

Energibruk til varmt tappevann

– RESULTATER FRA PROSJEKTET VARMTVANN2030



SINTEF Fag

Harald Taxt Walnum, Åse Lekang Sørensen og Karolina Stråby

Energibruk til varmt tappevann

– Resultater fra prosjektet VarmtVann2030

SINTEF akademisk forlag

SINTEF Fag 80

Harald Taxt Walnum, Åse Lekang Sørensen og Karolina Stråby

**Energibruk til varmt tappevann
– Resultater fra prosjektet VarmtVann2030**

Emneord: Tappevann, energibruk, varmetap, dimensjonering

ISSN 1894-2466

ISBN 978-82-536-1712-1(pdf)

Prosjektnummer: 102015126

Omslag: "Varmesentral med varmtvannstanker og rør"

Foto: SINTEF Community

38 eks. trykt av AIT Bjerch

Innmat: 100 g munken polar

Omslag: 240 g trucard



© Forfatterne. Utgitt av SINTEF akademisk forlag

Denne rapporten er publisert med åpen tilgang etter CC BY-lisensen

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

SINTEF akademisk forlag

SINTEF Community

Børrestuveien 3

Postboks 124 Blindern

0314 OSLO

Tlf.: 40 00 51 00

www.sintef.no/community

www.sintefbok.no

Forord

Denne rapporten presenterer prosjektresultater fra forskningsprosjektet *VarmtVann2030 – Energi til tappevann i det norske lavutslippssamfunnet*. Prosjektet har vart i fire år, fra 2017 til 2021. Rapporten presenterer resultater som omhandler energibruk til produksjon av varmt tappevann. Prosjektresultater som gjelder dimensjonering av rørsystemer, er beskrevet i rapporten *Dimensjonering av varmtvannsrør i bygg – Resultater fra prosjektet VarmtVann2030* (SINTEF Fag 81).

Det overordnede målet for prosjektet *VarmtVann2030* har vært å øke kunnskapen om det reelle varmtvannsbehovet for ulike bygningskategorier. Sentrale forskningsoppgaver har vært å dokumentere og å foreslå tiltak for å redusere varmtvannsforbruk, energibruk og varmetap i varmtvannssystemer. Fokuset har vært på boligblokker, sykehjem og hoteller, det vil si bygninger med et stort behov for tappevann.

VarmtVann2030 er et KPN-prosjekt finansiert av Norges forskningsråd via ENERGIX-programmet og 10 næringslivspartnere. SINTEF og NTNU har samarbeidet med Drammen Eiendom KF, Omsorgsbygg Oslo KF, Boligbygg Oslo KF, OBOS, Olav Thon Gruppen, Armaturjonsson, Høiax, Geberit, Uponor og FM Mattsson Mora Group.

Publikasjoner og annen informasjon er tilgjengelig fra prosjektets hjemmeside: www.sintef.no/varmtvann.

Vi takker alle som har bidratt i prosjektet.

Oslo, juni 2021

Øystein Fjellheim
Forskningsleder
SINTEF Community

Åse Lekang Sørensen
Prosjektleder
SINTEF Community

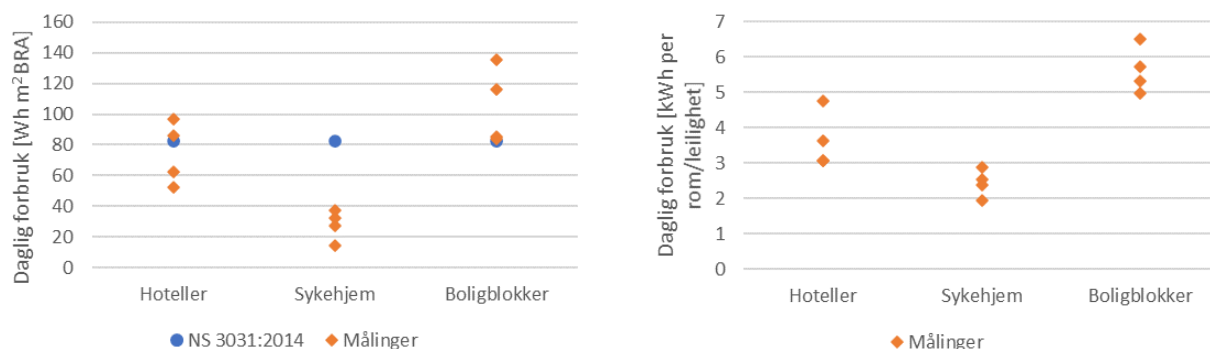


Sammendrag

Denne rapporten presenterer resultater fra prosjektet *VarmtVann2030 – Energi til tappevann i det norske lavutslippssamfunnet*, med vekt på energibruk til varmtvannproduksjon og hvordan uønsket energibruk kan minimeres.

Den overordnede målsetningen med prosjektet har vært å øke kunnskapen om det reelle varmtvannsbehovet for ulike bygningskategorier. Fokuset har vært på boligblokker, sykehjem og hoteller, det vil si bygninger med et stort behov for varmt tappevann. Prosjektet har gjennomført målinger av varmtvannsforbruk og varmetap i fire hoteller, fire sykehjem og fire boligblokker.

Målinger av netto energiforbruk til varmt tappevann (energi til tappevann som tappes ut i tappepunkter) viser store variasjoner mellom de målte byggene. Resultatene er sammenlignet med normerte verdier i SN/TS 3031:2016. For hoteller er forbruket per kvadratmeter veldig avhengig av om det er et konferansehotell eller et kompakt byhotell. For sykehjem ser vi et tydelige avvik fra de normerte verdiene. For de sykehjemmene som ble målt, var gjennomsnittlig daglig forbruk 15–45 % av det normerte forbruket i SN/TS-3031. For boligblokker var det målte forbruket noe høyere enn de normerte verdiene. Dette skyldes delvis at gjennomsnittlig leilighetsstørrelse i noen av blokkene var betydelig lavere enn landsgjennomsnittet. Måleresultatene viser også utfordringene med å bruke areal som grunnlag for normerte verdier for tappevannsforbruk. Tappevann brukes av mennesker, og parametere som antall rom og leiligheter er derfor bedre egnet.



Figurene viser daglig energiforbruk til varmt tappevann for de tre bygningskategoriene.

Reduksjon i netto energiforbruk til tappevann kan oppnås ved å redusere varmtvannsforbruk. Foruten bevissthet fra sluttbruker, kan dette i hovedsak oppnås med to metoder: vannbesparende armatur og redusert tappetap ved venting på varmtvann.

Det er dokumentert store variasjoner i varmetap fra sirkulasjonssystemer. Variasjonene skyldes i stor grad variasjon i utstrekning og at mange anlegg ikke fungerer etter hensikten fordi de ikke er innregulert. I tillegg er mange anlegg dårlig isolert. For de byggene som ser ut til å ha et normalt fungerende sirkulasjonssystem, ligger det årlige varmetapet typisk mellom 6–9 kWh/m² per år (0.7– W/m²). Dette tilsvarer typisk ca. 15–30 % av energiforbruket til varmtvann for hoteller og boligblokker og ca. 30–40 % for sykehjem. Det mest åpenbare tiltaket for å minimere varmetap fra sirkulasjonssystemer er å isolere godt. Befaring på ulike anlegg viser at det er mange anlegg som ikke er isolert i henhold til kravene i gjeldende teknisk forskrift. Ved dimensjonering og utforming av sirkulasjonsanleggene er det også viktig å tenke gjennom hva som er gunstige føringsveier. Jo færre meter rør, jo mindre varmetap. Det samme gjelder for varmesentraler. Her er det også observert mye dårlig isolering og høye varmetap. Spesielt er det brukt mye cellegummiisolasjon på varme rør. Denne typen isolasjon blir sprø og tåler mekanisk belastning dårlig.

I prosjektet har det også blitt kartlagt dekningsgrader for forvarmingssystemer (med nærvarme eller varmepumpe). Målingene viser store variasjoner, både mellom bygg og gjennom året. Både disse målingene

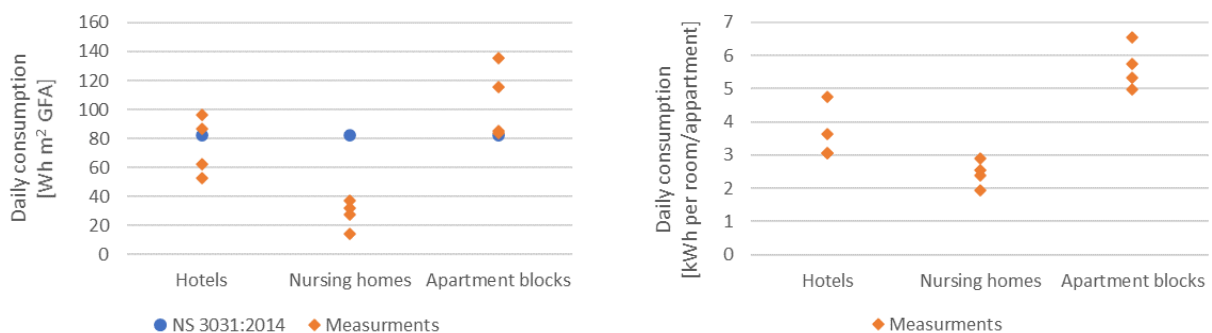
og simuleringer viser hvor viktig det er at varmesystemet optimaliseres for tappevannsproduksjon, i tillegg til oppvarmingsformål. I anlegg med varmepumper der varmepumpen er plassert samme sted som tappevannsproduksjonen, anbefales det å enten bruke vekselventil for tappevannsprioritering eller (ved store behov) en egen tappevannsvarmepumpe. Dette gjør det mulig å kombinere lave turtemperaturer for varmeanlegget, som gir høy COP, og høy dekningsgrad for varmepumpen ved tappevannsproduksjon.

Summary

This report presents results from the project *VarmtVann2030 - Energy for tap water in the Norwegian low-emission society*, with a focus on energy use for domestic hot water (DHW) production and how unwanted energy use can be minimized.

The overall objective of the project has been to increase knowledge about the real need for DHW for different building categories. The focus has been on apartment blocks, nursing homes and hotels, ie buildings with a significant need for hot tap water. Measurements of DHW consumption and heat loss have been carried out in 4 hotels, 4 nursing homes and 4 apartment blocks.

Measurements of net energy consumption for DHW (energy for tap water that is drained at tap points) show large variations between the measured buildings. The results are compared with standardized values in SN / TS 3031: 2016. For hotels, the consumption per area is very much dependent on whether it is a conference hotel or a compact city hotel. For the category of nursing homes, there is a clear deviation from the standardized values. For the nursing homes that were measured, the average daily consumption was 15-45 % of the standardized consumption in SN / TS-3031. For apartment blocks, the measured consumption was somewhat higher than the standard values. This is partly due to the fact that the average apartment size in some of the blocks was significantly lower than the national average. The measurement results also show the challenges of using area as denominator for standardized values for tap water consumption. Tap water is used by humans and therefore parameters such as the number of rooms or apartments are better suited.



The graphs show daily energy consumption for DHW in the three building categories.

Reduction in net energy consumption for tap water can be achieved by reduction in hot water consumption. In addition to awareness from the end user, this can mainly be achieved with two methods: water-saving mixers and reduced tap loss when waiting for hot water.

Large variations in heat loss from circulation systems have been documented. This is largely due to variation in extent of the system and the fact that many facilities do not function as intended because they are not balanced. In addition, many facilities are poorly insulated. For those buildings that appear to have a normally functioning circulation system, the annual heat loss is typically between 6–9 kWh / m² per year (0.7–1 W / m²). This typically corresponds to approximately 15–30 % of the energy consumption for hot water for hotels and apartment blocks and approximately 30–40 % for nursing homes. The most obvious measure to minimize heat loss from circulation systems is to insulate well. Inspection of various facilities shows that there are many facilities that are not insulated in accordance with the requirements of current technical regulations. When dimensioning and designing the circulation systems, it is also important to consider the most favourable routes. The fewer meters of pipe, the less heat loss. The same applies to heating plants. A lot of poor insulation and

high heat losses have also been observed here. In particular, a lot of elastomeric foam insulation has been used on hot pipes. Such insulation becomes brittle and withstand mechanical stress poorly.

The project has also mapped coverage rates for preheating systems (with local heating or heat pump). The results show large variations, both between construction and throughout the year. Together with simulations, the importance of optimizing the heating system for DHW production, in addition to heating purposes, has been shown. In systems with heat pumps where the heat pump is at the same location as the tap water production, it is recommended to either use a shuttle valve for tap water prioritization or (in case of high demand) a separate tap water heat pump. This makes it possible to combine low operating temperatures for the heating system, which results in a high COP, and a high degree of coverage for the heat pump during tap water production.

Innholdsfortegnelse

Forord	3
Sammendrag	4
Summary	6
1 Introduksjon	10
1.1 Bakgrunn	10
1.2 Prosjektet VarmtVann2030.....	10
1.3 Rapportens formål og omfang	10
1.4 Varmtvannssystemets oppbygning.....	11
1.5 Begreper.....	12
2 Om målingene og analysene	14
2.1 Måleoppsett for energimålinger	14
2.2 Målekampanjen	14
2.3 Temperaturkorrigering av måledata.....	16
2.4 Bruk av gjestedata.....	17
3 Energibehov til varmtvann	18
3.1 Hoteller	18
3.1.1 Detaljmålinger	18
3.2 Sykehjem.....	22
3.2.1 Detaljmålinger	22
3.2.2 Langtidsmålinger	25
3.3 Boligblokker	27
3.3.1 Detaljmålinger	27
3.3.2 Langtidsmålinger	29
4 Tiltak for å redusere forbruket av varmtvann	32
4.1 Vannbesparende armaturer	32
4.1.1 Bruk av vannbesparende armaturer.....	32
4.1.2 Måling av effekten av vannbesparende armaturer.....	32
4.1.3 Anbefalinger	33
4.2 Kortere rørstrekk og riktig dimensjonering	33
5 Varmetap i varmtvannsdistribusjon og varmesentral	35
5.1 Varmetap ved sirkulasjon av varmtvann	35
5.1.1 Sirkulasjonssystemer	35
5.1.2 Målte varmetap	35
5.1.3 Sirkulasjonsanleggets funksjon.....	37

5.2	Tiltak for å redusere varmetap i sirkulasjonskretsen.....	37
5.2.1	Minimere rørlengder	37
5.2.2	Isolering	40
5.2.3	Dimensjonering.....	41
5.2.4	Selvregulerende varmekabel	42
5.3	Varmetap i varmesentral	43
5.3.1	Varmetap fra komponenter.....	43
5.3.2	Målte varmetap	43
5.4	Tiltak for å redusere varmetap i varmesentralen	44
5.4.1	Isolering	44
5.4.2	Dimensjonering.....	45
5.4.3	Kompakte anlegg	46
6	Produksjonssystemer og dekningsgrader.....	47
6.1	Beredersystemer.....	47
6.2	Fleksibilitet i beredersystemer.....	48
6.3	Forvarmingssystemer.....	49
6.3.1	Ulike systemer	49
6.3.2	Koblingsprinsipper	49
6.3.3	Målte resultater.....	50
6.3.4	Simulering av forvarmingssystemer	51
6.4	CO ₂ -varmepumper	56
7	Dimensjonering av beredersystemer	57
7.1	Prinsipper for dimensjonering av beredersystemer	57
7.2	Typiske verdier fra litteratur	58
7.3	Resultater fra målingene.....	58
7.4	Direkteveksling.....	62
7.4.1	Direkteveksling og dimensjonering	62
7.4.2	Boligblokker	63
7.4.3	Hoteller	64
7.4.4	Sykehjem	65
8	Konklusjon	67
9	Referanser.....	68

1 Introduksjon

1.1 Bakgrunn

Et økt fokus på å redusere energibruk til romoppvarming i nyere bygninger har resultert i tettere bygg med bedre isolasjonsevne og mer effektiv varmegjenvinning. I takt med at oppvarmingsbehovet minsker, vil mengden energi til varmtvann utgjøre en større andel av den totale energibruken i nyere bygg.

Overdimensjonerte varmtvannssystemer fører til et økt energibruk, både på grunn av ineffektiv drift og som et resultat av større areal for varmetap. Byggteknisk forskrift (TEK17) [1] stiller en rekke krav til innvendige vanninstallasjoner. Energieffektive systemer for å produsere og distribuere varmtvann skal også ivareta drikkevannskvaliteten og virke etter hensikten. Utforming, dimensjonering og drift av varmtvannssystemer er derfor viktig.

1.2 Prosjektet VarmtVann2030

Forskningsprosjektet *VarmtVann2030 – Energi til tappevann i det norske lavutslippssamfunnet* har vart i fire år, fra 2017 til 2021. Målet med *VarmtVann2030* er å komme frem til mer energieffektive og miljøvennlige løsninger for bruk av tappevann i ulike bygningstyper, gjennom bedre forståelse av varmtvannsbehovet. Prosjektet vil gi grunnlag for nye muligheter i VVS-bransjen og blant byggherrer, og det vil bedre grunnlaget for forvaltnings- og standardiseringsarbeid.

Prosjektet konsentrerer seg om sykehjem, hoteller og boligbygg, siden dette er bygg med et stort behov for varmtvann. Prosjektet har gjennomført detaljerte målinger i fire hoteller, fire leilighetsbygg og fire sykehjem, samt analysert tilgjengelige målinger fra byggenes energioppfølgingssystem (EOS). Prosjektet har også gjennomført målinger i lab, med vekt på varmetap i varmtvannssystemet. I tillegg er det gjort sluttbrukermålinger i et hotell, for å få økt kunnskap om energibruk og samtidighet ved dusjing.

SINTEF og NTNU samarbeider i *VarmtVann2030* med fem byggeiere: Drammen Eiendom KF, Omsorgsbygg Oslo KF, Olav Thon Gruppen, OBOS og Boligbygg Oslo KF, og fem produktleverandører: Armaturjonsson, Høiax, Geberit, Uponor og FM Mattsson Mora Group. Prosjektet finansieres av programmet ENERGIX hos Forskningsrådet og næringslivspartnerne.

Publikasjoner og annen informasjon er tilgjengelig fra prosjektets hjemmeside www.sintef.no/varmtvann.

1.3 Rapportens formål og omfang

Denne rapporten inneholder resultater fra detaljerte feltmålinger (1–4 mnd.) i tolv bygninger og timesmålinger fra byggherrer. Den fokuserer på levert energi, varmetap og energibehov til varmt tappevann for hoteller, sykehjem og boligblokker, og går gjennom følgende temaer:

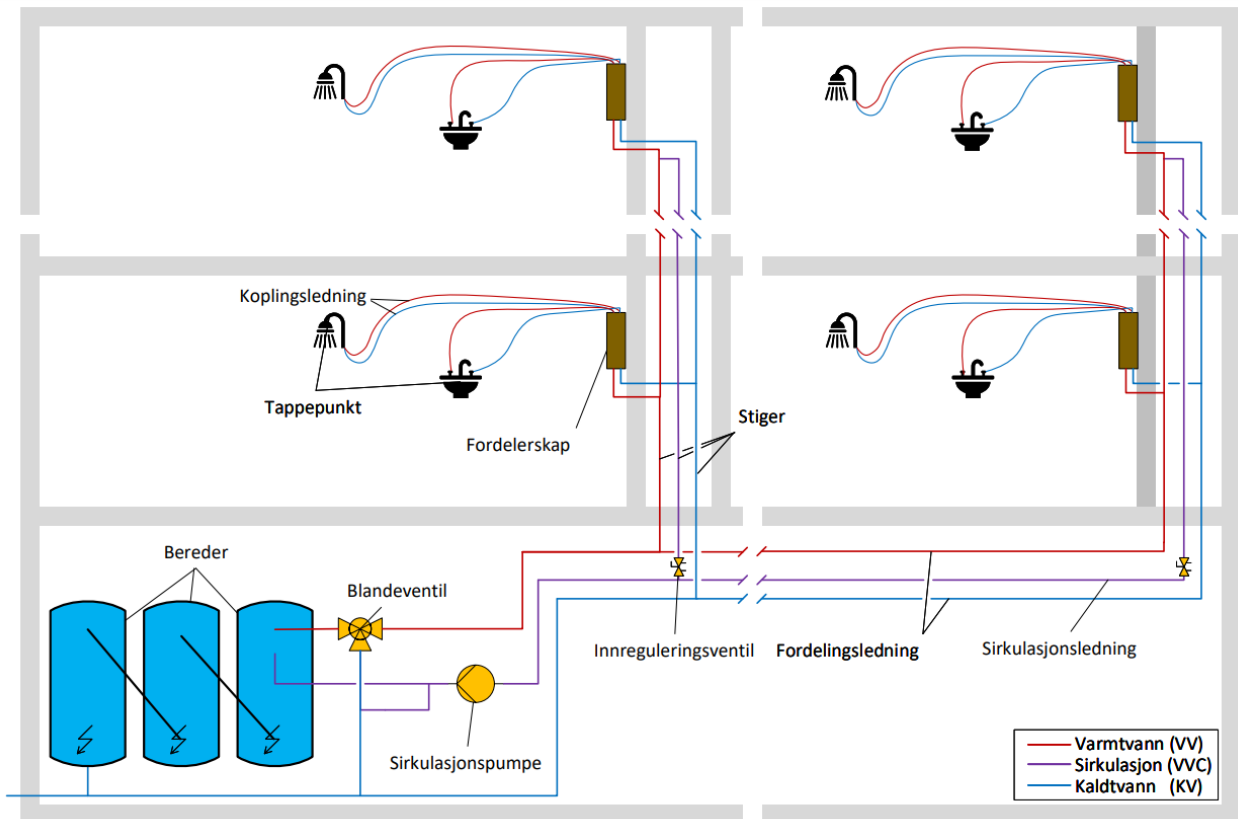
- Netto energibehov til varmtvann per time, per døgn og per år, fordelt på oppvarmet areal og bruksrelaterte enheter som antall leiligheter, hotellrom og beboerrom
- Sammenligning med verdier i SN/NSPEK3031:2020, SN/TS 3031:2016 og NS 3031:2014
- Varmetap fordelt på varmesentral og distribusjonsnett
- Forslag til tiltak for å redusere vannforbruk og varmetap
- Undersøkelse av dekningsgrad og virkningsgrad for ulike forvarmingsløsninger
- Sammenligning av måleresultater med typiske normtall og dimensjoneringsprinsipper for produksjonssystemer for varmt tappevann.

1.4 Varmtvannssystemets oppbygning

For småhus (eneboliger, rekkehus) og mindre boligblokker er det vanlig at hver boenhet har sin egen varmtvannsbereder for produksjon av varmt tappevann. Større boligblokker, nærings- og publikumsbygninger har derimot ofte sentral varmtvannsproduksjon. Forenklet sett kan slike fellesanlegg deles inn i tre hovedelementer: varmesentral med oppvarmingskilde, distribusjonssystem og tappesteder. Oppvarming av tappevann til ønsket distribusjonstemperatur kan gjøres med mange ulike kilder, som for eksempel elektrisitet, varmepumpe, solvarmeanlegg, biobrensel eller fjernvarme. Med unntak av tilkobling til fjernvarme, er det vanlig å benytte akkumulatortanker eller beredere for lagring av varmt tappevann. Dette reduserer behovet for installert effekt.

Fra varmesentralen distribueres varmt tappevann ut i bygget gjennom distribusjonssystemet. Dette systemet kan være bygd opp på forskjellige måter, avhengig av størrelse på bygget og plassering av tappesteder i forhold til varmesentralen. Figur 1-1 viser et eksempel på oppbygning av tappevannssystem i bygninger med fellesanlegg og betegnelser på delstrekninger i distribusjonssystemet. Varmtvann fra beredere i varmesentralen blir distribuert videre gjennom horisontal fordelingsledning i kjeller og deretter oppover i etasjene gjennom vertikale stigeledninger. For å korte ned på ventetiden på varmtvann og redusere risiko for bakterievekst, er sirkulasjonsledning et vanlig tiltak i større anlegg. Et sirkulasjonssystem sikrer at varmtvann sirkulerer i fordelingsnettets også i perioder uten tapping. Sirkulasjonsvannet drives rundt i anlegget med en sirkulasjonspumpe. Varmetap i rørsystemet vil føre til at vannet kommer tilbake med en lavere temperatur. Varmekilden må da løfte vanntemperaturen opp til ønsket nivå, før den kan sendes ut i distribusjonssystemet igjen.

I nyere bygg ender ofte fordelingsledningen i et fordelskap dersom anlegget bygges skjult. Fra en fordelerstokk plassert inne i skapet distribueres vannet ut til hvert enkelt tappested via en koblingsledning. Det er vanlig å bruke rør-i-rør-systemer av hensyn til kravet om at vanninstallasjoner skal være utskiftbare og utføres slik at lekkasjer enkelt skal kunne oppdages og ikke føre skade på andre installasjoner eller bygningsdeler.



Figur 1-1: Oversiktstegning som viser oppbygning av tappevannssystem i bygninger med fellesanlegg, med tilhørende komponenter

1.5 Begreper

Akkumulatortank

Tank for lagring av varmt tappevann

Bereder

Akkumulatortank med elektrisk varmekolbe for oppvarming og lagring av varmt tappevann

Blandeventil

Ventil som blander varmt tappevann fra akkumulator/bereder med kaldt vann ned til ønsket temperatur ut på fordelingsnettet

Distribusjonssystem for varmt tappevann

Hele systemet for transport av varmt tappevann frem til tappepunkter, inkludert fordelingsledning, koblingsledning og sirkulasjonsledning

Fordelerskap

Skap der fordelingsledninger kommer inn og forgrenes til hvert tappepunkt via koblingsledninger. Benyttes normalt i kombinasjon med skulte anlegg og rør-i-rør installasjoner

Fordelingsledning

Rørledning i bygningen som fører vann til mer enn ett tappested/vannuttak

Innreguleringsventil

Ventil som brukes for å innregulere sirkulasjonsanlegget og sikre at det går angitt vannmengde i alle deler av anlegget

Koblingsledning

Rørledning som forbinder vannuttak med fordelingsrør. En koblingsledning fører vann til ett tappested/vannuttak

Sirkulasjonsledning

Rørledning som fører varmtvann tilbake til varmesentralen

Sirkulasjonspumpe

Pumpe for å suge varmt vann tilbake til varmesentralen

Sirkulasjonssystem

Rørnett, ventiler og pumper for å sikre at det sirkulerer varmt vann i hele fordelingsnett. Dette skal sikre kortere ventetid og redusere faren for bakterievekst

Sirkulasjonstap

Varmetap fra den delen av distribusjonssystemet der det sirkulerer varmt tappevann. Dette tapet er det som kan måles ved å måle temperaturdifferansen mellom utgående varmtvann og det som returnerer via sirkulasjonssystemet

Stigeledning

Vertikal fordelingsledning (ofte ført i sjakter)

Tappested

Sted for uttak av vann, f.eks. dusj, servant, eller kjøkkenkran

Tappetap

Varmetap fra koblingsledninger og de deler av fordelingsnett der det ikke er kontinuerlig sirkulasjon. Dette fører til ventetid på varmt vann og økt vannforbruk. Tapet er ikke direkte målbart

Tappevannsvarmevexler

Varmevexler der forbruksvann varmes opp av en annen vannbåren kilde. Ofte kan dette være fjernvarme eller et nærvarmesystem.

Varmekabel

Varmekabel som installeres utenpå fordelingsrørene, som et alternativ til sirkulasjonsanlegg. Normalt brukes selvregulerende varmekabler som tilpasser effekten etter omgivelsestemperaturen.

2 Om målingene og analysene

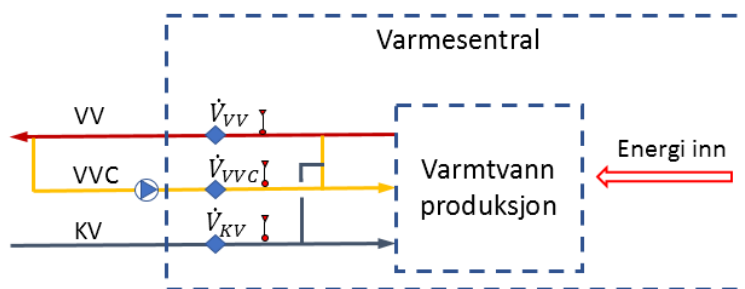
2.1 Måleoppsett for energimålinger

I *VarmtVann2030* analyseres målinger fra prosjektets egne målinger (målekampanjen) samt tilgjengelige EOS-målinger. Dette kapittelet beskriver måleoppsettet og måleutstyr for prosjektets målekampanje. En forutsetning var at målinger skulle kunne gjennomføres uten behov for driftsstans. Alt måleutstyr er derfor valgt for å kunne monteres utvendig på rør. Måleutstyret er montert i varmesentralen til byggene.

For måling av vannmengde er det brukt "clamp-on" vannmengdemålere med ultralyd fra Flexim [2]. De valgte vannmengdemålerne er relativt kostbare. Det ble gjort tester i laboratoriet av ulike typer og denne typen ble valgt på grunn av nøyaktigheten også for korte tidsintervaller. Nøyaktighet var viktig for å få gode målinger av maksimal vannmengde til bruk i dimensjoneringsanalysene. Dersom målingen kun skulle vært brukt til energimåling med lavere tidsoppløsning (for eksempel en time), kunne rimeligere alternativer vært benyttet. Hovedutfordringen med måling av vannmengde er at det ikke er mulig å kalibrere måleutstyret i felt. Dette fører til noe økt usikkerhet i målingene, som ikke er kvantifiserbar.

For måling av temperatur ble det benyttet type-T termoelementer [3]. Disse teipes fast til utsiden av rørene. Så lenge det isoleres godt rundt rør og termoelement i etterkant, er avviket mellom temperatur i vannet og målt temperatur ubetydelig. Det er likevel en utfordring å få nøyaktige målinger av varmetap i sirkulasjonskretser med lite temperaturtap. Jo mindre temperaturtap i sirkulasjonen, jo større blir usikkerheten i målingene av varmetapet.

Målerne ble plassert slik at det var mulig å måle energi til det tappede varmtvannet og varmetap i sirkulasjonen. Der det var mulig, ble også energi levert inn i systemet logget, slik at det var mulig å beregne varmetap i sentralen. Figur 2-1 viser prinsipiell plassering av målerne. I mange tilfeller måtte målerne plasseres noe annerledes på grunn av plassbehov. De fleste byggene i målekampanjen har sirkulasjonssystem, mens i enkelte bygg var det heller brukt varmekabler utenpå rørene.



Figur 2-1: Prinsipiell plassering av målerne. KV er kaldtvann til varmesentralen, VV er varmtvann ut til bygget, og VVC er varmtvann til sirkulasjonskretsen. \dot{V}_{VV} , \dot{V}_{VVC} og \dot{V}_{KV} er målt vannmengde i de tre kretsene.

2.2 Målekampanjen

I prosjektet er det gjennomført detaljerte målinger i fire varmesentraler i hver av de tre bygningskategoriene (hoteller, sykehjem og boligblokker). Tabell 2-1 gir en oversikt over de målte byggene og viktige parametere for målingene.

Tabell 2-1: Oversikt over bygg der det ble gjennomført detaljmålinger og viktige parametere

Hoteller	Areal [m ²]	# Rom/ leiligheter	Varmekilde	Distribusjonssystem	Akkumulering	Måleperiode
HO1	21 278	434	Fjernvarme (1300 kW)	Sirkulasjon	Ingen	April–mai 2018
HO2	24 500	355	Fjernvarme (450 kW) + akkumulering	Sirkulasjon	6 x 1000 liter	Aug.–sept. 2018
HO3	4 934	165	Varmtvannsberedere	Sirkulasjon	8 x 600 liter	Aug.–sept. 2018
HO4	7 440	151	Fjernvarme (300 kW)	Sirkulasjon	Ingen	Mars–aug. 2019
Sykehjem						
NH1	11 618	148	Varmeanlegg + varmtvannsberedere	Sirkulasjon	1 x 400 liter + 5 x 400 liter (15 kW)	Jan.–feb. 2018
NH2	3 327	52	Varmtvannsberedere	Varmekabel	3 x 550 liter (25 kW)	Mai–juni 2018
NH3	6 774	50	Nærvarme + varmtvannsberedere	Sirkulasjon	3 x 380 liter (15 kW)	Mai–juni 2018
NH4	10 081	96	Varmepumpe + varmtvannsberedere	Sirkulasjon	3 x 550 liter + 3 x 550 liter (15kW)	Jan.–mars 2019
Boligblokker						
AB1	4 400	96	Varmepumpe + varmtvannsberedere	Sirkulasjon	4 x 400 liter + 2 x 400 liter (28kW)	Okt.–nov. 2018
AB2	2 700	56	Varmtvannsberedere	Sirkulasjon	3 x 550 liter	Okt.–nov. 2018
AB3	3 752	56	Varmepumpe + varmtvannsberedere	Sirkulasjon	4 x 400 liter + 3 x 400 liter (14 kW)	Jan.–mars 2019
AB4	5 100	86	Varmepumpe + varmtvannsberedere	Sirkulasjon	3 x 1000 liter + 3 x 550 liter (15 kW)	Mars–aug. 2019

2.3 Temperaturkorrigering av måledata

Målingene er utført på ulike tider av året, noe som gir ulik temperatur på det inngående kaldtvannet. Lav kaldtvannstemperatur øker energibruken til varmtvann både direkte, ved at temperaturen må løftes fra et lavere utgangspunkt, men også indirekte ved at forbruket øker når varmtvannet blandes med en lavere temperatur i blandeventilen. I tillegg varierer temperaturen på utgående varmtvann fra varmesentralen mellom anleggene og gjennom måleperioden på hvert anlegg. Dette påvirker i utgangspunktet ikke energibruken, men det påvirker målt mengde varmtvann. Gitt at vannmengde og temperatur ut fra tappested er lik, vil høyere temperatur ut fra sentralen gi lavere vannmengde fordi mer kaldtvann blandes inn på tappestedet. På bakgrunn av dette, så normaliseres målte vannmengder og energimengder til et standard temperatursett, satt til 60 °C på varmtvannet og 10 °C kaldtvannet (60/10). Følgende formler benyttes:

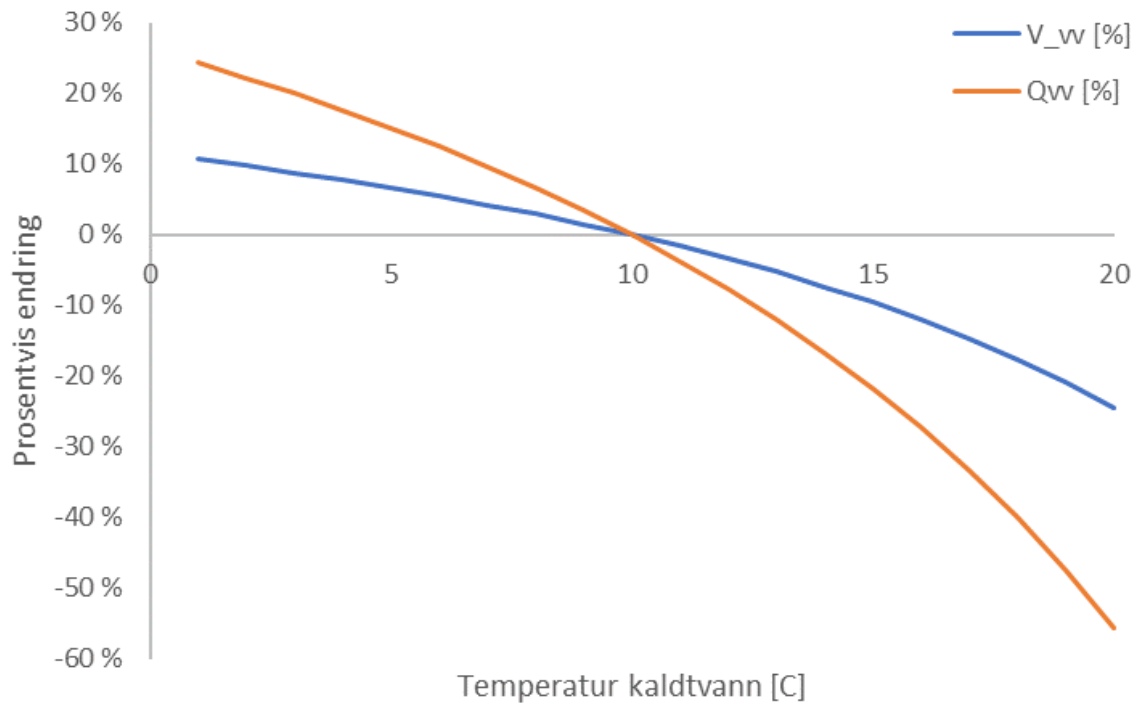
$$\dot{V}_{6010} = \dot{V}_{vv} \times \frac{(T_{vvt} - T_{kv})}{(T_{tap} - T_{kv})} \times (T_{tap} - 10)$$

$$T_{vvt} = T_{vv} - \left(\frac{T_{vv} - T_{vvc}}{4} \right)$$

$$\dot{Q}_{6010} = \dot{Q}_{vv} \times \frac{(T_{tap} - 10)}{(T_{tap} - T_{kv})}$$

\dot{V}_{6010} og \dot{Q}_{6010} er normalisert vannmengde og energi, \dot{V}_{vv} og \dot{Q}_{vv} er målt vannmengde og energi, T_{vv} , T_{kv} og T_{vvc} er målt temperatur på henholdsvis varmt og kalt vann og i returnert sirkulasjonsvann. T_{vvt} er estimert varmtvannstemperatur ved tappestedet og T_{tap} er antatt gjennomsnittlig temperatur ut av tappestedene (satt til 38 °C).

Figur 2-2 viser hvordan både mengden varmtvann og energiforbruket endrer seg ved endret kaldtvannstemperatur. Det er tatt utgangspunkt i varmtvannstemperatur på 60 °C og kaldtvannstemperatur på 10 °C.



Figur 2-2: Sammenheng mellom vannmengde og energibruk og kaldtvannstemperatur

2.4 Bruk av gjestedata

For hoteller er en del av resultatene som er vist i denne rapporten, omregnet til forbruk per gjestedøgn eller antall belagte rom. Informasjonen om gjestedøgn og antall belagte rom er basert på mottatt informasjon fra hotellenes bookingsystemer. Utfordringen ligger i at det registreres antall gjester hvert døgn, og ikke når de faktisk kommer og når de drar. I resultatene som er vist i denne rapporten, er det antatt at alle gjester ankommer kl. 12.00 og drar kl. 12.00 dagen etter.

3 Energibehov til varmtvann

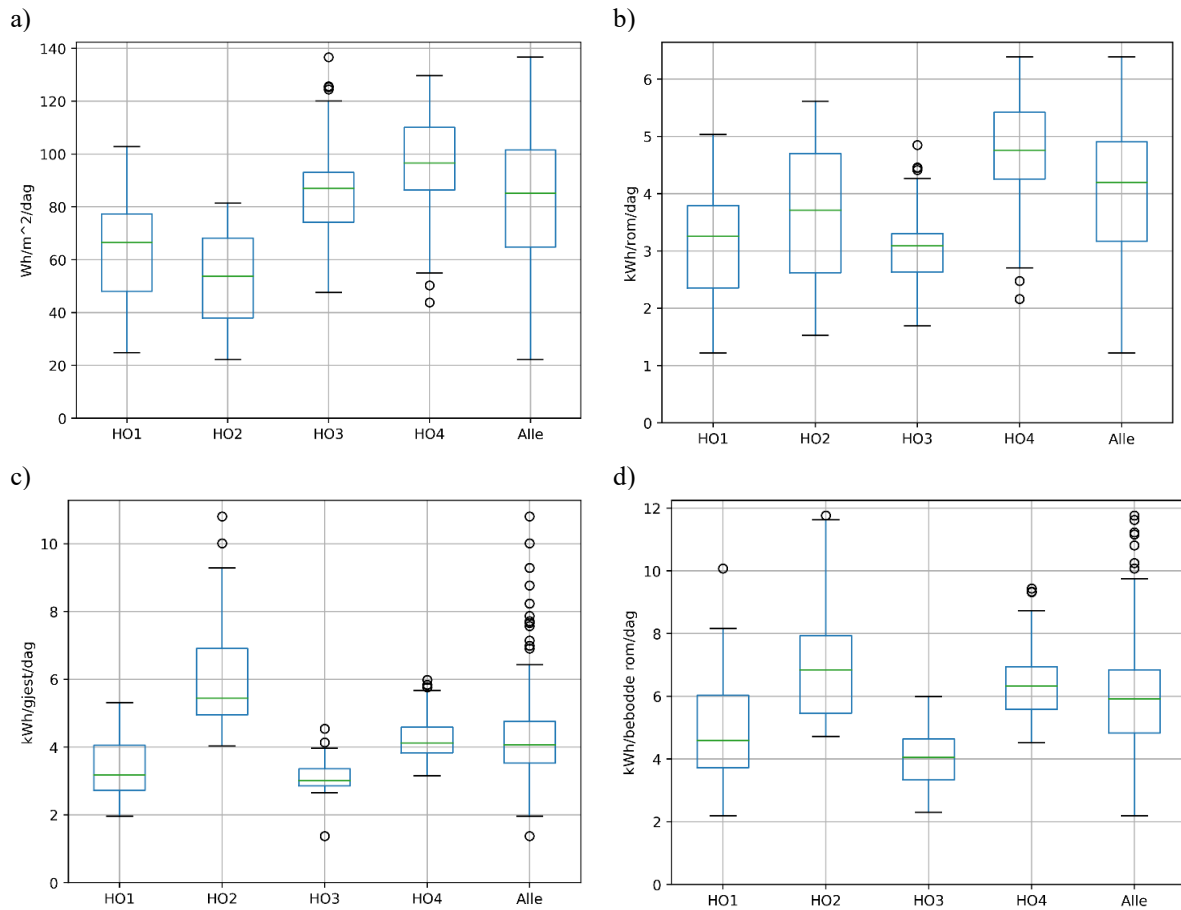
Dette kapitlet presenterer resultater fra detaljmålingene og langtidsmålingene av energiforbruk i de tre bygningskategoriene. Med energibehov til varmtvann menes energibehovet for oppvarming av det vannet som tappes ut i kranen. Det vil si at påvist energiforbruk er eksklusive (målbart) varmetap i distribusjon og bereder. I tillegg til det vannet som brukes direkte, inkluderer målingene energi til oppvarming av det vannet som må tappes ut i kranen ved påvente av varmt vann (tappetapet i ventetiden).

3.1 Hoteller

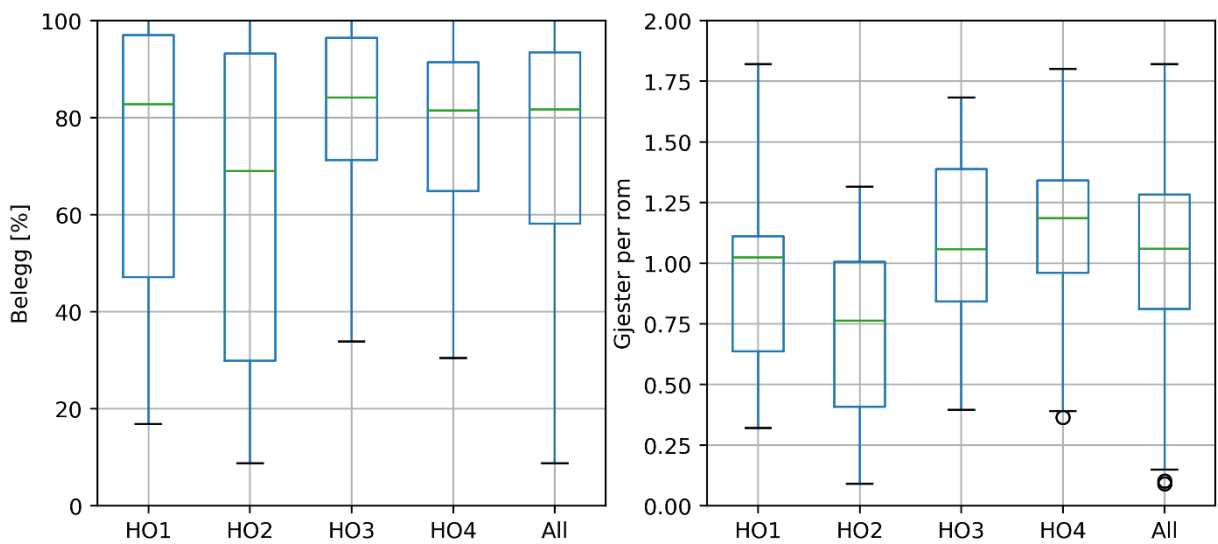
3.1.1 Detaljmålinger

Figur 3-1 a–d viser resultater fra detaljmålinger av daglig energiforbruk i de fire hotellene. Figuren viser daglig energiforbruk per henholdsvis kvadratmeter, gjesterom, gjest og belagte gjesterom. Per kvadratmeter er det store forskjeller i energibruken både mellom byggene og internt i byggene. Det er stor forskjell i antall hotellrom per bruksareal for de ulike hotellene (se Tabell 2-1). HO1 og HO2 er konferansehoteller med store arealer uten gjesterom og med begrenset vannforbruk. Per tilgjengelige rom er også variasjonen i energiforbruk stor, og dette kan delvis forklares med forskjell i belegg.

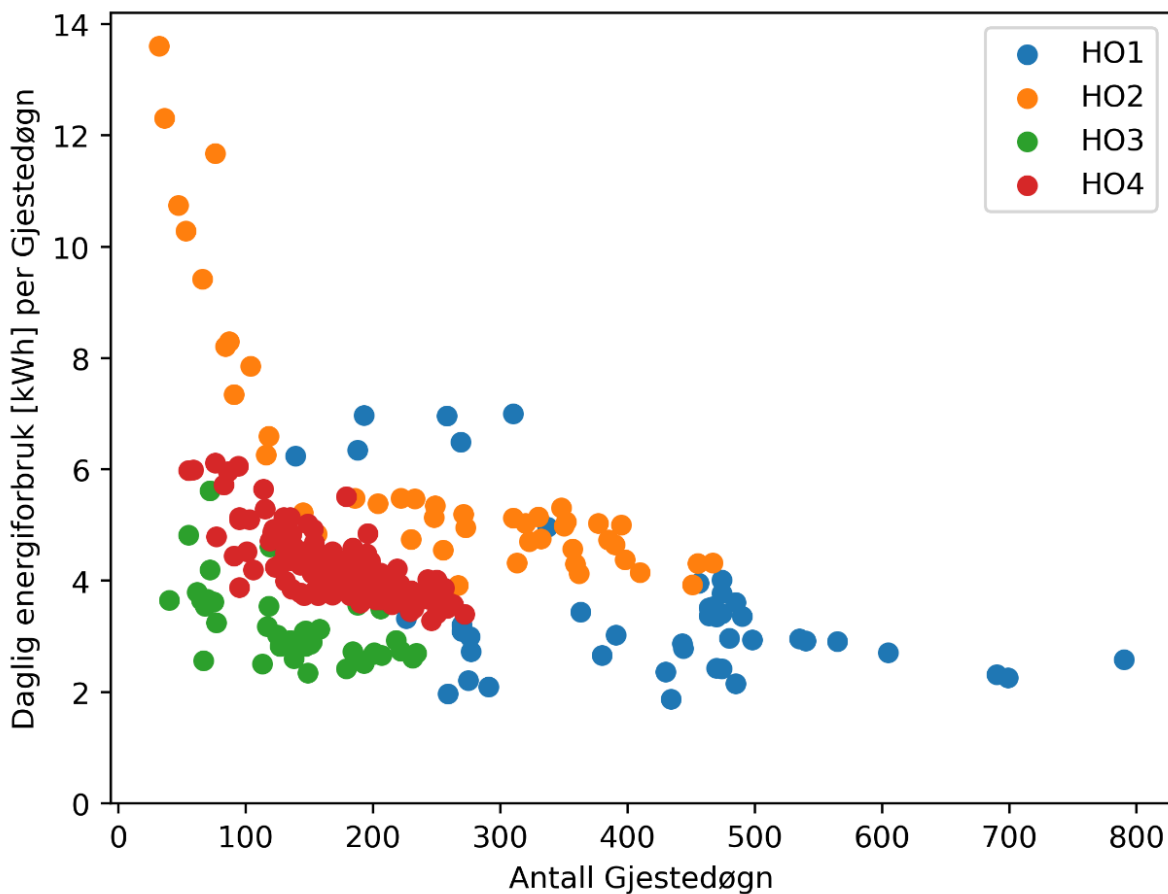
Figur 3-2 viser belegg og antall gjester per tilgjengelige rom i måleperioden for hvert hotell. HO2 har noe færre besøkende i måleperioden og også størst variasjon i energiforbruk. Ser man på forbruk per gjest (Figur 3-1c), så er resultatet mer samlet, men spesielt HO2 har usymmetrisk fordeling rundt medianen. Dette er forklart bedre av Figur 3-3. Der ser man at forbruk per gjest øker når antall gjester synker, siden det vanligvis er et basisbehov som fordeles på antall gjester (vasking av fellesarealer, matlaging osv.). Dette er det viktig å ta hensyn til når man skal dimensjonere varmtvannsrør i hoteller, slik at ikke forbruket blir kraftig overestimert.



Figur 3-1: Daglig energiforbruk i hoteller per
a) kvadratmeter
b) gjesterom
c) gjest
d) belagte gjesterom

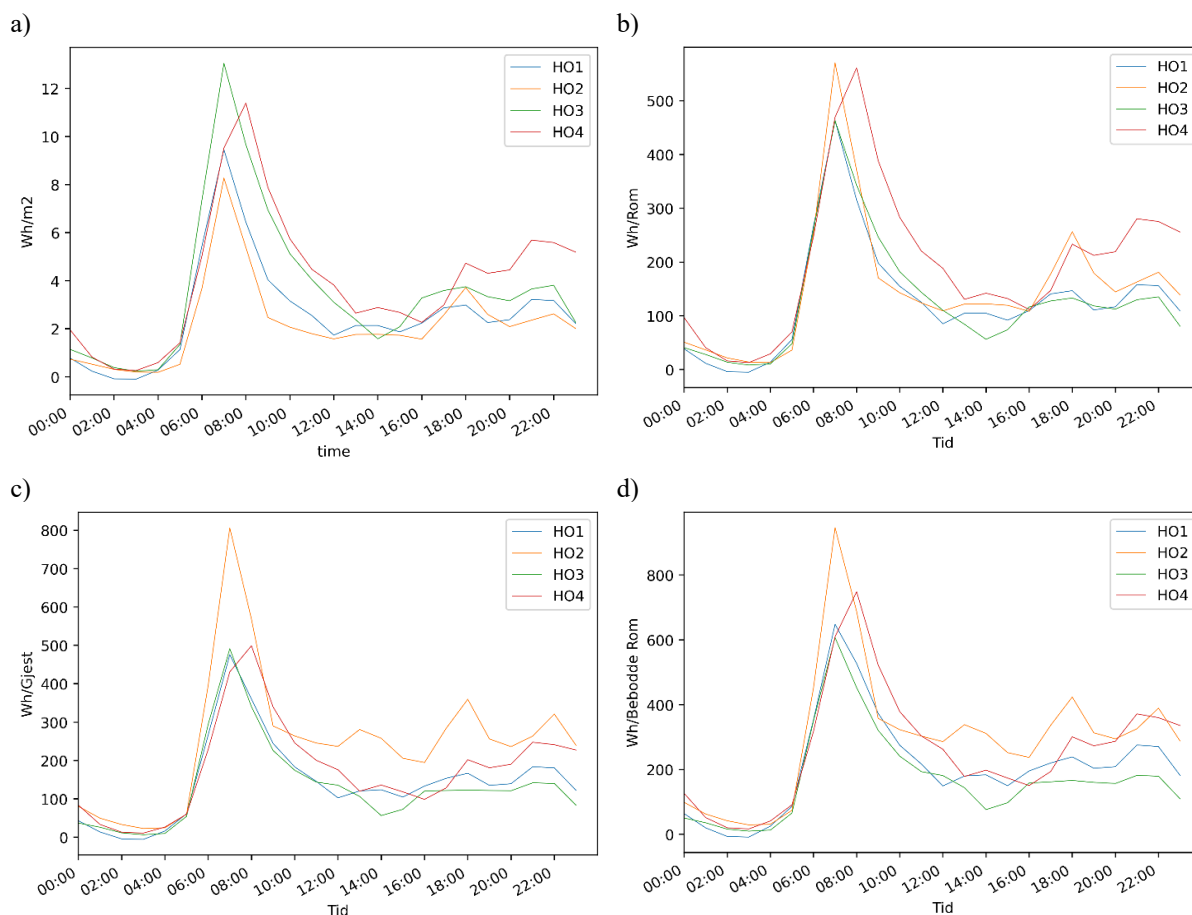


Figur 3-2: Belegg og antall gjester per rom i måleperioden



Figur 3-3: Daglig energibruk per gjest mot antall gjester

Figur 3-4 viser gjennomsnittlig forbruksprofiler for energibehov per time fordelt på henholdsvis kvadratmeter, tilgjengelige rom, antall gjestedøgn og antall bebodde rom. Profilene er ganske sammenfallende. HO4 har et høyere forbruk på kveldstid, som trolig er knyttet til restaurantdrift. HO4 har også noe lengre varighet på forbrukstoppen. Dette kan skyldes at målingene ble gjennomført over en lengre periode der besøket har en jevnere fordeling mellom feriegjester og forretningsreisende.



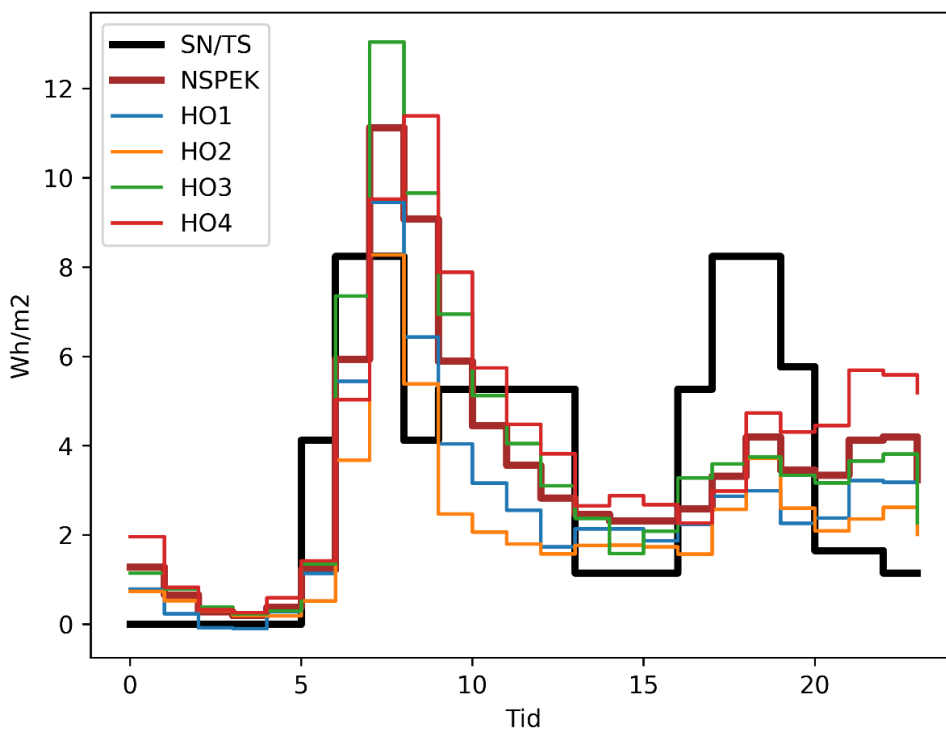
Figur 3-4: Gjennomsnittlige forbruksprofiler for energibehov til varmtvann i hoteller, per
a) kvadratmeter
b) tilgjengelige rom
c) gjestedøgn
d) bebodde rom

Tabell 3-1 sammenligner daglig energiforbruk til tappevann fra SN/TS 3031:2016 med de målte hotellbyggene. Tabellen viser energibehov til varmtvann, eksklusive varmetap. Det er stor variasjon i energibehov mellom de ulike byggene, men de varierer rundt verdien fra standarden. Døgnverdien i SN/TS 3031:2016 er den samme som i NS 3031:2014, som er gjeldene for beregning av bygningers energiytelse opp mot gjeldende tekniske forskrift (TEK17). Tabellen sammenligner også verdier for årlig forbruk. Dette forutsetter at gjennomsnittlig forbruk i måleperioden er representativt for årlig forbruk.

Figur 3-5 viser en sammenligning mellom måledataene og profilene i henholdsvis SN/TS 3031:2016 og NSPEK 3031:2020. Profilene i NSPEK 3031 ble endret fra de originale profilene i SN/TS 3031, basert på måleresultatene fra prosjektet *VarmtVann2030*. Gjennomsnittlig daglig forbruk er ikke endret.

Tabell 3-1: Sammenligning av daglig energiforbruk fra SN/TS 3031:2016 og de målte byggene

	Daglig forbruk		Årlig forbruk (omregnet)	
	[Wh/m ² per døgn]	[Wh/gjesterom per døgn]	[kWh/m ² per år]	[kWh/gjesterom per år]
SN/TS 3031:2016	82	-	30	-
HO1	63 (76 %)	3069	23	1120
HO2	53 (64 %)	3627	19	1324
HO3	86 (105 %)	3067	32	1120
HO4	97 (117 %)	4764	35	1739

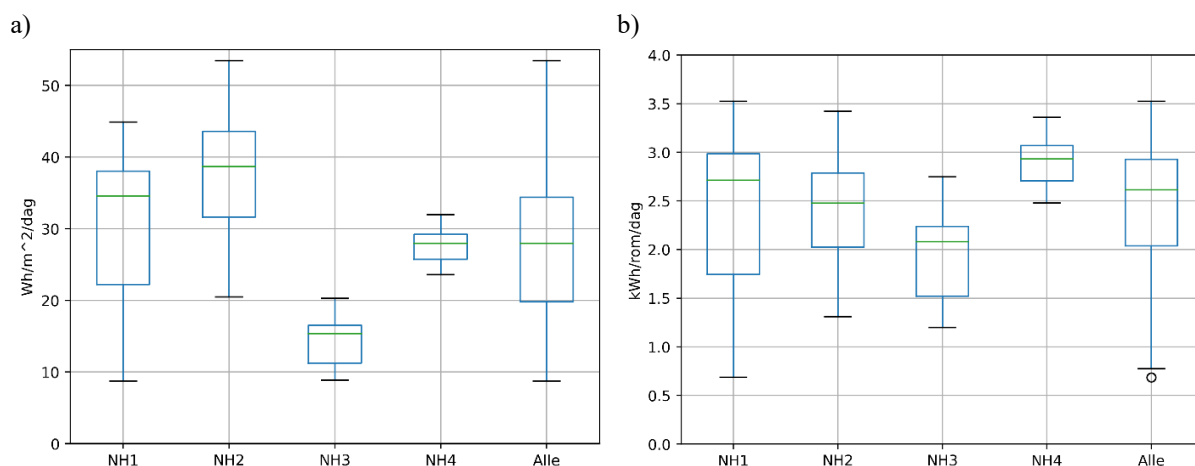


Figur 3-5: Sammenligning mellom måledata og SN/TS 3031:2016 og NSPEK 3031:2020

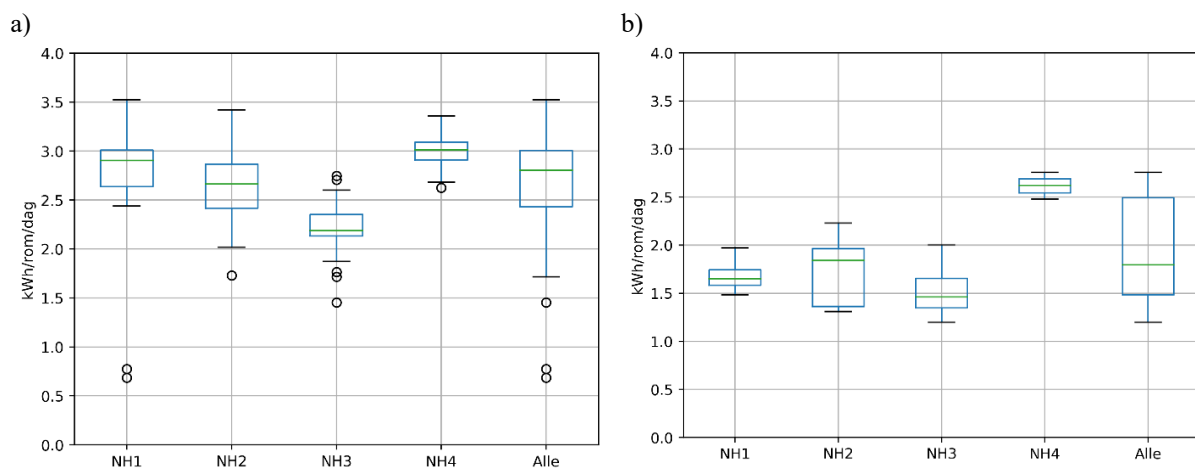
3.2 Sykehjem

3.2.1 Detaljmålinger

Figur 3-6 viser resultater fra detaljmålinger av daglig energiforbruk i fire sykehjem. Figurene viser daglig energiforbruk til varmtvann per a) kvadratmeter og b) sengerom. Per kvadratmeter er det store forskjeller i energibruken mellom byggene. Det er stor forskjell i antall sengerom per kvadratmeter for de ulike sykehjemmene. NH1 og NH4 er kompakte sykehjem med høyt antall rom per BRA, mens spesielt NH2 har veldig stort areal i forhold til antall sengerom. Forskjellen er betydelig mindre når man ser på forbruk per sengerom. Det er også betydelig variasjon mellom ulike dager på sykehjemmene, som trolig skyldes ulike rutiner for vask og matproduksjon på ulike ukedager. Det er spesielt tydelige forskjeller mellom hverdager og helg. Dette er vist i Figur 3-7 hvor daglig energiforbruk per sengerom (Figur 3-6 b) er delt i ukedager (a) og helger (b). NH4 har noe mindre variasjon mellom ukedager enn de andre, som trolig skyldes at dette er et helsehus, med større grad av korttidsopphold og dermed mindre forskjell i daglige rutiner.

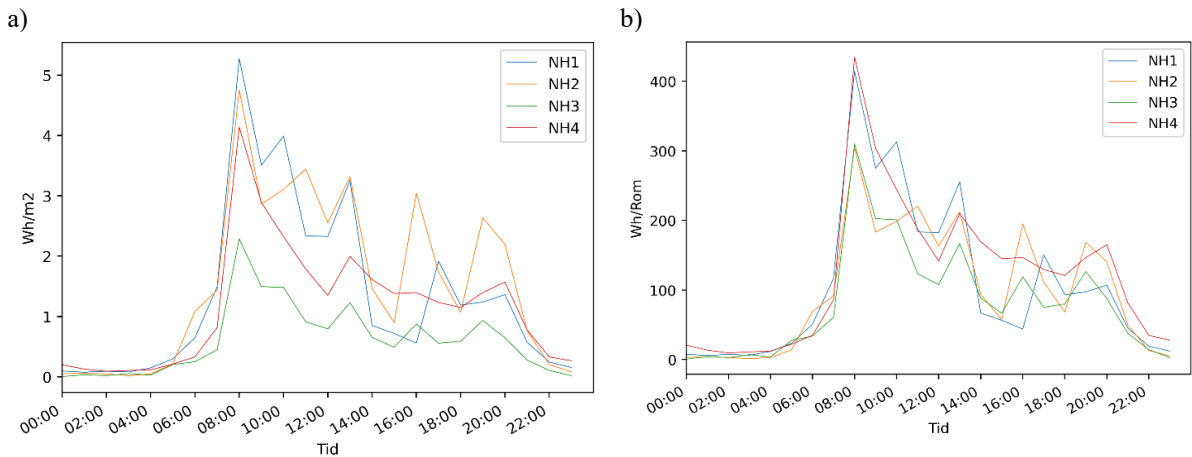


Figur 3-6: Daglig energiforbruk på sykehjem per
a) kvadratmeter
b) sengerom



Figur 3-7: Daglig energiforbruk per sengerom på sykehjem for
a) ukedager
b) helgedager (lørdag og søndag)

Figur 3-8 viser gjennomsnittlige forbruksprofiler per time per henholdsvis kvadratmeter og sengerom. Profilene er ganske sammenfallende, med en forbrukstopp om morgenen og mindre topper utover dagen, som er knyttet til måltider eller andre rutiner.



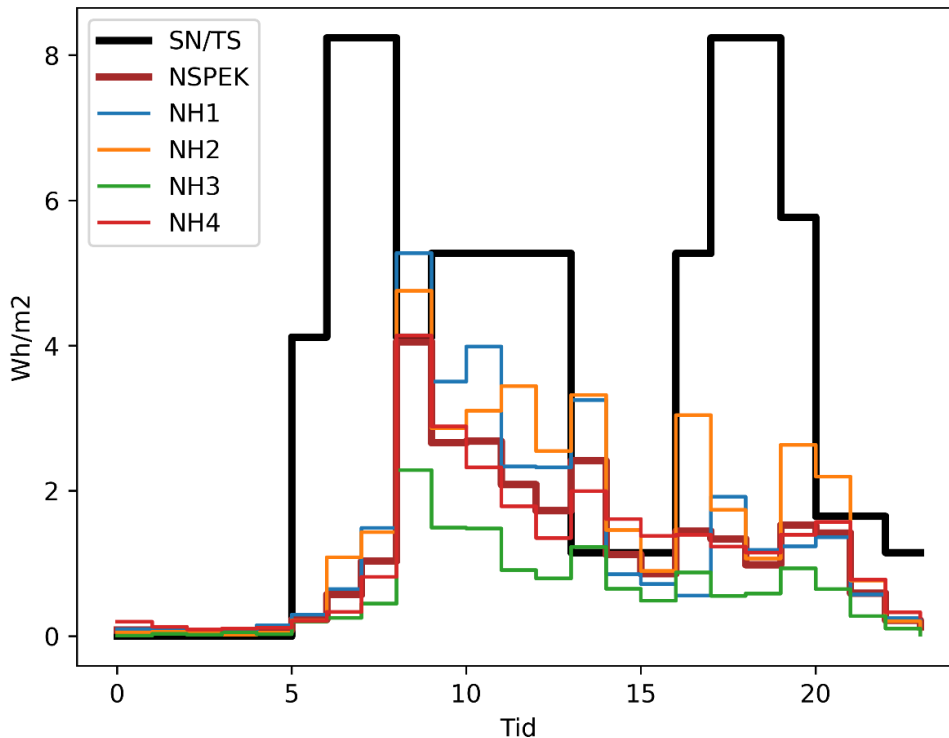
Figur 3-8: Gjennomsnittlige forbruksprofiler for energibehov til varmtvann i sykehjem per
a) kvadratmeter
b) sengerom

Tabell 3-2 sammenligner daglig energiforbruk til tappevann fra SN/TS 3031:2016 med de målte byggene. Tabellen viser energibehov til varmtvann, eksklusiv varmetap. Man kan se at alle byggene har betydelig lavere forbruk enn standarden. Døgnverdien i SN/TS 3031:2016 er den samme som i NS 3031:2014, som er gjeldene for beregning av bygningers energiytelse opp mot gjeldende tekniske forskrift (TEK17). I NSPEK 3031 er dette endret fra 82.37 Wh/m² til 27.46 Wh/m². I alle tre dokumenter (SN/TS, NS og NSPEK) er det en utfordring at forbruket er knyttet til areal i stedet for antall brukere eller bruksenheter (gjesterom/beboerrom/leiligheter), som har en bedre korrelasjon med vannforbruket. Tabellen sammenligner også verdier for årlig forbruk. Dette forutsetter at gjennomsnittlig forbruk i måleperioden er representativt for årlig forbruk.

Figur 3-9 viser en sammenligning mellom måledataene og profilene i henholdsvis SN/TS 3031:2016 og NSPEK 3031:2020. Profilene i NSPEK 3031:2020 ble endret fra de originale profilene i SN/TS 3031:2016, basert på måleresultatene fra prosjektet *VarmtVann2030*.

Tabell 3-2: Sammenligning av døgnforbruk fra SN/TS 3031:2016 med de målte byggene

	Daglig forbruk		Årlig forbruk (omregnet)	
	[Wh/m ² per døgn]	[Wh/sengerom per døgn]	[kWh/m ² per år]	[kWh/sengerom per år]
SN/TS 3031:2016	82	-	30	-
NH1	32 (39 %)	2543	12	928
NH2	37 (45 %)	2374	14	866
NH3	14 (17 %)	1951	5	712
NH4	28 (33 %)	2898	10	1058



Figur 3-9: Sammenligning mellom måledata og SN/TS og NSPEK 3031

3.2.2 Langtidsmålinger

Tidlig i prosjektet *VarmtVann2030* ble det montert egne energimålere på tappevannsanleggene i de syv sykehjemmene til Drammen Eiendom. De fleste målerne var på plass i starten av 2018. Loggerne leverer data med timesoppløsning til EOS-anlegget. To av byggene er de samme som det er blitt gjennomført detaljmålinger på. B2 tilsvarer NH2 og B7 tilsvarer NH3.

Anleggene har veldig ulik utforming, og dermed er det også forskjell i hvilke parametere som er målt.

For tre av byggene er det målt energi som tilføres varmtvannet (Q_{vv}). Disse er sammenlignbare med tallene fra detaljmålingene presentert over, da de ikke inkluderer varmetap.

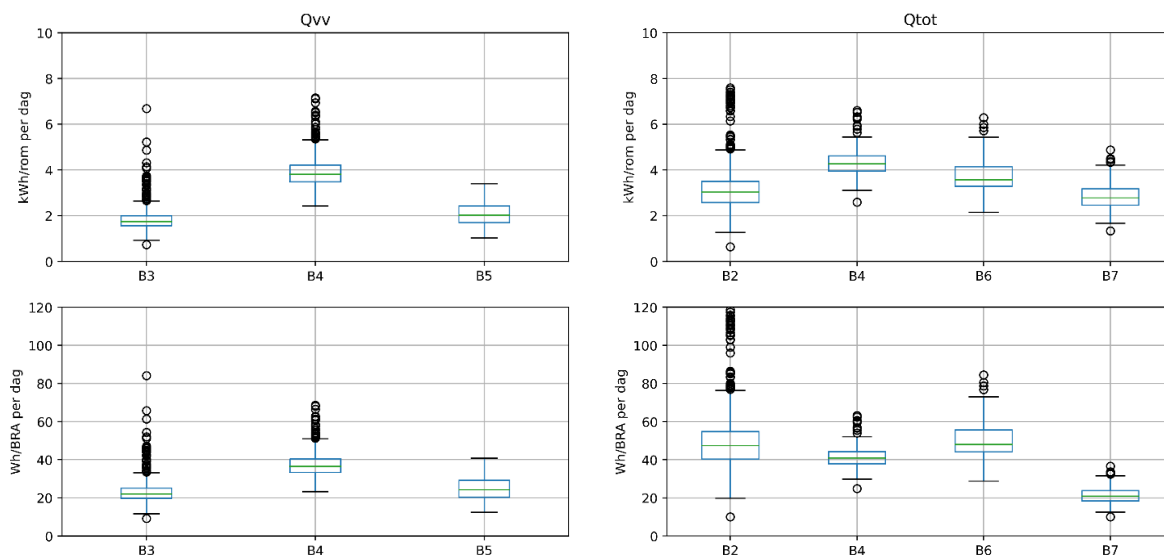
For fire av byggene er det målt den totale energien levert fra produksjonssystemet (Q_{tot}), inkludert både energiforbruk til varmtvann og varmetap fra beredere og sirkulasjon. Enkelte av byggene (B2 og B4) har varmekabel i stedet for sirkulasjon, for å opprettholde temperaturen i fordelingsrørene. Energi til varmekabler er ikke inkludert i Q_{tot} . For B2 er dette tapet målt til ca. 19 Wh/m^2 per dag, samtidig som temperaturmålinger viste at varmekablene ikke klarte å opprettholde tilstrekkelig temperatur når det ikke ble tappet varmt vann.

Tabell 3-3 viser de viktigste parametere og gjennomsnittlig målt daglig forbruk for hver av sykehjemsbyggene fordelt på henholdsvis areal og antall sengerom. Figur 3-10 illustrerer variasjoner i måledataene. For ett av byggene (B1) var kvaliteten på målingene så dårlig at resultatene ikke er tatt med. For både B2/NH2 og B7/NH3 ligger gjennomsnittet av langtidsmålingene noe over det som ble målt i måleperioden (ca. 10 %).

Tabell 3-3: Oversikt over parametere og gjennomsnittlig daglig forbruk av varmtvann for sju sykehjemsbygg, basert på langtidsmålinger

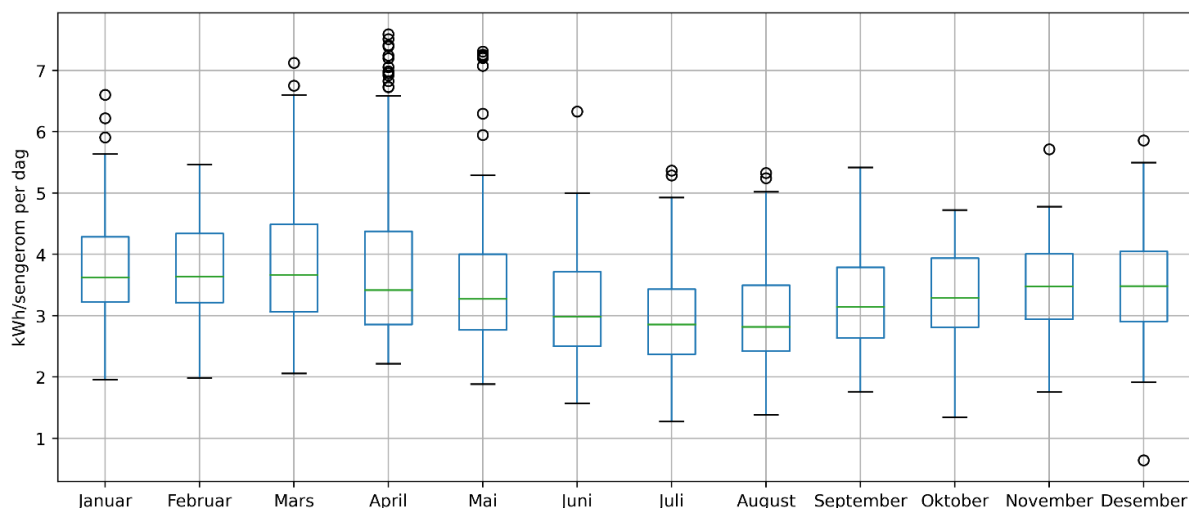
Id	B1	B2*	B3	B4*	B5	B6	B7
BRA	4997	3327	2225	2609	3250	5210	6674
# sengerom	68	52	28	25	39	70	50
BRA/rom	73.5	64.0	79.5	104.4	83.3	74.4	133.5
Qvv per BRA [Wh/m ² /dag]	-	-	23.5	36.8	24.9	-	-
Qvv per Rom [kWh/rom/dag]	-	-	1.9	3.8	2.1	-	-
Qtot per BRA [Wh/m ² /dag]	-	48.2	-	41.1	-	50.1	21.6
Qtot per Rom [kWh/rom/dag]	-	3.1	-	4.3	-	3.7	2.9

* Energi til varmekabler er ikke medtatt



Figur 3-10: Daglig forbruk av varmtvann på sykehjem, basert på langtidsmålinger

Figur 3-11 viser hvordan totalt daglig energiforbruk per sengerom varierer gjennom sesongene. Sykehjem er normalt preget av rutiner og vil derfor ha et relativt jevnt forbruk av varmtvann. Ut fra Figur 2-2, som viser sammenhengen mellom temperatur på inngående kaldtvann og energiforbruket, kan hovedårsaken til disse variasjonene tilskrives endringer i kaldtvannstemperatur.

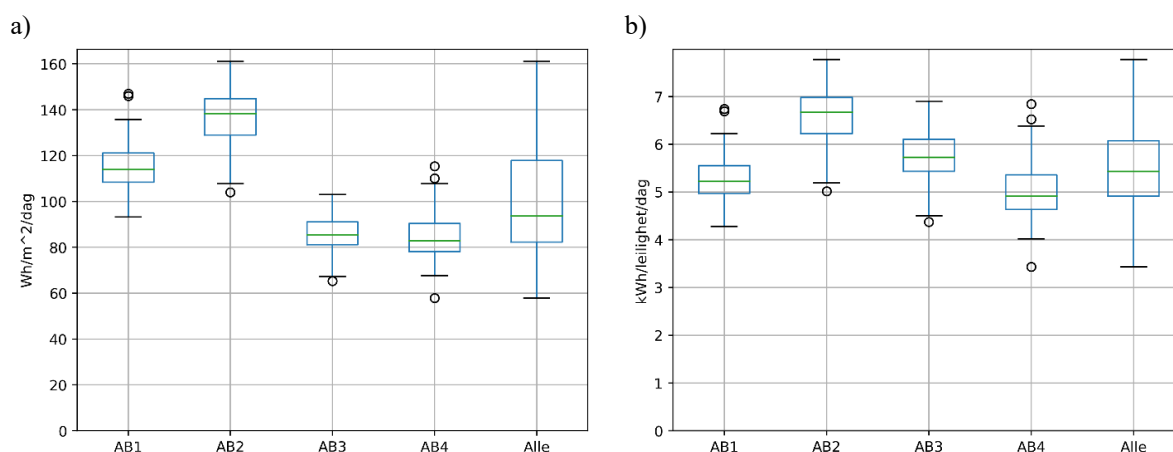


Figur 3-11: Sesongvariasjon for daglig energiforbruk per sengerom i sykehjem

3.3 Boligblokker

3.3.1 Detaljmålinger

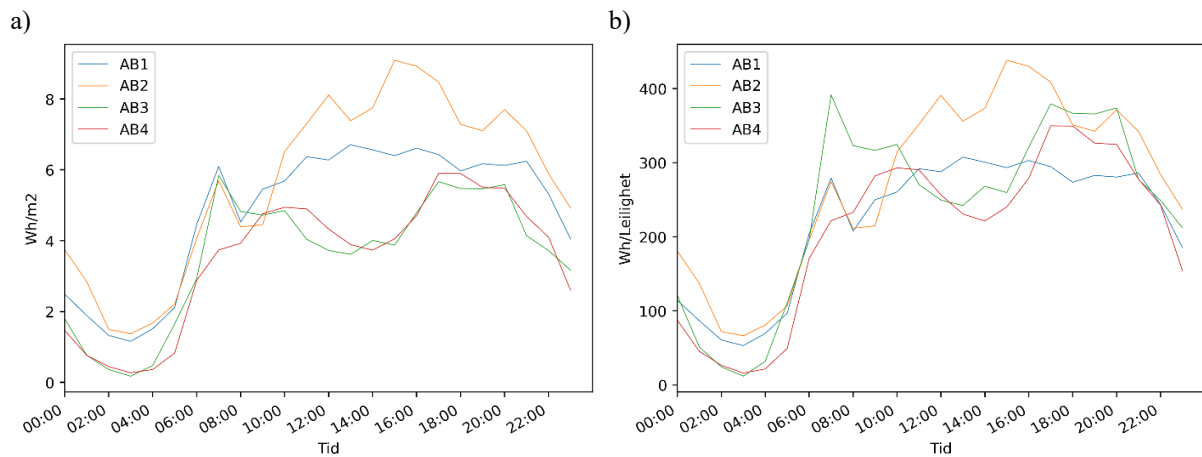
Figur 3-12 viser resultater fra detaljmålinger av daglig energiforbruk i fire boligblokker. Figuren viser daglig energiforbruk til varmtvann per a) kvadratmeter og b) leilighet. Per kvadratmeter er det store forskjeller i energibruken mellom byggene. Det er betydelig forskjell i gjennomsnittlig leilighetsstørrelse i de ulike boligblokkene. AB1 og AB2 har en stor andel av ettromsleiligheter og leilighetene har en gjennomsnittlig størrelse på ca. 40 m². AB3 og AB4 har i hovedsak treromsleiligheter på rundt 60–70 m². Forskjellen er betydelig mindre når man ser på energiforbruk per leilighet. En kunne forventet at forbruket var noe lavere per leilighet for de små leilighetene på grunn av færre beboere, men resultatene viser ikke dette. Dette kan skyldes at AB1 og AB2 er kommunale boliger med høyere andel av hjemneværende og dermed større forbruk på dagtid. Figur 3-13 underbygger denne hypotesen. Antall beboere per leilighet er ikke kjent.



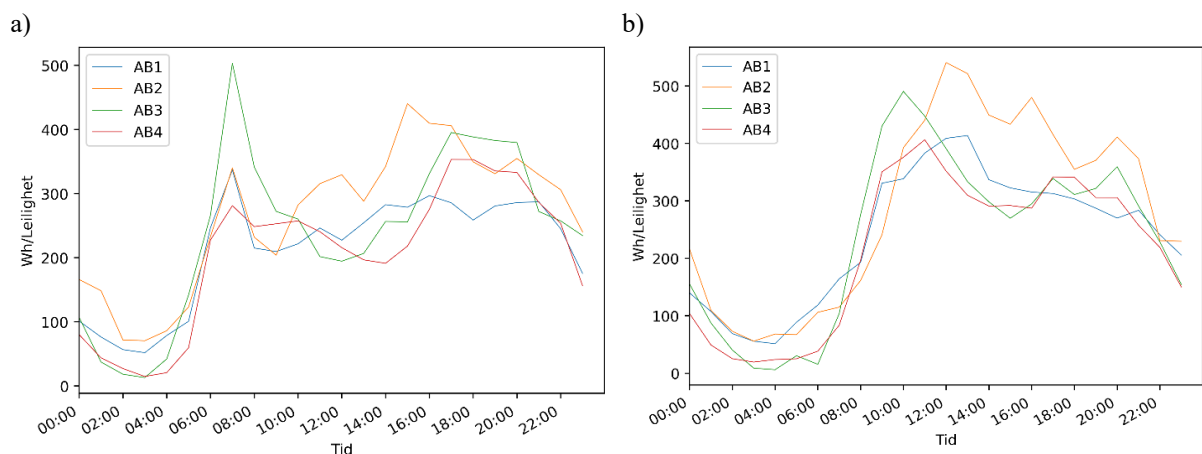
Figur 3-12: Daglig energiforbruk i boligblokker per
a) kvadratmeter
b) leilighet

Figur 3-13 viser gjennomsnittlig forbruksprofil per time fordelt på a) kvadratmeter og b) leiligheter. De fleste profilene har en forbrukstopp om morgenen, men fortsatt en god del forbruk utover dagen. AB3 og AB4 har en reduksjon i forbruket på dagtid, når mange beboere er på jobb, mens AB1 og AB2 i stedet har en økning. Profilene i Figur 3-13 er gjennomsnitt for alle dager i uken, og den forventede

morgentoppen jevnes ut av senere forbruk i helgene. Figur 3-14 viser gjennomsnittlige profiler per leilighet for henholdsvis ukedager og helger. Her kommer morgentoppene i ukedagene mer tydelig frem, og man ser en tydelig forsinket og utvidet morgentopp i helgene.



Figur 3-13: Gjennomsnittlige forbruksprofiler for energibehov til varmtvann per time i boligblokker, fordelt på
a) kvadratmeter
b) leiligheter



Figur 3-14: Gjennomsnittlige forbruksprofiler for energibehov til varmtvann per time i boligblokker, fordelt på
a) ukedager
b) helgedager (lørdag og søndag)

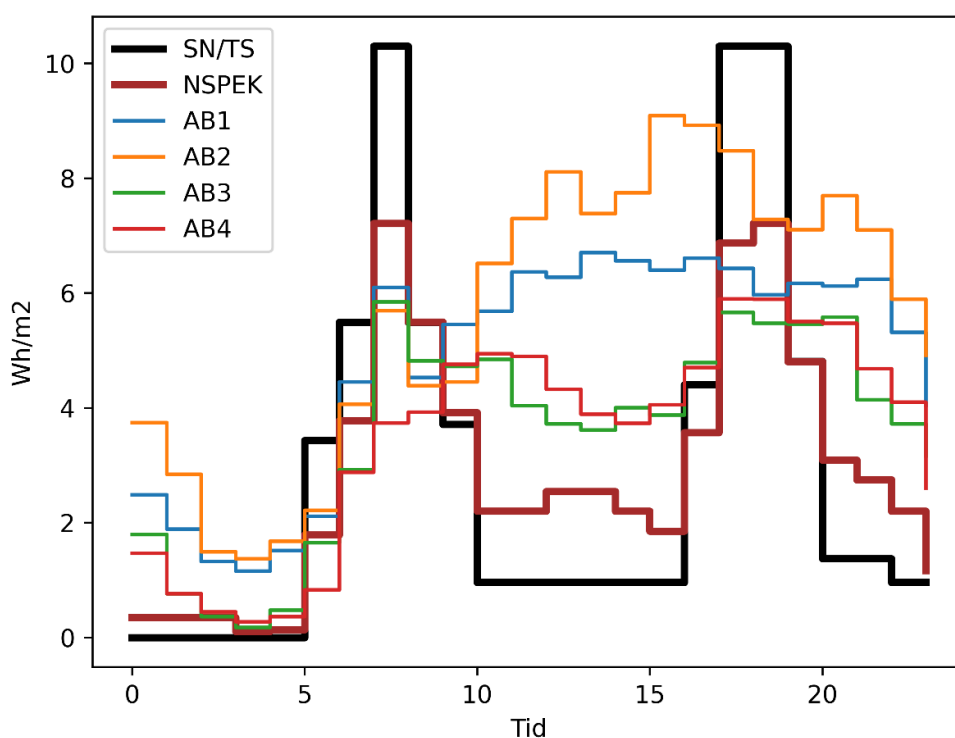
Tabell 3-4 sammenligner daglig energiforbruk til tappevann i SN/TS 3031:2016 med resultater fra de målte byggene. Tabellen viser energibehov til varmtvann, eksklusive varmetap. Man kan se at alle byggene har betydelig høyere forbruk enn standarden. Døgnverdien i SN/TS 3031:2016 ble justert noe ned fra NS 3031:2014, som er gjeldene for beregning av bygningers energiytelse opp mot gjeldende byggteknisk forskrift (TEK17). Et viktig poeng er at gjennomsnittlig leilighetsstørrelse for de målte boligblokkene ligger noe under det nasjonale gjennomsnittet på ca. 71 m² [4]. Kolonnen til høyre i tabellen sammenligner de målte tallene per leilighet med omregnet tall for standarden. Her kan vi se at avviket er langt mindre. Tabellen sammenligner også verdier for årlig forbruk. Dette forutsetter at gjennomsnittlig forbruk i måleperioden er representativt for årlig forbruk.

Tabell 3-4: Sammenligning av daglig energiforbruk i SN/TS 3031:2016 med resultater fra de målte byggene

	Daglig forbruk		Årlig forbruk (omregnet)	
	[Wh/m ² per døgn]	[Wh/leilighet per døgn]*	[kWh/m ² per år]	[kWh/leilighet per år]*
SN/TS 3031:2016	69	4871	25	1778
NS 3031:2014	82 (120 %)	5836 (120 %)	30	2130
AB1	116 (169 %)	5312 (109 %)	42	1939
AB2	135 (197 %)	6528 (134 %)	49	2383
AB3	86 (125 %)	5735 (118 %)	31	2093
AB4	84 (123 %)	4987 (102 %)	31	1820

*Omregnet basert på gjennomsnittlig leilighetsstørrelse på 71 m²

Figur 3-15 viser sammenligning mellom måledataene og profilene i henholdsvis SN/TS 3031:2016 og NSPEK 3031:2020. Profilene i NSPEK 3031:2020 ble endret fra de originale profilene i SN/TS 3031:2016, basert på måleresultatene fra prosjektet *VarmtVann2030*, men gjennomsnittlig daglig forbruk er beholdt.



Figur 3-15: Sammenligning mellom måledata og profilene i SN/TS 3031:2016 og NSPEK 3031:2020

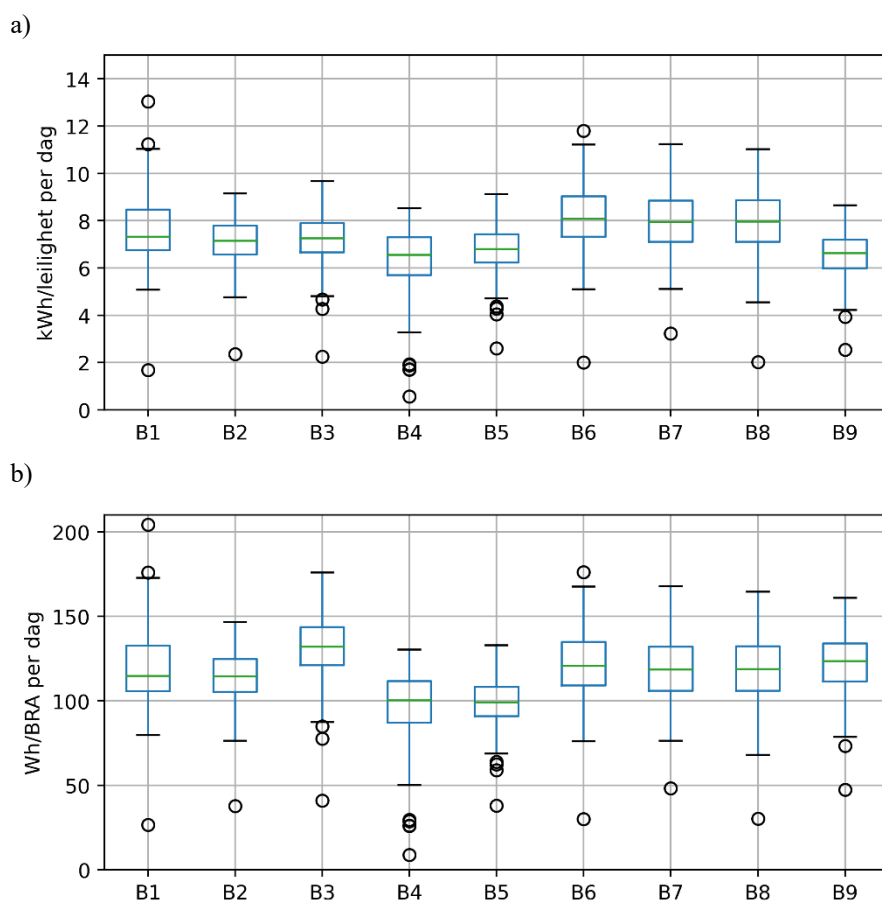
3.3.2 Langtidsmålinger

Boligblokken AB3 er en del av et større borettslag. Her har det vært installert energimålere som gjør det mulig å hente inn data for energiforbruk på timesoppløsning for alle boligblokkene. Disse dataene gir brutto energiforbruk til varmtvann. Dataene inkluderer altså tap i sirkulasjon og varmesentral. Varmesentralene har tilsvarende oppbygning som AB3, med forvarming fra et nærvarmenett og ettervarming med beredere, men antall akkumulatortanker og beredere varierer. De fleste leilighetene er

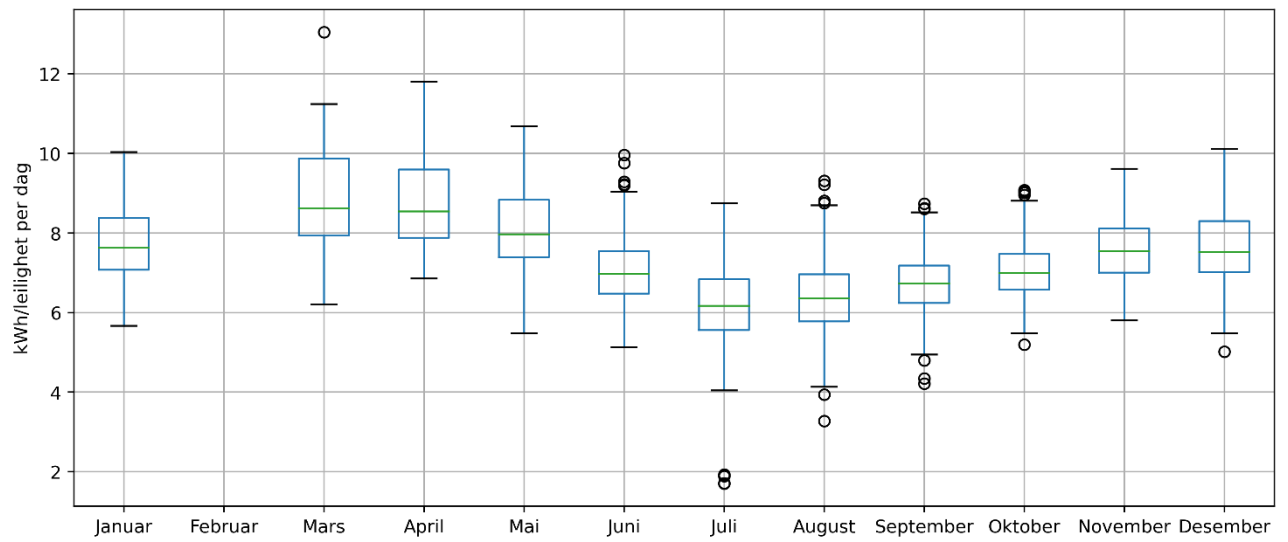
treromsleiligheter på ca. 60–70 m². På grunn av endringer i driften av varmesentralene, er ikke langtidsmålingene fra samme periode som detaljmålingene i AB3.

Resultatene for hele borettslaget er vist i Figur 3-16. Bygg B6 tilsvarer AB3 i målingene over. Generelt ligger disse målingene en del høyere enn målingene fra AB3 i Figur 3-12. Dette skyldes i hovedsak at de inkluderer varmetap. I tillegg så ser man en betydelig større variasjon for B6/AB3 i Figur 3-16, sammenlignet med Figur 3-12. Dette skyldes i stor grad at målingene har blitt gjort over et helt år, og at det er en tydelig sesongvariasjon. Dette kommer tydelig frem i Figur 3-17, som viser daglig energiforbruk per leilighet, men fordelt på ulike måneder (data for februar mangler på grunn av mangelfulle data). Forbruksvariasjonen følger i stor grad forventet endring i kaldtvannstemperatur. I tillegg er det naturlig at juli vil være preget av sommerferie.

Det gjøres oppmerksom på at disse målingene er samlet inn fra perioden august 2019 til august 2020 og at tallene vil kunne være preget av COVID-19-situasjonen.



Figur 3-16: Målt brutto energiforbruk til varmtvann for boligblokker per
a) leilighet
b) kvadratmeter



Figur 3-17: Daglig energiforbruk fordelt på måneder for boligblokker

4 Tiltak for å redusere forbruket av varmtvann

Den mest effektive måten å redusere energiforbruket til varmtvann på, er å redusere forbruket. Her er det i hovedsak to faktorer som spiller inn: sluttbrukers vaner og holdninger, og vannmengder fra utstyret.

I denne rapporten diskuteres effekten av tekniske tiltak, men ikke adferdsendringer hos sluttbruker.

4.1 Vannbesparende armaturer

4.1.1 Bruk av vannbesparende armaturer

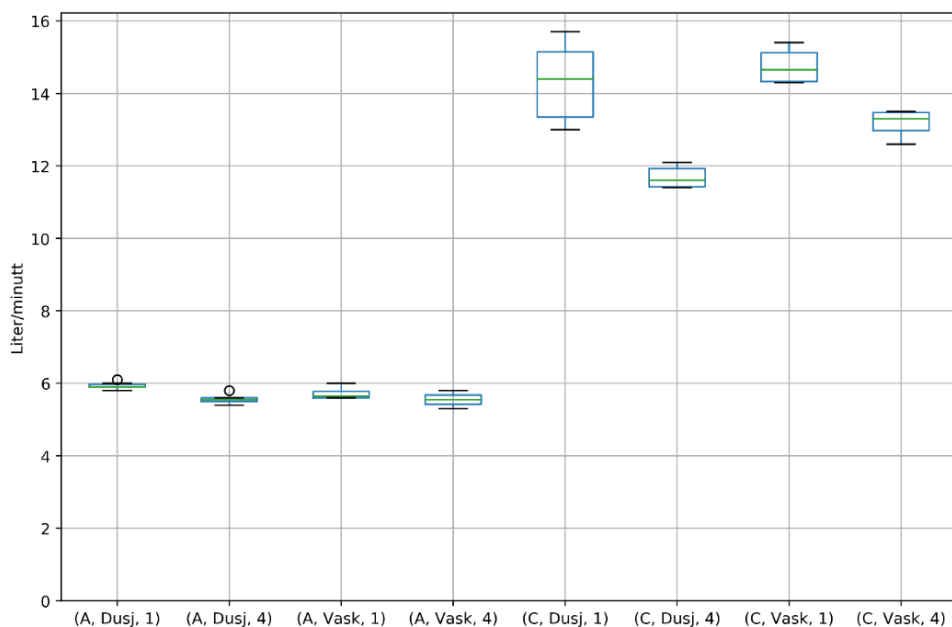
Vannbesparende armaturer, og spesielt sparedusjer, ble frontet som et ENØK-tiltak på 90-tallet. Mange hadde dårlige erfaringer med disse sparedusjene på grunn av det de opplevde som redusert komfort. Det er også dårlig dokumentert i hvilken grad lavere vannmengde fører til lengre opphold i dusjen, noe som dermed reduserer effekten. I tillegg er det en utfordring at en del av disse dusjene produserer mer aerosoler og dermed øker risikoen for spredning av legionella.

Siden 90-tallet har teknologien utviklet seg videre og flere leverandører hevder at dagens "sparedusjer" har tilnærmet like god komfort som normale dusjer.

4.1.2 Måling av effekten av vannbesparende armaturer

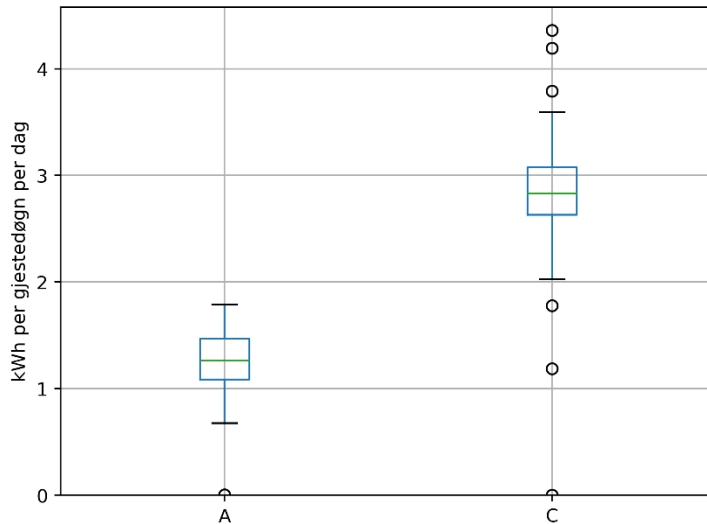
Prosjektet *VarmtVann2030* har undersøkt effekten av vannbesparende armaturer gjennom et måleprosjekt på et hotell der baderommene gjennomgikk rehabilitering. Ved rehabiliteringen ble det byttet til nye vannbesparende armaturer (servant og dusj), der dusjarmaturene også var berøringsfrie.

Måleprosjektet ble gjennomført ved å måle forbruket til varmtvann på to ulike deler av hotellet (blokk A og blokk C), der den ene delen (blokk A) var rehabilitert og den andre (blokk C) ikke. De to hotelldelene har tilnærmet lik utforming, med 144 hotellrom fordelt på totalt ca. 5000 m² hver. Figur 4-1 viser målte vannmengder fra utvalgte armaturer i de to blokkene og i henholdsvis 1. og 4. etasje. I snitt ligger vannforbruket med de gamle armaturene ca. 2,4 ganger høyere enn med de vannbesparende armaturene.



Figur 4-1: Målte vannmengder fra utvalgte armaturer i et hotell. Benevningene på x-aksen angir hotelldel (A eller C), type armatur, etasje.

I måleperioden ble det loggført antall gjester for hver av de to blokkene. Målingene inkluderer varmtvann til rommene og enkelte bøttekott for renholdspersonalet. Figur 4-2 viser målt energiforbruk til varmtvann per dag per gjest. I snitt er energiforbruket med de gamle armaturene 2,2 ganger høyere enn med de vannbesparende armaturene.



Figur 4-2: Målt energiforbruk til varmtvann per dag per gjest i måleperioden.

Resultatene fra målingene viser at reduksjonen i energiforbruk nesten tilsvarer reduksjonen i vannmengde. Det er ikke mulig å skille mellom betydningen av redusert vannmengde og berøringsfrie armaturer. På servanter har berøringsfrie armaturer en naturlig vannbesparende effekt. For dusjarmaturer er det ikke nødvendigvis slik. Det kan for eksempel være krevende å skru av dusjen under innsåping.

I en periode på ca. 6 måneder etter at de første vannbesparende armaturene ble tatt i bruk, ble det registrert ca. 15 skriftlige klager knyttet til lite vann eller lavt vanntrykk i dusjen, i tillegg til at det er rapportert om muntlige klager til resepsjonen. I denne perioden har ca. 54 000 gjester besøkt hotellet. Det var også noen klager knyttet til den berøringsfrie funksjonen i dusjarmaturene. Dette er ikke veldig mange klager, men det er viktig for et hotell at gjestene har en god dusjopplevelse. Det er også krevende å evaluere opplevd komfort fra gjestene basert på innmeldte klager i et system der gjestene selv må ta initiativ til å sende inn klager i etterkant. Dette er ofte ikke representativt for opplevd komfort.

Resultatene fra målingene dokumenterer en tydelig effekt av installasjon av vannbesparende armaturer. Samtidig viser tilbakemeldinger fra gjester at man kanskje burde valgt en noe større vannmengde.

4.1.3 Anbefalinger

Forskjellige typer armaturer har ulik grad av vannbesparing. Det viktigste er at man både ved prosjektering av nye anlegg og ved utskiftning vurderer armaturer ut fra både komfort og vannmengde. Selv om man ikke velger de armaturene med minst vannmengde, er det mye energi å spare i forhold til armaturer med unødvendig stor vannmengde.

Det er ikke behov for store vannmengder til f.eks. håndvask. Det anbefales derfor å velge vannbesparende armaturer til badromsservanter.

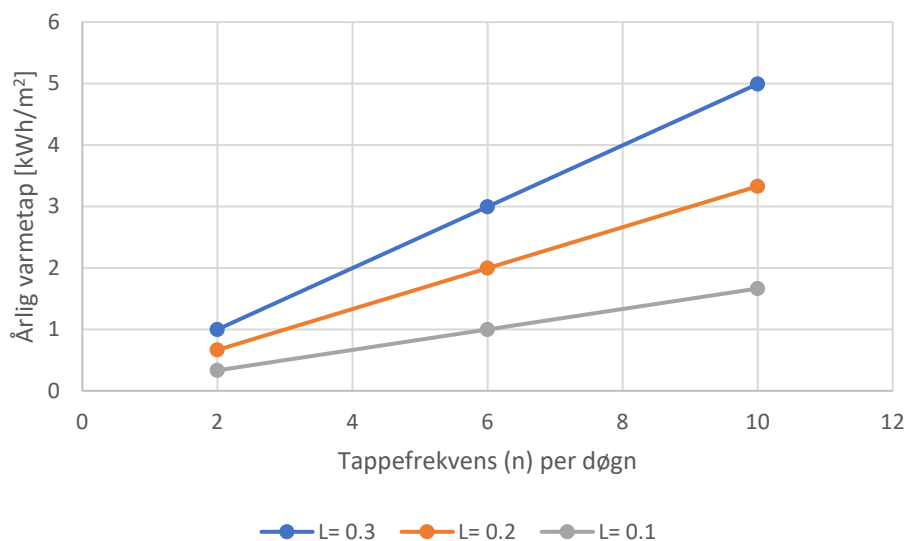
4.2 Kortere rørstrekk og riktig dimensjonering

Ved prosjektering av nye anlegg er det viktig å planlegge utformingen av anlegget for å minimere varmetapet fra røranlegget. Dette handler i stor grad om å minimere antall meter rør og dimensjoner, som både gir redusert investeringskostnad og reduserte driftskostnader.

Dette delkapittelet beskriver åpne varmtvannsrør; fra avgrensning fra sirkulasjonskurs og til tappepunkt. Det er vanskelig å kvantifisere potensialet for vann- og energibesparelse på grunn av reduserte rørstrekk etter avgrensning fra der det sirkuleres varmtvann, ettersom dette i stor grad er avhengig av tappefrekvens ved hvert enkelt tappepunkt.

NSPEK 3031:2020 [5] angir en forenklet metode for å beregne varmetap fra åpne varmtvannsrør ut fra anslag om rørlengde per kvm (L'') og gjennomsnittlig tappefrekvens per døgn (n). Resultatene fra beregninger med denne metoden er vist i Figur 4-3 som årlig varmetap for boliger. Med et antatt årlig energibehov til varmtvann på 30 kWh/m^2 varierer varmetapet fra 1 % til 17 %. Dette er en betydelig variasjon, og viser at det er viktig at en har fokus på varmetap ved prosjektering. Både arkitektonisk utforming (plassering av tappepunkter) og utforming av røranlegg (som antall fordelerskap og plassering av disse) samt føringsveier kan ha stor påvirkning på rørtettheten i et bygg. Selv om formelen i NSPEK 3031:2020 kun baserer seg på rørenes lengde, har også rørdimensjoner stor påvirkning på dette varmetapet. Dersom man går opp en dimensjon, vil det øke vannvolumet inne i rørene med ca. 50–70 %. Dette gir tilsvarende økning i både vann som må tappes ut og ventetid for å få varmt vann. Dermed øker også energiforbruket.

Brukeradferd påvirker faktisk varmetap og kan "forstyrre" det teoretiske potensialet fra beregninger. Lange rørstrekk kan føre til både økt og redusert varmetap og varmtvannsforbruk. For enkelte typer forbruk, som håndvask, kan lengre rørstrekk føre til at brukeren ikke venter på varmtvann, men vasker hendene i romtemperert vann. I motsatt tilfelle kan lange ventetider føre til annen aktivitet i ventetiden, som igjen kan føre til unødvendig bruk av varmtvann fordi man reageres senere på at temperaturen har steget.



Figur 4-3: Sammenhengen mellom årlig varmetap fra åpne varmtvannsrør og rørtetthet og tappefrekvens per døgn for boliger, i henhold til forenklet metode i [5]

5 Varmetap i varmtvannsdistribusjon og varmesentral

I dette kapitlet diskuteres varmetap fra distribusjon av varmtvann i sirkulasjonssystemet og fra produksjonssystemene (varmtvannstanker og koblinger). Åpne rørsystemer (fra avgrensning fra sirkulasjonskurs og til tappepunkt) er diskutert i kapittel 4.2.

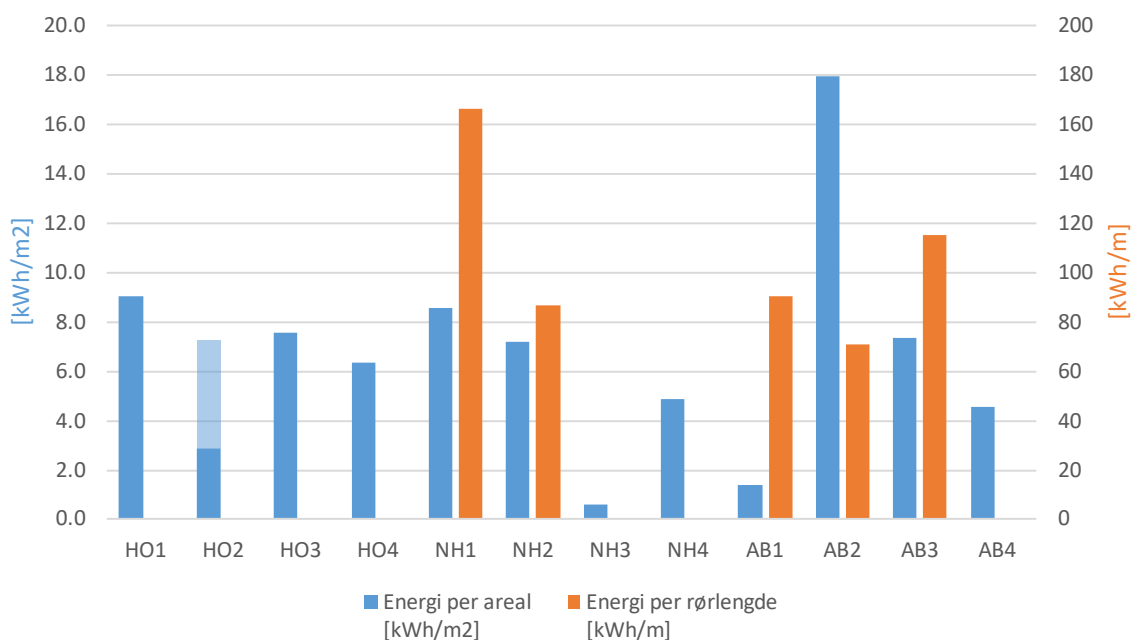
5.1 Varmetap ved sirkulasjon av varmtvann

5.1.1 Sirkulasjonssystemer

Sirkulasjonssystemer i varmtvannsdistribusjonen skal sikre at varmtvann kommer frem til tappepunktet innen rimelig tid samt redusere risiko for vekst av legionellabakterien ved å opprettholde temperaturen på et høyt nok nivå. Kontinuerlig sirkulasjon av varmtvann vil alltid medføre et visst varmetap.

5.1.2 Målte varmetap

I prosjektet *VarmtVann2030* er det for de fleste bygg målt hvor stort varmetapet er i sirkulasjonssystemet. I fem av byggene har det også vært mulig å kartlegge antall meter rør. Figur 5-1 viser det målte sirkulasjonstapet omregnet til årlig energi per kvadratmeter i bygget (kWh/m^2) og energi per meter rørstrekk (kWh/m). Som det kommer frem av Figur 5-1 er det store forskjeller mellom byggene. Det er flere årsaker til de store forskjellene, og Tabell 5-1 gir kommentarer til utforming og funksjon av sirkulasjonssystemene. For de byggene som ser ut til å ha et normalt fungerende sirkulasjonssystem, ligger det årlige varmetapet typisk mellom $6\text{--}9 \text{ kWh}/\text{m}^2$ per år ($0.7\text{--}1 \text{ W}/\text{m}^2$). Dette tilsvarer typisk ca. 15–30 % av energiforbruket til varmtvann for hoteller og boligblokker og ca. 30–40 % for sykehjem.

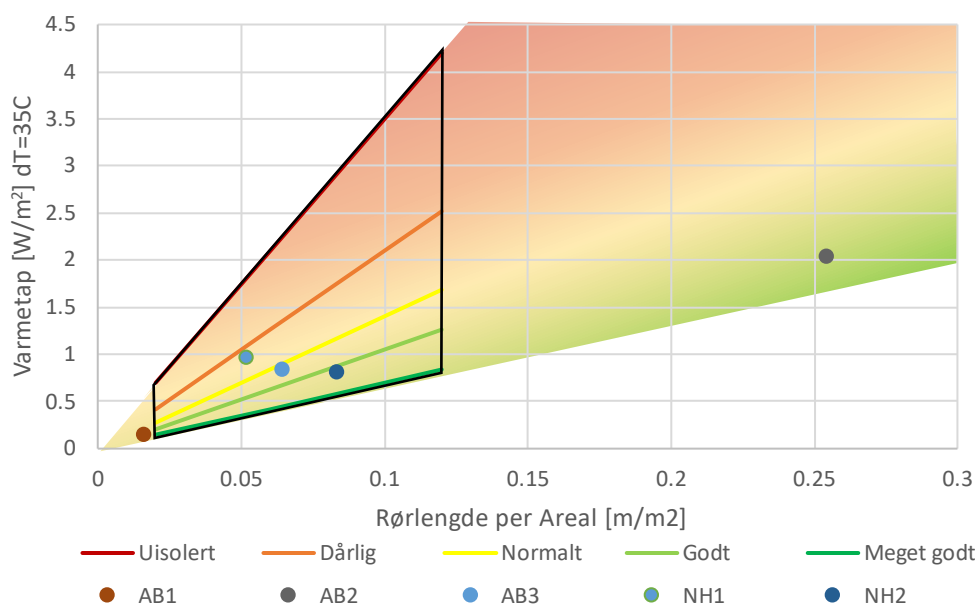


Figur 5-1: Årlig varmetap fra sirkulasjonssystemet per kvadratmeter i byggene

Tabell 5-1: Kommentarer til utforming og funksjon av sirkulasjonsanleggene

Bygg	Kommentar
HO1	Kun delvis fungerende sirkulasjon. Dårlig innregulert
HO2	Sirkulasjon dekker kun deler av bygget. Resten dekkes med varmekabler som ikke er inkludert. Bakgrunnssøyle i Figur 5-1 viser spesifikt tap per kvadratmeter systemet dekker.
HO3	Tilsynelatende fungerende sirkulasjon
HO4	Tilsynelatende fungerende sirkulasjon
NH1	Tilsynelatende fungerende sirkulasjon. Trolig uisolert rør-i-rør i sjakter
NH2	Målt effekt fra varmekabel. Ikke sirkulasjon
NH3	Sirkulasjon blendet og kortsluttet like utenfor varmesentral
NH4	Tilsynelatende fungerende sirkulasjon. Nytt bygg
AB1	9 etasjer. Kun sirkulasjon i kjeller
AB2	Rehabiliterert rørrnett. Sirkulasjon opp i alle sjakter
AB3	4 etasjer. Kun sirkulasjon i kjeller
AB4	Dårlig kvalitet på målinger. Svært usikre resultater. Sirkulasjon mellom flere bygg

I SN-NSPEK 3031:2020 [5] er det oppgitt en metode for forenklet estimat av varmetap fra "lukkede" distribusjonssystemer for varmtvann. De "lukkede" distribusjonssystemene omfatter den delen av distribusjonssystemet der det sirkulerer varmt vann og omtales som sirkulasjonssystemet i denne rapporten. Standarden oppgir typiske rørmengder i forhold til byggets areal (m^2) og typisk varmetap avhengig av isolasjonsgrad (uisolert \rightarrow veldig godt isolert). Figur 5-2 viser målte sirkulasjonstap i de fem byggene hvor antall meter rør er kartlagt, mot standardestimer i SN-NSPEK-3031:2020. En kan se at noen av byggene skiller seg veldig ut. AB1 er en boligblokk på 9 etasjer, med kun sirkulasjon i kjelleretasjen. Dette gir svært kort rørstrekk og dermed lite sirkulasjonstap, selv med dårlig isolerte rør. Denne systemløsningen kan også gi lang ventetid på varmtvann, og dermed også økt vanntap ved tapping, men dette er vanskelig å kvantifisere basert på målingene. AB2 er den andre ytterligheten; et boligbygg på tre etasjer pluss kjeller, med mange små leiligheter og sirkulasjon opp i alle sjakter. Totalt er det 20 sjakter i bygget, fordelt på 56 leiligheter. Her er rørstrekene nylig rehabilitert og godt isolert, men det totale varmetapet blir likevel veldig høyt på grunn av antall meter rør.

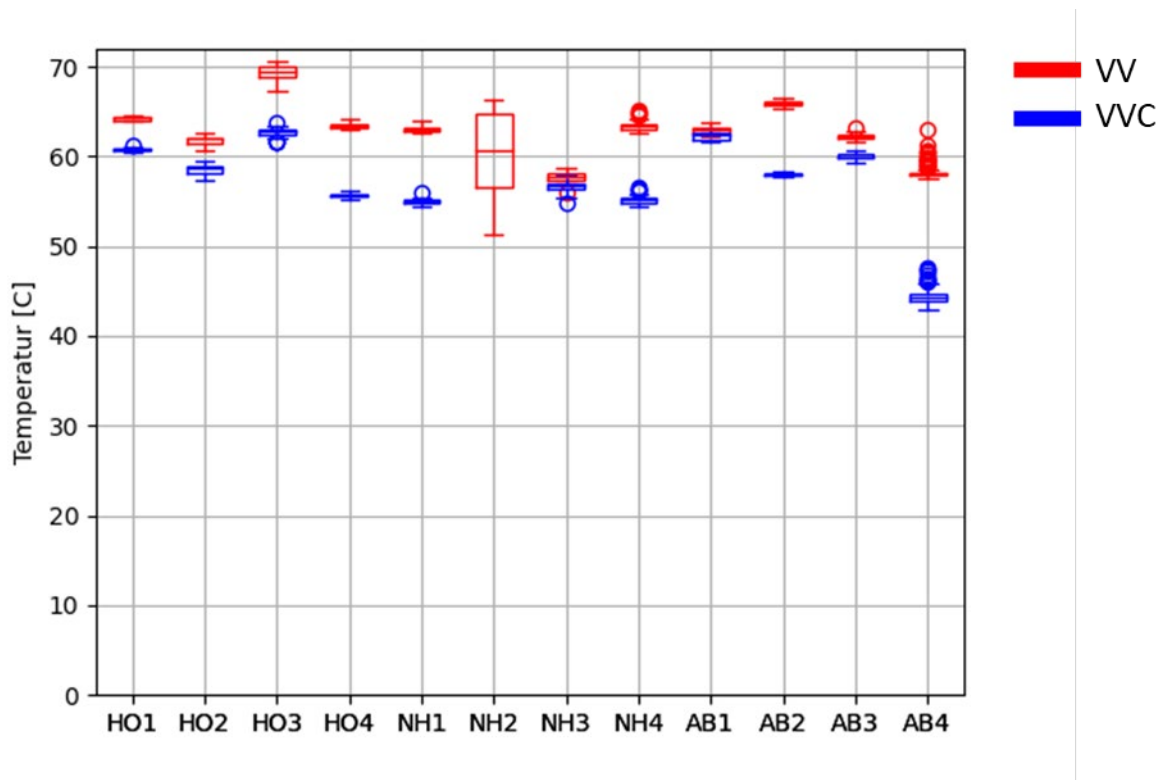


Figur 5-2: Målte sirkulasjonstap i de fem byggene vist mot standardestimer i SN-NSPEK 3031:2020 [5]

5.1.3 Sirkulasjonsanleggets funksjon

Fra Tabell 5-1 kan man se at det store forskjeller i hvor godt sirkulasjonssystemene fungerer. I flere av byggene der det har vært gjort målinger, har det vist seg at sirkulasjonssystemene ikke fungerer etter hensikten. Dette skyldes ofte at anleggene har en utforming med flere avgreninger til ulike sjakter, og at vannmengden i hver avgrening er ikke innregulert, noe som fører til at det sirkuleres vann i kun deler av anlegget. Dette er gunstig i forhold til varmetap fra sirkulasjonsanlegget, ettersom deler av rørsystemet ikke er oppvarmet og dermed heller ikke har varmetap. Men under forutsetning av at sirkulasjonssystemet er fornuftig designet, kan det gå utover både helse og komfortsyn. Det er derfor viktig at man ved igangsettelse eller ved utførte endringer på anlegget påser at sirkulasjonssystemet fungerer etter hensikten. Det anbefales derfor at det leveres innreguleringsprotokoller også for sirkulasjonssystemer ved overlevering og etter ombygginger.

Figur 5-3 viser gjennomsnittlig daglige verdier for utgående varmtvann og returnerende sirkulasjon. En kan se at de fleste anleggene ligger over 60 °C på utgående varmtvann, men under på returnerende sirkulasjon. Vannrapport 123 fra Folkehelseinstituttet [6] anbefaler at returtemperaturen for sirkulasjonsvannet skal holde minimum 60 °C, mens TEK17 anbefaler at sirkulerende vann holder 65 °C. NH2 har ikke sirkulasjon, men varmekabel, og lave gjennomsnittlige utgående temperaturer skyldes delvis at temperaturen synker når det ikke er forbruk.



Figur 5-3: Målte temperaturer på utgående varmtvann og returnerende sirkulasjon. Gjennomsnittlig daglige verdier

5.2 Tiltak for å redusere varmetap i sirkulasjonskretsen

5.2.1 Minimere rørlengder

Som for de åpne rørstrekkene er det for de lukkede sirkulasjonskretsene viktig å minimere mengden installerte rør. Dette er i hovedsak noe som kan påvirkes i design- og prosjekteringsfasen av nybygg. Det kan være en krevende prosess å finne den mest optimale utformingen av distribusjonssystemet. Hensyn til hygiene, komfort, energi og vannforbruk må veies opp mot hverandre. Likevel er det viktig

at det gjøres veloverveide vurderinger av hva som er mest hensiktsmessige føringsveier og utforminger av sirkulasjonsanlegget.

Folkehelseinstituttet (FHI) anbefaler i sin vannrapport 123 [6] en ventetid på maksimalt 60 sekunder før varmtvannet når 60 °C ved tappepunkt, av hensyn til hygiene. Med tanke på komfort, vil 60 sekunder ventetid i dusjen oppfattes som svært lenge. Ofte anbefales maksimalt 10–20 sekunders ventetid på varmtvann.

Utstrekningen av sirkulasjonssystemet vil avhenge av byggets utforming, og avstand fra avgrening til tappepunkt (ofte via fordelerskap). Figur 5-44 viser eksempler på noen enkle prinsipper for føringsveier og utstrekning av sirkulasjonssystemer. Det er mange hensyn som må tas, og hensikten her er ikke å definere absolutte løsninger, men å inspirere til å tenke litt mer på hvordan sirkulasjonssystemer designes.

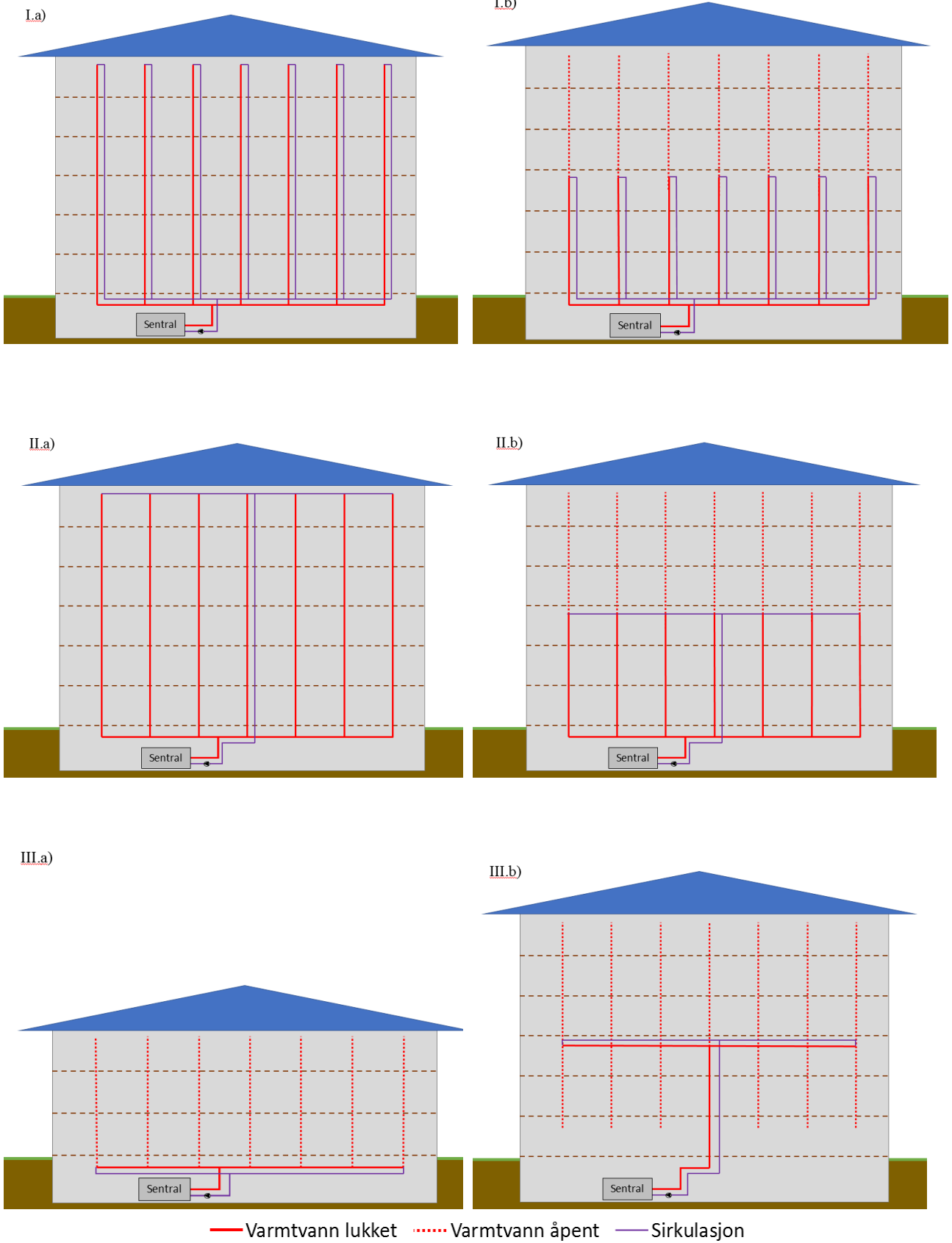
I lave bygg kan det være tilstrekkelig å ha sirkulasjon i byggets kjeller eller i første etasje (Figur 5-4 III,a), mens for bygg med mange etasjer må sirkulasjonsanlegget trekkes oppover. Det finnes likevel ofte alternativer som gjør at man ikke trenger å føre sirkulasjonsledningen helt opp til toppetasjen.

I boligblokker er det ofte vanskelig og ikke ønskelig med horisontale føringsveier på tvers av leiligheter. Derfor må gjerne sirkulasjonsledningen føres opp og ned i samme sjakt (Figur 5-4 I,a). Det kan likevel være mulig å redusere utstrekningen av sirkulasjonssystemet ved å stoppe sirkulasjonen noen etasjer under toppen (Figur 5-4 I,b).

Ved høye bygg med mange vertikale føringer, f. eks hoteller, er det vanlig å samle alle varmtvannstilførselsledningene til en felles sirkulasjonskurs i toppetasjen (Figur 5-4 II,a). Dette kan være en bedre løsning enn å føre separate sirkulasjonsledninger ned i hver sjakt, men også her kan man vurdere å stoppe sirkulasjonen noen etasjer før toppen, og gjøre sammenkoblingen i en annen etasje (Figur 5-4 II,b). Et annet alternativ for mellomhøye bygg, som ligner litt på bygget i Figur 5-4 III,a, er å gjøre fordelingen i en etasje midt i bygget (Figur 5-4 III,b). Dersom det lar seg gjennomføre, er dette den av løsningene nevnt her som gir det mest kompakte sirkulasjonsanlegget.

En forutsetning for å ikke føre sirkulasjonssystemet helt frem til fordelerskapene er at føringene ikke er for lange fra fordelerskap til tappepunkt. Det er også avgjørende at rørstrekket fra avgrening til fordelerskap ikke overdimensjoneres. Større rør fører til lengre ventetid på varmtvann. En skal være ekstra bevisst på disse elementene dersom det planlegges bruk av vannbesparende armaturer. Vannbesparende armaturer gir lavere vannmengde i rørene og dermed lengre ventetid. Mindre utstrekning av sirkulasjonssystemet vil også føre til større tappetapsom kan gi høyere vannforbruk (se 4.2). Balansen mellom disse vil avhenge av forbruksmønster for hvert enkelt tappested.

For bygg med perifere tappepunkter med lavt forbruk, for eksempel toaletter eller tekjøkken på kontorer, bør man vurdere løsninger med lokale miniberedere.



Figur 5-4: Eksempler på føringsveier for sirkulasjonsledning

5.2.2 Isolering

Tykkelse

God isolering av distribusjonssystemet for varmtvann er avgjørende for å minimere varmetapet. I henhold til TEK17 skal anlegg isoleres økonomisk optimalt. I veiledningen henvises det til NS-EN 12828:2012+A1:2014, som oppgir tabeller med anbefalte isolasjonstykkelser basert på rørdiameter, driftstid og hvor stor del av den avgitte varmen som kommer til nytte for oppvarmingsformål. Det åpnes også for mer omfattende økonomiske beregninger, som tar høyde for kostnader ved økt arealbehov og lignende.

Ved slike beregninger er det viktig å huske på at nye bygg har svært lavt oppvarmingsbehov og kort fyringssesong, mens varmtvannssystemet er operativt hele året. Det er dermed en liten andel av varmetapet som kan bidra til å redusere annet oppvarmingsbehov, samt at varmetapet kan føre til økt kjølebehov eller dårligere komfort for beboer/bruker.

Dårlig isolerte varmtvannsrør vil også føre til høyere temperaturer i sjakter og himling, som igjen kan gi økt temperatur også på kaldtvannet. Økt kaldtvannstemperatur gir både dårligere brukerkomfort (lengre ventetid på kaldt vann) og økt risiko for bakterievekst. Dette oppleves ofte som et vel så stort problem som ventetid på varmtvann i mange bygg.

Figur 5-5 viser lineær varmetapskoeffisient (varmetap per meter rør og temperaturredifferanse mellom vann og omgivelse) for kobberør og AluPex-rør. En kan se at AluPex-rør har et noe høyere varmetap ved samme indre diameter enn kobberør. Dette skyldes at det noe tykkere røret også gir et noe større tverrsnittsareal i isolasjonen som varmen kan transporteres gjennom. Samtidig kan bruk av AluPex åpne for noe høyere vannhastigheter enn kobberør, noe som igjen fører til mindre rørdimensjoner.

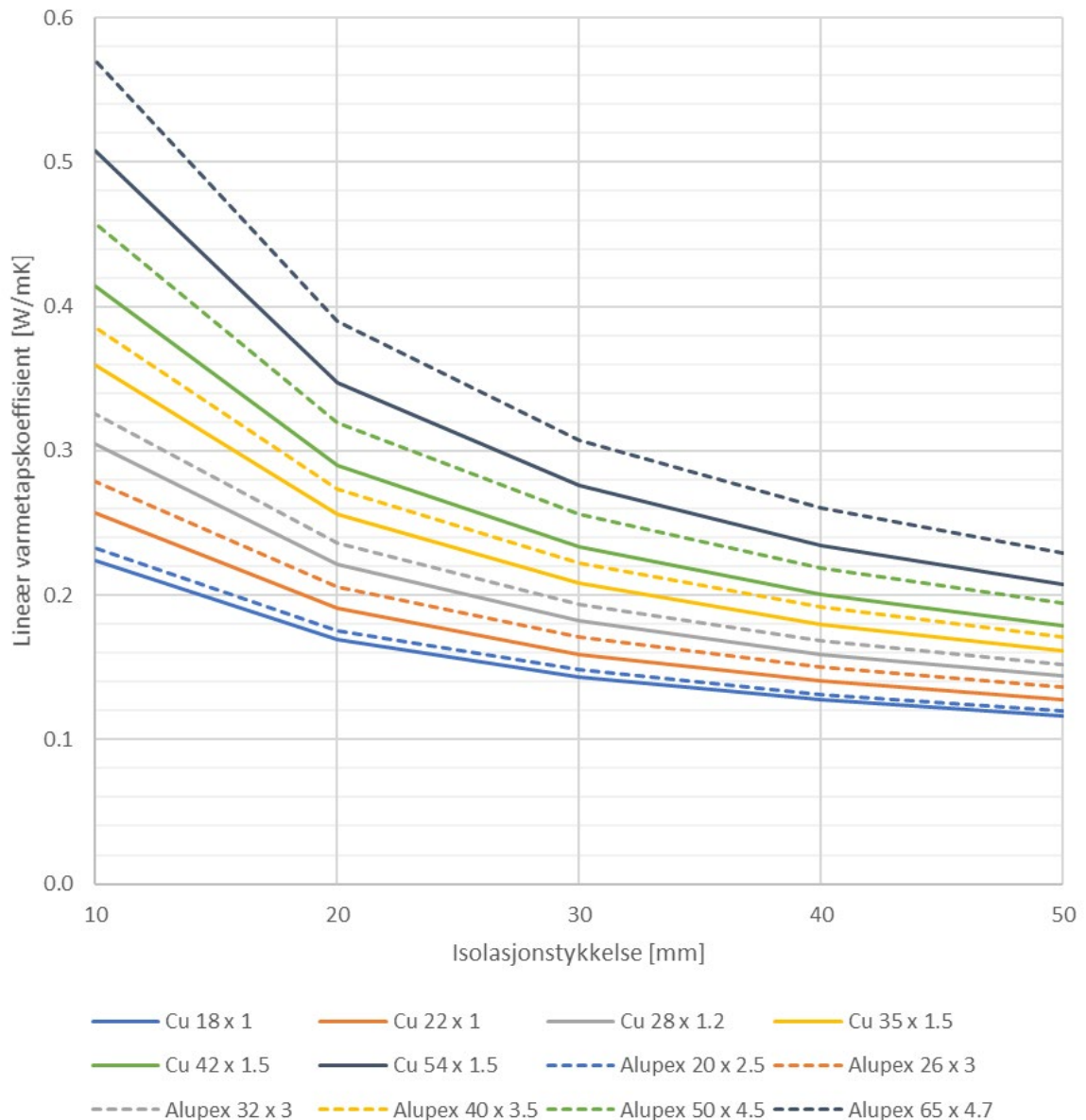
Det er viktig at krav til isolasjon følges opp gjennom hele byggeprosjektet, fra prosjektering til bygging og ferdigstillelse. Det må settes av tilstrekkelig plass i sjakter og himlinger til den nødvendige isolasjonen og det må sikres at den prosjekterte isolasjonen faktisk installeres før føringsveier lukkes. Flere i bransjen opplever at det ofte slurves på flere steder i denne prosessen.

Type isolasjon

Distribusjonssystemer for tappevann holder høye temperaturer, og det bør brukes egnede rørsåler av mineralull. På mange anlegg er det benyttet cellegummiisolasjon til varmtvannssystemer. Disse blir etter hvert sprø og mister sin mekaniske styrke. Spesielt i tekniske rom og når det gjøres arbeid på anlegget er dette et problem, fordi deler av isolasjonen knekker av.

Rør-i-rør

I enkelte anlegg benyttes rør-i-rør systemer også i distribusjonsdelen av anlegget, for eksempel i innebygde sjakter/stigeledninger og frem til fordelerskap. Det er blant enkelte en oppfatning at varerøret i rør-i-rør systemer gir tilstrekkelig isolasjon. Dette stemmer ikke. I henhold til leverandør [7], har uisolerte rør-i-rør en lineær varmetapskoeffisient på ca. 0.5–0.6 W/mK, altså 2–3 ganger høyere enn det som tillates i henhold til NS-EN 12828:2012+A1:2014. Det er derfor viktig at også varerøret i rør-i-rør systemer isoleres.



Figur 5-5: Lineær varmetapskoeffisient som funksjon av rørdimensjon og isolasjonstykkelse for kobberør og AluPex-rør

5.2.3 Dimensjonering

Som vist i Figur 5-5 har rørdimensjon stor innflytelse på varmetapet. Dette viser konsekvensen av unødvendig overdimensjonering av distribusjonssystemet. Det er skrevet en egen fagrapport om dimensjonering av varmtvannsrør [8].

Sirkulasjonsrør dimensjoneres ut fra nødvendig vannmengde for å sikre tilstrekkelig temperatur ut i anlegget og tilbake til sentral. Vannrapport 123 fra FHI [6] anbefaler minimum 60 °C i hele sirkulasjonssystemet, mens TEK17 anbefaler at sirkulerende vann holder 65 °C. Vannet i sirkulasjonsledninger sirkulerer kontinuerlig med høy temperatur, og rør må derfor dimensjoneres for å hindre erosjonskorrosjon. For kobberør anbefales det at hastigheten ikke overstiger 0.5 m/s [9]. Dersom det benyttes AluPex-rør kan hastigheten økes noe ettersom disse er mindre utsatt for erosjon.

5.2.4 Selvregulerende varmekabel

Funksjon

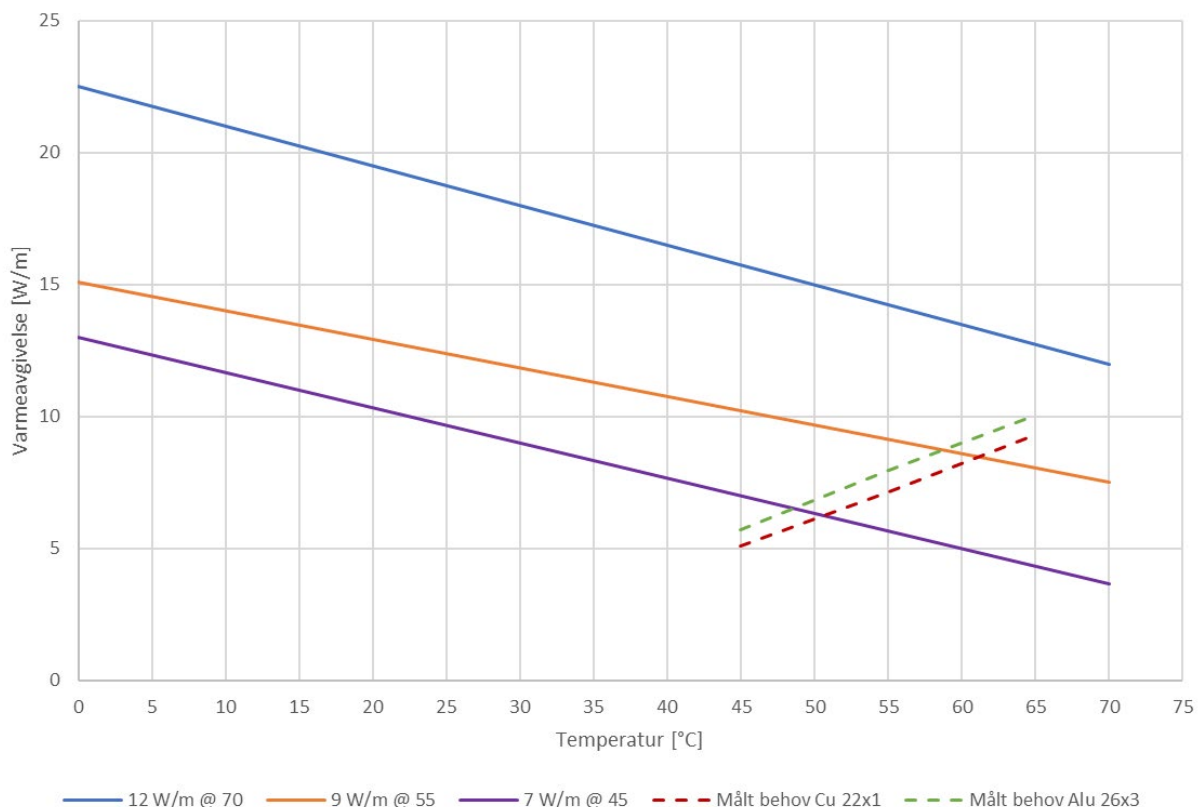
For enkelte anlegg kan bruk av selvregulerende varmekabel være et alternativ til eller et supplement til sirkulasjonsledning.

Selvregulerende varmekabler fungerer ved hjelp av et halvledende materiale mellom to ledere. Det halvledende materialet endrer egenskaper med temperatur og dermed også avgitt effekt. Effekten øker med synkende temperatur.

I prosjektet *VarmtVann2030* ble det gjennomført laborietester der bruk av varmekabel ble sammenlignet med sirkulasjonsledning. Resultatene viser som forventet at ved riktig dimensjonering og sammenlignbar distribusjonstemperatur vil varmekabler ha et betydelig lavere energiforbruk (25–45 %) enn et sirkulasjonssystem for å opprettholde varmtvannstemperaturen, på grunn av færre meter med rør som avgir varme. Det er allikevel flere faktorer som spiller inn ved valg av distribusjonssystem.

Distribusjonstemperatur og hygiene

Vannrapport 123 fra FHI [6] anbefaler at returtemperaturen for sirkulasjonsvannet skal holde minimum 60 °C. De har en tilsvarende anbefaling om at varmekabler skal sørge for at varmtvannet til enhver tid er over 60 °C. Samtidig oppgir de at varmtvannsledninger med stillestående vann gir økt risiko for oppvekst og spredning av legionella og at beredere bør holde minimum 70 °C. På bakgrunn av dette er det vel så viktig at systemer med varmekabel opprettholder tilstrekkelig høy temperatur. Figur 5-6 viser eksempler på effektkurver for noen varmekabler på markedet. De stiplede linjene viser målt energibehov for opprettholdelse av temperatur for henholdsvis kobber og AluPex-rør med innvendig diameter på 20 mm og 20 mm isolasjon. Ved større rørdimensjoner blir effektbehovet høyere. Mange varmekabler er designet for å opprettholde 55 °C. Det vil normalt ikke være tilstrekkelig for å følge anbefalingene fra FHI. Alternativt må man øke isolasjonstykkelsen og/eller effekten fra varmekabelen.



Figur 5-6: Eksempel på effektkurver for selvregulerende varmekabler

Montasje og styring

For at varmekabler skal avgi beskrevet effekt, er det viktig at de monteres korrekt. Kablene må teipes godt fast til røret med aluminiumstape og isoleres godt utenpå.

Som nevnt over kan det være nødvendig å benytte kabler med høyere effekt. For å unngå unødvendig høy temperatur bør det installeres en form for styring som sikrer mot dette.

Det anbefales også at det monteres et overvåkningssystem som sikrer at kablene fungerer etter hensikten og gir alarm ved feil.

Energiforsyning og fleksibilitet

Bruk av varmekabler er en effektiv løsning når det benyttes elektrisitet til oppvarming av varmtvann, men man låser seg til den løsningen. Det vil være krevende å eventuelt ettermontere en sirkulasjonsledning.

Ved bruk av tradisjonelle varmepumper til forvarming, vil disse normalt ikke levere høy nok temperatur til å dekke varmetapet i sirkulasjonskursen, og varmekabel kan være en løsning. Derimot, ved bruk av høytemperatur-varmepumper (for eksempel CO₂), eller andre høytemperatur-kilder, som fjernvarme eller biobrensel, vil det normalt være mer hensiktsmessig å benytte sirkulasjon. Det er også viktig å tenke på at produksjonssystemet normalt byttes oftere enn rørsystemet i et bygg.

5.3 Varmetap i varmesentral

5.3.1 Varmetap fra komponenter

I en varmesentral er det en rekke komponenter som inneholder varmt vann, slik som tanker, kjeler, ventiler, rør etc. Disse avgir varme til rommet og fører til et energitap som må dekkes med ekstra tilført energi.

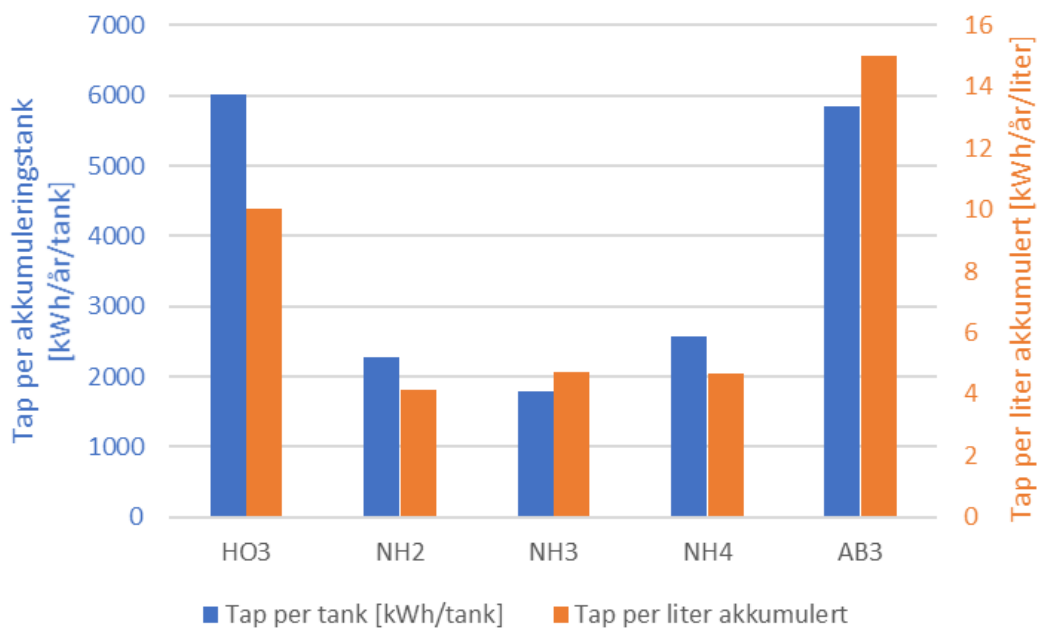
5.3.2 Målte varmetap

Varmetapet fra varmesentralen er målt for noen av byggene i *VarmtVann2030*, og disse byggene har varmtvannssystemer med akkumulertanker. En forutsetning var at det var utstyr på plass som kunne måle energi tilført varmtvannet (elektrisitet til beredere eller avgitt varme fra varmepumper eller nærvarmeanlegg). Energi tilført varmtvannet er innhentet fra byggets EOS-system. Varmetapet fra produksjonssystemet (Q_{tap}) beregnes som differansen mellom varmen som er tilført produksjonssystemet (Q_{prod}) og summen av målt varme til varmtvann (Q_{vv}) og varmetap i distribusjon (Q_{vvc}):

$$Q_{tap} = Q_{prod} - (Q_{vv} + Q_{vvc})$$

Figur 5-7 viser det målte varmetapet per akkumuleringstank, og varmetap per liter akkumulert i tankene. Det er betydelige forskjeller i tapene mellom de ulike byggene. Tabell 5-2 gir en kort beskrivelse av anleggene som kan forklare noen av forskjellene. Det er viktig å huske på at tapet ikke er kun fra tankene, men også fra rør, koblinger og ventiler mellom tankene og frem til og med blandeventil. I tillegg til usikkerhetene knyttet til målingene utført i prosjektet, er det også usikkerheter knyttet til målingene innhentet fra EOS-systemene. Det kan for eksempel være andre komponenter tilknyttet samme kurs, uten at dette er oppgitt, noe som vil føre til at det beregnede energitapet er høyere enn det reelle tapet.

Deklart varmetap fra nye beredere (iht. EN-12897) tilsvarer normalt ca. 1.5 til 2.5 kWh/liter per år, avhengig av tankutforming og størrelse. Generelt kan man se at varmetapet fra systemet ligger langt over dette. Dette skyldes flere ting. Når akkumulertanker testes for varmetap etter EN-12897, gjøres dette under ideelle betingelser der ubrukte stusser og tilkoblinger isoleres bedre enn det som ofte gjøres ute på anlegget. I tillegg slurves det ofte med isolering av ventiler og koblinger når beredere og akkumulertanker tilkobles, noe som fører til et høyere varmetap.



Figur 5-7: Målt varmetap i varmesentral

Tabell 5-2: Kommentarer til utformingen av akkumulatortankene i byggene

Bygg	Kommentar
HO3	8x550 liter eldre beredere. Kompakt utforming
NH2	3x550 liter eldre beredere, tap målt tett rundt beredere
NH3	3x380 liter nye beredere, tap målt tett rundt beredere
NH4	6x550 liter nye beredere (tre til forvarming + tre til ettervarming)
AB3	7x380 liter nye beredere (fire til forvarming + tre til ettervarming), mange uisolerte stusser og rørdeler

5.4 Tiltak for å redusere varmetap i varmesentralen

Selv om det er krevende å forklare de store variasjonene mellom enkelte av byggene, er det en del tiltak som med sikkerhet vil redusere varmetapet i varmesentralen.

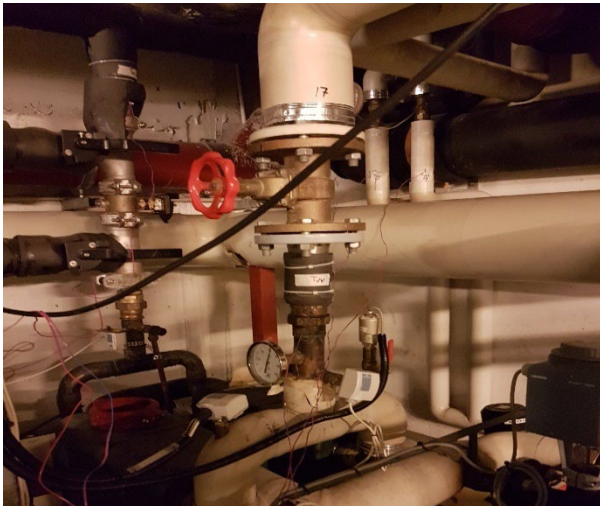
5.4.1 Isolering

Isoleringsevnen til varmtvannsberedere og akkumulatortanker har utviklet seg mye de siste årene, men det er også viktig å isolere alle tilkoblinger og rørføringer mellom tankene.

I motsetning til distribusjonssystemet, som ofte ligger skjult eller trangt, er det normalt enklere å skifte isolasjon på den delen av anlegget som er i varmesentralen. Gjennom prosjektet har det blitt observert flere anlegg der det er benyttet cellegummi med liten tykkelse (typisk 10 mm) på varmtvanns- og sirkulasjonsledning i sentralen. Bruk av cellegummi på slike steder er spesielt utfordrende, fordi den blir sprø ved lang tids eksponering for varme, og røranleggene er i tillegg ofte utsatt for mekanisk slitasje ved annet arbeid. Tynn isolasjon vil også medføre høyere varmetap (se Figur 5-5).

I tillegg slurves det ofte med isolering av ventiler og koblinger. I varmesentraler er det tett mellom ventiler og koblinger, og mangelfull isolasjon av disse kan føre til unødvendige varmetap. Figur 5-8 viser to eksempler på dårlig og slurvete isolering. Figur a) viser et anlegg hvor isolasjon er fjernet i forbindelse med noen arbeider, men i etterkant har komponenter og rør ikke blitt isolert på nytt.

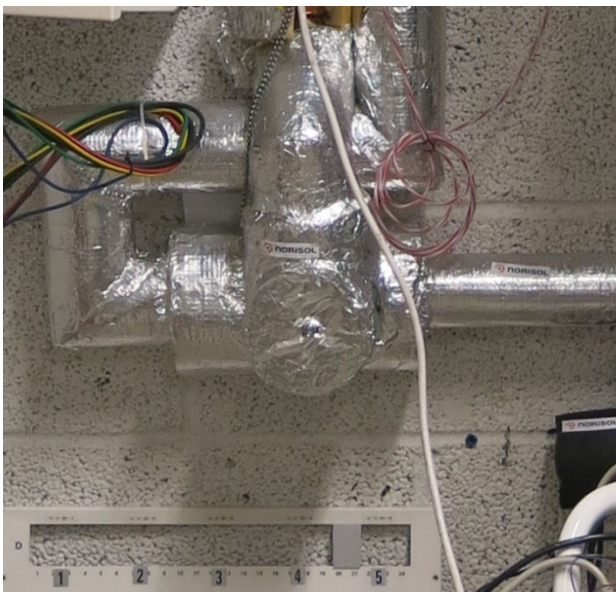
Figur b) viser et anlegg isolert med cellegummi, der cellegummien har sprukket opp og falt av i bendene. I tillegg er tilkoblingene til tankene ikke isolert. Figur 5-9 viser to eksempler på god isolering. Figur a) viser en isolert blandeventil. Dette var det eneste eksempelet på isolert blandeventil som ble funnet gjennom hele *VarmtVann2030*-prosjektet. Figur b) viser isolering med mineralullskåler beskyttet av plastkapsling. Her er også isolasjonen dratt helt inn til berederen, noe som ofte ikke er gjort, selv på helt nye anlegg.



a)
Figur 5-8: Eksempler på dårlig isolering



b)



a)
Figur 5-9: Eksempler på god isolering



b)

5.4.2 Dimensjonering

Dimensjonering av beredersystemer kan være krevende fordi det er stor usikkerhet i forbruket, og ofte legges det inn store sikkerhetsmarginer. Overdimensjonering gir flere og/eller større beredere og flere rør og tilkoblinger, noe som igjen fører til økt varmetap. Et alternativ for å unngå overdimensjonering kan være å bruke modulære systemer og sette av plass i teknisk rom ved behov. En slik løsning er mer krevende dersom det benyttes kombinasjoner av lav- og høytemperatur varmekilde, som for eksempel varmepumper.

5.4.3 Kompakte anlegg

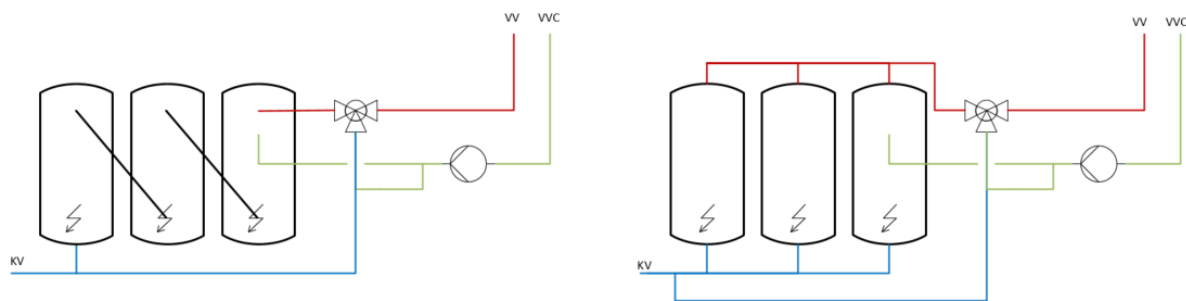
Det er betydelig varmetap i koblinger mellom beredere, og fra beredere til blandeventiler. Det er derfor gunstig å bygge anlegget så kompakt som mulig (samtidig som man sikrer oversiktighet og utskiftbarhet). Normalt vil også et anlegg med få store tanker ha lavere varmetap enn et anlegg med mange små tanker, men tankstørrelser er ofte begrenset av rommets utforming og åpninger for inn- og uttransport. Anlegg som krever god temperatursiktning (for eksempel CO₂-tappevannssvarmepumper eller solfangeranlegg), vil kunne ha bedre driftsbetingelser med flere mindre og smalere tanker.

6 Produksjonssystemer og dekningsgrader

I dette kapitlet diskuteres ulike produksjonssystemer for varmtvann. I større anlegg produseres varmtvann normalt ved hjelp av en eller flere oppvarmingskilder og et akkumulatorsystem/beredersystem. Et unntak er systemer som bruker fjernvarme, hvor dette gjerne er eneste varmekilde, og hvor det ofte ikke brukes akkumulatortanker.

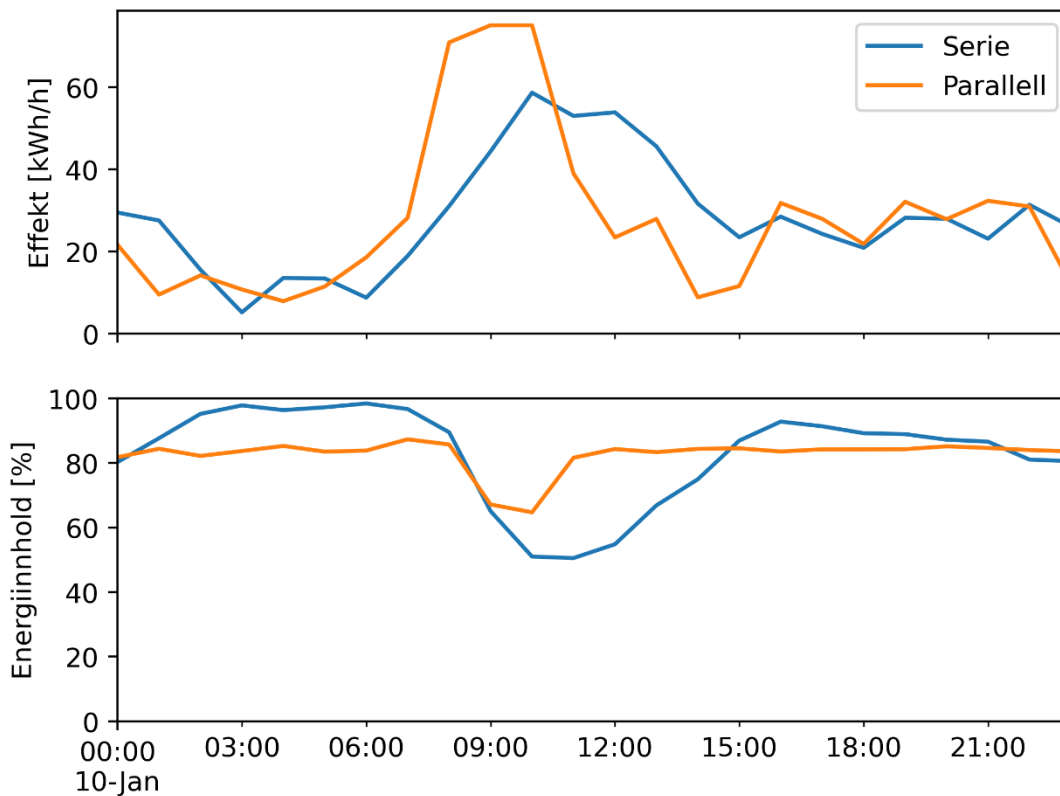
6.1 Beredersystemer

Mange varmtvannsanlegg bygges fortsatt med kun elektriske varmtvannsberedere. For større anlegg er det behov for å koble sammen flere beredere. Det finnes to hovedprinsipper for sammenkobling av beredere: seriekobling og parallellkobling (se Figur 6-1). Ved seriekobling strømmer alt vannet gjennom alle berederne, mens ved parallellkobling fordeles vannet likt mellom berederne. Det finnes fordeler og ulemper ved begge koblingstypene [10], men normalt foretrekkes seriekobling. Årsaken til dette er i hovedsak at parallellkobling er mer utsatt for feil: Man må være svært nøye på at trykktapet i forgreningene og tilkoblingene er likt, for å sikre lik fordeling, og dersom ett varmeelement blir ødelagt, forstyrrer dette temperaturen på varmtvannet ut på anlegget. For store anlegg kan trykktapet ved kun seriekobling bli for høyt. Da kan man også benytte en kombinasjon av serie- og parallellkobling.



Figur 6-1: Prinsippskisse for seriekobling (venstre) og parallellkobling (høyre) av beredersystemer. Nødvendige ventiler og utstyr er ikke vist.

En annen forskjell mellom serie- og parallellkobling er hvordan de utnytter kapasiteten i varmeelementene. I parallellkoblede systemer kommer kaldt vann inn i bunnen på alle tankene og termostaten slår inn. Dette fører til at alle elementene brukes samtidig og omtrent like mye. For seriekoblede beredere er det kun elementet i den første tanken som slår inn når tappingen begynner, mens de resterende aktiveres etter hvert som tanksystemet tømmes. Med tanke på vedlikehold kan det være en fordel at alle elementene brukes omtrent like mye, men det kan gi høyere effekttopper. Dette gjelder for eksempel for hoteller, som har veldig tydelige effekttopper om morgenen. Figur 6-2 viser et eksempel fra en simulering av seriekoblet og parallellkoblet beredersystem for HO3. Den øverste figuren viser det som vil være målt effekt fra en strømmåler (kWh/h), mens figuren under viser det relative energiinnholdet i tankene. Energiinnholdet er definert ut fra gjennomsnittlig temperaturnivå i hver tank, der temperatur lik setpunkt-temperaturen tilsvarer 100 % og 40 °C tilsvarer 0 %. Man kan se at det parallellkoblede systemet får en høyere effekttopp under tapping, og at det skrur seg raskere av igjen. Samtidig kan man se at energiinnholdet i de parallellkoblede tankene ikke synker like lavt. Det er altså noe høyere kapasitet i det parallellkoblede systemet. Årsaken til at energiinnholdet i det parallellkoblede systemet aldri kommer over ca. 85 %, er at det i alle tankene vil være et inaktivt volum under varmeelementene, som i liten grad varmes opp. Dette problemet gjelder kun den første tanken i det seriekoblede systemet.



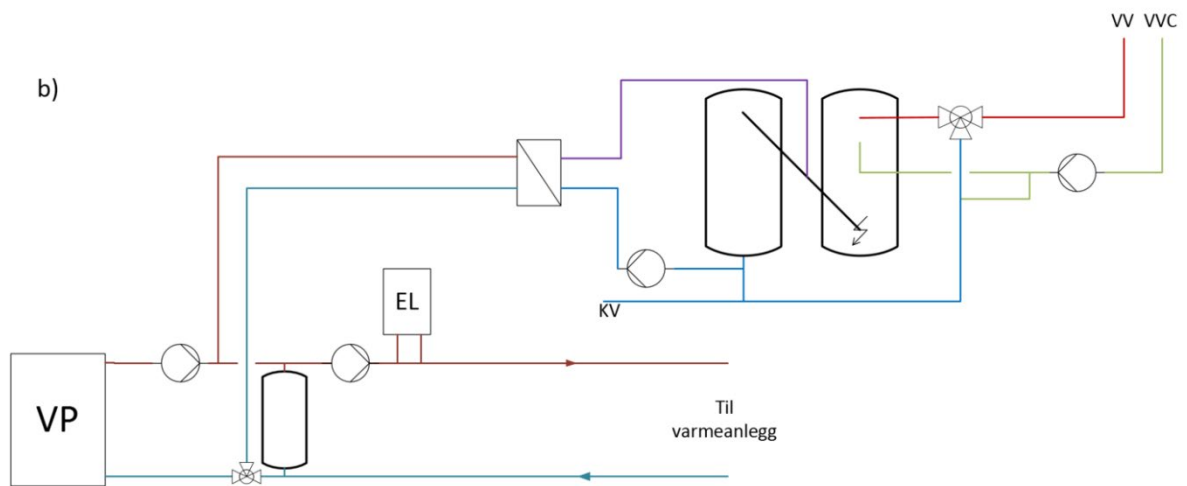
Figur 6-2: Eksempel på forskjell i energi/effektbruk for serie- og parallellkoblet beredersystem. Effekt per time øverst og energiinnhold i akkumulatortsystemet nederst.

6.2 Flexibilitet i beredersystemer

I forbindelse med forventet økning av elektrisitetsforbruket, nye energibehov (slik som elbillading), mer uregulerbar kraftproduksjon og nødvendig utbygging av nettet, er det stort fokus på fleksibel sluttbruk av strøm. Dette betyr at energibruken kan flyttes i tid, reduseres eller økes, helst uten at det påvirker komforten til brukeren. Forbrukerflexibilitet kan defineres som energiforbrukeres evne og vilje til å bytte energibærer eller endre sitt energibruk på kort eller mellomlang sikt [11].

I Norge er hovedmålet for fleksibilitetsutnyttelse å redusere forbrukstoppene i strømmettet, samt å forbedre frekvenskontroll. De målte toppene for varmtvannsforbruk om morgenen og ettermiddagen (for boliger) vist i kapittel 3, sammenfaller ofte med forbrukstoppene i strømmettet, og dermed også med de høyeste spotprisene. Siden mange varmtvannssystemer har beredere, kan ofte energibruken flyttes i tid, uten at dette påvirker brukeren. Det har blitt gjort flere studier på fleksibilitetspotensialet for varmtvannsberedere. Hovedfokuset har ofte vært på husholdningsberedere [12], men også større beredersystemer i for eksempel hoteller, sykehjem eller boligblokker kan utnyttes. Prosjektet *VarmtVann2030* har vist at disse beredersystemene ofte er rikelig dimensjonert, noe som øker fleksibilitetspotensialet.

I dag er AMS-målere installert i de fleste bygg, og de måler strømbruk hver time. Dette har muliggjort fakturering på timenivå, for energi (spotpriser) og effekt. Bygg med felles strømbaserte varmesentraler betaler gjerne effektledd for høyeste timesforbruk per måned. Effektledd i nettleien kan gi sluttbrukeren et insentiv til å styre bruken av varmtvannsberedere noe smartere. Per i dag er gevinsten for de fleste såpass liten at det er krevende å dekke inn kostnader for eventuelle styringssystemer, særlig for kunder uten effektledd. Det forventes at det i årene fremover både vil skje en utvikling innen "smart" styring av beredersystemer, og at strømpriser og nettleie i større grad vil gjøre implementering av slike løsninger lønnsomt.

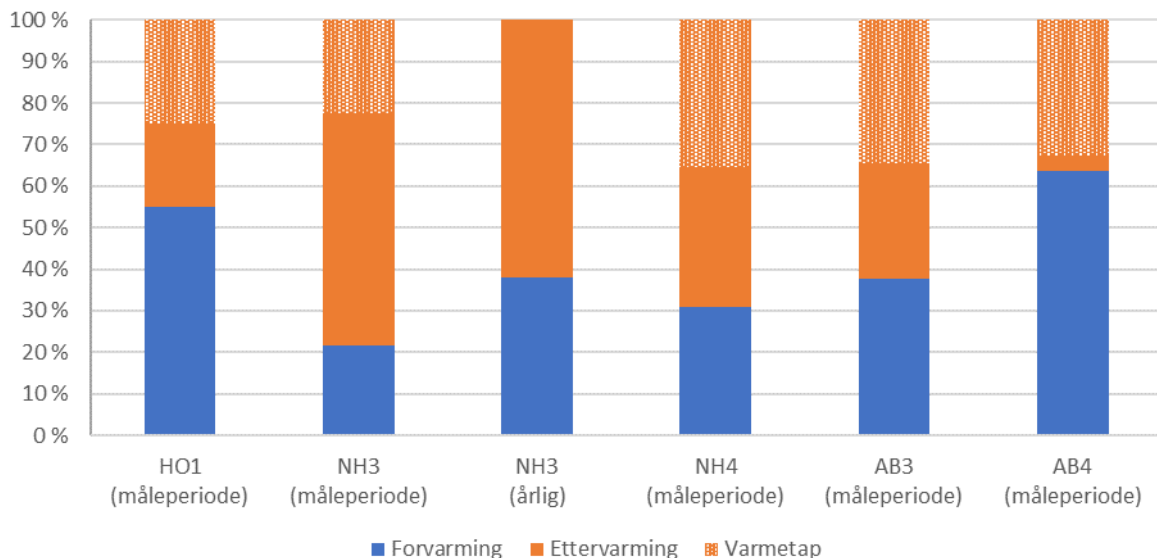


Figur 6-3: To prinsipper for tilkobling av forvarmingskilde ved bruk av tradisjonell varmepumpe
a) tilkobling med varmekurs
b) tilkobling med prioriteringsventil for tappevann (vekselventil)

6.3.3 Målte resultater

Noen av byggene hvor det er gjennomført målinger har en kombinasjon av oppvarmingskilder, med en forvarmingskilde og en ettervarmingskilde, og samtidig en mulighet for å måle/samle data for å se energi levert fra hver av kildene.

Figur 6-4 viser målt dekningsgrad for forvarming og ettervarming i seks bygg. For fem av byggene er ettervarmingen delt i to, for å vise varmetapet inkludert sirkulasjon. Normalt må ettervarmingsystemet dekke mesteparten av varmetapet (på grunn av høy returtemperatur i sirkulasjonen), men for noen av byggene (NH4, AB3 og AB4) vil noe av varmetapet fra forvarmingstankene dekkes av forvarmingskilden. Dette er ikke mulig å skille ut. Tabell 6-1 gir tilleggsinformasjon om byggene og systemene.

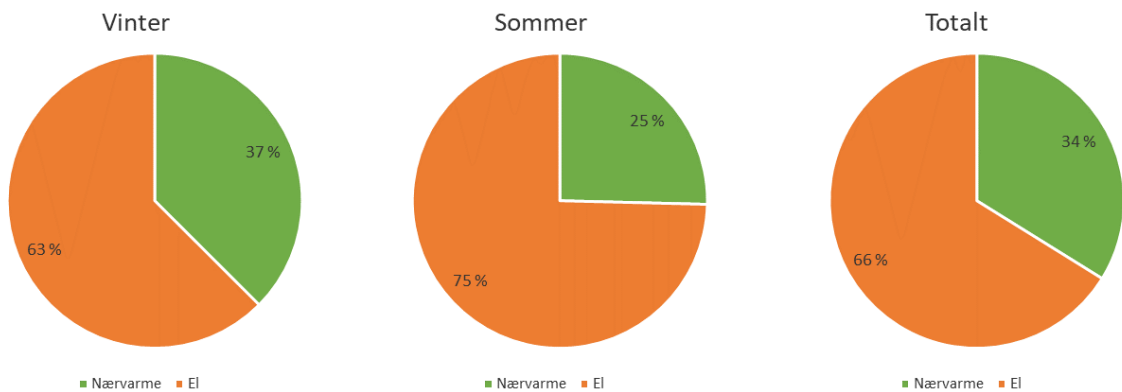


Figur 6-4: Målt dekningsgrad av forvarming og ettervarming

Tabell 6-1: Informasjon om målte dekningsgrader

Bygg	\overline{T}_{kv}	\overline{T}_{for}	\overline{T}_{ett}	System
HO1	4.8 °C	48.2 °C	64.3 °C	Forvarming med avtrekksvarmepumpe, ettervarming med fjernvarme
NH3	11.8 °C	41.4 °C	71.2 °C	Forvarming med nærvarme, ettervarming med bereder
NH4	5.7 °C	38.7	Ukjent (ca. 70-75 °C)	Forvarming med bergvarmepumpe, ettervarming med bereder
AB3	5.9 °C	ca. 55 °C	69.5	Forvarming med nærvarme, ettervarming med bereder
AB4	6.4 °C	ca. 55/85 °C	64.5	Forvarming med bergvarmepumpe med vekselventil og hetgassvarmeveksler, ettervarming med bereder

I Figur 6-4 kan en se at NH3 (måleperiode) ligger klart lavest. Dette skyldes delvis at målingene ble gjennomført sommerstid. Forvarmingen skjer via et utetemperaturkompensert nærvarmenett. En kombinasjon av høy inngående kaldtvannstemperatur og lav temperatur på forvarmingskilden, gir lavt potensiale for forvarming. Dette kommer tydelig frem i Figur 6-5, som viser dekningsgrad for henholdsvis vinter, sommer og totalt for NH3.



Figur 6-5: Forskjell på dekningsgrad for forvarming for NH3 i ulike sesonger.

Av de målte byggene er det AB4 som oppnår høyest dekningsgrad. I dette bygget er en gammel oljefyr byttet ut med en varmepumpeløsning med energibrønner. Det benyttes to varmepumper, der den ene har tappevannsprioritering og hetgassvarmeveksler for ettervarming av varmtvann. Dette anlegget ble igangsatt i oktober 2018. Fra systemets EOS-anlegg er det innhentet måledata for første driftsår som viser en dekningsgrad på 66 % i snitt, der 11 prosentpoeng dekkes av hetgassvarmeveksleren. Enkelte måneder er dekningsgraden over 70–80 %. En fordel med å bruke hetgassvarmeveksler er at den har høy nok temperatur til at den også kan dekke deler av sirkulasjonsvarmetapet og varmetapet i ettervarmingstankene.

6.3.4 Simulering av forvarmingssystemer

Modellen

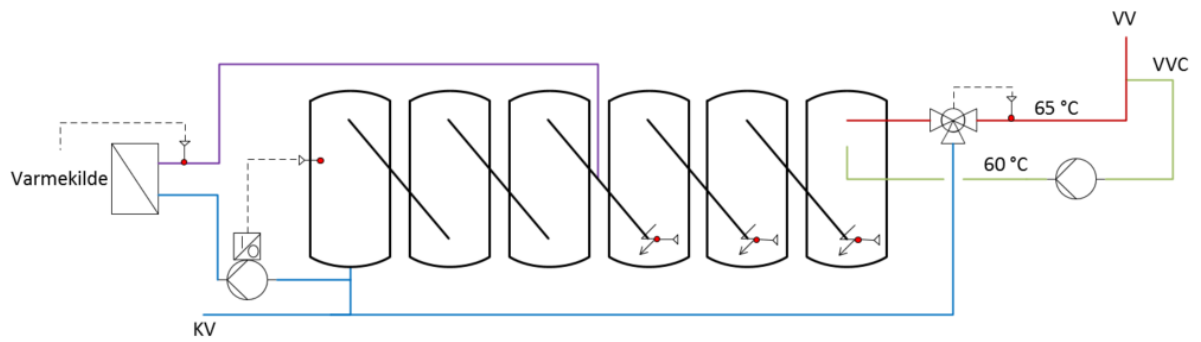
For å studere dekningsgraden av ulike systemutførelser mer i detalj, er det utviklet en dynamisk simuleringmodell for produksjonssystemer for varmt tappevann.

Modellen er utviklet i modelleringspråket Modelica [13] og bruker komponenter fra Modelica Buildings-biblioteket [14].

Modellen er dimensjonert for en boligblokk tilsvarende AB4, og måledata for varmtvannsforbruk fra dette bygget er benyttet for å lage en årlig varmtvannprofil, som bestemmer mengden varmtvann. Figur 6-6 viser en prinsippskisse av systemet som er simulert, og Tabell 6-2 viser de viktigste modellparametrene. Systemet er laget generisk, for å vise effekten av ulike forvarmingskilder.

COP for forvarmingskilden beregnes basert på temperaturen ut fra forvarmingsvarmeveksleren. En modell beskrevet i SN-NSPEK 3031 [5] er benyttet, med en COP på 4.3 ved 35/0 °C. Kildetemperaturen for varmepumpen antas konstant lik 0 °C gjennom hele året. Det antas at varmepumpen kun kan levere opp til 55 °C. Dersom temperaturen ut fra forvarmingsvarmeveksleren er over 55 °C, så er COP for temperaturløftet fra 55 °C og opp lik 1.

Temperaturnivået i systemet avhenger av utetemperaturen, med utekompenseringskurver beregnet ut fra prosedyren beskrevet i [15]. Det er forutsatt at dimensjonerende utetemperatur (DUT) er -20 °C. Ved utetemperaturer høyere enn 15 °C holdes temperaturnivået i systemet konstant. Utekompenseringskurvene brukes direkte til å bestemme temperaturen ut fra forvarmingsvarmeveksleren.



Figur 6-6: Prinsippkisse av simuleringsmodell for forvarming

Tabell 6-2: Modellparametere

Parametere	Verdi
Årlig energiforbruk til varmtvann (netto)	176 000 kWh
Varmetap sirkulasjonsledning	35 400 kWh
Temperatur varmtvann etter blandeventil	65 °C
Temperatur retur sirkulasjon	60 °C
Forvarmingstanker	3 x 500L
Vannmengde forvarmingspumpe	0.15 l/s
Setpunkt start pumpe	Forvarmingstemperatur – 13 °C
Setpunkt stopp pumpe	Forvarmingstemperatur – 3 °C
COP varmepumpe	Iht. N-SPEK 3031. $COP_{0/35} = 4.3$
Ettervarmingstanker	3 x 500l, 15 kW
Hysterese termostat	± 2.5 °C
Innkommende kaldtvannstemperatur	Sinusurve gjennom året iht. [16]. Snitt 6.3 °C

Simulerte caser

For å studere effekten av tilkobling og styring er det valgt ut noen eksempelsystemer (caser), se Tabell 6-3. Case 1 til 3 viser effekten av ulike utekompenseringskurver ved tilkobling av forvarming til varmeanlegget, som vist i Figur 6-3 a). Eksempelvis beskriver varmeanlegg 50–30 (case 1) et varmeanlegg med 50 grader turtemperatur og forvarming ved DUT. Varmt vannet ettervarmes deretter til 70 °C med elektriske beredere.

Case 4 til 6 viser effekten av ettervarmingstemperatur når det benyttes varmepumpe med vekselventil, som vist i Figur 6-3 b). I alle disse tre eksemplene leverer forvarmingskilden 55 °C til varmeveksleren, uavhengig av temperaturen levert til varmeanlegget. Varmt vannet ettervarmes deretter til henholdsvis 67.5 °C, 70 °C eller 72.5 °C.

Tabell 6-3: Beskrivelse av simulerte eksempelsystemer (caser)

Case	Navn	Beskrivelse	Forvarming	Ettervarming
1	50-30	Varmeanlegg 50-30	Utekompensert	70 °C
2	60-40	Varmeanlegg 60-40	Utekompensert	70 °C
3	80-60	Varmeanlegg 80-60	Utekompensert	70 °C
4	55_70	Vekselventil 70	Fast 55 °C	70 °C
5	55_67.5	Vekselventil 67.5	Fast 55 °C	67.5 °C
6	55_72.5	Vekselventil 72.5	Fast 55 °C	72.5 °C

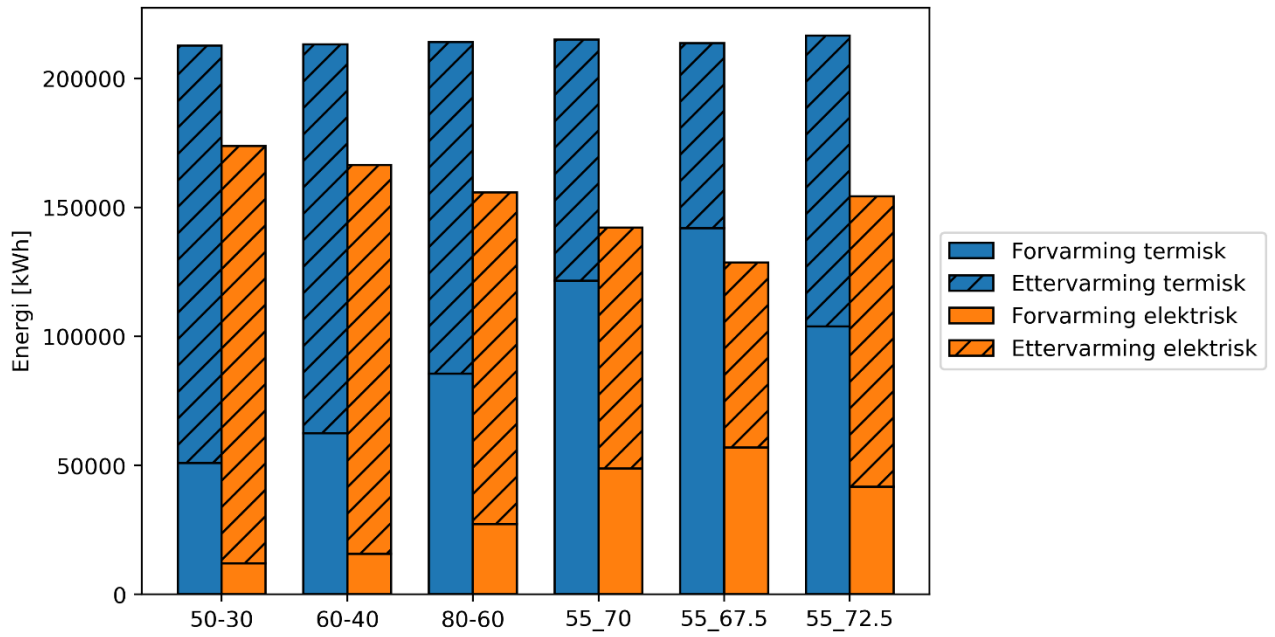
Resultater

Figur 6-7 viser beregnet termisk energibruk og elektrisitetsbruk for de ulike casene. En kan se at total termisk energibruk er tilnærmet lik for alle casene, mens det er betydelig forskjell i elektrisitetsbruken.

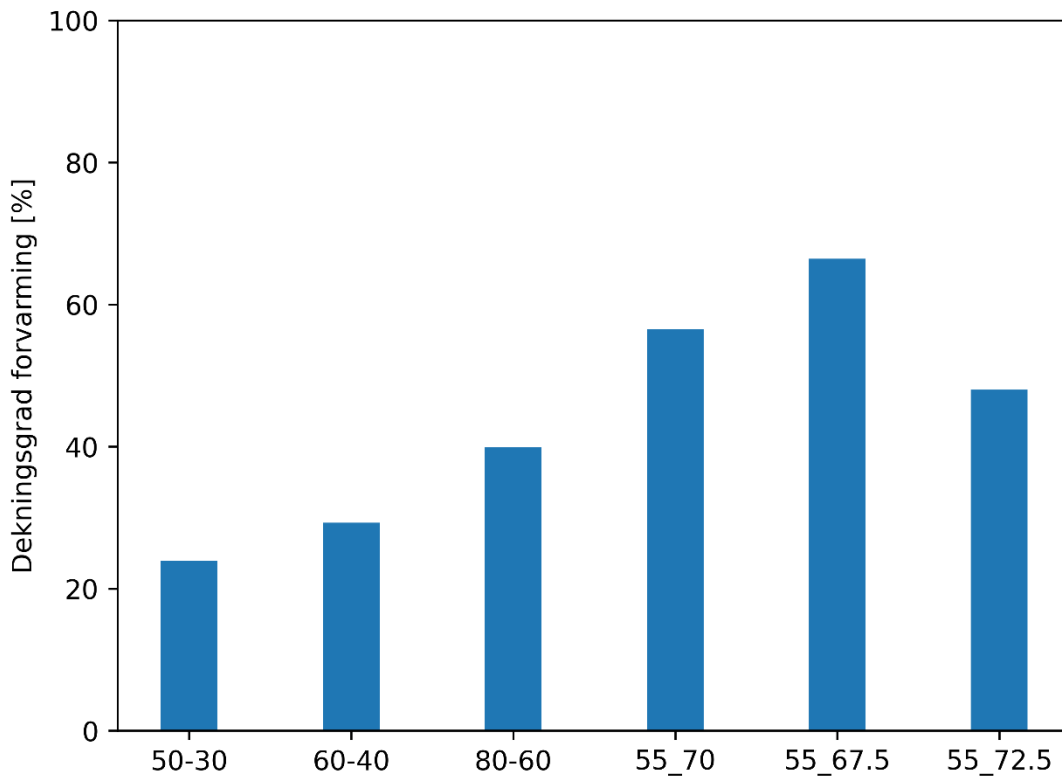
I case 1 til 3 gir en økende temperatur på varmeanlegget et lavere totalt elektrisitetsforbruk, på grunn av at dekningsgraden øker (se Figur 6-8). Dette skjer selv om COP-en for varmepumpen er høyere ved lavere temperaturer (se Figur 6-9). Total elektrisitetsbruk og total COP tar for øvrig ikke hensyn til drift av varmeanlegget for romoppvarming, kun dekningsgrad tilknyttet tappevann. Det betyr at for anlegg der forvarmingen er koblet til varmeanlegget, så kan det fortsatt være mest gunstig å holde en lav temperatur, totalt sett.

Systemene med vekselventil (case 4 til 6) har generelt en bedre systemvirkningsgrad enn systemene med tilkobling til varmeanlegget (case 1 til 3). I case 4 til 6 får varmepumpen lavere virkningsgrad for forvarming på grunn av høyere temperatur, men dette veies mer enn opp av betydelig høyere dekningsgrad for varmtvannet. Figur 6-10 viser hvordan gjennomsnittlig dekningsgrad for hver måned endrer seg gjennom året for henholdsvis case 3 (80-60) og case 4 (55_70). I de kalde periodene er dekningsgraden relativt lik, mens om sommeren har systemet med vekselventil mye høyere dekningsgrad. Figur 6-11 viser tilsvarende hvordan COP forandrer seg gjennom året, for selve varmepumpen og totalt for systemet. Når varmeanlegget opererer med lavere turtemperatur om sommeren, stiger COP for varmepumpen, men fordi dekningsgraden synker, så synker også COP for hele systemet.

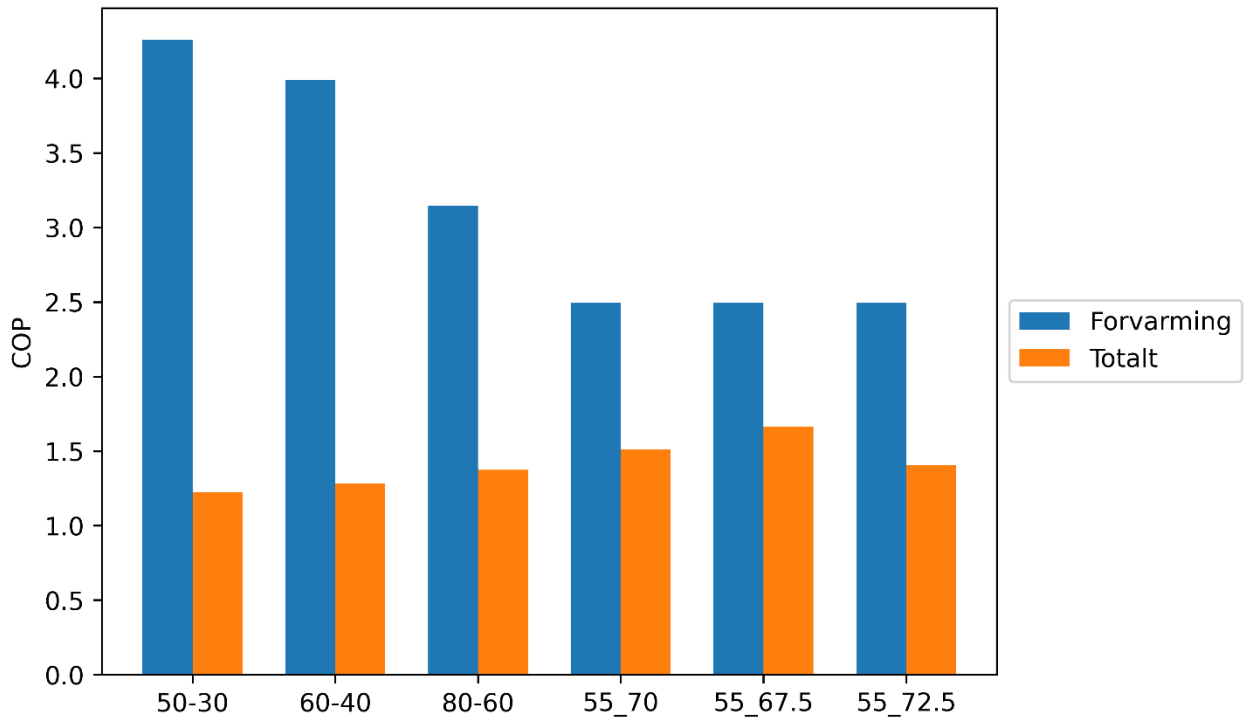
Resultatene viser også at temperatur i ettervarmingstankene har en betydelig effekt på total systemvirkningsgrad. Ved å redusere setpunktet ned 2.5 °C, reduseres totalt elektrisitetsforbruk med ca. 10 %. Dette skjer fordi forvarmingen dekker en større andel av temperaturløftet opp til lagringstemperaturen.



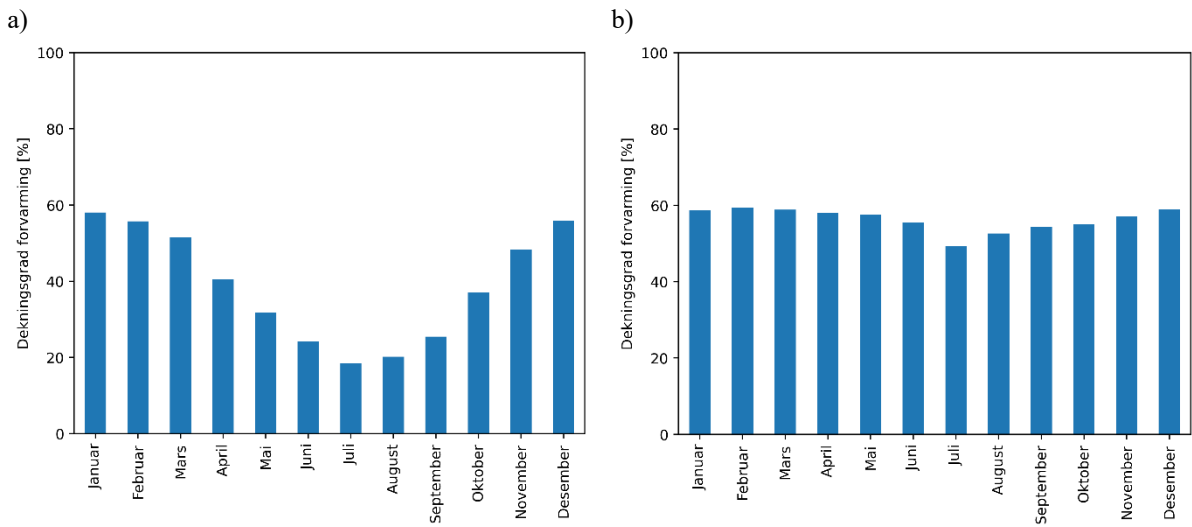
Figur 6-7: Simulert termisk energibruk (blå) og elektrisitetsbruk (oransje) for henholdsvis forvarming og ettervarming (skravert)



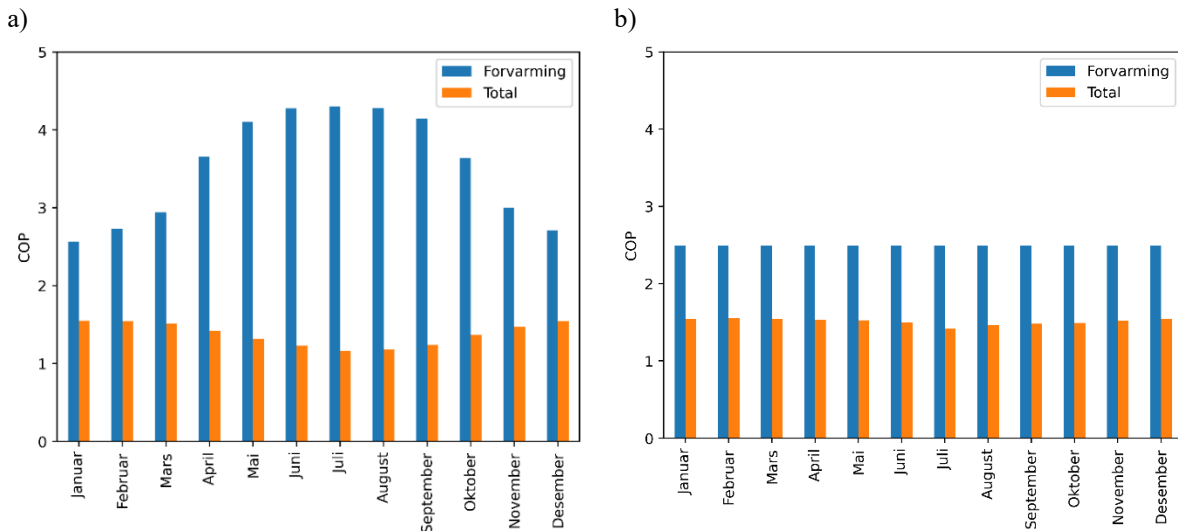
Figur 6-8: Simulert dekningsgrad av forvarmingsystem



Figur 6-9: Simulert COP for forvarmingskilden (blå) og totalt for systemet (oransje).



Figur 6-10: Sammenligning av dekningsgrad gjennom året for
a) tilkobling mot varmeanlegg med 80-60 system
b) tilkobling med vekselventil (55_70)



Figur 6-11: Sammenligning av COP gjennom året for
a) tilkobling mot varmeanlegg med 80-60 system
b) tilkobling med vekselventil (55_70)

6.4 CO₂-varmepumper

Prosjektet har ikke gjennomført målinger på anlegg med CO₂-tappevannsvarmepumper. Dette er teknologi som ansees å være godt egnet for bruk til tappevannsproduksjon, fordi varmepumpene kan produsere varmt tappevann med temperaturer opp mot 90 °C uten ettervarming og med høye virkningsgrader. Mer detaljer om CO₂-varmepumper og systemløsninger finnes blant annet i NKFs kompendium om CO₂ [17].

Det finnes flere eksempler på installering av CO₂-tappevannsvarmepumper i eksisterende boligblokker, blant annet [18]. Dette kan være en god løsning for boligblokker som har elektrisk punkttoppvarming og felles varmtvannssystem, samt i andre bygg med høyt tappevannsforbruk. Det opereres gjerne med COP på over 4, men dette krever riktig dimensjonering og god drift. Boligbygg Oslo KF gjennomfører et EPC-prosjekt (2017–2025) der de installerer totalt 36 CO₂-tappevannsvarmepumper. Gjennomføringsfasen var planlagt avsluttet 1. januar 2021. Per 17.11.2020 varierte målt COP for de installerte varmepumpene fra 1.8 til 2.8 [19]. Dette er langt under den prosjekterte verdien. Årsaken til de lave COP-ene er ikke kjent, og per dags dato arbeides det fortsatt med utbedringer.

Et viktig element ved installasjon av CO₂-tappevannsvarmepumper er håndtering av sirkulasjon. Varmepumpen er avhengig av lave temperaturer på vannet inn på gasskjøleren for å fungere optimalt. Dette kan være utfordrende i perioder med lavt forbruk (f.eks. om natten). Ofte løses dette ved bruk av elektrisk ettervarming av sirkulasjonsvannet. Ved slike løsninger anbefales det at man også måler strømforbruket til ettervarmeren, for å få oversikt over total COP for systemet.

7 Dimensjonering av beredersystemer

Dette kapittelet går gjennom dimensjonering av beredersystemer og sammenligner typiske dimensjoneringsstall med måledataene fra prosjektet *VarmtVann2030*. Kapittel 7.1 gir en kort innføring i grunnleggende dimensjonering av varmtvannsberedere.

7.1 Prinsipper for dimensjonering av beredersystemer

Mer detaljer og fremgangsmåte for dimensjonering av varmtvannsberedere finnes i *Prenøk* [20] og *Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer* [15]. Fokus her er på metode for dimensjonering av større berederanlegg basert på forbruk og dimensjoneringsperiode. Denne metoden forutsetter at man har en forventet dimensjonerende forbrukskurve. Ofte har man ikke dette tilgjengelig, og det benyttes i stedet erfaringstall og tommelfingerregler.

Hovedligningen for dimensjonering av beredere er vist under, og kalles ofte for berederligningen:

$$Q = a * V + E * t$$

Der:

Q = tilgjengelig energi

V = tilgjengelig volum

a = akkumuleringsfaktoren (kWt/liter)

E = tilgjengelig effekt fra varmekilde (kW)

t = dimensjoneringsperiodens lengde

Akkumuleringsfaktoren a er en funksjon av minste tillatte tappetemperatur (T_{min}) og akkumuleringsstemperatur (T_{akk}) og kan finnes ved følgende ligning [15]:

$$a = 7.5 * 10^{-3} * (1.55(T_{akk} + 1.2) - T_{min})$$

Ved $T_{akk}=75$ °C og $T_{min}=40$ °C blir $a = 0.06$, mens ved $T_{akk}=70$ °C og $T_{min}=45$ °C blir $a = 0.05$, som gir 20 % større volum.

Dimensjoneringsperiodens lengde t beregnes ut fra forbrukskurven og defineres som den lengste perioden fra tidspunktet forbruket er høyere enn tilført effekt og frem til lageret igjen lades opp. Se [14] og [19] for hvordan dette kan leses ut fra en kumulativ forbrukskurve. Merk at dimensjoneringsperioden vil endres med tilgjengelig effekt. Jo høyere tilgjengelig effekt, jo kortere dimensjoneringsperiode.

For boligblokker settes dimensjoneringsperioden normalt til rundt 2.5 timer, mens den gjerne er noe kortere for hoteller og dusjanlegg.

Tilgjengelig effekt fra varmekilden E er den delen av den installerte effekten E_{ins} , fra varmekilden som er tilgjengelig i dimensjoneringsperioden. Det benyttes en korreksjonsfaktor τ som er avhengig av kildetype og systemoppbygning:

$$E = \tau * E_{ins}$$

For anlegg med en ekstern varmekilde der oppvarmet varmtvann tilføres i toppen av berederen, er korreksjonsfaktoren = 1. For sammenkoblede elektriske beredere benyttes ofte $\tau = 0.9$ eller 0.8 for henholdsvis parallellkoblede og seriekoblede beredere. For dimensjoneringsperiode under 2 timer bør τ reduseres noe for celleberedere [15].

Ved dimensjonering av beredere omformuleres berederligningen:

$$V = \frac{Q - \tau * E_{ins} * t}{a}$$

Q er nå nødvendig levert energi i dimensjoneringsperioden.

7.2 Typiske verdier fra litteratur

Ved dimensjonering av anlegg må man ofte basere seg på tidligere erfaringer, fordi det ikke finnes målinger fra det aktuelle bygget. I tillegg til at berederleverandører har sine erfaringstall, finnes det også noen åpne kilder, som for eksempel [10], se Tabell 7-1. For hoteller og sykehjem er det normalt antall rom/gjester som er dimensjonerende, mens det for boliger benyttes antall leiligheter.

Tabell 7-1: Erfaringsverdier for dimensjonering av beredersystemer [10].

Type anlegg	Dimensjonerings- periodens varighet Δt [timer]	Andel av daglig energiuttak i dimensjoneringsperioden ΔQ [%]
Enkeltbolig	3	50
Kontor og forretningsbygg	2	40
Hotell, by	3	60
Hotell, høyfjell og konferanse	1	60
Skole, dusj	7 eller 0,75	hhv. 100 eller 10
Sykehus	2	30

For boligblokker benyttes begrepet normalboliger, som beskriver en typisk treromsleilighet. Det kan så gjøres korreksjoner ved avvik (antall beboere/soverom, badekar etc.). Dimensjoneringsperioden øker normalt med antall leiligheter, men vil også avhenge av antall yrkesaktive beboere.

7.3 Resultater fra målingene

For alle måleseriene er det gjort en analyse for å finne dimensjoneringsperioden t og Q som funksjon av tilgjengelig effekt E . Hver måleserie er analysert med en oppløsning på 5 minutter, for å finne dimensjonerende døgn. Resultatet for henholdsvis hoteller, sykehjem og boligblokker er vist i Figur 7-1, Figur 7-2 og Figur 7-3. Resultatene er vist som en funksjon av tilgjengelig effekt per dimensjonerende enhet (hotellrom/sengerom/leilighet). Graf a) viser dimensjoneringsperioden. Ved lavere tilgjengelig effekt øker dimensjoneringsperioden. Da øker også andelen av daglig energibehov innenfor dimensjoneringsperioden (graf b) og dimensjonerende energi i dimensjoneringsperioden (graf c). Dermed øker også behovet for installert akkumuleringsvolum (graf d). Volumet er basert på berederligningen, med korreksjonsfaktor = 1.0 og akkumuleringsfaktor = 0.05. Ved bruk av lavere korreksjonsfaktor vil kurvene flytte seg til høyre, mens høyere akkumuleringsfaktor vil flytte kurvene nedover. Typisk vil seriekoblede beredersystemer ha noe lavere korreksjonsfaktor, men noe høyere akkumuleringsfaktor.

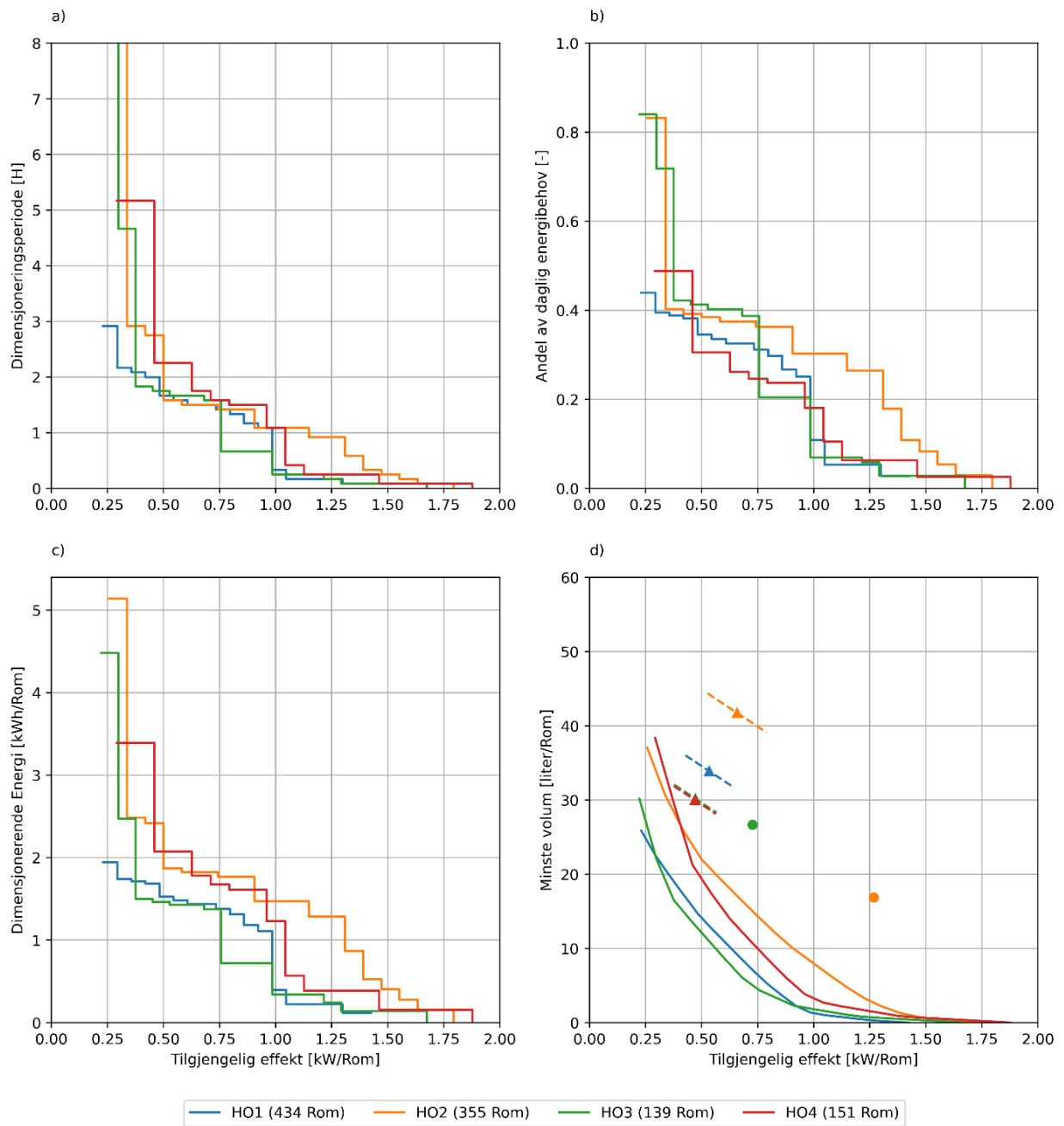
For hoteller må man være klar over at figuren viser dimensjonerende behov per rom, mens det er antall gjester/personer som normalt er dimensjonerende og gjerne brukes i dimensjoneringstabeller. Ved høy belastning kan antall gjester være opp mot 2 per rom. For boligblokkene er alle leilighetene antatt å være normaleleiligheter. For blokk AB1 og AB2 (kommunale boliger) er en del av leilighetene mindre enheter med kun ett soverom. Likevel ser man fra målingene at forbruket per leilighet er tilsvarende de blokkene med normaleleiligheter (treroms).

Figurene under er basert på målt varmtvannsforbruk og inkluderer ikke varmetap i beredersystem og sirkulasjon. For normale anlegg påvirker dette varmetapet i liten grad dimensjoneringen av

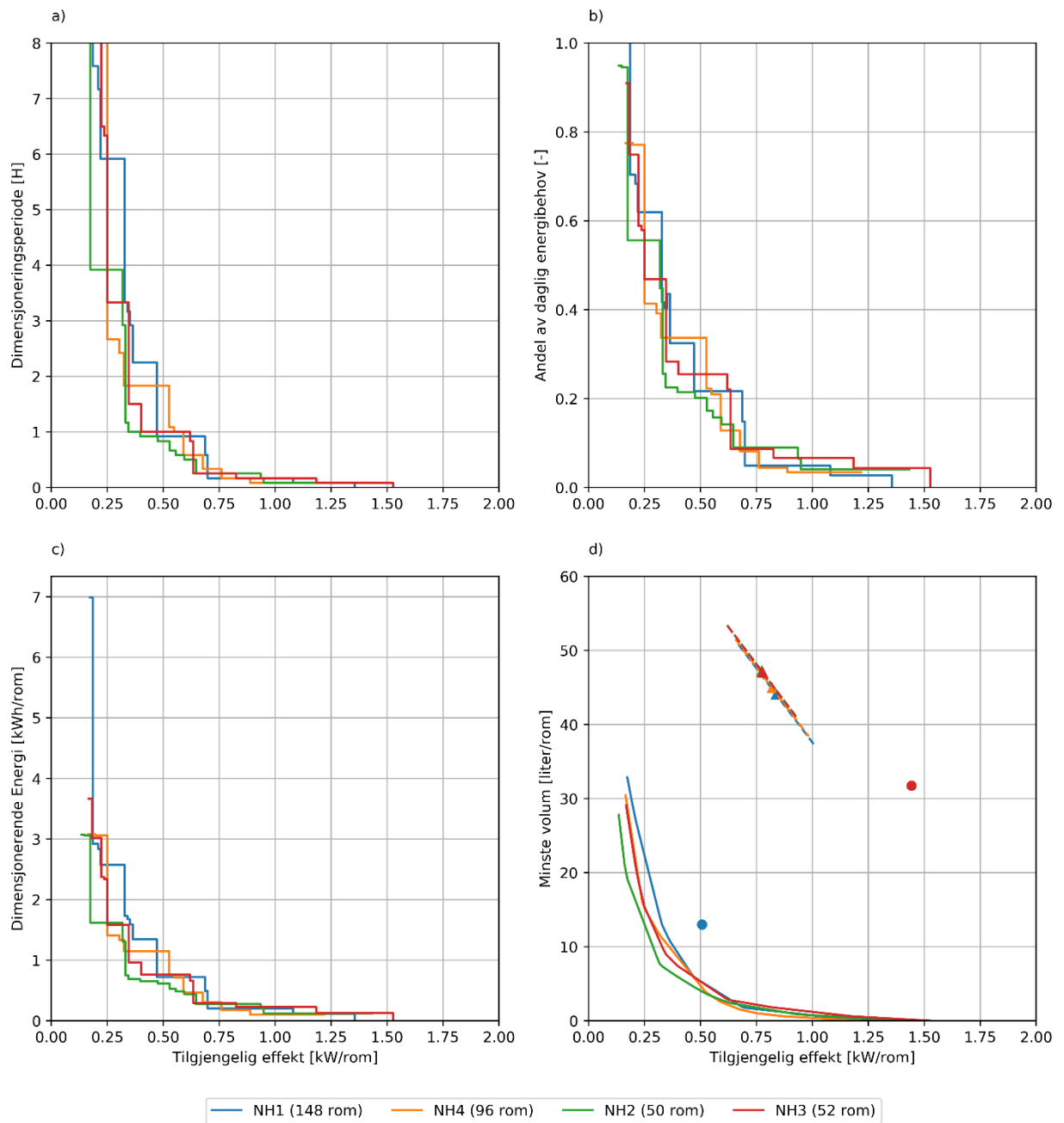
beredersystemet, og tapet kan kompenseres med økt effekt. Det er viktig å huske på at varmetapet i varmesentralen øker både med akkumulert volum og med antall tanker.

Graf d) inkluderer også installert effekt og volum for de byggene som kun har elektriske beredere for oppvarming (sirkler), og typiske sjablongverdier tilgjengelige fra leverandør (OSO [21]) (trekanter). I tillegg er det for sjablongverdiene vist hvordan nødvendig volum endrer seg med endret effekt gitt konstant dimensjoneringsperiode. Den stiplede linjen viser 20 % reduksjon og økning i installert effekt i henhold til sjablongverdien. Det er brukt en dimensjoneringsperiode på én time for hoteller og to timer for sykehjem. For boliger avhenger dimensjoneringsperioden av antall leiligheter i henhold til [10].

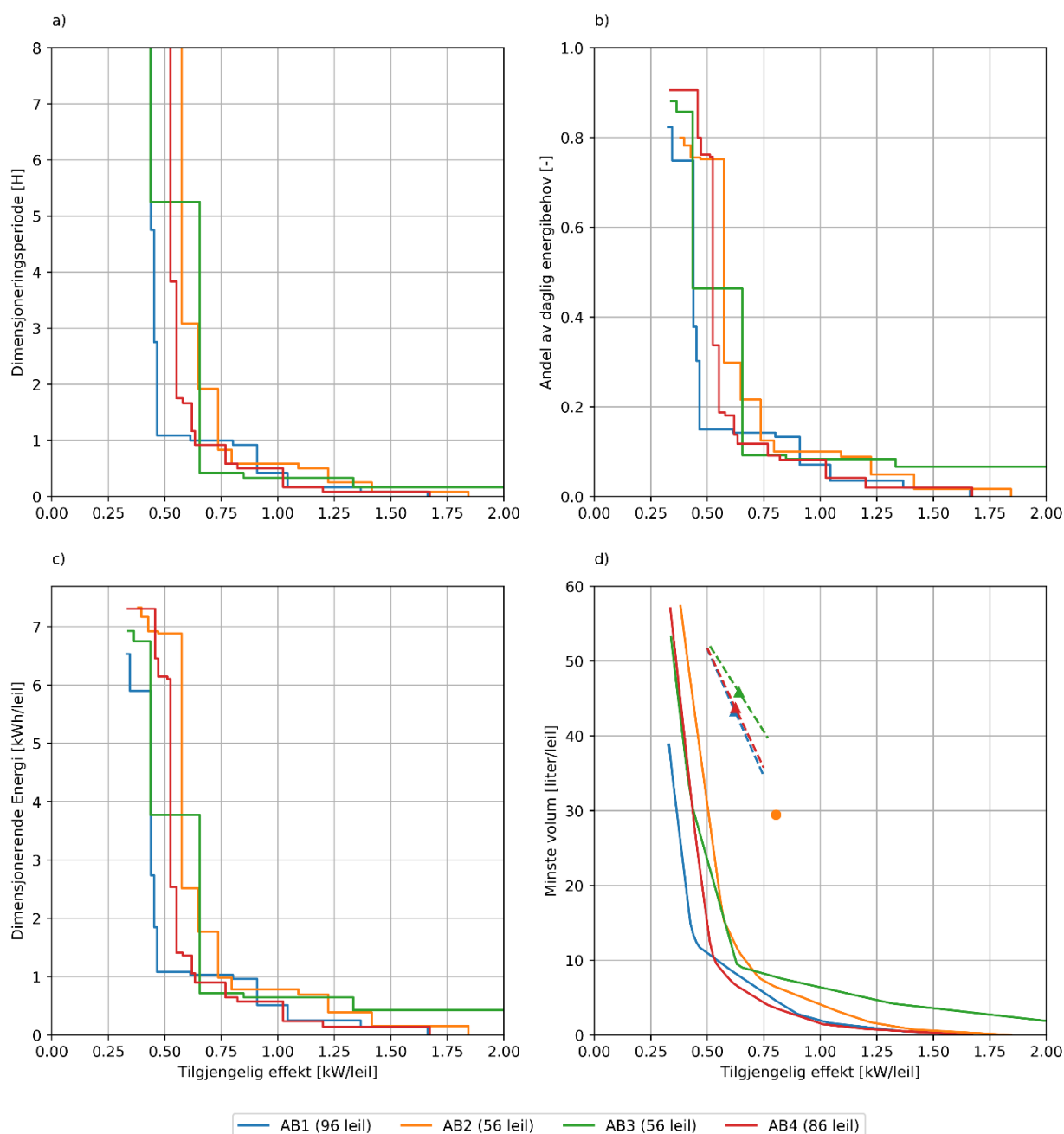
Generelt kan man se at dimensjoneringsreglene gir store nok anlegg. Dette er naturlig da det sammenlignes med noen utvalgte anlegg, og dimensjoneringen skal være tilstrekkelig for alle bygg innen en kategori. Det betyr at det må ligge en sikkerhetsfaktor i dimensjoneringen. Unntaket er HO4, som med bruk av korreksjonsfaktor på 0.8 vil ligge akkurat på grensen. For noen bygg, spesielt sykehjem, ser vi at behovene er betydelig mindre. Ved installert effekt i henhold til tabellverdier er målt nødvendig volum rundt en tiendedel. Dette sammenfaller godt med at målt energibehov til varmt tappevann i sykehjem er betydelig lavere enn det som har vært brukt for normerte verdier i 3031-standardene. Det store avviket skyldes nok i stor grad endrede rutiner ved sykehjem. Tidligere var det vanlig å bruke betydelige mengder varmtvann til gulvvask, klesvask og i forbindelse med matlaging.



Figur 7-1: Dimensjoneringsanalyse for hoteller



Figur 7-2: Dimensjoneringsanalyse for sykehjem



Figur 7-3: Dimensjoneringsanalyse for boligblokker

7.4 Direkteveksling

7.4.1 Direkteveksling og dimensjonering

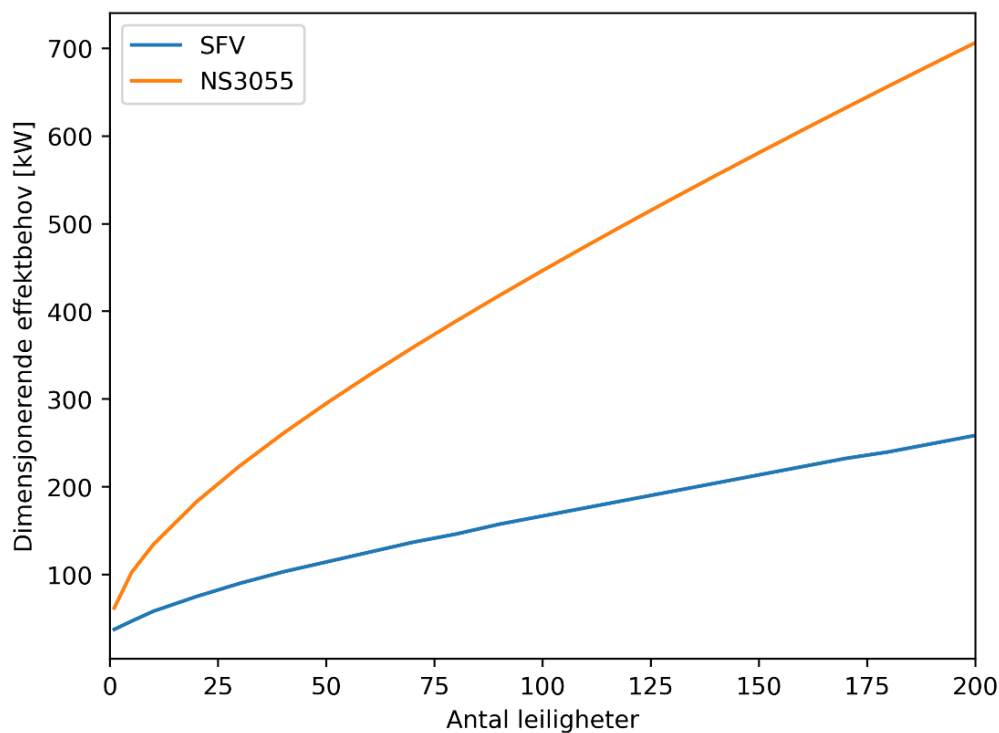
Ved tilkobling til fjernvarme er det normalt at varmt tappevann skal produseres med direkteveksling mot fjernvarme uten akkumulering. Dette er ofte også ønsket eller påkrevd fra fjernvarmeselskapet. Unntaket er bygg med spesielt store tappevannsbehov, som store hoteller og dusjanlegg.

Tappevannsvarmeveksleren må da i utgangspunktet dimensjoneres for største samtidige effektbehov. Et estimat for dette kan regnes ut fra største samtidige vannmengde iht. NS 3055 [22], men som vist i [8], gir dette ofte overdimensjonerte anlegg. I tillegg trenger ikke fjernvarmeveksleren å ha nok kapasitet til å dekke svært korte effekttopper, uten at det går utover opplevd kapasitet hos brukeren. Det vil være noe bufferkapasitet i røret som kan dekke opp noe av kapasiteten. Det er også slik at når behovet overstiger dimensjonert kapasitet for tappevannsveksleren, så synker utløpstemperaturen. Dette gir

høyere temperaturdifferanse i veksleren, som igjen fører til at overføringskapasiteten øker. Overdimensjonerte anlegg vil gi høyere investeringskostnad og dårligere regulering av tappevannstemperaturen. Nedenfor sammenlignes typiske dimensjoneringsstall fra fjernvarmebransjen med målt effektbehov. Generelt oppleves få problemer med underdimensjonerte tappevannsvekslere. For store anlegg (typisk hoteller og svømmehaller) benyttes også akkumuleringsystemer for fjernvarme, for å unngå veldig store effektbehov. Dette kan redusere effekttopper og gi større kapasitet i fjernvarmesystemet. Utfordringen med akkumulatorsystemer er at de kan føre til høyere returtemperaturer for fjernvarmen, hvis de ikke dimensjoneres og driftes godt.

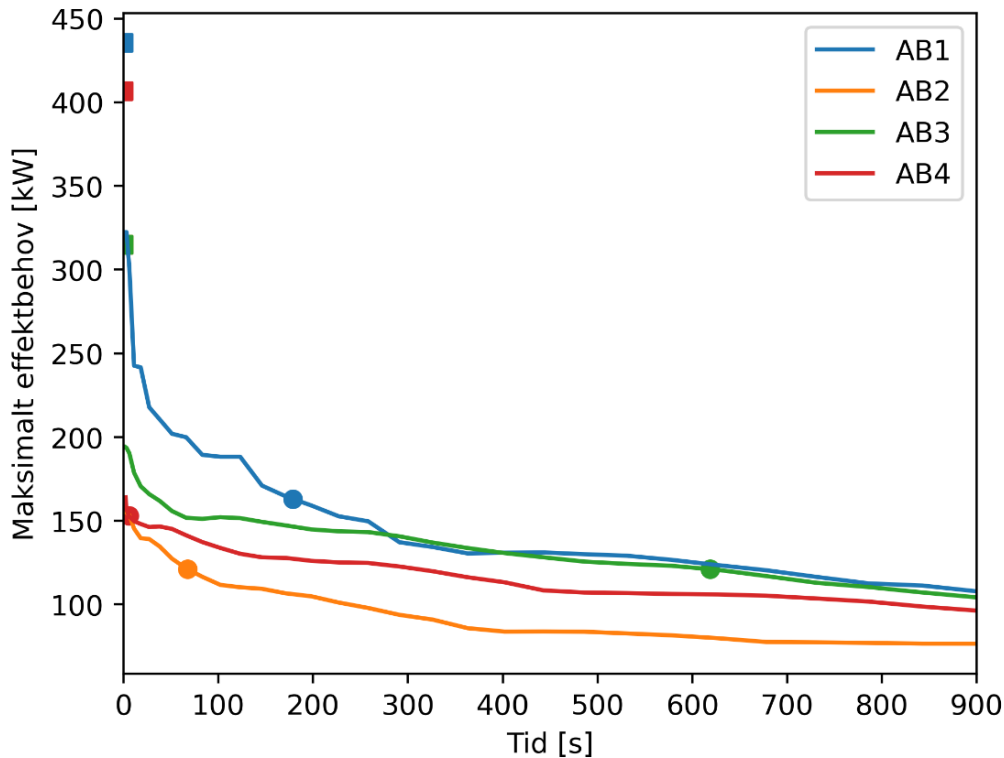
7.4.2 Boligblokker

For boliger har mange fjernvarmeselskaper egne normtall basert på antall leiligheter. De fleste av disse normtallene er basert på tall utviklet av Svensk Fjernvarme (SFV) [23]. Figur 7-4 viser dimensjonerende effektbehov fra SFVs normtall og er beregnet fra NS 3055 (leilighet med et bad og kjøkken). Årsaken til at dimensjonerende effektbehov fra SFV er mye lavere enn tall beregnet fra NS3055, er trolig at SFVs tall er basert på erfaringer fra anlegg, som har lavere maksimalbehov, samt at det ikke er kritisk at fjernvarmeanlegget ikke kan levere dimensjonerende temperatur i korte perioder.



Figur 7-4: Dimensjonerende effektbehov for boligblokker fra Svensk Fjernvarme (SFV) og NS 3055.

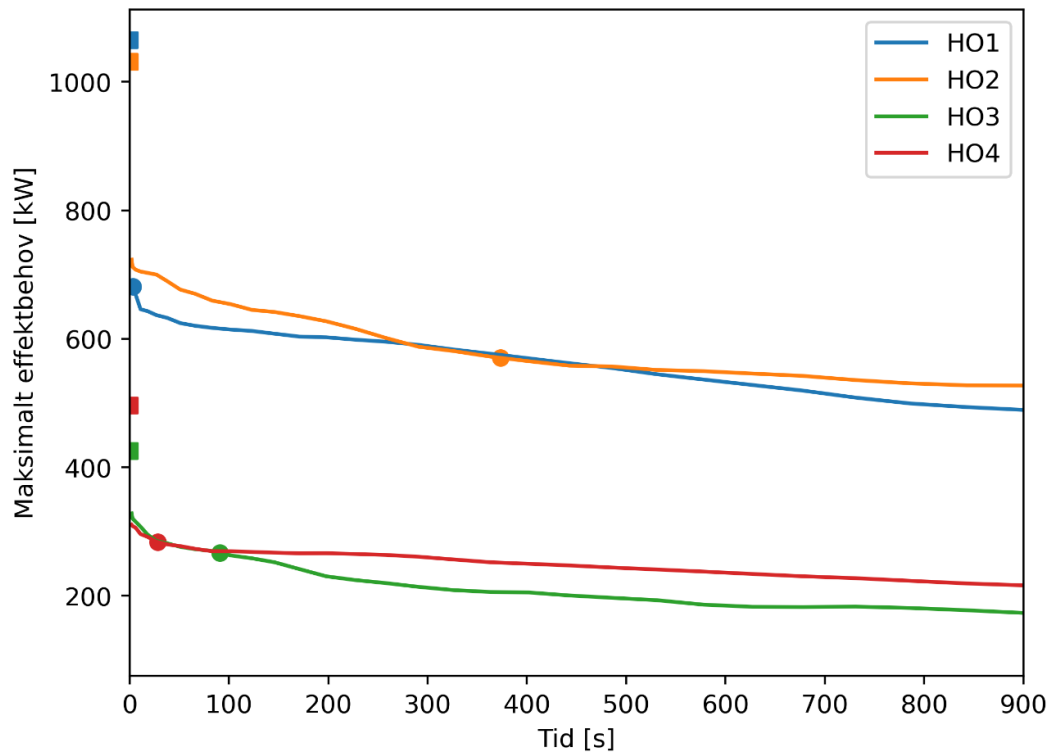
Figur 7-5 viser maksimalt effektbehov for de målte blokkene som funksjon av utjevningstid. Effektbehovet er definert som høyeste målte gjennomsnittseffekt over en gitt tidsperiode. I tillegg er det vist dimensjonerende effektbehov basert på SFV og NS 3055 med henholdsvis sirkler og firkanter. Som forventet ligger alle målepunktene godt under maksimalt effektbehov beregnet fra NS 3055. Sammenlignet med dimensjonerende verdier fra SFV, så er de målte effektbehovene i korte perioder høyere. Spesielt for AB3 kan man se at det er målt en periode på 10 minutter der gjennomsnittlig effektbehov er høyere enn dimensjonerende effektbehov i henhold til SFV. Det er likevel ikke sikkert at dette vil føre til redusert opplevd komfort for brukeren.



Figur 7-5: Maksimalt effektbehov for målte boligblokker som funksjon av tid. Rundinger og firkanter indikerer dimensjonerende effekt for henholdsvis SFV og NS 3055.

7.4.3 Hoteller

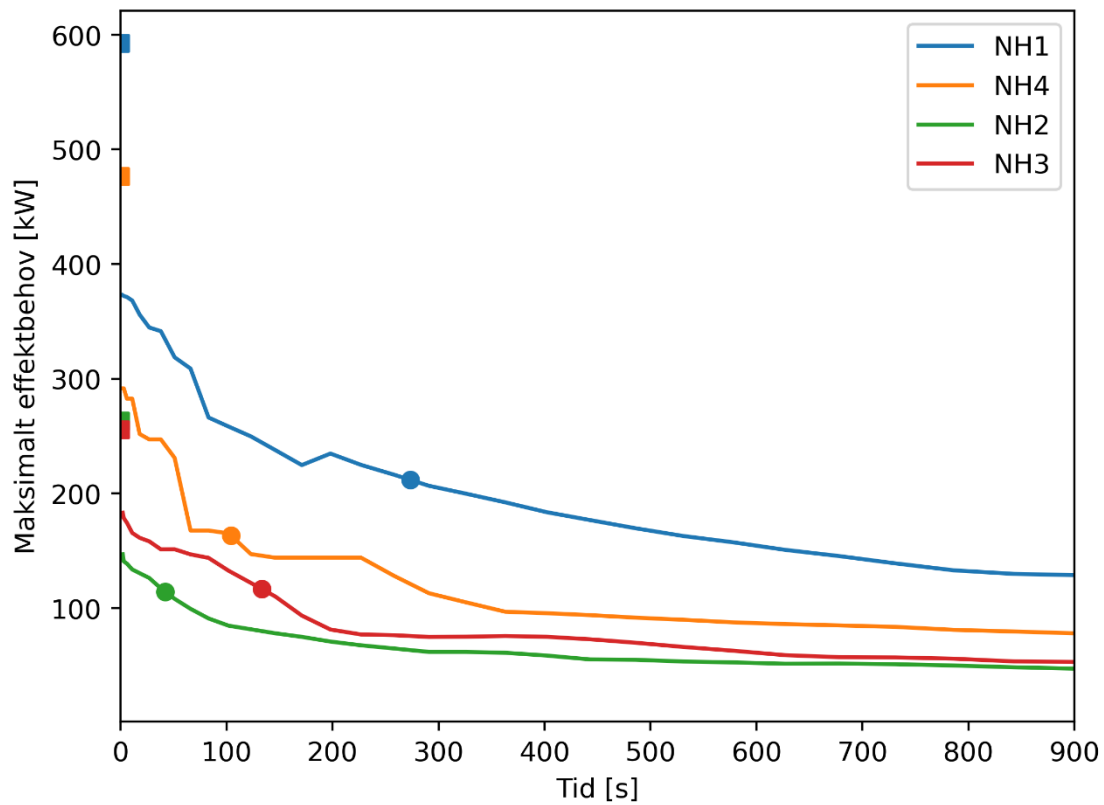
Daglig energiforbruk per rom (i bruk) på hoteller er tilnærmet likt som daglig energiforbruk per leilighet i boligblokker. Men der forbruket i boliger er spredt utover store deler av dagen, så er hoveddelen av forbruket i hoteller om morgenen. Dette gir høyere samtidighet og fører til at tappevannsvekslere for hoteller må dimensjoneres med høyere effekt per rom, enn tilsvarende per leilighet i boligblokker, selv om det er mindre utstyr installert. Samtidig må man for hoteller ta hensyn til andre områder med tappevannsforbruk i bygget, som restauranter, barer og fellesområder. Konferansehoteller har også ofte mange besøkene som ikke har gjesterom. Figur 7-6 viser tilsvarende som Figur 7-5, men for hoteller. For å illustrere forskjellen i samtidighet, så er dimensjoneringstallene fra SFV lagt inn, men en omregningsfaktor der ett hotellrom tilsvarer 1.5 leiligheter. Man kan også se at forskjellen mellom maksimalt gjennomsnittlig effektbehov over en periode på 2 sekunder og en periode på 15 minutter er mye mindre for hoteller.



Figur 7-6: Maksimalt effektbehov for målte hoteller som funksjon av tid. Rundinger og firkanter indikerer dimensjonerende effekt for henholdsvis SFV (antall leiligheter = 1.5 * antall hotellrom) og NS 3055

7.4.4 Sykehjem

Daglig energiforbruk per sengerom i sykehjem er betydelig lavere enn tilsvarende tall per leilighet i boligblokker. Men som for hoteller er forbruket konsentrert om morgenen, og i mindre grad spredd utover dagen. Figur 7-7 viser tilsvarende som Figur 7-5, men for sykehjem. Her er dimensjoneringsstallene fra SFV lagt inn slik at ett sengerom tilsvarer en leilighet. For sykehjem ligner effektkurvene mer på boligblokker. Dimensjonering med én leilighet = ett sengerom gir ganske likt utslag med hensyn til maksimalt målt vannmengde og utjevningsperiode.



Figur 7-7: Maksimalt effektbehov for målte sykehjem som funksjon av tid. Rundinger og firkanter indikerer dimensjonerende effekt for henholdsvis SFV (antall leiligheter = antall sengerom) og NS 3055.

8 Konklusjon

Prosjektet *VarmtVann2030* har gjennomført målinger av varmtvannsforbruk og varmetap i fire hoteller, fire sykehjem og fire boligblokker. Resultatene viser store variasjoner i både forbruk og varmetap.

Målingene har blitt sammenlignet med normerte verdier fra SN/TS 3031. Det er store variasjoner mellom de målte byggene, men det er kun for kategorien sykehjem at en ser tydelige avvik fra de normerte verdiene. For de sykehjemmene som ble målt, var gjennomsnittlig daglig forbruk 15–45 % av det normerte forbruket i SN/TS-3031:2016. På bakgrunn av disse målingene har normert verdi i SN-NSPEK 3031:2020 blitt justert ned til 33 % av verdiene i SN/TS 3031:2016. Måleresultatene viser også utfordringene med å bruke areal som grunnlag for normerte verdier for tappevannsforbruk. Tappevann brukes av mennesker, og parametere som antall rom og leiligheter er derfor bedre egnet.

Reduksjon i netto energiforbruk til tappevann kan oppnås ved å redusere varmtvannsforbruk. Foruten bevissthet fra sluttbruker, kan dette i hovedsak oppnås med to metoder: vannbesparende armatur og redusert tappetap ved venting på varmtvann.

Det er dokumentert store variasjoner i varmetap fra sirkulasjonssystemer. Dette skyldes i stor grad variasjon i utstrekning og at mange anlegg ikke fungerer etter hensikten fordi de ikke er innregulert. I tillegg er mange anlegg dårlig isolert. Det mest åpenbare tiltaket for å minimere varmetap fra sirkulasjonssystemer er å isolere godt. Befaring på ulike anlegg viser at det er mange anlegg som ikke er isolert i henhold til kravene i gjeldende teknisk forskrift. Ved dimensjonering og utforming av sirkulasjonsanleggene er det også viktig å tenke gjennom hva som er gunstige føringsveier. Jo færre meter rør, jo mindre varmetap. Det samme gjelder for varmesentraler. Her er det også observert mye dårlig isolering og høye varmetap. Spesielt er det brukt mye cellegummiisolering på varme rør. Denne blir sprø og tåler mekanisk belastning dårlig.

Prosjektet har også kartlagt dekningsgrader for forvarmingsystemer (med nærvarme eller varmepumpe). Resultatene viser store variasjoner, både mellom bygg og gjennom året. Både disse målingene og simuleringer viser hvor viktig det er at varmesystemet optimaliseres for tappevannsproduksjon, i tillegg til oppvarmingsformål. I anlegg med varmepumper der varmepumpen er plassert samme sted som tappevannsproduksjonen, anbefales det å enten bruke vekselventil for tappevannsprioritering eller (ved store behov) en egen tappevannsvarmepumpe. Dette gjør det mulig å kombinere lave turtemperaturer for varmeanlegget, noe som gir høy COP, og høy dekningsgrad for varmepumpen ved tappevannsproduksjon.

Med strengere krav til bygningskropp og energiforbruk til oppvarming, stiger andelen av energibruken som går til produksjon av varmt tappevann. Prosjektet har vist at riktig design og god drift har et betydelig potensial for energisparing knyttet til varmtvannsproduksjon. Det er derfor viktig at man legger vekt på dette under prosjektering, bygging og i driftsfasen.

9 Referanser

- [1] DIBK, “Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift) (TEK17),” 2017.
- [2] Flexim GmbH, “Technical specification FLUXUS ® F601 Portable ultrasonic flow measurement of liquids.” Berlin, Germany, pp. 1–26, 2017.
- [3] TE Wire & Cable, “Calibration Services.” [Online]. Available: <https://tewire.com/calibration-services/>. [Accessed: 11-Mar-2019].
- [4] C. Mjones, F. V. H. Pettersen, B. S. Kristoffersen, B. M. Birkeland, J. von Essen, and K. J. Haarberg, “Potensial- og barrierestudien - Energieeffektivisering av norske boliger,” Trondheim, 2012.
- [5] Standard Norge, “SN-NSPEK 3031:2020.” SN/K 034, Oslo, p. 168, 2020.
- [6] J. E. Pettersen, “Vannrapport 123: Forebygging av legionellasmitte - en veiledning,” Oslo, 2015.
- [7] Uponor, “Håndbok for Uponor Tappevannsystem PEX Innhold,” 2009.
- [8] K. Stråby, H. T. Walnum, and Å. L. Sørensen, “Dimensjonering av varmtvannsrør i bygg – Resultater fra prosjektet VarmtVann2030,” SINTEF Fag 81, SINTEF akademisk forlag, Oslo, 2021.
- [9] SINTEF Byggforsk, “753.141 Korrosjon på sanitærinstallasjoner av kobber og messing,” in *Byggforskserien*, 2014.
- [10] O. Larmerud, B. Grimsrud, and D. Zijdemans, *Sanitærteknikk - Prosjektering og utførelse av sanitærinstallasjoner i bygg*. 2020.
- [11] P. Melan, T. S. Wahl, and A. Tjeldflåt, “Forbrukerfleksibilitet i det norske kraftmarkedet,” Oslo, 2006.
- [12] B. Tennbak, M. B. Ryssdal, K. Fiksen, P.-K. Ådnanes, C. H. Christiansen, and W. Rode, “Value of flexibility from electrical storage water heaters,” Oslo, 2021.
- [13] S. E. Mattsson and H. Elmqvist, “MODELICA | AN INTERNATIONAL EFFORT TO DESIGN THE NEXT GENERATION MODELING LANGUAGE,” in *7th IFAC Symp. on Computer Aided Control Systems Design, CACSD '97*, 1997.
- [14] M. Wetter, W. Zuo, T. S. Noudui, and X. Pang, “Modelica Buildings library,” *J. Build. Perform. Simul.*, vol. 7, no. 4, pp. 253–270, Jul. 2014.
- [15] D. Zijdemans, *Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer*. 2014.
- [16] J. Burch and C. Christensen, “TOWARDS DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR MAINS WATER TEMPERATURE.”
- [17] H. Haukås, *CO2 (R744) som kuldemedium*. Norsk kjøleteknisk forening, 2016.
- [18] M. Borge, “Analyse av CO2-varmepumper for varmtvannsberedning av boligblokker,” NTNU, 2014.
- [19] M. P. Vadem, “EPC (Energy Performance Contracting) Energisparing med resultatgaranti - BOLIGBYGG OSLO (2017-2025).” 2020.
- [20] E. Sandberg, C. N. Madsen, L. S. Boland, P.-E. Larsen, and R. Grønnesby, “7.1 Dimensjonering av vannvarmere,” in *Prenøk*, 1999.
- [21] Oso Hotwater, “Industriberedere.” 2018.
- [22] Standard Norge, “NS 3055:1989.” 1989.
- [23] Svensk fjärrvärme, “Fjärrvärmecentralen - Utförande Och Installation,” 2014.

ENERGIBRUK TIL VARMT TAPPEVANN

– RESULTATER FRA PROSJEKTET VARMTVANN2030

Denne rapporten presenterer prosjektresultater fra det fireårige forskningsprosjektet *VarmtVann2030 – Energi til tappevann i det norske lavutslippssamfunnet*. Rapporten presenterer resultater som omhandler energibruk til produksjon av varmt tappevann. Prosjektresultater som gjelder dimensjonering av rørsystemer, er beskrevet i rapporten *Dimensjonering av varmtvannsrør i bygg – Resultater fra prosjektet VarmtVann2030* (SINTEF Fag 81).

Rapporten sammenfatter resultater fra detaljerte feltmålinger av varmtvannsforbruk og varmetap i fire hoteller, fire sykehjem og fire boligblokker. Videre foreslår rapporten tiltak for å redusere energiforbruket til varmtvann og diskuterer effekten av disse tiltakene.

Resultatene fra prosjektet viser at riktig utforming, dimensjonering og drift av varmtvannssystemer har et betydelig potensial for energisparing, og at det er viktig å legge mer vekt på dette både under prosjektering, bygging og i driftsfasen.