



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2018 30 stp

Fakultet for realfag og teknologi

Arne Auen Grimenes

En analyse av varmtvannssystemet på Stovnerskogen sykehjem

Erik Meland Johannessen

Miljøfysikk og fornybar energi

Fakultet for realfag og teknologi

Forord

Denne oppgaven markerer slutten på min utdanning ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU) ved studieretningen Miljøfysikk og fornybar energi. Det har vært et svært lærerikt studie som har gitt meg gode forutsetninger for arbeidslivet.

Jeg har mange å takke. Først og fremst må jeg takke mine veldig snille foreldre som har støttet meg gjennom hele studietiden. Det hadde blitt vanskelig uten dere. En stor takk til SINTEF Byggforsk i Oslo for at dere ga meg mulighet til å skrive masteroppgave for dere, eget kontor og ikke minst veldig mange kopper kaffe... Takk til min søster som har korrekturlest og kommet med gode råd og ikke minst min kjæreste som har støttet meg hele veien gjennom denne oppgaven.

Til slutt må jeg takke mine to veiledere, Arne Auen Grimenes ved NMBU og Harald Taxt Walnum ved SINTEF Byggforsk. Dere har gitt meg gode kommentarer underveis som har løftet oppgaven mange hakk, det hadde blitt vanskelig uten dere.

Ås, 13.mai 2018

Erik Meland Johannessen

Sammendrag

Det er forventet at energibehovet for varmt tappevann vil stå for en betydelig andel av det totale energibehovet i fremtidige bygninger. I godt isolerte bygg står oppvarming av varmt tappevann for inntil 75 % av det totale energibehovet. For å få ned det totale energibehovet i bygninger er det derfor viktig å redusere energibehovet til oppvarming av tappevann. Eksempel på tiltak som vil senke energibehovet er bedre isolerte varmtvannsberedere, bedre isolerte varmt- og kaldtvannsrør og kortere rørsystemer. For større bygninger er det vanlig å bruke sirkulasjonsledninger slik at ventetiden på varmtvann blir kort, men ulempen med sirkulasjonsledninger er store varmetap. I ekstreme tilfeller står sirkulasjonsledninger for 90 % av det totale energiforbruket i et varmtvannssystem. Ved hjelp av bedre isolering, styring av sirkulasjonspumpen og varmekabel som erstatning for sirkulasjonsledningen kan varmetapet reduseres betydelig.

På Stovnerskogen sykehjem har SINTEF Byggforsk gjort temperatur- og volumstrømmålinger i varmtvannssentralen. Ved hjelp av disse måledataene og plantegninger over bygget blir varmtvannssystemet analysert i metodedelene. Målet er å finne ut hvor mye varme som tapes i sirkulasjonsledningen og diskutere tiltak som vil redusere dette varmetapet. Teoridelen gir nødvendig kunnskap som er relevant for å løse problemstillingen.

Beregningene i denne oppgaven viser at varmtvannsberederene trekker en gjennomsnittlig effekt på 30,0 kW og at gjennomsnittlig effekttapet i sirkulasjonsledningen er 11,4 kW. Dette gir et relativt tap på 38,0 %. Videre beregninger tyder på at sirkulasjonsledningen på Stovnerskogen sykehjem er dårlig isolert, da effekttapet per meter rør er 19,1 W/m, som er høyt. Med tykkere isolering og bruk av varmekabel som erstatning for sirkulasjonsledningen er det mulig å redusere effekttapet med over 70 %, som i dette tilfellet tilsvarer en årlig innsparing på omtrent 70 MWh. En ombygging av varmtvannssystemet på et eksisterende bygg er svært vanskelig, og er derfor ikke sannsynlig. Dette er tiltak som må gjennomføres under bygging eller ved total renovasjon. Det mest akutte tiltaket for å redusere effekttapet i eksisterende bygg er å styre sirkulasjonspumpen etter forbruk, slik at i perioder når det er lite forbruk slås pumpen helt eller delvis av. Resultatene fra beregningene viser at det er mulig å redusere varmetapet i sirkulasjonsledningen på Stovnerskogen sykehjem med 28,1 %, ved å slå sirkulasjonspumpen av mellom kl. 21-05.

Resultatene fra denne oppgaven viser at bygg med store varmtvannssystemer kan spare mye energi ved hjelp av relativt enkle og kjente metoder.

Abstract

It is estimated that the energy demand for hot tap water will be a substantial part of the total energy demand in future buildings. In well insulated buildings heating of tap water can represent up to 75 % of the total energy demand. To reduce the overall energy demand in buildings it is therefore important to reduce the demand of energy for hot tap water. Examples of measures to reduce the energy needed can be better insulated water heater, increased insulation on cold- and hot water pipes and reduce the overall length of the pipe system. For larger buildings it is common to use circulation pipes, which reduces the time for the water to get warm. The disadvantage with circulation pipes is that it will contribute to a large power loss. In extreme cases these circulation pipes contributes for up to 90 % of the total energy demand in a hot water system. With increased insulation on the circulation pipe, reducing speed of the circulation pump during time of low hot water consumption and heating on the hot water pipe instead of circulation, the total heat loss can be considerable reduced.

At Stovnerskogen nursing home in Oslo, SINTEF Byggeforsk has gathered information about the central heating system for tap water by collecting temperature and volumflow data. With these datas and plan drawings of the building the goal of this paper is to find out how much heat is lost in the circulation system and discuss measures that will reduce this loss. The theory chapter will provide sufficient knowledge necessary to solve this problem.

The results from this study show that the hot water heaters draw an average power of 30.0 kW and that the power loss in the circulation system is 11.4 kW. This corresponds to a relative loss of 38.0 %. Further calculations suggest that the pipes are poorly insulated, because the power loss per meter of piping is equal to 19.1 W/m, which is a high value. With thicker insulation and using direct heating on the hot water pipe, it is possible to reduce the power loss by over 70 %, which in this case equals to about 70 MWh per year. A rebuild of a current hot water system in any building is difficult and costly, and therefor not likely to be considered. This is something that has to be done under construction of new buildings or during rebuilds. The most relevant measure for existing systems is to reduce the speed of the circulation pump or turn it all off in periods when the consumption of hot tap water is very low. For Stovnerskogen nursing home, this measure can potentialle reduce heat loss in the circulation pipe with 28.1 % if turned off between 9 pm and 5 am.

The results from this paper show that buildings with large hot water systems can save substantial amounts of energy with relatively simple and known methods.

Ord og tegnforklaring

A	Areal	$[m^2]$
c	Spesifikk varmekapasitet	$[J/(kgK)]$
d	Lengde/tykkelse	$[m]$
$d_{p,a}$	Utvendig diameter på rør	$[m]$
$d_{i,a}$	Innvendig diameter på rør	$[m]$
d_a	Utvendig diameter på rørisolasjon	$[m]$
h_a	Total utvendig varmegjennomgangstall for stråling og konveksjon	$[W/(Km^2)]$
h	Overgangstall	$W/(Km^2)$
L	Lengde	$[m]$
L_i	Lengden på rørstrekket i et rom/soner	$[m]$
K	Termisk konduktivitet	$[W/(Km)]$
m	masse	$[kg]$
$q_{dis-h,i}$	Varmetap for et rørstrekk	$[W]$
Q	Varme	$[J]$
\dot{Q}	Effekt	$[W]$
r	Radius sylinder	$[m]$
R	Varmemotstand	$[K/W]$
t	tid	$[s]$
t	Temperatur	$[^{\circ}C]$
T	Temperatur	$[K]$
ΔT	Temperatur ($T_2 - T_1$)	$[K]$
\dot{V}	Volumstrøm	$[l/s]$
U	Varmegjennomgangs-/koeffisient/tall	$[W/(Km^2)]$
Δx	Lengde ($x_2 - x_1$)	$[m]$

η	Virkningsgrad	0-1
$\theta_{em,mean}$	Gjennomsnittlig distribusjonstemperatur	[°C]
θ_i	Temperaturen i rommet/sonen for rørstrekket	[°C]
$\theta_{em,in}$	Turtemperatur i varmesystemet	[°C]
$\theta_{em,out}$	Returtemperatur i varmesystemet	[°C]
λ_D	Varmeledningsevne til rørisolasjon	[W/(Km)]
λ_p	Varmeledningsevne til rørvegg	[W/(Km)]
ρ	Tetthet	[kg/m ³]
ψ	Lineær varmetapskoeffesient	[W/(Km)]

Innhold

Forord.....	i
Sammendrag.....	iii
Abstract.....	v
Ord og tegnforklaring.....	vii
1. Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.2 Mål.....	2
2. Teori.....	3
2.1 Konduksjon og konveksjon.....	3
2.2 Varmekapasitet til vann.....	7
2.3 Tetthet til vann.....	8
2.4 Varmtvannssystemer for tappevann.....	9
2.4.1 Gjennomstrømningsvarmere.....	10
2.4.2 Varmtvannsberedere.....	12
2.4.3 Sammenkobling av beredere.....	16
2.5 Rør og isolasjon.....	18
2.6 Rør-i-rør.....	19
2.7 Sirkulasjonsledninger.....	20
2.8 Legionella.....	22
3. Metode.....	23
3.1 Måleserien.....	23
3.2 Varmesentralen på Stovnerskogen sykehjem.....	23
3.3 Beregne alle ukjente varmestrømmer.....	26
3.4 Beregne varmetapet i sirkulasjonsledningen.....	28
3.5 Kartlegging av sirkulasjonsledningen.....	29

4. Resultater og diskusjon.....	33
4.1 Varmetapet i sirkulasjonsledningen.....	33
4.2 Sirkulasjonssystemets lengde.....	38
4.3 Sirkulasjonssystemets isolasjon.....	39
4.4 Energibesparende tiltak.....	40
4.4.1 Tykkere isolering.....	40
4.4.2 Varmekabel.....	41
4.4.3 Behovsdrevet sirkulasjonspumpe.....	41
4.4.4 Oppsummering av sparetiltak.....	42
4.5 Usikkerheter.....	43
5. Konklusjon.....	43
Referanser.....	44
Web-kilder.....	45
Vedlegg.....	46

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

Innen 2030 skal Norge kutte sine utslipp av klimagasser i ikke-kvotepliktig sektor med 40 % i forhold til 1990 nivåer. Dette har Norge forpliktet seg til gjennom Parisavtalen og er blitt lovfestet i klimaloven, § 3, Lovvedtak 95 (2016–2017). De ikke-kvotepliktige utslippene kommer i hovedsak fra transport, jordbruk, bygg og avfall og petroleumsindustrien (Meld.st.41 (2016-2017), s.5).

Samlet energibruk (elektrisitet, fjernvarme, olje, gass, kull, bioenergi og drivstoff) i Fastlands-Norge i 2015 var 228,5 TWh (NVE, 2017, s.5), hvor nettoforbruk av elektrisk energi var 120,1 TWh (SSB, 2016). I Norge står bygningsmassen for omtrent 40 % av den totale energibruken og analyser viser at energieffektivisering i byggesektoren kan redusere forbruket med 12 TWh, hvorav 10 TWh er elektrisk energi. Innsparingen på 10 TWh elektrisk energi vil komme fra en rekke ulike tiltak, som installasjon av varmpumper, LED-belysning, lys-styring og driftsoptimalisering (Zero, 2017, s.6-8). I denne oppgaven vil fokuset være på hvordan det kan spares energi i varmtvannssystemer.

I godt isolerte bygninger står oppvarming av varmtvann for opptil 75 % av det totale energibehovet, se tabell 1-1 (COWI, 2013, s.67). Gjennom prosjektet VarmtVann2030 ønsker man å finne ut mer om hvordan man kan redusere energibehovet knyttet til varmt tappevann.

Tabell 1-1: Energibehovet til varmtvann sett i forhold til det toale energibehovet.

Type bygning	Normalhusstandard	TEK10-standard	Passivhusstandard
Enebolig	10 – 20 %	25 – 40 %	45 – 60 %
Boligblokk	20 – 25 %	30 – 50 %	55 – 75 %
Sykehjem	15 – 20 %	25 – 45 %	40 – 65 %

VarmtVann2030 er en del av ENERGIX-programmet hos Forskningsrådet. ENERGIX etterfølger RENERGI-programmet og har hittil bevilget 2,2 milliarder kr til 599 forskjellige prosjekter. ENERGIX ble startet i 2013 og er et 10-årig prosjekt som har som hovedmål å: *“støtte en langsiktig og bærekraftig utvikling av energisystemet som fremmer norsk konkurransedyktig næringsliv og bidrar til omstilling til lavutslippssamfunnet”* (ENERGIX, 2017, s.2). I prosjektet VarmtVann2030 skal byggeiere og leverandører samarbeide med SINTEF og NTNU om å øke kunnskapen rundt bruk av varmt tappevann i Norge. Gruppen vil deretter foreslå mer energieffektive og miljøvennlige løsninger for bruk av tappevann i ulike bygningstyper. Prosjektet varer fra 2017 og til 2021.

Et varmtvannssystem består av en eller flere vannvarmere, rørrnett, ventiler og tappepunkter (Zijdemans, 2014). I større bygg som sykehus, sykehjem, kontorbygg o.l. kan det være langt mellom varmesentralen og tappepunktene, som gjør at man må vente lenge før vannet blir tilstrekkelig varmt. Det er anbefalt at det ikke skal ta lengre enn 20 sekunder før vannet når 38 °C (Rørhåndboka 312.71, 2018). For å hindre at ventetiden blir for lang

bruker slike anlegg sirkulasjonsledninger. En sirkulasjonsledning fungerer slik at varmtvannet fra varmesentralen hele tiden sirkulerer i en sløyfe mellom tappepunktene og vannvarmeren(e). Sirkulasjonsledninger gir kort ventetid på varmtvannet, men varmetapet kan være betydelig. Det totale energiforbruket i et varmtvannssystem går med til å varme opp vannet, dekke varmetap fra rørettet, varmetap fra bereder og el-forbruk til sirkulasjonspumpen. Tabell 1-2 viser hvor stor andel av varmen som går tapt i sirkulasjonsledningen (Bøhm mfl. 2009, s.37). I bygg som har lange sirkulasjonsledninger og lavt forbruk av varmt tappevann kan opptil 90 % av den tilførte varmen i varmtvannssystem tapes via sirkulasjonsledningen.

Tabell 1-2: Andel varme i et varmtvannssystem som tapes i sirkulasjonsledningen.

Type bygning	Tap i sirkulasjonssystem
Enebolig	0 - 60 %
Boligblokk	30 - 75 %
Kontorer, handel og offentlige bygninger etc.	50 - 90 %

På Stovnerskogen sykehjem gjennomfører SINTEF Byggforsk målinger i varmtvannssystemet. I denne oppgaven skal anlegget kartlegges og dataene fra SINTEF Byggforsk skal analyseres for å finne ut hvor mye varme som tapes i sirkulasjonsledningen. Det blir deretter diskutert hvor godt anlegget er isolert samt en diskusjon rundt løsninger som vil gjøre systemet mer effektivt.

1.2 Mål

Hovedmålet med denne oppgaven er å:

- Kartlegge varmtvannssystemet på Stovnerskogen sykehjem.
- Finne energitapet i sirkulasjonsledningen på Stovnerskogen sykehjem.
- Estimere effekten av ulike sparetiltak.

2. Teori

I denne oppgaven er varme og varmeoverføring sentrale begrep. I kapittel 2.1 vil varmeoverføring via konduksjon og konveksjon gjennomgått. Varmekapasitet og tetthet er en viktig del i analysen av varmtvannssystemet og blir gjennomgått i henholdsvis kapittel 2.2 og 2.3. I kapittel 2.4 blir aktuelle varmtvannssystemer for tappevann gjennomgått. I kapittel 2.5-2.8 blir rør og isolasjon, rør-i-rør system, sirkulasjonsledninger og til slutt legionella i forbindelse med varmtvannsanlegg beskrevet.

2.1 Konduksjon og konveksjon

Varmeoverføring kan skje via stråling, konduksjon og konveksjon. I denne oppgaven er varmetap i rør via konduksjon og konveksjon to viktige prosesser som blir gjennomgått i dette kapitlet.

Konduksjon

Konduksjon, også kalt varmeledning, er transport av varme som oppstår når det er en temperaturforskjell i et stoff. Dette skjer via overføring av bevegelsesenergi til molekyler i stoffet. Metaller er gode ledere fordi de har lett bevegelige elektroner, mens gasser og væsker er som regel dårlige varmeledere (Pedersen, B. 2017a). Ligning 2.1, er kjent som Fouriers lov og angir varmefluksen, \dot{Q} , gjennom en rett flate

$$\dot{Q} = -KA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (2.1)$$

Der K er den termiske konduktivitet, A er arealet, ΔT er temperaturforskjellen og Δx er tykkelsen til flaten.

Den termiske konduktiviteten er en materialkonstant som angir materialets evne til å lede varme ved konduksjon. Tabell 2-1 angir den termiske konduktiviteten til noen utvalgte materialer som er aktuelle for denne oppgaven (Pedersen, B. 2017a).

Tabell 2-1: Termisk konduktivitet for noen materialer.

Materiale	K-verdi [W/(Km)]
Kobber	400,0
Vann	0,6
Steinull	0,03

Konveksjon

Konveksjon er varmestrøm som følge av naturlige prosesser eller ved eksterne krefter. Vi skiller mellom fri og tvungen konveksjon. Fri konveksjon er et resultat av tetthetsforskjeller i et medie på grunn av temperaturforskjeller. Ulik tetthet i et medie gir opphav til oppdriftskrefter.

Tvungen konveksjon er når et medie blir transportert ved hjelp av ekstrerne krefter, som en pumpe eller vifte. Inni i et rør hvor væske flyter har vi varmetransport via tvungen konveksjon og utenpå røret overføres varme via fri konveksjon (Incropera mfl. 2006, s.7)

Ligning 2.2 angir varmekonveksjonen, \dot{Q} , via konveksjon og er kjent som Newtons kjølelov

$$\dot{Q} = hA(T_s - T_\infty) \quad (2.2)$$

hvor h er varmeovergangstallet, A er arealet, T_s er overflatetemperaturen til objektet og T_∞ er temperaturen til omgivelsene.

Varmeovergangstallet brukes for å karakterisere varmeutvekslingen mellom en materialoverflate og et fluid (gass eller væske) i kontakt med overflaten (Thue, J.V. 2017). Varmeovergangstallet avhenger av flere faktorer; fri/tvungen konveksjon, forholdene i grenselaget, hastigheten til fluidet og egenskapene til fluidet. Tabell 2-2 angir varmeovergangstallet for gasser og væsker ved fri og tvungen konveksjon og den viser at overgangstallet kan variere mye, på grunn av overnevnte årsaker (Incropera mfl. 2006, s.8).

Tabell 2-2: Typiske verdier for varmeovergangstall ved fri og tvungen konveksjon.

	Fri konveksjon [W/(Km ²)]	Tvungen konveksjon [W/(Km ²)]
Gass	2-25	25-250
Væske	50-1000	100-20000

Når man tar hensyn til tykkelsen til et materiale kan man uttrykke varmemotstanden som er analogt med elektrisk resistans. Ligning 2.3 og 2.4 angir varmemotstanden, R_{kond} , ved konduksjon for henholdsvis en rett flate og en sylinder. Ligning 2.5 angir varmemotstanden, R_{konv} , ved konveksjon

$$R_{kond} = \frac{L}{KA} \quad (2.3)$$

$$R_{kond,radiell} = \frac{\ln(\frac{r_2}{r_1})}{2\pi LK} \quad (2.4)$$

$$R_{konv} = \frac{1}{hA} \quad (2.5)$$

$$R_{TOT} = R_{kond} + R_{konv} \quad (2.6)$$

der A er areal, K er termisk konduktivitet, h er varmeovergangstallet, L er lengde, r_1 er innvendig radius, r_2 er utvendig radius. Ligning 2.6 angir den totale varmemotstanden, R_{TOT} .

Når man har et system som består av flere forskjellige lag av materialer i kontakt med hverandre som et isolert rør, er det vanlig å bruke varmegjennomgangstallet, U . Ligning 2.7 angir varmegjennomgangstallet

$$U = \frac{1}{R_{TOT}A} \quad (2.7)$$

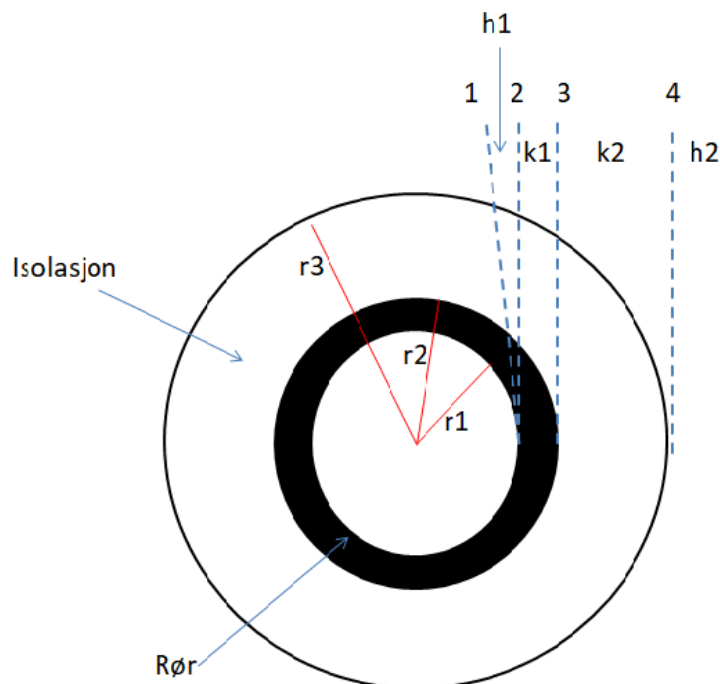
hvor A er arealet. Ligning 2.8 gir varmefluksen, \dot{Q} , for en bygningsdel.

$$\dot{Q} = UA\Delta T = \frac{\Delta T}{R_{TOT}} \quad (2.8)$$

I bygninger er det viktig med god og riktig isolasjon slik at varmetapet fra vinduer, vegger og rør blir liten. Figur 2.1 illustrerer et isolert rør, med de ulike stegene i varmeoverføring fra innsiden av røret og ut gjennom isolasjonen. Fra punkt 1 til 2 overføres varme fra mediet i røret til selve røret via konveksjon. Fra punkt 2 til 3 overføres varme gjennom røret via konduksjon. Fra punkt 3 til 4 overføres varme gjennom isolasjonen via konduksjon og ved punkt 4, avkjøles utsiden av isolasjonen via fri konveksjon. Den totale varmemotstanden til røret er gitt i ligning 2.9.

$$R_{TOT} = R_{1-2} + R_{2-3} + R_{3-4} + R_{4-\infty}$$

$$R_{TOT} = \frac{1}{h_1 2\pi r_1 L} + \frac{\ln(\frac{r_2}{r_1})}{2\pi k_1 L} + \frac{\ln(\frac{r_3}{r_2})}{2\pi k_2 L} + \frac{1}{h_2 2\pi r_3 L} \quad (2.9)$$



Figur 2.1: Rør med isolasjon.

Ved å anta at temperaturen utenpå røret, punkt 3 i figur 2.1, er lik temperaturen til mediet i røret, kan første konveksjonsledd og konduksjonsledd (R_{1-2} og R_{2-3}) fjernes, som gjør ligningen enklere å jobbe med. Dette er en brukbar antagelse, fordi temperaturforskjellen mellom væsken i røret og utsiden av røret i realiteten vil bli liten. I tillegg er de fleste varmtvannsrørene i kobber som leder varme svært godt som er med å gjøre temperaturforskjellen mellom innsiden og utsiden liten. Ligning 2.10 angir den lineære varmetapskoeffesienten, ψ , for et rør

$$\psi = \frac{UA}{L} = \frac{\frac{1}{R_{TOT}}}{L} = \frac{1}{LR_{TOT}} \quad (2.10)$$

hvor L er lengden på røret og R_{TOT} er den totale varmemotstanden. Ligning 2.11 og 2.12 angir den lineære varmetapskoeffesienten, ψ , for rør henholdsvis med og uten isolasjon

$$\psi = \frac{\pi}{\frac{1}{2\lambda_D} \ln\left(\frac{d_a}{d_{p,a}}\right) + \frac{1}{h_a d_a}} \quad (2.11)$$

$$\psi = \frac{\pi}{\frac{1}{2\lambda_P} \ln\left(\frac{d_{p,a}}{d_{i,a}}\right) + \frac{1}{h_a d_{p,a}}} \quad (2.12)$$

hvor λ_D er varmeledningsevnen til isolasjonen, λ_P er varmeledningsevnen til røret, d_a er utvendig diameter til isolasjonen, $d_{p,a}$ er utvendig diameter til røret, $d_{i,a}$ er innvendig diameter til røret og h_a er totalt utvendig varmegjennomgangstall for stråling og konveksjon. Se figur 2.2 og 2.3, som passer til ligning 2.11 og 2.12. Det følger med tre merknader til ligning 2.11 og 2.12, se vedlegg A.

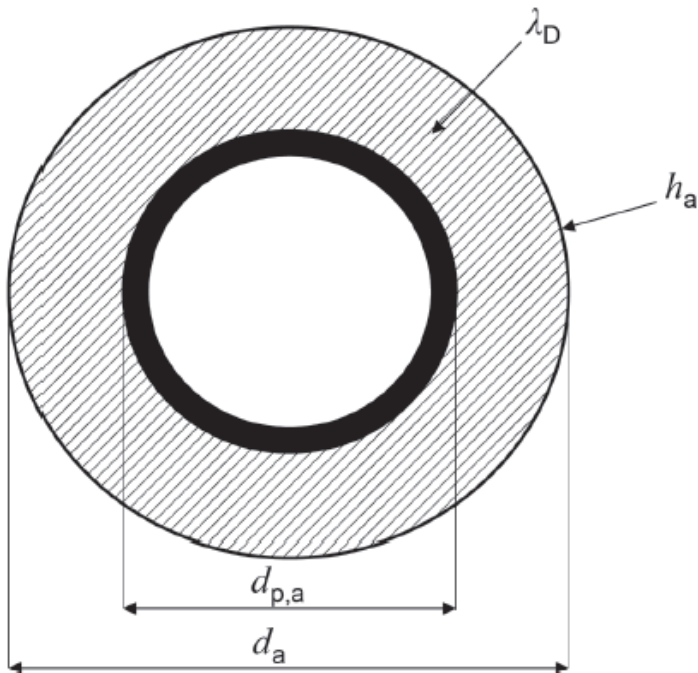
Effekttapet, $q_{dis-h,i}$, for et rørstrekk er gitt ved ligning 2.13

$$q_{dis-h,i} = \psi_i L_i (\theta_{em,mean} - \theta_i) \quad (2.13)$$

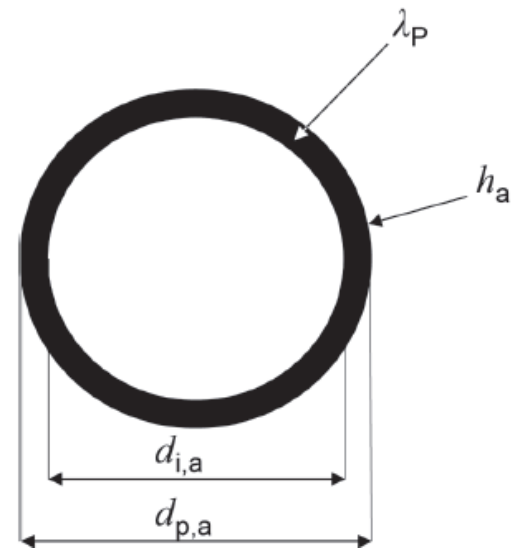
hvor ψ er den lineære varmetapskoeffesienten, L er lengden på rørstrekket, θ_i er temperaturen i rommet/sonen for rørstrekket og $\theta_{em,mean}$ er den gjennomsnittlige distribusjonstemperaturen, som er definert i ligning 2.14

$$\theta_{em,mean} = \frac{\theta_{em,in} + \theta_{em,out}}{2} \quad (2.14)$$

hvor $\theta_{em,in}$ er turtemperaturen i varmesystemet og $\theta_{em,out}$ er returtemperaturen i varmesystemet.



Figur 2.2: Isolert rør i luft (SN/TS 3031:2016, s.94).



Figur 2.3: Uisolert rør i luft (SN/TS 3031:2016, s.95).

Tabell 2-3 angir typiske gjennomsnittsverdier for den lineære varmetapskoeffesient for distribusjonsrør og er en viktig del av analysen i kapittel 4 (SN/TS 3031:2016, s.102).

Tabell 2-3: Typiske gjennomsnittsverdier for lineær varmetapskoeffesient for distribusjonsrør.

Varveisolasjon	Linær varmetapskoeffesient [W/(Km)]
Uisolerte rør	1,00
Dårlig isolerte rør	0,60
Normalt isolerte rør	0,40
Godt isolerte rør	0,20
Meget godt Isolerte rør	0,10

2.2 Varmekapasitet til vann

Varmekapasiteten til et stoff/materiale er forholdet mellom mengden energi som tilføres, Q , og temperaturøkningen, ΔT (Pedersen, B. 2017b).

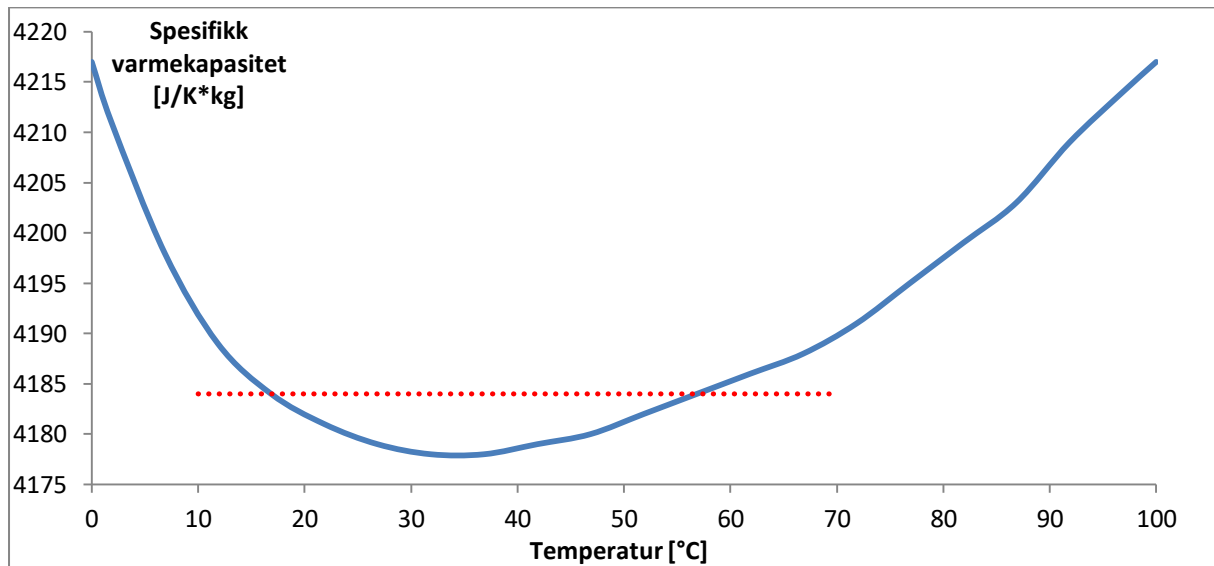
Spesifikk varmekapasitet, c , er varmekapasitet per masseenheter av et stoff.

Den spesifikke varmekapasiteten er svært viktig når man regner på energimengder relatert til temperaturøkninger i et stoff. Med Ligning 2.15 kan man beregne mengden energi, Q , som må tilføres et stoff for å få en bestemt temperaturøkning

$$Q = mc\Delta T \quad (2.15)$$

hvor m er masse, c er den spesifikke varmekapasiteten og ΔT er temperaturforskjellen.

Den spesifikke varmekapasiteten til vann endrer seg med med temperaturen, se figur 2.4. Figur 2.4 er basert på tabellverdier og er grafisk framstil for å gi ett bedre bilde enn tabellverdier (Incropera mfl. 2006, s.949).



Figur 2.4: Spesifikk varmekapasitet for vann. Den stiplede linjen viser verdien 4184 J/(kgK) som er satt som en konstant for varmekapasitet i denne oppgaven.

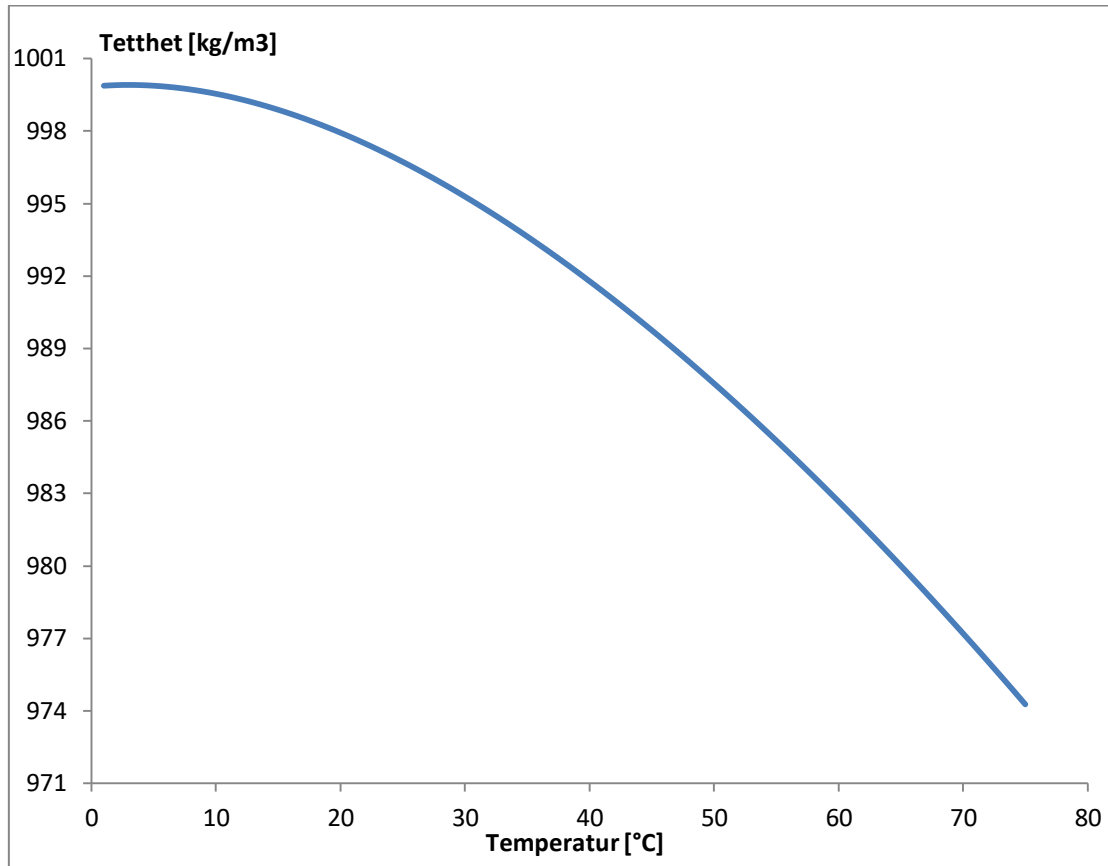
I kapittel 3, hvor data fra Stovnerskogen sykehjem blir analysert, brukes varmekapasiteten til vann for å beregne energimengder i forbindelse med oppvarming av vann og varmetap i sirkulasjonsledningen. Som figur 2.4 viser så varierer den spesifikke varmekapasiteten til vann med temperaturen, hvor variasjonen er størst i intervallet 0-10 °C. Selv om den spesifikke varmekapasiteten er temperaturavhengig endrer den seg relativt lite. Fra bunn på 4178 J/(kgK) til topp på 4217 J/(kgK) er variasjonen 1 %. Temperaturen til vannet i anlegget på Stovnerskogen sykehjem ligger i intervallet 7-65 °C. I dette intervallet varierer verdien til den spesifikke varmekapasiteten mindre enn 1 %. For å gjøre beregningene enklere settes det derfor en konstant verdi for varmekapasiteten til 4184 J/(kgK).

2.3 Tetthet til vann

Tettheten til vann endrer seg med temperaturen. Ligning 2.16 beskriver tettheten, ρ , til vann som en funksjon av temperaturen, hvor t er i celsius. Figur 2.5 er basert på ligning 2.16. Denne modellen når sitt toppunkt ved 2,9-3,0 °C, hvor tettheten er 999,9 kg/m³, og synker med økende temperatur etter sitt toppunkt (Jones mfl. 1992, s.335). Variasjonen i tettheten til vann varierer litt mer enn varmekapasiteten, derfor brukes ligning 2.16 for å ta hensyn til den varierende tettheten.

(2.16)

$$\rho(t) = (998,83952 + 16,945176t - 7,9870401 * 10^{-3}t^2 - 46,170461 * 10^{-6}t^3 + 105,56302 * 10^{-9}t^4 - 280,54253 * 10^{-12}t^5)/(1 + 16,897850t^{-3})$$



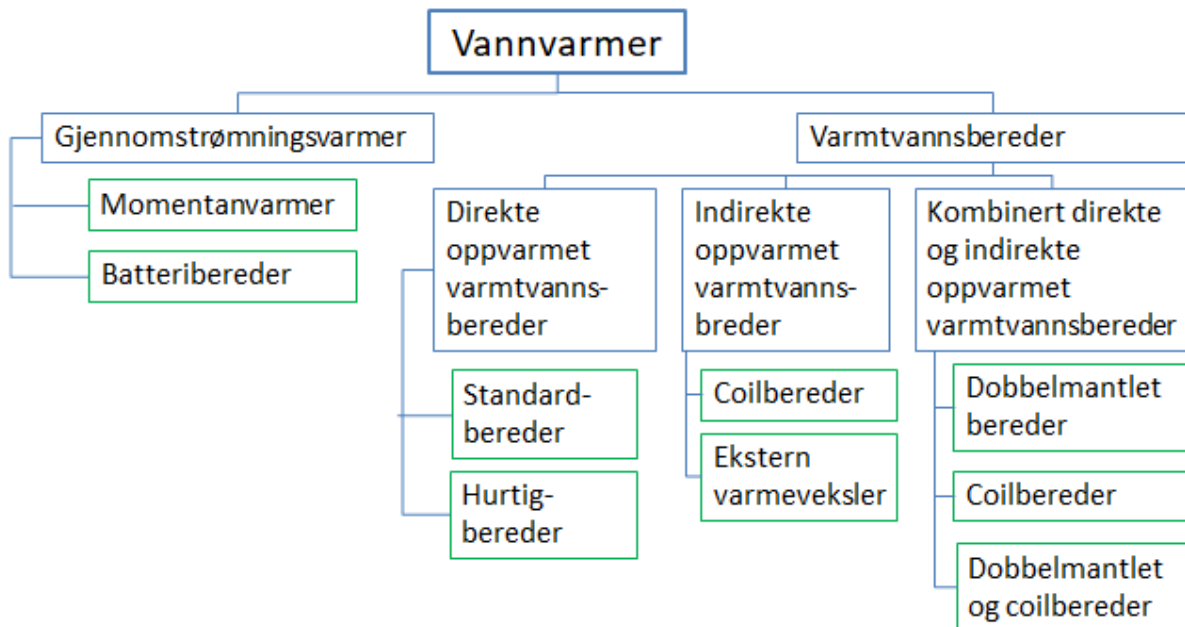
Figur 2.5: Tetthet til vann som funksjon av temperatur.

2.4 Varmtvannssystemer for tappevann

Hensikten med varmtvannssystemer er å varme opp vann og levere det til et tappepunkt med riktig temperatur og mengde. Det finnes flere typer anlegg. Hvilke(t) anlegg som blir valgt til hus, hoteller eller sykehus avhenger av flere faktorer, blant annet volumet anlegget skal dekke og totaløkonomien (Zijdemans, 2014).

I norske boliger er det i dag mest vanlig med elektrisk oppvarmede varmtvannsberedere. De er vanligvis plassert i nærhet av bad eller kjøkken, slik at varmetapet via rør blir redusert. Er det langt mellom bereder og tappepunkt blir varmetapet bli stort, fordi lange rør gir økt forbruk av vann og et større effekttap. For større bygg som hoteller og sykehus er det vanlig at man har en varmesentral hvor alt tappevannet for bygget blir varmet opp. Oppvarmingen kan skje ved bruk av elektriske varmtvannsberedere som er koblet i parallell eller i serie, eller ved hjelp av andre energikilder som olje eller gass.

Figur 2.6 gir en oversikt over ulike vannvarmere. I dette kapittelet blir de ulike vannvarmerene beskrevet for å forklare forskjellene og virkemåten. Vannvarmere deles inn i to hovedgrupper; Gjennomstrømningsvarmere og Varmtvannsberedere. Begge systemer tar inn kaldt vann og varmer vannet ved hjelp av elektrisitet eller en annen varmekilde, som for eksempel parafin, biobrensel eller gass. Hovedforskjellen mellom disse to systemene er at gjennomstrømningsvarmere ikke har en akkumulatortank slik som varmtvannsberedere.



Figur 2.6: Varmtvannssystemer (Zijdemans, 2014).

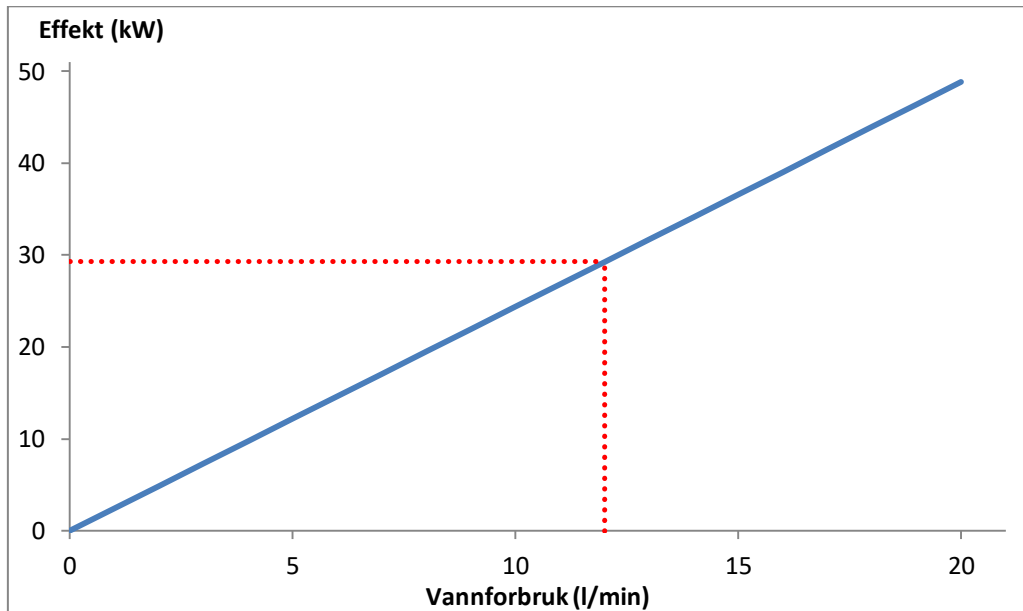
2.4.1 Gjennomstrømningsvarmere

Gjennomstrømningsvarmere varmer tappevann opp direkte, uten at det akkumuleres i en tank. Gjennomstrømningsvarmer deles opp i “momentanvarmer” og “batteribereder”, se figur 2.6.

Momentanvarmere

En momentanvarmer varmer vannet direkte ved tappepunktet. Gass og elektrisitet er de mest brukte energikildene til dette formålet. Både gass og elektrisitet har svært rask responstid, som gjør de egnet til bruk i momentanvarmere. Momentanvarmere trenger en høy tilført effekt for å varme vannet tilstrekkelig. Med ligning 2.15 kan det beregnes nødvendig tilført effekt for å varme opp vannet til ønsket temperatur. Forholdet mellom tilført effekt og massestrøm er linært; doubles uttaket av vann må effekten også doubles for at vannet skal holde samme temperatur, Se figur 2.7. Momentanvarmere installeres rett ved tappepunktet, og dermed er det kort vei til tappepunktet som i kombinasjon med manglende akkumuleringstank gir et lavt varmetap og plassbesparelse. Gass er mest brukt som energikilde for momentanvarmere på grunn av høy effekt og fordi det er enkelt å regulere strømmen av gass, som gir en stabil temperatur (Zijdemans, 2014). Fordi det ikke er utbygd infrastruktur for gass i Norge, er ikke denne typen vannvarmere utbredt i Norge. Hovedproblemet med elektriske momentanvarmere er at de trenger svært høy effekt for å

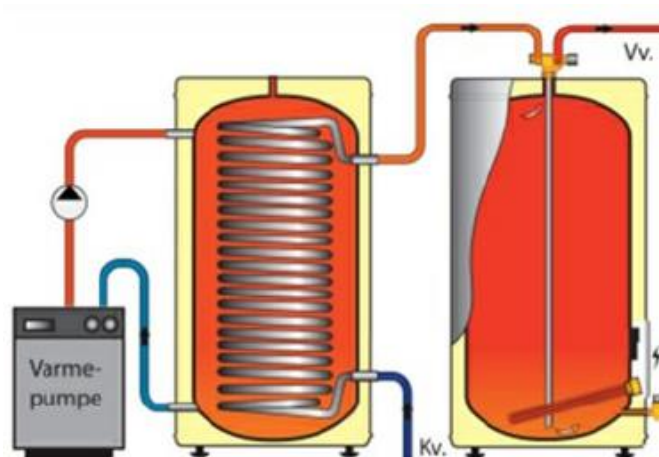
varme vannet tilstrekkelig. Når man dusjer brukes det 12-20 l/min, alt ettersom hvilket dusjohode som er installert og trykket i rørene. Figur 2.7 viser at et forbruk på omtrent 12 l/min krever en elektrisk effekt på 30 kW for å øke temperaturen til vannet med 35 °C. For en privatbolig er dette en svært høy effekt, som i praksis gjør at elektriske momentanvarmere er lite utbredt.



Figur 2.7: Effektbehov til en momentanvarmer. $\Delta T = 35 \text{ K}$, $c = 4184 \text{ J}/(\text{kgK})$. Den stiplede linjen viser effektbehovet for en normal dusj.

Batteriberedere

I en batteribereder varmes tappevannet direkte ved tapping, men den benytter akkumulert energi fra en tank. Fordelen med en slik løsning er at effektbehovet blir langt mindre sammenlignet med en momentanvarmer, men akkumuleringstanken må være 2-3 ganger større enn en varmtvannsbereder for å oppnå samme kapasitet. Denne typen systemer kombineres ofte sammen med solvarme, bio eller varmepumpe. Figur 2.8 viser hvordan et slikt system kan se ut (Zijdemans, 2014). Her forvarmes vannet i coilen ved hjelp av en varmepumpe og en elektrisk varmtvannsbereder ettervarmer vannet.



Figur 2.8: Batteribereder med varmepumpe (Zijdemans, 2014).

I større byer er det blitt vanlig med fjernvarme, både for private og offentlige bygg. Varmt vann sirkulerer ut fra fjernvarmeanlegget i primærnettet og varmer opp vann i et sekundærnett via varmevekslere. De to nettene er hydraulisk skilt fra hverandre slik at vann fra primær- og sekundærsiden ikke blandes med hverandre. Dette er en form for momentanvarer/batteribereder.

2.4.2 Varmtvannsberedere

En varmtvannsbereder er en tank som inneholder en viss mengde varmtvann til tapping. Denne tanken kalles en varmtvannsbeholder om den ikke er trykksatt og varmtvannsbereder om den er trykksatt. Vannet i en varmtvannsbereder kan være i direkte eller indirekte kontakt med varmeelementet. Fra figur 2.6 ser vi at varmtvannsberedere deles inn i tre ulike undergrupper; direkte oppvarmet, indirekte oppvarmet og kombinert direkte og indirekte oppvarmet varmtvannsbereder.

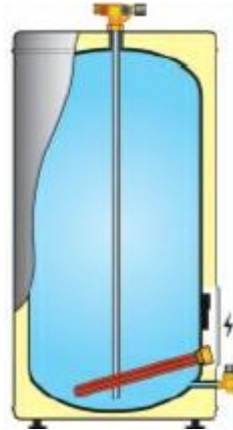
Direkte oppvarmede varmtvannsberedere er varmtvannsberedere hvor varmeelementet er plassert direkte i tanken, slik at vannet er i kontakt med elementet. Dette er den mest utbredte beredertypen i Norge. Direkte varmtvannsberedere deles opp i standardberedere og hurtigberedere.

I *indirekte oppvarmede* varmtvannsberedere er varmeelementet ikke plassert direkte i vannet. I slike beredere blir vannet varmet opp via en innvendig eller utvendig varmeveksler.

Kombinert direkte og indirekte oppvarmede varmtvannsberedere benytter seg av to oppvarmingskilder, hvor den indirekte varmekilden som regel øker temperaturen mest, mens den elektriske oppvarmingen står for ettervarming.

Standardbereder

Figur 2.9 viser en standardbereder. Dette er den vanligste typen av direkte oppvarmede beredere. Vi ser på figuren at elementet ligger i bunnen av tanken og er i direkte kontakt med vannet. Det kalde vannet blir ledet inn i tanken gjennom stålrøret midt i tanken og kommer ut på bunnen ved elementet. Det varme vannet tappes ut på toppen. Slike beredere kan komme i flere fasonger, men figur 2.9 viser den vanligste typen (Zijdemans, 2014).



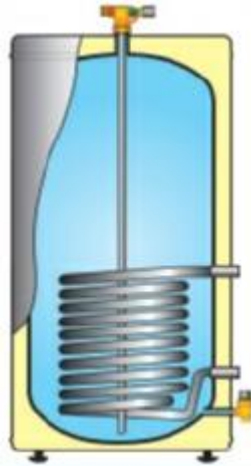
Figur 2.9: Standardbereder med varmeelementet i bunn av tanken (Zijdemans, 2014)

Hurtigbereder

En hurtigbereder har svært lik utforming som en standardbereder, hovedforskjellen er at den har to elementer i stedet for ett. Hvis en slik bereder tømmes helt for varmtvann, så er dens funksjon at den skal varme opp tappevannet hurtigere enn en standardbereder, uten ekstra tilført effekt. Dette gjøres ved at element nummer to, som er plassert i øverste del av berederen, prioriteres fremfor det nederste elementet. På denne måten blir tappevannet fortere varmt siden uttaket er i toppen av tanken der hvor elementet er. Det er kun ett element som er på om gangen, slik at effektuttaket ikke er større enn hos en standardbereder (Zijdemans, 2014).

Coilbereder (Indirekte oppvarmet)

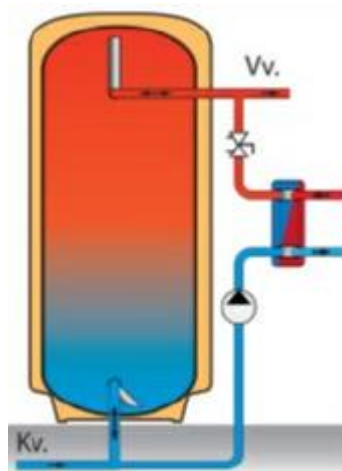
I en coilbereder brukes en innvendig varmeveksler for å varme vannet. Varmeveksleren er et rør som går i spiral, derav navnet *coil*, se figur 2.10. Coilberedere brukes i større anlegg, hvor varmekilden også brukes til romoppvarming, for eksempel radiatorer. Man kan bruke både lavtemperatur og høytemperatur energikilde. Hvis det brukes lavenergikilde, må det være en form for legionellasikring. Hvis det brukes lavtemperatur energikilde, så kan vannet ettervarmes i en standardbereder (Zijdemans, 2014).



Figur 2.10: Coilbereder (Zijdemans, 2014).

Ekstern Varmeveksler

Figur 2.11 viser en indirekte oppvarmet varmtvannsbereder med ekstern varmeveksler. En pumpe henter kaldt vann fra bunnen av berederen og fører det inn i varmeveksleren. Vannet varmes opp til ønsket temperatur og blir ført inn på toppen av berederen (Zijdemans, 2014).



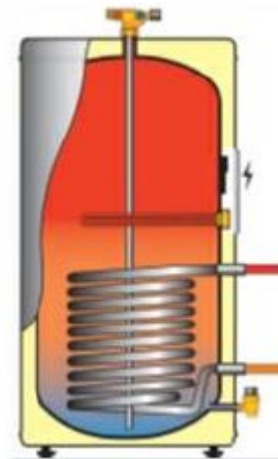
Figur 2.11: Varmeveksler på utsiden av akkumulatortanken (Zijdemans, 2014).

Dobbelmantlet bereder

Denne typen beredere er to tanker satt sammen i én, hvor den øverste er en varmtvannsbereder og den nederste er en akkumulator hvor vannet varmes opp av byggets romvarmeranlegg, for eksempel en varmepumpe. Den nederste (ytterste) tanken omslutter den invendige tanken slik at det blir en effektiv varmeoverføring. Kaldt vann kommer inn i den øverste tanken. Vannet forvarmes ved at varme fra den nederste tanken leder gjennom til den øverste tanken. Alternative energikilder kan ettermonteres i denne typen beredere (Zijdemans, 2014).

Coilbereder (Kombinert direkte og inndirekte)

I motsetning til en coilbereder av den indirekt typen, så har denne coilberederen elektrisk oppvarming i tillegg til den indirekte oppvarmingen fra coilen. De kommer i ulike konfigurasjoner, hvor antall coiler og plassering av coil og varmelement varierer. Alle er enkeltmantlet og kan bruke to energikilder, hvor den elektriske oppvarmingen brukes til å ettervarme vannet. Varmen fra coilen er som regel den primære energikilden. Figur 2.12 er et eksempel på hvordan en slik bereder ser ut, hvor det elektriske elementet er plassert midt i tanken (Zijdemans, 2014).



Figur 2.12: Kombinert direkte og inndirekte coilbereder (Zijdemans, 2014).

Dobbelmantlet og coilbereder

Dette er en dobbelmantlet bereder med en coil i enten øvre eller nedre tank.

Hvis coilen er plassert i nedre tank brukes denne for å forvarme vannet før det går inn i den øvre tanken hvor det ettervarmes. Hvis coilen plasseres i øvre tank kobles den opp mot en varmpumpe, og den nedre tanken fungerer da som en akkumulator som sørger for en jevnere drift for hele anlegget. Figur 2.13 viser hvordan et slikt system kan se ut, med coilen i den øvre tanken (Zijdemans, 2014).

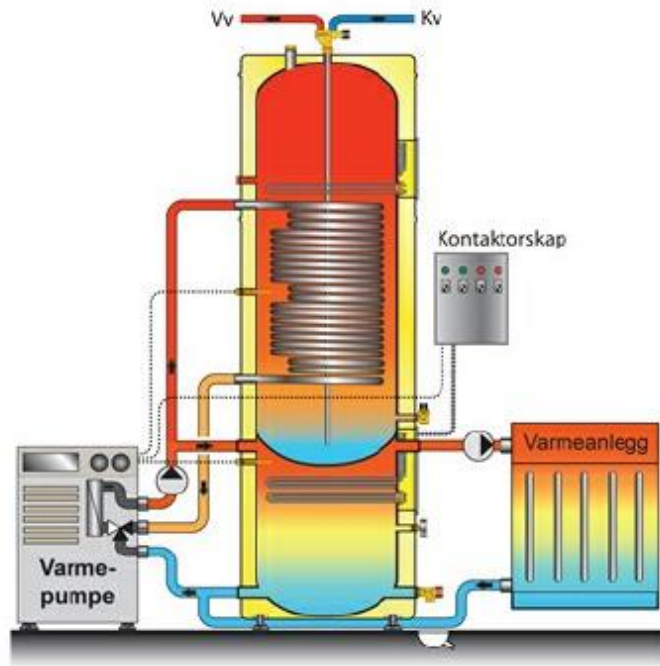
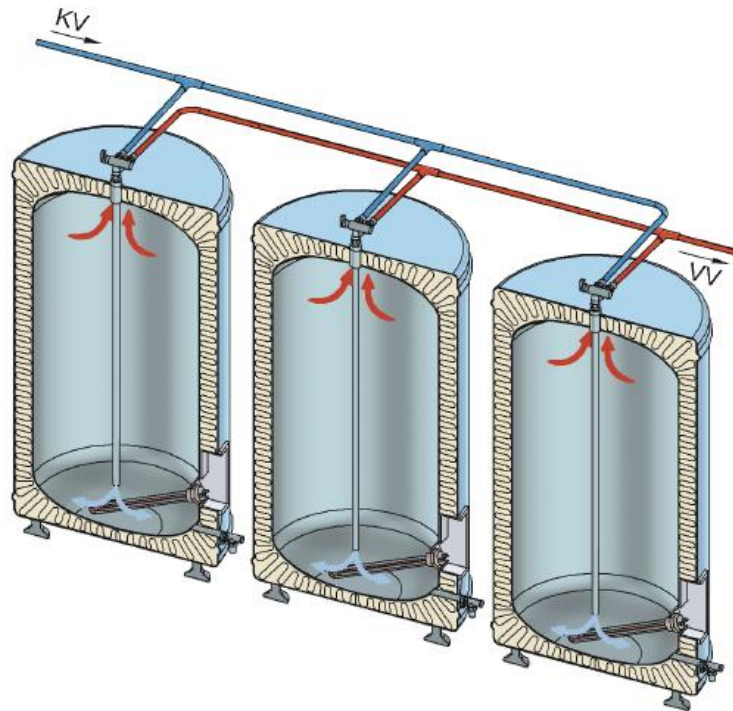


Figure 2.13: Dobbelmantlet og coilbereder hvor coilen er koblet til en varmpumpe (Zijdemans, 2014).

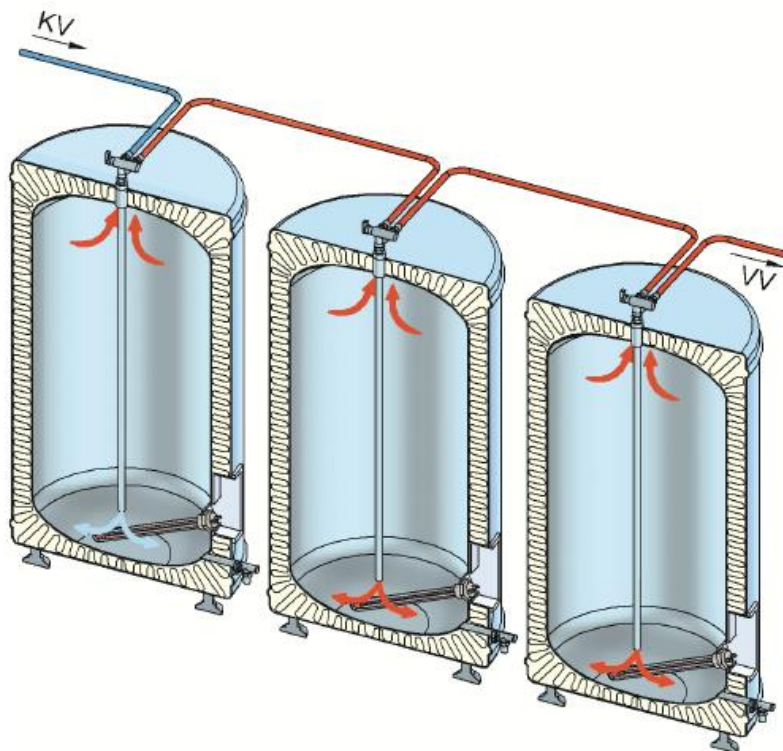
2.4.3 Sammenkobling av beredere

Dobbelmantlede beredere leveres i størrelser opp til 400 liter, og standardberedere leveres opp til 1000 liter. Har man behov for større kapasitet må flere beredere kobles sammen. Berederene kan kobles sammen i parallell eller serie (Zijdemans, 2014). Figur 2.14 og 2.15 viser hvordan slike anlegg ser ut.

Det er fordeler og ulemper med både parallell – og seriekoblede beredere. I en seriekobling blir strømmen av vann lik gjennom hver bereder. Dette forhindrer at humus bygger seg opp. I seriekoblede beredere blir oppvarmingstiden lengre når behovet for varmtvann er stort, fordi det er først når bereder én er tom for varmtvann at bereder to slår seg inn. Denne forsinkelsen fører til lengre oppvarmingstid og varmeelementet i den første berederen blir mer brukt og slites fortere. I en parallellkobling kobles alle berederene inn samtidig, dette gjør at de slites omtrent likt og en parallellkobling vil også kunne levere mer varmtvann enn en tilsvarende seriekobling. Det er viktig at hver bereder i en parallellkobling får tilført like mengder vann, hvis ikke vil den berederen med størst vanntilførsel blande kaldt vann inn i systemet slik at varmtvannet ut av hele systemet vil bli lavere enn ønsket (Zijdemans, 2014).



Figur 2.14: parallellkobling av varmtvannsberedere. Kaldtvann (KV) kommer inn fra venstre og varmtvann (VV) går ut til høyre (Byggforsk 553.163, 2015, s.2).



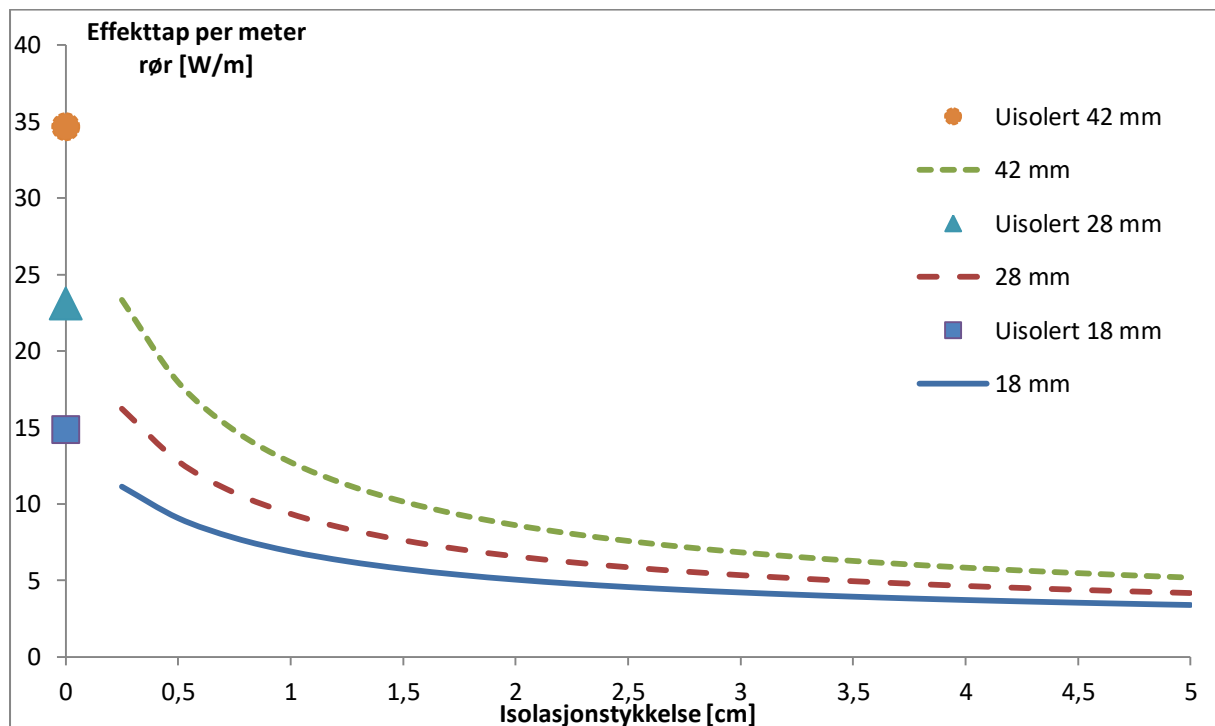
Figur 2.15: Seriekobling av varmtvannsberedere. Kaldtvann (KV) kommer inn fra venstre og varmtvann (VV) går ut til høyre (Byggforsk 553.163, 2015, s.2).

2.5 Rør og isolasjon

Fra vannvarmere til tappepunkt blir varmtvannet transportert gjennom rør.

Det er viktig at ikke det er for lang avstand mellom vannvarmer og tappepunkt, fordi større avstander vil føre til et større varmetap og et større forbruk av vann.

For å forhindre at vannet mister mye av varmen på vei til tappepunkt, er det svært viktig at både kaldt- og varmtvannsrør er isolert. I henhold til TEK10 skal rør i nye hus alltid isoleres, men i eldre bygg er det vanlig at kaldt- og varmtvannsrør er dårlig isolert eller ikke isolert i det hele tatt, dette fører til store varmetap. Med riktig isolering kan det spares betydelige mengder energi. Figur 2.16, som er basert på ligning 2.11 og 2.12, viser effekttapet for kobberør med diameter 18 mm, 28 mm og 42 mm (utvendig diameter) med ulik isolasjonstykkelse og 35 °C temperaturdifferanse mellom rom og rør. Til sammenligning er også effekttapet for uisolerte rør i samme størrelse tatt med. For et 42 mm rør med 2 cm isolasjonstykkelse, vil effekttapet være omtrent 9 W/m. Et uisolert rør av samme type har et effekttap på omtrent 35 W/m. I tillegg til at rør må isoleres, er også viktig at ventiler og flenser isoleres like godt. En uisolert 2" ventil vil ha et varmetap tilsvarende 2 meter med uisolert 2" rør, og tilsvarende for en 4" ventil, vil varmetapet være lik 4 meter uisolert 4" rør (Rockwool, 2014, s.52).



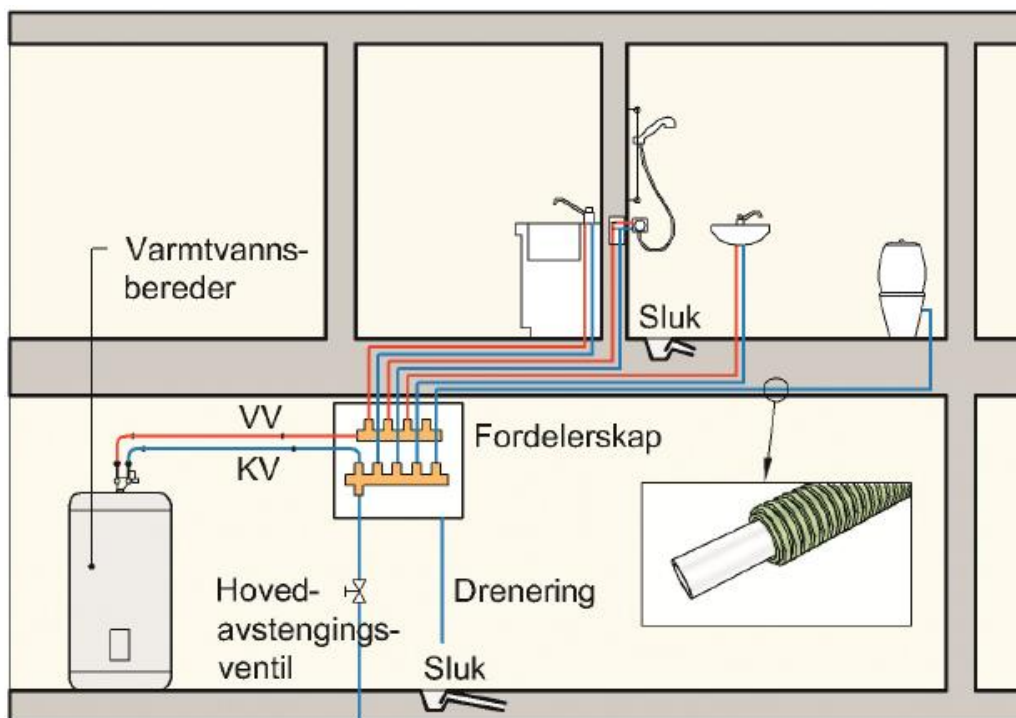
Figur 2.16: Effekttap for isolerte og uisolerte kobberør i luft med ulik diameter. Temperaturdifferanse = 35 °C. $h_a = 7,5 \text{ W}/(\text{Km}^2)$. $\lambda_D = 0,03 \text{ W}/(\text{Km})$. $\lambda_P = 400 \text{ W}/(\text{Km})$.

Vannrør kan dimensjoneres etter ulike standarder, som NS 3055 eller NS-EN 806-3, trykktapsdimensjonering eller forenklet dimensjonering. Uavhengig av hvilken metode som velges så skal vannrør dimensjoneres slik at hvert tappested fungerer som forutsatt (Byggforsk 553.116, 2015, s.2). Hvis vanntrykket i det offentlige vannledningsnettet overstiger 600 kPa, må det installeres reduksjonsventil etter bygningens

hovedavstengingsventil. Hvis trykket er for lavt må det installeres et trykkøkningssystem. I tillegg til overnevnte faktor, må det også tas hensyn til korrosjon, støy, trykkstøt og ventetid for å avgjøre hvilke rørdiamter som velges. Hvis man for eksempel ønsker kort ventetid på varmtvann, må rørdiameteren være liten. Dette fører til høyere vannhastighet som igjen fører til økt korrosjon i røret og muligens også støy fra røret. Flere av disse faktorene vil derfor virke mot hverandre (Byggforsk 553.116, s.1).

2.6 Rør-i-rør

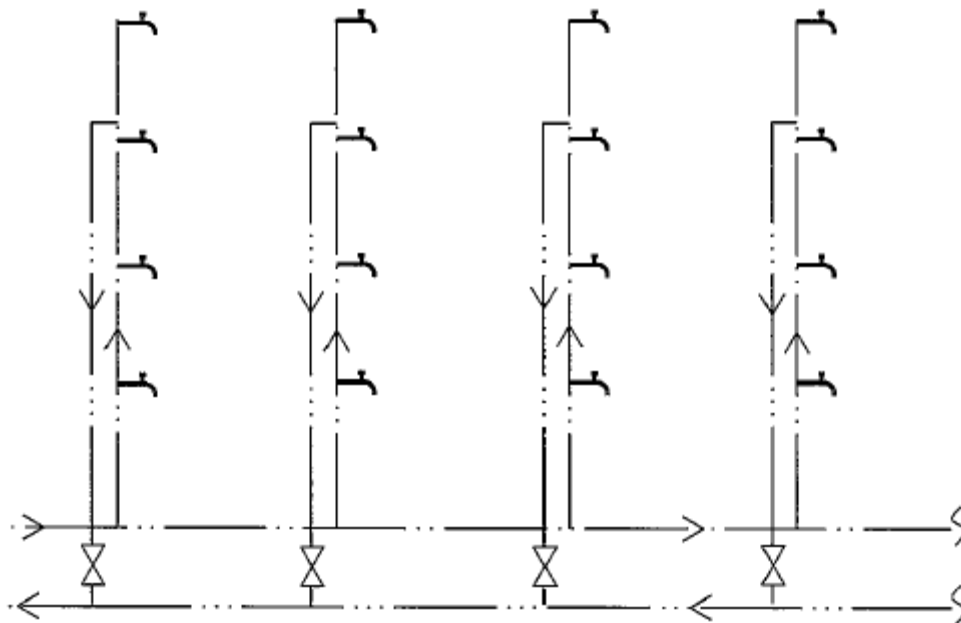
I alle nye boliger er det et krav om at rør-i-rør systemer skal installeres for skjulte rør. Rør-i-rør er et system hvor vannrørene er lagt inni et varerør (plastikkrør). Om det skulle bli en lekkasje i et av vannrørene vil vannet ledes til fordelerskapet og vannet blir ledet til et sluk. Man kan også ha fuktfølere i fordelerskapet som vil sende signal til en magnetventil som stenger vannet ved en eventuell lekkasje. Figur 2.17 viser hvordan et rør-i-rør system er bygget opp. Vannrørene er av materialet "kryssbundet polyetylen", PEX. Dette materialet har en varmeutvidelseskoeffisient som er omtrent ti ganger så stor som kobberør. Dette gjør at det må tas hensyn til ekspansjon av varmtvannsrørene (Byggforsk 553.117, 2015, s.6).



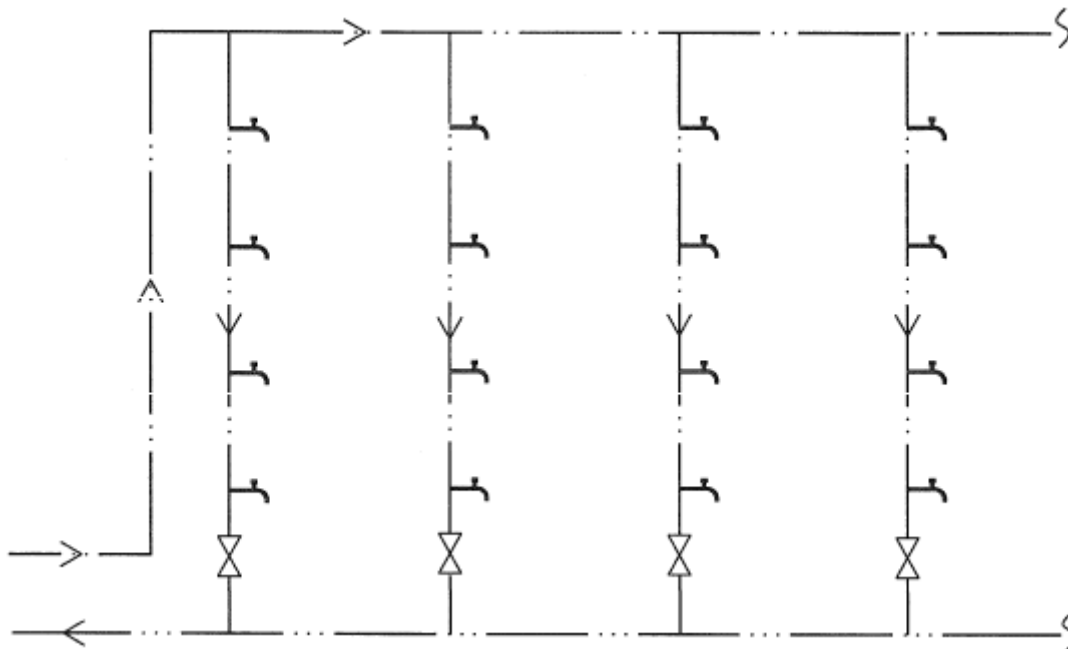
Figur 2.17: Rør-i-rør. En eventuell lekkasje føres tilbake til fordelerskapt og hovedavstengingsventilen lukkes, om fuktfølere er installert (Byggforsk 553.117, 2015, s1).

2.7 Sirkulasjonsledninger

I store bygg kan det være langt mellom varmesentralen og tappepunktene, som fører til lang ventetid på varmtvannet. For å forhindre lang ventetid installeres det en sirkulasjonsledning. Sirkulasjonsledningen virker slik at varmt tappevann sirkulerer i en "sløyfe" mellom vannvarmeren og tappepunktene slik at vannet i varmtvannsrøret alltid er varmt. Avhengig av byggets utforming vil designet av sirkulasjonsledninger variere. Det finnes i utgangspunktet to systemer; ringforbundet og strengforbundet sirkulasjonssystem. Figur 2.18 viser hvordan et strengforbundet sirkulasjonssystem kan se ut og figur 2.19 viser et ringforbundet sirkulasjonssystem.



Figur 2.18: Strengforbundet sirkulasjonssystem hvor sirkulasjonsledningen er i nedre del av bygget (Bøhm mfl. 2009, s.22).



Figur 2.19: Ringforbundet sirkulasjonssystem med fordeling av varmtvann i byggets øvre del (Bøhm mfl. 2009, s.22).

Et alternativ til sirkulasjonsledning er å bruke en selvregulerende varmekabel på varmtvannsrøret. Da slipper man å ha returrør tilbake til vannvarmeren slik at rørlengden i teorien blir halvvvert. I tillegg vil også rørdimensjonene bli mindre fordi man slipper returrør, sjakter blir mindre, man unngår sirkulasjonspumpe for å pumpe vannet rundt og vannvarmerene trenger ikke like stor effekt. Når det ikke er forbruk av varmtvann synker temperaturen i røret og varmekabelen slår seg automatisk på og varmer vannet. Varmekabelen er festet utenpå røret og isolasjon er utenpå der igjen. Slike varmekabler har også flere begrensninger; kabellengden er begrenset, høyt strømforbruk ved lange strekk, større isolasjonsdiameter er nødvendig og det er en mulighet for at varmekabelen vil føre til økt korrosjon i røret (Rørhåndboka 312.73, 2018).

Et annet alternativ til vanlige sirkulasjonsrør eller varmekabler er rør-i-rør sirkulasjon, hvor man har to rør i ett, slik at turvannet går i det ytterste røret, mens returvannet sirkulerer tilbake i det innerste røret. Ifølge leverandør gir et slikt system 30 % mindre varmetap enn to separate sirkulasjonsrør. Dette systemet er enklere å installere, trenger mindre isolasjon enn to separate rør, og sjakter kan gjøres mindre. Begrensingen er at maksimum lengde er på ca. 30 m, og er i hovedsak egnet for stigerør, slik at eventuelle siderør ikke vil få sirkulasjon (Rørhåndboka 312.72, 2018). Det finnes også i begrenset utvalg av dimensjoner.

Andre tiltak for å gjøre varmtvannssystemet mer effektivt er å styre sirkulasjonspumpen etter forbruket av varmt tappevann og optimalisere utformingen av sirkulasjonssystemet. Sirkulasjonspumpen i et tradisjonelt system pumper den samme mengde vann rundt i systemet uavhengig forbruket av varmtvann. I enkelte typer bygg, som sykehjem, vil bruken av varmtvann være veldig periodisk; morgenstell, vask av rom, oppvask etter måltider etc. Om natten er det nesten ikke forbruk i det hele tatt. Ved å styre sirkulasjonspumpen kan systemet gjøres mer effektivt ved at pumpens hastighet reduseres eller slås av når forbruket av varmt tappevann er lavt.

2.8 Legionella

Legionella er en bakterie som forekommer naturlig i vann og jord, men i lave konsentrasjoner. Legionella-bakterien kan forårsake sykdommen *Legionellose*, som er en meget farlig sykdom med en dødlighet på 25 %. I kjøletårn og varmtvannsanlegg kan det oppstå gode vekstforhold for bakterien som gjør at man må ta visse forhåndsregler. Legionella trives ved temperaturer mellom 20 – 45 °C, men optimal vekst skjer ved 35 – 37 °C (Sjøvold mfl. 2009).

Vanligste tiltak for å forhindre vekst av legionella-bakterier i varmtvannsystemer er å sørge for høy temperatur, slik at bakterien blir inaktivert. For å unngå vekst i varmtvannsberedere er det anbefalt temperaturen bør være minst 70 °C. Ved en temperatur på 60 °C så vil 90 % av legionellabakteriene være inaktiv etter 2 minutter. I rørsystemer bør man unngå blindrør. Dette er rør hvor det ikke er vanngjennomstrøming men hvor temperaturen gjerne kan være i intervallet hvor legionella trives. Temperaturen for hele systeme bør være over 60 °C (Sjøvold mfl. 2009).

3. Metode

I dette kapittelet blir varmtvannssystemet for tappevann på Stovnerskogen sykehjem analysert, hvor målet er å estimere varmetapet i sirkulasjonsledningen og kartlegge antall meter med sirkulasjonsledning ved å studere plantegninger.

3.1 Måleserien

Måleperioden er fra 25.januar 2018 – 23.februar 2018 og er utført av SINTEF Byggforsk. Det ble målt volumstrøm og temperatur i ulike deler av varmtvannssystemet, se figur 3.1 og 3.2. Målingene er gjort med 1-sekunds intervall og de kommer i to måleserier; i den ene serien er målingene presentert som gjennomsnittet for det siste minuttet og i den andre serien er målingene presentert som gjennomsnittet for de siste 15 minuttene. Alle beregninger er gjort i Excel.

3.2 Varmesentralen på Stovnerskogen sykehjem

På Stovnerskogen sykehjem befinner varmesentralen seg i kjelleren av bygget. Der er det to varmtvannssystemer; ett for tappevann og ett for romoppvarming. Figur 3.1 viser oppbyggingen av systemet for tappevann. Systemet for tappevann består av seks seriekoblede varmtvannsberedere på 600 liter hver. Den første berederen er en coilbereder av den "indirekte" typen, mens de fem neste er coilberedere av den "kombinert direkte og indirekte" typen hvor den direkte oppvarmingen skjer via elektriske varmeelementer. De fem berederene med elektriske varmeelementer har hver en installert elektrisk effekt på 15 kW (3 x 5 kW). I coilen som befinner seg i berederene, sirkulerer det varmtvann fra vannvarmerene som varmer vann til romoppvarming. Coilen forvarmer vannet og de elektriske elementene ettervarmer vannet før det går inn i neste bereder hvor prosessen gjentas. I figur 3.1 er det varme vannet som går til coilene merket med "varme tur" og "varme retur". Den originale figuren av varmtvannssystemet (figur 3.1) er laget av SINTEF Byggforsk, men er noe forandret for å gjøre den lettere å lese.

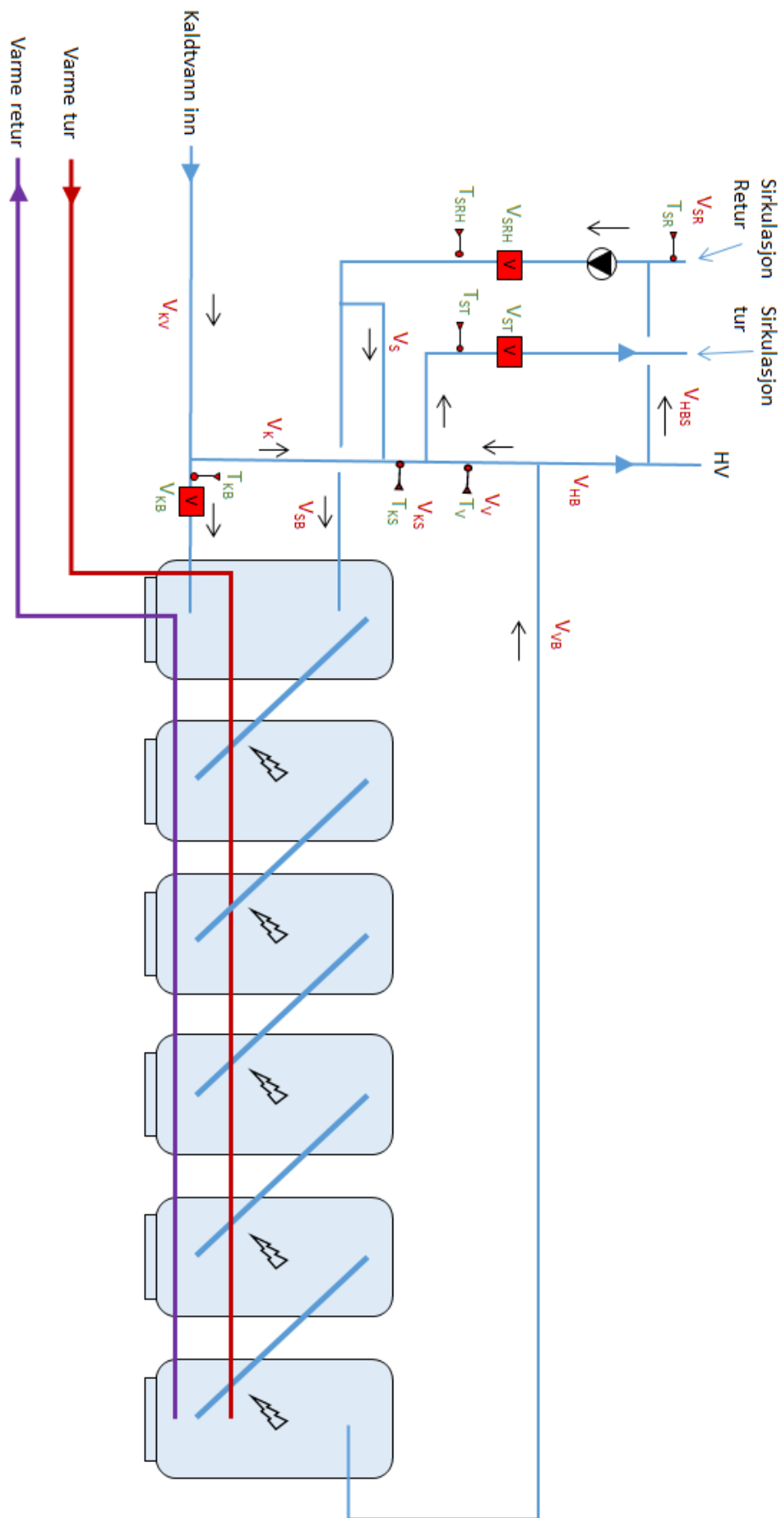


Figure 3.1: Varmtvannssystemet på Stovnerskogen sykehjem.

Nedenfor er vannstrømmen i anlegget beskrevet. Leses sammen med figur 3.2 for bedre forståelse av flyten i anlegget.

- Berederene fylles med kaldt vann, V_{KB} , og varmt vann fra returledningen til sirkulasjon, V_{SB} .
- Det varme vannet ut av berederen kalles V_{VB} . Temperaturen ligger på omtrent 65 °C.
- V_{VB} deles i to strømmer, V_V og V_{HB}
- V_{HB} blir delt i to strømmer, hvor en del går til et kjøkken (HV) og V_{HBS} blir sendt til returledning for sirkulasjon.
- V_V blir blandet med V_{KS} . V_{KS} er en miks av V_K (kaldtvann) og V_S (varmtvann fra sirkulasjon retur).
- Blandingen av V_V og V_{KS} kalles V_{ST} og er sirkulasjonsvann på vei ut i systemet (tur). Temperaturen på V_{ST} er omtrent 63 °C.
- Sirkulasjonsvannet som kommer i retur, V_{SR} , blir blandet med V_{HBS} . Før sirkulasjonsvannet går inn i varmtvannsberederen blir strømmen skilt i to, hvor V_S blir blandet sammen med kaldt vann, V_K . Det som går til bereder er V_{SB} .
- Varme tur og Varme retur er varmtvann som går til og fra coilene i berederene.

Symbolforklaring, figur 3.2:

V_i = Volumstrøm [l/s]


T_i = Temperatur [°C]

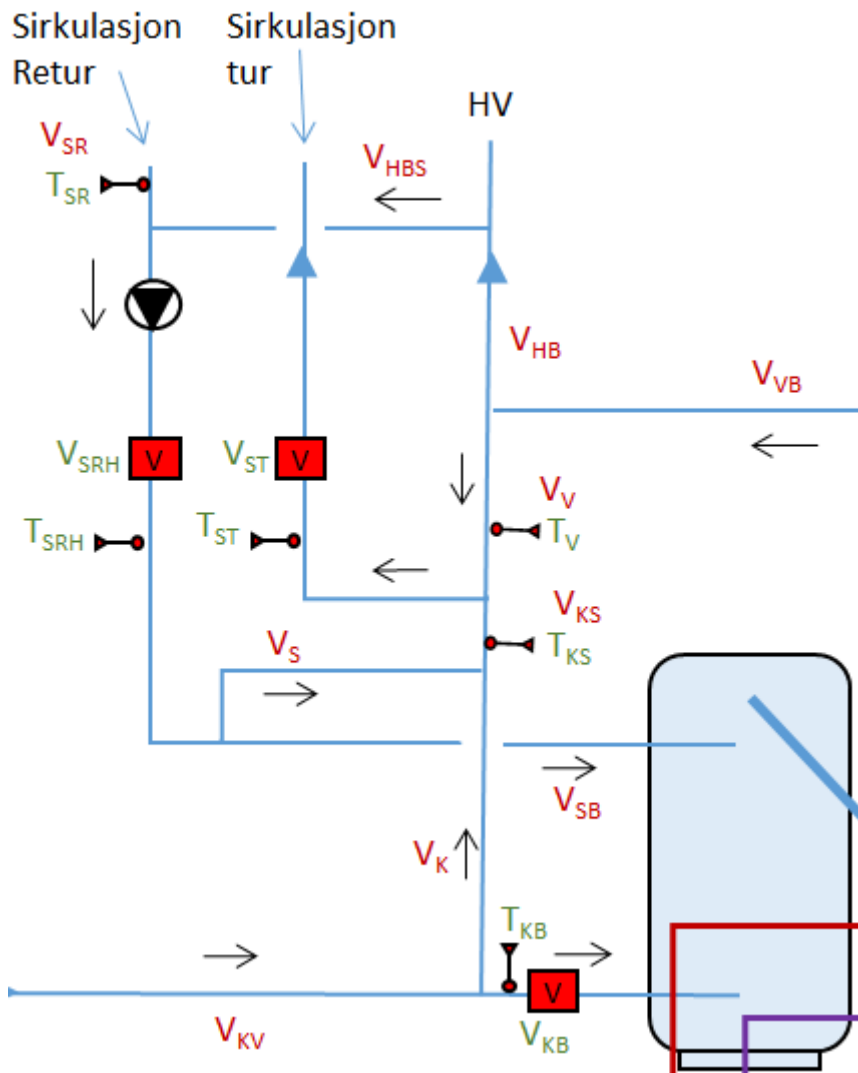
hvor "i" i " T_i " er SR, SRH, ST, KB, KS og V

og "i" i " V_i " er VB, HB, HBS, SR, V, KS, ST, SRH, SB, K, KV, KB og S.

 = Målepunkt for volumstrøm.

 = Målepunkt for temperatur.

 = Sirkulasjonspumpe.

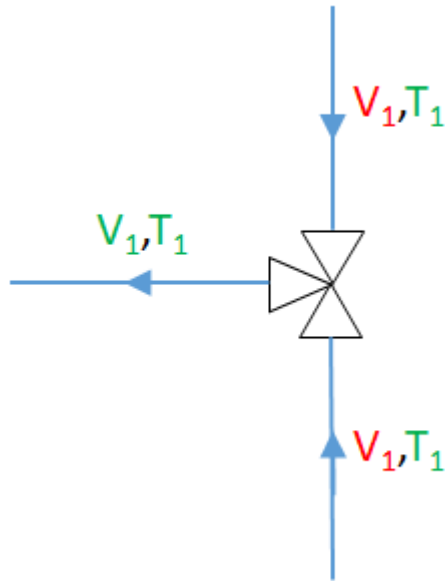


Figur 3.2: Utsnitt fra figur 3.1. Alle grønne betegnelser er målte størrelser, mens alle røde betegnelser må beregnes med de kjente verdiene.

3.3 Beregne alle ukjente volumstrømmer

For å beregne varmetapet i sirkulasjonsledningen og gjennomsnittlig effekt levert inn i berederene, må volumstrømmene i figur 3.2 være kjent. Volumstrømmene V_{KB} , V_{SRH} og V_{ST} er målt, det samme er temperatuene T_{KB} , T_{KS} , T_V , T_{ST} , T_{SRH} og T_{SR} . Ved hjelp av disse verdiene kan alle volumstrømmene beregnes. Alle temperaturer i systemet er kjent.

Figur 3.3. viser hvordan situasjonen i varmtvannssystemet ser ut hvor det er to ukjente volumstrømmer.



Figur 3.3: Blandeventil hvor de ukjente størrelsene V_1 og V_2 må beregnes.

Ved å bruke ligning 2.15 kan vi finne et uttrykk for V_1 og V_2 i figure 3.3.

$$Q = mc\Delta T$$

Termodynamikkens 1.lov gir oss:

$$\dot{Q}_3 = \dot{Q}_1 + \dot{Q}_2$$

$$\dot{m}_3 c_3 (T_3 - T_3) = \dot{m}_1 c_1 (T_1 - T_3) + \dot{m}_2 c_2 (T_2 - T_3)$$

Fra kapittel 2.2 brukes antagelsen om at den spesifikke varmekapasiteten er konstant, slik at $c_1=c_2=c_3 = 4184 \text{ J}/(\text{kgK})$.

$$\dot{m}_1 (T_1 - T_3) = -\dot{m}_2 (T_2 - T_3)$$

$$\dot{m}_i = \rho_i * \dot{V}_i$$

Måleinstrumentene måler volumstrøm, derfor tas det hensyn til at massetettheten endrer seg. Massetettheten endrer seg mer enn varmekapasiteten, og ved hjelp av ligning 2.16 kalkuleres tettheten for hver spesifikke temperatur.

$$\rho_1 \dot{V}_1 (T_1 - T_3) = -(\rho_2 \dot{V}_2) (T_2 - T_3) \quad \text{Ligningssett 1}$$

$$\rho_2 \dot{V}_2 = \rho_3 \dot{V}_3 - \rho_1 \dot{V}_1 \quad \text{Ligningssett 2}$$

Ligningssett 2 kommer fra at rørsystemet er lukket og dermed er volumstrømmen konstant. Bruker ligningssett 1 og 2 til å finne et uttrykk for V_1 .

$$\begin{aligned}
\rho_1 \dot{V}_1 (T_1 - T_3) &= -(\rho_3 \dot{V}_3 - \rho_1 \dot{V}_1) (T_2 - T_3) \\
\rho_1 \dot{V}_1 T_1 - \rho_1 \dot{V}_1 T_3 &= \rho_3 \dot{V}_3 T_3 - \rho_3 \dot{V}_3 T_2 + \rho_1 \dot{V}_1 T_2 - \rho_1 \dot{V}_1 T_3 \\
\rho_1 \dot{V}_1 T_1 - \rho_1 \dot{V}_1 T_2 &= \rho_3 \dot{V}_3 T_3 - \rho_3 \dot{V}_3 T_2 \\
\rho_1 \dot{V}_1 (T_1 - T_2) &= \rho_3 \dot{V}_3 (T_3 - T_2) \\
\dot{V}_1 &= \frac{\rho_3 \dot{V}_3 (T_3 - T_2)}{\rho_1 (T_1 - T_2)} \tag{3.1}
\end{aligned}$$

Ligning 3.1 brukes sammen med med ligningssett 2 for å løse alle ukjente verdier i figur 3.2

3.4 Beregne varmetapet i sirkulasjonsledningen

Når alle volumstrømmene i systemet er beregnet brukes ligning 2.15 for å beregne hvor mye energi som tapes i sirkulasjonsledningen og hvor mye energi som må tilføres i varmtvannsberederene for å varme vannet opp til temperaturen T_V . Det er to volumstrømmer inn i den første varmtvannsberederen; kaldtvann (V_{KB}) og returvann for sirkulasjon (V_{SB}). Den totale energien, Q_{TOT} , som skal til for å varme opp vannet i beredernene er gitt i ligning 3.2, hvor t er tiden i sekunder og $\rho_{KB/SB}$ er tettheten i kg/m^3 til vannet. Avhengig om det er måleserien på 1 minutt eller 15 minutter multipliseres ligning 3.2 med 60 sekunder eller 900 sekunder for å få energimengden for det siste minuttet eller de siste 15 minutter.

$$\begin{aligned}
Q_{TOT} &= \dot{Q}_{KB} t + \dot{Q}_{SB} t \\
Q_{TOT} &= \dot{m}_{KB} c (T_V - T_{KB}) t + \dot{m}_{SB} c (T_V - T_{SRH}) t \\
Q_{TOT} &= \dot{V}_{KB} \rho_{KB} c (T_V - T_{KB}) t + \dot{V}_{SB} \rho_{SB} c (T_V - T_{SRH}) t \tag{3.2}
\end{aligned}$$

Neste steg er å beregne hvor mye varme som tapes i sirkulasjonsledningen. Ligning 3.3 angir tapet i sirkulasjonsledningen, Q_{TAP} , hvor t er tiden i sekunder og ρ_{SR} er tettheten i kg/m^3 til vannet. Her er det tatt hensyn til at temperaturen ut i sirkulasjonsledningen er T_{ST} og ikke T_V . Som med ligning 3.2 multipliseres Q_{TAP} med med 60 sekunder eller 900 sekunder.

$$\begin{aligned}
Q_{TAP} &= \dot{m}_{SR} c (T_{ST} - T_{SR}) t \\
Q_{TAP} &= \dot{V}_{SR} \rho_{SR} c (T_{ST} - T_{SR}) t \tag{3.3}
\end{aligned}$$

3.5 Kartlegging av sirkulasjonsledningen

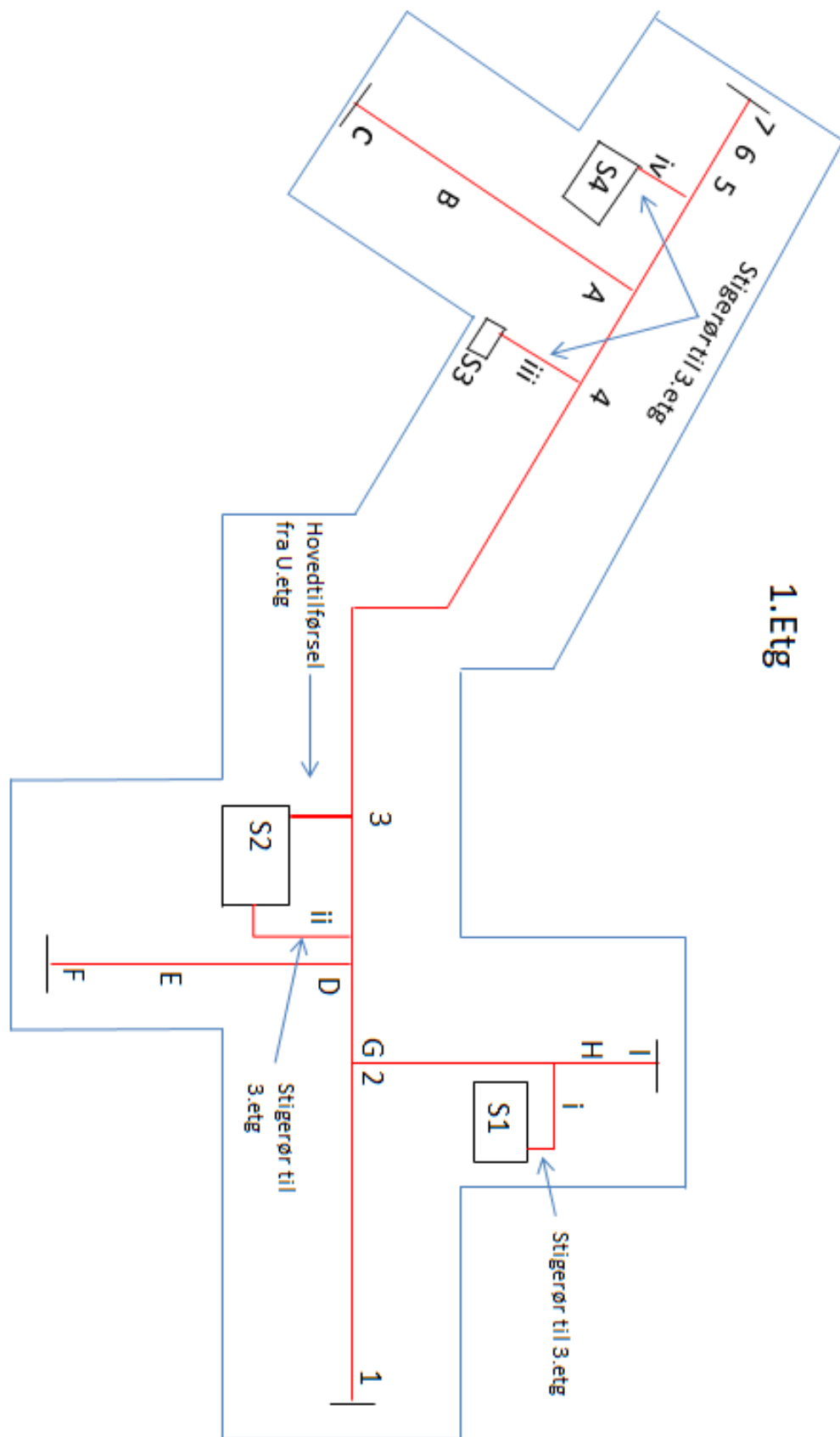
Ved hjelp av plantegninger av sykehjemmet, laget av Mercur VVS Entreprenør AS, er sirkulasjonsledningen blitt kartlagt; både plassering, rørdimensjoner og rørlengder.

Figur 3.4 og 3.5 viser hvordan sirkulasjonsledningen i Stovnerskogen sykehjem er bygget opp. Varmesentralen er i kjelleren (U.etasje) av bygget og hoveddelen av sirkulasjonsledningen befinner seg i himlingen i 1.etasje. Via fire sjakter, S1-S4, blir sirkulasjonsledningen ført opp til himlingen i 3.etasje for å gi varmtvann til rom som kjøkken og skyllerom. Sirkulasjonsledningen er i kobber, bortsett fra i sjaktene, hvor det er rør-i-rør system i PEX materiale, se kapittel 2.6. Alle pasientrommene på sykehjemmet, som befinner seg i 1.etasje, 2.etasje og 3.etasje, får varmtvann via stikkledninger fra sirkulasjonsledningen i 1.etasje. Stikkledningene er ikke tegnet inn i figur 3.4 eller 3.5. Det er altså ikke sirkulasjonsledning inn til hvert rom. En eventuell sirkulasjonsledning helt fram til hvert pasientrom ville gitt meget kort ventetid på varmtvannet, men anlegget ville blitt for komplisert og varmetapet via sirkulasjonsledningen hadde blitt for stort til at dette hadde lønnet seg.

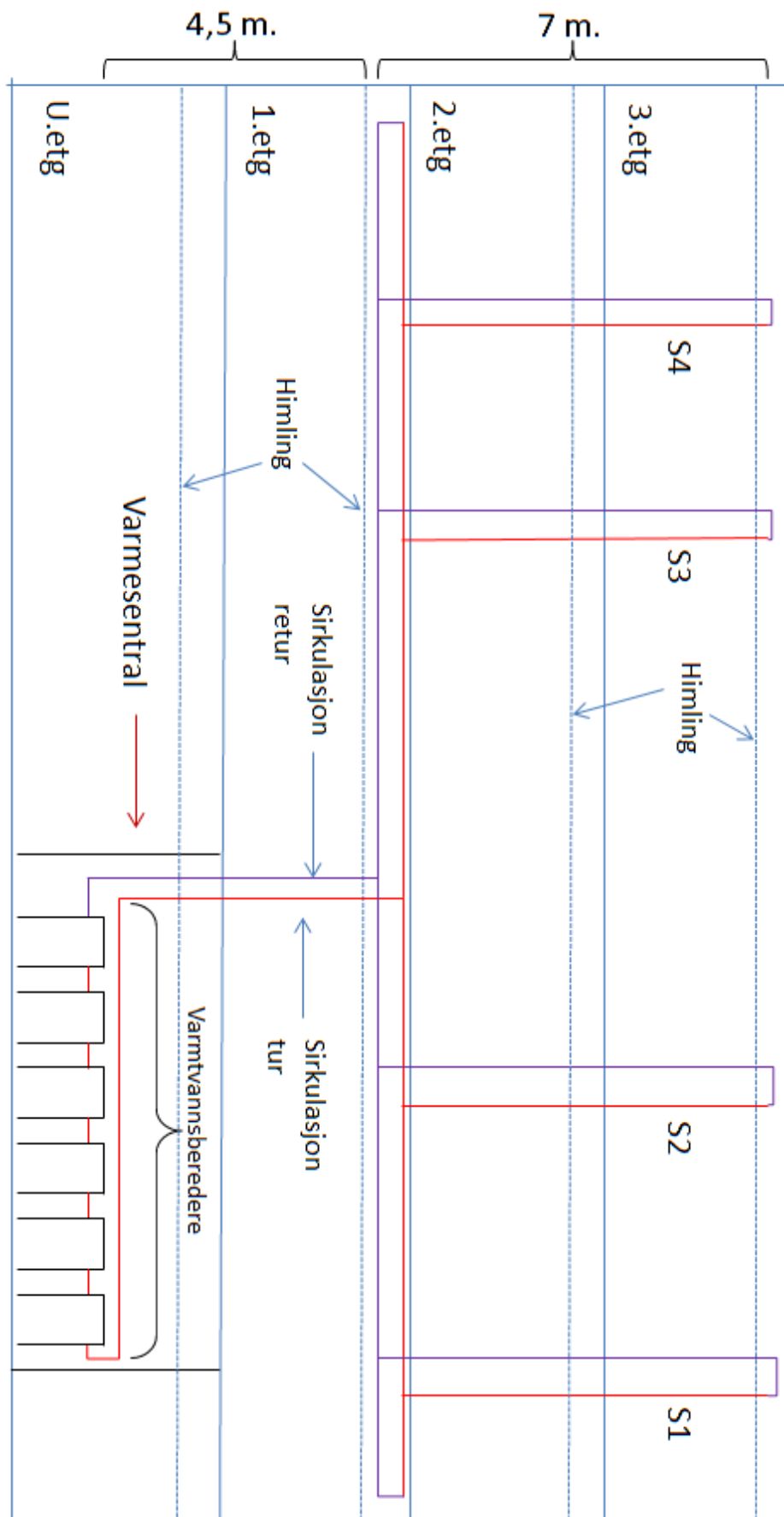
Rørdimensjonen på sirkulasjonsledningen varierer avhengig av hvor i bygget den er. I figur 3.4 henviser nummereringen til der hvor rørdimensjonen endrer størrelse. Hovedstrekket som går på langs av bygget er nummerert fra 1-7. Sirkulasjonsledningen som går i utspringene til bygget følger bokstavene A-I. Sjaktene er nummerert med S1-S4. Rørstrekket fra hovedsirkulasjonsledningen og bort til sjaktene er nummerert med i-iv.

Sirkulasjonsledningen består av sirkulasjon tur og sirkulasjon retur og de følger hverandre gjennom hele bygget, se figur 3.5. I figur 3.4 er kun én rørledning tegnet inn, for å gjøre figuren lettere å lese.

Tabell 3-1 angir dimensjoner, rørlengder og rørtype for strekkene i figur 3.4 og 3.5.



Figur 3.4: Stovnerskogen sykehjem sett ovenfra. De røde strekene symboliserer sirkulasjonsledningen.



Figur 3.5: Stovnerskogen sykehjem. Et snitt av bygget som viser oppbyggingen av sirkulasjonssystemet.

Tabell 3-1: Dimensjoner og lengder i sirkulasjonssystemet.

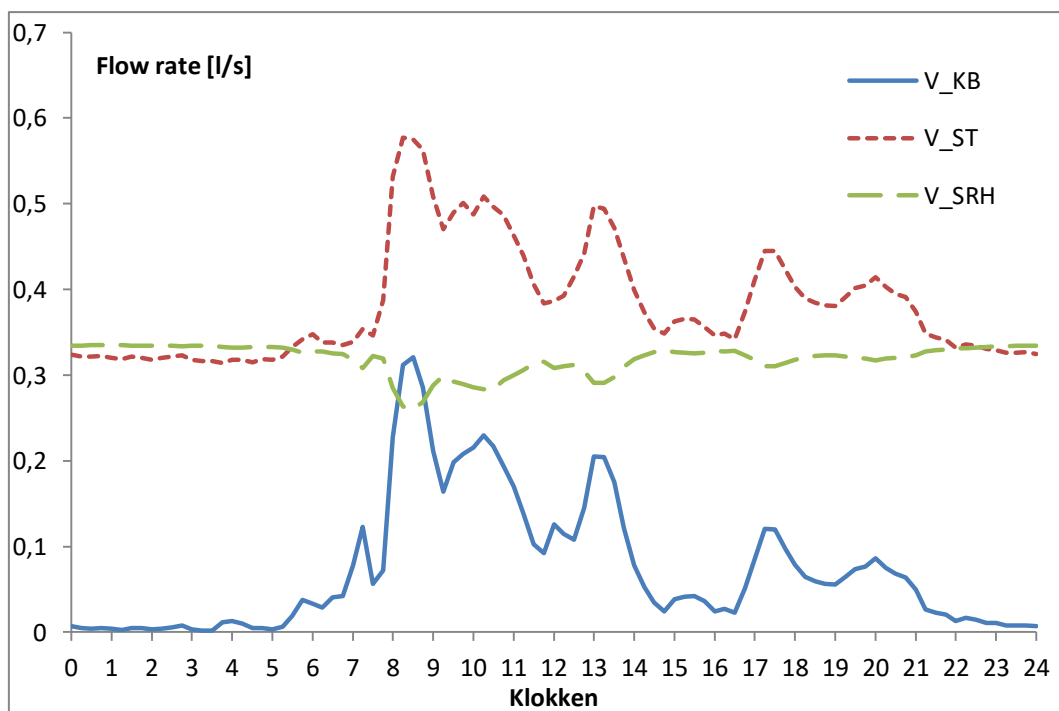
Rørstrekk	Utv. Diameter. VV [mm]	Utv. Diameter. VVC [mm]	Lengde [m]
1.0-2.0 (cu)	28	18	35,2
2.0-3.0 (cu)	35	18	13,9
3.0-4.0 (cu)	42	18	66,2
4.0-5.0 (cu)	35	18	18,4
5.0-6.0 (cu)	28	18	22,8
6.0-7.0 (cu)	22	18	8,5
Lengde rørstrekk 1-7			165,0
A-B (cu)	28	18	16,6
B-C (cu)	22	18	8,7
D-E (cu)	28	18	12,0
E-F (cu)	22	18	10,4
G-H (cu)	28	18	19,6
H-I (cu)	22	18	8,7
Lengde rørstrekk A-I			76,0
i (cu)	28	18	6,0
ii (cu)	22	15	6,0
iii (cu)	22	15	6,0
iv (cu)	22	15	6,0
Lengde rørstrekk i-iv			24,0
S1 (rør-i-rør)	28	15	7,0
S2 (rør-i-rør)	28	15	7,0
S3 (rør-i-rør)	28	15	7,0
S4 (rør-i-rør)	28	15	7,0
Lengde rørstrekk S1-S4			28,0
Tilførsel (cu)	42	18	6,0
Lengde tilførsel			6,0
Total lengde (sirkulasjon tur + retur)			299*2= 598 meter

4. Resultater og diskusjon

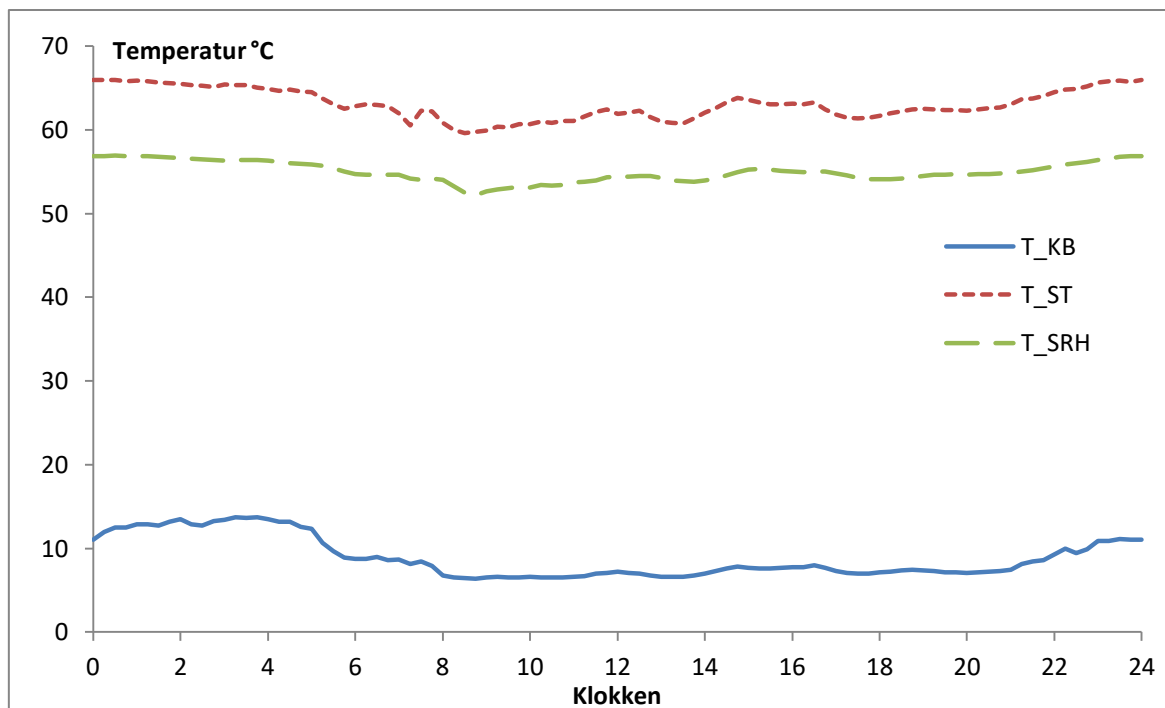
I kapittel 4.1 blir varmetapet i sirkulasjonsledningen presentert. I kapittel 4.2 blir det en kort gjennomgang av lengden på sirkulasjonssystemet. På bakgrunn av resultatene i kapittel 4.1 og 4.2 blir det i kapittel 4.3 diskutert hvor godt sirkulasjonsledningen er isolert. I kapittel 4.4 blir energibesparende tiltak diskutert og til slutt i kapittel 4.5 blir det en gjennomgang av usikkerhetene i denne oppgaven.

4.1 Varmetapet i sirkulasjonsledningen

Figur 4.1 viser hvordan volumstrømmene V_{KB} , V_{ST} og V_{SRH} varierer i løpet av et døgn, og er gjennomsnittsverdier for hele måleperioden. Disse tre verdiene er de målte verdiene og ikke beregnet. Figuren viser at forbruket av varmtvann er nesten lik null kl. 00-05. Det er som forventet da det er natt og det ikke er aktivitet på sykehjemmet. V_{SRH} er litt større enn V_{ST} , fordi V_{SRH} får tilført en liten strøm varmtvann fra HV, V_{HBS} , se figur 3.2. Det største forbruket av varmtvann er mellom kl. 08-09, som er i forbindelse med morgenstell.



Figur 4.1: V_{KB} er kaldt vann inn i bereder, V_{ST} er sirkulasjon tur og V_{SRH} er sirkulasjon retur plus V_{HBS} . Grafen er et gjennomsnitt for hele måleperioden.



Figur 4.2: Gjennomsnittlige temperaturer gjennom døgnet. Grafen er et gjennomsnitt for hele måleperioden.

Figur 4.2 viser den gjennomsnittlige temperaturen til vannet tilhørende volumstrømmene som er plottet i figur 4.1. Temperaturene i varmtvannssystemet holder seg relativt stabile gjennom døgnet, men synker når forbruket av vann øker, fordi beredere ikke leverer nok effekt til å opprettholde temperaturen ved maks forbruk. Temperaturen på kaldtvannet, T_{KB} , synker når forbruket øker, fordi ved lavt forbruk står kaldtvannet relativt stille i rørene og blir dermed varmet opp av omgivelsene. Ved økt forbruk kommer det inn kaldt vann fra en hovedledning hvor vannet er i konstant bevegelse.

Ved hjelp av formel 3.1, 3.2 og 3.3 er gjennomsnittlig effekt inn i beredere og gjennomsnittlig effekttap i sirkulasjonsledningen beregnet, se tabell 4-1.

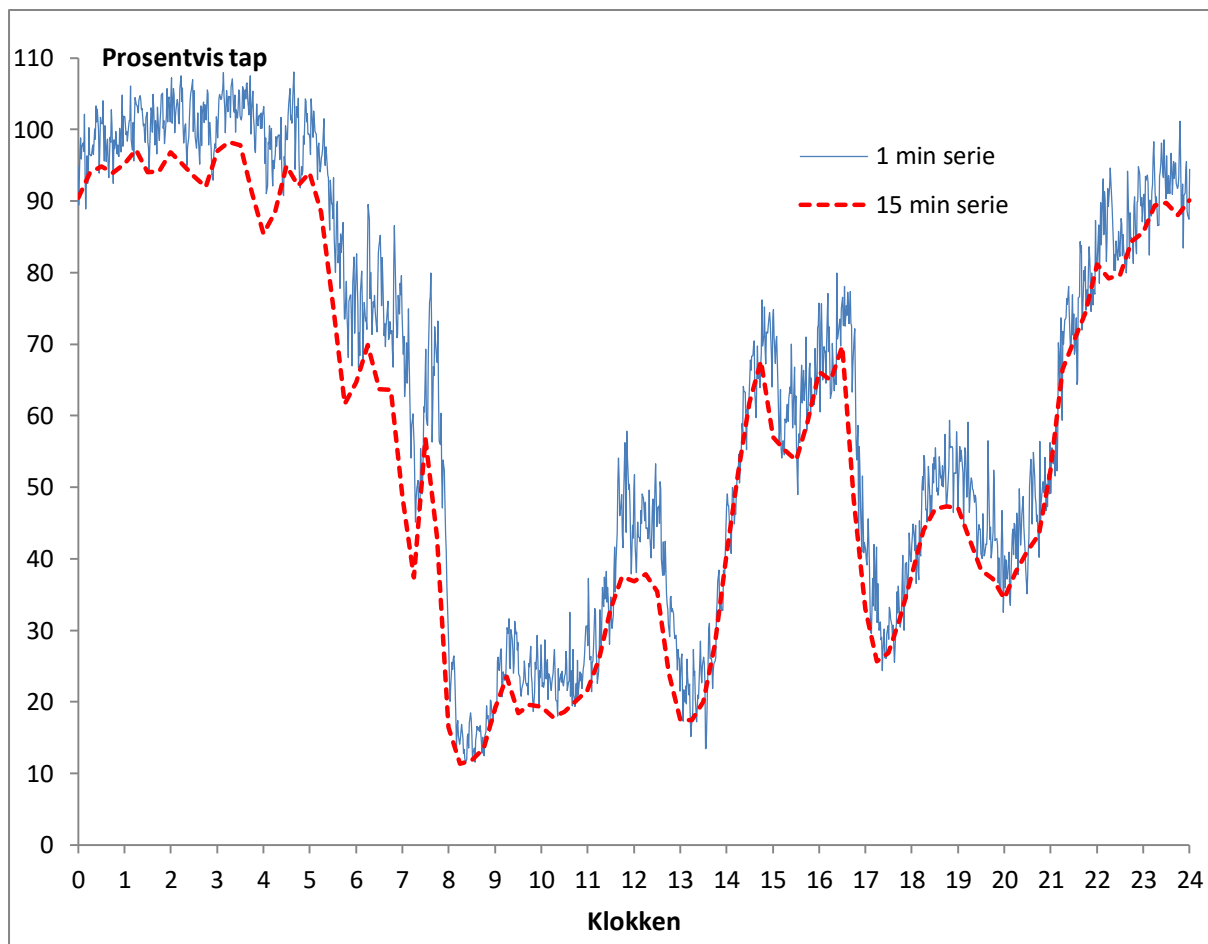
Tabell 4-1: Effekt levert inn i beredere og effekttap i sirkulasjonsledningen.

	1-Minutt måleserie	15-Minutter måleserie
Gjennomsnittlig effekt inn i beredere	30,8 kW	30,0 kW
Gjennomsnittlig effekttap i sirkulasjonsledning	11,5 kW	11,4 kW
Tap i sirkulasjonsledningen i forhold til effekt inn i beredere	37,3 %	38,0 %

Tabell 4-1 viser at mer enn 1/3 av all energien som tilføres i varmtvannsberederene tapes i sirkulasjonsledningen. Om dette tallet er stort eller lite avhenger av hva man sammenligner med (se tabell 1-2). Fordi det bor mange personer på et sykehjem er forbruket av varmtvann stort, som fører til at andelen varme som tapes i sirkulasjonssystemet blir mindre i forhold til et bygg der det brukes lite varmtvann, som i et kontorbygg. Om det er god isolasjon som gjør at det relative tapet er lite blir evaluert kapittel 4.2.

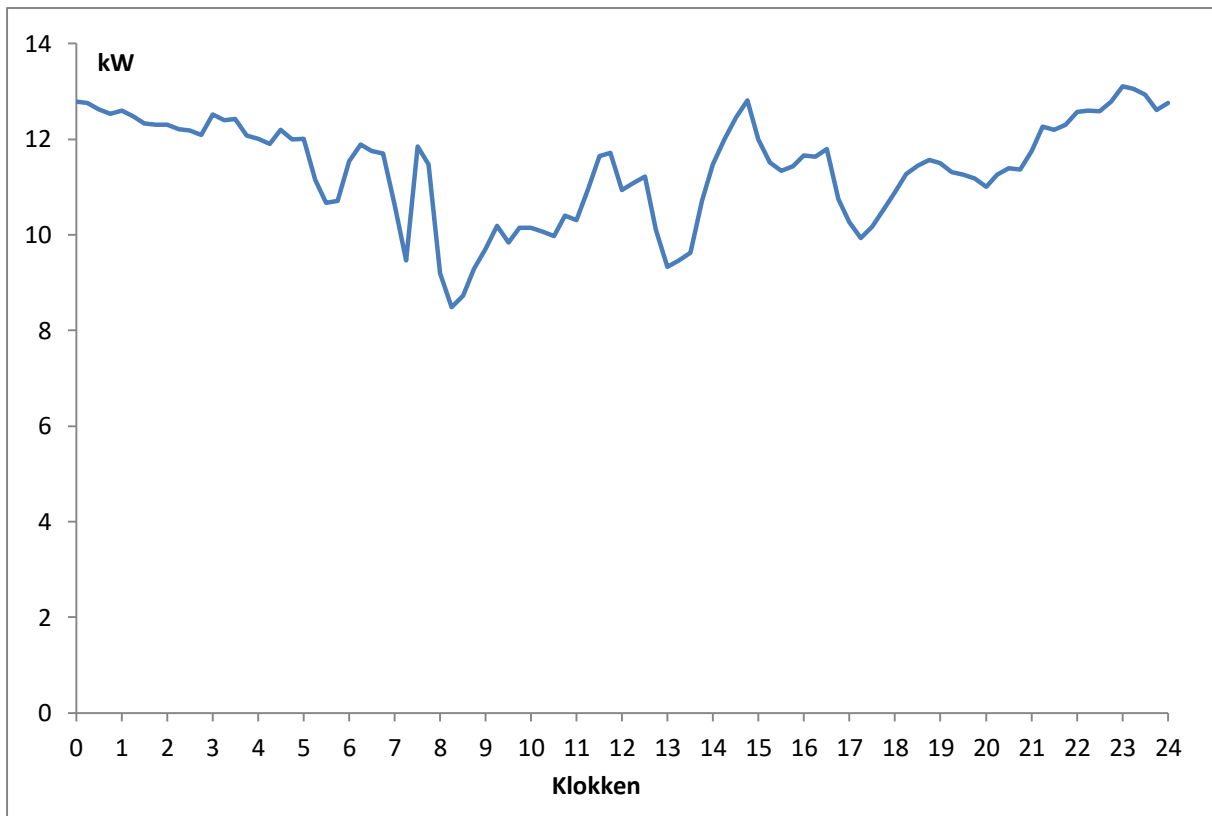
For videre beregninger er det tallene fra 15-minutter måleserien som brukes. Sirkulasjonsledningen på Stovnerskogen Sykehjem er nesten 600 meter lang og holder omtrent 400 liter vann. I et system av en slik størrelse er det en del "treghet". På grunn av at rørene og omgivelsene påvirker vanntemperaturen tar det tid før temperaturen stabiliserer i systemet stabiliserer seg ved forandret bruksmønster. Figur 4.3 viser andel varme tilført i varmtvannsberederene som tapes i sirkulasjonsledningen gjennom et helt døgn for begge måleseriene. Den viser at 1-minutt serien har store variasjoner, som er på grunn av denne tregheten i systemet. I denne analysen er det spesielt trendene som er viktige, og 15-minutter måleserien gir et bedre bilde forbruket av varmtvann enn 1-minutt måleserien som har store variasjoner. Forbruket av varmtvann er uansett ikke jevnt fra dag til dag, derfor er variasjonene fra minutt til minutt uviktige.

Om natten mellom kl. 00-05 viser 15-minutter måleserien i figur 4.3 at mer enn 90 % av den tilførte varmen tapes i sirkulasjonssystemet. Det store tapet skyldes at det er et svært lavt forbruk av varmtvann, som fører til at all varmen som tilføres i berederene kun går med til å dekke varmetapet i systemet (sirkulasjonsledninger og beredere). Måleserien på 1-minutt viser i samme tidsrom et tap på over 100 % som skyldes tregheten i systemet som beskrevet over. Om morgningen mellom kl. 08-12 synker det relative varmetapet i sirkulasjonsledningen ned til mellom 10-30 %. Det er i dette tidsrommet pasienter blir stelt og det lages frokost, som fører til et stort forbruk av varmtvann. Figur 4.3 kan sees på som anleggets signatur/fingeravtrykk, som gjør det mulig å vurdere effekten av en eventuell styring av sirkulasjonspumpen, som justerer seg selv etter forbruk. Fordi målingene er gjort på vinteren kan det tenkes at en måling i juli måned hadde sett annerledes ut på grunn av endret forbruk men også på grunn av økt temperatur til T_{KB} som gjør at energibehovet til oppvarming av varmtvann går ned.



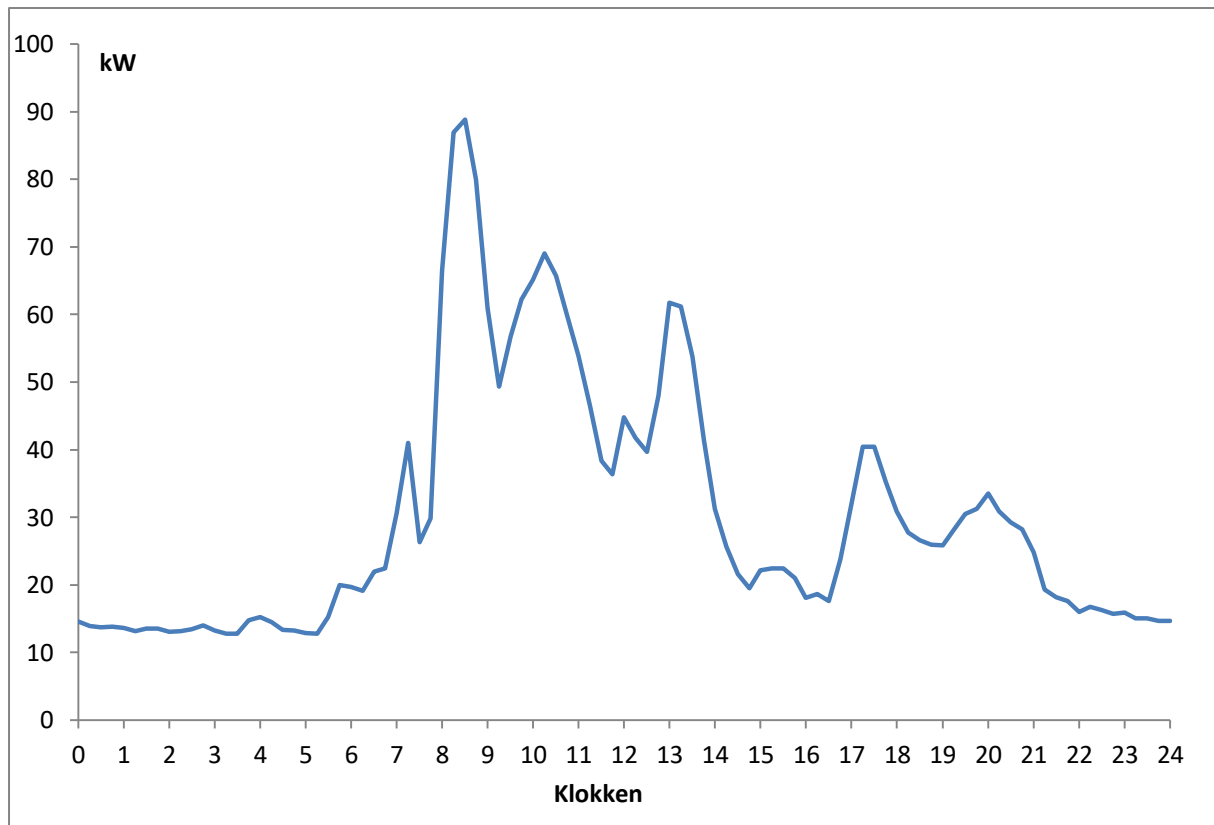
Figur 4.3: Relativt tap i sirkulasjonsledningen. Grafen viser gjennomsnittet for hele måleperioden for både 1-minutt og 15-minutter serien.

Figur 4.4 viser effekt tapet i sirkulasjonsledningen i løpet av døgnet. Mellom kl. 00-05 når forbruket av vann er svært lavt er effekt tapet i sirkulasjonsledningen omtrent 12 kW. Dette er varme som tapes inn i bygget. Om vinteren når behovet for romoppvarming er stort, vil noe av denne varmen bidra til økt innetemperatur, men studier viser at mesteparten av varmen som tapes via varmtvannsrør ikke bidrar særlig til nyttig varme. Generelt vil tap fra varmtvannssystemer ikke bidra til mer enn 25 % av romoppvarmingen i løpet av et år (bøhm mfl. 2009, s.36). I varme perioder når det derimot er behov for kjøling vil varmen fra varmtvannsrørene føre til et dobbelttap, fordi man må kjøle ned den ekstra varmen som føres inn i bygget.



Figur 4.4: Effekttap i sirkulasjonsledningen i løpet av døgnet. Et gjennomsnitt for hele måleperioden.

Figur 4.5 viser levert effekt i varmtvannsberederene (el+coil) gjennom et døgn. Om natten i perioden kl. 00-05 er trekker berederene omtrent 13-14 kW. Fordi forbruket av varmtvann er lavt i dette tidsrommet går energien med til å dekke varmetapet i varmtvannssystemet. Effekttoppen er mellom kl. 08-09 og varmtvannsberederene trekker da nærmere 90 kW. Det gjennomsnittlige effektbehovet er omtrent 30 kW.



Figur 4.5: Effekt inn i beredere gjennom et døgn. Et gjennomsnitt over hele måleperioden.

4.2 Sirkulasjonssystemets lengde

Tabell 3-1 viser hvor lang de ulike strekkene i sirkulasjonssystemet på Stovnerskogen sykehjem er og dimensjonene på rørene. Rørenes lengde og dimensjoner er hentet fra byggets plantegninger. Den største rørdimensjonen er 42 mm og minste er 15 mm. Alle rør er i kobber, bortsett fra rørene i sjaktene S1-S4 som er PEX rør-i-rør. Total lengde på hele sirkulasjonssystemet er 598 meter. Rørdimensjonen varierer nokså hyppig, se figur 3.4. I plantegningene er ikke tykkelse på isolasjon nevnt, eller om rørene er isolert i det hele tatt, men det er å anta at isolasjonstykkelsen varierer med rørdimensjonen. Det er også usikkerheter i forbindelse med lengde, dimensjoner og trassé til sirkulasjonsledningen. Det er ikke sikkert sykehjemmet er bygget akkurat slik som plantegningene viser. Den totale lengden på sirkulasjonssystemet er viktig i kapittel 4.3 hvor sirkulasjonssystemets isolasjon drøftes.

4.3 Sirkulasjonssystemets isolasjon

Som nevnt i kapittel 4.2 er ikke isolasjonstykkelsen til varmtvannsrørene i bygget kjent, men ved hjelp av verdier fra kapittel 4.1 kan det gjøres estimater for godt sirkulasjonssystemet er isolert. Gjennomsnittlig temperatur for sirkulasjon tur og sirkulasjon retur er henholdsvis 63 °C og 55 °C. Dette gir en snittemperatur på 59 °C. Det er ikke gjort målinger av temperatur i sjaktene hvor sirkulasjonsledningen går, men det antas at temperaturen i sjaktene ligger omtrent 4-5 °C over romtemperatur som gir en temperatur i sjaktene på omtrent 25 °C. Dette gir en differanse på 34 °C mellom rom og rør. Tabell 4-2 angir informasjon som er viktig i beregning av anleggets isolasjon.

Tabell 4-2: Nøkkeltall for sirkulasjonssystemet.

Nøkkeltall for sirkulasjonssystemet	
Gjennomsnittlig effekttap sirkulasjon	11,4 kW
Lengde sirkulasjonssystem	598 m
Effekttap per meter	19,1 W/m
Temperaturdifferanse rør-rom	34 °C
Lineær varmetapskoeffesient	0,56 W/(Km)

Det gjennomsnittlige effekttapet i sirkulasjonsledningen på 11,4 kW tilsvarer et effekttap per meter rør på 19,1 W/m. Dette gir en lineær varmetapskoeffesient på 0,56 W/(Km). Sammenlignet med tabell 2-3 ligger denne verdien mellom dårlig isolerte og normalt isolerte distribusjonsrør. For 42 mm kobberør med 35 °C temperaturdifferanse mellom rom og rør tilsvarer et effekttap på 19,1 W/m omtrent 0,5 cm med isolasjon, se figur 2.16. I henhold til TEK10 anbefaler Glava en isolasjonstykkelse på 3,0 cm for 42 mm rør med vanntemperatur 55 °C (Glava TEK10, s.7). Et uisolert 18 mm kobberør med 35 °C temperaturdifferanse har et varmetap på 15 W/m, se figur 2.16. 15 mm pex rør-i-rør med en temperaturdifferanse på 35 °C et varmetap på omkring 18 W/m (Uponor, s.29). Disse tallene stemmer godt overens med effekttapet i sirkulasjonsledningen som tyder på at rørene er dårlig isolert. I sjaktene S1-S4 er det sansynlig at varerørene hvor PEX-rørene ligger inni ikke er isolert, fordi luftrommet mellom varerøret og PEX-røret vil fungere som en isolasjon.

Ved hjelp av gitt informasjon er det vanskelig å beregne varmetapet for de enkelte delene av sirkulasjonssystemet, men på bakgrunn av tallene som er funnet bærer sirkulasjonssystemet som helhet preg av å være dårlig isolert. Et tap på 19,1 W/m er høyt for et 42 mm rør med 34 °C temperaturdifferanse, og for de mindre rørene er det enda verre.

4.4 Energibesparende tiltak

For å få ned energibruken i varmtvannsystemet er det flere tiltak som kan gjennomføres. Ved hjelp av tall fra kapittel 4.1 og 4.2 blir det i dette kapitlet en gjennomgang av aktuelle metoder som kan senke energibehovet for Stovnerskogen sykehjem. Ikke alle tiltakene er gjennomførbare i et eksisterende bygg, men de er viktige med tanke på nye bygg og i forbindelse med renovasjon av eldre bygg.

4.4.1 Tykkere isolering

Hvis antagelsen om at rør-rom temperaturdifferansen er 34 °C vil den lineære varmetapskoeffesient for systemet være 0,56 W/(Km). Som tabell 2-3 viser har meget godt isolerte rør en lineær varmetapskoeffesient på 0,1 W/(Km). Hvis rørene i bygget hadde vært isolert slik at varmetapskoeffesient var lik 0,1 W/(Km) og temperaturdifferansen hadde vært uforandret hadde varmetapet vært lik 3,4 W/m. Dette hadde redusert effekttapet i sirkulasjonsledningen fra 11,4 kW til 2,0 kW. En lineær varmetapskoeffesient lik 0,1 W/(Km) er kanskje urealistisk, men hva om anlegget hadde fulgt TEK10 anbefalingene for isolasjonstykkelse?

Glava anbefaler 3,0 cm isolering for 42 mm rør med vanntemperatur 55 °C. En slik isolasjonstykkelse tilsvarer et effekttap lik 6,8 W/m når temperaturdifferansen er 35 °C, se figur 2.16. Hvis hele anlegget hadde hatt et samlet effekttap lik 6,8 W/m hadde den lineære varmetapskoeffesienten vært 0,20 W/(Km), som hadde redusert effekttapet i sirkulasjonssystemet fra 11,4 kW til 4,1 kW. Tabell 4-3 sammenligner dagens situasjon med en tenkt situasjon hvor anleggets lineære varmetapskoeffesient er lik 0,20 W/(Km).

Tabell 4-3: En sammenligning av nåværende situasjon og et tenkt scenario med tykkere isolasjon.

	Lineær varme- tapskoeffesient [W/(Km)]	Årlig energitap i sirkulasjonsledningen [MWh]	Teoretisk besparelse [MWh]
Nåværende situasjon	0,56	99,9	
Tykkere isolasjon	0,20	35,9	64,0

4.4.2 Varmekabel

Ved å bruke varmekabel på varmtvannsrøret, som beskrevet i kapittel 2.7, slipper man å bruke sirkulasjonsledning. Da halveres lengden på varmtvannsrørene, og varmetapet blir omtrent halvert, som i dette tilfellet tilsvarer 5,7 kW. Hvis det antas at 80 % av varmen fra varmekabelen går med til å varme opp vannet, blir varmetapet redusert til 6,8 kW, som tilsvarer en besparelse på 4,6 kW. En besparelse på 4,6 kW hadde gitt en årlig energibesparelse på 40,3 MWh. Samtidig kunne også varmtvannsberederne vært mindre, fordi de slipper å varme opp vann som går til sirkulasjon, slik at det hadde blitt en eventuell besparelse der også. Varmekabler har flere begrensinger; som begrenset lengde, fare for økt korrosjon på vannrør, stort strømforbruk ved lange strekk og det krever økt isolasjonstykkelse rundt røret hvor det brukes. Hvis anlegget er langt må det brukes flere varmekabler for å dekke hele lengden og det er mulig man får lengder uten varme. Angående driftssikkerheten til et slikt system, er det vanskelig å forutsi levetiden. Hvis en slik kabel installeres er det viktig å sørge for at det er enkelt å komme til varmtvannsrøret slik at varmekabelen kan skiftes ut ved en eventuell feil.

4.3.3 behovsdrevet sirkulasjonspumpe

Som figur 4.1 viser så er forbruket av varmtvann svært lite i tidsrommet kl. 21-05, og figur 4.3 viser at omtrent 90 % av energien tilført i varmtvannssystemet tapes i sirkulasjonsledningen i dette tidsrommet. Ved å styre sirkulasjonspumpen etter forbruket eller temperatur i sirkulasjonsledningen kan man gjøre systemet mer effektivt. Dette er et relativt enkelt tiltak å implementere for eksisterende systemer.

Full stopp om kveld/natt

Figur 4.4 viser at effekttapet i sirkulasjonsledningen i perioden kl. 21-05 er omtrent 12 kW. En full stans i dette tidsrommet ville gitt en daglig besparelse på 77 kWh. Da er det antatt at vannet i rørene holder omtrent 25 grader når sirkulasjonen slås på igjen og at vannet skal varmes opp til 65 grader. Sirkulasjonsledningen holder omtrent 400 liter vann. Den årlige besparelse blir da 28,1 MWh ved full stopp av pumpen om kveld/natt. Et problem ved å skru sirkulasjonspumpen helt av er faren for legionella. Men ifølge denne rapporten (Bøhm mfl. 2009, s.40) strides ekspertene i om det er farlig eller ikke å slå av sirkulasjonspumpen for kortere perioder. På et sykehjem er det mange personer med nedsatt immunforsvar og generelt dårlig helse, slik at det er lite sannsynlig at et slikt tiltak hadde blitt godkjent for et slikt bygg.

Reduksjon i hastighet

Et alternativ til full stans i sirkulasjonspumpen er å styre hastigheten etter forbruksmønster/temperatur i sirkulasjonsledningen. Figur 4.1 viser at forbruket av varmtvann på Stovnerskogen sykehjem er relativt kaotisk i tidsrommet kl. 05-21. For dette spesifikke anlegget er effekten av et slikt tiltak uvisst. En reduksjon i hastigheten til sirkulasjonspumpen er antakeligvis mer egnet for et system der hvor forbruksmønsteret er mindre kaotisk, eller for kortere sirkulasjonsledninger der det tar mindre tid før hele sirkulasjonsledningen når driftstemperatur.

4.4.4 Oppsummering av sparetiltak

Hovedtiltakene for å gjøre varmetapet i sirkulasjonsledningen er som nevnt tykkere isolasjon, varmekabel i stedet for sirkulasjonsledning og periodevis stans av sirkulasjonspumpen. I tabell 4-4 er de tre ulike tiltakene pluss et kombinasjonstiltak listet opp med tilhørende besparelse. Tiltakene som går ut på å endre isolasjonen og/eller installere varmekabel i stedet for sirkulasjonsledning er vanskelig å gjennomføre i et eksisterende bygg. Dette må gjøres under bygging eller i forbindelse med renovasjon. Full stans for sirkulasjonspumpen er derimot gjennomførbart for ethvert anlegg som allerede er i drift.

Tabell 4-4: Årlig besparelse for ulike tiltak på Stovnerskogen sykehjem.

Tiltak	Årlig besparelse [MWh]	Besparelse [%]
Tykkere isolasjon tilsvarende 0,20 W/(Km)	64,0	64,1
Varmekabel, $\eta = 0,80$ (uforandret isolasjon)	40,0	40,0
Full stans i sirk.pumpe mellom kl. 21-05	28,1	28,2
Kombinasjon av varmekabel ($\eta = 0,80$) og isolasjon tilsvarende 0,20 W/(Km)	78,4	78,5

Dagens varmetap i sirkulasjonsledningen er 99,9 MWh. Tabell 4-4 viser at det mest effektive tiltaket er tykkere isolering i kombinasjon med varmekabel som erstatter sirkulasjonsledningen. Den årlige besparelsen blir da 78,4 MWh, som tilsvarer en besparelse på 78,5 %, forutsatt at 80 % av varmen fra varmekabelen går til å varme opp varmtvannsrøret.

4.5 Usikkerhet

Tallene som er presentert i denne oppgaven er uten usikkerhet, og det er flere grunner til det. De fysiske målingen som er gjennomført er volumstrøm og temperaturer. Usikkerheten til instrumentet som måler volumstrømmen er 0,2 %. Når det gjelder temperaturmålingene er usikkerheten uvisst. Målingene er gjort ved å plassere temperatursensoren utenpå rørene under isolasjonen. Det er altså antatt at temperaturen utenpå rørene er lik innsiden. I realiteten er temperaturen lavere utenpå et varmtvannsrør enn innenfor. Fordi usikkerheten til temperaturmålingene med all sannsynlighet er større enn 0,2 % gir det ingen mening å regne på sannsynligheter knyttet til volumstrømmene eller energimengder. Den største usikkerheten i denne oppgaven, som ikke er kjent, er temperaturdifferansen mellom rørom. Det er hele tiden antatt at differansen er 34 °C. I realiteten vil den variere mye fra sted til sted avhengig hvor mye luft det er mellom rørene, om det er trekk i rørkanalene og om varmtvannsrørene ligger tett mot kaldtvannsrør. Fordi det ikke er gjort temperaturmålinger hvor sirkulasjonsledningen befinner seg er det vanskelig å gi et konkret tall på usikkerhet, det blir i såfall kun gjetning. Rom-rør temperaturdifferansen er viktig for å bedømme hvor godt rørene er isolert, men en temperaturdifferanse på 34 °C antas å være realistisk for dette anlegget.

5. Konklusjon

Gjennomsnittlig levert effekt til varmtvannsberederene på Stovnerskogen sykehjem er 30,0 kW og det gjennomsnittlige effekttapet i sirkulasjonsledningen er 11,4 kW. Det gir et relativt tap på 38,0 %, som sammenlignet med lignende bygg er lavt. Dette skyldes antageligvis at forbruket av varmt tappevann er høyt, som er naturlig i et bygg der det bor mange mennesker. Effekttapet per meter rør er 19,1 W/m, som er høyt. Dette tyder på at rørene er dårlig isolerte. Beregningene i denne oppgaven viser at økt tykkelse på isolasjonen og bruk av varmekabel som erstatter sirkulasjonsledningen kan redusere dagens varmetap med 78,5 %. Dette er derimot tiltak som er vanskelig å gjennomføre i et eksisterende bygg. For Stovnerskogen sykehjem er derfor det mest aktuelle tiltaket å stoppe sirkulasjonspumpen helt eller delvis i perioder når forbruket av varmt tappevann er lavt. Varmetapet kan med dette tiltaket reduseres med 28,1 %. Dette er et tiltak som kan gjennomføres for ethvert bygg uten inngrep på byggets infrastruktur.

Referanser

Byggforsk 553.116. Dimensjonering av rør for tappevann i bygninger. April 2017.

Byggforsk 553.117. Rør-i-rør-systemer for vannforsyning. Mars 2015.

Byggforsk 553.163. Energieffektive og vannbesparende sanitærinstallasjoner. Desember 2015.

Bøhm, B., Schrøder, F. Og Bergsøe, N.(2009). Varmt Brugsvand: Måling af forbrug og varmetab fra cirkulationsledninger. SBI 2009:10. Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg universitet.

COWI (2013): Hensiktsmessige varme- og kjøleløsninger i bygninger. Enova rapport. 65
Tilgjengelig fra: <https://www.enova.no/om-enova/om-organisasjonen/publikasjoner/>

ENERGIX (2017). Programplan for ENERGIX. Revidert programplan april 2017.

Tilgjengelig fra:

https://www.forskningsradet.no/servlet/Satellite?cid=1254026022670&pagename=VedleggPointer&target=_blank

Glava TEK10 – Isolering av rør i henhold til TEK10

Tilgjengelig fra: <https://www.glava.no/sitefiles/1/kampanjer/rorkampanje/3bud.pdf>

Incropera, F. P., Dewitt, D. P, Bergman, T.L, Lavine, A.S, (2006) – Fundamentals of heat and mass transfer. 6th edition. John Wiley & Sons.

Jones, F.E, Harris, G.L, (1992). ITS-90 Density of Water Formulation for Volumetric Standards Calibration. Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, Volume 97, Number 3, May-June 1992. s.335.

Meld.St.41, 2016-2017. Klimastrategi for 2030 – norsk omstilling i europeisk samarbeid.

NVE (2017). Energibruk i Fastlands-Norge. Historisk utvikling og anslag på utvikling mot 2030.
Tilgjengelig fra: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2017/rapport2017_25.pdf

Rørhåndboka 312.71 (2018) – Sirkulasjonsledninger 1.

Rørhåndboka 312.72 (2018) – Sirkulasjonsledninger 2.

Rørhåndboka 312.73 (2018) – Varmekabler for varmtvannsrør.

Rockwool (2014). Den lille VVS. En guide for isolering av VVS-installasjoner.

Tilgjengelig fra: <https://static.rockwool.com/globalassets/rockwool-no/teknisk-support/brosjyrebibliotek/teknisk-isolasjon/den-lille-vvs-nettversjon.pdf>

Sjøvold, O., Larsen, P-E. (2009). Prenøk-blad 7.9. Legionella og sanitæranlegg.

SN/TS 3031:2016 - Bygningers energiytelse. Beregning av energibehov og energiforsyning. S.93-102.

Uponor. Håndbok for Uponor tappevannsystem PEX.

Tilgjengelig fra:

<https://www.uponor.no/UponorInternet/DirectDownload?did=9F5FD3B2D9994E3FAFC36D998296749D>

ZERO (2017). Zerorapport 2017. Slik kutter vi energibruken i bygg. Virkemidler for energieffektivisering som tar oss til 10 TWh.

Tilgjengelig fra: <https://www.efo.no/wp-content/uploads/2016/11/energisparing-i-bygg-10twh.pdf>

Zijdemans, D, (2014). Prenøk-blad 7.0 Varmtvannsforsyningsanlegg - type, systemer og komponenter. Skarland Press AS.

Web kilder

Pedersen, B. (2017a). Varmeledning. Store norske leksikon.

<https://snl.no/varmeledning>

[Lest 24.02.18].

Pedersen, B. (2017b). Varmekapasitet. Store norske leksikon.

<https://snl.no/varmekapasitet>

[Lest 24.02.18]

Thue, J.V. (2017). Varmeovergangstall. Store norske leksikon.

<https://snl.no/varmeovergangstall>

[Lest 27.04.18]

SSB (2016).Elektrisitet, 2015.

<https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/elektrisitet/aar/2016-11-30>

[Lest 01.03.18]

Vedlegg

Vedlegg A

Til ligning 2.11, 2.12 i kapittel 2.1 Kilde: (SN/TS 3031:2016, s.94)

Merknad 1: Utvendig overgangstall for rør som er lokalisert inne, ligger typisk i området 5 -10 W/(m²K). Utvendig ligger overgangstallet på mellom 10-30 W/(m²K). Gjøres det ikke nærmere beregninger, kan hhv. 7,5 W/(m²K) og 25 W/(m²K) brukes for innvendig og utvendig overgangstall.

Merknad 2: I tilfeller der luft brukes som distribusjonsmedium i stedet for vann, dvs. at temperaturen i kanalanlegget er signifikant høyere enn romtemperaturen, kan fortsatt formlene 2.11 og 2.12 brukes. Diameter for rør byttes ut med diameter på kanal, og tykkelse på rørisolasjon byttes ut med tykkelse på kanalisolasjon.

Merknad 3: Beregningsregler for varmeisolasjon for bygningsutstyr og industrianlegg er gitt i NS-EN ISO 12241.



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway