Det er rimelig at driftstid og sirkulerte mengder varierer proporsjonalt for begge løsningene og at besparelsene i pumpearbeid derfor blir som differansen i pumpeeffekt ved T_{DUT} .

5.1.4 Investeringskostnader

Investeringskostnadene ved innkjøp av komponenter til tappevanntilslutningen og den tradisjonelle løsningen er sammenlignet for eksempelbygget. Se vedlegg for mer utfyllende kostnadsberegninger for de to løsningene. Enhetskostnader er hentet fra grossist per juni 2018 og er benyttet med en typisk rabattsats for en mellomstor kunde.

Kostnader i rørstrekk

Tabell 19 oppsummerer investeringskostnaden for komponentene til sekundærnettet for tappevanntilslutningen.

<i>Rørstrekk</i>	<i>Kostnad</i>
<i>Tappevanntilslutning; turlledning</i>	37 790 kr
<i>Tappevanntilslutning; sirkulasjonsledning</i>	11 797 kr
<i>Sum</i>	49 587 kr

Tabell 19: Kostnader for komponenter til sekundærnett for tappevanntilslutningen

Tabell 20 oppsummerer investeringskostnaden for komponentene til sekundærnettet for den tradisjonelle løsningen.

<i>Rørstrekk</i>	<i>Kostnad</i>
<i>Tradisjonell løsning; turlledning, varme</i>	30 215 kr
<i>Tradisjonell løsning; returledning, varme</i>	30 215 kr
<i>Tradisjonell løsning; turlledning, tappevann</i>	36 873 kr
<i>Tradisjonell løsning; sirkulasjonsledning, tappevann</i>	10 212 kr
<i>Sum</i>	107 515 kr

Tabell 20: Kostnader for komponenter til sekundærnettet for tradisjonell løsning

Investeringskostnaden for sekundærnettet til tappevannsløsningen er 57 929 kr lavere enn for den tradisjonelle løsningen. Besparelsen i innkjøp av rør og rørdeler ved å gå fra den tradisjonelle løsningen til tappevannsløsningen er altså 54 %.

At varmekretsen er fjernet er utslagsgivende for kostnadene. Ved bare å sammenligne den tradisjonelle tappevannskretsen med tappevannsløsningen er røranlegget for tappevannsløsningen 5 % dyrere som følge oppdimensjoneringen av turrøret.

Kostnader i leilighet

For den tradisjonelle løsningen trengs det to fordelerskap.

1. Et tradisjonelt fordelerskap

For vanninstallasjoner leverer Uponor et skap med åtte rør-i-rør kurser til 2038 kr, mens et skap med tolv kurser koster 3681 kr. I tillegg er det behov for fem fordelere med 3 uttak per leilighet. Prisen er 397 kr per fordeler. Kostnad for fordelerskap til vanninstallasjonen for den tradisjonelle løsningen blir mellom 4023 kr – 5666 kr.

2. Et skap for varmfordeling

Varmefordelingen for tradisjonell løsning trenger et skap for gulvvarme til 2489 kr. Det trengs også en fordelingsstokk. En fordelingsstokk fra Uponor koster 1598 kr. Pris for varmfordelingen blir 4087 kr. Sentralregulator og termoelektriske styre-elementer koster 4-5000 kr for 6 /7 kurser.

Total kostnad for innkjøp av komponenter til den tradisjonelle løsningen oppsummeres til 13-14 000 kr. I tillegg kommer kostnaden for rør- og elektriske sammenkoblinger.

For tappevannsløsningen trengs det ett vekslerskap. Et komplett koblet skap med styringsenhet, gulvvarmefordeler og vannfordeler koster 16 500 kr [56]. Rør og elektrisk utstyr er ferdig koblet i vekslerskapet som er utviklet for og tilpasset tappevannsløsningen.

Montasjekostnaden for rør- og elektriske sammenkoblinger i de tradisjonelle fordelerskapene er ukjent. Det antas konservativt til fordel av tradisjonell løsning at kostnaden for

sammenkoplingen i fordelerskapene gjør kostnaden for fordelerskap og vekslerskap i hver leilighet er tilnærmet lik for de to løsningene.

Investeringer i teknisk rom

Investeringene i teknisk rom vil variere etter som hvilken energikilde bygget benytter. Gitt at bygget er tilkoblet fjernvarme vil det bety besparelser fordi en kan redusere antall komponenter. I tappevannsløsningen trengs det bare en «felles» fjernvarmeveksler for oppvarming og tappevann, mens den tradisjonelle løsningen krever to vekslere, en for oppvarming og en for tappevann. Denne besparelsen må også regnes inn i sammenligningen av total kostnad for tappevannsløsningen og tradisjonell løsning.

Installasjon og monteringskostnader

Tappevannsløsningen har 86 sammenføyningpunkter hvor rør må skjøtes. Tradisjonell løsning har 163 sammenføyningpunkter som må skjøtes. Med bakgrunn i antall skjøter kan en anta at tappevannsløsningen vil ha vesentlig lavere monteringskostnader en tradisjonell løsning.

5.2 Resultat måle og driftsdata i Kristiansand

I kapittel 5.2 presenteres måledata fra leilighetsbyggene som er introdusert i kapittel 4.2. Fokus har vært å kartlegge egenskaper ved tappevannsløsningen for å sammenligne med den tradisjonelle løsningen og med varmeløsningen.

Måledataen er hentet fra databasen til Agder Energi Varme og målingene er fra primærsiden av varmeveksleren. For bygg 2 (Q42) er det også tilgjengelig måledata på leilighetsnivå.

5.2.1 Tappevannsløsningen

Variasjon gjennom året

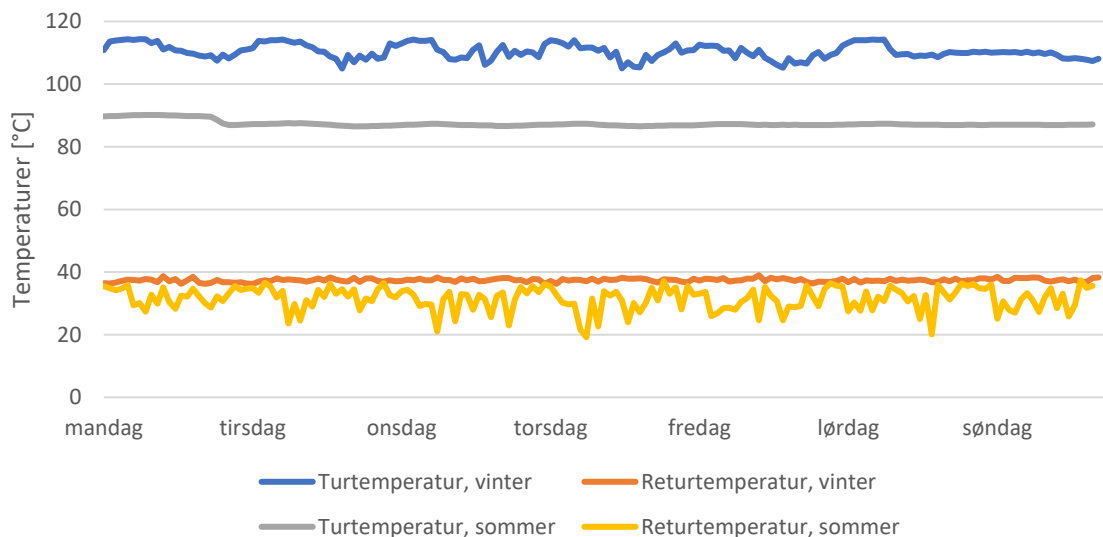
For å sammenligne hvordan vannmengden, temperaturen og effektbehovet varierer gjennom året er det plukket ut måledata for en uke med lave utetemperatur og en uke med høy utetemperaturer som vist i

Tabell 21.

Dato	Gjennomsnitts -temperatur [°C]	Dato	Gjennomsnitts -temperatur [°C]
26.feb	-7,7	17.jul	14,8
27.feb	-8,2	18.jul	17,7
28.feb	-11,2	19.jul	15,6
01.mar	-9,7	20.jul	17,4
02.mar	-6,1	21.jul	16,2
03.mar	-4,5	22.jul	16,4
04.mar	-3	23.jul	16,3

Tabell 21: Værdata for Kristiansand februar 2018 og juli 2017

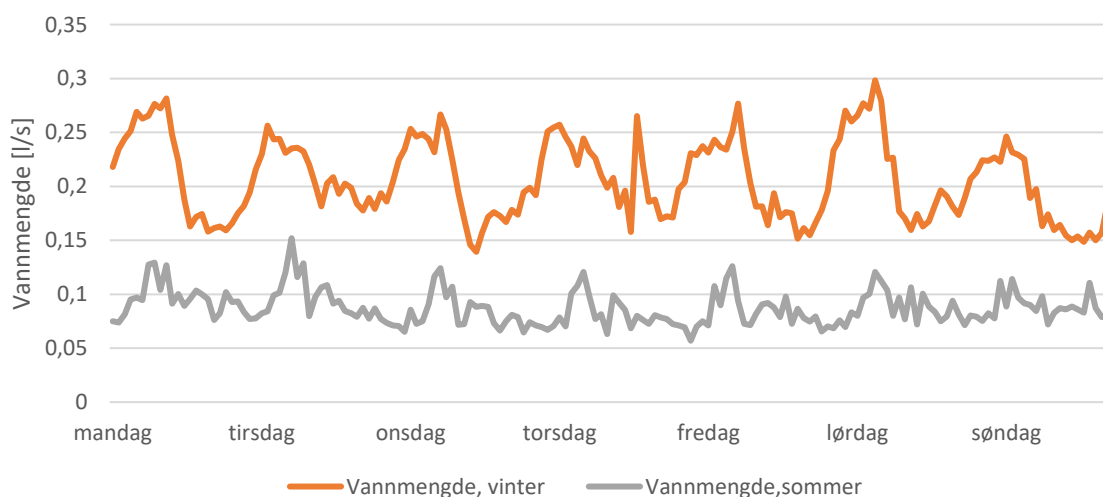
Figur 40 viser tur og returtemperatur på primærsiden av varmeveksleren for bygg 2 (Q42) for en vinter- og en sommeruke med stor variasjon i utetemperatur.



Figur 40: Tur og returtemperatur i primærnettet for bygg 2 (Q42) en sommeruke og en vinteruke

Turtemperaturen varierer som følge av endret turtemperaturer fra Agder Energi Varme sitt fjernvarmeanlegg. Returtemperaturen er jevnt lav gjennom de to ukene. For sommeruken svinger returtemperaturen mer enn for vinteruken. Behovet for varmt tappevann varierer mer enn oppvarmingsbehovet gjennom en uke. Om sommeren vil tappevannet stå for en større del av det totale varmebehovet enn om vinteren og variasjonen i tappevannsbehovet blir mer utslagsgivende for returtemperaturen.

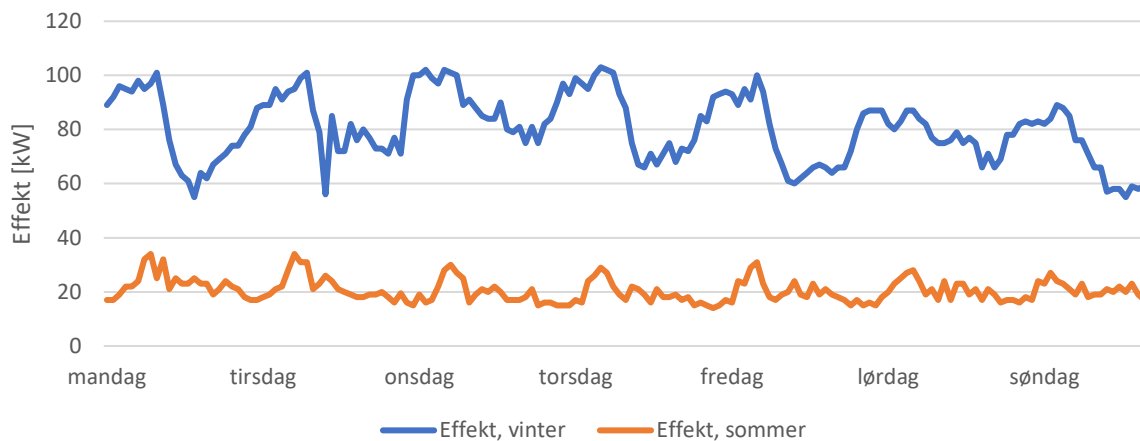
Figur 41 viser vannmengden på primærsiden i bygg 2 (Q42) for en vinter- og en sommeruke.



Figur 41: Vannmengder i bygg 2 (Q42) for en sommeruke og en vinteruke

Ved å sammenligne vannmengdene som sirkuleres på primærsiden av fjernvarmeveksleren går det frem at det er størst sirkulert vannmengde ved lave utetemperaturer. Gjennom uken fra 26.februar til 4.mars 2018 svingte vannmengden fra 0,13 l/s til 0,3 l/s. Vannmengden i uken fra 17. – 23.juli 2017 svingte fra 0,056 l/s til 0,15 l/s.

Figur 42 viser effektuttaket i bygg 2 (Q42) for en sommer- og en vinteruke.

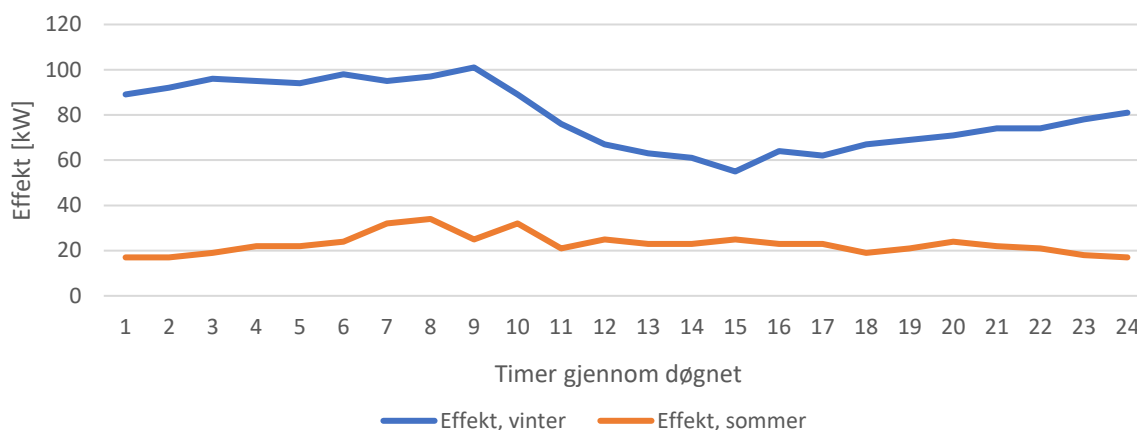


Figur 42: Effektbehov i bygg 2 (Q42) for en sommeruke og en vinteruke

Effektbehovet i vinteruken er fra 56 – 101 kW, mens det i sommeruken med høy utetemperatur svinger fra 15 – 34 kW. Det er høyere varmebehov om vinteren enn om sommeren og effektbehovet er av den grunn høyere

Svingningene i effektbehov er også høyest om vinteren og det er disse effekttoppene som indirekte gir høy belastning på kraftnettet. Svingningene kommer som en følge av nattsenkning og beboernes vaner. Om morgningen skal innetemperaturen i bygget heves samtidig som tappevannsbehovet er høyt fordi beboerne bruker varmt tappevann.

For å undersøke hvor stor variasjonen er gjennom et døgn ble mandagene i de samme ukene valgt ut og vises i Figur 43. Det er en effekttopp om morgenen mellom klokken 06 og 09, før det synker igjen utover dagen. Fra klokken 18 stiger effektbehovet igjen om vinteren, mens effektbehovet om sommeren holder seg jevn frem til klokken 20 før den synker igjen. Effektbehovet gjennom døgnet kan variere med 50 %.



Figur 43: Effekuttak bygg 2 (Q42) et døgn

Varmebehov per leilighet

I bygg 2 (Q42) er det installert mengdemålere i hvert vekslerskap som viser vannmengden til varmekretsen i hver leilighet. Måledataen har timesoppløsning. Tappevannsløsningen har tatt utgangspunkt i at hver leilighet har et varmebehov som tilsvarer en vannmengde på rundt 0,02 l/s til hver leilighet. Ved å ta ut vannmengdene for 18 leiligheter i bygg 2 (Q42) kan det undersøkes om denne antagelsen stemmer. Den 13.februar 2017 var gjennomsnittstemperaturen ute $-6,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ som var en av de kaldeste dagene i 2017 i Kristiansand, se Tabell 22.

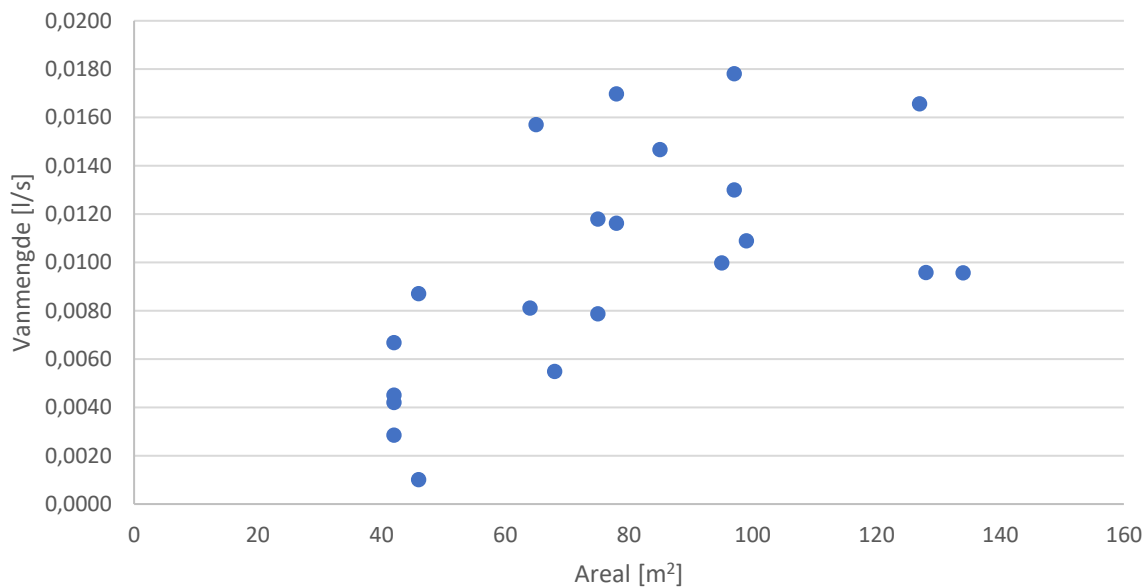
Date	Maksimaltemperatur [$^{\circ}\text{C}$]	Minimumstemperatur [$^{\circ}\text{C}$]	Gjennomsnittstemperatur [$^{\circ}\text{C}$]
13.feb.17	3,4 $^{\circ}\text{C}$	-12,0 $^{\circ}\text{C}$	-6,2 $^{\circ}\text{C}$

Tabell 22: Temperatur i Kristiansand 13.februar 2017

Den 13.februar 2017 gikk det en gjennomsnittlig vannmengde gjennom varmeveksleren i vekslerskapet i de 18 leilighetene på 0,009 l/s. Det tilsvarer et effektuttak på 1,24 kW per leilighet i gjennomsnitt gjennom døgnet. Se vedlegg for måledata. At tappevannsløsningen dimensjoneres for 0,02 l/s bør være tilstrekkelig for å gi nok effekt ved T_{DUT} .

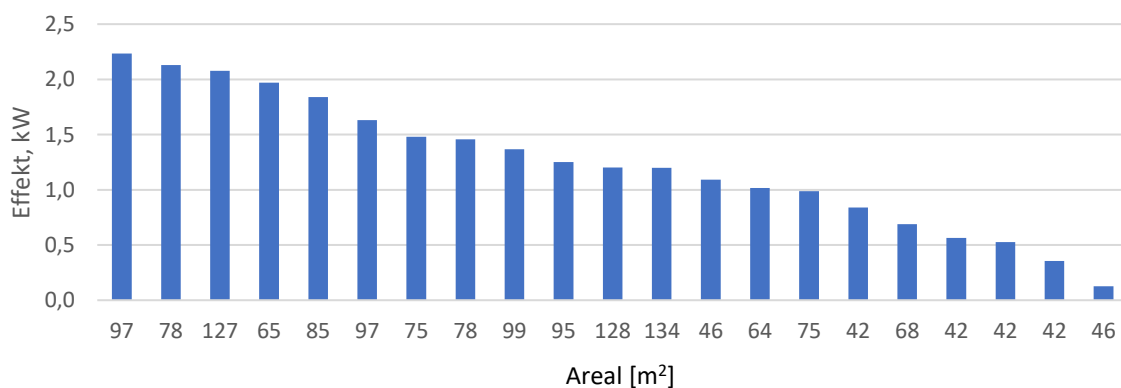
Ved å sammenligne størrelsen på leiligheten og varmebehov går det frem at størrelsen på leiligheten ikke nødvendigvis er bestemmende for varmebehovet. Det tenderer mot at de minste

leilighetene har lavere varmebehov enn de større, men at det er de mellomstore som har størst behov. Figur 44 viser sammenhengen mellom leilighetsstørrelse og sirkulert vannmengde.



Figur 44: Vannmengde fordelt på leilighetsstørrelse, 13.februar 2017 med timesoppløsning

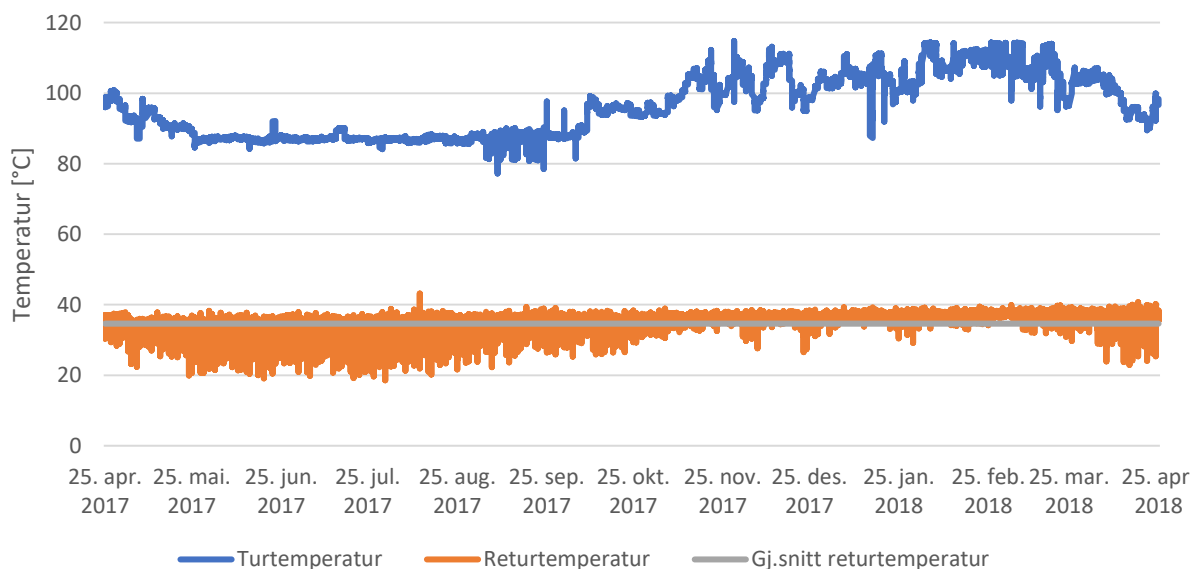
Figur 45 viser effektbehovet systematisert etter leilighetsstørrelse. Leiligheten på 97 m² har høyere effektbehov enn leilighet på eksempelvis 134 m².



Figur 45: Sammenheng mellom effekt og leilighetsstørrelse etter varmebehov, 13.februar 2017

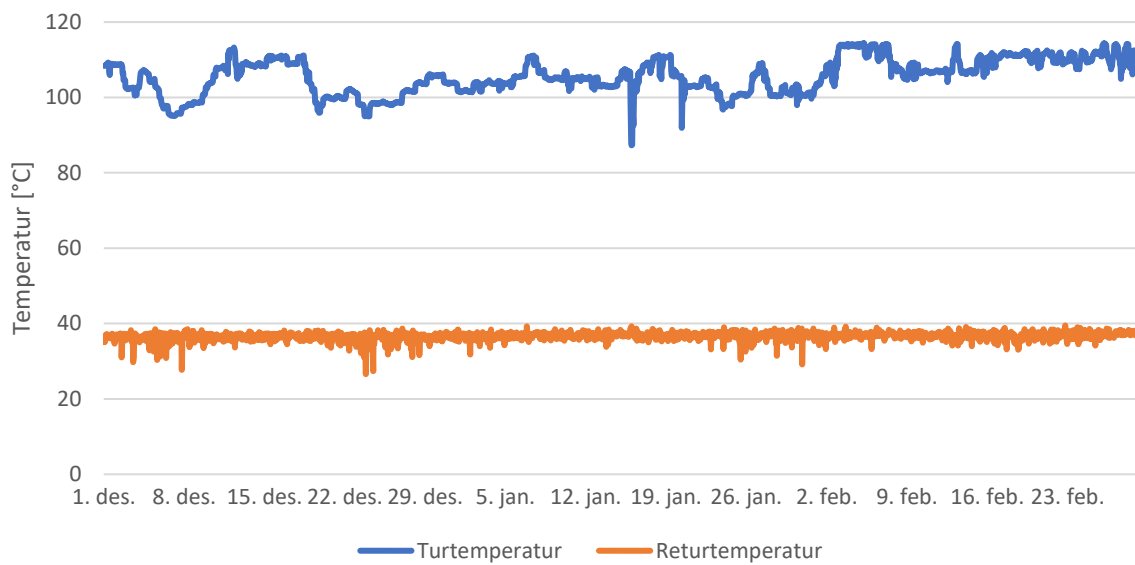
Måledata bygg 2 (Q42) – drift gjennom året

Figur 46 presenteres tur og returtemperaturen for bygg 2 (Q42) for et helt år fra 24.april 2017 til 24.april 2018. Temperaturdifferansen, ΔT , hadde et gjennomsnitt gjennom året på 61,6 °C, noe som er uvanlig høyt. En så stor ΔT betyr at bygg 2 (Q42) greier å utnytte store deler av fjernvarmevannet de mottar fra Agder Energi Varme. At ΔT er stor gjør at det kan sirkuleres en mindre vannmengde i bygget. Turtemperaturen fra Agder Energi Varme varierer gjennom året. Om sommeren fra april – september er det en gjennomsnittlig turtemperatur på 85 °C, om vinteren fra oktober – mars er gjennomsnittlig turtemperatur rundt 110 °C. I måleperioden var gjennomsnittlig returtemperatur 34,5 °C og er markert med lysblå strekk i Figur 46.



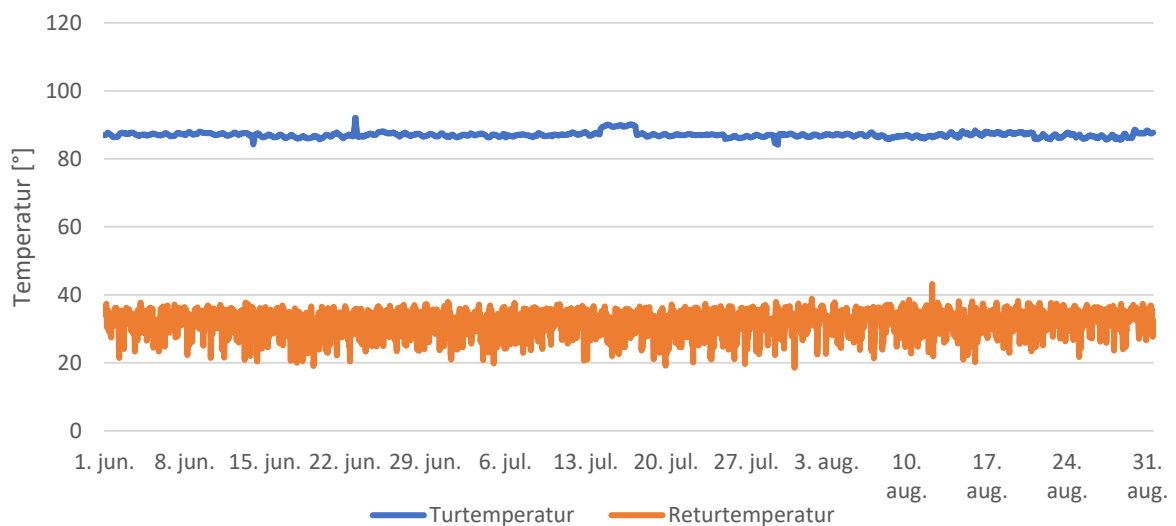
Figur 46: Tur og returtemperatur for bygg 2 (Q42) gjennom et helt år

I Figur 47 er det skilt ut tur og returtemperaturene for vinterhalvåret. Om vinteren når varmebehovet er høyt er returtemperaturen jevn med lite svingninger. Det skyldes at det er kontinuerlig varmebehov i bygget. Gjennomsnittlig returtemperatur fra 1.desember til 1. mars var 36,6 °C.



Figur 47: Tur og returtemperatur i bygg 2 (Q42) – vinter

I Figur 48 viser svingningene i returtemperaturen i sommerhalvåret. Det skyldes at tapping av varmtvann er mer utslagsgivende når varmebehovet er lavere. Gjennomsnittlig returtemperatur fra 1.juni til 31.august var 32,0 °C.

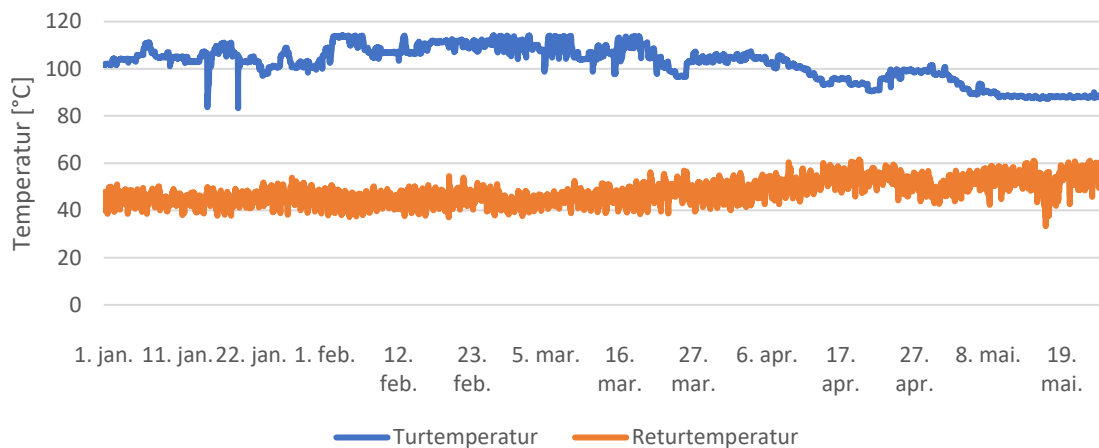


Figur 48: Tur og returtemperatur i bygg 2 (Q42) - sommer

Måledata bygg 3 (nybygg) – uventet returtemperatur

Figur 49 viser tur og returtemperaturen i bygg 3 (nybygg). Dette bygget var innflytningsklart desember 2017. Det var det første bygget utførende rørlegger monterte med tappevannsløsningen. Som Figur 49 viser er returtemperaturen høyere enn det tappevannsløsningen er dimensjonert for. Gjennomsnittlig returtemperatur i perioden var 48,15 °C.

Etter flere besøk i teknisk rom gikk det frem at det sirkuleres for mye vann i bygget. Det viste seg at sirkulasjonspumpen er overdimensjonert og bløderne i de øverste skapene er for store. Det gjør at det sirkuleres for mye vann tilbake i sirkulasjonsledningen. At returtemperaturen stiger parallelt med våren/utetemperaturen (våren) stemmer godt overens med denne antagelsen. Frem til starten av mars var varmebehovet i bygget høyt og vannet ble mer nedkjølt av vekslerskapene i hver leilighet. Ved redusert varmebehov steg også returtemperatur. En ser på svingningene i returtemperaturen at periodene med tapping senker returtemperaturen også i dette bygget.



Figur 49: Tur og returtemperatur bygg 3 (nybygg), 1.jan - 25.mai 2018

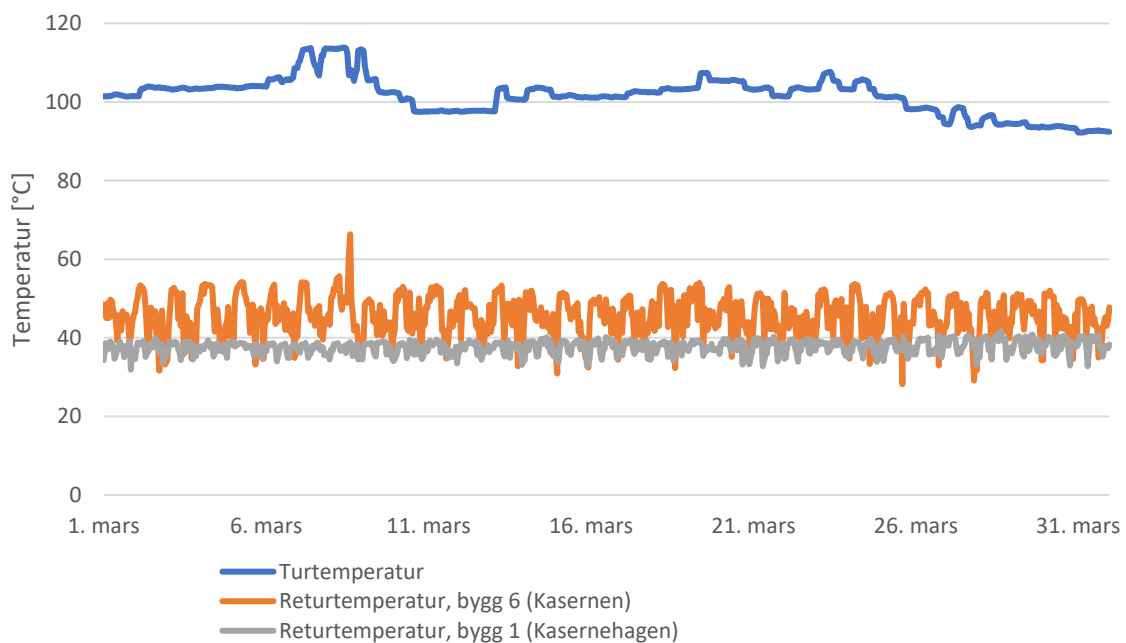
Som et resultat av måledataen som er innhentet for bygg 3 (nybygg) har leverandøren, LK-systems, endret prosedyrene sine. Nå skal vekslerskapene som skal stå i toppetasjene merkes på fabrikken. Disse skapene skal monteres med en bløder i fabrikken og dermed unngå at bløderen blir for stor.

Erfaringene fra bygg 3 (nybygg) viser viktigheten av god kommunikasjon og felles forståelse mellom utstyrsleverandør og utførende rørlegger.

5.2.2 Sammenligning av vannbårne løsninger

Tradisjonell vannbåren løsning og tappevannsløsningen

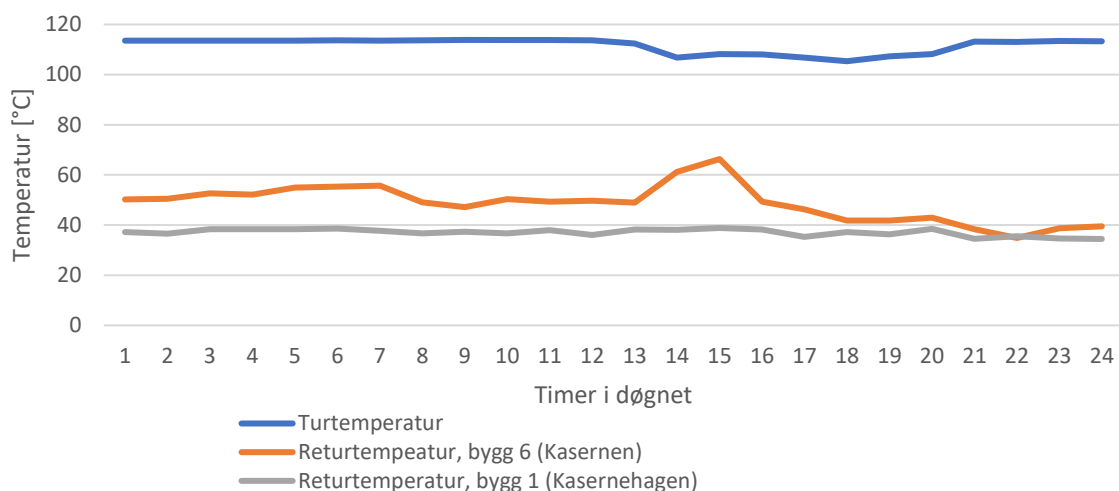
Bygg 1 (Kasernehagen) med tappevannsløsningen og bygg 6 (Kasernen) med tradisjonell løsning er nabobygninger noe som gir gode sammenligningsmuligheter. At byggene ligger nært gjør at turtemperaturen fra Agder Energi Varme er den samme. I Figur 50 vises returtemperaturene for de to byggene i mars 2017.



Figur 50: Tur og returtemperatur bygg 1 (Kasernehagen) og bygg 6 (Kasernen), mars 2017

Bygg 1 (Kasernehagen) sin returtemperatur er jevnere enn bygg 6 (Kasernen) gjennom måleperioden. Det gir grunn til å tro at bygg 1 (Kasernehagen) med tappevannsløsningen har en jevnere regulering enn tradisjonell løsning.

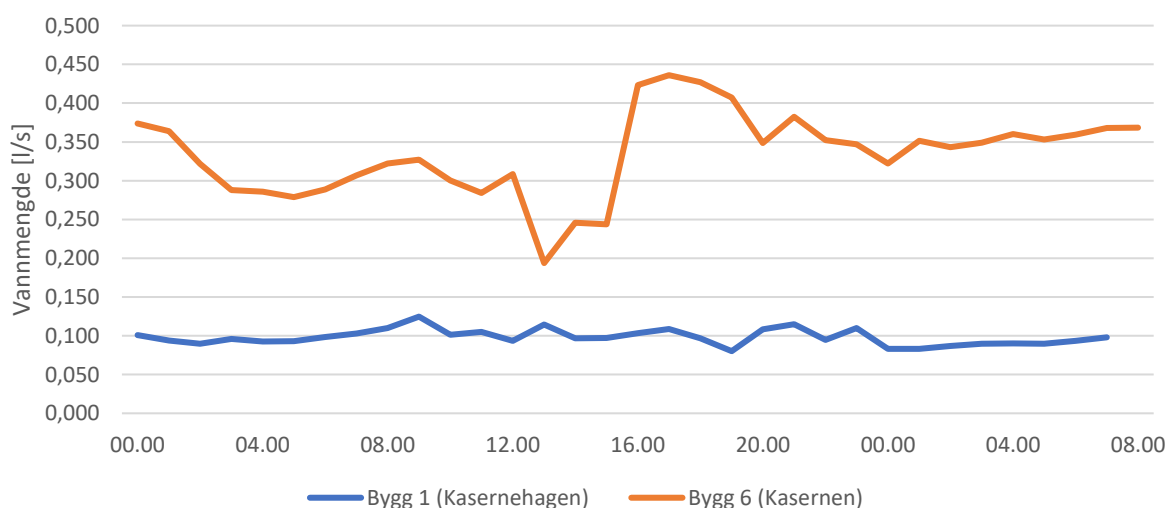
For å undersøke denne påstanden er et døgn hvor turtemperaturen svingte mye valgt ut. Den 8.mars 2017 klokken 13 falt turtemperaturen fra Agder Energi Varme fra 112 til 106 °C. I Figur 51 vises returtemperaturene i de to byggene.



Figur 51: Svingning i temperatur 8.mars 2017, bygg 1 (Kasernehagen) og bygg 6 (Kasernen)

Bygg 6 (Kasernen) med tradisjonell løsning øker returtemperaturen på primærsiden med 25 %. Bygg 1 (Kasernehagen) med tappevannsløsningen har ingen endring i returtemperatur. Også vannmengden opptrer ulikt for de to løsningene.

Figur 52 viser variasjonen i vannmengden den 8.mars 2017. Vannmengden i det tradisjonelle anlegget, bygg 6 (Kasernen), svingte fra 0,2 l/s til 0,44 l/s som tilsvarer en økning på 55% mellom klokken 13 og 17. For tappevannsløsningen, bygg 1 (Kasernehagen), svingte vannmengden fra 0,115 l/s til 0,109 l/s som tilsvarer 5 % den samme perioden.



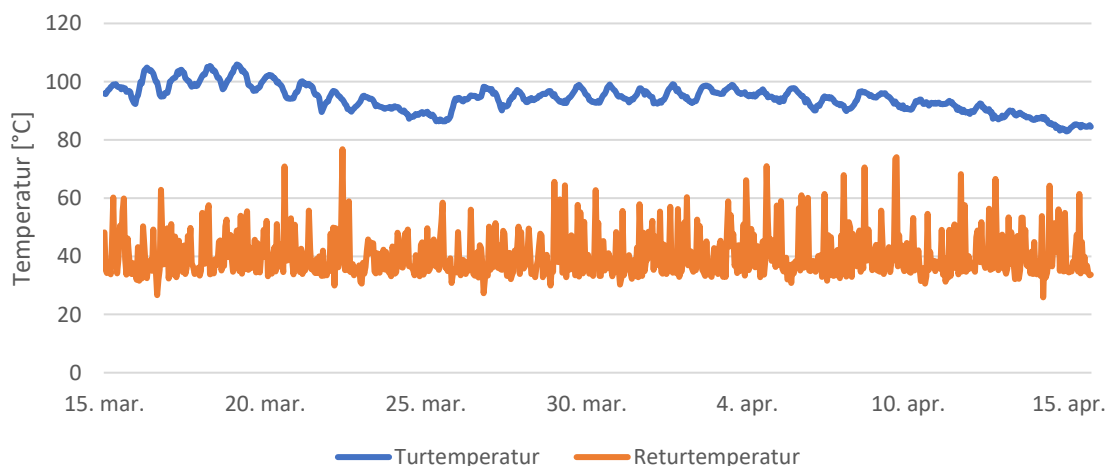
Figur 52: Svingning i vannmengde 8.februar 2017, bygg 1 (Kasernehagen) og bygg 6 (Kasernen)

Selv om dette er på primærsiden av varmeveksleren sier det mye om reguleringen for tappevannsløsningen. Sammenlignet med et tradisjonelt anlegg er det mindre variasjoner i anlegget og det øker driftssikkerheten. Store endringer i temperatur og vannmengde vil gi økt slitasje på komponenter som reguleringsventiler og pumper, som igjen vil øke energiforbruket.

Tappevannsløsningen og varmeløsningen

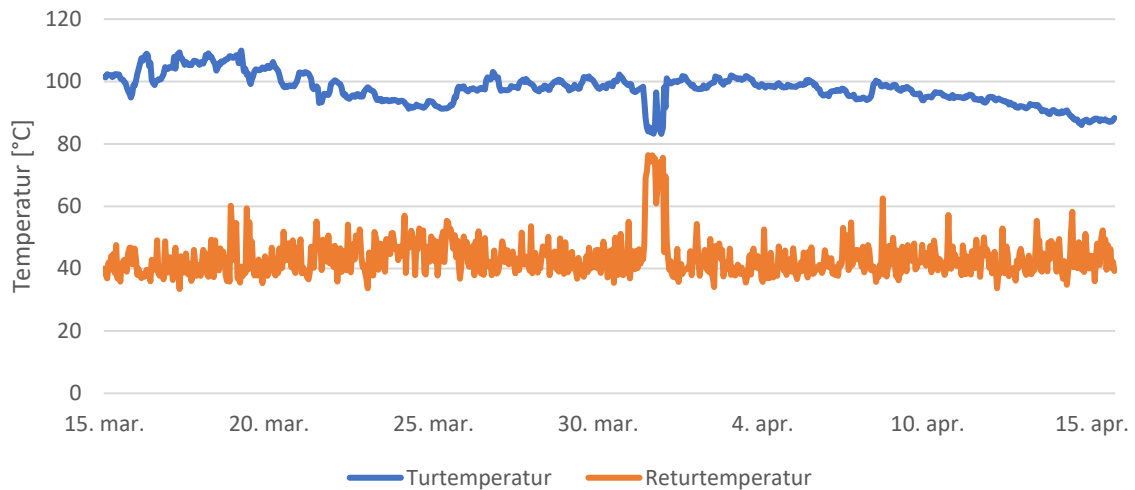
Bygg 4 (Sintef) og bygg 5 (Kuholmsveien) har varmeløsningen presentert av Sintef, (ref. kapittel 3.2) Bygg 1(Kasernehagen) og bygg 5 (Kuholmsveien) var begge en del av pilotprosjektet, mens bygg 4 (Sintef) er oppført etter at pilotprosjektet ble avsluttet. Alle byggene ligger innenfor hovednettet til Agder Energi Varme og mottar tilnærmet samme turtemperatur. For å sammenligne de to løsningene er det tatt ut 30 dager, fra 15.mars til 15.april 2018 hvor det var et værskifte. Utetemperaturen svingte fra -12,4 °C til 16,5 °C i denne perioden.

I Figur 53 vises returtemperaturen i bygg 5 (Kuholmsveien) som har varmeløsningen. Varmeløsningen svinger motsatt av tappevannsløsningen. Det er en stabil nedre temperatur på 33 °C, men det svinger oppover til 75 °C på det meste. Gjennomsnittlig returtemperatur var 40 °C.



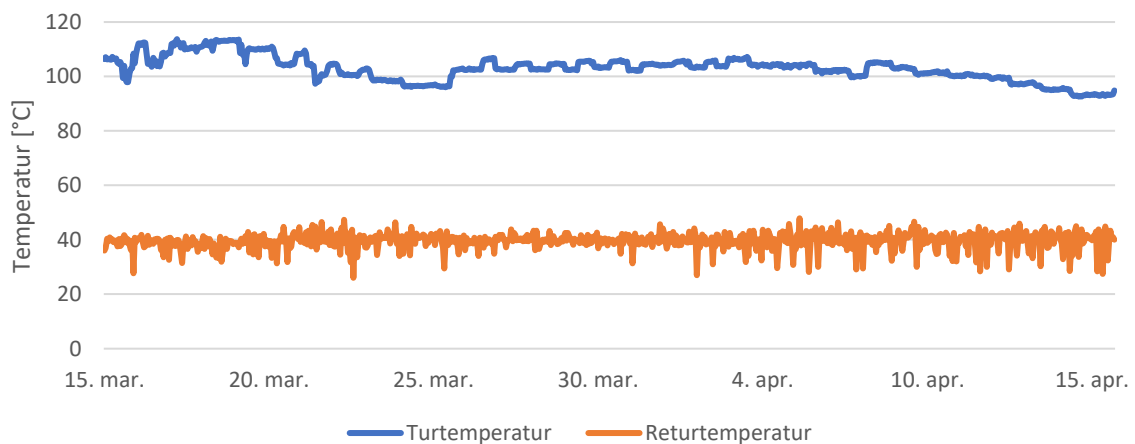
Figur 53 Svigninger i temperatur i bygg 5 (Kuholmsveien) 15.mars - 15.april 2018,

Bygg 4 (Sintef) som også har varmeløsningen svinger også motsatt av tappevannsløsningen. I bygg 4 (Sintef) er variasjonene mindre enn for bygg 5 (Kuholmsveien). Figur 54 viser temperaturvariasjonene gjennom måleperioden. Den 1.april har det vært forstyrrelser på primærsiden. Denne svingningen skyldes innvirkning fra driftspersonell og forteller ikke noe om effektiviteten i anlegget. Hvis en ekskluderer 1.april er gjennomsnittlig returtemperatur 42,7 °C, men også her er returtemperaturvariasjonene store, fra 35 – 65 °C



Figur 54: Svingninger i temperaturen i bygg 4 (Sintef), 15.mars - 15.april

I Figur 55 vises måledata for bygg 1 (Kasernehagen) for samme periode. Returtemperaturen var mer jevn, med en nedre temperatur på 26 °C og øvre temperatur på 43 °C. Gjennomsnittlig returtemperatur var 39 °C.



Figur 55: Svingninger i bygg 1 (Kasernehagen) 15.mars - 15.april 2018

Mange fjernvarmenett har en gjennomsnittlig returtemperatur på 55 °C [49] [33]. Gjennomsnittlig returtemperatur for de tre byggene er lavere enn det og viser at det er god varmeutnyttelse. Ulempen med bygg 5 (Kuholmsveien) og bygg 4 (Sintef) som har varmeløsningen er de høye svingningene. For å kunne levere effekten som etterspørres i disse periodene må røranlegget dimensjoneres deretter. Ved liten ΔT må det enten sendes store vannmengder som vil øke vannhastigheten og trykket i anlegget eller rørene må ha større dimensjoner.

5.2.3 Driftserfaring og kostnader

Vannprøver

Det ble utført vannprøver fra bygg 1 (Kasernehagen) og bygg 3 (nybygg). Resultatene fra vannprøvene ligger i vedlegg. Det er ikke funnet legionella i noen av vannprøvene. Kalkinnholdet varierte mer. I tertiærnettet var kalkinnholdet 24,7 mg Ca/L. I kaldtvannet var kalkinnholdet 29 mg Ca/L og 47,1 mg Ca/L som er over anbefalt verdi, se

Figur 12. At kalkinnholdet er så høyt som 47,1 mg Ca/l betyr at det kan oppstå problemer med beleggdannelse. Vannprøvene for varmtvannet var 28 mg Ca/l og 39,1 mg Ca/l, som tilsier at vannet er bløtt til middels hardt vann. Begge de to høyeste verdiene (39 og 47,1 mg Ca/l) var i samme bygg.

Erfaringer

Moi Rør har vært med på hele utviklingen og er eksperter på montering og inngangskjøring av tappevannsløsningen. De var utførende rørlegger for alle pilotprosjektene til Agder Energi Varme. De forteller om en læringskurve fra prosjekt 1 til prosjekt 2 på 30%. De første prosjektene med tappevannsløsningen tok lengre tid både i prosjektering og montering, men etter å ha fått erfaring går prosjektering og montering fortere. De velger i dag tappevannsløsningen i alle sine prosjekter med mindre annet er påkrevd. Grunnen til de kortere arbeidstid, både for prosjektering og montering [57].

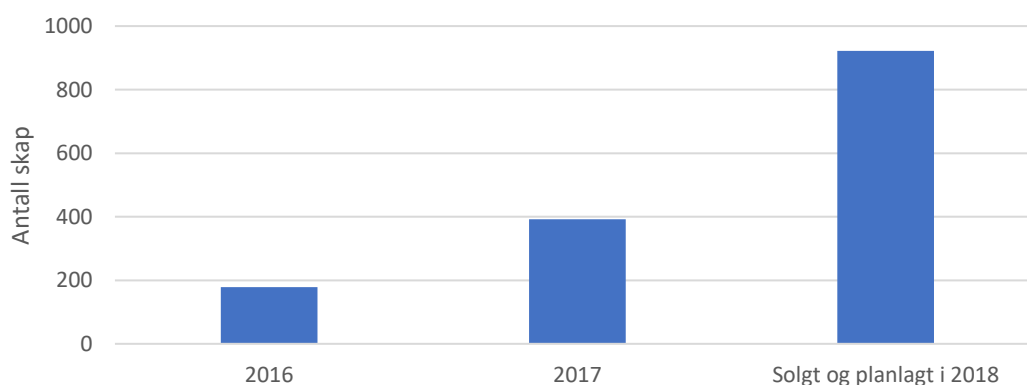
I de byggene Moi Rør har vært utførende rørlegger i har det vært lite etterarbeid og feilmeldinger. Moi Rør skryter av at løsningen er enkel å igangsette fordi det krever ingen innregulering av sekundærnettet.

Hallvard Thorsen AS i Kristiansand er et av rørleggerfirmaene som har erfaringer ved montering av tappevannsløsningen. Prosjektleder opplyser at de har vært utførende rørlegger i flere bygg med tappevannsløsningen på Sørlandet. Til dels fordi byggherre har blitt anbefalt løsningen av Agder Energi Varme, men også fordi det er en rimeligere løsning enn tradisjonell vannbåren varme [58].

Som en positiv effekt trekker Hallvard Thorsen frem reduksjonen i varmetap. De opplever at kundene reagerer på at energiregninga blir høyere enn forbruket i egen leilighet ved tradisjonell vannbåren løsning. I tappevannsløsningen har en redusert varmetapet betraktelig, samt at beboere som ønsker høy innetemperatur faktureres deretter. Det gir en mer rettferdig fordeling for betaling av varmetapet.

Driftssikkerhet:

LK-systems var den første leverandøren som har industrialisert vekslerskapene. Vekslerskapene fra LK-systems levers nå til byggeprosjekter i hele Norge. I 2018 har de opplevd en voldsom økning i etterspørsel etter skap. Det har gjort at de er nå jobber dobbeltskift på fabrikken for å produsere skap [56]. I 2016 solgte de 178 vekslerskap, i 2017 solgte de 392 vekslerskap og i 2018 har de solgt og på bestilling 922 vekslerskap. Det viser at flere nå vil ta i bruk tappevannsløsningen.



Figur 56: Utvikling av salg av vekslerskap fra LK-systems [24]

I årene fra 2016 til juni 2018 er det lite feil som er rapportert om i vekslerskapene. Det er skiftet ut en sirkulasjonspumpe og totalt 27 tilbakeslagsventiler [24].

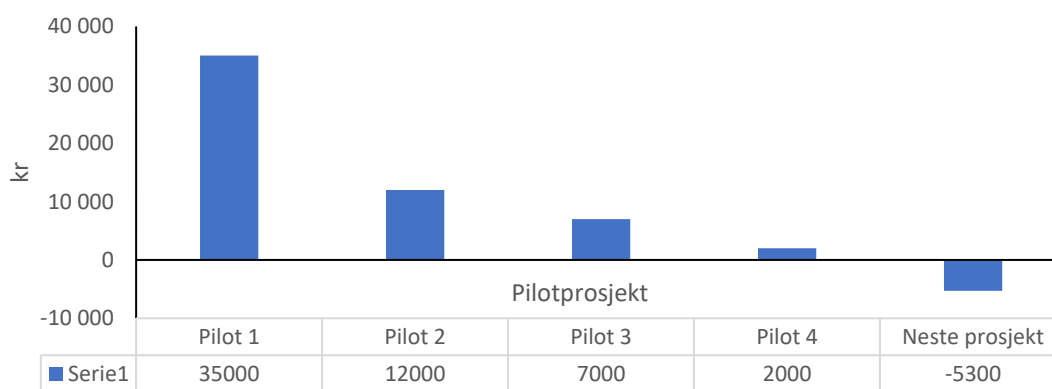
Kostnader:

Agder Energi Varme og LK-systems har gjort nyttig erfaring for hvordan kostandene per leilighet har endret seg ved å ta i bruk tappeløsningen. Det første pilotprosjektet var særlig kostbart på grunn av store innovasjons og produktutviklingskostnader.

Det første prosjektet, Kuholmsveien, ble langt dyrere enn et tradisjonell vannbårent oppvarmingsanlegg med en antatt merkostnad på 35 000 kr. I dette prosjektet ble varmeløsningen prøvd ut. Det andre prosjektet, Lundegården, hadde en merkostnad på cirka 12 000 kr per leilighet. Her ble tappevannsløsningen prøvd ut for første gang. I dette prosjektet ble vekslerskapene laget på byggeplassen somførte til høye monteringskostnader.

For de to siste pilotprosjektene, Kasernehagen og Q42, var merkostnaden 2000 -7000 kr per leilighet. Også her er dyre vekslerskap hovedårsaken til at prisen ble høyere enn tradisjonelt anlegg. Skapene hadde ikke blitt bygget før og måtte testet i laboratorier.

I dag har skapene blitt industrialisert som har redusert kostnadene. Vidar Naustvoll i LK-systems opplyser at det i nye prosjekter er et besparingspotensial på ny løsning på 20-30 % sammenlignet med tradisjonell løsning. I nye byggeprosjekter hvor LK-systems leverer vekslerskap er besparelsen beregnet til minst 5300 kr per leilighet i forhold til tradisjonell løsning. Det er størst besparelse i de største byggeprosjektene. Figur 57 viser kostnadsutviklingen gjennom pilotprosjektene.



Figur 57: Kostnadsutvikling for tappevannsløsningen sammenlignet med tradisjonell løsning

6 Diskusjon og konklusjon

Målet med oppgaven har vært å undersøke hvordan tappevannsløsningen fungerer i nye leilighetsbygg. Dette er blitt gjort ved å modellere et eksempelbygg og evaluere måledata.

Fra modelleringen gikk det frem at tappevannsløsningen gir besparelser i rørnett, driftskostnader, investeringskostnader og energibruk sammenlignet med en tradisjonell vannbåren oppvarmingsløsning. I

Tabell 23 er sammenligningen oppsummert.

<i>Sammenlignet parameter</i>	<i>Tappevannsløsning</i>	<i>Tradisjonell løsning</i>	<i>Kommentar</i>
<i>Sirkulert vannmengde</i>	1,43 l/s	3,05 l/s	Ved T_{DUT} sirkuleres det 53 % mindre vann i tappevannsløsningen enn ved bruk av den tradisjonelle løsningen.
	1,43 l/s	1,11 l/s	Det sirkuleres 5 % mer vann i tappevannsløsningen sammenlignet med den tradisjonelle tappevannskretsen.
<i>Rørdimensjoner</i>	DN 40 / DN 20	DN 32 / DN 15 DN 40 / DN 40	Totalt er rørdimensjonene mindre fordi varmekretsen er fjernet. Sammenlignet med en tradisjonell tappevannskrets medfører tappevannsløsningen en oppdimensjoneringen på turrøret fra DN 32 til DN 40. Stikkledningene har samme dimensjon, med DN 25 på turrøret og DN 15 på sirkulasjonsledningen.
<i>Rørlengder</i>	96,0 m	177,5 m	Det er en besparelse på 81,5 meter rør ved å endre fra tradisjonell løsning til

			tappevannsløsningen. Det gir en besparelse i rørlengde på 46 %.
<i>Varmetap</i>	493 W	704 W	Varmetapet i sekundærnettlet er redusert med 30 % ved T_{DUT} . Den mest vesentlige reduksjonen i varmetap kommer som en følge av redusert temperatur i sirkulasjonsledningen. Tappevannsløsningen har 35 °C i sirkulasjonsledningen, mens den tradisjonelle tappevannskretsen har 65 °C i sirkulasjonsledningen. At varmekretsen er fjernet fører også til mindre varmetap
<i>Trykktap</i>	79 kPa	96 kPa + 53 kPa =149 kPa	Trykktapet i røranlegget frem til ugunstige krets er 149 kPa for den tradisjonelle løsningen. Tappevannsløsningen har et trykktap på 79 kPa i røranlegget.
<i>Pumpearbeid</i>	111 W	347 W + 21 W = 368 W	Ved T_{DUT} er effektbehovet for pumpa redusert med 70 % for tappevannsløsningen sammenlignet med den tradisjonelle løsningen. Gitt at det skal leveres vannbåren gulvvarme på badet hele året, må også pumpene gå hele året. Det kan derfor antas at årlig energibehov til sirkulasjon vil være proporsjonal med effektbehovet og gi en besparelse på i størrelsesorden 70 % med tappevannsløsningen.

Tabell 23: Oppsummering av resultater for eksempelbygg

Modelleringen er gjort for et bygg på 1356 m² med 12 leiligheter. Det er forventet at tappevannsløsningen og tradisjonell løsning vil prosjekteres og driftes likt også i større bygg.

Eksempelbygget antas å gi et representativt resultat for sammenlikningen av tappevannsløsningen og den tradisjonelle løsningen.

Ved å bytte fra tradisjonell løsning til tappevannsløsningen vil det være rimelig å anta et redusert pumpearbeid på 70 % over året. Både den tradisjonelle løsningen og tappevannsløsningen vil redusere pumpearbeidet ved sommerdrift.

Varmetapet er en funksjon av rørdiameter og temperatur mellom vannet og omgivelsene, det gjør at varmetapet vil være nær konstant gjennom året. Fra resultatene går det frem at isolasjon er avgjørende for å redusere varmetapet. Det kan med fordel isoleres bedre enn minimumskravet i Varmenormen.

Investeringskostnader

I

Tabell 24 gis en oppsummering over investeringskostnadene for tradisjonell løsning og tappevannsløsningen.

<i>Sammenlignet parameter</i>	<i>Tappevannsløsningen</i>	<i>Tradisjonell løsning</i>	<i>Kommentar</i>
<i>Innkjøp rør og komponenter i sekundærnett</i>	37 787 kr + 11 797 kr = 49 584 kr	30 215 kr + 30 215 kr + 36 873 kr + 10 212 kr = 107 515 kr	Innkjøpskostnaden av sekundærnett for den tradisjonelle løsningen er 58 000 kr dyrere. Besparelsen for å bytte til tappevannsløsningen er 54 %
	49 458 kr	47 084 kr	Merkostnaden for innkjøp av tappevannsløsningen sammenlignet med den tradisjonelle tappevannskretsen er 5 %.

<i>Kostnader for fordelerskap /vekslerskap og reguleringsutstyr for hver leilighet.</i>	16 500 kr	~ 5000 + ~ 8000 ≈13 000 kr Eksl. montering	Det er stor variasjon i kostnadene knyttet til tradisjonell løsning alt etter grad av bruk av ferdigkoplete enheter. En kan anta at forskjellen i innkjøpskostnadene for hver leilighet blir utlignet av merkostnaden for sammenkopling i de tradisjonelle fordelerskapene som er inkludert i tappevannsløsningen.
<i>Kostnader i teknisk rom</i>	En varmeveksler med tilhørende utstyr	To varmevekslere med tilhørende utstyr	Det er ikke tatt fram de spesifikke kostnadene for teknisk rom for hver løsning, da det faller utenfor denne oppgaven. Det er likevel rimelig å anta at investeringskostnaden i teknisk rom er billigere for tappevannsløsningen som følge av mindre utstyr.
<i>Installasjon og monteringskostnader</i>	86 sammenføyingspunkter	163 sammenføyingspunkter	Det har vist seg krevende å innhente kostnadsinformasjon rundt prosjektering og montering for begge løsningene fordi rørleggerne i liten grad har vært villige til å dele sine erfaringer. Det er rimelig å anta en kostnadsreduksjon som følge av kortere montasjetid. Utførende rørleggere for byggene i Kristiansand med erfaring fra tappevannsløsningen bekrefter at monteringen går raskere.

Tabell 24: Investeringskostnader for eksempelbygg

Ved å sammenligne investeringskostnadene for tradisjonell løsning og tappevannsløsningen går det frem at tappevannsløsningen vil gi økonomisk besparelse. For innkjøp av komponenter i sekundærnettet og fordelingskap/vekslerskap er tappevannsløsningen 54% rimeligere enn tradisjonell løsning.

Ettersom oppvarming av tappevann står for over 50 % av oppvarmingsbehovet i nye leilighetsbygg, vil det være nødvendig med sentral tappevannsoppvarming for å oppfylle kravet om 60 % energifleksibilitet. Ved å ta i bruk tappevannsløsningen vil leilighetsbygget være 100 % energifleksibelt. Merkostnaden i forhold til elektrisk oppvarming er kostnaden ved å legge vannbåren varmeavgiver i leiligheten, samt vekslerskap for varme. Fordelerskap for tappevann må leiligheten ha uavhengig av oppvarmingsløsning.

Fra konsekvensutredningen til Asplan Viak går det frem at merkostnaden ved å endre fra en direktevirkende elektrisk oppvarmingsløsning til tappevannsløsningen er 110 kr/m². For en middels stor leilighet (60 m²) vil prisen for en 100 % energifleksibel oppvarmingsløsning være 6600 kr etter utredningen fra Asplan Viak. Fra EBLE-prosjektet gikk det frem at beboere etterspør komfort fremfor kostnad. At vannbåren varme er en for dyr investering i nye leilighetsbygg kan derfor være en feiltagelse.

Drift og måledata:

For å dokumentere om tappevannsløsningen er robust og driftssikker ble det hentet måledata fra bygg som er i drift.

Tappevannsløsningen kan dekke et effektbehov på 7 kW ved å ta ut en vannmengde på inntil 0,058 l/s fra tappevannet. Ved å undersøke måledata fra 18 leiligheter i bygg 2 (Q42) for et døgn med gjennomsnittlig utetemperatur på -6 °C går det frem at effektbehovet er lavere. Gjennom døgnet hadde de 18 leilighetene et gjennomsnittlig effektbehov på 1,24 kW som gir en gjennomsnittlig vannmengde på 0,009 l/s. Det betyr at det er energi tilgjengelig til å dekke varmebehovet ved T_{DUT}. Forskning viser at varmebehovet ofte underdimensjoneres i nye leilighetsbygg. For det gjeldene bygget (bygg 2, Q42) viser det seg å ikke være tilfellet.

For de 18 leilighetene ble det også undersøkt om areal og varmebehov er avhengige av hverandre. Måledataen gir ingen direkte sammenheng mellom areal og varmebehov. De største leilighetene bruker mer energi enn de minste, mens det var de mellomstore leilighetene som hadde høyest varmebehov. Ut fra dette er det rimelig å anta at ulikt behov hos beboerne er mer avgjørende for forbruket enn leilighetens størrelse.

Fra måledata over fjernvarmeveksleren i bygg 2 (Q42) går det frem at tappevannsløsningen fungerer som forutsatt ved prosjektering. I bygg 2 (Q42) var returtemperaturen på primærsiden i varmesentralen 34,6 °C i gjennomsnitt gjennom et helt år med et minimum på 18 °C og et maksimum på 40 °C. At returtemperatur holder seg under 40°C gjennom hele året er uvanlig for vannbårne anlegg. Tappevannsløsningen har høy temperaturutnyttelse og sirkulerer en liten vannmengde gjennom hele året.

TEK krever at nye oppvarmingsløsninger skal tilrettelegges for lavtemperatur varmeløsninger. Vannbåren gulvvarme er en varmeavgiver som passer kravet godt. Vannbåren gulvvarme sirkulerer vann med turtemperatur på 35°C som er tilstrekkelig for å dekke varmebehovet. Det gir en returtemperatur tilbake fra gulvvarmesløyvene på ~30 °C. Den maksimale nedkjølingen som sekundærnettet kan oppnå er derfor 30 °C. På vinteren (desember-mars 2017-2018) var den gjennomsnittlige returtemperaturen var 36,6°C i bygg 2 (Q42). Vinterstid er denne utnyttelsesgraden svært god. At tappevannsløsningen har høy utnyttelsesgrad av fjernvarmevannet betyr at det er energieffektivt fordi løsningen greier å ta opp og utnytte store deler av den tilgjengelige energien. For sommerdrift er returtemperaturen lavere med et gjennomsnitt på 32,0 °C, men med svingninger ned til 18 °C. Det skyldes at tappevannet står for det største effektuttaket. Når det er mye tapping under sommerdrift faller returtemperaturen fordi mesteparten av energien tas ut i tappepunktene.

En fordel med tappevannsløsningen er at ΔT er stabil hele året. At det er en stor ΔT også i vintermånedene når varmebehovet er stort er gunstig. At bygget greier å ta opp stor deler av energiinnholdet i turvannet og levere lav returtemperatur tilbake, gir mulighet for å utnytte spillvarme hele året. Mange tradisjonelle anlegg har lav returtemperatur om sommeren, men de færreste greier å levere like lav returtemperatur om vinteren når varmebehovet (effektbehovet) er høyt. Det er spesielt på vinteren når effekttoppene er høye det er gunstig å kunne benytte seg av spillvarme. For fjernvarmebransjen har tappevannsløsningen vist seg å gi god vannavkjøling som er ettertraktet fordi det gir bedre utnyttelse av anleggsinvestering og

lavere driftskostnader i fjernvarmenettet. Ved innføring av tappevannsløsningen trenger hvert bygg mindre vannmengde som vil øke kapasiteten i fjernvarmenettet.

Vannprøvene som ble tatt i to av byggene viste at det ikke var farlige innhold av legionellabakterie. Derimot var kalkinnholdet høyt i et av byggene. Et kalkinnhold på 39,1 mg Ca/l og 47,1 mg Ca/L er over anbefalt verdi. Kalkinnholdet i byvannet i Kristiansand er høyere enn de fleste andre steder i Norge. Bortsett fra varmeveksleren i vekslerskapet er det ikke flere utsatte komponenter i tappevannsløsningen enn ved en tradisjonell løsning. I den grad dette skulle vise seg som et problem over tid vil det være enkelt å stenge av et vekslerskap og avkalkle eller bytte varmeveksleren.

Ved å sammenligne tappevannsløsningen med bygg med tradisjonell løsning gikk det frem at tappevannsløsning er mindre påvirket av endringer i utetemperaturen og turtemperaturer på primærsiden. Det indikerer at løsningen regulerer godt. Effektuttaket og vannmengdene er mer stabil for tappevannsløsningen enn for tradisjonell vannbåren løsning. En jevnere regulering gir mindre slitasje på reguleringsventiler og pumper som vil gi lengre levetid.

Tappevannsløsningen ble også sammenlignet med varmeløsningen fra Sintef. I sammenlikningen går det frem at begge løsningene gir en lavere ΔT på primærsiden enn tradisjonelle anlegg. Varmeløsningen har perioder med liten ΔT . Varmeløsningen har stor effektvariasjon ved tapping og trenger stor rørdimensjon for å levere nok effekt. Om vinteren når varmebehovet er stort vil variasjonen ved tapping av varmtvann dempes. Om sommeren vil derimot tapping kreve rask respons av både reguleringsventilen oppe lokalt i leiligheten, men også pådraget på fjernvarmeveksleren. At disse ventilene ikke henger helt med i reguleringen kan forklare at returtemperaturen i korte perioder får et sprang opp.

Trolig vil varmeløsningen ha et større varmetap enn både tradisjonell løsning og tappevannsløsningen. Varmeløsningen skal varme tappevann via en varmeveksler i hver leilighet. Det må derfor sirkuleres vann i varmeanlegget med høy temperatur hele året. I byggene med varmeløsningen i Kristiansand sirkuleres det turvann i varmekretsen på 70°C og returvann av 50°C. Byvannet har normalt en temperatur på 5-12 °C og skal varmes opp til 65°C, for å oppnå dette trengs det stor vannmengde. Med en sannsynlig samtidig vannmengde på 1,11 l/s vil rørdimensjonen på hovedledningen måtte være DN 70 for å levere nok varmt vann. Et rør med DN 70 og 70 °C turtemperatur vil ha et stort varmetap. Spesielt sommerstid vil dette systemet gi høyere varmetap enn tappevannsløsningen som har lavere temperatur og mindre dimensjoner.

Andre fordeler ved tappevannsløsningen

I tillegg til besparelser i energibruk, drifts- og investeringskostnader har tappevannsløsningen også andre positive egenskaper. Ved å ta i bruk tappevannsløsningen blir varmekretsen for hver enkelt leilighet uavhengig av de andre i samme bygning. For en beboer vil det gi større fleksibilitet fordi hver enkelt kan tilpasse oppvarming, varmt- og kaldtvann etter eget behov. Tappevannsløsningen legger også til rette for å beregne forbruk basert på måling av vannmengdene hver leilighet bruker. Det gir en mer rettferdig fordeling av energikostnadene slik at de som bruker mest betaler mest.

At varmekretsene er uavhengig gjør det mulig å stenge av en leilighet uten at det påvirker resten av driften. Dette vil også være gunstig i en byggeprosess fordi det gjør det mulig å overlevere leilighetene etter hvert som de er innflytningsklare.

Tappevannsløsningen krever ingen innregulering på sekundærsiden, noe som ofte er tidkrevende i tradisjonelle anlegg. Dersom en leilighet ikke fungerer som antatt er det enklere å oppdage og reparere eventuelle feil da den verken påvirker eller påvirkes av de andre leilighetenes varmesystem.

En innvending mot tappevannsløsningen har vært at hver leilighet må ha sitt eget varmesystem som innebærer flere komponenter i hver leilighet. Eksempelvis må hver leilighet ha en egen pumpe for å sirkulere vann til varmekretsen, mens tradisjonell løsning trenger bare en felles pumpe i teknisk rom. En forutsetning for tappevannsløsningen er at vekslerskapene har god kvalitet og at de kommer prefabrikkerte til byggeplass. I perioden tappevannsløsningen har vært i drift har det vært få feil med vekslerskapene. At varmevekslerskapene kommer prefabrikkerte til byggeplass bør gi jevnere og bedre kvalitet og færre feil enn plassbygde anlegg.

Det har vist seg viktig med godt samarbeid mellom leverandør av vekslerskap og utførende rørlegger for å sikre god utførelse av tappevannsløsningen. Som følge av små vannmengder i sirkulasjonsledningen er tappevannsløsningen sensitiv for eksempelvis en bløder/bypass. En feildimensjonert bløder/bypass vil kunne øke returtemperaturen betraktelig.

Ved å fjerne rørene til varmekretsen reduseres antall rør i bygget og det samme gjelder i teknisk rom. Det gjør at sekundærnettets tar mindre plass og i et boligmarked med høye kvadratmeterpriser vil redusert plassbruk til teknisk utstyr være attraktivt. Tappevannsløsningen gjør bygget 100% energifleksibelt. Energieffektive og moderne energiløsninger brukes av utbyggere i sin markedsføring i mye større grad nå enn for få år siden. Dette indikerer at slike løsninger er mer etterspurt i boligmarkedet.

Konklusjon

Tappevannsløsningen fremstår som en driftssikker og energieffektiv løsning for vannbåren varme i nye leilighetsbygg. Reduksjon i antall rør fører til plassbesparelse og lavere investeringskostnad. At rørrnett for varme er fjernet reduserer driftskostnadene og energiforbruket fordi en har mindre sirkulert vannmengde, mindre varmetap og mindre pumpearbeid. Måledata viser at tappevannsløsningen drifter som forutsatt. Tappevannsløsningen har stor varmeutnyttelse og jevn regulering gjennom hele året.

7 Referanser

- [1] Sintef og NTNU, Enøk i bygninger, Trondheim: Gyldendal Forlag, 2007.
- [2] NVE, «Årsrapport 2017,» Norges vassdrag og energidirektorat, Oslo, 2018.
- [3] Norges vassdrag og energidirektorat, «Strømforbruk i Norge mot 2035,» NVE, Oslo, 2018.
- [4] SSB, «ssb.no,» 14 10 2014. [Internett]. Available: <https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/pa-verdenstoppen-i-bruk-av-strom>. [Funnet 07 04 2018].
- [5] Huseiernes landsforbund, «huseierne.no,» 28 02 2018. [Internett]. Available: <https://www.huseierne.no/nyheter/2018/kraftig-prishopp-pa-strom/>. [Funnet 10 05 2018].
- [6] K. H. Tor Helge Dokka, «Energieffektive boliger for framtiden – en håndbok for planlegging av passivhus og lavenergiboliger,» 2006.
- [7] Norsk fjernvarme, «fjernvarme.no,» [Internett]. Available: <http://fjernvarme.no/index.php?pageID=30&openLevel=3>. [Funnet 22 03 2018].
- [8] Arkitektkontoret, «Brukt skisse av hus,» [Internett]. Available: <http://www.arkkon.no/galleri/category/3-tegninger>.
- [9] SINTEF, «sintef.no,» 29 08 2011. [Internett]. Available: <https://www.sintef.no/projectweb/annex32/lavenergiboligerpassivhus/>.
- [10] SSB, «ssb.no,» [Internett]. Available: <https://www.ssb.no/befolkning/statistikker/fobbolig/hvert-10-aar/2013-02-26?fane=tabell&sort=nummer&tabell=101961>.
- [11] SSB, «www.ssb.no,» 22 02 2017. [Internett]. Available: <https://www.ssb.no/bygg-bolig-og-eiendom/statistikker/bygningsmasse/aar/2017-02-22>.
- [12] Regjeringen, «regjeringen.no,» 29 12 2016. [Internett]. Available: <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/klima/internasjonale-klimaforhandlinger/innsiktsartikler-klimaforhandlinger/forhandlingene-om-ny-klimaavtale-i-paris/id2457656/>. [Funnet 08 04 2018].
- [13] Regjeringen, «regjeringen.no,» 09 11 2011. [Internett]. Available: <https://www.regjeringen.no/no/sub/eos->

- notatbasen/notatene/2011/sep/energieffektiviseringsdirektivet/id2433307/. [Funnet 08 04 2018].
- [14] Direktoratet for byggkvalitet, «dibk.no,» 07 01 2017. [Internett]. Available: <https://dibk.no/no/byggeregler/tek/>.
- [15] Sintef Byggforsk, «Evaluering av Boliger med Lavt Energiforbruk, EBLE,» Sintef akademisk forslag, Oslo, 2017.
- [16] Folkehelseinstituttet, «Forebygging av legionellasmitte - en veiledning,» Nasjonalt folkehelseinstitutt, Oslo, 2015.
- [17] I. Bryn, « Feil effekt- og energiberegninger gir høyere kostnad,» Erichen og Horgen, Oslo, 2016.
- [18] S. Jarstein, «Energibruk i baderom,» Multiconsult, Oslo, 2016.
- [19] Direktoratet for byggkvalitet, «Forslag til endring i byggteknisk forskrift i tek17,» DiBK, Oslo, 2018.
- [20] Danish Energy Agency, «Regulation and planning of district heating in Denmark,» Cowi, 2017.
- [21] Bygningsreglementet.dk, «byggningsreglementet.dk,» [Internett]. Available: <http://byggningsreglementet.dk/Tekniske-bestemmelser/11/Krav>. [Funnet 17 02 2018].
- [22] Boverket, «boverket.se,» [Internett]. Available: <https://www.boverket.se/sv/byggande/regler-for-byggande/>. [Funnet 19 02 2018].
- [23] R. Ulseth, Energisystemer - Vannbåren varme, systemer og egenskaper, Trondheim: NTNU, 2012.
- [24] Vidar Naustvoll, *Produktsjef LK-systems*, Muntlig kilde.
- [25] Enova, «Kjøpsveileder Vannbåren varme,» *Hjelp til deg som skal kjøpe vannbåren varme*, p. Side 3.
- [26] E. Vollan, *Prosjektutvikler Assemblin*, Muntlig kilde, 2018.
- [27] A. Nørstebø, *Adm.dir Oslofjord Varme*, Muntlig kilde, 2018.
- [28] Norsk Vann, «Standard abonnementsvilkår for vann og avløp,» Kommuneforlaget.

- [29] D. Zidjemans, *Vannbårne varme og kjølesystemer*, Skarland Press, 2012.
- [30] Hammerfest Energi AS, «hamerfestenergi.no,» 10 09 2013. [Internett]. Available: <http://hammerfestenergi.no/upload/2013/09/10/tekniske-bestemmelser-for-hev-versjon-1-2013.pdf>. [Funnet 15 04 2017].
- [31] Norsk Vann, «Ofte stilte spørsmål om vann,» [Internett]. Available: <https://www.norskvann.no/index.php/vann/ofte-stilte-sporsmal-om-vann/89-drikkevann>. [Funnet 22 05 2018].
- [32] v. MMA, <http://www.mma.se/produkter/balanseringsventil-tov/>.
- [33] S. Rypestøl, *Driftssjef Agder Energi Varme*, Muntlig kilde, 18.
- [34] Universitet i Oslo, «Arne Auen Grimenes,» [Internett]. Available: <https://www.uio.no/studier/emner/matnat/fys/FYS1000/v11/Fluidmekanikk.pdf>.
- [35] VVS-foreningen, *Varmenormen*, Oslo: Skarlands Press AS, 2012.
- [36] Glava Isolasjon, «glava.no,» [Internett]. Available: <http://www.glava.no/teknisk-isolering/losninger/isolering-av-ror/isolering-av-ror/>. [Funnet 05 20118].
- [37] B. Thorbjørnsen, *Prosjektleder Agder Energi Varme*, Muntlig kilde, 2018.
- [38] R. Ulseth, *Vannbåren varme, systemer og egenskaper*, NTNU, 2000.
- [39] N. Nord, «Temperature levels and future trends in energy systems,» Lecture, TEP 4535, Trondheim, 2016.
- [40] R. Julin, Interviewee, *Teknisk sjef Agder Energi Varme*. [Intervju]. 2016-2018.
- [41] LK-systems, «LK-kombiskap universal UNI-X,» Oslo, 2016.
- [42] V. Naustvoll, *Powerpoint, UNI-X*, LK-systems.
- [43] Grundfoss, *Sirkulasjonspumper*, <https://no.grundfos.com/products/find-product/magna3.html>.
- [44] Nordic Heatsystem, <http://nordic-heat.no/>, Tor Andrè Monan.
- [45] Sintef Byggforsk, «Prosjektveileder, forenklet anlegg for vannbåren oppvarming i boliger,» Sintef byggforsk, Oslo, 2009.

- [46] Hus og heim, «husogheim.no,» 04 06 2018. [Internett]. Available: http://www.husogheim.no/1/1_65.html.
- [47] Asplan Viak, «Energifleksibilitet i bygg - en studie av konsekvenser av preaksepterte løsninger,» Direktoratet for byggkvalitet, Oslo, 2018.
- [48] LK-systems, *Prosjekteringsanvisning*, Oslo: http://www.lksystems.no/globalassets/inriver/resources/no.29.b.1_prosjekteringsanvisning.pdf, 2016.
- [49] The Engineer Toolbox, «<https://www.engineeringtoolbox.com>,» [Internett]. Available: https://www.engineeringtoolbox.com/water-thermal-properties-d_162.html.
- [50] C. Heen, Oslofjord Varme AS.
- [51] O. V. Atle Nørstebø, Interviewee, *Primærnett for fjernvarme*. [Intervju]. 01 05 2017.
- [52] Kasernen, *Fotografi Kasernen*, <https://www.fvn.no/nyheter/lokalt/i/zw8Jr/Bygger-i-hagen-til-Kasernen>.
- [53] Q42, *Fotografi av Q42*, <http://q42.no/en/>.
- [54] W. Skagestad, «Q42,» *Q42*, pp. 8-14, 18, 2016.
- [55] Kristiansand Kommune, «kristiansand.kommune.no,» 2015. [Internett]. Available: <https://www.kristiansand.kommune.no/aktuelt/byggepris-til-agderbygg-og-agder-energi-varme/>.
- [56] T. K. A. Paul Tengesdal, Lavtrykks distribusjonssystem i vannbårne energisystemer, Bjerkheim, 2006.
- [57] V. Naustvoll, Interviewee, *Produksjef, varme*. [Intervju]. 2018.
- [58] Kåre Henning Åsly, *Leder, Moi Rør*, Muntlig kilde.
- [59] Øystein Baardsen, *Prosjektleder Hallvard Thorsen*, Muntlig kilde.
- [60] Sintef Byggforsk, «Prosjektveileder, forenklet anlegg for vannbåren oppvarming av boliger,» SINTEF, Oslo, 2009.

8 Vedlegg

Oppsummeringstabeller for rørdimensjonering:

Røranlegg tradisjonell løsning, tur og retur

	<i>m</i>	Vann- mengde [l/s]	<i>Di</i> [m]	<i>DN</i>	<i>D,utv</i> [mm]	<i>D,inv</i> [mm]	Volum- strøm [m ³ /s]	Vann hastighet [m/s]
A-C	10	1,94	0,056	40	42	39,6	0,0019	1,58
C-D	6,3	1,39	0,048	40	42	39,6	0,0014	1,13
D-E	7,3	0,73	0,035	25	28	26	0,0007	1,38
E1-E2	1,3	0,55	0,030	25	28	26	0,0006	1,04
E2-E3	2,9	0,37	0,024	20	22	20	0,0004	1,17
E3-E4	2,9	0,18	0,017	20	22	20	0,0002	0,58
C-G	1,3	0,55	0,030	25	28	26	0,0006	1,04
G1-G2	1,3	0,41	0,026	20	22	20	0,0004	1,31
G2-G3	2,9	0,28	0,021	20	22	20	0,0003	0,88
G3-G4	2,9	0,14	0,015	20	22	20	0,0001	0,44
D-F	1,8	0,66	0,033	25	28	26	0,0007	1,24
F1-F2	1,3	0,49	0,028	25	28	26	0,0005	0,93
F2-F3	2,9	0,33	0,023	20	22	20	0,0003	1,05
F3-F4	2,9	0,16	0,016	20	22	20	0,0002	0,52

Røranlegg tradisjonell tappevannskrets, tur

	<i>m</i>	Vann- mengde [l/s]	<i>Di</i> [m]	<i>DN</i>	<i>D,utv</i> [mm]	<i>D,inv</i> [mm]	Volum- Strøm [m ³ /s]	Vann hastighet [m/s]
A-C	10	1,11	0,04	32	35	32,6	0,0011	1,33
C-D	6,3	0,93	0,04	32	35	32,6	0,0009	1,11
D-E	7,3	0,73	0,03	25	28	26	0,0007	1,37
E1-E2	1,3	0,66	0,03	25	28	26	0,0007	1,24
E2-E3	2,9	0,58	0,03	25	28	26	0,0006	1,09
E3-E4	2,9	0,47	0,03	25	28	26	0,0005	0,89
C-G	1,3	0,73	0,03	25	28	26	0,0007	1,37
G1-G2	1,3	0,66	0,03	25	28	26	0,0007	1,24
G2-G3	2,9	0,58	0,03	25	28	26	0,0006	1,09
G3-G4	2,9	0,47	0,03	25	28	26	0,0005	0,89
D-F	1,8	0,68	0,03	25	28	26	0,0007	1,28
F1-F2	1,3	0,62	0,03	25	28	26	0,0006	1,17
F2-F3	2,9	0,55	0,03	25	28	26	0,0006	1,04
F3-F4	2,9	0,45	0,03	25	28	26	0,0005	0,85

Røranlegg tradisjonell løsning, sirkulasjon

	<i>m</i>	<i>Vann mengde [l/s]</i>	<i>Di [m]</i>	<i>DN</i>	<i>D,utv [mm]</i>	<i>D,inv [mm]</i>	<i>Volum strøm [m³/s]</i>	<i>Vann hastighet [m/s]</i>
<i>A-C</i>	10	0,06	0,01	15	18	16	0,0001	0,30
<i>C-D</i>	6,3	0,04	0,01	15	18	16	0,0000	0,20
<i>D-E</i>	7,3	0,02	0,01	15	18	16	0,0000	0,10
<i>E1-E2</i>	1,3	0,01	0,00	15	18	16	0,0000	0,05
<i>E2-E3</i>	2,9							
<i>E3-E4</i>	2,9							
<i>C-G</i>	1,3	0,02	0,01	15	18	16	0,0000	0,10
<i>G1-G2</i>	1,3	0,01	0,00	15	18	16	0,0000	0,05
<i>G2-G3</i>	2,9	0,00						
<i>G3-G4</i>	2,9							
<i>D-F</i>	1,8	0,02	0,01	15	18	16	0,0000	0,05
<i>F1-F2</i>	1,3	0,01	0,00	15	18	16	0,0000	0,00
<i>F2-F3</i>	2,9							
<i>F3-F4</i>	2,9							

Varmetapsberegning eksempelbygg

Varmetap tappevannsløsning tur

Rørstrekk	m	°C	DN	D, utv [m]	D, inv [m]	Isol. [mm]	U-verdi [W/mK]	[W/m]	Varmetap [W]
A-C	10	65	40	0,042	0,0396	40	0,17	7,73	77,3
C-D	6,3	65	40	0,042	0,0326	40	0,2	7,6	48,1
D-E	7,3	65	32	0,035	0,0326	40	0,2	7,6	55,2
E1E2	1,3	65	25	0,028	0,0260	30	0,2	7,3	9,5
E2-E3	2,9	65	25	0,028	0,0260	30	0,2	7,3	21,2
E3-E4	2,9	65	25	0,028	0,0260	30	0,2	7,3	21,2
C-G	1,3	65	32	0,035	0,0326	30	0,2	7,5	9,8
G1-G2	1,3	65	25	0,028	0,0260	30	0,2	7,3	9,5
G2-G3	2,9	65	25	0,028	0,0260	30	0,2	7,3	21,2
G3-G4	2,9	65	25	0,028	0,0260	30	0,2	7,3	21,2
D-F	1,8	65	25	0,028	0,0260	30	0,2	7,3	13,2
F1-F2	1,3	65	25	0,028	0,0260	30	0,2	7,3	9,5
F2-F3	2,9	65	25	0,028	0,0260	30	0,2	7,3	21,2
F3-F4	2,9	65	25	0,028	0,0260	30	0,2	7,3	21,2
								Sum	360 W

Varmetap tappevannsløsningen, sirkulasjonsledning

Rørstrekk	m	°C	DN	D, utv [m]	D, inv [m]	Isol. [mm]	U-verdi [W/mK]	Varmetap [W/m]	Varmetap [W]
A-C	10	35	20	0,022	0,02	30	0,157	2,35	23,50
C-D	6,3	35	20	0,022	0,02	30	0,157	2,35	14,81
D-E	7,3	35	15	0,018	0,016	20	0,149	2,24	16,33
E1E2	1,3	35	15	0,018	0,016	20	0,149	2,24	2,91
E2-E3	2,9	35	15	0,018	0,016	20	0,149	2,24	6,49
E3-E4	2,9	35	15	0,018	0,016	20	0,149	2,24	6,49
C-G	1,3	35	15	0,018	0,016	20	0,149	2,24	2,91
G1-G2	1,3	35	15	0,018	0,016	20	0,149	2,24	2,91
G2-G3	2,9	35	15	0,018	0,016	20	0,149	2,24	6,49
G3-G4	2,9	35	15	0,018	0,016	20	0,149	2,24	6,49
D-F	1,8	35	15	0,018	0,016	20	0,149	2,24	4,03
F1-F2	1,3	35	15	0,018	0,016	20	0,149	2,24	2,91
F2-F3	2,9	35	15	0,018	0,016	20	0,149	2,24	6,49
F3-F4	2,9	35	15	0,018	0,016	20	0,149	2,24	6,49
								Sum	109 W

Varmetap tradisjonell varmekrets, tur

Rørstrekk	m	°C	DN	D, utv [m]	D, inv [m]	Isol. [mm]	U-verdi [W/mK]	[W/m]	[W]
A-C	10	35	40	0,042	0,122	40	0,079	1,2	25,76
C-D	6,3	35	40	0,042	0,122	40	0,079	1,2	16,23
D-E	7,3	35	25	0,042	0,102	30	0,105	1,6	18,78
E1E2	1,3	35	25	0,028	0,088	30	0,105	1,6	3,17
E2-E3	2,9	35	20	0,028	0,088	30	0,105	1,6	7,08
E3-E4	2,9	35	20	0,022	0,082	30	0,105	1,6	6,82
C-G	1,3	35	25	0,022	0,082	30	0,105	1,6	3,06
G1-G2	1,3	35	20	0,028	0,088	30	0,105	1,6	3,17
G2-G3	2,9	35	20	0,022	0,082	30	0,105	1,6	6,82
G3-G4	2,9	35	20	0,022	0,082	30	0,105	1,6	6,82
D-F	1,8	35	25	0,022	0,082	30	0,105	1,6	4,23
F1-F2	1,3	35	25	0,028	0,088	30	0,105	1,6	3,17
F2-F3	2,9	35	20	0,028	0,088	30	0,105	1,6	7,08
F3-F4	2,9	35	20	0,022	0,082	30	0,105	1,6	6,82
								Sum	119 W

Varmetap tradisjonell varmekrets, retur

Rørstrekk	<i>m</i>	°C	DN	<i>D</i> , utv [m]	<i>D</i> , inv [m]	Isol. [mm]	<i>U</i> -verdi [W/mK]	[W/m]	[W]
A-C	10	30	40	0,042	0,122	40	0,079	1,7	17,2
C-D	6,3	30	40	0,042	0,122	40	0,079	1,7	10,8
D-E	7,3	30	25	0,042	0,102	30	0,105	1,7	12,5
E1E2	1,3	30	25	0,028	0,088	30	0,105	1,6	2,1
E2-E3	2,9	30	20	0,028	0,088	30	0,105	1,6	4,7
E3-E4	2,9	30	20	0,022	0,082	30	0,105	1,6	4,5
C-G	1,3	30	25	0,022	0,082	30	0,105	1,6	2,0
G1-G2	1,3	30	20	0,028	0,088	30	0,105	1,6	2,1
G2-G3	2,9	30	20	0,022	0,082	30	0,105	1,6	4,5
G3-G4	2,9	30	20	0,022	0,082	30	0,105	1,6	4,5
D-F	1,8	30	25	0,022	0,082	30	0,105	1,6	2,8
F1-F2	1,3	30	25	0,028	0,088	30	0,105	1,6	2,1
F2-F3	2,9	30	20	0,028	0,088	30	0,105	1,6	4,7
F3-F4	2,9	30	20	0,022	0,082	30	0,105	1,6	4,5
								Sum	79 W

Varmetap tradisjonell tappevannkrets, tur

Rørstrekk	<i>m</i>	°C	DN	<i>D</i> , utv [m]	<i>D</i> , inv [m]	Isol. [mm]	<i>U</i> -verdi [W/mK]	[W/m]	[W]
A-C	10	65	32	0,035	0,0326	40	0,168	7,6	47,63
C-D	6,3	35	32	0,035	0,0326	40	0,168	7,6	55,20
D-E	7,3	35	25	0,028	0,026	40	0,163	7,3	9,55
E1E2	1,3	35	25	0,028	0,026	30	0,163	7,3	21,23
E2-E3	2,9	35	25	0,028	0,026	30	0,163	7,3	21,23
E3-E4	2,9	35	25	0,028	0,026	30	0,163	7,3	9,52
C-G	1,3	35	25	0,028	0,026	30	0,163	7,3	9,52
G1-G2	1,3	35	25	0,028	0,026	30	0,163	7,3	21,23
G2-G3	2,9	35	25	0,028	0,026	30	0,163	7,3	21,23
G3-G4	2,9	35	25	0,028	0,026	30	0,163	7,3	13,18
D-F	1,8	35	25	0,028	0,026	30	0,163	7,3	9,52
F1-F2	1,3	35	25	0,028	0,026	30	0,163	7,3	21,23
F2-F3	2,9	35	25	0,028	0,026	30	0,163	7,3	21,23
F3-F4	2,9	35	25	0,028	0,026	30	0,163	7,3	21,23
								Sum	303 W

Varmetap tradisjonell tappevannskrets, sirkulasjonsledning

Rørstrekk	m	°C	DN	D, utv [m]	D, inv [m]	Isol. [mm]	U-verdi [W/mK]	[W/m]	[W]
A-C	10	63	15	0,018	0,016	30	0,151	6,8	67,78
C-D	6,3	63	15	0,018	0,016	30	0,151	6,8	42,70
D-E	7,3	63	15	0,018	0,016	30	0,151	6,5	47,45
E1E2	1,3	63	15	0,018	0,016	30	0,151	6,5	8,45
E2-E3	2,9	63							
E3-E4	2,9	63							
C-G	1,3	63	15	0,018	0,016	30	0,151	6,5	8,45
G1-G2	1,3	63	15	0,018	0,016	30	0,151	6,5	8,45
G2-G3	2,9	63							
G3-G4	2,9	63							
D-F	1,8	63	15	0,018	0,016	30	0,151	6,5	11,70
F1-F2	1,3	63	15	0,018	0,016	30	0,151	6,5	8,45
								Sum	203 W

Trykktap i rørnett

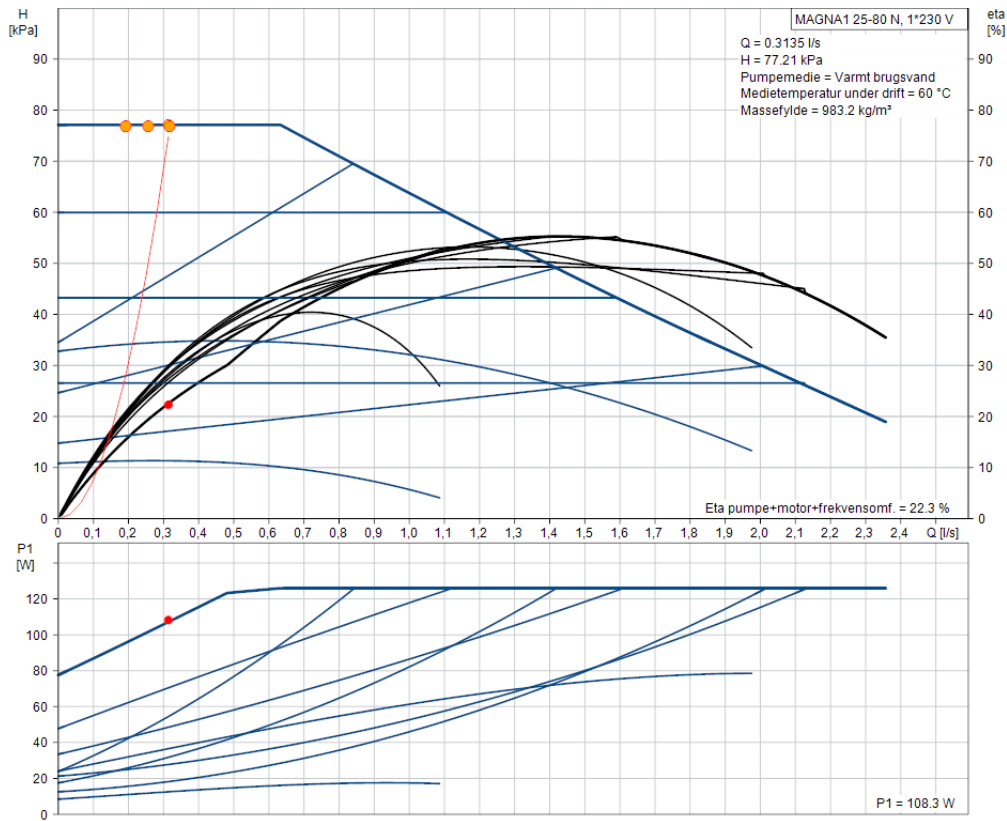
Trykktap i rørnett fra A til leilighet E4, tappevannsløsningen, tur

Rørstrekk	Lengde	l/s	kg/t	DN	Inv.dia	R = Pa/m	Friksjonstap Pa	kPa	Ekv. lengder	Tap, Pa	kPa
A-C	10	1,43	5162	40	39,6	401	4008	4,01	1,68	673	0,67
C-D	6,3	1,16	4184	40	39,6	273	1720	1,72	0,00	0	0,00
D-E	7,3	0,85	3068	32	32,6	401	2931	2,93	0,00	0	0,00
E1E2	1,3	0,75	2706	25	26,0	965	1255	1,25	0,98	946	0,95
E2-E3	2,9	0,64	2308	25	26,0	722	2094	2,09	0,98	707	0,71
E3-E4	2,9	0,50	1802	25	26,0	459	1332	1,33	0,98	450	0,45
							Sum	13 kPa		Sum	3 kPa

Trykktap i rørnett fra A til leilighet E4, tappevannsløsningen, sirkulasjonsledning

Rørstrekk	Lengde	l/s	kg/t	DN	Inv.dia	R = Pa/m	Friksjonstap Pa	kPa	Ekv. lengde	Pa	kPa
A-C	10	0,32	1166	20	20	749	7493	7,49	1,68	1259	1,26
C-D	6,3	0,23	836	20	20	408	2570	2,57	0,00	0	0,00
D-E	7,3	0,12	440	15	13	1041	7600	7,60		0	0,00
E1E2	1,3	0,09	330	15	16	223	290	0,29	0,98	218	0,22
E2-E3	2,9	0,06	220	15	16	106	308	0,31	0,98	104	0,10
E3-E4	2,9	0,03	110	15	16	30	87	0,09	0,98	29	0,03
							Sum	18 kPa		Sum	2 kPa

Pumpekarakteristikk for valgt sirkulasjonspumpe i tappevannsløsning. Pumpa er fra Grundfos Magna 20 – 80 N.



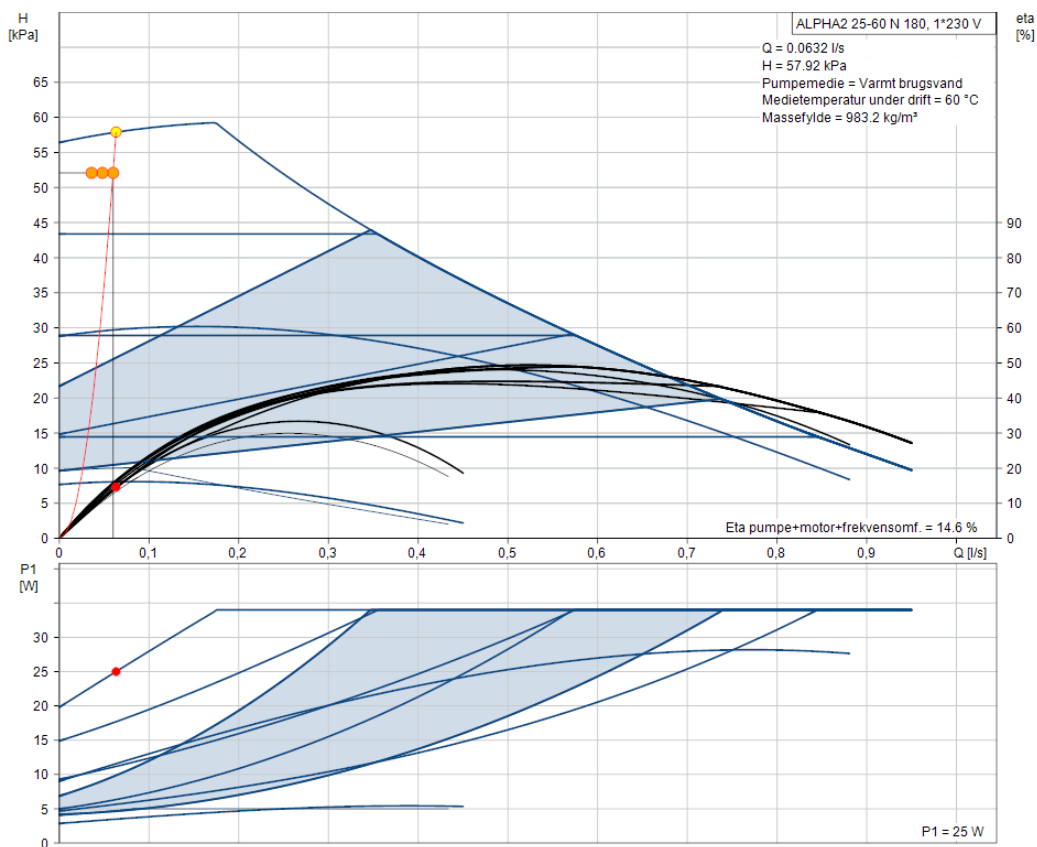
Trykktap i rørrnett fra A til leilighet E4, tradisjonell tappevannskrets, tur

Rørstrekk	Lengde	l/s	kg/t	DN	Inv.dia	R = Pa/m	Friksjonstap Pa	kPa	Ekv. lengde	Pa	kPa
A-C	10	1,11	3996	32	32,6	650	6503	6,50	1,68	1092	1,09
C-D	6,3	0,93	3348	32	32,6	471	2966	2,97	0,00	0	0,00
D-E	7,3	0,73	2628	25	26	915	6679	6,68	0,00	0	0,00
E1E2	1,3	0,66	2376	25	26	761	989	0,99	0,98	746	0,75
E2-E3	2,9	0,58	2088	25	26	601	1743	1,74	0,98	589	0,59
E3-E4	2,9	0,47	1692	25	26	409	1187	1,19	0,98	401	0,40
							Sum	20 kPa		Sum	3 kPa

Trykktap i rørrnett fra A til leilighet E4, tradisjonell tappevannskrets, sirkulasjonsledning

Rørstrekk	Lengde	l/s	kg/t	DN	Inv.dia	R =	Friksjonstap	kPa	Ek	Pa	kPa
						Pa/m	Pa		.lengde		
A-C	10	0,06	216	15	20	34,46	344,56	0,34	1,68	57,89	0,06
C-D	6,3	0,04	144	15	20	16,43	103,53	0,10	0,00	0,00	0,00
D-E	7,3	0,02	72	15	16	13,81	100,80	0,10		0,00	0,00
E1E2	1,3	0,01	36	15	16	3,89					
E2-E3	2,9		0								
E3-E4	2,9		0								
							Sum	0,55		Sum	0,06 kPa
								kPa			

For de beregnede driftsforutsetningene for sirkulasjonspumpa ble det valgt sirkulasjonspumpen Alpha 25-60 N fra Grundfos valgt. Pumpekarakteristikk er vist under.



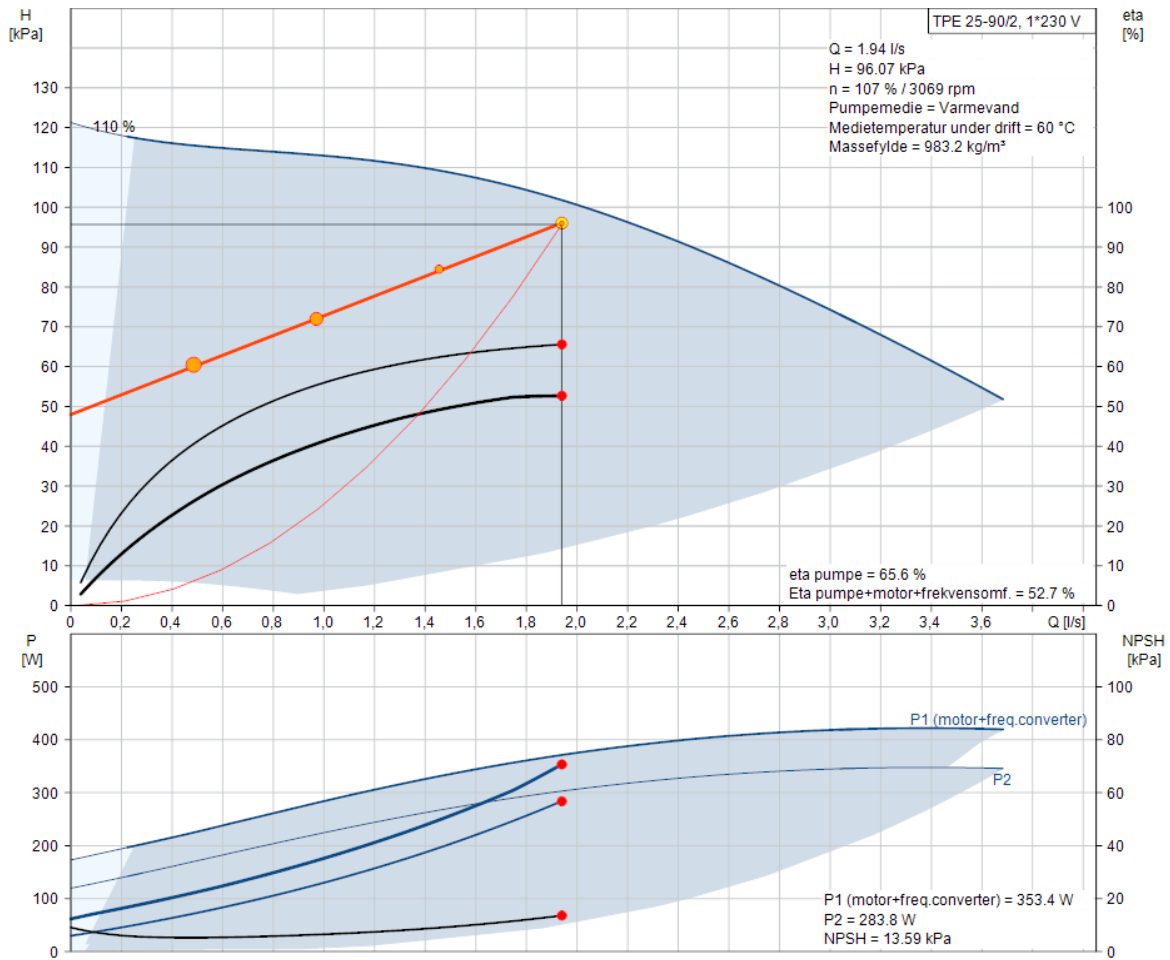
Trykktap i rørnett fra A til leilighet E4, tradisjonell varmekrets, tur

<i>Rørstrekk</i>	<i>Lengde</i>	<i>l/s</i>	<i>kg/t</i>	<i>DN</i>	<i>Inv.dia</i>	<i>R = Pa/m</i>	<i>Friksjonstap Pa</i>	<i>kPa</i>	<i>Ekv. lengder</i>	<i>Tap, Pa</i>	<i>kPa</i>
A-C	10	1,94	6999	40	39,6	699	6987	6,99	1,68	1174	1,17
C-D	6,3	1,39	5017	40	39,6	380	2397	2,40	0,00	0	0,00
D-E	7,3	0,73	2643	25	26	924	6747	6,75	0,00	0	0,00
E1E2	1,3	0,55	1982	25	26	547	711	0,71	0,98	536	0,54
E2-E3	2,9	0,37	1321	20	20	941	2728	2,73	0,98	922	0,92
E3-E4	2,9	0,18	661	20	20	265	770	0,77	0,98	260	0,26
							Sum	20 kPa		Sum	3 kPa

Trykktap i rørnett fra A til leilighet E4, tradisjonell varmekrets, retur

<i>Rørstrekk</i>	<i>Lengde</i>	<i>l/s</i>	<i>kg/t</i>	<i>DN</i>	<i>Inv.dia</i>	<i>R = Pa/m</i>	<i>Friksjonstap Pa</i>	<i>kPa</i>	<i>Ekv. lengder</i>	<i>Tap, Pa</i>	<i>kPa</i>
A-C	10	1,94	6999	40	39,6	699	6987	6,99	1,68	1174	1,17
C-D	6,3	1,39	5017	40	39,6	380	2397	2,40	0,00	0	0,00
D-E	7,3	0,73	2643	25	26	924	6747	6,75	0,00	0	0,00
E1E2	1,3	0,55	1982	25	26	547	711	0,71	0,98	536	0,54
E2-E3	2,9	0,37	1321	20	20	941	2728	2,73	0,98	922	0,92
E3-E4	2,9	0,18	661	20	20	265	770	0,77	0,98	260	0,26
							Sum	20 kPa		Sum	3 kPa

Under disse driftsforholdene er det valgt ut pumpa TPE 25-90/2 fra Grundfos.



Kostnader

Innkjøpskostnader varmekrets tradisjonell løsning

	DN	Rør	Bend	Stenge ventil	Regulerings ventil	T-rør	Reduksjon	Tur	Retur
A-B	40	1787	1331	2098	0	0,0	0	5217	5217
B-C	40	2184	0	2098	0	0,0	0	4283	4283
C-D	40	2502	0	2098	0	344,0	142	5086	5086
D-E	25	1528	85	839	0	0,0	72	2524	2524
E1-E2	25	272	0	839	0	124,3	0	3707	3707
E2-E3	20	450	0	634	0	61,4	0	3438	3438
E3-E4	20	450	0	634	0	61,4	0	3438	3438
C-G	25	272	0	839	0	0,0	72	1183	1183
D-F	25	377	0	839	0	124,3	0	1340	1340
							Pris (kr)	30 214	30 214

Innkjøpskostnader tradisjonell turlledning for tappevann

	DN	Rør	Bend	Stenge ventil	Regulerings ventil	T-rør	Reduksjon	Tur
A-B	32	1525	686	1493	2304	0	0	6009
B-C	32	1864	0	0	2304	0	0	4168
C-D	32	2135	0	0	2304	204	84	4728
D-E	25	1528	85	0	1546	0	72	3231
E1-E2	25	272	0	839	0	124	0	3707
E2-E3	25	607	0	839	0	124	0	4711
E3-E4	25	607	0	839	0	124	0	4711
C-G	25	516	0	0	2904	0	142	3562
D-F	25	377	0	0	1546	124	0	2047
							Pris (kr)	36 873

Innkjøpskostnader tradisjonell sirkulasjonsledning

	DN	Rør	Bend	Stenge ventil	Regulerings ventil	T-rør	Reduksjon	Sirkulasjons ledning
A-B	15	699	170	634	0	0	0	1503
B-C	15	854	0	634	0	0	0	1488
C-D	15	979	0	634	0	61	27	1701
D-E	15	1018	35	537	0	0	24	1614
E1-E2	15	181	0	537	0	55	0	2320
E2-E3	15	0	0	0	0	0	0	0
E3-E4	15	0	0	0	0	0	0	0
C-G	15	181	0	537	0	0	24	743
D-F	15	251	0	537	0	55	0	843
							Pris (kr)	10 212

Måledata bygg 2 (Q42)

<i>Leilighet</i>	<i>Areal</i> <i>[m²]</i>	<i>Gjennomsnitt</i> <i>[l/s]</i>	<i>Effekt</i> <i>[kW]</i>
506	42	0,0042	0,53
410	42	0,0045	0,56
306	42	0,0067	0,84
413	42	0,0028	0,36
304	46	0,0010	0,13
504	46	0,0087	1,09
303	64	0,0081	1,02
605	65	0,0157	1,97
423	68	0,0055	0,69
419	75	0,0079	0,99
521	75	0,0118	1,48
510	78	0,0170	2,13
509	78	0,0116	1,46
319	85	0,0147	1,84
426	95	0,0100	1,25
601	97	0,0178	2,23
512	97	0,0130	1,63
418	99	0,0109	1,37
606	127	0,0166	2,08
513	128	0,0096	1,20
417	134	0,0096	1,20
Sum		0,0099 l/s	1,24 kW

Vannprøver:

Side 1 av 2

ANALYSERESULTATER

Analyse-parameter	Måle-enhet	Metode	Resultater		
			1710	1711	1712
Lab. nr.:			Tertiær nett	Kaldt vann 4. etg	Varmt vann
Prøver merket:					
Legionella*	Pr. L	DS 3029:2001	-	<10	<10
Oksygen	mg O/L	Winkler	2,82	-	-
Kalsium	mg/L	EPA 200.8	24,8	47,1	39,3
Kalium	mg/L	EPA 200.8	0,676	-	-
Magnesium	mg/L	EPA 200.8	1,17	-	-
Natrium	mg/L	EPA 200.8	7,68	-	-
Jern	mg/L	EPA 200.8	0,151	-	-
Aluminium	µg/L	EPA 200.8	31,5	-	-
Arsen	µg/L	EPA 200.8	0,278	-	-
Barium	µg/L	EPA 200.8	19,9	-	-
Kadmium	µg/L	EPA 200.8	0,496	-	-
Kobolt	µg/L	EPA 200.8	0,767	-	-
Krom	µg/L	EPA 200.8	0,0464	-	-
Kopper	µg/L	EPA 200.8	90,6	-	-
Kvikksølv	µg/L	EPA 200.8	<0,002	-	-
Mangan	µg/L	EPA 200.8	103	-	-
Molybden	µg/L	EPA 200.8	1,45	-	-
Nikkel	µg/L	EPA 200.8	404	-	-
Bly	µg/L	EPA 200.8	67,3	-	-
Silisium	µg/L	EPA 200.8	1,35	-	-
Strontium	µg/L	EPA 200.8	92,7	-	-
Sink	µg/L	EPA 200.8	596	-	-
Vanadium	µg/L	EPA 200.8	0,0287	-	-

* Resultat <10 regnes som ikke påvist.

Analyseresultatene gjelder kun de undersøkte prøvene. Denne rapporten kan ikke gjengis i utdrag, uten godkjenning av laboratoriet. Analysens måleusikkerhet oppgis ved henvendelse til laboratoriet.

Erik Olsen
Analyseansvarlig

ANALYSERESULTATER

Analyse-parameter	Måle-enhet	Metode	Resultater	
Lab. nr.:			1284	1285
Prøver merket:			Kaldt vann	Varmt vann
Legionella*	Pr. L	DS 3029:2001	<10	<10
Klorid	mg Cl/L	NS 4769	13,4	13,1
Kalsium	mg Ca/L	Intern metode	29	28

* Resultat <10 regnes som ikke påvist.

Utført av Kristiansand Vannlab <http://vannlab.no/>

Innføring av ny teknisk løsning for vannbåren varme i leilighetsbygg – Tappevannsløsningen

Kristin Nørstebø

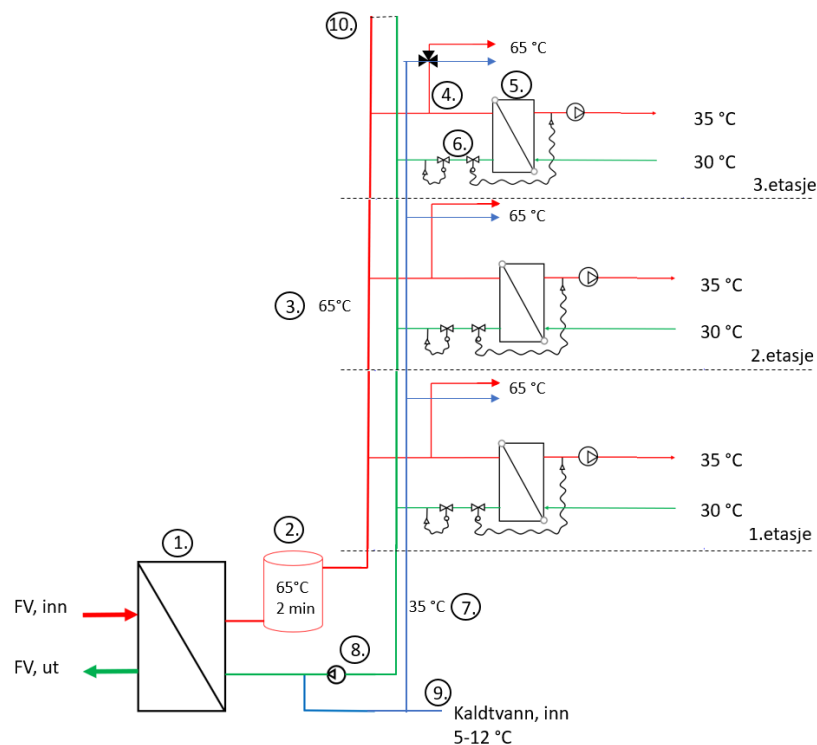
Introduksjon

I Norge er det strenge krav til energibruk i bygninger og byggereglene stiller krav om minst 60 % energifleksibel oppvarming [1]. Dette har gjort at etterspørselen etter effektive og billigere løsninger for vannbåren oppvarming er økende. Fjernvarmeleverandøren Agder Energi Varme i Kristiansand har utviklet en løsning for leilighetsbygg som bruker tappevannet som energibærer for oppvarming, og som derved har fjernet behov for hele den tradisjonelle varmekretsen. Varmebehovet dekkes ved å sirkulere varmt tappevann med 65 °C over en varmeveksler i hver leilighet. Hver leilighet har en egen lukket lavtemperatur varmekrets.

Målet med oppgaven er å kartlegge hvordan den nye tappevannsløsningen fungerer i nye leilighetsbygg. Det skal vurderes om løsningen gir reduksjon i drifts- og investeringskostnader og om løsningen er driftssikker og enkel å drifte.

Oppbygning av tappevannsløsningen

Et tradisjonelt vannbåret anlegg har fem vannrør i sekundærnettet. Tappevannsløsningen har gått fra fem til tre vannrør i leilighetsbygg ved å fjerne rørrettet for varme. Figur 1 viser flytskjema for oppbygningen av tappevannsløsningen.



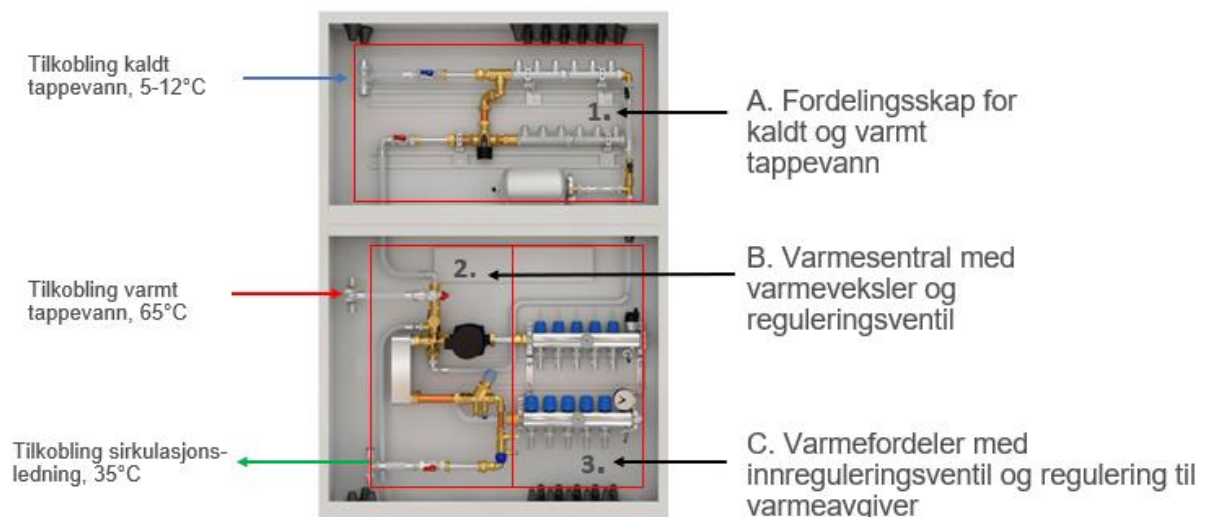
Figur 1: Flytskjema for tappevannsløsningen

De mest sentrale detaljene for tappevannsløsningen er (nummering ihht Figur 1):

1. Tappevannsløsningen er energifleksibel og kan tilknyttes alle energikilder
2. En oppholds-tank sikrer at vannet har holdt 65°C i minimum 2 minutter for å ufarliggjøre legionellabakterien
3. Det varme tappevannet holder en turtemperatur på minimum 65 °C
4. Varmt og kaldtvann distribueres i et T-rør til hver leilighet. En blandingsventil reduserer varmtvannstemperaturen for å gi skåldingsbeskyttelse
5. Tappevannsløsningen benytter et spesialdesignet vekslerskap som overfører varme fra sekundærnettets i bygget til hver leilighet. Beskrivelse av vekslerskapet gis i sammenheng med Figur 2
6. Reguleringsventil 1 i vekslerskapet regulerer varmeavgivelsen til fordelingsstokken for varme. Ventil 2 er en temperaturkontrollør som begrenser maksimal returtemperatur tilbake til varmesentral.
7. Sirkulasjonsledningen vil ha en temperatur på typisk 35°C
8. For å drive vannet i sirkulasjonsledningen er det installert en sirkulasjonspumpe som pumper vannet tilbake til energikilden.
9. Kaldt byvann distribueres inn i bygget fra vannledningen i gata
10. Bløder/bypass i øverste etasje for å sikre sirkulasjon ved lavt varmebehov.

Vekslerskap i hver leilighet

Tappevannsløsningen frakter tappevann med 65 °C til et spesialdesignet vekslerskap i hver leilighet [2]. Sekundærnettets føres gjennom vekslerskapet og tilkobling gjøres med T-rør som vist til venstre i Figur 2.



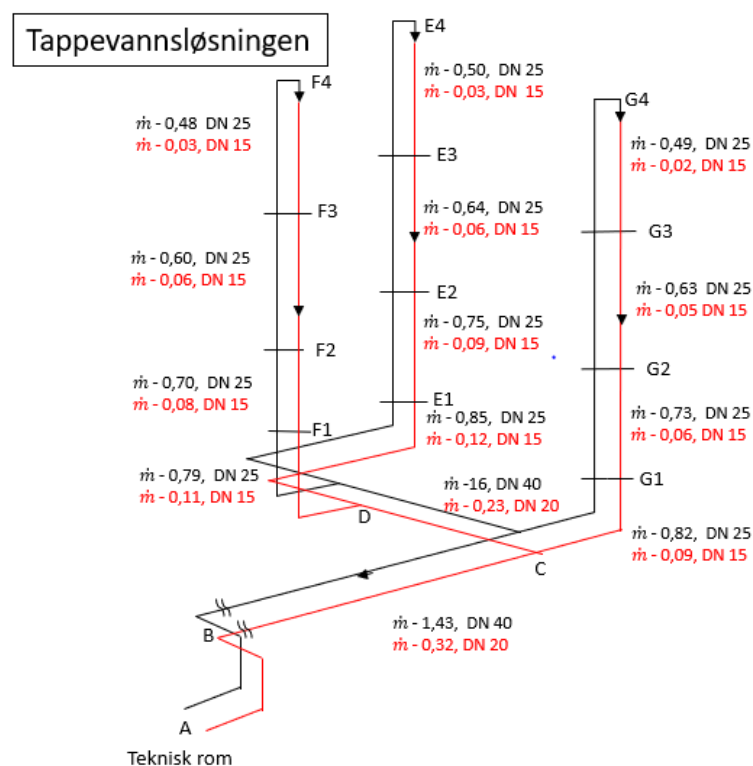
Figur 2: Vekslerskap for tappevannsløsningen

Vekslerskapet har en tre-delt oppbygning. De tre delene er vist til høyre i Figur 2.

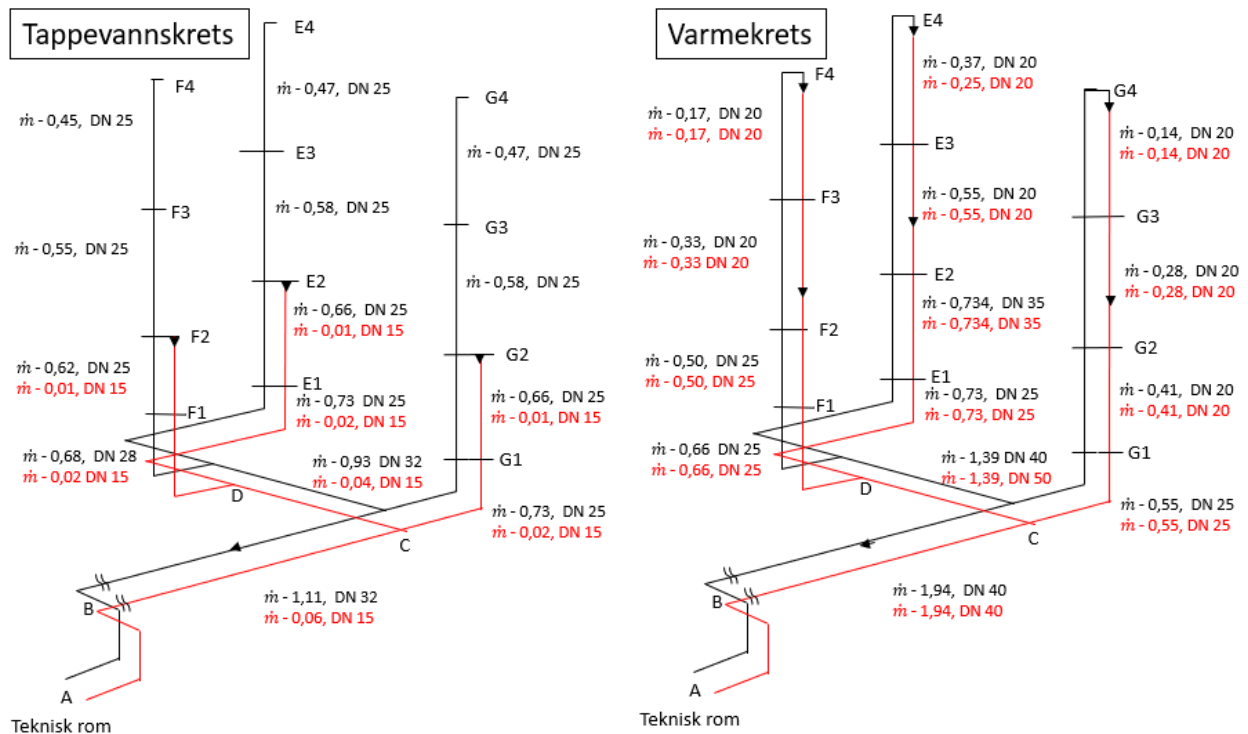
- Vannfordelingsentral som fordeler varmt og kaldt tappevann til tappepunkter i leiligheten
- Varmesentral som veksler varmt tappevann (65°C) via en motstrøms-platevarmeveksler ut til en varmfordelingsstokk for varmeavgiveren (ofte gulvvarme med 35°C tur). Den store temperaturdifferansen mellom sekundærnettet og varmekretsen i leiligheten gjør at nødvendig vannmengde gjennom varmeveksleren er liten
- Varmefordeler til oppvarmingskursene i hver leilighet. Det oppvarmede vannet fordeles via en varmfordelingsstokk og ut til oppvarmingskursene. Skapet er integrert med reguleringsventiler for hver oppvarmingskurs

Modellering av eksempelbygg

For å sammenligne tradisjonell løsning med tappevannsløsningen ble det gjort beregninger for et eksempelbygg med 12 leiligheter for begge løsningene. Eksempelbygget hadde et varmebehov på 40 kW og samtidig vannmengde til tappevann på 1,1 l/s ved T_{DUT} . Figur 4 viser rørdimensjonene og nødvendige vannmengder for å dekke eksempelbyggets varmebehov ved bruk av tappevannsløsningen. Figur 4 viser skisse av sekundærnettet for tradisjonell løsning for samme bygg vist for å illustrere reduksjonen i rør.



Figur 3: Skisse av sekundærnettet for tappevannsløsningen



Figur 4: Skisse av sekundærnett for tradisjonell løsning

I Figur 4 går det frem at hovedledningen for tappevannsløsningen vil være DN 40 i tur og DN 20 i sirkulasjonsledningen. Den største vannmengden i turledningen er 1,43 l/s med tappevannsløsningen, mens den tradisjonelle løsningen hadde en vannmengde på 3,05 l/s ved T_{DUT} .

Sammenlignet med tradisjonell løsning ga tappevannsløsningen en besparelse for eksempelbygget som vist i Tabell 1

Vannmengde	53 % mindre vannmengde
Rørstrekk	46% færre installerte rørmeterer
Rørdimensjoner	Beskjeden økning i turleningen for tappevann fra DN 32 til DN 40
Varmetap	30 % reduserte varmetap
Pumpearbeid	70 % redusert effektbehov til pumpe-sirkulasjon ved T_{DUT}
Innkjøpskostnader	54 % reduksjon i kostnad for rør og komponenter i sekundærnett

Tabell 1: Oppsummering av sammenligning mellom tradisjonell løsning og tappevannsløsningen i eksempelbygg

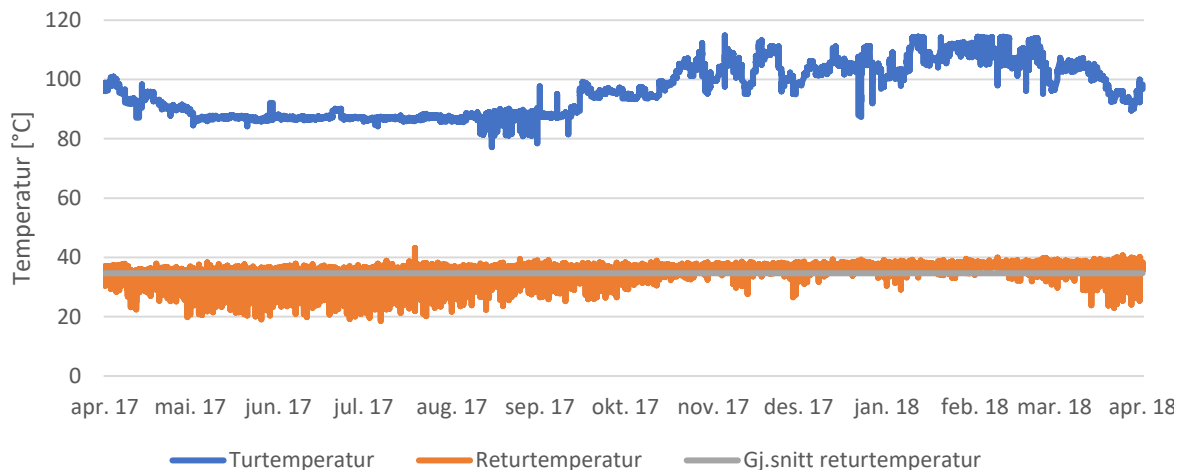
Kostnadssammenligningen i eksempelbygget er basert på innkjøp av rør og komponenter til sekundærnett samt fordelerskap i hver leilighet. Innkjøpskostnaden for sekundærnett ved bruk av tappevannsløsningen er 49 500 kr, mens innkjøpskostnaden for den tradisjonelle løsningen er 107 515 kr. Bruk av tappevannsløsningen vil også redusere antall komponenter i teknisk rom som vil redusere investeringskostnaden ytterligere.

Eksempelbygget er i den nedre størrelse av bygg som krever 60 % energifleksibel oppvarming (> 1000m²). Det er rimelig å anta at funnene i beregningen for eksempelbygget også er i samme

størrelsesordenen for større bygg med flere leiligheter. Det er ikke noe ved tappevannsløsningen eller tradisjonell løsning som i særlig grad endrer forholdet dem imellom når det er flere leiligheter.

Analyse av måledata fra bygg i drift

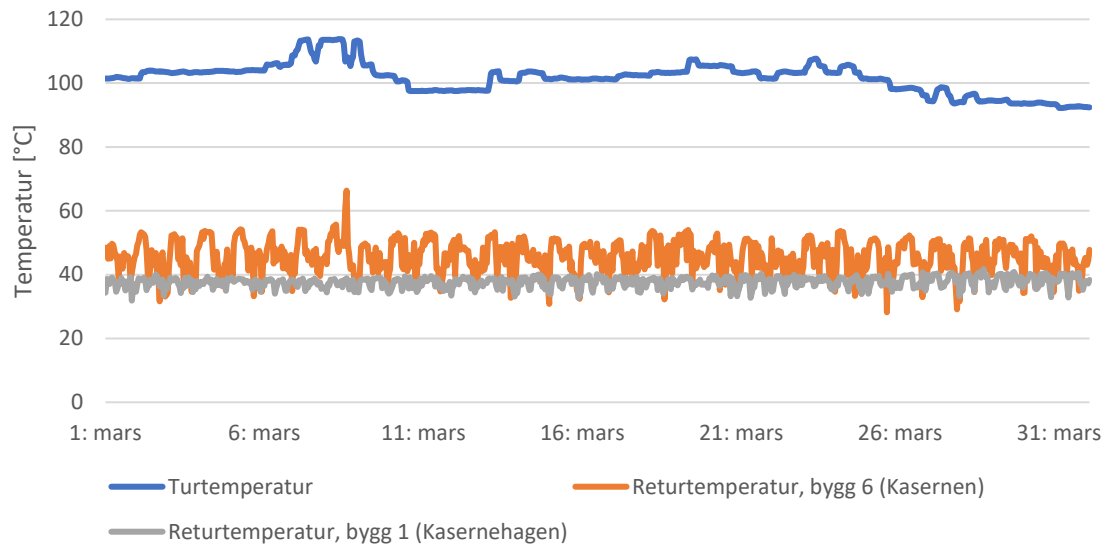
Under arbeidet med masteroppgaven er det innhentet måledata fra seks leilighetsbygg i drift med ulike vannbårne løsninger. Alle byggene mottar fjernvarme fra hovednettets til Agder Energi Varme. Måledata fra et av byggene fra primærsiden av varmeveksler i teknisk rom ga tur og returtemperatur gjennom et helt år som vist i Figur 5.



Figur 5: Tur og returtemperatur for et helt år for et bygg med tappevannsløsningen

I Figur 5 går det frem at tappevannsløsningen fungerer som forutsatt ved prosjektering. For det gjeldene bygget var returtemperaturen på primærsiden av varmeveksleren i kundesentralen 34,6 °C i gjennomsnitt gjennom et helt år med et minimum på 18 °C og et maksimum på 40 °C. At returtemperatur holder seg under 40°C gjennom hele året er uvanlig for vannbårne anlegg. Tappevannsløsningen har høy temperaturutnyttelse og sirkulerer liten vannmengde gjennom hele året.

To av byggene, som det er innhentet måledata fra, er nabobygg. Det ene bygget (Kasernehagen) har tappevannsløsning og er vist med grå farge i Figur 6. Den andre bygget (Kasernen) har tradisjonell løsning og er vist med oransje farge i Figur 6. Måledata fra de to byggene viser at tappevannsløsning er minst påvirket av endringer i utetemperatur og turtemperaturer på primærsiden. Det indikerer at tappevannsløsningen regulerer godt. Effektuttaket og vannmengdene er også mer stabil for tappevannsløsningen enn for tradisjonell vannbåren løsning.



Figur 6: Sammenligning av måledata fra et bygg med tappevannsløsning og et bygg med tradisjonell løsning

Erfaringer og drift

For to av byggene som er i drift er det tatt vannprøver. Det er ikke funnet farlige verdier av legionellbakterien i vannet. Kalkinnholdet viste derimot å være høyt i et av byggene. Kalkinnholdet i byvannet i Kristiansand er høyere enn de fleste andre steder i Norge, slik at kalk kan være et problem i åpne systemer. Bortsett fra varmeveksleren i vekslereskabet er det ikke fler utsatte komponenter i tappevannsløsningen enn ved en tradisjonell løsning. I den grad dette skulle vise seg som et problem over tid er det enkelt å stenge av et vekslereskap og avkalke eller bytte denne varmeveksleren.

Tappevannsløsningen reduserer arbeidstiden på byggeplassen fordi vekslereskapene kommer prefabrikerte til byggeplass med riktige tilslutninger. Utførende rørleggere som har erfaring med tappevannsløsningen forteller at løsningen er enkel å montere. Det er lite feil og etterarbeid etter overlevering [3] [4].

En innføring av tappevannsløsningen vil gjøre leilighetsbygg energifleksible og energieffektive samtidig som det overholder byggereglene i TEK17. Tappevannsløsningen gjør at varmekretsen i hver leilighet er uavhengig av hverandre. Den vil gi fordeler for beboer, men også for rørleggere og driftspersonell i form av:

- Bedre tilpasning til den enkelte beboers behov
- Muligheter for å stenge av varmeanlegget hvis leiligheten er ubebodd
- Mer effektiv sommerdrift fordi en kan holde i gang en gulvvarmekurs uten å måtte holde i gang et separat røranlegg for oppvarming.
- Bedre driftssikkerhet fordi feil i en leilighet vil ikke påvirke de andre leilighetene. Det vil også være enklere å oppdage feilen.
- Tappevannsløsningen legger til rette for individuell fakturering av forbruk basert på måling av vannmengder.

Konklusjon

Tappevannsløsningen fremstår som en driftssikker og energieffektiv løsning for vannbåren varme i leilighetsbygg. Reduksjon i antall rør fører til plassbesparelse og lavere investeringskostnad. Driftskostnadene og energiforbruket er også redusert fordi varmekretsen er fjernet. Det gir mindre varmetap og det sirkuleres mindre vannmengde som reduserer pumpearbeid. Måledata viser at tappevannsløsningen fungerer som forutsatt, gir høy ΔT , lave returtemperaturer og jevn regulering gjennom hele året.

Figurliste

FIGUR 1: FLYTSKJEMA FOR TAPPEVANNSLØSNINGEN.....	1
FIGUR 2: VEKSLERSKAP FOR TAPPEVANNSLØSNINGEN.....	2
FIGUR 3: PRINSIPPSKISSE AV SEKUNDÆRNETTET I EKSEMPELBYGGET MED TAPPEVANNSLØSNINGEN.....	4
FIGUR 4: TUR OG RETURTEMPERATUR FOR ET HELT ÅR FOR ET BYGG MED TAPPEVANNSLØSNINGEN	5
FIGUR 5: SAMMENLIGNING AV MÅLEDATA FRA ET BYGG MED TAPPEVANNSLØSNING OG ET BYGG MED TRADISJONELL LØSNING	6
TABELL 1: OPPSUMMERING AV SAMMENLIGNING MELLOM TRADISJONELL LØSNING OG TAPPEVANNSLØSNINGEN I EKSEMPELBYGG	4

Referanser

- [1] Direktoratet for Byggkvalitet, «<https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/>,» [Internett].
- [2] LK-systems, «http://www.lksystems.no/globalassets/lk-systems/documents/broschyre-no/tno00c15.0-lk-kombiskap-uni-x_a4.pdf,» [Internett].
- [3] Kåre Henning Åsly, *Moi Rør*, Muntlig kilde.
- [4] Øystein Baardsen, *Hallvard Thorsen AS*, Muntlig kilde.