



UiT Norges arktiske universitet

Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi

Analyse og optimalisering av varmesystem ved Vigør Rehabiliteringssykehus

Alexander Berntsen

Masteroppgave i Integrert Bygningsteknologi...BYG-3900...mai 2023



Forord

Masteroppgaven er den avsluttende oppgaven i sivilingeniørstudiet for Integrert Bygningsteknologi ved UiT Narvik. Oppgaven bruker ViGØR Rehabiliteringssykehus vannbårne varmesystem som et eksempelstudie, der det eksisterende anlegget kartlegges og analyseres, før oppgaven kommer med tiltak for å optimalisere driften og energieffektiviteten. Jeg vil rette en stor takk til Thomas Hareide fra Sweco Narvik for å gi meg muligheten til å skrive masteroppgaven i samarbeid med ett av Swecos prosjekter. Jeg retter også en stor takk til Sweco Narvik for å ha tilbud meg kontorplass og utsyr til å gjennomføre masteroppgaven, og en stor takk til alle på Sweco Narviks kontor for å ha tatt meg godt imot og tatt godt vare på meg under oppgaveskrivingen. Jeg retter en stor takk til Ola Eriksen fra Sweco Tromsø for godt samarbeid og god veiledning under prosjektet. Jeg ønsker også å takke min veileder fra UiT Ane Solbakken Sæterdal, for gode tilbakemeldinger og innspill på oppgavens innhold. Til slutt ønsker jeg også å takke foreldrene mine for støtte, oppmuntring og grammatisk bistand.

Alexander Berntsen

Alexander Berntsen, Narvik 12.05.2023

Sammendrag

Grunnet økningen i energipriser og økt press om å nå klimamål, har energiøkonomisering i bygg blitt et samfunnsaktuelt tema. Masteroppgaven bruker Vigør Rehabiliteringssykehus vannbårne varmeanlegg som et eksempelstudie, der formålet med oppgaven er å forenkle driften, redusere energiforbruket og kutte energikostnadene tilknyttet varmeanlegget. Siden 2000-tallet er det gjort en rekke forsøk på å effektivisere varmeanlegget til Vigør, uten å oppnå de ønskede resultatene. I dag har en kombinasjon av diverse ombygginger, manglende tegningsgrunnlag, manglende målinger, dårlig merking og uvanlige løsninger gjort varmeanlegget tungvint i drift og energikrevende.

Gjennom befaringer på bygget ble varmeanlegget kartlagt, og det ble utarbeidet et oppleggskjema (Vedlegg 2 og Vedlegg 3). Varmeanleggets årlige energitilskudd antas til å være rundt 1500 MWh. Energien leveres hovedsakelig gjennom en elkjel (omtrent 70% av tilført energi) og en varmeveksler mot et fjernvarmesystem, tilkoblet en nærliggende trafostasjon (omtrent 30% av tilført energi). En rekke ombygginger på teknisk rom i plan 1, har ført til flere ubrukte rørstrekk og 4 kraftig overdimensjonerte buffertanker. I dag benyttes kun en av buffertankene, som har et akkumuleringsvolum på 12 500 liter.

Det anbefales en total ombygging av varmeanlegget på teknisk rom i plan 1, der oljekjelene, fjernvarmesystemet, ubrukte rørføringer og buffertankene fjernes. Ettersom eksisterende vannbehandling ikke anses som tilstrekkelig, anbefales det å installere av en vakuumpumpe for ytterligere fjerning av luft, mens eksisterende mikrobobleutskiller og patronfilter kan beholdes. Selv om eksisterende ekspansjonskar er underdimensjonert for dagens store vannvolum, kan de beholdes dersom buffertankene avkobles. Eksisterende sirkulasjonspumper erstattes av et nytt sett med doble sirkulasjonspumper. For å unngå at de nye sirkulasjonspumpene pumper unødvendige vannmengder i primærkretsen (radiatorkretsen), anbefales det å temperaturregulere kretsen gjennom en shunt-kobling og en egen pumpe for kretsen. Oppgaven anbefaler også en rekke omkoblinger på anleggets sekundærkrets. Dagens uvanlige seriekobling på kursene til gatevarmen, tappevanns- og bassengvarmevekslerne byttes til tradisjonelle parallellkoblinger, med ny temperaturregulering gjennom shunt-koblinger. Reguleringen på kursene til varmebatteriene, som i dag er mengderegulert gjennom motorstyrte toveisventiler, bør utskiftes med shunt-koblinger med bløder, for å redusere faren for frostdannelser. Samtlige deler av

varmeanlegget skal tilkobles og kunne styres av et SD-anlegg, og det skal installeres nye energimålere.

Oppgaven anbefaler en utbedring gjennom 3 faser, der fase 1 inneholder tiltakene nevnt ovenfor. Målet med ombyggingen og omkoblingene i fase 1 er å automatisere driften av anlegget. Fase 2 innebærer logging av varmeanleggets energiforbruk over et år, gjennom energimålerne. Anlegget vil i denne fasen driftes med eksisterende elkjel som eneste energikilde. Fase 3 er installasjonen av en ny varmepumpe, med tilhørende buffertank. Dimensjoneringen av varmepumpen og buffertanken bør skje etter måledata fra fase 2, men et estimat viser at en veske/vann varmepumpe tilkoblet energibrønner, med en maksimal effekt på 160 kW og en buffertank på 2000 liter vil være det beste valget, for å redusere energiforbruket, og det beste økonomiske valget. Varmepumpen vil dekke byggets grunnlast, mens eksisterende elkjel vil kunne dekke byggets spisslast.

Abstract

Due to the increase in energy prices and pressure to reach climate goals, energy efficiency for heating buildings has become an important and relevant topic in society. The masters thesis uses Vigør Rehabiliteringssykehus (Rehabilitation Hospital's) central heating system as a case study, where the main goal of the thesis is to simplify operation, reduce energy consumption, and cut energy costs associated with the building's central heating system. Since the early 2000s, several attempts have been made to streamline the heating system at Vigør, without achieving the desired results. Today, a combination of multiple modifications, lack of up-to-date drawings, lack of data on energy consumption, poor labeling, and unusual solutions has resulted in the central heating system being cumbersome and ineffective.

Through inspections in the building, the central heating system was mapped out, and a process diagram was developed (Vedlegg 2 and Vedlegg 3). The central heating system's annual energy consumption is estimated to be around 1550 MWh, which is mainly supplied through an electric boiler (around 70% of the supplied energy) and a heat exchanger connected to a nearby transformer station (around 30% of the supplied energy). Over the years several modifications to the layout in the technical room have led to numerous unused pipe sections and four heavily oversized buffer tanks. Today, only one of the buffer tanks is in use, which has an accumulation volume of 12 500 liters.

A complete renovation of the central heating system's technical room is recommended, where the oil boilers, heat exchanger with the transformer station, unused pipe sections, and buffer tanks are to be removed. As the existing water treatment facilities are deemed insufficient, it is recommended to install a vacuum degasser for further removal of air from the system, while the existing microbubble air separator and cartridge filter can be kept. Although the existing expansion tanks are undersized for today's large water volume, they can be kept if the existing buffer tanks are removed. All three existing circulation pumps are to be replaced by a new set of double circulation pumps. To avoid the new circulation pumps from pumping unnecessary amounts of water into the primary circuit (radiator circuit), it is recommended to regulate the circuit's temperature through a shunt connection and a separate circuit pump. The thesis also recommends a series of reconnections on the system's secondary circuit. Today's unusual pipe connections to the heat exchangers for tap water, pool water and snow melting are to be replaced with more traditional feed and return connections, with temperature regulation through shunt connections. The connections to the heating batteries, which are

currently regulated through motor controlled two-way valves, should be replaced with shunt connections, with bleeders to reduce the risk of freezing. All parts of the heating system should be connected and controllable by a central operational control system, and new energy meters should be installed.

The task recommends a renovation through 3 phases, where phase 1 includes the measures mentioned above. The goal of phase 1 is to automate the operation of the central heating system. Phase 2 involves logging the central heating system's energy consumption over a year, through the new energy meters. The central heating system will in this phase be operating with the existing electric boiler as the only energy source. Phase 3 is the installation of a new heat pump, with an associated buffer tank. The sizing of the heat pump and buffer tank should be based on data from phase 2, but an estimate shows that a liquid-to-water heat pump using ground heat, with a maximum heat input of 160 kW and a buffer tank of 2000 liters will be the best choice to reduce energy consumption and the best economic choice. The heat pump will cover the building's base load, while the existing electric boiler will cover the building's peak load.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	1
1.1	Bakgrunn for tema	1
1.2	Bakgrunn for oppgaven	1
1.3	Oppgavens formål.....	2
1.4	Prosjekt – Sweco – Masteroppgave.....	2
1.4.1	Arbeidsfordeling.....	2
1.5	Disposisjon	3
2	Vannbårne varmeanlegg (Teoridel)	4
2.1	Energikilder for vannbårne varmeanlegg	4
2.1.1	Grunnlast og spisslast.....	4
2.1.2	Olje, gass og parafin.....	5
2.1.3	Elkjel	5
2.1.4	Fjernvarme	6
2.1.5	Varmepumpe	6
2.2	Vannbårne varmeanlegg – bruksområder.....	9
2.2.1	Oppvarming av romluft.....	9
2.2.2	Oppvarming av tilluft	10
2.2.3	Oppvarming av tappevann	11
2.2.4	Snøsmelting.....	11
2.2.5	Oppvarming av svømmehaller	12
2.3	Reguleringsprinsipp.....	12
2.3.1	Hovedføringer og samlestocker	12
2.3.2	Mengderegulering	13
2.3.3	Temperaturregulering.....	14
2.4	Ekspansjonssystem	16
2.4.1	Komponenter.....	17

2.4.2	Vannets volumutvidelse	18
2.4.3	Ekspansjonshastighet	18
2.4.4	Aktuelle typer ekspansjonskar	19
2.4.5	Sikkerhetsventiler	21
2.4.6	Automatisk etterfylling	21
2.4.7	Tilkobling av ekspansjonskar	22
2.5	Varmeakkumulering	23
2.5.1	Bruk av varmeakkumulering	23
2.5.2	Tilkobling	24
2.5.3	Dimensjonering	25
2.6	Vannbehandling	25
2.6.1	Krav og anbefalinger til vannbehandling i vannbårne varmanlegg	25
2.6.2	Problemer tilknyttet luft i vannbårne varmeanlegg	26
2.6.3	Fjerning av luft i vannbårne varmeanlegg	27
2.6.4	Fjerning av oksygen i vannbårne varmeanlegg	30
2.6.5	Fjerning av partikler og smuss	32
3	Eksempelstudie	34
3.1	Vigør Rehabiliteringssykehus – Bygget	34
3.2	Vigør Rehabiliteringssykehus – Oppvarming generelt	34
3.3	Befaring	35
4	Oppbygning av dagens varmeanlegg	35
4.1	Teknisk rom plan 1	36
4.1.1	Elkjel	36
4.1.2	Fyringsrom	36
4.1.3	Fjernvarmesystemet	37
4.1.4	Sirkulasjonspumper	37
4.1.5	Vannakkumulering	38

4.1.6	Ekspansjonssystem.....	39
4.1.7	Vannbehandling	40
4.2	Primærkrets.....	40
4.2.1	Plan 1.....	40
4.2.2	A-fløyen	41
4.2.3	B-fløyen.....	41
4.2.4	C-fløyen.....	41
4.3	Sekundærkrets	41
4.3.1	Bassengaggregat – 36.09.....	41
4.3.2	Varmebatteri – A-fløyen	41
4.3.3	Oppvarming av tappevann	42
4.3.4	Oppvarming av bassengvann	43
4.3.5	Varmebatteri – 36.10.....	45
4.3.6	Gatevarme	45
4.4	SD-anlegg	46
5	Energiforbruk og energimålinger	46
5.1	Energiforbruk.....	46
5.2	Energimålinger	46
5.3	Effekttopp	48
5.4	Energikostnader	49
5.5	Energimålere.....	49
6	Aktuelle tiltak	51
6.1	Fjerne oljekjelene	51
6.2	Fjerne fjernvarmesystemet	51
6.3	Logging med energimålere.....	51
6.4	Luft/vann varmepumpe.....	52
6.5	Veske/vann varmepumpe	52

6.6	Fjerne dagens buffertankløsning – ny mindre buffertank	53
6.7	Seriekoble elkjel	53
6.8	Fjerning av ubrukte rørføringer	54
6.9	Nye sirkulasjonspumper	54
6.10	Nytt kombinert ekspansjonssystem og vannbehandlingsanlegg.....	55
6.11	Ny vakuumavgasser og beholde eksisterende ekspansjonssystem og vannbehandlingsanlegg	55
6.12	Rensing av anlegget	56
6.13	Temperaturregulering på varmebatteri og gatevarme.....	56
6.14	Omkobling av sekundærkretsens samlestokker og ny regulering på tappevanns- og bassengvarmevekslerne	58
6.15	Temperaturregulering av primærkretsen.....	60
6.16	Utskifting av rørisolasjon.....	60
6.17	Oppdatering og samkjøring i SD-anlegg	61
6.18	Bedre merking.....	61
6.19	Kartlegging og tetting av lekkasjer	61
7	Vurdering av tiltak	62
7.1	Enkle tiltak som kan gjennomføres umiddelbart.....	62
7.2	Ombygning og omkobling av varmeanlegget	62
7.3	Ekspansjonssystem og vannbehandling.....	63
7.4	Rensing av varmeanlegget.....	64
7.5	Berederianlegg	64
7.6	Fjernvarmesystemet.....	64
7.7	Oljekjelene.....	64
7.8	Varmepumpe	65
7.9	Elkjelen.....	68
8	Konklusjon	69
8.1	Anbefalte tiltak	69

8.2	Forventede resultater	70
8.3	Lærdom.....	71
9	Videre arbeid	71
	Referanseliste	73
	Vedleggsliste	78

Tabelliste

Tabell 1: Sammenligning mellom varmepumpeløsningene.....	66
--	----

Figurliste

Figur 1: Grunnlast og spisslast	5
Figur 2: Prinsippskisse av en varmepumpe (Stene, 2016).	7
Figur 3: Energibesparelser ved ulike COP verdier til varmepumper sammenlignet med bruk av elkjel.....	8
Figur 4: Varmebatteri tilkoblet vannbåret varme (Hansen, 2013).	10
Figur 5: Prinsippskisse som viser hovedføringen og fordelingen i et varmeanlegg.	12
Figur 6: Bruk av en toveis reguleringsventil for mengderegulering til et varmebatteri.....	14
Figur 7: Temperaturregulering gjennom en shunt-kobling på en kurs til et varmebatteri.	15
Figur 8: Prinsippskisse for en blandekobling med bløder.....	16
Figur 9: Skisse som viser et ekspansjonssystemets komponenter.....	17
Figur 10: Vannets volumutvidelse i forhold til 0°C (Grønnseby, 2015a).....	18
Figur 11: Prinsippet for et membran-ekspansjonskar. Venstre: lav temperatur i varmeanlegget. Høyre; høy temperatur i varmeanlegget (Grønnseby, 2015d).....	19
Figur 12: Prinsippskisse for en trykkløs ekspansjonstank med pumpe, på høyre side vises også et system for etterfylling. (Grønnseby, 2015b)	20
Figur 13: Eksempel på etterfylling med vektcelle. (Grønnesby, 2016a)	22
Figur 14: Tilkobling av ekspansjonskar med nullpunkt på pumpens sugeside, før energikilden.	23
Figur 15: Buffertank koblet med topunkts parallellkobling med en varmepumpe.	25
Figur 16: Eksempel på oppbygningen av en automatisk luftepotte. (Grønnesby, 1995).....	27
Figur 17: Aktuelle plasseringer av luftepotter.....	28

Figur 18: Prinsipp for en sentrifugalutskiller. (Rørhandboka, 2023).....	29
Figur 19: Eksempel på en absorpsjonsutskiller (ViraVent) fra Nor-Shunt (Nor-Shunt, 2020)	29
Figur 20: Plassering av luftutskiller/mikrobobleutskiller.....	30
Figur 21: Eksempel en vakuumutlufter fra Reflex (Reflex, 2017).	31
Figur 22: Plassering av vakuumutlufter sammen med ekspansjonskar (Rørentreprenørene Norge, 2023b).....	31
Figur 23: Patronfilter med trykkmåler plassert parallelt med sirkulasjonspumpen. (Grønnseby, 2016b).....	33
Figur 24: Teknisk rom plan 1.	36
Figur 25: Store buffertanker med et totalt akkumuleringsvolum på 50 000 liter.....	38
Figur 26: Rød pil viser strupeventilen som regulerer gjennomstrømningen i samlestockene.	44
Figur 27: Energimålinger fra Hovedmåler Kurbadet.	47
Figur 28: Oversikt over avvikene i energimålingene.	48
Figur 29: Tilkobling av ny buffertank.	53
Figur 30: Dagens situasjon og ny løsning for tilkobling av elkjelen.	54
Figur 31: Nytt sett med doble sirkulasjonspumper.	55
Figur 32: Dagens situasjon og ny løsning for regulering av varmebatteri.	57
Figur 33: Dagens situasjon og ny løsning på reguleringen til gatevarmevekslerne.....	58
Figur 34: Dagens situasjon og ny løsning på regulering av bassengvarmevekslerne.	59
Figur 35: Dagens situasjon og ny løsning på reguleringen for tappevannsveksleren.	60
Figur 36: Shunt-kobling for temperaturregulering på primærkretsen.	60

1 Innledning

1.1 Bakgrunn for tema

I 2018 var Norges totale energiforbruk anslått til å være på 235 TWh (NVE, 2019), av dette gikk 73 TWh til oppvarming og kjøring av bygg (NVE, 2020). Elektrisitet sto for 77% av tilført energi til oppvarming av husholdninger og næringsbygg, mens bruk av biobrensel og fjernvarme sto for 11 og 10% av tilført energi (NVE, 2020). I løpet av de siste årene har en rekke faktorer bidratt til høye energipriser i deler av Norge og Europa. På Østlandet hadde den gjennomsnittlige strømprisen i 2022 økt med 685% sammenlignet med perioden 2007 til 2020 (Nord Pool, 2023). Med den store økningen i energiprisene har energiøkonomisering blitt et aktuelt tema for å redusere oppvarmingskostnadene for byggeiere og samfunnet.

Gjennom FNs klimakonvensjon har medlemslandene forpliktet seg til å redusere klimagassutslippene (FN-Sambandet, 2021). I motsetning til Norge er flere europeiske land avhengig av naturgass til oppvarming av bygg. Energiprisen på naturgass i Europa har i likhet med strømprisene mangedoblet de siste årene (Sintef, 2022), noe som kan gi en ekstra motivasjon for satsing på grønnere alternativer. Dersom FNs klimamål skal nås, må alle land finne en klimanøytral løsning for oppvarming av bygg. Her kan det være viktig å redusere oppvarmingsbehovet, gjennom reduksjon av byggenes varmetap, samtidig som klimanøytrale oppvarmingskilder benyttes. Her kan bedre utnyttelse av spillvarme fra industri og fjernvarmeanlegg som baserer seg på fornybare energikilder, være en viktig faktor i tettbebygde strøk. Samtidig som produksjon av fornybar elektrisitet og effektiv bruk av elektrisiteten til oppvarming, vil være viktig i områder der fjernvarmeanlegg ikke utbygges. I begge tilfeller er bruken av vannbårne varmeanlegg nødvendig for å kunne distribuere energien fra varmekildene rundt om i bygg. Denne masteroppgaven analyserer et eldre vannbårent varmeanlegg gjennom et eksempelstudie.

1.2 Bakgrunn for oppgaven

Vigør Rehabiliteringssykehus er et privat rehabiliteringssykehus som tilbyr en rekke spesialiserte behandlinger for muskel, skjelett og nevrologiske sykdommer.

Rehabiliteringssykehuset befinner seg på toppen av Tromsøya, i et bygg som ble oppført i 1979 og består av 4 etasjer, med et oppvarmet BRA på 6370m². Bygget har 72 pasientrom og inneholder av en rekke rom for aktivitet, inkludert en svømmehall, samt kontorplasser for ansatte og et kantineområde med tilhørende kjøkken. Som et sertifisert Miljøfyrtårn har Vigør hatt fokus på å finne smarte og energieffektive løsninger over flere år. Siden 2000-tallet har

det blitt gjort en rekke forsøk på å effektivisere byggets vannbårne varmeanlegg uten å oppnå ønskede resultater. I dag har en kombinasjon av diverse ombygginger, manglende tegningsgrunnlag, manglende målinger, dårlig merking og uvanlige løsninger, gjort varmeanlegget tungvint i drift og energikrevende.

1.3 Oppgavens formål

Masteroppgavens hovedmål er å komme med tiltak for å forenkle driften, redusere energiforbruket og kutte energikostnadene på Vigørs varmeanlegg. For å kunne gjøre dette må varmeanlegget først kartlegges og analyseres, for å gi en bedre forståelse på anleggets oppbygning og regulering. Oppgaven vil se gjennom historiske og nåværende måledata fra anlegget og vil kartlegge eventuelle mangler. Tiltakene oppgaven kommer frem til er basert på observasjoner og tilgjengelig måledata. I områder hvor måledata mangler for dimensjonering vil oppgaven anta verdier basert på standardverdier og tilgjengelig måledata.

1.4 Prosjekt – Sweco – Masteroppgave

Sweco er leid inn av Vigør for å kartlegge og komme med anbefalinger for å effektivisere varmeanlegget, da oppdragsgiver ønsker å kutte ned på driftsutfordringene, energiforbruket og kostnadene til varmeanlegget. Ola Eriksen fra Sweco Tromsø er ansvarlig for gjennomføringen av prosjektet. Det skal leveres tegninger på anlegget og en rapport som beskriver dagens tilstand samt en liste med aktuelle tiltak. Masteroppgaven er skrevet i samarbeid med Sweco, der studenten har bidratt i prosjektet. Rapporten som leveres til Vigør og masteroppgaven er separate. Noen av løsningene vil avvike ettersom store deler av masteroppgaven er selvstendig arbeid fra studenten, og på grunn av tidsbegrensninger med masteroppgaven sammenlignet med Swecos prosjekt.

1.4.1 Arbeidsfordeling

Befaringene av varmeanlegget ble gjennomført av Ola Eriksen, der studenten (Alexander Berntsen) var med på en av befaringene. Under befaringene ble det utarbeidet håndtegnede skisser, som studenten satte sammen til digitale oppleggskjema i programvaren Revit, disse kvalitetsikret av Ola. Et fagmøte med studenten, Ola Eriksen og Inge Marius Isaksen (senior rådgiver i Sweco) ble avholdt, der aktuelle problemstillinger og løsninger ble diskutert, etterfulgt av et møte mellom Sweco og Vigør, der løsninger ble presentert, og Vigør fikk komme med innspill. Masteroppgavens kartlegging og vurdering av det eksisterende anlegget er utarbeidet av studenten basert på bilder og skisser fra befaringene, med innspill fra fagmøtene, samt erfaringer fra driftspersonellet på Vigør. Dimensjoneringsgrunnlaget for

energiforbruk er selvstendig arbeid fra studenten. I masteroppgaven er tiltakslisten og vurderingene på varmeanlegget selvstendig arbeid fra studenten, basert på innholdet i fagmøtene. Alle beregningene gjort i besvarelsen er utført av studenten. Tiltakslisten som leveres til Vigør og tiltakslisten som masteroppgaven kommer frem til har tilnærmet likt innhold for fase 1, men masteroppgaven har gått videre med å utarbeide et grunnlag for videre utbygging av anlegget. Tegningene for utbedringsfasene er utarbeidet av studenten og inneholder tiltakene Sweco har kommet frem til gjennom fagmøtene.

1.5 Disposisjon

Oppgaven er delt i fire deler. Den første delen er litteraturstudiet (Kapittel 2), der det blir sett på komponenter og reguleringsprinsipper i vannbårne varmeanlegg. Andre delen introduserer eksempelstudiet (Kapittel 3) og presenter oppbygningen av dagens varmeanlegg (Kapittel 4), før Kapittel 5 ser på og utvikler et grunnlag for videre beregninger på byggets energiforbruk og energikostnader. Tredje del presenterer aktuelle tiltak for forbedring av dagens anlegg (Kapittel 6), før tiltakene vurderes og oppgaven kommer med anbefalinger (Kapittel 7). Til slutt kommer konklusjon (Kapittel 8) som inneholder en liste på anbefalte tiltak, og anbefalinger på videre arbeid.

2 Vannbårne varmeanlegg (Teoridel)

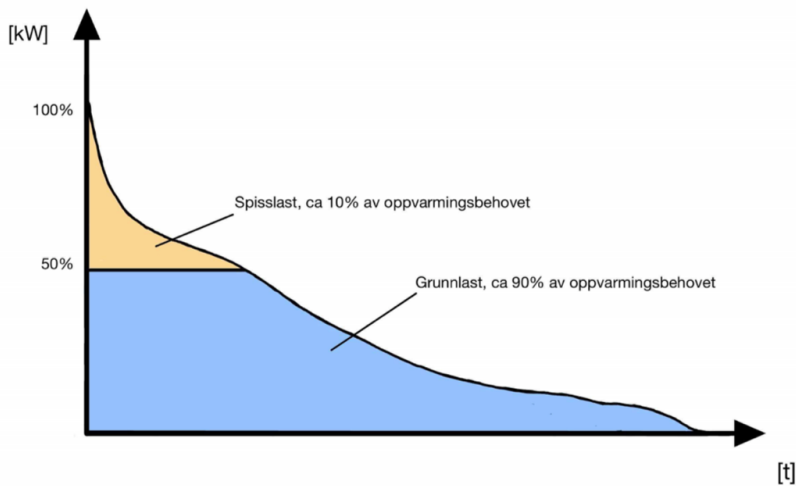
Vannbårne varmeanlegg er fleksible oppvarmingssystemer som egner seg godt til oppvarming av alt fra små til store bygg. Ved bruk av et vannbåret varmeanlegg kan varme overføres fra en eller flere energikilder til resten av bygget via oppvarmet vann som strømmer gjennom bygget ved hjelp av pumper og ventiler i en lukket rørkrets.

2.1 Energikilder for vannbårne varmeanlegg

En stor fordel med vannbårne varmeanlegg er at det kan benyttes en rekke forskjellige energikilder og det er mulig å skifte ut energikildene uten ombygging av hele anlegget. Det finnes en rekke mulige energikilder for et vannbåret varmeanlegg, som for eksempel; elkjel, varmepumpe, fjernvarme, oljekjel, gasskjel, flisfyringskjel, osv. Forskjellige energikilder har ulike egenskaper for oppvarming og regulering, derfor kombineres ofte flere energikilder for å dekke energibehovet på en kostnads- og energieffektiv måte. I bransjen differensieres det mellom høytempererte og lavtempererte varmeanlegg. Et høytemperert varmeanlegg har tur-/returtemperatur på 80/60°C, mens et lavtemperert varmeanlegg har en turtemperatur på 60°C eller lavere.

2.1.1 Grunnlast og spisslast

Enkelte energikilder som varmepumper, oljekjeler og flisfyringskjeler m.m., har lavere virkningsgrad ved hyppige stopp-start og ved delbelastning. Det er derfor ønskelig at disse energikildene kan jobbe mest mulig kontinuerlig på maksimal belastning uten hyppige start-stopp. Det er derfor normalt å etablere en primær energikilde for å dekke grunnlasten, mens en sekundær energikilde fungerer som spisslast. På denne måten kan den primære energikilden ha en lavere effekt enn anleggets nødvendige makseffekt (Soma, 2015). Ettersom maksimal effekt på anlegget ikke kjøres ofte, er det uhensiktsmessig å dimensjonere primæroppvarmingen for å dekke effekttoppene. Dette betyr at primæroppvarmingen kan gå på maksimal effekt i lengre perioder, som er med på å effektivisere energikilden. Det er ønskelig at spisslasten dekkes av en energikilde der effektiviteten ikke minsker ved delbelastning og ved hyppige start-stopp, som for eksempel en elkjel. Normalt dimensjoneres den primære energikilden til å dekke mellom 40-60% av det maksimale effektbehovet, som vil da dekke 70-95% av byggets årlige oppvarmingsbehov (Stene, 2016). Figur 1 viser et eksempel hvor grunnlasten dekker 50% av oppvarmingsbehovet, som i dette tilfelle dekker 90% av oppvarmingsbehovet.



Figur 1: Grunnlast og spisslast

2.1.2 Olje, gass og parafin

Siden 1. januar 2020 har det vært forbud mot bruk av mineralolje til oppvarming av bygninger, med få unntak (Forskrift om forbud mot bruk av mineralolje til oppvarming av bygninger, 2018). Dette vil si at gamle anlegg som har benyttet seg av olje- eller parafinfyring ikke lenger kan driftes lovlig. TEK17 §14-4 gir forbud mot installasjon av varmeanlegg med energikilder som benytter fossilt brensel, som vil si at nye bygg heller ikke kan benytte gassbrennere for oppvarming.

Bruk av bioolje og bioparafin er tillatt, og kan benyttes som et miljøvennlig alternativ for gjenbruk eller fornying av gamle anlegg.

Ved bruk av oljekjeler vil anleggene normalt være høytemperaturanlegg. For å gi oljekjelen bedre effektivitet er det ønskelig å unngå hyppige stopp start på kjelen. Det er derfor ønskelig å benytte oljekjelen til primæroppvarming for å dekke grunnlasten.

2.1.3 Elkjel

Den vanligste typen elkjel er elementkjelen, som består av en innvendig tank med elektriske varmeelementer som varmer opp vannet direkte. Elkjeler kan leveres i et bredt spektrum av størrelser fra 3kW til 1500kW (Zijdemans, 2014j), og blir sett på som robuste, med en levetid opp til 40 år (Zijdemans, 2014j). En stor fordel med elkjeler er at de er fleksible på hvilke turtemperaturer de kan levere på vannet. Elkjeler kan benyttes både i høy- og lavtemperaturanlegg. I moderne anlegg benyttes ofte elkjeler som en sekundær varmekilde, for å dekke spisslasten.

Bruk av elkjel til å dekke primæroppvarmingen ble sett på som et godt alternativ til oljekjeler på gamle anlegg. Årsaken er at elkjeler er veldig fleksible på hvilke turtemperaturer de kan levere ut på anlegget, slik at en elkjel kan levere samme høye turtemperaturer som en utfaset oljekjel. Dette betyr at et anlegg som er dimensjonert for høye temperaturer unngår ombygging, ved å konverteres til et lavtemperaturanlegg, hvor varmeavgivere og rør må skiftes ut for å kunne gi samme effekt.

Selv om elkjeler har en høy virkningsgrad på 98-99% (Norsk Energi, 2023), er dette lavt sammenlignet med varmpumper, som kan være 2-5 ganger mer effektive (Stene, 2016). Ved høye strømpriser vil energiprisen ved bruk av en elektrokjel være høy.

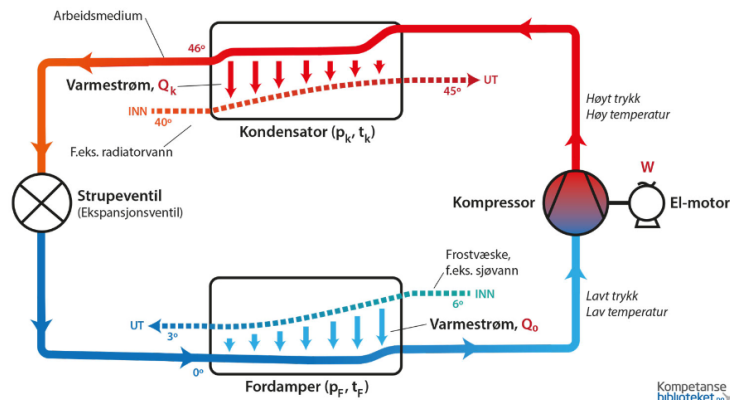
2.1.4 Fjernvarme

Fjernvarme er når varme produseres i en varmesentral og distribueres til bygg i lokalområdet gjennom et rørnett. Energikildene for de fleste varmesentralene er, spillvarme fra industri, biobrensel eller varmpumper (Norsk Fjernvarme, 2023). Fra varmesentralen distribueres varmen gjennom vann/damp i rør frem til byggene i lokalområdet. Fjernvarme er kun aktuelt i tettbebygde strøk. Forskjellige energikilder vil gi forskjellige tur-/returtemperaturer. Fjernvarmeanlegget overfører energi til vannbårne varmeanlegg gjennom en eller flere varmevekslere. Tradisjonelt har fjernvarmeanlegg vært høytemperaturanlegg, med energikilder fra industri eller biobrensel, men i de siste årene har det også kommet fjernvarmesystemer som bruker varmpumper, som dermed gir lavere temperaturer på tur og returvann.

2.1.5 Varmepumpe

En varmpumpe består av et arbeidsmedium i en lukket krets. Kretsen inneholder som vist på figur 2; fordamper, kompressor, kondensator og strupeventil. I fordamperen overføres varme fra et medium (luft eller veske) til arbeidsmediet som fordamper med varmetilskuddet. Deretter går arbeidsmediet gjennom en kompressor som øker trykket, med det økte trykket, vil temperaturen på arbeidsmediet også øke. I kondensatoren overføres varmen fra arbeidsmediet til for eksempel vannet i et vannbåret varmeanlegg. Herfra går arbeidsmediet til

en strupeventil som reduserer trykket, som medfører en reduksjon i temperaturen før arbeidsmediet går tilbake til fordamperen (Sintef, 2009).



Figur 2: Prinsippkisse av en varmepumpe (Stene, 2016).

Ettersom varmepumper transporterer varme mellom to temperaturnivåer, har den en varm side og en kald side. Varmepumpen kan utformes slik at den leverer både varme og kjøling til bygget. Normalt benyttes varmepumper kun i lavtemperaturanlegg, ettersom ved høye temperaturer vil effektiviteten til varmepumpen senkes. Ofte dimensjoneres varmepumpen til å dekke grunnlasten i et vannbåret varmeanlegg, mens en annen energikilde som for eksempel en elkjel dekker spisslasten.

Effektfaktor – COP

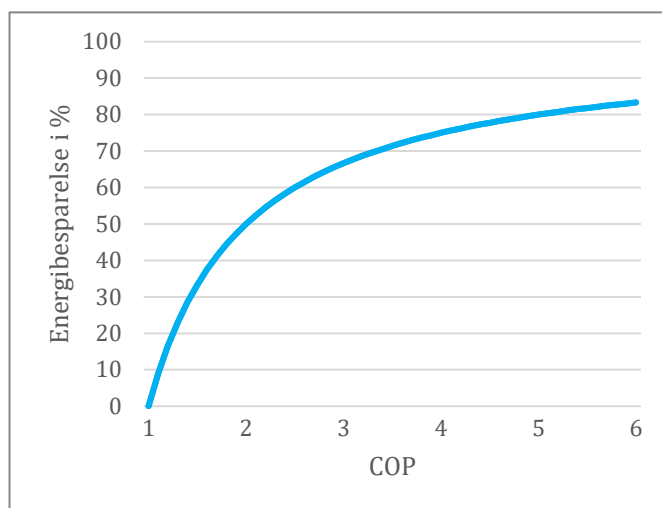
Varmepumpens effektivitet ved forskjellige driftsbetingelser beskrives som anleggets effektfaktor (COP). Effektfaktoren bestemmes av forholdet mellom avgitt varmeeffekt fra kondensatoren (Q_k), og tilført elektrisk effekt til kompressoren (W).

$$COP = \frac{Q_k}{W}$$

COP er avhengig av hvor stort temperaturløftet er mellom varmekilden og varmekonsumeren. Større temperaturløft vil gi en lavere COP. Varmepumpers COP-verdien vil typisk ligge mellom 2-5 (Stene, 2016).

Energibesparelser

Energibesparelsen ved bruk av en varmepumpe sammenlignet med bruk av en elkjel vil være tilnærmet lik: $1-1/COP$. Figur 3 viser sammenhengen mellom COP-verdien til en varmepumpe og energibesparelsen sammenlignet med en elkjel.



Figur 3: Energibesparelser ved ulike COP verdier til varmepumper sammenlignet med bruk av elkjel.

Luft/vann varmepumpe

En luft/vann varmepumpe henter ut lavverdig energi fra uteluften gjennom fordampere, for så å heve temperaturen til et nivå hvor den kan utnyttes gjennom kompressoren, før kondensatoren avgir varme til vannet i et vannbåret varmeanlegg (Stene, 2016).

Fordelen med en luft/vann varmepumpe er at den er mer energieffektiv enn for eksempel en elkjel, og den har lavere installasjonskostnader enn en varmepumpe tilknyttet energibrønner. Luft/vann varmepumpen kan også benyttes til kjøling, ved at overskuddsvarmen avvikles gjennom tørrkjøleren.

En ulempe med en luft/vann varmepumpe er at når temperaturen er på sitt laveste og varmebehovet er på sitt største, vil COP-verdien være lav, da temperaturløftet blir for stort. Dette betyr at varmepumpen er mindre effektiv ved lave temperaturer. Grunnet store variasjoner i utelufttemperaturen vil varmepumpen måtte endre driftssituasjon ofte som fører til større slitasje på komponenter, slik at levetiden på en luft/vann varmepumpe er kortere enn en varmepumpe som benytter mer stabil energi som energibrønner eller sjøvann. I tillegg vil energi kreves fra varmepumpen for å fjerne rimdannelse på utedelen (Stene, 2016).

Veske/vann varmepumpe

En veske/vann varmepumpe er en varmepumpe som benytter lavverdig energi fra en veske på fordampere. Normalt er dette sjøvann eller glykolholdig vann fra energibrønner. Dersom sjøvann eller vann fra en stor innsjø er tilgjengelig er dette en god energikilde for en veske/vann varmepumpe, ettersom vannet er lett tilgjengelig. Vannet vil ha en tilnærmet lik temperatur over året, slik at varmepumpens effektivitet ikke avtar med utetemperaturen.

Detter er årsaken til at en veske/vann varmepumpe typisk vil ha en høyere COP-verdi over året sammenlignet med en luft/vann varmepumpe. Levetiden til en veske/vann varmepumpe vil også være lengre, grunnet mindre slitasje på kompressorer (Stene, 2016). Ved bruk av en veske/vann varmepumpe kan det kjølige sjøvannet/vannet fra energibrønnene også benyttes til frikjøling, der det kalde vannet utnyttes direkte til kjøling, uten bruk av varmepumpens kompressorer.

En veske/vann varmepumpe kan også hente ut energi fra berg/fjell gjennom vertikale energibrønner med tykkelse 130-140mm med en dybde på 80-300m. Fordelen med å hente ut energi fra berget er at temperaturen er tilnærmet konstant lik årsmiddeltemperaturen fra en dybde på 15-20m og ned (Alstad, 2015). Ved installasjon av en bergvarmepumpe er man avhengig av berg/fjell i grunnen, et høyt grunnvannsnivå og plass til boring. Hvert borehull har sin egen sløyfe med glykolholdig vann, som går gjennom plastrør, hvor vannet kan avgi eller ta opp energi fra berget/fjellet. Dersom flere energibrønner benyttes, skal disse parallellkobles frem til fordelings-/samlestokken mot varmepumpen. Det er viktig at det dimensjoneres nok energibrønner langt nok fra hverandre, for å beholde gjennomsnittstemperaturen i berget/fjellet. Om varmepumpen benyttes til kjøling, kan overskuddsvarmen sendes ned i energibrønnene hvor varmen er lagret for senere bruk.

Den største ulempen med energibrønner er investeringskostnadene. Installasjonen vil være vesentlig dyrere enn en luft/vann varmepumpe eller en veske/vann varmepumpe som benytter energi fra sjøvann, grunnet boringen. Bruk av energibrønner for en veske/vann varmepumpe er et godt alternativ i områder der sjøvann ikke er tilgjengelig.

2.2 Vannbårne varmeanlegg – bruksområder

Et vannbåret varmeanlegg kan brukes for mange formål, noen av de vanligste formålene er; oppvarming av romluft, oppvarming av tilluft, oppvarming av forbruksvann og snøsmelting.

Oppvarming av bygg skjer enten gjennom romoppvarming (radiatorer, konvektorer, gulvvarme osv., og gjennom oppvarming av tilluft (varmebatteri og ettervarmebatteri).

Normalt er det en kombinasjon av begge som står for oppvarmingen av bygg.

2.2.1 Oppvarming av romluft

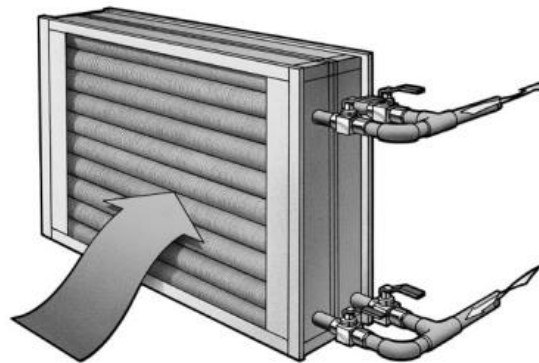
Romoppvarmingen er oppvarmingen av luften i et rom. De vanligste prinsippene for romoppvarming er; radiatorer, konvektorer, gulvvarme og varmluftsporter. En radiator gir ut varme i form av varmestråling og konveksjonsvarme, mens en konvektor kun avgir

konveksjonsvarme. Gulvvarme skjer gjennom sløyfer under gulv tilkoblet varmeanlegget. Ved bruk av gulvvarme er det viktig at temperaturen på turvannet reguleres ned, ettersom for høy temperatur vil oppleves som ubehagelig og kan skade gulvbelegget. Varmluftsporter plasseres ofte i tak nært inngangsdører og avgir konveksjonsvarme gjennom en vifte som blåser luft gjennom varmeelementene.

2.2.2 Oppvarming av tilluft

Ventilasjon sørger for at frisk luft fordeles rundt om i et bygget, samtidig som den trekker ut forurenset luft. For et godt innemiljø er det viktig at tilluften som blåses inn i bygget er oppvarmet. Oppvarmingen av tilluften skjer gjennom varmegjennvinnere og varmebatteri. Varmegjennvinnere overfører energi fra den varme forurensete avtrekksluften til den kjølige tilluften, med en virkningsgrad normalt mellom 75 – 85% (Zijdemans, 2014d).

For ytterligere oppvarming av tilluften brukes varmebatteri. For bygg som har et vannbåret varmeanlegg kan varmebatteriene tilkobles varmeanlegget, alternativt kan det benyttes direkte elektrisk oppvarming. Et vannbåret varmebatteri er bygd opp av kobberør med påkrympede ribber, for å øke heteflaten. Disse varmes opp av varmt vann som forsynes av varmeanlegget (Zijdemans, 2014d). Når luften strømmer gjennom varmebatteriet blir varmet opp, som vist på figur 4.



Figur 4: Varmebatteri tilkoblet vannbåret varme (Hansen, 2013).

I ventilasjonsaggregatet varmes tilluften opp til den ønskede temperaturen, som skal distribueres rundt om på bygget. Dersom enkelte rom ønsker en høyere temperatur på tilluften enn resten av bygget (garderober, terapirom osv.), kan det monteres ettervarmebatterier i de relevante kanalene. Et ettervarmebatteri er et mindre varmebatteri som vil heve temperaturen ytterligere på tilluften.

2.2.3 Oppvarming av tappevann

Oppvarming av tappevann skjer i varmtvannsberedere, som har i oppgave er å varme og lagre tilstrekkelige mengder med varmt tappevann, for byggets bruk.

For å unngå faren for legionella i tappevannet er det viktig at temperaturen i varmtvannsberederen er så høy at bakterien ikke kan leve. Legionella bakterier formes da vanntemperaturen er mellom 20 – 50°C (Larmrud et al., 2020a). For å unngå legionellavekst anbefaler folkehelseinstituttet å ha en minimumstemperatur i varmtvannsberederen på 70°C (Pettersen, 2015).

Når varmtvannet leveres rundt om på bygget skal kaldt vann blandes inn for å unngå faren for skader på forbrukere, dette gjøres gjennom en treveis blandeventil. I henhold til TEK17 §15-5c skal temperaturen på tappestedet i de fleste typer bygg maksimalt være 55°C.

Oppvarmingen av kan skje på 3 måter; direkte oppvarming, indirekte oppvarming eller en kombinasjon. Direkte oppvarming er da et elektrisk varmeelement plasseres i varmtvannsberederen og varmer vannet opp direkte (Zijdemans, 2014h). Indirekte oppvarming er da en ekstern energikilde (varmeanlegget) står for oppvarmingen av vannet i berederen. Oppvarmingen kan enten skje gjennom coiler i varmtvannsberederen eller gjennom en ekstern varmeveksler. Ved bruk av coiler strømmer vannet fra varmeanlegget gjennom coilene og overfører varme til varmtvannsberederen. Dette er den vanligste løsningen på mindre anlegg som kun trenger en varmtvannsbereder. For større anlegg der flere varmtvannsberedere seriekobles, er det ønskelig å bruke en ekstern varmeveksler. Dersom det kun benyttes indirekte oppvarming må varmeanlegget være høytemperert, for å oppnå tilstrekkelig temperatur (Zijdemans, 2014g). For lavtempererte anlegg kan det kombineres bruk av direkte og indirekte oppvarming, der varmeanlegget står for oppvarmingen til en gitt temperatur og direkte elektrisitet benyttes for å heve temperaturen ytterligere (Zijdemans, 2014i).

2.2.4 Snøsmelting

Snøsmelting fra et vannbåret varmeanlegg skjer gjennom egne kretser under grunn, med glykolholdig vann, for å unngå at vannet fryser i perioder da anlegget ikke går. Snøsmeltekretsene får tilført varme fra varmeanlegget gjennom varmevekslere.

2.2.5 Oppvarming av svømmehaller

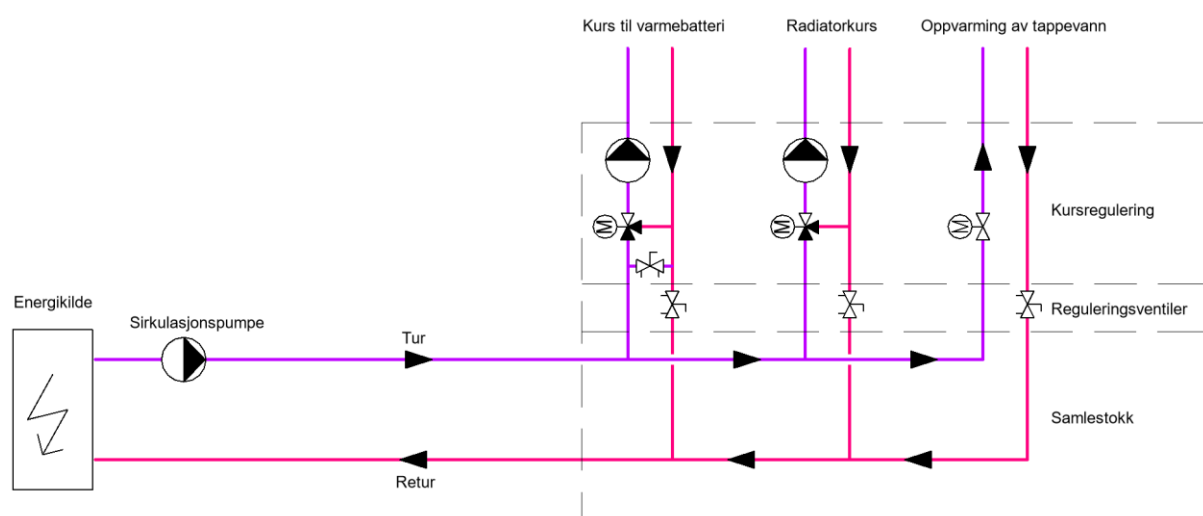
Oppvarmingen av svømmehaller skjer gjennom oppvarming av tilluften, oppvarming av bassengvannet og oppvarming av råvannet (blødevann) som tilføres bassenget. I tillegg skal det varmes opp store mengder varmt tappevann for sanitær bruk (dusjanlegg). Bassengvannet som går i overløp vil havne utjevningstanken. Herfra vil vannet ledes gjennom vannbehandling og varmebehandling før det ledes tilbake til bassenget. Varmebehandlingen skjer enten gjennom varmevekslere tilkoblet et varmeanlegg eller gjennom direkte el. kolber. For oppvarming av svømmehaller finnes det mange smarte løsninger for varmegjenvinning gjennom varmevekslere og varmepumper både for ventilasjon og gråvann (Kampel, 2016).

2.3 Reguleringsprinsipp

Det finnes flere forskjellige metoder for å regulere et vannbåret varmeanlegg. I dette kapitlet blir det sett på hovedføringer og samlestokker, samt prinsipper for mengde- og temperaturregulering.

2.3.1 Hovedføringer og samlestokker

Vannet som transporteres fra energikilden refereres til som turvannet, mens vannet som transporteres til energikilden refereres til som returvannet. Vannet transporteres gjennom anlegget ved hjelp av pumper, normalt plasseres sirkulasjonspumpen i turledningen etter energikilden. Fra sirkulasjonspumpen vil det gå hovedføringer frem til samlestokker, fra hvor vannet fordeler seg til forskjellige kurser, som sett på figur 5.



Figur 5: Prinsippskisse som viser hovedføringer og fordelingen i et varmeanlegg.

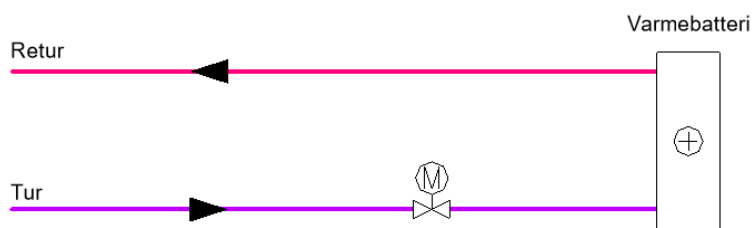
Hver kurs har egne styringer på turvannet, der mengden og temperaturen kan reguleres. Ettersom de forskjellige kursene vil ha forskjellig trykkfall, er det viktig å regulere trykket slik at all vannet ikke går «letteste vei» gjennom anlegg. Dette gjøres gjennom reguleringsventiler, som på figur 5 er plassert på returledningen i forkant av samlestocken.

Kursene er normalt parallellkoblet i et rørssystem, som vil si at kursens turledning er tilkoblet samlestockens turledning, mens kursens returledning er tilkoblet samlestockens returledning. Dette medfører at vannet vil sirkulere gjennom en kurs i løpet av et omløp. Fordelen med denne type kobling er at alle kursene får levert samme turtemperatur, i tillegg til hver enkelt kurs kan reguleres hver for seg (Zijdemans, 2014d). For større varmeavgivere som for eksempel varmebatteri og varmevekslere vil en kurs dekke en varmeavgiver, mens for mindre varmeavgivere som for eksempel radiatorer og konvektorer kan flere varmeavgivere kobles til en kurs, enten ved bruk av parallellkoblede stikk eller ved å seriekoble varmeavgiverne på kursen.

2.3.2 Mengderegulering

Mengderegulering innebærer at vannmengden til en varmeavgiver reguleres. Ved mengderegulering er turtemperaturen inn til varmeavgiveren konstant, slik at effekten til varmeavgiveren varierer med hvor mye vann som sendes gjennom kursen. Mengderegulering er gunstig å bruke på kurser i anlegget der det alltid er ønskelig at turvannet skal ha lik temperatur som turvannet fra energikildene.

Mengderegulering styres normalt gjennom en toveis motorstyret ventil, plassert på turledningen (Nilsen, 2011). Ved å åpne og lukke ventilen, vil vannmengden som slippes til varmeavgiveren kunne styres, og på denne måten vil man kunne oppnå ønsket effekt. For å oppnå automatikk i reguleringen må ventilen være motorstyrt og koblet opp mot temperaturfølere/trykkfølere. Mengdereguleringen kan enten være tilknyttet en temperaturfølere som for eksempel i et varmebatteri, eller tilkoblet en trykkdifferansmåler for å regulere vannmengdene og trykket på for eksempel en radiatorkurs. Maksimal effekt oppnås gjennom å åpne ventilen helt. Figur 6 viser hvordan en kurs mengdereguleres i forbindelse med et varmebatteri.



Figur 6: Bruk av en toveis reguleringsventil for mengderegulering til et varmebatteri.

Ved bruk av mengderegulering på et varmebatteri kan det oppstå fare for frost, dersom kald luft kjøres gjennom varmebatteriet da ventilen er lukket. Under normal drift skal ikke dette kunne forekomme, men en slik situasjon kan oppstå dersom for eksempel varmegjenvinneren slutter å fungere på en kald vinterdag. For varmebatteri er temperaturregulering sett på som mest aktuelt.

Ved bruk av mengderegulering vil volumstrømmen gjennom anlegget variere. For å unngå store variasjoner i trykktilstanden ved denne type regulering, er det viktig at sirkulasjonspumpen(e) er turtallstyrt (Nilsen, 2011a). Ved å benytte en turtallstyrt pumpe vil pumpen(e) kunne kompensere noe for de forskjellige driftstilstandene på anlegget.

2.3.3 Temperaturregulering

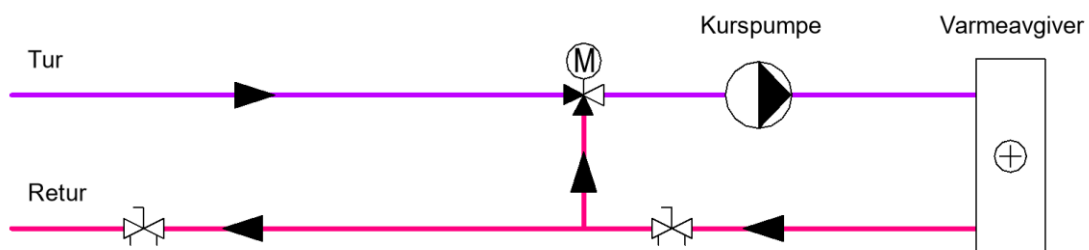
Ved bruk av temperaturregulering reguleres temperaturen på turvannet. Reguleringen skjer ved at returvannet blandes inn i turvannet, slik at den ønskede temperaturen på turvannet oppnås. Ved bruk av temperaturregulering er vannmengden gjennom en varmeavgiver konstant, men temperaturen vil variere. Dette er til stor fordel i for eksempel et varmebatteri, der det er fare for frost, da det skal mye til for at vann som kontinuerlig kjøres gjennom varmebatteriet fryser. En annen fordel med temperaturregulering er at effekten på varmeavgiveren kan enklere reguleres. Ulempen med temperaturregulering samelignet med mengderegulering er at disse løsningene vil være noe dyrere og krever en egen kurspumpe. Temperaturregulering kan oppnås enten gjennom en enkel blandekobling eller gjennom to-krets blandekoblinger.

Før i tiden ble det brukt mye to-krets blandetilkoblinger for å slippe å turtallstyre sirkulasjonspumper, da denne type tilkobling gir konstant volumstrømning gjennom hele anlegget. To-krets blandekoblinger anses som lite energieffektivt, ettersom anleggene pumper mye unødvendig vann rundt om i bygget (Zijdemans, 2014b).

I denne oppgaven blir det sett på to typer koblinger for temperaturregulering; enkel blandekobling og blandekobling med bløder. For begge typer kobling er det viktig at anleggets sirkulasjonspumpe er turtallstyrt, basert på anleggets trykksituasjon.

Shunt-kobling

Denne type kobling benytter en motorstyrt treveisventil for å blande returvann inn i turkretsen, mens en pumpe sørger for konstant vannstrømning gjennom varmeavgiveren (Zijdemans, 2014b), som vist på figur 7.



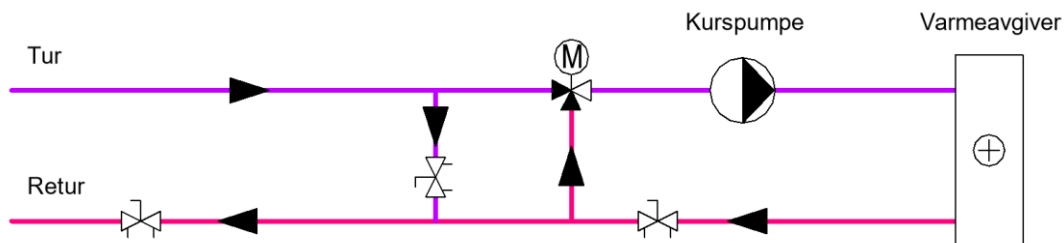
Figur 7: Temperaturregulering gjennom en shunt-kobling på en kurs til et varmebatteri.

Ved bruk av denne shunt-koblingen vil kurspumpen gå konstant, slik at det er en konstant vannmengde som går gjennom varmeavgiveren. En reguleringsventil sørger for at kursen får ønsket trykkfall, mens en annen reguleringsventil sørger for riktig trykkfall inn på samlestocken. Treveisventilen vil blande inn returvann i turledningen for å oppnå den ønskede temperaturen på vannet. Denne type kobling benyttes i de fleste tilfeller der det er ønskelig å regulere temperaturen på turvannet for å regulere effekten på varmeavgiveren.

Bruk av denne type temperaturregulering kan fortsatt gi fare for frost. I tilfeller der ventilen i turledningen har vært stengt over en lengre periode, vil temperaturen på det stillestående turvannet synke. Dersom det oppdages frost i denne situasjonen og ventilen åpnes for fullt vil det være en forsinkelse før turvannets temperatur øker. Derfor bør en shunt-kobling med bløder benyttes steder der det er ansett som fare for frost.

Shunt-kobling med bløder

Shunt-kobling med bløder er en type kobling som brukes i kurser til varmebatteri der det er fare for frost. Prinsippet er likt som en enkel shunt-kobling, men her er det lagt til en ekstra kobling mellom tur- og returledningen for å holde en redusert gjennomstrømning i turledningen dersom treveisventilen er stengt. Figur 8 viser en shunt-kobling med bløder.



Figur 8: Prinsippskisse for en blandekobling med bløder.

Blødeledningen vil være av en mindre dimensjon og det er viktig å ha en strupeventil for at det ikke skal gå unødvendige store vannmengder rett i retur. Strupeventilene som er tegnet på returledningen er for innregulering av kursen, slik at den får ønsket trykkfall. For å gi minst mulig forsinkelser i reguleringssystemet bør blandekoblingen og bløderen være nærmest mulig varmebatteriet.

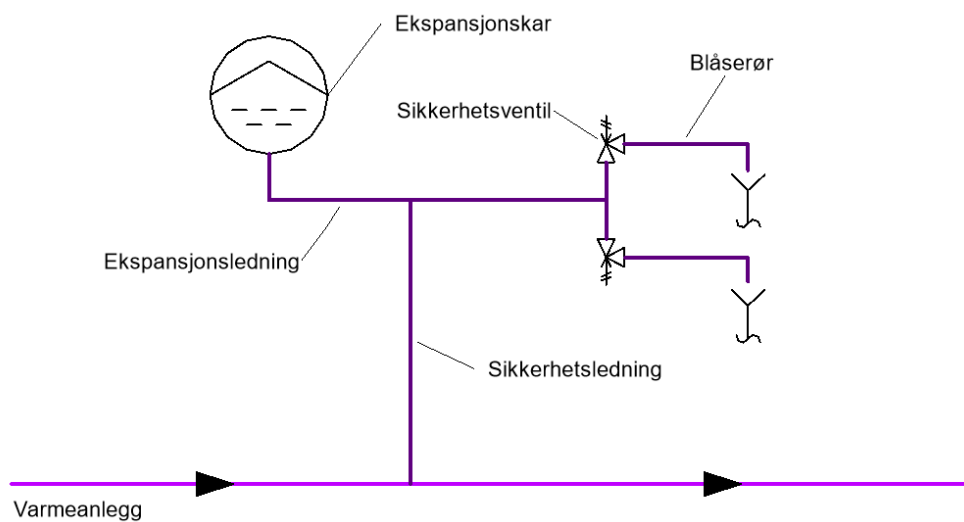
2.4 Ekspansjonssystem

Ekspansjonssystemets oppgave er å sørge for at anlegget opererer med et tilstrekkelig trykk (Grønnesby, 2015b). Det er viktig at varmeanlegget holder det ønskede trykket for å sikre at ventiler, pumper og automatikk i anlegget fungerer som tiltenkt. Et anleggs ekspansjonssystem dimensjoneres etter to hovedfaktorer; vannets *volumutvidelse* og hastigheten på volumutvidelsen, kjent som *ekspansjonshastighet* (Grønnesby, 2015a).

2.4.1 Komponenter

Et ekspansjonssystem består av følgende komponenter, som også vises på figur 9.

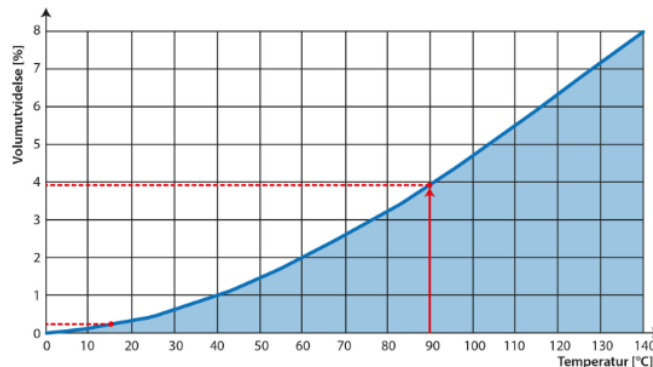
- *Ekspansjonskar:* En tank som inneholder et vannvolum for å kompensere for varierende volumsmengder i anlegget. Ekspansjonskaret settes normalt under trykk, for å redusere tankens nødvendige volum.
- *Ekspansjonsledning:* Rørforbindelse mellom varmeanlegget og ekspansjonskaret for å utjevne trykket.
- *Sikkerhetsledning:* Rørforbindelse mellom anlegget og sikkerhetsventilene.
- *Sikkerhetsventil:* Vil åpnes og slippe ut vann for å redusere trykket, dersom trykket overstiger maksimalt tillatt trykk.
- *Blåserør:* Avløpsrør fra sikkerhetsventil.



Figur 9: Skisse som viser et ekspansjonssystemets komponenter.

2.4.2 Vannets volumutvidelse

Vannets volum er temperaturavhengig. Det vil si at når temperatur i vannet øker, vil også vannets volum øke. Vannets volumutvidelse i forhold til vann ved 0°C er gitt i figur 10.



Figur 10: Vannets volumutvidelse i forhold til 0°C (Grønnesby, 2015a).

Uten et ekspansjonssystem vil trykket i anlegget endres ved forskjellige temperaturer på vannet. Ekspansjonskarets oppgave er å holde på overskuddsvannmengdene og distribuere vannet etter behov, slik at trykket i anlegget holdes konstant. Dette vil bety at anlegget ikke utsettes for høye trykk under drift, som kan skade komponenter. Ved å holde et konstant trykk unngås også lave trykk, som kan føre til innsug av luft (Grønnesby, 2015a).

2.4.3 Ekspansjonshastighet

Ekspansjonshastigheten er den hastigheten som volumendringen skjer på. Det er viktig at ekspansjonshastigheten dimensjoneres riktig, slik at ekspansjonssystemet klarer å trykkregulere anlegget på en slik måte at trykket er konstant selv under endrende temperaturer. Dimensjonering av ekspansjonshastighet har ingen betydning for ekspansjonskarets volum, men har betydning for rørforbindelsen mellom ekspansjonskaret og varmeanlegget, og eventuelt hjelpeutstyr som kompressor, trykkholdningspumpe, reguleringsventiler osv.

Den maksimale ekspansjonshastigheten vil oppnås ved maksimal varmeytelse fra varmekildene, uten et forbruk fra energiagiverne. Under normal drift vil det alltid være et forbruk fra energiagiverne samtidig som det produseres varme. For dimensjonering av «normal» drift kalles ekspansjonshastigheten i anlegget for netto ekspansjonshastighet. Et anlegg skal dimensjoneres slik at det fungerer både ved maksimal- og netto ekspansjonshastighet.

2.4.4 Aktuelle typer ekspansjonskar

Det finnes flere typer ekspansjonskar, denne oppgaven vil se på 3 aktuelle systemer:

- Membran-ekspansjonskar
- Ekspansjonskar med pumpe
- Ekspansjonskar med kompressor

Membran-ekspansjonskar

I denne type ekspansjonskar presses vannet mot en gasspute. Gassen vil normalt være avskilt fra vannet av en membran. Ved at vannet presser mot gassputen vil gassen fange opp trykkendringene i varmeanlegget (Grønnseby, 2015d). Figur 11 viser prinsippet for et membran-ekspansjonskar i forskjellige driftstilstander. For mindre anlegg er utformingen av ekspansjonskaret ofte rundt, mens på større anlegg er ekspansjonskaret normalt sylinderformet (Grønnseby, 2015d).



Figur 11: Prinsippet for et membran-ekspansjonskar. Venstre: lav temperatur i varmeanlegget. Høyre; høy temperatur i varmeanlegget (Grønnseby, 2015d).

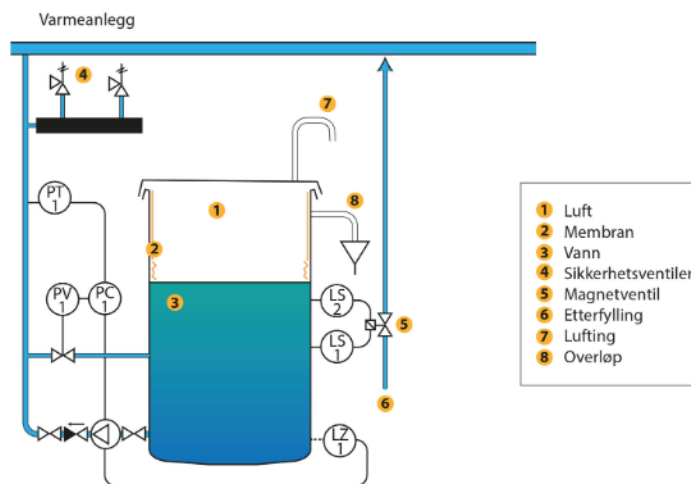
For et membran-ekspansjonskar vil en pute av gass eller luft fange opp variasjonene i varmeanleggets vannvolum. Ved stigende vanntemperaturer i varmeanlegget, vil vannvolumet øke, slik at vannet presser mot membranen, som fører til at luften/gassen presses godt sammen. Ettersom gassputen trykkes sammen vil dette gi plass for større vannmengder, og siden tanken er under trykk kan ekspansjonskaret romme større vannmengder i et mindre volum, enn om tanken ikke var trykklagt. Ved senkende vanntemperaturer i anlegget vil trykket fra luften/gassen trykke på membranen som presser mot vannet og fører til at vann presses ut av tanken. For at et membran-ekspansjonskar skal fungere godt er det viktig at ekspansjonskaret dimensjonere riktig, i henhold til vannets volumutvidelse (Grønnseby, 2015d).

For mindre og mellomstore varmeanlegg finnes det flere fordeler med bruk av membran-ekspansjonskar. En fordel er at denne type ekspansjonskar krever mindre vedlikehold, sammenlignet med andre løsninger som bruker pumper eller kompressor. Det vil også være

lavere driftskostnader, da ekspansjonskaret ikke krever energi for pumper eller kompressorer. Ulempen med membran-ekspansjonskar er det de kun er egnet for mindre og mellomstore anlegg. Har anlegget et vannvolum på større enn 20-25 m³, eller en ytelse på over 2 MW anbefales det å bruke andre typer ekspansjonskar som er mer fleksible til store variasjoner i vannvolumet, som ekspansjonskar med pumpe og ekspansjonskar med kompressor (Grønnesby, 2015b).

Ekspansjonskar med pumpe

Et ekspansjonskar med pumpe opererer med et lavere trykk i ekspansjonskaret enn resten av anlegget. En eller flere pumper brukes for å presse vann i ønsket trykk tilbake på anlegget, og en eller flere reguleringsventiler brukes for å slippe vann tilbake i tanken. Tanken kan enten være trykkregulert, eller være trykkløs med lufting (Grønnesby, 2015b). Ekspansjonskar med pumpe er en løsning som brukes på større anlegg. Figur 12 viser prinsippet for en trykkløs ekspansjonstank med pumpe.



Figur 12: Prinsippkisse for en trykkløs ekspansjonstank med pumpe, på høyre side vises også et system for etterfylling. (Grønnesby, 2015b)

Når vannvolumet ekspanderer, vil trykket i anlegget øke. Dette vil en trykkmåler (PT 1) føle og gi et signal til reguleringsventilen (PV 1), som åpner opp for å redusere trykket i anlegget, ved å slippe vann inn i ekspansjonstanken.

Da vannet kjøler ned, vil vannvolumet redusere. En trykkmåler oppfatter dette og gir signal til pumpen om å starte. En tilbakeslagsventil settes før pumpen, for å unngå at vann renner

tilbake inn i pumpen. Det finnes forskjellige måter å drive pumpen. På mindre anlegg er det vanlig å kjøre stopp start på pumpen, mens på større anlegg er det normalt at pumpen kjører kontinuerlig på forskjellige trykk gjennom en frekvensomformer.

2.4.5 Sikkerhetsventiler

Sikkerhetsventilens oppgave er å forsikre at trykket i anlegget ikke blir for høyt. Blir trykket høyere enn tillate driftstrykk vil sikkerhetsventilen(e) åpnes, slik at vann strømmer ut av anlegget. Ved å slippe vann ut vil trykket i anlegget senkes, slik at rør og komponenter ikke skades. Alle varmeanlegg med trykkeksponasjon skal ha minst en sikkerhetsventil. Anlegg med effekt over 100 kW skal ha minst to sikkerhetsventiler (Rørentreprenørene Norge, 2023d). Åpningstrykket for sikkerhetsventilene må ikke være større enn tillate driftstrykk ved anleggets svakeste komponent.

Sikkerhetsventiler er ofte kombinert med ekspansjonskaret, men dette er ikke nødvendig. Det skal også være sikkerhetsventiler ved alle varmegivere, for å sikre at varmegiveren ikke tilsetter farlig mye varme i anlegget som vil øke vanntrykket.

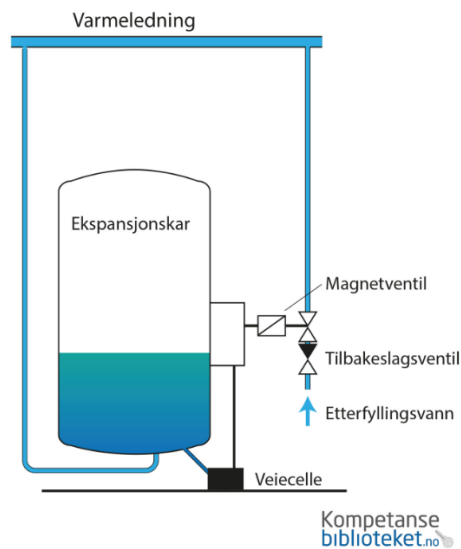
2.4.6 Automatisk etterfylling

For større anlegg kan det vurderes å ha et automatisk påfyllingssystem integrert i ekspansjonssystemet. Fordelen med et anlegg som benytter automatisk etterfylling er at driftspersonell slipper å etterfylle manuelt, spesielt på større anlegg hvor det kan være behov for hyppige påfylling. Det finnes to vanlige prinsipper for å måle etterfyllingsbehovet (Grønnesby, 2016a).

- *Vektcelle:* Det plasseres en vekt under et av støttebenene til ekspansjonskaret. Vekten nullstilles før karet fylles opp, slik at når vekten blir lavere enn en gitt verdi starter anlegget automatisk påfylling.
- *Sensorkabel:* En sensorkabel plasseres innvendig i ekspansjonskaret mellom karet og membranen, slik at den registrere trykket fra membranen mot tankvegen. Ut fra dette føler sensoren hvor mye vann det er i tanken og vil da starte automatisk påfylling etter behov.

Ettersom råvann er oksygenrikt, bør den ikke tilføres i ekspansjonskaret eller ekspansjonsledningen, for å unngå oppbygning av oksygen i stillestående vann. Det anbefales derfor å tilføre vannet direkte til en sirkulasjonsledning, som vis i figur 13 (Grønnesby,

2016a). Dersom det lar seg gjøre kan man vurdere å sende det etterfylte vannet gjennom anleggets oksykenfjerningssystem som en vakuumavgasser, før vannet slippes ut på anlegget.

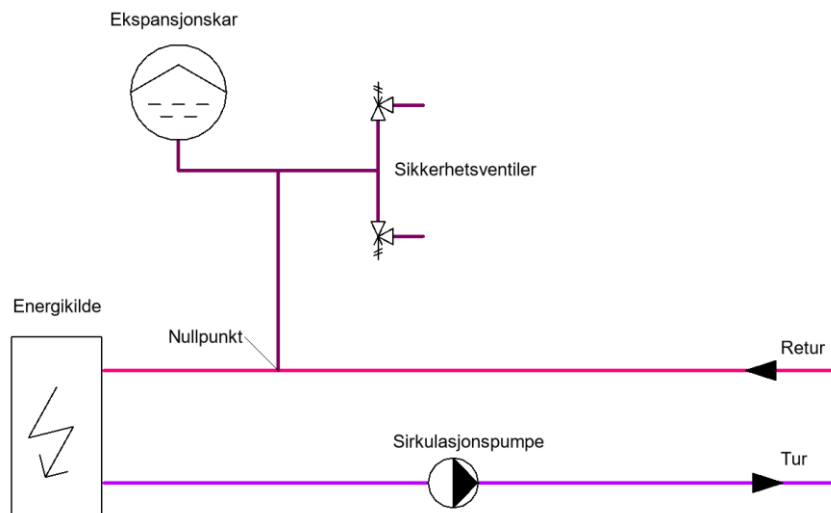


Figur 13: Eksempel på etterfylling med vektcelle. (Grønnesby, 2016a)

Dersom det benyttes automatisk etterfylling bør systemet måle hvor mye vann som tilføres anlegget, og dersom det tilføres en uvanlig stor mengde bør den automatisk stoppe. Etterfylling av store mengder vil normalt bety at anlegget har en lekkasje som bør tettes.

2.4.7 Tilkobling av ekspansjonskar

Ekspansjonsledningens tilkoblingspunkt i varmeanlegget refereres til som anleggets nullpunkt. Nullpunktet har betydning for beregning av ekspansjonskarets ladetrykk. Teoretisk kan ekspansjonskaret tilkobles hvor som helst på anlegget. Normalt plasseres ekspansjonskaret på teknisk rom sammen med energikildene og hovedsirkulasjonspumpene. Det er normalt ønskelig å koble ekspansjonskaret på sirkulasjonspumpens sugeside, da tilkobling på trykksiden medfører et høyere ladetrykk, ettersom pumpen øker trykket på vannet (Grønnesby, 2016a). Det vil si at dersom ekspansjonskaret settes på trykksiden av sirkulasjonspumpen må det dimensjoneres for større trykksvingninger. Ekspansjonskaret kan tilkobles enten etter energikilden i anleggets turledning, mellom energikilden og sirkulasjonspumpen eller før energikildene i returledningen, som vist på figur 14. Fordelen med å plassere ekspansjonskaret før energikilden er at temperatursvingningene på vannet vil være mindre, som vil kunne gi lavere ekspansjonshastighet.



Figur 14: Tilkobling av ekspansjonskar med nullpunkt på pumpens sugeside, før energikilden.

Ladetrykket for et ekspansjonskar med nullpunkt på pumpens sugeside er lik forskjellen i statisk trykk fra øverste punkt i anlegget og ekspansjonskaret når anlegget er stanset, med en sikkerhetsmargin på minimum 1m (Grønnesby, 2016a).

2.5 Varmeakkumulering

Varmeakkumulering er lagring av varme i form av varmt vann i en buffertank for senere bruk.

2.5.1 Bruk av varmeakkumulering

Varmeakkumulering kan ha flere bruksområder. Denne oppgaven vil se på bruk av varmeakkumulering for å jevne ut driften av varmepumper og varmelagring for å dekke effekttopper.

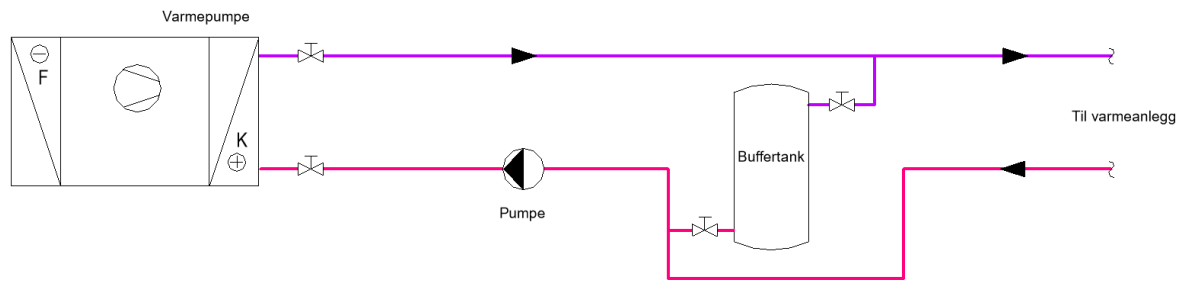
For å unngå hyppige start/stopp på varmepumper er det vanlig å benytte en buffertank for varmeakkumulering (Zijdemans, 2014a). Da varmepumper har begrenset reguleringsmuligheter på effekten, vil en buffertank være med på å fordele energi ut på varmeanlegget i perioder da varmepumpen ikke går. Når varmepumpen går, vil overskuddsvarme overføres til buffertanken og kan benyttes på et senere tidspunkt da varmepumpen ikke går.

Buffertanker kan også benyttes for varmelagring. Dette vil fungere på sammen måte, med at buffertanken fylles opp med oppvarmet turvann da energikilden produserer mer energi enn anlegget krever, og tømmes da forbruket er høyere enn energikildens varmetilskudd. På denne måten kan en energikilde i perioder kunne dekke et høyere effektbehov (Zijdemans, 2014a).

2.5.2 Tilkobling

Akkumulatortanken kan kobles parallelt med varmekilden, eller i serie på enten tur eller returledningen (Rørentreprenørene Norge, 2023e). Ved seriekobling vil buffertanken være et ekstra vannvolum på enten tur eller returledningen. Det ekstra volumet sørger for at det vil bli en forsinkelse i temperatursvingninger. Ved bruk av seriekobling anbefales det å plassere buffertanken på turledningen, da varmetapet vil være lavere her (Rørentreprenørene Norge, 2023e). For å kunne utnytte og styre den lagrede varmen bedre kan buffertanken parallellkobles. Ved parallellkobling vil tanken fylles opp dersom energikilden produserer mer energi enn hva anlegget krever. Tanken fylles opp med at oppvarmet vann fra turledningen strømmer inn på toppen av tanken, samtidig som kaldere vann fra bunnen av tanken tapes ut og på returledningen. Prinsippet bygger på at varmt vann er lettere enn kaldt vann, derfor er tilkoblingen til turledningen alltid på toppen og tilkoblingen til returen alltid i bunnen av tanken, og på denne måten kan vannet lagres i sikt med forskjellige temperaturer. Temperaturføorer plasseres på forskjellige nivåer i buffertanken for å bestemme nødvendig energitilskudd for energikilden. Strømningene inn og ut av buffertanken styres gjennom to pumper, hovedsirkulasjonspumpen for anlegget og en pumpe som pumper vann til energikilden (Rørentreprenørene Norge, 2023e). Dersom energikilden produserer varme for fullt vil pumpen inn til energikilden gå for fullt, og dersom energikilden ikke produserer energi vil denne pumpen stå. Hovedsirkulasjonspumpen styres ut ifra behovet på anlegget. Dersom hovedsirkulasjonspumpen pumper mer vann enn pumpen til energikilden vil vann fra toppen av buffertanken gå ut på turledningen, mens vann fra returledningen vil tilføres tanken fra bunnen. Og dersom hovedsirkulasjonspumpen pumper mindre vann enn pumpen til energikilden vil vann fra turledningen trykkes inn i toppen av buffertanken, mens vann fra bunnen av tanken går på returledningen

For parallellkobling av buffertanker finnes det to forskjellige tilkoblingsmetoder, firepunktstilkobling og topunktstilkobling. Ved firepunktstilkobling er tur- og returledningene fra anlegget og energikilden direkte tilkoblet buffertanken, slik at det er fire tilkoblingspunkter. Mens i topunktstilkobling benyttes et T-løp fra tur- og returledningen, slik at buffertanken kun har to tilkoblingspunkter. For større anlegg anbefales det å bruke topunktstilkobling da dette gir mindre omrøring og bedre temperatursikt (Rørentreprenørene Norge, 2023e). Figur 15 viser en buffertank som er topunkts parallellkoblet med en varmpumpe.



Figur 15: Buffertank koblet med topunkts parallellkobling med en varmepumpe.

2.5.3 Dimensjonering

Akkumuleringsvolumet for lagring av energi kan bestemmes etter følgende formel (Zijdemans, 2014a):

$$V_t = \frac{t * \Phi}{C_p * \Delta T}$$

- V_t = Volum akkumuleringstank [liter]
- t = Tid [timer]
- Φ = Netto tilført eller avgitt effekt [kW]
- C_p = Spesifikk varmekapasitet = $1,2 * 10^{-3}$ [kWh/(dm³*K)]
- ΔT = Utnyttbar temperaturdifferanse [K]

2.6 Vannbehandling

I moderne vannbårne anlegg legges det mye fokus på tekniske finesser, mens vannet som er selve energibæreren i anlegget ofte blir avglemt. Før i tiden ble rør og komponenter overdimensjonert, og materialvalget var ensartet gjennom hele anlegget. Med dette var ikke behandling av vannet i varmeanlegget nødvendig (Brandal, 2019). I de senere årene brukes det mer tid på tilpassing, slik at anleggene er mer marginalt dimensjonert, i tillegg til at materialvalg har blitt diversifisert for rør og varmegivere. Uten et system for vannbehandling kan dette føre til problemer.

2.6.1 Krav og anbefalinger til vannbehandling i vannbårne varmanlegg

Det finnes ingen forskriftshjemler for vannbehandling eller kvaliteten på vannet i vannbårne varmeanlegg.

Varmenormen 2017 sier at vannbehandling skal vurderes på alle anlegg. For varmeanlegg som stiller høye krav til driftssikkerhet, anlegg med effekt over 250 kW eller anlegg som dekker mer enn 5000 m² anbefales vannbehandlingsutstyr, generelt skal vannbehandlingen sørge for at den; fjerner luft fra anlegget, fjerner partikler og smuss, og holde kontroll på vannets pH-verdi. De fleste varmeanleggene i Norge har tilgang til kommunalt vann med en nøytral pH-verdi, som vil si at de fleste anleggene klarer seg uten pH justering av vannet.

2.6.2 Problemer tilknyttet luft i vannbårne varmeanlegg

Luft i et vannbåret varmesystem kan bidra til en rekke driftsproblemer og driftsforstyrrelser. Luftproblemer i et vannbåret varmeanlegg kan føre til sirkulasjonsproblemer, støy og korrosjon. Sirkulasjonsproblemer fører til redusert effekt på anlegget. Støy kan oppstå i deler av anlegget etter turbulens mellom luft og vann, for eksempel i en radiator. Korrosjon er en av de største utfordringene i et vannbåret varmesystem. Nesten all korrosjon som oppstår i vann skjer mellom oksygen og metall. Korrosjon oppstår gjennom en kjemisk reaksjon mellom vann, metall og oksygen. Dersom korrosjonen blir omfattende, kan den redusere levetiden på varmeanlegget betydelig. Konsekvensene av korrosjon har to hovedformer. Direkte virkning på varmeanlegg hvor korrosjonskaden oppstår, blir disse korrosjonskaden store vil de kunne svekke rør og komponenter. Indirekte virkning ved at korrosjonsprodukter sirkulerer rundt i anlegget med vannet. Korrosjonsproduktene kan sette seg fast i komponenter og redusere virkningsgraden på anlegget, og i verste fall kan utstyr som pumper ryke.

Moderne vannbårne varmeanlegg konstrueres for større vannhastigheter enn tidligere, dette medfører at luften ikke nødvendigvis samles i høydepunktene som tidligere, men kan rives med vannet.

Hvordan havner luft i anlegget?

Under drift av et vannbåret varmeanlegg kan vann komme inn i systemet på to måter; ved innsug fra lekkasjer eller gjennom etterfyllingsvannet. Alt av vann inneholder luft, vannets maksimale luftinnhold er avhengig av temperatur og trykk. Vann med høyere temperatur og/eller trykk kan holde på mindre luft enn vann med lavere temperatur og/eller trykk. Dette

betyr at kjølig vann som fylles på i varmeanlegget kan inneholde store luftmengder som felles ut når vannet varmes opp (Grønnesby, 1995).

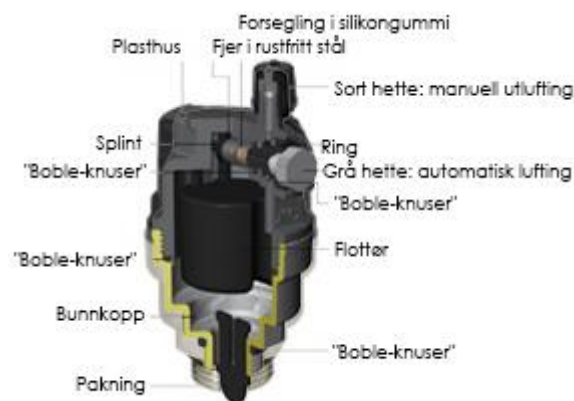
2.6.3 Fjerning av luft i vannbårne varmeanlegg

Luft fjernes fra vannbårne varmeanlegg gjennom luftepotter og mikrobobleutskillere.

Oppgaven ser også på metoder for å redusere luftoppbygningen gjennom oksygenfjerning i kapittel 2.6.4.

Luftepotter

Luftepotter brukes for å slippe luftdannelser ut av røرنettet. De fleste luftepottene har to muligheter for å slippe ut luft både manuelt og automatisk. Under normal drift er det ønskelig at luftepotten skal skille ut luften automatisk, men under første oppstart, da mye nytt vann er i anlegget må de manuelle ventilene åpnes for å slippe ut de store luftmengdene som vil oppstå. Prinsippet for luftepotter baserer seg på at luft er lettere enn vann, slik at det vil stige til toppen av rørene. Luftepottene plasseres på toppen av røret og består av en liten trykktank hvor det monteres en flottørventil som åpner når porten er fylt med luft og stenger når porten er fylt med vann (Grønnesby, 1995). På denne måten slipper luftepotten ut luften i systemet uten at vann leker ut. Et eksempel på hvordan en luftepotte kan se ut er vist i figur 16.

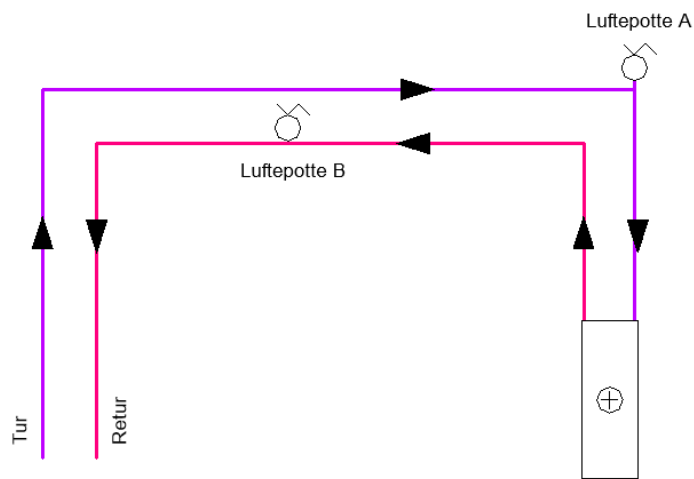


Figur 16: Eksempel på oppbygningen av en automatisk luftepotte. (Grønnesby, 1995)

For et tilfredsstillende resultat er valg av type og fabrikant viktig, det må velges ut fra de trykkene og temperaturene på anlegget der luftutskilleren står. Det er ønskelig at vannstanden i utlufteren ikke skal nå opp til utluftningsventilen, ettersom dette kan føre til tilsmussing av flottørventilen og dermed føre til lekkasjer (Grønnesby, 1995).

Luftepotter plasseres i anleggets høydepunkter, både i tur- og returledningene. Anbefalt plassering er vist i figur 17. Luftepotte A viser plassering over der hvor vannet føres ned.

Denne plasseringen er gunstig dersom vannets hastighet nedover er lavere enn likevektshastigheten. Likevektshastigheten er den maksimale hastigheten vannet kan ha for at en luftboble skal kunne stige oppover i røret. Luftepotte B viser en plassering på et horisontalt strekke. Denne plasseringen sees også på som gunstig. Tradisjonelt ble luftutskillere plassert på toppen der rør gikk opp, men dette er ikke lenger aktuelt, ettersom vannhastighetene er høyere i dag, som medfører at luften blir revet med vannstrømmen og kommer først opp lenger bort i det horisontale strekket. Det anbefales å en stengeventil i forkant av luftutskilleren, for å kunne stenge av og for å gjennomføre vedlikehold eller utskiftning.

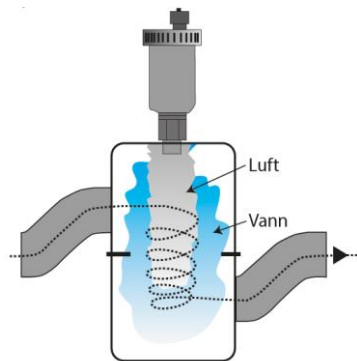


Figur 17: Aktuelle plasseringer av luftepotter.

Mikrobobleutskillere

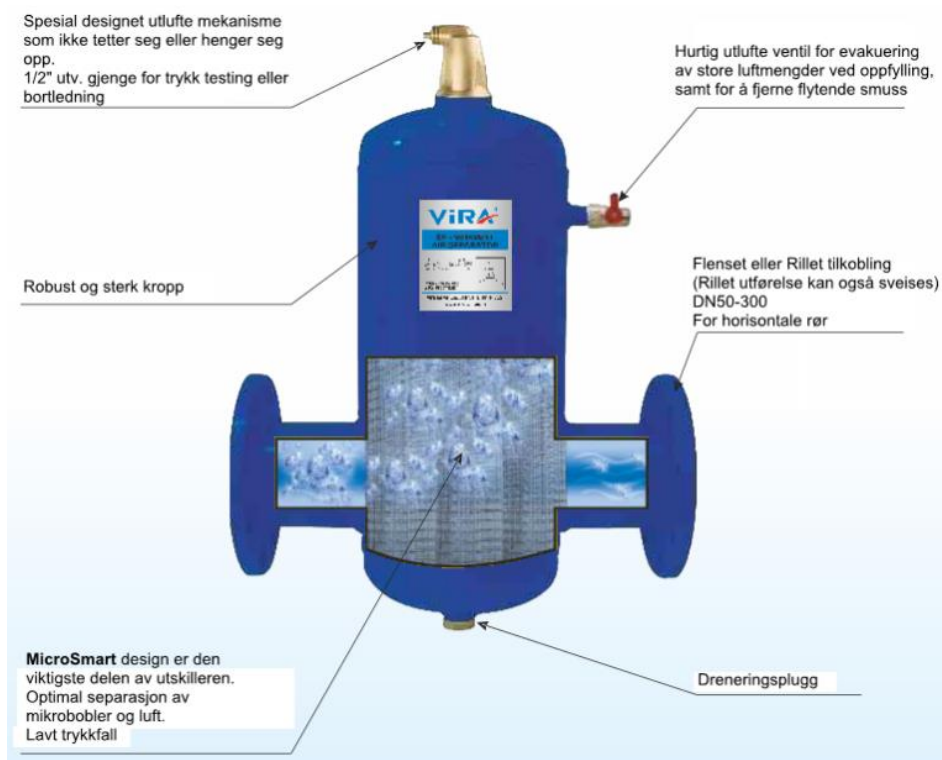
Mikrobobleutskillere (også kjent som luftutskillere), er komponenter som fjerner små luftbobler fra vannet i varmelegget. Det finnes 3 aktuelle prinsipper for hvordan luftutskillere fungerer (Grønnesby, 1995).

Sentrifugalutskillere: Baserer seg på prinsippet om at luft er lettere enn vann. Vannet settes i en sirkelbevegelse langs kanten i en tank, slik at luften skiller seg ut og stiger opp i midten, som vist på figur 18.



Figur 18: Prinsipp for en sentrifugalutskiller. (Rørhandboka, 2023)

Absorpsjonsutskillere: Vann settes i turbulent strømming i en beholder, som resulterer i et lavere trykk og økt luftvolum, slik at bobler danner og stiger oppover til toppen fra hvor luften skilles ut. Utformingen er vist i figur 19.

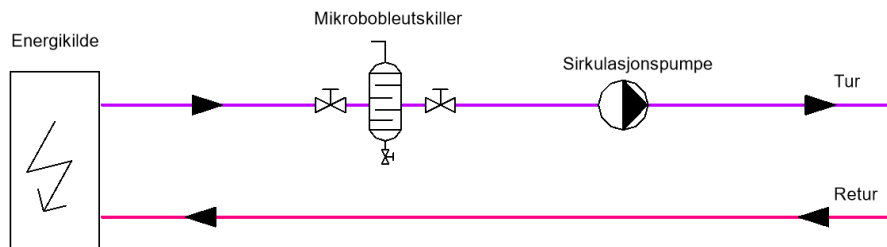


Figur 19: Eksempel på en absorpsjonsutskiller (Vira Vent) fra Nor-Shunt (Nor-Shunt, 2020)

Adhesjonsutskillere: Baserer seg på at små luftbobler vil sette seg fast på overflater, dersom vannhastigheten er lav. Utformingen er slik at vannhastigheten er lav og det er store overflater. Mikrobobler slår seg sammen og til slutt vil boblene stige opp til toppen hvor luften blir skilt ut. Utforming vist i figur 9.

Ettersom vann kan holde på minst luft da temperaturen er høy og trykket er lavt er den beste plasseringen for en mikrobobleutskiller i tur ledningen etter energikilden på

sirkulasjonspumpens sugeside, som vist på figur 20. Mikrobobleutskilleren plasseres i hovedstrømmen. Det anbefales og plassere stengeventiler på begge sidene av mikrobobleutskilleren, for å lettere kunne gjennomføre vedlikehold.



Figur 20: Plassering av luftutskiller/mikrobobleutskiller.

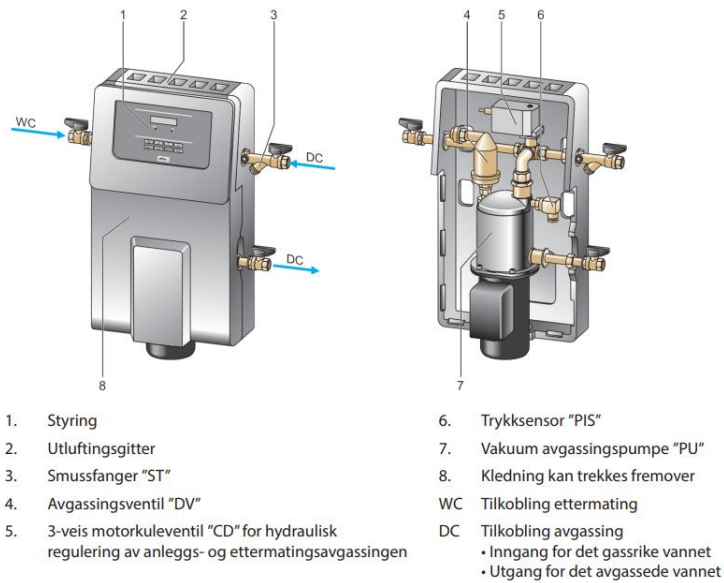
2.6.4 Fjerning av oksygen i vannbårne varmeanlegg

I større varmeanlegg er det ønskelig å redusere luftoppbygningen gjennom å fjerne oksygen fra vannet. Dette kan gjøres gjennom termisk avgassing eller gjennom elektrolytisk vannbehandling. Denne oppgaven vil kun se på termisk avgassing, ettersom dette er den mest utbredte behandlingsformen i Norge.

Termisk avgassing

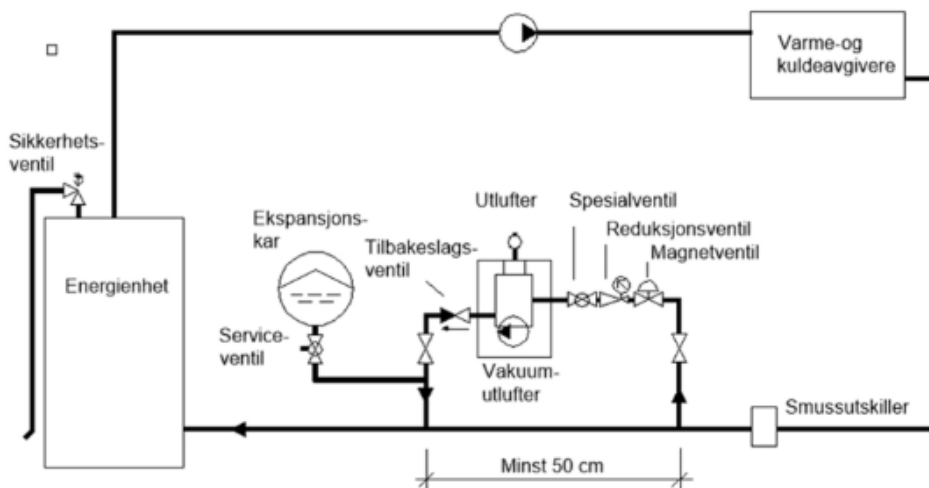
Termisk avgassing bygger på prinsippet om at løseligheten av gass i vann avtar med stigende temperatur og at løseligheten av gass i vann er proporsjonal med gassens partialtrykk. Det finnes 3 forskjellige prinsipper for termisk avgassing; vakuumavgassing, temperaturavgassing og trykkavgassing. Termisk avgassing er mest aktuelt i større anlegg, og bør installeres i alle større anlegg (Grønnesby, 1995).

Vakuumavgasser, eller vakuumluffer, er en løsning som ofte brukes på større anlegg. Vannet slippes inn i en beholder gjennom en magnetventil, reduksjonsventil og en spesialventil. Når vannet i vakuumentilen oppnår et trykket på omtrent 1,2 bar, vil magnetventilen stenge. Deretter lages et vakuum, som gjør at luften frigjøres fra vannet. Den frigjorte luften tvinges opp til toppen hvor den fjernes gjennom utlufferen. Vakuomet oppnås gjennom en spesialventil som leder inn en tilpasset vannmengde som sakte øker trykket i beholderen, samt en vakuum avgassingspumpe. Figur 21 viser oppbygningen til en vakuumlufter.



Figur 21: Eksempel en vakuumlufter fra Reflex (Reflex, 2017).

Etter at luften er fjernet fra vannet slippes vannet tilbake ut i anlegget. Vakuumlufteren plasseres som delstrøm i anleggets returledning, som vist i Figur 15. Figuren viser også en smussutskiller (slamutskiller) plassert som anbefalt i forkant av vakuumlufteren. Ekspansjonssystemet plasseres ofte sammen med vakuumlufteren som vist i figur 22.



Figur 22: Plassering av vakuumlufter sammen med ekspansjonskar (Rørentreprenørene Norge, 2023b)

2.6.5 Fjerning av partikler og smuss

Fjerning av partikler og smuss deles i tre kategorier; grovfiltre, delstrømsfiltre og slamutskillere.

Grovfiltre

Grovfiltrets oppgave er å skille ut større urenheter i vannet. Filtret består av en sil med maskevidder på rundt 0,4 x 0,4 mm som plasseres i et hus. Silen skal kunne tas ut for rengjøring eller utskiftning. Ettersom det er et lite trykkfall over grovfiltre, plasseres filtret i hovedstrømmen. Behovet for grovfiltre i et anlegg er avhengig av anleggets størrelse og utrustning (Grønnesby, 2016b).

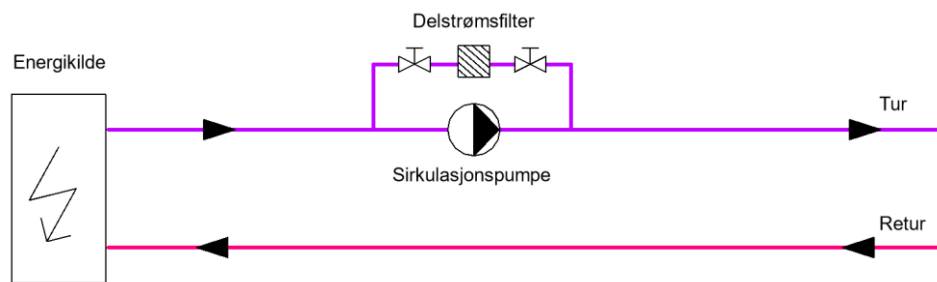
For å kunne vurdere behovet for rengjøring av grovfiltret anbefales det å måle trykkfallet over filtret. Det anbefales og installere stengeventiler på begge sider av filtret, slik at vannet kan stenges av for vasking og utskiftning av filtret. Dersom det er ønskelig å unngå stopp i anlegget under vasking kan det installeres en by-pass.

Delstrømsfiltre

Delstrømsfiltre er finfiltre som fanger opp mindre partikler enn det hva grovfiltret klarer å fange opp. Delstrømsfiltre brukes for eksempel til å fange opp korrosjonsproduktet magnetitt. Det finnes flere forskjellige typer delstrømsfiltre. Den mest vanlige typen er Patronfiltre, som benytter utskiftbare filterpatroner som plasseres i et hus. Vanlig filtreringsgrad for et patronfilter er mellom 5 – 10 µm (Grønnesby, 2016b). Den andre typen delstrømsfilter som brukes mye er Magnetfilter. Magnetfiltret inneholder en tradisjonell filterdel, men her er det en magnetisk kjerne, som trekker jernholdige avfallsstoffer mot magneten. Et magnetfilter er effektivt for fjerning av korrosjonsprodukter som magnetitt. Bruk av magnetfilter er mest aktuelt på større anlegg.

Som navnet tilsier installeres delstrømsfiltre i delstrøm. Det vil si at det kun er en andel av vannet som sirkulerer gjennom filtret. For anlegg mindre enn 1 MW skal vanligvis 5% av vannstrømmen passere filtret, mens for anlegg mellom 1 og 10 MW velges omtrent 4% (Grønnesby, 2016b). For større anlegg må det vurderes etter anleggets behov for vannbehandling (Grønnesby, 2016b). Det finnes flere måter å plassere et delstrømsfilter. En av de mest aktuelle plasseringene er parallelt med sirkulasjonspumpen, som vist i figur 23. Her er det også satt in stengeventiler for å kunne gjennomføre vedlikehold. Det er det anbefalt å måle trykkdifferansen over filtret, for å kunne se når den bør vaskes eller utskiftes. En annen

aktuell plassering av et delstrømsfilter er kombinert med andre vannbehandlingssystemer i delstrøm, som for eksempel i delstrøm sammen med en vakuumavgasser.



Figur 23: Patronfilter med trykkmåler plassert parallelt med sirkulasjonspumpen. (Grønneby, 2016b)

Slamutskillere

En slamutskiller er et system for å skille ut partikler som smuss og magnetitt gjennom mekaniske prosesser. Slamutskillere er et alternativ til filtre, og vil kunne erstatte bruken av både et grovfilter og delstrømsfilter. Denne oppgaven vil se på tre forskjellige prinsipper; syklonutskillere, magnetutskillere og helstillutskillere. En slamutskiller plasseres i hovedstrømmen, med beste plassering på returledningen (IMI Hydronic Engineering, 2021).

Syklonutskillere fungerer med at vannet settes i en sirkelbevegelse nedover, slik at de tyngre partiklene presses mot ytterkanten. Vannet suges opp fra midten, mens de tyngre partiklene faller ned langs ytterkantene. Partiklene samles i bunnen, hvor en ventil kan åpnes for å tømme kammeret (IMI Hydronic Engineering, 2019).

Magnetutskillere består av magnetiske staver som tiltrekker metaller som magnetitt som befinner seg i vannet (TTM Flow Efficiency, 2020). Magnetutskilling kan kombineres med helicalutskilling. En helicalutskiller bygger på samme prinsippet som en absorpsjonsutskiller, forskjellen her er at vanninntaket er plassert på toppen. Ved at vannet sendes gjennom et spiralformet stålnett, vil partikler miste fart og falle ned til bunnen ved hjelp av gravitasjon. I bunnen er det en ventil som kan åpnes for å tømme kammeret (IMI Hydronic Engineering, 2021).

3 Eksempelstudie

3.1 Vigør Rehabiliteringssykehus – Bygget

Bygget ble ferdigstilt i 1979 og består av 4 etasjer. Byggets totale areal (BTA) er på 7553m², av dette er oppvarmet bruksarealet (BRA) på 6370m². Uoppvarmet areal inkluderer tekniske rom og uoppvarmede lagre. Byggets ytterskallet er generelt dårlig isolert, som medfører et stort varmetap. Etter bygging er det gjort enkelte tiltak på byggets ytterskall; taket ble etterisolert i 2006 og de fleste vinduene ble skiftet ut mellom 2010 og 2012. Ellers er ytterskallet som det var da bygget var ferdigstilt. Det er planer om fremtidig etterisolering av ytterveggene, foreløpig er tidsperspektivet for dette ukjent.

For å kunne beskrive de forskjellige delene av bygget deles det inn i 3 deler; A-, B- og C-fløyen. A-fløyen er den nordlige delen av bygget. Fløyen består for det meste av pasientrom, samt kantine og kjøkken i 3. etasje. B-fløyen er den midterste delen, mellom A og C fløyen. Fløyen består av et auditorium i plan 1, vaskeri, resepsjon og tv-stue i planene 2, 3 og 4. C-fløyen er den sørlige delen av bygget. Fløyen består av kontorer og noen pasientrom, med tekniske rom i plan 1 og 2. Plan 3 inneholder også bassengene, garderober samt aktivitetsrom, og plan 4 består for det meste av behandlingsrom og treningsstudio.

3.2 Vigør Rehabiliteringssykehus – Oppvarming generelt

Oppvarming av Vigør Rehabiliteringssykehus skjer i hovedsak gjennom et vannbåret varmeanlegg. Varmeanlegget dekker romoppvarming, oppvarming av tilluft, oppvarming av tappevann, snøsmelting, samt oppvarming av bassengvann til svømmebassenget, terapibadet og boblebadet. Opprinnelig var store deler av oppvarmingen dekket av panelovner, men over årene har nye varmekurser blitt lagt til varmeanlegget for å dekke oppvarmingsbehovet gjennom radiatorer og varmebatteri. Opprinnelig energikilde til varmeanlegget var oljekjeler, med en tur-/returtemperatur på 80/60°C, men anlegget ble konvertert til et lavtemperaturanlegg, og driftes nå i utgangspunktet med en tur/returtemperatur på 60/40°C. En kombinasjon av dårlig merking, manglende målinger, manglende tegningsgrunnlag, manglende energimålinger, uvanlige løsninger og diverse ombygginger, har gjort varmeanlegget tungvint i drift og svært energikrevende.

3.3 Befaring

For å kartlegge varmeanlegget ble det gjennomført en rekke befaringer, der alle komponentene ble sett på og kartlagt. Kartleggingen hadde som mål om å få oversikt over anleggets komponenter og sammensetningen. Befaringene var på et overflatisk nivå, der komponenter og rør ble sett på, uten innvendig inspeksjon for å sjekke tilstanden til komponentene.

I hovedsak ble befaringene gjennomført av Ola Eriksen (Sweco Tromsø). Studenten (Alexander Berntsen) ble med på en av befaringene, der det ble sett på hovedføringene på primærkretsen, og varmebatteriene i A-fløyen. Under befaringene ble det utarbeidet håndtegnede skisser og notater, som senere ble satt sammen til et oppleggsskjema (vedlegg 2).

4 Oppbygning av dagens varmeanlegg

Energikildene, ekspansjonssystemet og sirkulasjonspumpene befinner seg på teknisk rom i plan 1 (rom C1.016-C1.020). Herfra går det to hovedføringer som oppdragsgiver refererer til som primærkretsen og sekundærkretsen. Primærkretsen går til radiatorene og gulvvarmen på bygget, mens sekundærkretsen går til varmebatteriene, gatevarme og oppvarming av basseng- og tappevann. Navngivingen av hovedføringene er noe misledende, ettersom sekundærkretsen drar vesentlig mer energi enn primærkretsen. Oppgaven vil bruke oppdragsgiverens betegnelser for å beskrive anlegget.

Vedlegg 2 er et oppleggsskjema som viser alle komponenter og rørføringer i anlegget, der strømningspiler viser hvordan anlegget driftes i dag. Mens vedlegg 3 er en forenklet utgave, som kun viser komponenter og rørføringer som benyttes i dag, dette for å gi en enklere oversikt over teknisk rom i plan 1.

4.1 Teknisk rom plan 1

Løsningene som er valgt i teknisk rom bærer store preg av en gammel luft/vann varmpumpe som er fjernet, samt flere tilkoblinger til enorme buffertanker. Som et resultat er rørføringene i teknisk rom unødvendig komplisert der flere av strekkene er ubrukte. Dagens energitilskudd kommer i hovedsak av en elkjel, samt noe varme fra et fjernvarmesystem. Figur 24 er et bilde tatt i teknisk rom, hvor noen av sirkulasjonspumpene vises i forgrunnen, med et omfattende rørnett under tak.



Figur 24: Teknisk rom plan 1.

4.1.1 Elkjel

På rom C1.016 er en SB 2300 elkjel levert av Varmeteknikk AS i 2004. Elkjelen har en maksimal effekt på 300 kW. Det er elkjelen som er den energikilden som tilfører varmeanlegget mest energi. Returvannet som kommer til elkjelen er forvarmet til ca 40°C av fjernvarmesystemet. Under befaring var elkjelen innstilt på 58°C og temperaturføleren på turledningen viste omtrent 53°C. Driftspersonell justerer temperaturen på elkjelen manuelt for å kompensere for varierende utetemperaturer over de forskjellige årstidene. Sikkerhetsventiler er installert på turledningen. Elkjelen er parallellkoblet med oljekjelene på fyringsrommet.

4.1.2 Fyringsrom

På fyringsrommet står det to oljekjeler, av disse er det kun en oljekjel som fortsatt kan driftes. Oljekjelen som kan driftes ble levert av Buderus Heiztechnik i 1997 og har en effekt på 190kW. Oljekjelen er en driftssikkerhet som kun benyttes sporadisk i perioder da elkjelen er ute av drift. Som elkjelen vil returvannet være forvarmet, og oljekjelen varmer vannet videre opp til ønsket temperatur. Sikkerhetsventiler er montert på begge oljekjelene. En oljetank på rom C1.020 forsyner kjelene med olje. Nivåmåleren i oljetanken viser at den er omtrent 10% fylt. Siden 1. januar 2020 har det vært forbud mot bruk av mineralolje til oppvarming, slik at drift av oljekjelen er i dag ulovlig.

Oljekjelene og elkjelen er tilkoblet varmeanlegget parallelt.

Tilkoblingspunktet til en tiltenkt flisfyringskjel, som aldri ble installert, befinner seg også på dette rommet. Rom C1.019 er et tilbygg som ble bygget for å være et lagerrom til flisen. I dag står dette rommet tomt, og kan benyttes for andre formål dersom det er ønskelig.

4.1.3 Fjernvarmesystemet

Anlegget benytter overskudsvarme fra en nærliggende trafostasjon som en energikilde. For å overføre varmen benyttes en platevarmeveksler med en kapasitet på 250kW, som står i hjørnet nært ekspansjonskarene på rom C1.018. Varmeveksleren er seriekoblet med kjelene slik at alt returvannet fra primær- og sekundærkretsene går gjennom varmeveksleren, med unntak av vannet fra radiatorkursen til kontorene på plan 3C, som har tilkobling direkte til kjelene. Målinger fra høsten 2022 og observasjoner gjort under befaringene viste at temperaturen på turvannet til varmeveksleren fra trafoen hadde en temperatur mellom 39-43°C, mens returvannet hadde en temperatur rundt 36-37°C. Da turtemperaturene fra fjernvarmesystemet er relativt lave sammenlignet med temperaturene som leveres ut på varmeanlegget, vil den kun bidra med forvarming av returvannet med 2-6°C, i forkant av kjelene.

4.1.4 Sirkulasjonspumper

På rom C1.018 er det tre forskjellige punkter hvor vannet pumpes. Sirkulasjonspumper er fra av Wilo og ble levert i 2003. En av pumpene er plassert på returledningen mellom fjernvarmeveksleren og kjelene, en pumpe står i turledningen, før avgreiningen mellom primær- og sekundærkretsen, og et sett med doble parallellkoblede pumper står i turledningen til sekundærkretsen. Av de to parallellkoblede pumpene er det kun en av pumpene som er i drift, mens den andre har aldri vært i drift. Problemet med å ha alle pumpene i serie tett på hverandre er at pumpene kan forstyrre hverandre med tanke på trykk og vannmengde. For å unngå at pumpene ikke forstyrrer hverandre kreves det presis regulering mellom pumpene. Alle tre sirkulasjonspumpene er innstilt på konstante trykk og vannmengder, noe som kan gi en ond sirkel i anlegget der de forskjellige pumpene påvirker og forstyrrer hverandre. Alle sirkulasjonspumpene mangler tilbakeslagsventiler, som medfører en risiko for at pumpene kan skades eller ødelegges ved at vann strømmer tilbake gjennom pumpen.

4.1.5 Vannakkumulering

I forbindelse med den gamle varmpumpen og en tiltenkt flisfyringskjel ble det lagt til mulighet for varmeakkumulering i form av 4 buffertanker med et totalt volum på 50 000 liter. Volumet til buffertankene er kraftig overdimensjonert, noe som reflekteres i den improviserte løsningen. Buffertankene er i utgangspunktet store uisolerte tanker snudd på høykant, med utvendig mineralullisolasjon med aluminiumsfolie. Under befaring ser det ut som tankene er uisolerte på bunnen, som vil føre til et varmetap. Årsaken til at det store akkumuleringsvolumet ble installert var for å lagre varme fra en «fremtidig» flisfyringskjel, som aldri ble installert. Figur 25 er et bilde som viser to av buffertankene.



Figur 25: Store buffertanker med et totalt akkumuleringsvolum på 50 000 liter

Eldre oppleggsskjema viser at siden buffertankene var installert har det vært gjort en rekke ombygginger på teknisk rom, der de største endringene innebar fjerning av den gamle luft/vann varmpumpen og tilkobling av primærkretsen. Tilsynelatende var den opprinnelige tilkoblingen av buffertankene parallelt med energikildene, gjennom tre tilkoblingspunkter. Under ombyggingene ble rørføringer og pumpeplasseringer endret, som har medført at buffertankenes gamle parallellkobling på sekundærkretsen ikke lengre kan reguleres på en enkel måte. Tilkoblingspunktene er fortsatt en del av anlegget og har en redusert funksjon. Hvert tilkoblingspunkt har egne rørføringer til alle fire buffertanker. Tilkoblingspunktene er markert på vedlegg 2 med følgende nummerering:

1. *Turledningen fra den gamle varmpumpen.* Alle ventilene er stengt, og varmpumpen er fjernet. Gjennom åpning av den stengte ventilen «2» kan turvannet fra fjernvarmeveksleren føres til dette tilkoblingspunktet.
2. *Turledningen til sekundærkretsen.* Alle ventilene på denne tilkoblingen er stengt. Også her har fjernvarmesystemet en egen turforbindelse direkte til tilkoblingspunktet, som også er stengt.

3. *Returledningen til primær- og sekundærkretsen.* En ventil i hovedkanalen er stengt, slik at vannet strømmer inn i en av buffertankene og tilbake igjen på returledningen. Ventilene til de andre 3 buffertankene er stengt.

Disse tilkoblingen betyr at det er kun en av buffertankene som er tilkoblet vannkretsen, og den er koblet i serie på returledningen. Dagens tilkobling av buffertanken vil kun fungere som et ekstra vannvolum, som i teorien vil kunne utjevne svingningene i returtemperaturen, men har ingen funksjon, da elkjelen kan selv håndtere temperatursvinger. Selv om anlegget kun benytter en av buffertankene er akkumuleringsvolumet på 12 500 liter, som nesten det dobbelte av resten av anleggets antatte volum på 7000 liter. Ulempen med dagens bruk av en buffertank er at det vil være et unødvendig varmetap gjennom den store overflaten på buffertanken, i tillegg til at det store vannvolumet stiller større krav til ekspansjonsvolum.

4.1.6 Ekspansjonssystem

Ekspansjonssystemet består av to ekspansjonskar og to sikkerhetsventiler, plassert i hjørne ved fjernvarmeveksleren på rom C1018. Begge ekspansjonskarene er membran-*kar*, og ble installert for to år siden. Hvert ekspansjonskar har et volum på 500 liter, som gir et totalt volum på 1000 liter. Sikkerhetsventilene har et blåsetrykk på 3 bar. Noe uvanlig har ekspansjonssystemet to tilkoblingspunkter; en tilkobling etter kjelene på sugesiden av sirkulasjonspumpen til primærkretsen, og den andre på trykksiden av sirkulasjonspumpen til sekundærkretsen. Sistnevnte tilkobling har en motorstyrt magnetventil på rørføringen, som antas å være stengt. Normalt plasseres ekspansjonskaret kun på sugesiden av pumpen, ettersom det å plassere den på trykksiden vil øke ladetrykket. Ekspansjonskarene er trykklagt med gasspute.

På grunn av de kraftig overdimensjonerte buffertankene har anlegget et uvanlig stort vannvolum sammenlignet med anleggets størrelse. Det store vannvolumet betyr at vannutvidelsen kan være stor, som vil si at anlegget trenger store volumer i ekspansjonskaret.

En forenklet beregning gjennomføres i HySelect for å se hvordan ekspansjonsvolum IMI anbefaler. I beregningen sees det på slik anlegget driftes i dag, men kun en av buffertankene. Buffertankens volum settes til 12,5 m³ og anleggets volum settes til 7 m³, basert på standardverdier med anleggets komponenter (IMI Hydronic Engineering, 2023). For beregningen antas statisk høyde til å være 14 m og anleggets tur-/returtemperatur settes til 60/40°C. En forenkling gjøres ved at ekspansjonskaret velges å være på pumpens sugeside,

mens i realiteten vil pumpen på returledningen påvirke ekspansjonskaret, slik at volumet bør være større enn hva beregningene kommer frem til. Beregningene anbefaler et ekspansjonskar på 3000 liter. Dette tyder på dagens ekspansjonskar, med et totalt volum på 1000 liter er underdimensjonert grunnet det store vannvolumet i forbindelse med buffertanken.

Tilkoblet sikkerhetsledningen er også et system for manuell påfylling fra byggets kaldtvannsnett, gjennom stengeventiler og en tilbakeslagsventil. Plasseringen til påfyllingssystemet er ikke gunstig ettersom det er ingen sirkulasjon på sikkerhetsledningen, noe som kan føre til oppbygning av luft, da det kalde vannet som føres inn på sikkerhetsledningen vil avgi luft da den blir varmet opp. Under befaringer ble det observert at anlegget har behov for hyppige etterfyllinger, noe som indikerer at anlegget har lekkasjer. Under befaringene ble det kun observert en mindre lekkasje som driftspersonellet var klar over ved bassengvarmevekslerne.

4.1.7 Vannbehandling

For vannbehandling har varmeanlegget en mikrobobleutskiller og et delstrømsfilter. Mikrobobleutskilleren er en absorpsjonsutskiller, som står i turledningen etter elkjelen, på sirkulasjonspumpens sugeside. Denne plasseringen er gunstig med tanke på å oppnå det beste resultatet. Delstrømsfiltret er et patronfilter som har en gunstig plassering parallelt med de doble sirkulasjonspumpene på sekundærkretsen. Både mikrobobleutskilleren og delstrømsfiltret ble installert på anlegget i 2011. Dagens anlegg har ingen system for oksygenfjerning, noe som anbefales på et anlegg av denne størrelsen, gjennom for eksempel termisk avgassing.

4.2 Primærkrets

Primærkretsen dekker radiatorene og gulvvarmen rundt om på bygget.

4.2.1 Plan 1

I plan 1 går hovedføringen til primærkretsen ut av teknisk rom til korridoren, hvor den går over himling. Det er det en kurs som går til radiatorene på kontorene i B- og C-fløyen. Radiatorkursen har egen pumpe, som ikke lengre er i drift. En annen kurs går til gulvvarmen som dekker pasientrommene i A-fløyen. Gulvvarmen er temperaturregulert gjennom en shunt-kobling som blander returvannet inn i turvannet. Det er etablert en avgreining til auditoriet i B-fløyen for fremtidig bruk av radiatorer, som dekkes i dag av elektriske panelovner.

4.2.2 A-fløyen

Radiatorkurser står for romoppvarming på de fleste pasientrommene og kontorene i planene 2, 3 og 4. Kursene deles av på hver etasje fra hovedføringen i en sjakt midt i fløyen.

4.2.3 B-fløyen

Egen rørføring deles av i plan 1, går via vaskeriet i plan 2, før den går videre opp til plan 3, hvor det er radiatorkurser til resepsjonen og spisesalen. Rørføringen går deretter videre opp til plan 4, hvor en radiatorkurs dekker romoppvarmingen i TV-stuen.

4.2.4 C-fløyen

Det er radiatorer på pasientrommene og kontorene i plan 2 og 3 som dekkes av to separate radiatorkurser.

Plan 2 dekkes av en kurs som avgreines fra korridoren i C-fløyen i plan 1. Radiatorene er på pasientrommene 201 – 210. Kursen har en egen pumpe i plan 1 på turledningen.

Fra rom C1.018 (teknisk rom plan 1) avgreines en kurs som går til radiatorene på kontorene i plan 3. Returen på denne kretsen er koblet på mellom fjernvarmeveksleren og kjelene.

4.3 Sekundærkrets

Sekundærkretsen går opp til rom C2.023. Herfra går det en føring som dekker varmebatteriene i A-fløyen, mens resten av varmebatteriene, gatevarmen, oppvarmingen av basseng- og tappevannet fordeler seg fra samlestocker som oppgaven vil referere til som første og andre samlestock. Første samlestock er hvor tappevanns- og bassengvarmevekslerne er tilkoblet, mens andre samlestock er hvor varmebatteriene er tilkoblet.

4.3.1 Bassengaggregat – 36.09

Bassengaggregatets varmebatteri (36.09) står på rom C2.023. Varmebatteriet er temperaturregulert gjennom en shunt-kobling med bløder. Tilkoblingspunktet til Varmebatteriet er nylig flyttet til før samlestockene, før var tilkoblingspunktet på andre samlestock.

4.3.2 Varmebatteri – A-fløyen

Fra C2.023 går det en føring som fordeler seg til varmebatteriene til aggregatene i A-fløyen (36.01, 36.05, 36.11 og 36.12). Føringen går over himling i korridoren på A fløyen. Etter avgreiningen på sekundærkretsen i forkant av første samlestock er ventilene både i tur og

retur delvis stengt. Dette ser ut til å være et forsøk på manuell trykkregulering, noe som kan skyldes på manglende reguleringsventiler i de fleste kursene tilkoblet sekundærkretsen.

Første avgreining er en føring til ventilasjonsaggregat 36.11 som går inn i rom A2.004, deretter krysser den rommet via himlingen i etasjen under, før den kommer opp igjen i samme rom. Ventilasjonsaggregatet 36.11 har totalt 7 varmebatteri, der en av disse står en for grunnoppvarmingen og resten er ettervarmebatteri til; resepsjonen, vaskeriet, A-fløyen, B-fløyen, kjernrommet og korridorene i 4. etasje. Alle kursene fordeles fra en samlestock i rom A2.004 og er mengderegulert via en toveis motorstyrt magnetventil.

Andre avgreining går til ventilasjonsaggregatene 36.05 og 36.12. Avgreiningen går inn på rom A2.006, før den deles. 36.05 består av to ettervarmebatteri i plan 3, som dekker oppvarmingen av spisesalen og kjøkkenet. Begge disse kurene er mengderegulert gjennom toveis motorstyrte ventiler. Kursen til ettervarmebatteriet for spisesalen følger samme sjakt som primærkretsen, mens kursen til ettervarmebatteriet for kjøkkenet går opp utenfor sjakt. Kursen til 36.12 deles også fra rom A2.006. Varmebatteriet til 36.12 er temperaturregulert gjennom en shunt-kobling.

Siste avgreining går til ventilasjonsaggregat 36.01, som består av et varmebatteri. Varmebatteriet er mengderegulert via en toveis motorstyrt ventil.

De fleste varmebatteriene i A-fløyen er mengderegulert gjennom en toveis motorstyrt ventil. Med denne type tilkobling vil det være fare for frostskafer dersom temperaturen i varmebatteriet synker under 0°C. En annen utfordring med dagens mengderegulering er at temperaturen på turvannet ikke kan reguleres, som gjør reguleringen mindre presis, spesielt da ventilene er plassert langt vekk fra varmebatteriene, som gir en forsinkelse i reguleringen. Temperaturreguleringen i 36.09 og 36.12 reduserer faren for frostskafer i disse varmebatteriene og bidrar til god temperaturstyring på disse varmebatteriene.

4.3.3 Oppvarming av tappevann

Oppvarming av tappevann skjer gjennom en kombinasjon av direkte og indirekte oppvarming. Varmtvannsanlegget består av totalt 6 varmtvannsberedere, med et totalt volum på 3600 liter. Berederne er seriekoblet med 2 sett på 3 beredere.

Den indirekte oppvarmingen skjer gjennom en varmeveksler, som er tilkoblet første samlestock på sekundærkretsens. Varmeveksleren har en kapasitet på 125 kW og benyttes til

å forvarme vannet i varmtvannsberederne, da varmeanlegget ikke kan levere temperaturer på over 70°C. Noe uvanlig er tappevannsveksleren seriekoblet med sekundærkretsen, der både tur- og returkursen er tilkoblet i samlestockens turledning. Varmeveksleren er i utgangspunktet mengderegulert gjennom en pumpe i returkursen, men i realiteten er det ingen temperaturstyring på pumpen, slik at den pumper returvannet i blinde tilbake på samlestockens turføring. For å redusere effekten på veksleren brukes stengeventilen i turkursen, som under befaring var omtrent 75% stengt.

For å heve varmtvannstemperaturen til over 70°C, benyttes direkte oppvarming gjennom elektriske varmeanheter på 2x 84 kW.

Mye av tappevannsforbruket går til dusjene i forbindelse med svømmehallen. I perioder der forbruket av varmtvann er høyt, har driftspersonellet merket at beredervolumet ikke er tilstrekkelig. Som det blir sett på i neste kapittel vil vannmengdene som går gjennom varmeveksleren begrenses av forbruket lengre ut på samlestocken grunnet den uvanlige seriekoblingen. Dette kombinert med at det under befaring ble observert at stengeventilen inn på varmeveksleren nesten var stengt. Det betyr at veksleren vil ha vesentlig lavere effekt enn hva som var tiltenkt da den ble installert.

4.3.4 Oppvarming av bassengvann

Varmeanlegget dekker oppvarmingen av byggets tre bassenger, alle med forskjellige temperaturer; svøm (28°C), terapi bad (34°C) og bobla (37°C). Hvert basseng har en egen platevarmeveksler mellom varmeanlegget og bassengvannet.

Varmeveksleren til svøm har en kapasitet på 150 kW, mens varmeveksleren til terapi bad har kapasitet på 300 kW. Som tappevannskursen er begge varmevekslerne seriekoblet med sekundærkretsen, der både tur- og returkursene er koblet på turledningen på første samlestock. Begge kursene er som tappevannskursen, i utgangspunktet mengderegulering gjennom en pumpe på returkursen. Også er det ingen temperaturstyring på pumpen, slik at den pumper returvannet i blinde tilbake på samlestockens turledning.

Bobla har to platevarmevekslere på 150 kW plassert i nærheten av tredje samlestock. Turkursen til bobla er koblet på ventilasjonskursen til A-fløyen, før den går under tak over resten av sekundærkretsen frem til hvor den deles til begge varmevekslerne. På den ene varmeveksleren er det mulighet for mengderegulering gjennom en motorstyrt ventil, mens den andre tilsynelatende kun kan styres gjennom stengeventilene. Under befaring pågikk

ombygningsarbeid på bobla og slik at begge varmevekslerne og styringssystemet var avkoblet. Som de andre bassengvekslekursene er det også en pumpe på returkursen (mest sannsynlig uten temperaturstyring). Returkursen går sammen med turkursen under taket frem til første samlestock, hvor den, som de andre bassengvekslerkursene, er tilkoblet sekundærkretsens turlledning i første samlestock.

Blandingen av returvannet inn i turføringen på første samlestock skjer etter tilkoblingene av turkursene til bassengvekslerne og tappevannsveksleren, slik at temperaturene inn på disse varmevekslerne ikke påvirkes. Blandingen gjør at turvannet gjennom andre samlestock vil ha lavere temperatur.

Etter at bassengaggregatets (36.09) tilkoblingspunkt ble flyttet, ble forbruket fra andre samlestock redusert, noe som har ført til at det i perioder ikke er nok gjennomstrømning i samlestocken. Dette betyr at vannet som sendes tilbake på turlledningen fra varmevekslerne ikke brukes fort nok, noe som medfører at vannmengdene gjennom bassengvarmevekslerne begrenses av forbruket videre på samlestocken. Forbruket videre på samlestocken er avhengig av forbruket på gatevarmen og varmebatteriene til ventilasjonsaggregat 36.10, som vil variere med ute temperaturen. I perioder er gjennomstrømningen på samlestocken så dårlig at bassengvarmevekslerne ikke får nok vanntilførsel for å holde ønskede temperatur i bassengene.

For å redusere problemet åpnes strupeventilen på blødeledningen i slutten av andre samlestock, vist på figur 26. Dette øker gjennomstrømningen i samlestockene. Grunnet manglende regulering på pumpene i returkursene og høy kapasitet på varmevekslerne vil temperaturen i bassengene stige ukontrollert dersom bløderen er helt åpen samtidig som forbruket videre på samlestocken er høyt. Dette betyr at strupeventilen på bløderen må åpnes og lukkes manuelt for å regulere bassengtemperaturene, en tungvint måte å regulere på.



Figur 26: Rød pil viser strupeventilen som regulerer gjennomstrømningen i samlestockene.

4.3.5 Varmebatteri – 36.10

Ventilasjonsaggregatet 36.10 består av totalt 6 varmebatteri, der et av varmebatteriene står for grunnoppvarmingen og resten er ettervarmebatteri. Alle varmebatteriene har separate kurser som er tilkoblet andre samlestokk på vanlig måte med tur på turledningen og retur på returledningen. Kursene mengdereguleres gjennom en toveis motorstyrt ventil, plassert langt unna varmebatteriet. Denne type regulering vil ha samme ulemper som sett på tidligere. På grunn av den tidligere seriekoblingen vil temperaturen på turvannet til varmebatteriene være lavere enn på resten av anlegget. Under befaring viste manuelle termometer en tur-/returtemperatur på 30°C/23°C. På samlestokken er det to tilkoblingspunkter til gamle ettervarmebatteri som ikke lenger benyttes.

4.3.6 Gatevarme

Det er etablert gatevarme ved hovedinngangen, varemottaket og nedkjøringen til garasjen. Gatevarmen skjer gjennom egne kretser med glykolholdig vann, som varmes opp gjennom varmevekslere med byggets varmeanlegg.

Gatevarmen til hovedinngangen og varemottaket har separate varmevekslerne og ekspansjonssystem, disse på rom C2.026. Varmevekslernes turkurs har tilkobling fra både tur- og returledning fra sekundærkretsens andre samlestokk. Under befaringene hentet turkursen vann fra sekundærkretsens returledning. Returkursen er koblet til returledningen i første samlestokk. På varmeanleggsiden er varmevekslerne mengderegulert gjennom en toveis motorstyrt reguleringsventil. Som varmebatteriene vil denne reguleringen gi fare for frost i varmeveksleren, dersom kaldt glykolholdig vann kjøres gjennom varmeveksleren når varmeanleggets ventil er stengt.

Varmeveksleren og ekspansjonssystemet til gatevarmen for nedkjøringen til garasjen er plassert i rom C2.023 nærmest garasjen. Kursen til varmeveksleren er tilkoblet i enden av andre samlestokk på vanlig måte. På varmeanleggsiden er varmeveksleren mengderegulert gjennom en toveis motorstyrt ventil, som vil si det også her vil være fare for frost.

Varmevekslerens plassering på en dårlig isolert yttervegg øker også sannsynligheten for at frost kan oppstå.

4.4 SD-anlegg

Enkelte deler av varmeanlegget er tilkoblet et SD-anlegg fra EM-systemer. Siden SD-anlegget ble installert er det gjort enkelte fysiske endringer på varmeanlegget uten at SD-anlegget har blitt oppdatert. Blant annet er rørføringene på teknisk rom i plan 1 endret siden SD-anlegget sist ble oppdatert og den avkoblede varmepumpen er fortsatt med. Flere av målere som vises på SD-anlegget fungerer ikke i dag og det er mistanke om at andre målere ikke måler riktig.

5 Energiforbruk og energimålinger

5.1 Energiforbruk

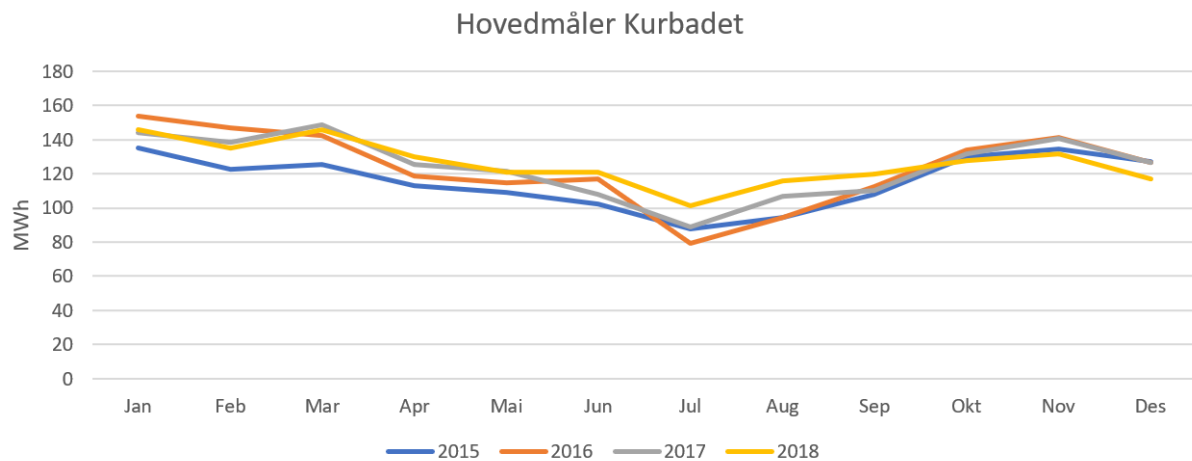
I henholdt til Caverions energikartleggingsrapport var byggets årlige energiforbruk i perioden 2014-2017 på 2439 MWh, som tilsvarer 383 kWh/m². Dette tallet er et graddagskorrigert gjennomsnitt av de fire årene energiforbruket ble målt. Tallet er veldig høyt sammenlignet med dagens standarder på nye bygg. Energirammen til nye sykehus i henhold til TEK 17 er på 225 kWh/m². Men her er det vært å nevne at det går mye energi til oppvarming av svømmebassengene, noe som ikke inkluderes i noen av energirammene i TEK 17, da disse kun ser på standardverdier for normal bruk.

Av det totale energiforbruket sier energikartleggingsrapporten at byggets vannbårne varmeanlegg står for rundt 1550 MWh, som tilsvarer 64% av byggets energiforbruk. Rapporten viser til at elkjelen dekker 69% av varmeanleggets effektbehov, mens fjernvarmesystemet dekker 31%.

5.2 Energimålinger

Energimålinger fra «Hovedmåler Kurbadet» som er energimåleren for el- og oljekjelene viser at i perioden 2015-2018, at januar var den måneden som hadde størst energitilskudd, med et gjennomsnitt på 145 MWh over måneden, og at juli var den måneden med minst energitilskudd, med et gjennomsnitt på 89 MWh over måneden. Målingene viser at 55% av energiforbruket er i perioden november til april, mens 45% av energiforbruket er i perioden mai til oktober. På grunn av energimålerens plassering inkluderer disse målingene ikke varmetilskuddet fra fjernvarmesystemet, som ved mangel på annen data må antas å være

konstant over året. Figur 27 viser hvordan energitilskuddet endres over året i henhold til «Hovedmåler Kurbadet» i perioden 2015-2018.

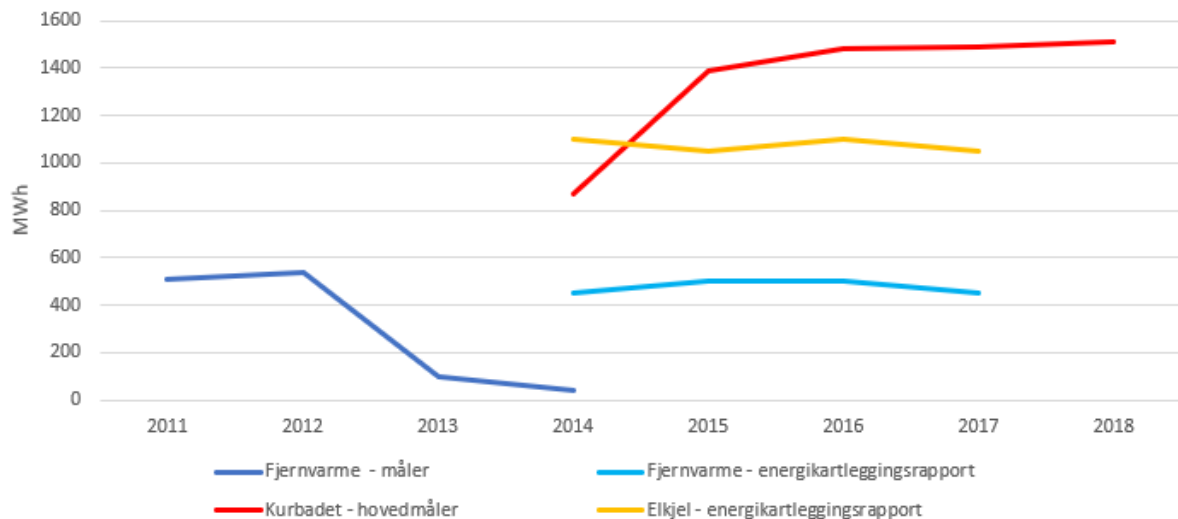


Figur 27: Energimålinger fra Hovedmåler Kurbadet.

Det må nevnes at dataen samlet inn fra energimåleren «Hovedmåler kurbadet» avviker vesentlig fra tallene i energikartleggingsrapporten. For 2014 viser energimåleren et forbruk på 200 MWh (19%) lavere enn energikartleggingsrapporten og for 2015-2017 viser energimåleren et forbruk på mellom 310-4400 MWh (29-40%) høyere enn energirapporten. Noe av avviket kan skyldes energikartleggingsrapportens graddagskorrigering, men de konstante store avvikene indikerer feil i en eller begge målingene. I henholdt til Norsk Kilmaservicesenter var årsmiddeltemperaturen i Tromsø over denne perioden noe over eller lik historisk årsmiddeltemperatur, variasjonene var mellom +0,8°C i 2015 og helt lik i 2017.

Selv om varmeveksleren til fjernvarmesystemet har en kapasitet på 250kW viser manuelle målinger og beregninger fra 10.11.2022 til 17.11.2022 en gjennomsnittlig effekt på 36kW. Under måleperioden var høyeste effekt på 52kW og laveste på 22kW. En gjennomsnittlig effekt på 36 kW over året tilsvarer 315 MWh. Eldre målinger fra varmeanleggets energimåler i perioden 2011-2012 viser et gjennomsnittlig varmetilskudd på 521 MWh, mens målinger fra etter 2013 frem til i dag kun viser et energitilskudd på rundt 50 MWh i året. Her er det mistanke om feilmålinger og at måleren har lest feil siden 2013. Caverions energikartleggingsrapport sier at i perioden 2014-2018 var det gjennomsnittlige energitilskuddet fra fjernvarmesystemet på 475 MWh i året. Disse tallene samsvarer godt med tidligere målinger i perioden 2011-2012 og tilsvarer en gjennomsnittlig effekttilskudd på 51kW.

Avvikene på energimålingene fra både elkjelen – hovedmåler og målinger på fjernvarmesystemet vises i figur 28. Videre i oppgaven velges det å anta at verdiene fra energikartleggingsrapporten til Caverion er riktig, da dette er den eneste sammenhengende måledata på anlegget, i løpet av de siste 10 årene. Da rapporten ikke viser svingningene i energiforbruket over året velges det å anslå at prosentverdiene fra «Hovedmåler Kurbadet» gir et bilde på hvordan energiforbruket varierer over året.



Figur 28: Oversikt over avvikene i energimålingene.

Energimålinger fra bassengvarmevekslerne (ikke inkludert tappevann) viser i perioden 2009-2011, et justert gjennomsnitt på 307 MWh over året, noe som tilsvarer 21% av varmeanleggets energiforbruk over energikartleggingsrapportens måleperiode (2014-2018). Årsaken til justeringen skyldes at noe av dataene er ekskludert da bassengene krevde usedvanlig lite energi sammenlignet med resten av datasettet, som må enten skyldes feilmålinger eller at bassengene var ute av drift i perioder. For å finne det totale energiforbruket på byggets svømmehall må det også inkluderes energien til oppvarming av tappevann, da dette krever mye energi. Det var det ingen tilgjengelig måledata på tappevannsvexlere.

5.3 Effekttopp

Ettersom bygget er dårlig isolert vil energiforbruket til romoppvarming svinge stort i samsvar med utetemperaturen, noe som gir høye effekttopper på i kalde perioder. Da romtemperaturen i flere av rommene senkes om natten blir høyeste energiforbruk ofte om morgenen da byggets temperatur økes. Energikartleggingsrapporten henviser til data fra elkjelen, som viser at maksimal effekt på elkjelen i 2017 var på 277 kW. For å finne varmeanleggets effekttopp må

effekten fra fjernvarmesystemet legges til. På fjernvarmesystemet er det ingen tilgjengelig data for den aktuelle målingsperioden. Som det er sett på tidligere er det vanskelig å vite hvor mye energi fjernvarmesystemet tilfører varmeanlegget til enhver tid. I denne oppgaven anslås tilskuddet fra fjernvarmesystemet i det aktuelle tidspunktet til å være 40 kW, som gir en antatt effekttopp på 317 kW.

5.4 Energikostnader

Energikostnaden til elkjelen vil være lik strømprisen. I denne oppgaven antas strømprisen til å være 0,36 kr/kWh. Dette tallet kommer beregninger gjort fra gjennomsnittlige strømpriser (Nord Pool, 2023) i perioden februar 2017 til februar 2023, der året 2020 fjernes fra statistikken grunnet uvanlige lave strømpriser under pandemien. Ettersom energiforbruket er størst om vinteren da strømprisene er høyst tas dette med i beregningene. Gjennomsnittlig strømpris fra november til april beregnes til 0,36 kr/kWh og vektlegges med 55%, mens gjennomsnittlige strømpris fra mai til oktober beregnes til 0,29 kr/kWh og vektlegges med 45%. Svaret som fremkommer er da multiplisert med faktor på 1,1 for å kompensere for strømleverandørenes fortjeneste og effekttopper på dagtid, da energiforbruket og strømprisene er høyere enn gjennomsnittet.

For fjernvarmesystemet betaler Vigør en fastpris på 150 000 kr for bruk av overskuddsvarmen fra trafostasjonen. Det vil si energiprisen vil variere med hvor mye varme varmeanlegget kan utnytte, som vil variere med driften og belastningen på trafostasjonen. Dersom energikartleggingsrapportens tall stemmer og fjernvarmesystemet tilfører varmeanlegget omtrent 475 MWh i året, vil energiprisen være 0,32 kr/kWh, som er noe lavere enn strømprisene. Med denne energiprisen og et varmetilskudd på 475 MWh i året utgjør dette en besparelse på omtrent 19 000 kr i året, sammenlignet med bruk av elkjelen.

Kostnadene for drift av oljekjelen anses ikke som relevant, ettersom videre bruk ikke lenger er tillatt.

5.5 Energimålere

I dag er det ingen av anleggets energimålere som fungerer. Flere energimålere er installert rundt om på anlegget, men fleste sluttet å fungere i 2013 ifølge driftspersonalet. Totalt er det installert 6 energimålere på anlegget.

- *Energimåler for fjernvarmesystemet.* Denne målingen forteller hvor mye energi fjernvarmesystemet tilfører anlegget. Etter 2013 begynte energimåleren å måle lavere verdier enn tidligere. Det er ukjent om dette skyldes endring i driften til trafoen, eller om målingen er feil. Sammenlignet med Caverions målinger/beregninger viste denne måleren vesentlig lavere tall. I dag fortsetter denne måleren å indikere et lavt tilskudd av energi fra fjernvarmesystemet. Oppgaven anser målingene etter 2013 som feilmålinger.
- *Energimåler for el- og oljekjelene.* Også kjent som «*hovedmåler kurbadet*». Denne målingen skulle fortelle hvor mye energi kjelene tilfører anlegget. Måleren sluttet å fungere etter 2018. Som et alternativ til denne energimåleren kan energiforbruket til elkjelen måles, dersom oljekjelene ikke driftes.
- *Energimåler plassert i turledningen på sekundærkretsen og retur for primær- og sekundærkretsene.* Flowmåleren og en av temperaturmålerne står i turledningen på sekundærkretsen, mens den andre temperaturmåleren står i samlet retur for primær- og sekundærkretsene. Denne målingen gir ingen hensiktsmessig data, da primær og sekundærkretsene har forskjellige returtemperaturer.
- *Energimålere for tappevann, svøm, terapi bad og bobla.* Energimålerne er plassert på varmeanleggsiden av varmevekslerne. Alle disse energimålerne sluttet å fungere i 2013.
- *Energimåler for gatevarme og varmebatteriene til 36.10.* Måler energien til ventilasjonsaggregat 36.10 og gatevarmen til garasjenedkjøringen. De andre gatevarmekursenes retur er koblet etter energimåleren, slik at den ikke kommer med. Denne energimåleren sluttet også å fungere i 2013.

6 Aktuelle tiltak

6.1 Fjerne oljekjelene

I samsvar med «Forskrift om forbud mot bruk av mineralolje til oppvarming av bygninger» må oljekjelene avkobles varmeanlegget. Selv om oljekjelenes plassering ikke vil hindre tiltenkt utbedring av varmeanlegget, bør de fjernes for å rydde frem plass.

Slik anlegget planlegges, vil ingen av de eksisterende rørføringene etter elkjelen ha noen fremtidig funksjon i anlegget, og kan dermed fjernes.

Oljetanken må tømmes. Tankens plassering vil ikke hindre tiltenkt fremtidig bruk av teknisk rom C1.018, slik at den eventuelt kan bli stående dersom det ønskes å unngå rivekostnader.

6.2 Fjerne fjernvarmesystemet

Slik fjernvarmesystemet fungerer i dag forvarmer den returvannet fra omtrent 36-37°C til 40-43°C i forkant av kjelene. Overskuddsvarmen fra trafoen er uforutsigbar med tanke på fremtidig drift, ettersom byggeier ikke bestemmer over trafoen. Endring i drift av trafoen kan gi store utslag på levert turtemperatur til Vigør. Selv om dagens energipris til fjernvarmesystemet er antatt til å være noe lavere enn driften av elkjelen, vil det etter tiltenkte ombygginger ikke lengre være økonomisk lønnsomt å drive fjernvarmesystemet.

6.3 Logging med energimålere

I forbindelse med dimensjoneringen av en ny varmepumpe, er det ønskelig å måle og logge anleggets energiforbruk over ett år. Dette for å gi et bedre bilde på svingninger i energiforbruket over døgnet og året, samt fortelle hva det maksimale energibehovet er. Ved å kartlegge energiforbruket vil det gi et bedre grunnlag for dimensjoneringen. Det anbefales derfor å logge energiforbruket på aktuelle steder i anlegget over et år. Dette vil fortelle hvordan energien fordeler seg rundt om på bygget, i ulike driftstilstander. Aktuelle steder for energimålinger vil være:

- *Ny energimåler på primærkretsen i teknisk rom plan 1.* Denne målingen vil måle energiforbruket til hele primærkretsen.
- *Ny energimåler på føringen til varmebatteriene i A-fløyen (sekundærkretsen).* Vil måle energien som går til varmebatteriene på A-fløyen.
- *Ny energimåler på kursen til bassengaggregatet.*

- *Nye energimåler på kursene til gatevarme.* Settes på kursen som går til rom C2.026, som dekker gatevarme for hovedinngang og varemottak.
- Få liv i eller skifte ut eksisterende energimålere:
 - *Energimåler for tappevann*
 - *Energimåler for svøm*
 - *Energimåler for terapibad*
 - *Energimåler for bobla*
 - *Energimåler for gatevarme og varmebatteriene til 36.10.*
- *Energimåling fra elkjelen.* Denne målingen vil fortelle hvor mye energi som settes inn i anlegget.

Plassering av alle energimålerne vises på vedlegg 4.

6.4 Luft/vann varmepumpe

Installasjon av en luft/vann varmepumpe med en maksimal effekt på 160 kW. Varmepumpen dimensjoneres for å dekke grunnlasten med en effekt på omtrent 50% av dagens maksimale effektbehov. Dette vil dekke mellom 65-80% av det totale oppvarmingsbehovet.

Varmepumpen vil operere med samme tur-/returtemperaturer som varmeanlegget har i dag.

Varmepumpen plasseres på C1.019, et lagerrom som står tomt i dag. Hovedføringer vil gå fra varmepumpen, gjennom veggen til rom C1.016, hvor den vil kobles på eksisterende hovedføring etter avgreiningen til elkjelen. Tørrkjøleren bør plasseres på taket i C-fløyen.

Eksisterende elkjel beholdes og vil fungere som spisslast.

6.5 Veske/vann varmepumpe

Installasjon av en veske/vann varmepumpe som kan utnytte lavverdig energi i grunnen gjennom energibrønner. Varmepumpen dimensjoneres med en maksimal effekt på 160 kW.

Varmepumpen dimensjoneres for å dekke byggets grunnlast, med en effekt på omtrent 50% av dagens maksimale effektbehov. Dette vil dekke mellom 85-95% av det totale oppvarmingsbehovet.

Varmepumpen vil operere med samme tur-/returtemperaturer som varmeanlegget har i dag.

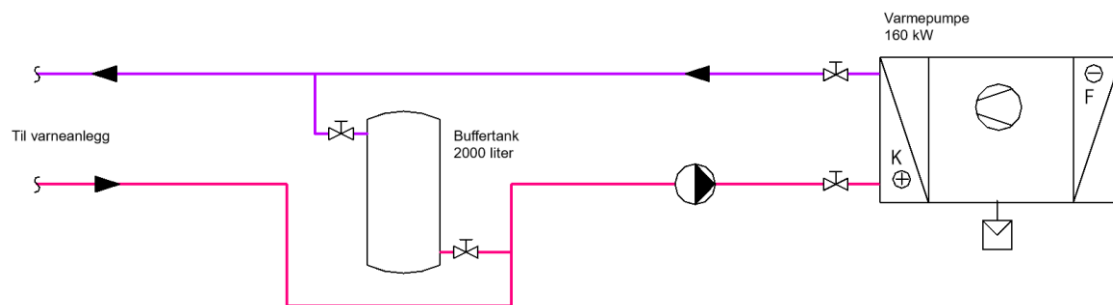
Plassering og tilkobling av varmepumpen vil være lik som luft/vann varmepumpen beskrevet i kapittel 6.4. Energibrønnene plasseres på en hensiktsmessig måte rundt om på eiendommen, med føringer til en samlelum, fra hvor det går en hovedføring til varmepumpen.

Eksisterende elkjel beholdes og vil fungere som spisslast.

6.6 Fjerne dagens buffertankløsning – ny mindre buffertank

Dagens buffertankløsning på 50 000 liter ansees som unødvendig stor og for dårlig isolert for videre bruk. Selv bruk av en buffertank på 12 500 liter vil være for stort for videre bruk etter tiltenkt ombygging av varmeanlegget. På grunn av dagens store akkumuleringsvolum er dagens ekspansjonskar underdimensjonert.

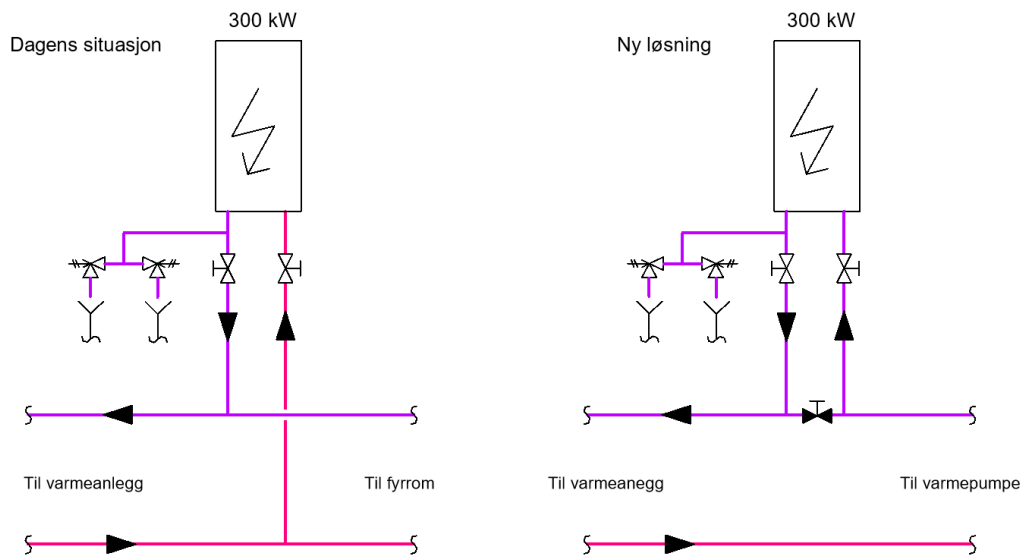
Ved tiltenkt varmepumpeløsning er det ønskelig med en ny buffertank som både vil redusere antall start-stopp på varmepumpen og vil kunne dekke deler av byggets effekttopper gjennom varmeakkumulering. En ny buffertank på 2000 liter parallellkabels med varmepumpen på rom C1.020, som vist på figur 29. For å unngå kortslutning gjennom buffertanken må det være en egen pumpe på varmepumpens side, som er tilkoblet SD-anlegget slik den kun går i perioder da varmepumpen går.



Figur 29: Tilkobling av ny buffertank.

6.7 Seriekoble elkjel

Dersom det installeres en varmepumpe for å dekke grunnlasten, kan eksisterende elkjel beholdes og benyttes som spisslast. For å effektivisere bruken av spisslasten, bør elkjelen kobles i serie på turledningen etter buffertanken og varmepumpen. Tilkoblingen skjer ved at tur- og returledningene fra elkjelen kobles på anleggets turføring, med en manuell ventil mellom tilkoblingspunktene, som vist på figur 30. Under normal drift skal ventilen i hovedstrømmen være lukket, slik at vannkretsen går gjennom elkjelen. Elkjelen vil kun gå i perioder da varmepumpen ikke klarer å dekke hele varmebehovet. I perioder da varmepumpen er ute av drift grunnet service eller feil vil elkjelen kunne dekke hele oppvarmingsbehovet.



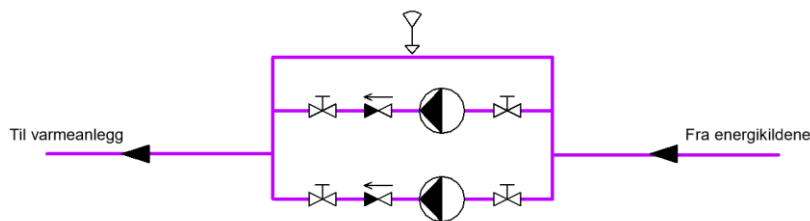
Figur 30: Dagens situasjon og ny løsning for tilkobling av elkjelen.

6.8 Fjerning av ubrukte rørføringer

På teknisk rom C1.018 er det flere ubrukte rørstrekker fra de ubrukte buffertankene og den gamle demonterte varmepumpen. Ingen av disse røstrekkene har eller vil ha noen funksjon videre. Alle ubrukte rørføringer fjernes og rørføringer som er i bruk bør ryddes opp slik at de ikke går unødvendig distanse. Dersom ombygging involverer fjerning av den siste buffertanken og fjernvarmesystemet vil disse rørføringer også kunne fjernes.

6.9 Nye sirkulasjonspumper

Dagens tre sirkulasjonspumper erstattes av et nytt sett med doble sirkulasjonspumper. De nye sirkulasjonspumpene settes på turledningen før avgreiningen mellom primær- og sekundærkretsen. Tiltent plassering av de nye sirkulasjonspumpene vil være omtrent hvor dagens eksisterende doble sirkulasjonspumper står, men de nye pumpene vil bli stående i motsatt retning. Det er viktig at pumpene turtallsreguleres gjennom en frekvensomdanner for å holde trykkdifferansen konstant gjennom anleggets forskjellige driftssituasjoner. Ettersom dette er doble pumper, er det viktig at pumpene alternerer i drift, for å utjevne slitasjen på pumpene. Det er ønskelig at de alternerer på driften i intervaller på omtrent 12 timer. Figur 31 viser hvordan de nye sirkulasjonspumpene tilkobles varmeanlegget.



Figur 31: Nytt sett med doble sirkulasjonspumper.

6.10 Nytt kombinert ekspansjonssystem og vannbehandlingsanlegg

Benytte et kombinert ekspansjonssystem og vannbehandlingsanlegg gjennom bruk av Transfero TV Connect løsningen fra IMI Hydronic Engineering. Tilkobling til varmeanlegget skjer på returledningen i rom C1.018, gjennom egne tur og retur tilkoblinger. Tiltent plassering for systemet er i hjørnet der dagens fjernvarmeveksler og ekspansjonskar står. Systemet består av et mindre membranekspansjonskar, for å fange opp mindre trykkendringer i systemet, og et større ekspansjonskar som er tilkoblet Transfero Connect TecBox, hvor en pumpe står for trykkregulering på anlegget. Nøyaktigheten til trykkvedlikeholdssystemet er oppgitt av leverandør til å være $\pm 0,2$ bar. I Transfero Connect Teckox er det også en vakuumavgasser på trykkpumpens sugeside. Systemet har også automatisk vannpåfylling, der etterfyllingsvannet går rett igjennom vakuumavgasserens, for å redusere luftmengdene som sendes ut på anlegget gjennom etterfyllingsvannet. Vannpåfyllingen kobles på den eksisterende kaldtvannsledningen, som går til dagens manuelle fyllestasjon.

I forbindelse med systemet skal det også installeres en Zeparo G Force slam- og magnetittutskiller i hovedstrøm på returledningen, i forkant av tilkoblingspunktet til Transferoen. Zeparo G Force er en sykklonutskiller, også fra IMI Hydronic Engineering.

Dagens mikrobobleutskiller kan beholdes og plasseringen vil være lik som i dagens anlegg.

6.11 Ny vakuumavgasser og beholde eksisterende ekspansjonssystem og vannbehandlingsanlegg

Ettersom ekspansjonskarene kun er 2 år gamle, ønsker oppdragsgiver å beholde ekspansjonskarene. Det er også ønskelig å beholde mest mulig av anleggets eksisterende vannbehandlingssystem.

Slik dagens anlegg driftes er ekspansjonskaret for lite, men ved å fjerne de eksisterende buffertankene fra anlegget vil vannvolumet reduseres vesentlig. Dersom det legges opp til 2m³ med vannakumulering fra en fremtidig buffertank, vil det totale vannvolumet være på 9m³. I dette tilfelle vil eksisterende ekspansjonssystem være tilstrekkelig, og kan dermed beholdes.

Det anbefales å installere et system for termisk avgassing, gjennom en vakuumavgasser. Vakuumavgasseren vil tilkobles anlegget likt som det kombinerte anlegget, på returledningen inne på rom C1.018. Eksisterende ekspansjonskar og sikkerhetsventiler kan stå hvor de er i dag, og tilkobles returledningen fra vakuumavgasseren. Dagens påfylløsning anbefales og flyttes til vakuumavgasseren, hvor alt vannet som sendes inn på anlegget går gjennom vakuumavgasseren først for å redusere oksygentilførselen til anlegget. Dersom det ikke installeres noen målinger på ekspansjonskarene, må påfyllingen fortsatt være manuell.

Dagens mikrobobleutskiller beholdes med dagens plassering. Eksisterende filter beholdes og plasseres i delstrøm parallelt med de nye sirkulasjonspumpene. I denne løsningen er filtret et alternativ til slamutskillerien sett på i kapittel 6.10.

6.12 Rensing av anlegget

Ettersom anlegget har vært i drift i mange år uten tilstrekkelig vannbehandling er det forventet at det vil være en oppbygning av forurensninger som magnetitt og rust, som kan reduserer varmeanleggets effektivitet. Ved å gjennomføre rensing av anlegget vil man fjerne store mengder av forurensningene, som vil gjøre anlegget mer effektivt gjennom at rør og komponenter får mindre trykktap og rene varmeavgivere gir økt effekt.

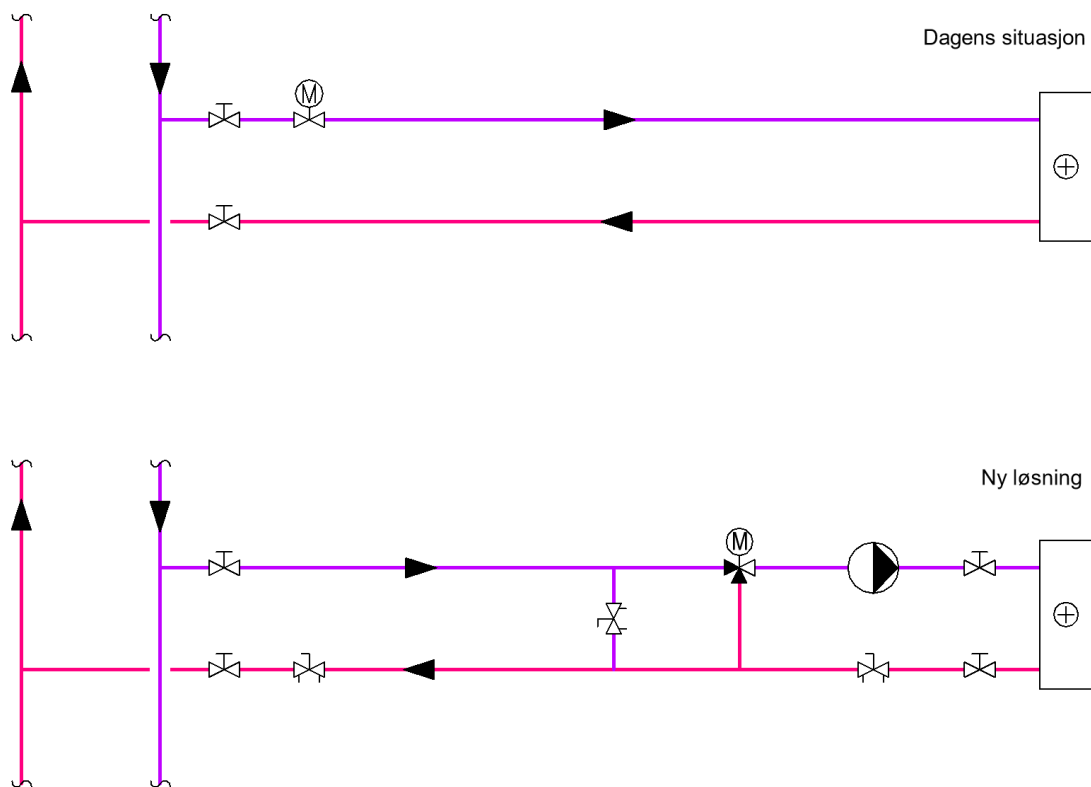
Rensing av varmeanlegget skjer gjennom innleiingen av et system som tilkobles varmeanlegget. Systemet inneholder; en pumpe, et filter og en spyletank tilsatt egnet spylemiddel. Før rensingen kan starte skal alle ventiler åpnes for fult, filtre og termostater må fjernes og pumper bør erstattes av en passtykke eller adapter. Systemet tilkobles til i anleggets laveste punkt, her vil for eksempel første sirkulasjonspumpe på turledningen være et egnet sted. Den vil gjennom flere omganger pumpe spylemidlet gjennom anlegget for å løse partikler, før de blir fanget opp av filtret.

6.13 Temperaturregulering på varmebatteri og gatevarme

Dagens mengderegulering på de fleste varmebatteriene og alle gatevarmevekslerne gir fare for frost, dersom ventilen inn på varmeangiveren stenges i perioder da kald luft/glygolfyllt

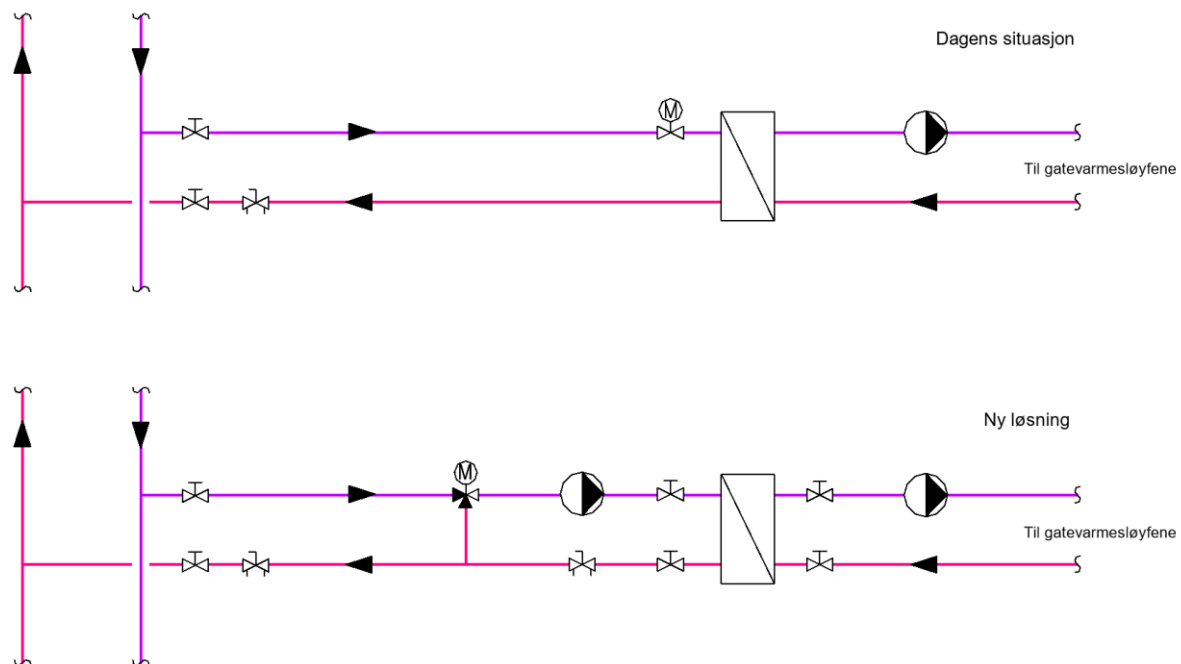
vann kjøres gjennom varmeavgiveren. Det anbefales derfor å temperaturregulere samtlige varmebatteri og gatevarmevekslere. Med dagens oppbygning mangler de fleste kursene reguleringsventiler. For å unngå at vannet går letteste vei, anbefales det å installere reguleringsventiler i returen på samtlige kurser.

Varmebatteriene til 36.09 og 36.12 er allerede temperaturregulert, disse kan beholdes uten endringer. For alle andre varmebatterier anbefales det å benytte temperaturregulering gjennom en shunt-kobling, med bløder, som vist i figur 32. En treveis motorstyrt ventil vil sørge for at temperaturen til varmebatteriet er til ønsket temperatur, mens en pumpe vil sørge for konstant gjennomstrømning gjennom varmebatteriet. På blødeledningen skal det være en strupeventil.



Figur 32: Dagens situasjon og ny løsning for regulering av varmebatteri.

For gatevarmevekslerne velges det å bruke en shunt-kobling, som vist i figur 33. Det er også lagt opp til stengeventiler i forkant av vekslerene for å enklere kunne gjennomføre vedlikehold.



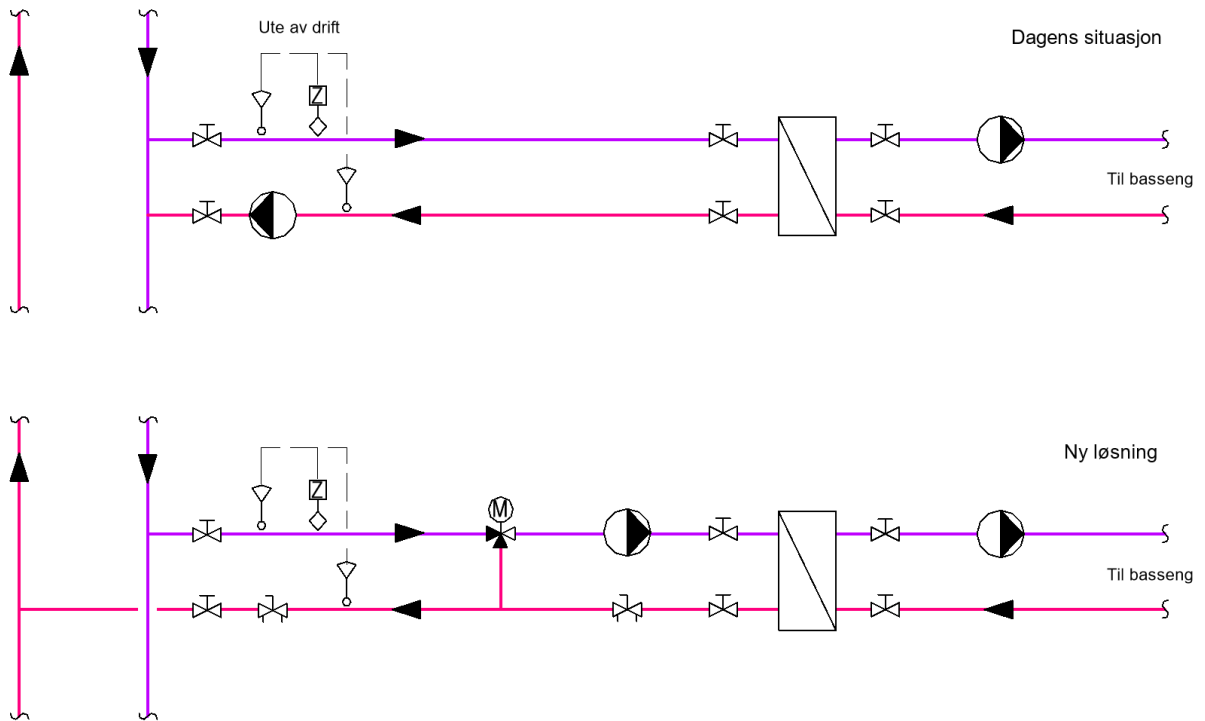
Figur 33: Dagens situasjon og ny løsning på reguleringen til gatevarmevekslerne

6.14 Omkobling av sekundærketsens samlestocker og ny regulering på tappevanns- og bassengvarmevekslerne

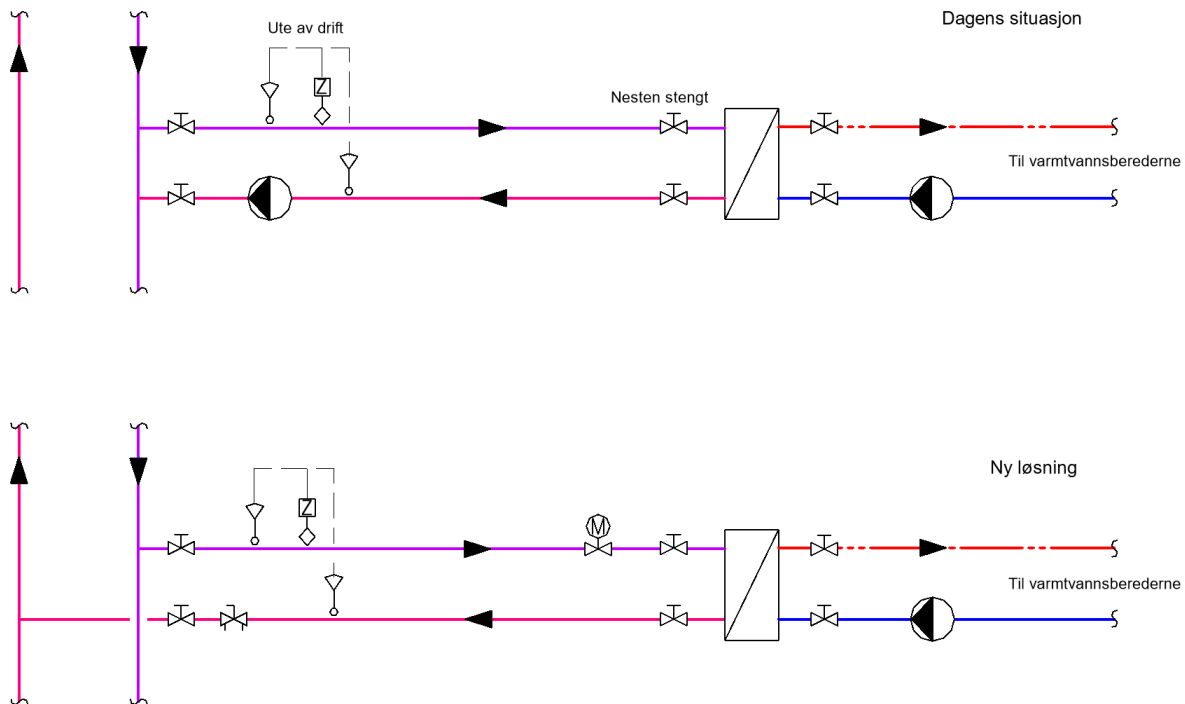
I dag er alt av returvannet fra varmevekslerne tilkoblet sekundærledningens turlledning i første samlestock. Dette er en uheldig løsning som gir dårlig gjennomstrømning på samlestocken. Eksisterende pumper på returkursene fjernes og returkurser kobles på sekundærketsens returledning. Dagens drift med delvis åpne ventiler i forkant av første samlestock tyder på at trykkreguleringen ikke er slik den bør være. Det bør derfor monteres en strupeventil på alle returkurene som stilles inn etter behov.

På første samlestock vil det fortsatt være tilkoblinger til varmevekslerne for; tappevann, svøm og terapi bad. Kursen til tappevannsveksleren mengdestyres gjennom en toveis motorstyrt ventil, som vist på figur 35. Her er det ingen behov for temperaturregulering ettersom ønsket effektbehov alltid er maks. Kursene til svøm og terapi bad temperaturreguleres gjennom en enkel blandekobling, som sett på figur 34. Fra samlestocken legges det til en kurs som går til rom C2.026, hvor den deles til gatevarmevekslerne for varemottak og hovedinngangen.

Ettersom tilkoblingspunkter allerede eksisterer på returledningen, vil ombyggingen være enkel, der nye rør deler på kursene kobles opp mot eksisterende samlestock.



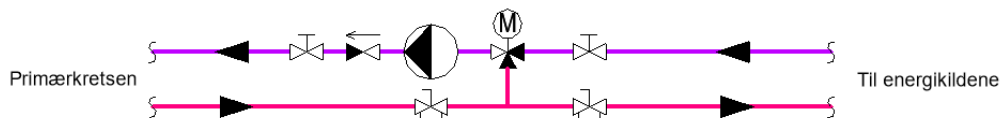
Figur 34: Dagens situasjon og ny løsning på regulering av bassengvarmevekslerne.



Figur 35: Dagens situasjon og ny løsning på reguleringen for tappevannsvexsleren.

6.15 Temperaturregulering av primærkretsen

For å unngå at de nye sirkulasjonspumpene pumper unødvendige mengder i primærkretsen, bør primærkretsen temperaturreguleres gjennom en shunt-kobling. Koblingen vil befinne seg på teknisk rom C1.018, før avgreiningen til plan 3 i C-fløyen. Shunt-koblingen vil da kunne blande returvann inn i turvannet for å senke temperaturen i perioder da oppvarmingsbehovet er lavere. For å kunne utnytte denne type løsning må treveisventilen få signal fra en utendørs temperaturføler. En turtallsregulert pumpe vil stå i turledningen og vil sørge for at trykket i primærkretsen holder ønsket nivå under alle driftstilstander. Reguleringen på radiatorene beholdes slik de er i dag. Figur 26 viser hvordan den nye shunt-koblingen bør kobles.



Figur 36: Shunt-kobling for temperaturregulering på primærkretsen.

6.16 Utskifting av rørisolasjon

Anleggets rørisolasjon varierer stort. De fleste kursene til varmebatteriene og radiatorene, samt hovedføringen til primærkretsen opp sjakten i A-fløyen er utført med cellegummiisolasjon. Denne isolasjonstypen er i utgangspunktet ment for kjølerør. Ulempen med denne type isolasjon på varmeanlegg er at over tid vil den bli porøs, som kan føre til

oppsprekking. Flere steder er det tydelige skader på isolasjonen, spesielt ved ventiler og bend. Noen av kursene mangler enkelte steder isolasjon. Punktene hvor det er tydelige skader på eksisterende cellegummiisolasjon og punkter hvor isolasjonen mangler, bør det settes på nye mineralullskåler med utvendig aluminiumsfolie. Det er også enkelte steder på sekundærkretsens samlestocker som har tydelige skader på eksisterende isolasjon. Seksjonene med de største skadene, spesielt ved andre samlestock kan også skiftes ut.

6.17 Oppdatering og samkjøring i SD-anlegg

Eksisterende SD-anlegg oppdateres og tilkobles hele varmeanlegget. Her skal alle pumper, målere og motorstyrte ventiler tilkobles og kunne styres fra SD-anlegget. Ved å koble samtlige av anleggets komponenter opp mot SD-anlegget vil driften av anlegget kunne automatiseres, slik at driftspersonellet slipper å gå rundt å stille ting manuelt. SD-anlegget vil også være tilkoblet energimålerne, slik at det vil bli lettere å måle energiforbruket til anlegget.

6.18 Bedre merking

Varme­anlegget er i dag generelt dårlig oppmerket, det er kun markert på enkelte steder med tur og retur. Da anleggets oppbygning er komplisert fører dette til forvirring flere steder, spesielt i rom der primær- og sekundærkretsen går. Sanitæranlegget er også dårlig merket, slik at enkelte steder kan varmtvannskurser også skape forvirring. Under befaring oppsto det særlig forvirring i rommene A2.004 og A.006. Det anbefales at alle avgreiningspunkter merkes, og kursene på alle tekniske rom bør merkes. I rommene hvor både primær- og sekundærkretsen befinner seg bør de skilles gjennom merkingen. Sanitæranleggets oppmerking bør også forbedres.

6.19 Kartlegging og tetting av lekkasjer

Ettersom det er mistanke om lekkasjer på anlegget, bør lekkasjene oppdages og tettes. Under befaring ble det oppdaget en mindre lekkasje ved bassengvekslerne, men vannmengdene fra etterfyllingen tilsier at det kan være flere og større lekkasjer.

7 Vurdering av tiltak

7.1 Enkle tiltak som kan gjennomføres umiddelbart

Selv om det planlegges en del ombygging på varmeanlegget finnes det noen enkle foreløpige tiltak som kan gjøres umiddelbart. Disse enkle tiltakene kan forbedre enkelte deler av anlegget frem til ombyggingen skjer.

Det første tiltaket som bør gjennomføres umiddelbart er å tømme oljetanken og sørge for at oljekjelen ikke benyttes videre, etter krav fra forskrift.

Et annet tiltak som kan gjennomføres umiddelbart er å avkoble buffertanken fra anlegget. Dette kan gjøres ved å åpne ventilen i hovedstrømmen i tilkoblingspunkt 3 og lukke ventilene inn på buffertanken. Ved å gjøre dette vil anlegget slippe unødvendig varmetap i buffertanken, samt anleggets aktive vannvolum reduseres til et nivå som ekspansjonstankene er dimensjonert for.

Bruk av turvann fra sekundærkretsen til gatevarmekursene for hovedinngangen og varemottak. Ved å lukke ventilen som fører returvannet fra samlestocken til gatevarmevekslerne og åpne ventilen fra sekundærkretsens turlledning, vil turvannet på gatevarmekursen komme fra sekundærkretsens turlledning. Dette vil bidra noe til bedre gjennomstrømning på samlestocken, som kan redusere noe av behovet for å bløde vannet i enden av sekundærkretsens samlestock.

Ettersom det er mistanke om lekkasjer på varmeanlegget, bør arbeidet med å oppdage og tette eventuelle lekkasjer på anlegget begynne umiddelbart.

7.2 Ombygning og omkobling av varmeanlegget

De viktigste tiltakene som må gjennomføres for å få forbedre og automatisere driften av anlegget er å omkoble sekundærkretsens samlestocker og installasjon av nye sirkulasjonspumper, samt oppdatering og tilkobling til SD-anlegget. Omkoblingen av sekundærkretsens samlestocker vil øke gjennomstrømningen i samlestockene og ved temperaturreguleringen på kursene til bassengvarmevekslerne vil bassengene kunne holde ønsket temperatur uten manuelle grep. I forbindelse med installasjon av nye sirkulasjonspumper bør teknisk rom ryddes opp, ved fjerning av buffertankene og alle ubrukte rørstrekker. Fjerningen av dagens buffertanker sees også på som et viktig og helt nødvendig tiltak, da nåværende ekspansjonskar er underdimensjonert for det store vannvolumet. Under

ombyggingen bør rørisolasjonen utskiftes i strekker der den mangler eller der den har tydelige skader. For å unngå at sirkulasjonspumpene pumper unødvendig vannmengder rundt i radiatorkursene anbefales det å temperaturregulere primærkretsen. Reguleringen skal være tilkoblet en utendørs temperaturføler, slik at den kan utekompanse oppvarmingsbehovet. På denne måten kan primærkretsen enkelt og automatisk stenges ned i perioder da det ikke er et oppvarmingsbehov.

For å minske risikoen for frost og for å forbedre temperaturstyringen anbefales det å temperaturregulere samtlige varmebatteri og gatevarmevekslere. Det er viktig at shuntkoblingene er nære varmeavgiverne, for å unngå forsinkelser i reguleringen.

7.3 Ekspansjonssystem og vannbehandling

Dersom det settes inn et kombinert ekspansjons- og vannbehandlingssystem med en Transferno anbefales det bruk av en TV 4.1 E pumpe for trykkvedlikeholdet. Dette er basert på anleggets statiske høyde og anleggets nye vannvolum etter ombygging der eksisterende buffertanker frakobles. Vannvolumet for den nye tiltenkte buffertanken er lagt med i beregningen.

Ved å legge inn samme data i HySelect anbefaler den et ekspansjonskar på 1000 liter, alternativt to ekspansjonskar på 500 liter. Dette betyr at dagens to ekspansjonskar er tilstrekkelig, og kan beholdes. Ved å beholde eksisterende ekspansjonskar vil man slippe å kjøpe inn en Transferno. Å bruke penger på en Transferno virker unødvendig, da eksisterende ekspansjonskar kun er to år gamle og vil være tilstrekkelig for det tiltenkte anlegget. Selv om det ikke installeres en Transferno, anses det fortsatt som nødvendig å ha en vakuumavgasser.

Begge løsningene som er presentert i oppgaven vil være gode løsninger som vil være tilstrekkelig for det tiltenkte anlegget. Av økonomiske hensyn anbefales det å installere en ny vakuumavgasser og beholde dagens ekspansjonssystem og vannbehandlingsanlegg.

Inngått i Transfernoløsningen er en slamutskiller, funksjonen til denne vil være tilnærmet lik dagens delstrømsfilter. Ettersom eksisterende delstrømsfilter er et patronfilter hvor patroner enkelt kan utskiftes er det ikke et problem at filtret er 13 år gammelt. Av økonomiske hensyn anbefales det å bruke eksisterende delstrømsfilter istedenfor en ny slamutskiller.

7.4 Rensing av varmeanlegget

Ulempen med å gjennomføre rensing på et eldre anlegg er at det kan oppstå lekkasjer under rengjøringen. Det er ikke sikkert at de eldre komponentene og rørene tåler belastningen fra rensesprosessen. I verste tilfelle kan det oppstå lekkasjer flere steder og deler av anlegget må skiftes ut. Da anlegget er gammelt og det er mistanke om nåværende lekkasjeproblemer, anbefales det å ikke rens anlegget ettersom det er stor fare for at anlegget kan få større lekkasjeproblemer etter rensingen, som vil medføre ekstra kostnader og tid for å identifisere og tette lekkasjene.

7.5 Berederanlegg

I dag har tappevannsvexleren redusert effekt på grunn av dårlig gjennomstrømning i sekundærkretsen og en nesten stengt ventil. Oppryddingen av sekundærkretsens samlestocker og tappevannskursen vil gi økt effekt på tappevannsvexleren. Det anbefales derfor å beholde berederanlegget slik det er, da mest sannsynlig vil den forbedrede oppvarmingseffekten være tilstrekkelig for dagens beredervolum.

7.6 Fjernvarmesystemet

Selv om energiprisen til fjernvarmesystemet er antatt til å være rundt 0,32 kr/kWh, er det stor usikkerhet rundt disse tallene. Dersom målingene gjennomført høsten 2022 er representativ for gjennomsnittet over året vil energiprisen være på 0,48 kr/kWh, et tall som er betydelig høyere enn gjennomsnittlige strømpriser, og vil utgjøre en ekstra kostnad på omtrent 60 000 kr i året sammenlignet med drift av elkjelen. Etter tiltenkt ombygging av sekundærkretsens samlestocker vil bedre gjennomstrømning kunne øke temperaturen på returvannet, slik at ved videre bruk av fjernvarmesystemet risikeres det at temperaturen på returvannet er for høyt for å kunne utnytte overskuddsvarmen fra trafostasjonen til samme grad. I perioder da turtemperaturerne fra trafoen er lave vil man i verste tilfelle kunne risikere at varmeanlegget begynner å avgi varme til trafoen. Derfor anbefales det og avkoble fjernvarmesystemet i forbindelse med ombyggingen.

7.7 Oljekjelene

I samsvar med «Forskrift om forbud mot bruk av mineralolje til oppvarming av bygninger» må oljekjelene avkobles fra varmeanlegget. Det ansees ikke som aktuelt å konvertere til bioolje da energiprisen til bioolje er høyere energiprisen til elkjelen. Med en literpris rundt 18 kr for biofyringsolje (energiolje, 2023) og en oljekjel med virkningsgrad på 90%, vil

energiprisen være omtrent 2,00 kr/kWh. Dette er betydelig høyere enn alle andre alternativer sett på i denne oppgaven. I tillegg er kjelene gamle, slik at brenneren mest sannsynlig må skiftes ut.

7.8 Varmepumpe

Det vurderes mellom to aktuelle varmepumpeløsninger, for å dekke byggets grunnlast. Installasjon av en luft/vann varmepumpe, som vil den kunne utnytte lavverdig energi i uteluft. Eller installasjon av en veske/vann varmepumpe, som vil den kunne utnytte lavverdig energi fra berget under eiendommen. I begge tilfeller vil varmepumpen dekke byggets grunnlast, og eksisterende elkjel vil dekke spisslasten. Varmeanlegget vil fortsette med samme tur-/returtemperaturer som i dag.

Med dagens grunnlag er dimensjonering av en varmepumpe ikke gjennomførbart uten mye gjetting og basering på erfaringstall, da det er lite tilgjengelig måledata fra anlegget. Derfor anbefales det i realiteten å gjennomføre energimålinger over en periode på ett år for å finne ut hvor mye energi anlegget krever, og hvor store og ofte effekttoppene er. Basert på disse dataene vil en varmepumpe kunne dimensjoneres riktig, slik at kostnads- og energibesparelsen maksimeres. Oppgaven estimerer parametere for varmepumpeløsningene, for å gi et innblikk i de forskjellige mulighetene. For disse vurderingen er det antatt at fjernvarmesystemet er fjernet fra varmeanlegget.

Oppgaven velger å sette maksimal effekt på begge varmepumpeløsningene til 160 kW, dette tilsvarer 50% av antatt maksimal effekt. Typisk dimensjoneres varmepumper for 40-60% av det maksimale effektbehovet (Stene, 2016). På grafene i Caverions energikartleggingsrapport vises det at bygget har et relativt høyt grunnlastnivå om natten. Dette kommer antageligvis fra oppvarming av bassengvannet, samt noe reduserte mengder til rom- og ventilasjonsoppvarming da bygget er døgnåpent. Med en grunnlast på natten i kalde vinterstidsperioder på rundt 110-140kW vil det være uhensiktsmessig å gå ned på varmepumpens effekt, ettersom dette kan føre til at spisslasten vil gå døgnkontinuerlig i kalde perioder. Samtidig er det viktig å tenke på fremtiden. Ettersom bygget har et høyt varmetap grunnet lite isolasjon har Vigør et ønske om å etterisolere ytterveggene. Ved å etterisolere ytterveggene vil behovet for romoppvarming reduseres, som vil gi mindre effekttopper på kalde dager. Med i vurderingen må det også tenkes på at varmeanlegget kan få noe økt effekt etter ombygging og utbygging. Ombyggingen av samlestokken på sekundærkretsen vil gi bedre mulighet for forvarming av tappevann gjennom varmeanlegget, og en ny planlagt

radiatorkurs vil dekke romoppvarmingen auditoriet i B-fløyen. Det er forventet at energiforbruket til varmeanlegget kan stige noe i løpet av de neste årene etter ombyggingen, før energibehovet vil synke til et lavere nivå i etterkant av etterisoleringen. Da tidslinjen for etterisoleringen ikke er kjent, er det ekstra vanskelig å gi en anbefaling for varmepumpen. Et effektbehov på 50% er valgt i denne oppgaven ettersom en varmepumpe med mindre effekt kan risikere å ikke dekke grunnlasten om natten på vintertid, mens en varmepumpe med større effekt risikerer å bli for stor dersom etterisoleringen gjennomføres i løpet av varmepumpens levetid.

Tabell 1 viser en oversikt over investeringskostnader og besparelser for begge varmepumpeløsningene. Investeringskostnadene er et estimat som inkluderer installasjonskostnader, tilkoblinger til varmeanlegget, samt kostnader tilknyttet ny buffertank. For bergvarmepumpen dekker kostnaden også boring av energibrønnene, samt tilkoblinger tilknyttet energibrønnene, mens for luft/vann varmepumpen inkluderer kostnaden tørrkjøleren, samt tilkoblingene. Enova gir støtte på 1600 kr/kW for installasjon av en veske/vann varmepumpe. Det finnes ingen støtteordning for luft/vann varmepumper. Varmepumpenes COP-verdi over året og dekningsgrad kommer fra erfaringstall (Stene, 2016). Dekningsgraden og COP verdien til en luft/vann varmepumpen vil være lavere enn en bergvarmepumpe, ettersom effektiviteten til en luft/vann varmepumpe avtar med lave temperaturer. Levetiden er satt fra erfaringsverdier (Stene, 2000), her er levetiden for en luft/vann varmepumpe kortere da den vil oppleve større slitasje under drift. Byggets energiforbruk er satt etter energikartleggingsrapportens tall på 1550 MWh. Energi prisen for spart energi settes lik strømprisene på 0,36 kr/kWh, da varmepumpen vil erstatte energi fra elkjelen. Vedlikeholdskostnadene kommer fra erfaringsverdier (Stene, 2000) og er satt til 3% av investeringskostnaden til varmepumpen. For nåverdi- og tilbakebetalingsberegningene er kalkulasjonsrenten satt til 6%.

	Luft/vann varmepumpe	Veske/vann varmepumpe
Investering [kr]	1 750 000	3 500 000
Støtte fra Enova [kr]	0	256 000
Dekningsgrad [%]	73	90
COP over året	3,0	3,5
Levetid [år]	15	30
Energi spart [kWh]	754 333	996 429
Besparelse [kr/år]	220 910	316 159
Nåverdi [kr]	395 537	1 107 869
Tilbakebetalingstid [år]	11	16

Tabell 1: Sammenligning mellom varmepumpeløsningene.

Begge varmpumpeløsningene har positive nåverdier, der bergvarmpumpen kommer best ut. Tilbakebetalingstiden til luft/vann varmpumpen er 5 år kortere enn veske/vann varmpumpen, slik at med luft/vann varmpumpen vil man raskere kunne tjene inn investeringen. Dersom det tenkes i et langsiktig perspektiv vil veske/vann varmpumpen være mest lønnsom, mye takket være den lengre levetiden. En annen ting å merke seg er at energibrønnene til veske/vann varmpumpen kan gjenbrukes ved installasjon av en ny veske/vann varmpumpe i fremtiden. I dette tilfellet vil investeringskostnadene til en fremtidig ny veske/vann varmpumpe være vesentlig lavere, slik at lønnsomhet øker ved gjenbruk av energibrønnene i fremtiden. Selv om investeringskostnaden til en veske/vann varmpumpe er det dobbelte av en luft/vann varmpumpe og tilbakebetalingstiden er 5 år lengre, vil det lønne seg langsiktig med en veske/vann varmpumpe. Derfor anbefales det å investere i en veske/vann varmpumpe med energibrønner.

En fordel med bruk av varmpumpe er at den kan også benyttes for kjøling. Kjøling av bygget er ikke nødvendig, men kan benyttes for bedre komfort på varme sommerdager. Selv om bygget alltid vil ha et oppvarmingsbehov tilknyttet bassengene og tappevannet vil varmpumpen kunne levere oppvarming og kjøling samtidig. I dag har et av ventilasjonsaggregatene en liten isvannsmaskin på 5kw, ellers er det ingen kjøling i bygget. Da oppgaven kun ser på byggets varmeanlegg vil den ikke vurdere behovet eller oppbyggingen av et kjøleanlegg.

Dagens buffertanker med et akkumuleringsvolum på 50 000 liter fjernes fra anlegget, og en ny buffertank kobles parallelt med varmpumpen. Ved at buffertanken parallellkobles vil den fungere som et hydraulisk skille, som fylles opp med varmt vann i perioder da varmpumpen produserer mer energi enn anlegget krever og kan avgi oppvarmet vann i perioder da varmpumpen produserer mindre varme enn anlegget krever. Dimensjoneringen av buffertanken gjøres etter formelen sett på i kapittel 2.5.3, med de gitte parameterne for varmpumpen som er sett på tidligere i dette kapitlet. Minimum volum på buffertanken dimensjoneres ut fra at varmpumpen ikke skal ha hvile- og gangperioder kortere enn 15 min (Stene & Havellen, 2016). Varmepumpens reguleringsmuligheter vil variere med leverandør og modell, her er det også viktig å tenke på varmpumpens effektivitet i reguleringen. I oppgaven settes varmpumpens minimumseffekt til 50% av maksimal effekt (Stene, 2016). Varmepumpen vil oppnå flest stopp start dersom effektbehovet er halvparten av minimumseffekten. Formelen gir da at akkumuleringsvolumet til buffertanken bør minimum

være på 500 liter. Da dette er et grovt estimat og bør det kontrolleres med hva varmepumpeleverandøren anbefaler som minimum akkumuleringsvolum.

Ettersom bygget har store effekttopper på morgenene i løpet av vinteren kan det lønne seg å øke akkumuleringsvolumet, slik at buffertanken kan være med på å dekke deler av disse effekttoppene. For å vite hvor stort akkumuleringsvolumet bør være, må man hvite hvor store, hvor lenge og hvor ofte disse effekttoppene er. Et grunnlag for denne dimensjoneringen eksisterer ikke med dagens måledata. En buffertank på 2000 liter vil være det største mulige akkumuleringsvolumet, dersom dagens ekspansjonskar beholdes. Ved bruk av en buffertank på 2000 liter vil den kunne lagre opptil 45 kWh med utnyttbar varme, mens en buffertank på 500 liter kun kan lagre opptil 12 kWh. Ved å bruke en større buffertank vil den kunne kutte ned på driftstiden til spisslasten (elkjelen), som har en energipris på 0,29 kr/kWh høyere enn varmepumpen (COP 3,5 og vinterpris på strøm 0,40 kr/kWh). Dersom det antas at hele energien kan benyttes i snitt en gang hver dag fra november til april i en periode på 30 år, en kalkulasjonsrente på 6% og en investeringskostnad på 20 000 kr mer enn den minste buffertanken (varmeshop, 2023), gir det en positiv nåverdi. Dersom strømprisene øker, vil også lønnsomheten til investeringen øke. Ved mangel på data virker det realistisk at buffertanken vil i snitt kunne dekke en effekttopp hver dag i vinterperioden, ettersom temperaturen i bygget senkes om natten, vil det være en effekttopp på morgenen da temperaturen i bygget økes. Med mangel på bedre data anbefales det å benytte en buffertank på 2000 liter, da det tilsynelatende vil være lønnsomt på sikt.

7.9 Elkjelen

Maksimal effekt på den eksisterende elkjelen er 300kW, som er 17kW lavere enn antatt maksimalt effektbehov. Ettersom det er stor usikkerhet tilknyttet anslaget av det maksimale effektbehovet, og at en ny større elkjel vil medføre en stor ekstra kostnad, anbefales det å beholde den eksisterende elkjelen. Dersom det viser seg at maksimalt effektbehov er vesentlig høyere enn antatt, bør det vurderes å skifte ut eksisterende elkjel med en ny elkjel med større effekt for å dekke det maksimale effektbehovet. Om det under måleperioden oppstår problemer med høye effekttopper på morgenen som elkjelen ikke klarer å dekke kan det som en nødløsning vurderes å starte temperaturhevingen tidligere, slik at elkjelen får bedre tid til å varme opp bygget.

Dersom det maksimale effektbehovet er som antatt vil problemet reduseres etter installasjonen av varmepumpen, da den går i de fleste tilfeller. Det kan sees på som

usannsynlig at varmpumpen er ute av drift under de største effekttoppene, slik at varmpumpen kan hjelpe til med å dekke effekttoppene.

Etter installasjonen av varmpumpen kan elkjelen bli stående hvor den er, men tilkobling må endres slik at den er seriekoblet på turledningen.

8 Konklusjon

8.1 Anbefalte tiltak

Anbefalt løsning for å forbedre og effektivisere varmeanlegget legger opp til en plan som består av 3 faser, der fase 1 innebærer ombygging og omkobling av varmeanlegget. Fase 2 består av energimålinger og fase 3 innebærer installasjonen av en varmpumpe.

Fase 1

Første fase inneholder omkobling og ombygging av varmeanlegget. Denne fasen bør gjennomføres om sommeren da oppvarmingsbehovet er lavest, ettersom deler/hele varmeanlegget vil måtte stenges ned under ombyggingen. Følgende tiltak anbefales i fase 1 av utbedringen:

- Fjerne oljekjelene.
- Fjerne fjernvarmesystemet.
- Fjerne dagens buffertankløsning.
- Fjerning av ubrukte rørstrekker.
- Nytt sett med doble sirkulasjonspumper
- Omkobling sekundærkretsens samlestocker.
- Ny regulering av tappevanns- og bassengvarmevekslerne.
- Temperaturregulering på varmebatteri og gatevarme.
- Ny vakuumavgasser og beholde dagens ekspansjonssystem og vannbehandlingsanlegg.
- Temperaturregulering på primærkretsen.
- Installasjon av energimålere.
- Oppdatering av SD-anlegg.

Under utbyggingen bør det sørges for at alle føringene og kursene merkes tydelig, også i delene av anlegget som ikke inngår i ombyggingen. Isolasjonen bør i områder hvor den har skader eller mangler, skiftes ut i forbindelse med ombyggingen. I forkant og i etterkant av ombyggingen bør det søkes etter og tette eventuelle lekkasjer på varmeanlegget.

Oppleggsskjemaet for varmeanlegget etter omkoblingen og ombyggingen fase 1 er på vedlegg 4.

Fase 2

Fase 2 innebærer logging av anleggets energiforbruk og begynner etter ombyggingen i fase 1. Energimålerne skal logge energiforbruket i de forskjellige delene av anlegget, over ett år. Disse dataene vil benyttes for å dimensjonere varmepumpen, slik at kostnads- og energibesparelsen maksimeres.

Fase 3

Installasjon av en veske/vann varmepumpe med en estimert effekt på 160kW og en buffertank på 2000 liter. Endelige beregninger på varmepumpens og buffertankens størrelse bør gjøres med å analysere måledataen fra fase 2. Varmepumpen vil dekke primæroppvarmingen på bygget, mens den eksisterende elkjelen vil dekke byggets spisslast. Elkjelen omkobles slik at den står i serie med varmepumpen.

Oppleggsskjemaet for varmeanlegget etter fase 3 er på vedlegg 5.

8.2 Forventede resultater

Oppgaven har kommet med forbedringstiltak til varmeanlegget på Vigør gjennom en 3 fases plan. Etter utbedringen i fase 1 er det forventet at anleggets daglige drift vil kunne automatiseres. Bedre regulering på samtlige kurser vil sørge for at bygget og bassengene vil enklere kunne holde ønsket temperatur, uten manuelle grep. Eksisterende bløder på sekundærkretsen, som i dag brukes for å styre temperaturen i bassengene manuelt vil kunne stenges, da den nye tiltenkte reguleringen vil kunne styre temperaturen gjennom vekslerne automatisk.

Som en del av ombyggingen i fase 1 installeres det fungerende energimålere. Selv om installasjonen av energimålerne er nødvendig for fremtidig dimensjonering av en varmepumpe, kan energimålingene også være et godt verktøy for driftspersonellet på Vigør. Ved hjelp av målingene kan energiforbruket logges, slik at driftspersonellet får en oversikt

over hvor mye energi varmeanlegget bruker og hvordan energien fordeler seg i varmeanlegget. Dette kan være et nyttig verktøy for Vigør, ettersom bedriften er et sertifisert Miljøfyrtårn, og dermed har fokus og et ønske om å ta større bærekraftsansvar.

Ved installasjonen av varmepumpen i fase 3 er det estimert at energibesparelsen vil være nært 1000 MWh i året, sammenlignet med bruk av elkjelen. Byggets nye energiforbruk til oppvarming gjennom varmeanlegget vil være omtrent 550 MWh, som er en reduksjon på omtrent 65% fra tidligere. Varmepumpen vil kunne kutte energikostnadene med over 300 000 kr i året og investeringskostnaden er forventet å være inntjent i løpet av 16 år.

8.3 Lærdom

Oppgaven viser at ved bruk av en varmepumpe vil man kunne redusere strømforbruket med omtrent 65%, sammenlignet med direkte oppvarming gjennom en elkjel. Ettersom strømprisene i Nord-Norge er lave sammenlignet andre deler av Norge var kostnadsbeparelsene relativt lave, men fortsatt økonomisk lønnsomt. Dersom strømprisene er på nivå med gjennomsnittlig pris på Østlandet i 2022, er besparelsene på rundt 2 millioner kroner i året, og tilbakebetalingstiden er på rundt to år. Dette viser at lønnsomheten ved investering i varmepumpeanlegg i områder med høye strømpriser er stor.

En av de største lærdommene fra denne oppgaven er viktigheten med måledata fra varmeanlegg. Alle varmeanlegg bør være installert med energimålere slik at driftspersonell har oversikt og kan følge opp energiforbruket i anleggene sine. Dette er ikke bare et viktig verktøy for å dimensjonere nye komponenter, men kan også være et viktig hjelpeverktøy for å oppdage feil og for å evaluere energiforbruket før og etter enøk tiltak.

9 Videre arbeid

Denne oppgaven har kartlagt og kommet med forslag til forbedringer for Vigørs varmeanlegg. I forbedringsforslaget er det lagt opp til en forbedringsplan i 3 faser, der fase 1 består av ombygging, fase 2 består av datainnsamling gjennom energimålere, og fase 3 består av installasjon av en varmepumpe. Da fase 2 ikke er gjennomført da oppgaven utarbeides, ble det gjort grove estimat for dimensjonering i fase 3. For Swecos prosjekt skal data fra energimålingene i fase 2 analyseres, etter at energimålingene er gjennomført. Dataene skal benyttes for å optimalisere energieffektiviteten og økonomien rundt varmepumpeløsningen. Som i oppgaven skal det vurderes mellom en luft/vann varmepumpe og en veske/vann varmepumpe. Ved hjelp av dataene vil man kunne se hvordan dekningsgraden vil være ved

forskjellige effekter, og på denne måten vil varmpumpen kunne dimensjoneres. I dette arbeidet vil man som i denne oppgaven også måtte ta med usikkerheten om fremtidige endringer i byggets effektbehov, fra for eksempel tiltenkt etterisolering. Når varmpumpen er dimensjonert må det også vurderes hva som er nødvendig og hva som er ønsket akkumuleringsvolum i den nye buffertanken.

Dersom det viser seg under måleperioden at maksimalt effektbehov er vesentlig høyere enn antatt, bør det vurderes å skifte ut eksisterende elkjel med en ny elkjel med større effekt, alternativt installasjon av en ny mindre elkjel som kan kjøres sammen med eksisterende elkjel. Dette for å kunne dekke oppvarmingsbehovet i perioder da varmpumpen er ute av drift.

Etter ombyggingen i fase 1 bør temperaturen i berederanlegget måles i perioder der varmtvannsforbruket er stort, for å forsikre at det nye tiltaket er tilstrekkelig. Dersom berederanlegget fortsatt ikke klarer å levere tilstrekkelig med varmtvann i perioder med høy belastning, må det vurderes å øke beredervolumet og/eller installasjon av kraftigere el kolber for direkte oppvarming.

I forbindelse med installasjonen av varmpumpen må det også vurderes om det er ønskelig å installere et kjøleanlegg på bygget. Dersom det er ønskelig å benytte varmpumpen for kjøling av bygget må et rørnett for kjøling etableres, dette kan også gjøres i ettertid for eksempel i forbindelse med rehabilitering en gang i fremtiden.

Selv om denne oppgaven har sett på energiøkonomisering gjennom å effektivisere dagens varmeanlegg på Vigør, bør det også sees på andre tiltak som kan være med på å redusere energibehovet gjennom å redusere varmetapet, utskifting av eldre belysning, VAV styring på flere av ventilasjonsaggregatene mm..

Referanseliste

Alstad, K. (2015), Hva er temperaturen fem meter inn i berget. NGU.

<https://www.ngu.no/sporengeolog/hva-er-temperaturen-fem-meter-inn-i-berget>

Bekkelund, A. (2014), Prenøk 5.8. Vannbehandling i sentralvarmeanlegg. Kompetansebiblioteket.

<http://kompetansebiblioteket.no/Prenok/>

Brandal, H. (2019), For lite fokus på vannbehandling i varmeanlegg. VVS Forum.

<https://www.vvsforum.no/-for-lite-fokus-paa-vannbehandling-i-varmeanlegg.6487674-568595.html>

Direktoratet for byggkvalitet (2017), Byggeteknisk forskrift (TEK17) - med veiledning

<https://dibk.no/regelverk/byggeteknisk-forskrift-tek17/>

Energi1olje (2023), Priser: BIOfyringsolje (BioCaleo) - pris fra 21.03.2023. energi1olje.no

<https://www.energi1olje.no/>

FN-Sambandet (2021), FNs Klimakonvensjon. United Nations Association of Norway.

<https://www.fn.no/om-fn/avtaler/miljoe-og-klima/fns-klimakonvensjon>

Forskrift om forbud mot bruk av mineralolje til oppvarming av bygninger (2018), Lovdata.

<https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2018-06-28-1060>

Grønnesby, R. (1995), Prenøk 5.11. Luft i vannbårne anlegg. Kompetansebiblioteket.

<http://kompetansebiblioteket.no/Prenok/>

Grønnesby, R. (2015a), Prenøk 4.22. Ekspansjonssystemer for større anlegg - beregninger, definisjoner, ord og uttrykk. Kompetansebiblioteket.

<http://kompetansebiblioteket.no/Prenok/>

Grønnesby, R. (2015b), Prenøk 4.23. Ekspansjonssystemer for større anlegg - aktuelle systemer. Kompetansebiblioteket

<http://kompetansebiblioteket.no/Prenok/>

Grønnesby, R. (2015c), Prenøk 4.6 Trykkeksjonsanlegg - hva bør du vite?

<http://kompetansebiblioteket.no/Prenok/>

Grønnesby, R. (2015d), Prenøk 4.6. Trykkeksjonsanlegg - hva bør du vite. Kompetansebiblioteket.

<http://kompetansebiblioteket.no/Prenok/>

Grønnesby, R. (2016a), Prenøk 4.24. Ekspansjonssystemer for større anlegg - råd og tips. Kompetansebiblioteket.

<http://kompetansebiblioteket.no/Prenok/>

Grønnesby, R. (2016b), Prenøk 5.10. Filtre i vannbårne anlegg. Kompetansebiblioteket.

<http://kompetansebiblioteket.no/Prenok/>

Grønnesby, R. , Jordhøy, F. (2015), Prenøk 5.9. Vannbehandling i sentralvarmeanlegg - metoder. Kompetansebiblioteket.

<http://kompetansebiblioteket.no/Prenok/>

Grønnesby, R. , Larsen, P. E. , Karlsen, G. , Børresen, P. b. , Havellen, V. , Volla, V. (1995), Prenøk 5.5. Shuntventiler - del I. Kompetansebiblioteket.
<http://kompetansebiblioteket.no/Prenok/>

Hansen, J. S. (2013), Analyse av energiytelser til sirkulasjonspumper i bygninger. Masteroppgave. NTNU.
<https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/>

IMI Hydronic Engineering (2019), IMI Pneumatex - Zeraro Cyclone: up to 9x more efficient dirt separation. Produktdemonstrasjon. Youtube.
<https://www.youtube.com/watch?v=rspr4AYoTf8>

IMI Hydronic Engineering (2021), Zeparo ZU - Automatic air vents and separators. Abk Qviller – Produktblad.
<https://www.abkqviller.no/globalassets/inriver/resources/r300135-produktbrosjyre.pdf>

IMI Hydronic Engineering (2023) HySelect - Programvare laget for å gi optimal hydronisk styring helt fra designfasen.
<https://www.imi-hydronic.com/nb-no/software-and-apps/hyselect>

Kampel, W. (2016), Effektiv energibruk i svømmeanlegg. Gode idrettsanlegg.
<https://www.godeidrettsanlegg.no/publikasjon/effektiv-energibruk-i-svommeanlegg>

Larmrud, O. , Grimsrud, B. , Zijdemans, D. (2020a), Sanitærteknikk - Prosjektering og dimensjonering av sanitærinstallasjoner i bygget 7.3. Overordnede hensyn for varmtvannsveredere. Kompetansebiblioteket.
<http://kompetansebiblioteket.no/Sanitarteknikk/>

Larmrud, O. , Grimsrud, B. , Zijdemans, D. (2020b), Sanitærteknikk - Prosjektering og dimensjonering av sanitærinstallasjoner i bygget 7.4. Varianter og systemløsninger. Kompetansebiblioteket.
<http://kompetansebiblioteket.no/Sanitarteknikk/>

Larmrud, O. , Grimsrud, B. , Zijdemans, D. (2020c), Sanitærteknikk - Prosjektering og dimensjonering av sanitærinstallasjoner i bygget 8.4.6. Direkte ladende systemer. Kompetansebiblioteket.
http://kompetansebiblioteket.no/Vannbaserte/Vannvarmere/Direkte_ladende_systemer.aspx

Nilsen, Ø. (2011a), Prenøk 5.0. Mengderegulering i vannbårne anlegg - Innføring. Kompetansebiblioteket.
<http://kompetansebiblioteket.no/Prenok/>

Nord Pool (2023), Day-ahead prices - yearly historic overview. Nord Pool AS.
<https://www.nordpoolgroup.com/en/Market-data1/>

Nor-Shunt (2020), ViraVent Mikrobobleutskillere. Produktblad.
<https://nor-shunt.no/wp-content/uploads/Viravent-2020.pdf>

Norsk Energi (2023), Elektrokjeler. (besøkt 03.02.2023).
<https://energi.no/elektrokjeler>

Norsk Fjernvarme (2023), Energikilder. (besøkt 03.02.2023)
<https://www.fjernvarme.no/fakta/energikilder>

Norsk Klimaservicesenter (2023), Observasjoner og værstatistikk
<https://seklima.met.no/observations/>

NVE (2019), Samlet energiforbruk. Fra fossilt til fornybart.

<https://www.nve.no/energi/energisystem/energibruk/samlet-energibruk/>

NVE (2020), Varme. Varme og kjørling i Norge.

<https://www.nve.no/energi/energisystem/termisk-energi/varme/>

Pettersen, J. E. (2015), Vannrapport 123 - 4. utgave. Forebygging av legionellasmitte - en veiledning. Folkehelseinstituttet.

<https://hmts.no/sites/h/hmts.no/files/61a263943f42e32ba1c09271845d70e7.pdf>

Reflex (2017), Vakumrørsutlufting - Servitec 30. Produktinformasjon.

https://sgp.no/wp-content/uploads/2017/08/Servitec-30_2017.pdf

Rørentreprenørene Norge (2023a), Rørhåndboka 2023: 321.10 Lufting av varme- og kjøleanlegg. Kompetansebiblioteket.

<http://kompetansebiblioteket.no/Rorhandboka/>

Rørentreprenørene Norge (2023b), Rørhåndboka 2023: 321.12. Vakuumutluftere. Kompetansebiblioteket.

<http://kompetansebiblioteket.no/Rorhandboka/>

Rørentreprenørene Norge (2023c), Rørhåndboka 2023: 325.36 Trykkeksjonskar med pumpe. Kompetansebiblioteket.

<http://kompetansebiblioteket.no/Rorhandboka/>

Rørentreprenørene Norge (2023d), Rørhåndboka 2023: Sikkerhetsventiler og sikkerhetsledninger. Kompetansebiblioteket.

<http://kompetansebiblioteket.no/Rorhandboka/>

Rørentreprenørene Norge (2023e), Rørhåndboka 2023: 325.41 Akkumulering i varmeanlegg – koblingsalternativer. Kompetansebiblioteket.

<http://kompetansebiblioteket.no/Rorhandboka/>

Sintef (2009), Varmepumper i bygninger - Funksjonsbeskrivelse. Byggforskserien. Byggedetaljer 553.403

https://www.byggforsk.no/dokument/541/varmepumper_i_bygninger_funksjonsbeskrivelse

Sintef (2022), Energikrisa; Hva blir fremtidig gasspris i EU. SINTEFblogg.

<https://blogg.sintef.no/sintefenergy-nb/energikrisa-hva-blir-fremtidig-gasspris-i-eu/>

Soma, M (2015), Prenøk 2.6. Varighetsdiagram - Bruk til dimensjonering av varmesentraler. Kompetansebiblioteket.

<http://kompetansebiblioteket.no/Prenok/>

Sonerud, E. (2016), Prenøk 5.7. Korrosjon på vannsiden i sentralvarmeanlegg. Kompetansebiblioteket.

<http://kompetansebiblioteket.no/Prenok/>

Stava, T. O. , Triki, M. B. K. (2009), Studie og målinger av energieffektivitet i ventilasjonsanlegg. Bacheloroppgave. Høgskolen Stord/Haugesund.

<https://core.ac.uk/download/pdf/30913929.pdf>

Stene, J. (2000), Varmepumper for oppvarming og kjøling av bygninger. Sintef Energiforskning AS. Avdeling Energiprosesser.

<http://www.ivt.ntnu.no/ept/fag/tep4115/innhold/>

Stene, J. (2016), Prenøk 4.7. Varmepumper - Grunnlag. Kompetansebiblioteket.

<http://kompetansebiblioteket.no/Prenok/>

Stene, J. , Havellen, V. (2016), Varmepumper - til oppvarming og kjøling i bygninger. Tipshefte fra Grønn Byggallianse.

https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2018/11/Varmepumper_Byggalliansen-Tipshefte-7.pdf

TTM Flow Efficiency (2020), TTM MAG 210 MA - Maagnetit-, luft och partikelavskiljare. Abk Qviller – Produktblad.

<https://www.abkqviller.no/globalassets/inriver/resources/r523949-produktark.pdf>

Varmenormen (2017), 6.8.1 Rørnett og komponenter. Kompetansebiblioteket.

http://kompetansebiblioteket.no/Varmenormen/Rornett_og_komponenter/6_8_1_Generelt.aspx

Varmeshop (2023), PS 2000 N akkumulatortank.

<https://www.varmeshop.no/products/>

Vigør (2023), Hjemmeside med informasjon om ViGØR Rehabiliteringssykehus.

<https://vigor.no/>

Zijdemans, D. (2014a), Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer 4.1. Varmeakkumulering. Kompetansebiblioteket.

<http://kompetansebiblioteket.no/Vannbaserte/>

Zijdemans, D. (2014b), Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer 9.1.2. Treveis reguleringsventiler. Kompetansebiblioteket.

<http://kompetansebiblioteket.no/Vannbaserte/>

Zijdemans, D. (2014c), Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer 9.1.2. Toveis reguleringsventiler. Kompetansebiblioteket.

<http://kompetansebiblioteket.no/Vannbaserte/>

Zijdemans, D. (2014d), Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer 5.2.2. Torørs system med pumpedrift. Kompetansebiblioteket.

<http://kompetansebiblioteket.no/Vannbaserte/>

Zijdemans, D. (2014e), Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer 2.2.2.5. Ventilasjonsvarme. Kompetansebiblioteket.

<http://kompetansebiblioteket.no/Vannbaserte/>

Zijdemans, D. (2014f), Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer 8.5.3. Dimensjonering av større berederanlegg. Kompetansebiblioteket.

<http://kompetansebiblioteket.no/Vannbaserte/>

Zijdemans, D. (2014g), Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer 8.4.3. Indirekte oppvarmet vatmtvannsbereidere. Kompetansebiblioteket.

<http://kompetansebiblioteket.no/Vannbaserte/>

Zijdemans, D. (2014h), Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer 8.4.2. Direkte oppvarmet varmtvannsberedere. Kompetansebiblioteket.

<http://kompetansebiblioteket.no/Vannbaserte/>

Zijdemans, D. (2014i), Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer 5.2.4. Ettrørs system.

Kompetansebiblioteket.

<http://kompetansebiblioteket.no/Vannbaserte/>

Zijdemans, D. (2014i), Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer 8.4.1. Kombinert direkte og indirekte oppvarmet varmtvannsbereder. Kompetansebiblioteket.

<http://kompetansebiblioteket.no/Vannbaserte/>

Zijdemans, D. (2014j), Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer 3.3.1. Elementkjel. Kompetansebiblioteket.

<http://kompetansebiblioteket.no/Vannbaserte/Energikilder/Elementkjel.aspx>

Vedleggsliste

- **Vedlegg 1:** Oppgavebeskrivelse
- **Vedlegg 2:** Oppleggsskjema for dagens varmeanlegg
- **Vedlegg 3:** Forenklet oppleggsskjema for dagens varmeanlegg, der ubrukte rørføringer i teknisk rom i plan 1 ikke er tatt med
- **Vedlegg 4:** Oppleggsskjema for fase 1
- **Vedlegg 5:** Oppleggsskjema for fase 3

