

Christian Helledal Trandem og Bjørn Røste
Dalen

Varmtvannssirkulasjonssystemer som energibærer til lavtemperatur varmesystemer i leilighetsbygg, er det en lønnsom og akseptabel løsning?

Bacheloroppgave i VVS-Teknikk

Veileder: Terje Arne Wenaas

Mai 2019

Christian Helledal Trandem og Bjørn Røste Dalen

Varmtvannsirkulasjonssystemer som energibærer til lavtemperatur varmesystemer i leilighetsbygg, er det en lønnsom og akseptabel løsning?

Bacheloroppgave i VVS-Teknikk
Veileder: Terje Arne Wenaas
Mai 2019

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for maskinteknikk og produksjon



FAKULTET FOR INGENIØRVITENSKAP
Institutt for maskinteknikk og
produksjon
7491 Trondheim

Besøksadresse:
R.Birkelands vei, 2B, Trondheim

RAPPORT BACHELOROPPGAVEN

Tittel norsk/engelsk

Varmtvannsirkulasjonssystemer som energibærer til lavtemperatur varmesystemer i leilighetsbygg, er det en lønnsom og akseptabel løsning?

The Use of Domestic Hot Water Circulation Systems as Energy Carrier to Low Temperature Heat Systems, is it a Satisfying and Cost Effective Solution?

Prosjektnr

MTP-V-2019-05

Forfatter(e)

Christian Helledal Trandem
Bjørn Røste Dalen

Oppdragsgiver(e) eksternt

Kjell Trandem AS.
v/Ivar Trandem

Dato levert

19.05.2019

Antall
vedlegg

10

Totalt antall
sider

100

Veileder(e) internt

Terje Arne Wenaas

Rapporten er ÅPEN

Kort sammendrag

Dagens vannbårne varmesystemer har vanligvis en lukket krets for varmeanlegg, og en krets for tappevann. Ettersom det blir jaktet på mer energi- og kostnadseffektive systemer har det også blitt aktuelt å se på andre løsninger for oppbygning av varmeanlegg.

Av den grunn har vi gjennom denne bacheloroppgaven undersøkt fordeler og ulemper i et system som bruker tappevannssirkulasjon som energibærer til varmeanlegget, da med spesielt fokus på varmetap og driftskostnader. Det er også blitt sett på pumpearbeid og investeringskostnader.

Et system som bruker tappevannet som energibærer til varmesystemet vil da kunne droppe egne rør for varmesystem, og derav kun ha 3-rør i sjakten. Man vil da ha behov for egne varmevekslere i hver leilighet for å hente ut varme til et lukket varmesystem. Det vil også være nødvendig med egne sirkulasjonspumper til varmesystemet i hver leilighet.

Det er blitt gjort beregninger for et eksempelsystem på 30 leilighet for å sammenligne varmetap, investeringskostnader, pumpearbeid og driftskostnader for et 3-rørsystem opp mot et 5-rørsystem.

Beregninger viser at de to systemene er ganske like på investeringskostnader og pumpearbeid. Men 3-rørsystemet har et mye lavere varmetap grunnet færre rør som avgir varme, dette medfører også at 3-rørsystemet får betydelig lavere driftskostnader.

Stikkord fra prosjektet

- Tappevann
- Varmeanlegg
- 3-rørsystem
- 5-rørsystem
- Varmetap

Abstract

Today's solution for hydraulic distribution systems for heating in apartments usually consists of one closed system for heat supply and a separate system for domestic hot water. Since the demand for more energy and cost-effective systems has gone up, it is also interesting to look for other solutions for the distribution of energy. That is the reason through this bachelor thesis work, it has been looked upon the advantages and disadvantages with a system that uses the domestic hot water - and domestic hot water circulation pipes as an energy carrier to the heating system. It has been investigated the consequences in regards to heat loss, energy consumptions for pumps and investment costs.

A system that uses domestic hot water as an energy carrier for the heating system will have the opportunity to drop the pipes for the heating system, and thereby only have 3-pipes in the piping guideways. There will be a demand for individual heat exchangers and circulation pumps in each apartment.

It has been done calculations on an example system with 30 dwellings to compare heat loss, investment cost, pump energy consumption and operation costs for a 3-pipe system compared with a 5-pipe system.

Calculations show that the two systems are pretty close to each other in investment costs and pump energy consumption. But the 3-pipe system have a lot less heat loss because of the fewer pipes, and thereby the 3-pipe system also have a considerable lower operating cost

Forord

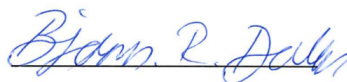
Denne bacheloroppgaven er skrevet av Christian Helledal Trandem og Bjørn Røste Dalen i 6. og siste semester som avsluttende arbeid ved VVS-teknikk utdanning ved Norges tekniske naturvitenskapelige universitet.

Vi vil gjerne gi en stor takk til Ivar Trandem v/Kjell Trandem AS for å ha gitt oss denne oppgaven og for god veiledning underveis. Vi vil også takke vår interne veilder ved NTNU Terje Wenaas. Til slutt vil vi også takke LK v/Ole Andreas Valnes, Nordic Heat-systems v/Tor André Monan og Norsk energi v/Kristin Nørstebø for informasjon angående systemer og bidrag til informasjon som har vært viktig skriving av bacheloroppgaven.

Trondheim, 19. mai 2019



Christian Helledal Trandem



Bjørn Røste Dalen

Innhold

Abstract	i
Forord	ii
Innholdsfortegnelse	v
Tabelliste	vii
Figurliste	x
Begrepsliste	xi
Symbolliste	xi
1 Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn og motivasjon	1
1.1.1 Orientering. Hvorfor denne oppgaven. Hvordan fikk du tak i den .	1
1.1.2 Motivasjon	2
1.2 Problemstilling	3
1.2.1 Prosjektbeskrivelse/oppgavetekst	3
1.2.2 Problemstilling	4
1.2.3 Avgrensninger	4
1.3 Mål	4
1.4 Oppgavens oppbygging	4
2 Teori	5
2.1 Historie	5
2.2 Standard 5-rørssystem	6
2.3 3-rørsanlegg	8
2.4 Desentralisert leilighetssystem (Flat station system)	12
2.5 Måling av energibruk i leiligheter	15
2.5.1 Individuell målere i hustander	15

2.6	Varmetap	16
2.6.1	Varmetap til romoppvarming	16
2.7	Fjernvarmeleverandør	17
2.7.1	Returtemperatur	18
2.8	Plass i sjakter	19
3	Metode	21
3.1	Eksempelsystem	22
3.1.1	Dimensjonering av eksempelsystem	24
3.1.2	Dimensjonering 3-rørsystem	30
3.2	Lønnsomhetsberegninger	33
3.2.1	Varmetapsberegninger	33
3.2.2	Temperaturer	35
3.2.3	Energipris	35
3.2.4	Driftstid	35
3.2.5	Nåverdibetraktninger	36
4	Resultater	37
4.1	Installasjonskostnader	38
4.1.1	Fordelerskap	38
4.1.2	Prising av teknisk rom	40
4.1.3	Rørstrekk	41
4.1.4	Pumper	43
4.2	Driftskostnader	44
4.2.1	Varmetap	44
4.2.2	Pumper	46
4.3	Akkumulerte utgifter for anlegg nåverdijustert	47
5	Analyse	49
5.1	Installasjonskostnader	49
5.1.1	Kombiskap/leilighetsystem	49
5.1.2	Rørstrekk	51
5.1.3	Teknisk rom	51
5.1.4	Samlede investeringskostnader	52
5.2	Driftskostnader	54
5.2.1	Varmetap	54
5.2.2	Pumpeenergi	55
5.2.3	Energitap og prisberegninger	56
5.3	Samlede kostnader over byggets levetid	57
5.4	Resultater sammenstilt	60
5.5	Miljø	62
5.5.1	Materialforbruk	62
5.5.2	Varmetap	62
5.5.3	Energikilden	62
5.6	Fjernvarmeleverandør	63

6 Konklusjon	65
6.1 Lønnsomhet	65
6.2 Videre arbeid	67
6.3 Feilkilder	67
Bibliografi	69
Vedlegg	71
A Populærvitenskapelig artikkel	71
B Dimensjonering	75
B.1 Nomogram	75
B.2 Eksempel på bruk av dimensjonstabeller	76
C Grunnlag for lønnsomhetsberegninger	77
C.1 Investeringskostnader	78
C.2 Beregning av varmetap 5-rør	79
C.3 Beregning av varmetap 3-rør	80
C.4 Lønnsomhetsberegninger	81
C.5 Utgifter sammenlignet 10, 6, 2 etasjer	82
C.6 Beregning av pumpeenergi	83
C.7 Beregning av rørlengder i bygg	84

Tabeller

3.1	Normalvannmengder	24
3.2	Beregning sannsynlig samtidig vannmengder med formel og symbol forklaring	25
3.3	Dimensjonering KV	26
3.4	Dimensjonering VV	27
3.5	Dimensjonering varmerør 5-rørsystem	28
3.6	Dimensjonering sirkulasjonsledning	29
3.7	Dimensjonering Varme og VV tilførsels rør 3-rørsystem	31
3.8	Dimensjonering sirkulasjonsledning 3rørsystem	32

Figurer










2.1	Forenklet flytskjema 5-rørsystem	6
2.2	Forenklet flytskjema 3-rørsystem	9
2.3	Forenklet flytskjema fordelerskap 3rørsystem	10
2.4	Flat station system System A og B er tradisjonelle anlegg, mens i system F er tappevannet lokalt oppvarmet i hver leilighet. (Kristjansson, 2009, Side 4)	12
2.5	Energitap per leilighet. På systemene vist i figur 2.4 der system C er tilnærmet likt system B, med forskjellen at forbruks vannsrørene også er lagt i trappeoppgangen. (Kristjansson, 2009, Side 7)	13
2.6	Installasjonskostnader for flat station system sammenlignet med 5-rørsystem(Thorsen, 2010)	14
2.7	Multistory dwelling (Gullev and Poulsen, 2006, side24)	15
2.8	Systemskisse av kundesentral i standard fjernvarmesystem med to varmevekslere. Systemløsning fra Stakraft. (Statkraft, 2017)	17
2.9	Systemskisse av kundesentral i 3-rørs fjernvarmesystem med kun tappevannsveksler. Modifisert systembilde med utgangspunkt i Statkraft sin løsning. (Statkraft, 2017)	17
2.10	Måledata fra to nabobygg, et med tradisjonelt 5-rørsystem (bygg 6 Kaserne) og et bygg med 3-rørsystem (bygg 1 Kasernehagen) (Nørstebø, 2018)	18
3.1	Bilde fra Revit 3D	22
3.2	Bilde fra Revit 3D, nærbilde av fordelersentral	23
3.3	Varmetap i rør med isolasjon(Austbø, 2017)	34
4.1	Sammenlignede investeringskostnader for kombiskap	39
4.2	Sammenlignede kostnader for teknisk rom	40
4.3	Sammenlignet investeringskostnad rørstrekk, isolasjon og arbeid med rør	41
4.4	Varmetap for 5-rørsystem	44
4.5	Varmetap for 3-rørsystem, samlet	45

4.6	Energibruk for pumper	46
4.7	Akkumulerte utgifter for 3- og 5-rørsystem over anleggets forventede levetid	47
4.8	Akkumulerte utgifter for 3- og 5-rørsystem over anleggets forventede levetid for 6 etasjer og 18 leiligheter	48
4.9	Akkumulerte utgifter for 3- og 5-rørsystem over anleggets forventede levetid for 2 etasjer og 6 leiligheter	48
5.1	Sammenlignet investeringskostnad 3- og 5-rørsystem	52
5.2	Sammenlignet investeringskostnad 3- og 5-rørsystem	53
5.3	Sammenlignet energitap 3- og 5-rørsystem	54
5.4	Sammenlignet varmetap 3- og 5-rørsystem	55
5.5	Energiforbruk for pumper per år	56
5.6	Utgifter for 3-rørsystem sammenlignet med 5-rør	58
5.7	Utgifter for 3-rørsystem sammenlignet med 5-rør for 6 etasjer og 18 leiligheter	59
5.8	Utgifter for 3-rørsystem sammenlignet med 5-rør for 2 etasjer og 6 leiligheter	59
5.9	Utgifter for 3-rørsystem sammenlignet med 5-rør for 10, 6 og 2 etasjer	60
5.10	Utgifter for 3-rørsystem sammenlignet med 5-rør for 10, 6 og 2 etasjer der 40% av varmen er nyttet til oppvarming	61
B.1	Nomogram for dimensjonering av varmeledninger, design fig: Røed Engineering og Design, Hooksund. (Andersen and Ole Larmerud, 2018, side251)	75
B.2	Dimensjonering 3-rørsystem	76

Begrepsliste

VVC	=	Varmtvannsirkulasjon
KV	=	Kaldvann
VV	=	Varmtvann
ΔT	=	Temperaturdifferanse
BRA	=	Bruksareal
VVX	=	Varmeveksler
DUT	=	Dimensjonerende utetemperatur

Symbolliste

	=	Måler
	=	Pumpe
	=	Stengeventil
	=	Sensor
	=	Sikkerhetsventil
	=	Reguleringsventil
	=	Måleventil
	=	Tilbakeslagsventil
	=	VVX

Introduksjon

1.1 Bakgrunn og motivasjon

1.1.1 Orientering. Hvorfor denne oppgaven. Hvordan fikk du tak i den

Denne oppgaven kommer fra Kjell Trandem AS. De skal igang med et prosjekt nå, der det er prosjektet et anlegg hvor sirkulasjonsledningen for varmtvann skal brukes som energibærer til varmeanlegg i et nærvarmenett. Dette er en løsning som til nå har vært lite benyttet i Norge, men er aktuell å bruke i prosjekter der behovet for varmt tappevann er forholdsvis stort sammenlignet med behovet for varme, og varmeavgiverene er plassert i nærheten av tappevannsfordelere, typisk i kombiskap i leiligheter. Dette er en metode som enda ikke er godt etablert i Norge, så det å kartlegge og skaffe tilveie ny kunnskap til bransjen ved et slikt system viste seg å være en interessant oppgave. Daglig leder i Kjell Trandem AS, Ivar Trandem var blant annet interessert i få kartlagt forskjellen i driftsutgifter ved et 3-rørsystem sammenlignet med et 5-rørsystem på et så generelt grunnlag som mulig, med hovedvekt på forskjell i utgifter fra varmetap.

Oppgaven går ut på å gjøre rede for når og om bruk av tappevannsirkulasjon som energibærer for varmeanlegg er en god løsning. Det skal kartlegges hva en slik løsning har å si for investeringskostnader under bygging og driftskostnader etter endt byggetid. Det vil også være et poeng å kartlegge hva bruk av denne løsningen vil ha å si for fjernvarmelieferandørene. Løsningen er hovedsakelig aktuell for høytemperatur energikilder sammen med lavtemperatur varmeavgivere. I denne oppgaven vil det fokuseres på gulvvarme som varmeavgiver med fjernvarme som energikilde.

1.1.2 Motivasjon

Dagens krav i Tek17 krever minimum 60% energifleksibilitet for bygninger som er større enn $1000m^2$ (Regionaldepartementet, 2017, §14-4). I tillegg til kravet om energifleksibilitet har det blitt strengere krav til maksimalt energibehov for boligblokker, ifra TEK10, før endring 01.01.2016, (Byggkvalitet, 2015, §8-21) til dagens TEK17 (Regionaldepartementet, 2017, §14-2) har kravet om maksimalt energibehov for boligblokk gått ifra maksimalt $115KWh/m^2$ oppvarmet BRA per år til $95KWh/m^2$ oppvarmet BRA per år.

Ettersom det totale energiforbruket i bygg må gå ned, vil det fremover bli mer og mer interessant å se på også andre områder å spare energi, enn kun bedre isolerte bygg. Jo mindre det totale energibehovet i et bygg blir, jo større andel av brukt energi vil bestå av varmetap. En løsning som krever færre rør i systemet, vil kunne senke varmetapet og bidra til mer energieffektive systemer. Her vil systemet som skal sees på i denne oppgaven, med bruk av tappevann som energibærer kunne være veldig aktuelt.

1.2 Problemstilling

1.2.1 Prosjektbeskrivelse/oppgavetekst

Et tradisjonelt vannbåret varmeanlegg har 5-rør i sjakten (derfor kalt 5-rørsystem i denne oppgaven). Men hva blir konsekvensen om man tar vekk rørene for oppvarming og istedenfor bruker væsken som sirkulerer i varmtvann- og varmtvannsirkulasjonsledningene som energibærere for oppvarming? Man vil da kun få 3-rør i sjakten (derfor kalt 3-rørsystem i denne oppgaven), men man vil også få flere komponenter i hver leilighet.

Opgaven skal kartlegge de positive og negative sidene til 3-rørsystemet opp mot 5-rørsystemet. Kartleggingen vil gå på leilighetskomplekser med en sentralt plassert høytemperatur varmekilde for varme- og tappevannsystem. Distribusjonen av varme og tappevann er i de fleste tilfeller parallelle. Distribusjon av energi til lavtemperatur varmeanlegg kan da gjøres gjennom tappevannsystemet, som har en høyere temperatur, der energioverføringen blir gjort med en varmeveksler plassert i hver leilighet. Dette i stedet for separate rør for distribusjon av varme og varmt tappevann der systemene er delt fra teknisk rom.

Gjennom Bacheloroppgaven vil det kartlegges kostnadsaspekter ved å legge egne distribusjonsrør for varme sammenlignet med oppdimensjonering av varmtvann og sirkulasjonsrøret for varmtvann. Hvilke effekter vil dette få for fjernvarmeleverandøren som er en typisk leverandør av høytemperatur varme til leilighetsbygg? Vil dette påvirke fjernvarmeleverandørens returtemperatur i negativ retning og dermed ett større varmetap på primærsiden av varmeveksler? Eller vil det returtemperaturen kunne bli lavere og dermed også kutte i varmetapet til fjernvarmenettet?

Ved hvilke anleggstyper og størrelser vil de forskjellige løsningene være fordelaktig? Hvordan best løse måling av termisk energi og vann ved denne løsningen, kontra tradisjonell løsning med separate systemer for varme og tappevann for avregning til forbrukeren.

Dette er de spørsmålene og temaene som vil bli sett på i denne bacheloroppgaven, dette er spørsmål som kan være med å avgjøre om et slikt system er noe man burde satse på nå og i fremtiden.

1.2.2 Problemstilling

Kan et 3-rørsystem hjelpe til å gjøre dagens varmeanlegg billigere, i drift og installasjon og dermed konkurrere med dagens dominerende løsning, 5-rørsystemet?

Problemstillingen i oppgaven vil gå ut på å kartlegge fordeler og ulemper med et 3-rørsystem opp mot et 5-rørsystem. Vi skal kartlegge hvilke forutsetninger som må ligge til grunn for at et 3-rørsystem skal være lønnsomt og i hvilke prosjekter det vil kunne lønne seg å gå for et 3-rørsystem i stedet for et mer tradisjonelt 5-rørsystem.

1.2.3 Avgrensninger

I denne oppgaven blir det kun sett på 3-rørsystem for leilighetsbygg med lavtemperatur varmegivere (gulvvarme) og fjernvarme som energikilde.

I forbindelse med oppgaven vil det ikke bli gjennomført noen nye fysiske målinger på eksisterende bygg. Det vil bli kartlagt fordeler og ulemper ut ifra beregninger og eksisterende litteratur. Hovedvekten vil ligge på driftsutgifter vedrørende systemene og installasjonskostnader.

1.3 Mål

Målet med denne oppgaven er som problemstillingen beskriver, å finne ut om et 3-rørsystem kan være konkurransedyktig med et tradisjonelt 5-rørsystem. Det er også et mål å få avdekket eventuelle svakheter med et 3-rørsystem. Målet er at utredninger og konklusjoner i denne oppgaven vil være med å skaffe tilveie kunnskap som kan benyttes av entreprenører, rådgivere og utbyggere til valg av type varmeanlegg.

1.4 Oppgavens oppbygging

Oppgaven er delt inn i 6 hovedkapitler. I kapittel 1 har oppgaven blitt introdusert, det blir forklart hvorfor oppgaven er dagsaktuell, hvilke spørsmål som vil bli besvart i oppgaven, hva problemstillingen til oppgaven er og målet for oppgaven. Kapittel 2 tar for seg all relevant teori tilhørende oppgaven, i kapittel 3 er det en gjennomgang av hvilke metoder som er blitt brukt for å besvare oppgaven. Kapittel 4 viser resultater som er kommet ut fra metodene og i kapittel 5 blir resultatene analysert. I kapittel 6 er en det konklusjon av det om er kartlagt gjennom kapittel 2-5. Til slutt er det referanseliste og vedlegg tilhørende oppgaven, samt en populærvitenskapelig artikkel tilhørende denne bacheloroppgaven.

Kapittel 2

Teori

2.1 Historie

Vannbårne varmeanlegg har i Norge en historie tilbake til begynnelsen av 1900-tallet, disse anleggene var basert på selvsirkulasjonsprinsippet. Slike anlegg er begrenset i størrelse og plassering av varmeelementer, ettersom all transport av vann skjer ved hjelp av vannets egne oppdriftskrefter, som kommer fra temperaturforskjeller. Når behovet for større anlegg og for å plassere varmelegemer mer valgfritt ble gjeldende, kom også de første pumpeanleggene. Fra 1920-årene og utover har varmeanleggene utviklet seg til det vi kjenner i dag. (Raanes, 2004)

Lenge var det høytemperaturanlegg som dominerte, i moderne tid fra 70-tallet og videre inn mot 80- og 90-tallet har 80-60°C tur-returtemperatur vært vanlig i varmeanlegg med radiatorer som varmeavgivere. Den høye temperaturen gjør det lett å overføre varme til omgivelsene med relativt liten overflate på varmeavgiverene. Og den høye tur-returtemperaturforskjellen gjør at dimensjonene på tilførselsrørene og pumper kan holdes relativt små. Som konsekvens av den høye temperaturen, er også varmetapet fra rørene i disse systemene forholdsvis stort.

Ettersom oppvarmingsbehovet har blitt mindre, grunnet bedre isolering av nye bygg, er lavtemperatur varmeanlegg blitt mer vanlig, med radiatoranlegg med turtemperaturer under 60°C og gulvvarmeanlegg med turtemperaturer under 40°C.

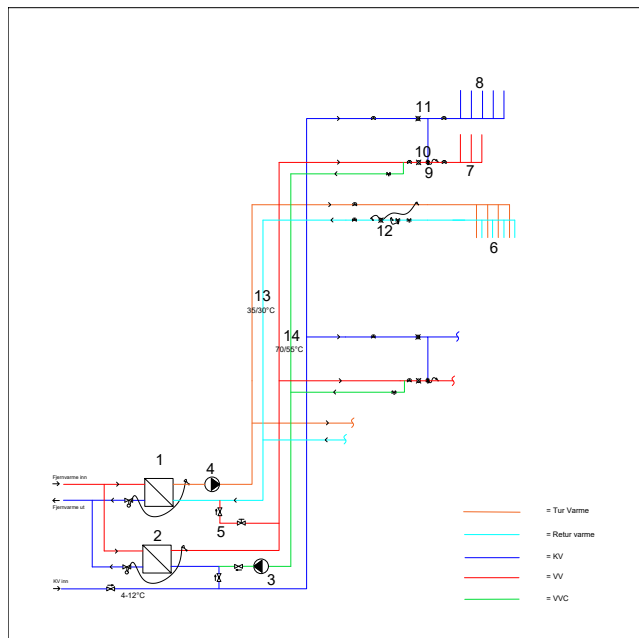
I denne oppgaven er det lavtemperatur gulvvarmesystem i sammenheng med fjernvarme som vil bli sett på. Det kommer til å bli sett på det tradisjonelle 5-rørsystemet som har vært det dominerende i Norge, sammenlignet med 3-rørsystemet som nå har begynt å komme inn i markedet.

2.2 Standard 5-rørsystem

Tradisjonelt sett er varmeanlegg i bygg lagt opp med egen tur- og returledning fra varmekilden til hver enkelt varmeavgiver, denne typen varmeanlegg er det som blir kalt 5-rørsystem i denne oppgaven. Anleggene som blir undersøkt i denne oppgaven vil kun være lavtemperatur gulvarmesystemer.

I et tradisjonelt anlegg vil det i et leilighetskompleks være lagt opp tur og retur for varme i hver enkelt sjakt, det vil være koblet til radiatorer eller en samlestock for gulvvarme i hver leilighet. Sammen med varmt og kaldt forbruksvann samt sirkulasjon til varmtvannet vil dette systemet ha totalt 5 rør i rørsjaktene. Denne tradisjonelle måten å legge opp varmeanlegg har sine fordeler og er et utprøvd system som har blitt brukt i tilnærmet alle prosjekter i Norge der det er vannbåren varme.

På figur 2.1 kan man se eksempel på et forenklet flytskjema for et 5-rørsystem. Det er her markert de viktigste komponentene og hva deres funksjon er. På denne figuren ser man at det er nødvendig med 5-rør i sjakten og to varmevekslere i teknisk rom, en for å varmeveksle mot varmeanlegget og en til å varmeveksle mot tappevann, begge veksler mot fjernvarme i dette tilfellet.



Figur 2.1: Forenklet flytskjema 5-rørsystem

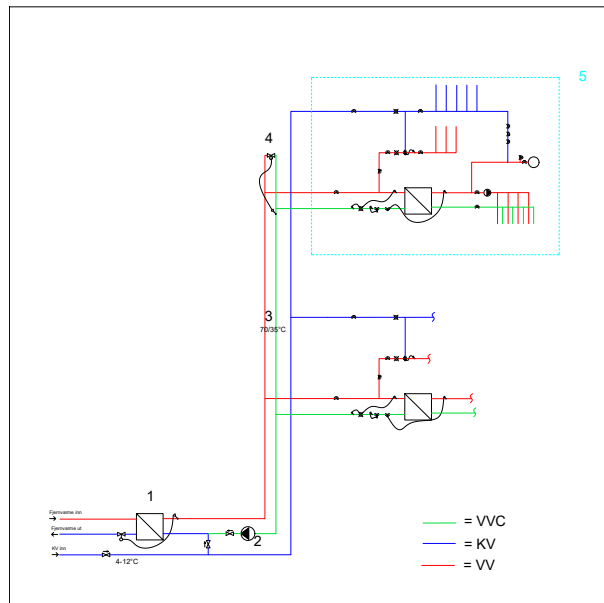
Forklaring av punktene i figur 2.1

1. Varveksler for varmeanlegg mot fjernvarme.
2. Varveksler for tappevann mot fjernvarme.
3. Sirkulasjonspumpe for VVC, sørger for sirkulasjon av tappevann, for å sikre kort tappetid og for å unngå stillestående vann som kan føre til legionella bakterier.
4. Sirkulasjonspumpe for varmeanlegget.
5. Påfylling for varmeanlegget.
6. Gulvarmefordeler, fordeler for gulvvarmekretsene
7. VV fordeler, fordeler for varmt forbruksvann
8. KV fordeler, fordeler for kaldt forbruksvann
9. Blandeventil med føler på 55°C, for å unngå for høy temperatur på det varme tappevannet (skåldesikring)
10. Mengdemåler for VV, for å måle hvor mye varmt tappevann som blir brukt
11. Mengdemåler for KV, for å måle hvor mye kaldt tappevann som blir brukt.
12. Energimåler for varmeanlegg, med føler på tur og retur til gulvarmefordeler.
13. Tur/retur temperatur på 35/30°C på lavtemperatur varmesystem
14. Tur/retur på 70/55°C på varmt tappevann/VVC, for å sikre kort tappetid og unngå legionellavekst.

2.3 3-rørsanlegg

Ved fordeling av energi til varmeavgiverene ved hjelp av varmtvannstilførsels- og sirkulasjonsledningen til tappevann, det som blir kalt 3-rørsystem i denne oppgaven, vil det legges opp til et system der det kun trengs 3 rør i rørsjaktene. Hver leilighet, eller abonnement, vil ha en egen varmeveksler som er koblet til det varme tappevannet og sirkulasjonskretsen. Hver leilighet har en egen lukket varmekrets. Det sirkulerende varme tappevannet vil da fungere som energibærer for varmeanlegget. Dette sparer 2 rør i sjaktene, da det ikke lenger er behov for separate tilførselsrør for varmeanlegget. Det tilfører dog et behov for en egen varmeveksler og sirkulasjonspumpe for hver leilighet som skal ha varme.

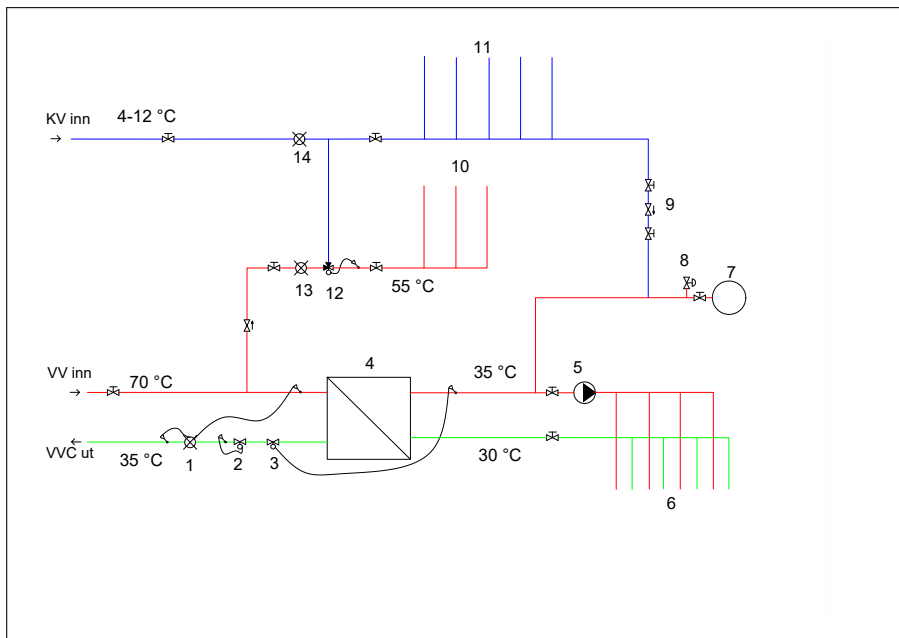
Et eksempel på en løsning for et 3-rørsystem kan ses på figurene 2.2 og 2.3. Figur 2.2 viser flytskjema for slik anlegget er bygget opp i denne oppgaven, men det er ikke gitt at dette er eneste måten å løse det på. I figur 2.3 kan man se et flytskjema for forbrukersentralen som vil være plassert i hver leilighet/abonnement. Det er her tatt med de viktigste komponenten og forklaring på hva de er og hvilke funksjon de har. Utfra figur 2.2 ser man at det her kun er 3-rør i sjakten og at man kun har behov for en varmeveksler mot fjernvarme i teknisk rom, gitt at det ikke er krav om separat varmenett til ventilasjon eller garasjeanlegg. Men som man kan se på figur 2.3 så er det en varmeveksler i hver forbrukersentral, det er også betraktelig flere andre komponenter i fordelerskapet. Ettersom at man vil ha et lukket system til hver leilighet/abonnement så må man ha egen sikkerhetsventil og ekspansjonskar i hvert fordelerskap (Gjertsen et al., 2017, kap 2.7.3). På grunn av det lukkede systemet til varmekretsen, er man nødt til å ha en sirkulasjonspumpe i hver forbrukersentral. Dette medfører at det blir betraktelig flere pumper på 3-rørsystemet enn det det er i 5-rørsystemet.



Figur 2.2: Forenklet flytskjema 3-rørsystem

Forklaring av punktene i 3-rørsystemet

1. Varmeveksler mot fjernvarme, andre høytemperatur energikilder, som for eksempel sol eller strøm kan også benyttes, men i denne oppgaven er det lagt vekt på kartlegging mot fjernvarme.
2. Hovedsirkulasjonspumpe. Sirkulerer tappevannet innom varmeveksler for oppvarming, tappevannet fungerer også som energibærere for oppvarming.
3. Tur/retur temperatur på 70/35°C.
4. Bløder/bypass, for å forsikre sirkulasjon om det ikke er noe forbruk eller varmebehov.
5. Fordelerskap/abonnementsentral plassert i hver leilighet, se figur 2.3 for forklaring.



Figur 2.3: Forenklet flytskjema fordelerskap 3rørsystem

Forklaring av punktene i fordelerskapet

1. Energimåler for oppvarming med føler på tur og retur av varmeveksler, for å beregne hvor mye energi som blir brukt til oppvarming.
2. Termisk styrt ventil for å sikre minimumssirkulasjon og raskt varmtvann.
3. Termisk styrt ventil for å sikre konstant turtemperatur på gulvvarme.
4. Varmeveksler for overføring av varme fra varmtvannsirkulasjon til varmekretsen.
5. Desentralisert sirkulasjonspumpe for varmekrets, for sirkulasjon av medie i varmekretsene.
6. Gulvvarmefordeler, fordeler til gulvvarmekretsene.
7. Ekspansjonskar, for å ta opp volumutvidelser i varmesystemet.
8. Sikkerhetsventil, påbudt sikkerhetsventil for lukkede systemer.
9. Påfyllingsgruppe, ventilgruppe for påfylling av varmekretsen.
10. VV fordeler, fordelere til varmt forbruksvann.
11. KV fordeler, fordelere til kaldt forbruksvann.

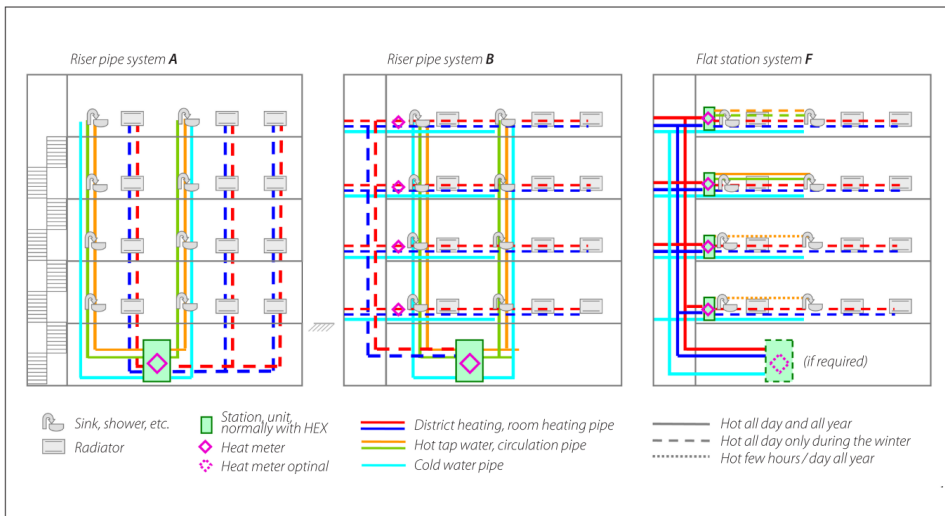
12. Blandeventil med føler på 55°C, for å unngå for høy temperatur på det varme tappevannet (skåldesikkring).
13. Mengdemåler for VV, for å måle hvor mye varmt tappevann man bruker.
14. Mengdemåler for KV, for å måle hvor mye kaldt forbruksvann man bruker.

2.4 Desentralisert leilighetssystem (Flat station system)

Et system som ligner på det som blir utredet i denne oppgaven, er et desentralisert leilighetssystem, med varmeanlegget som energibærer til desentraliserte varmevekslere for tappevann. Dette har Kristjansson (2009) analysert fordelene med for Danfoss. Dette er et system der det er vannet i varmeanlegget som sirkuleres i bygget som eneste energibærer. Hver leilighet har da en varmeveksler som brukes til å produsere varmt tappevann lokalt. Dette systemet er relativt likt 3-rørsystem som blir beskrevet i oppgaven, både med tanke på komponenter i hver leilighet og antall rør i sjakter.

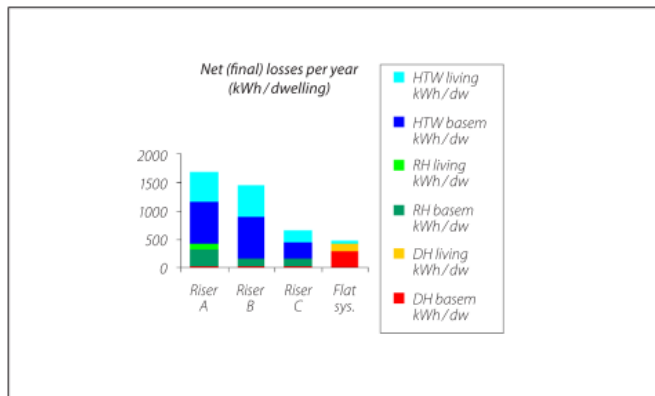
Hovedforskjellen på dette systemet og et system der det er tappevannssirkulasjonen som brukes som varmebærer blir nødvendig temperatur på vannet i varmeanlegget. I et system som bruker varmeanleggsvann til å varme opp tappevann er det nødvendig med høy nok temperatur på vannet i varmeanlegget til at dette kan gi riktig temperaturløft til forbruksvannet. Dette krever da at det sirkulerte vannet til varmeanlegg må ha en høyere temperatur enn den ønskede tappevannstemperaturen.

Likhetene i de systemene er så store at det er relevant å gå inn på resultatene som er funnet og målingene som er gjort i Danmark av Kristjansson (2009), da resultatene diskutert for dette systemet kan ligne de resultatene vi ser etter for 3-rørsystemet som vi ser på.



Figur 2.4: Flat station system System A og B er tradisjonelle anlegg, mens i system F er tappevannet lokalt oppvarmet i hver leilighet. (Kristjansson, 2009, Side 4)

I figur 2.4 ser vi en sammenligning av to tradisjonelle system der varmeanlegget og vann er helt separate fra kjelleren og opp. Vi kan se at det blir betraktelig flere stigerør i system A og system B sammenlignet med system F der hver leilighet har sin egen varmeveksler for produksjon av varmt tappevann.

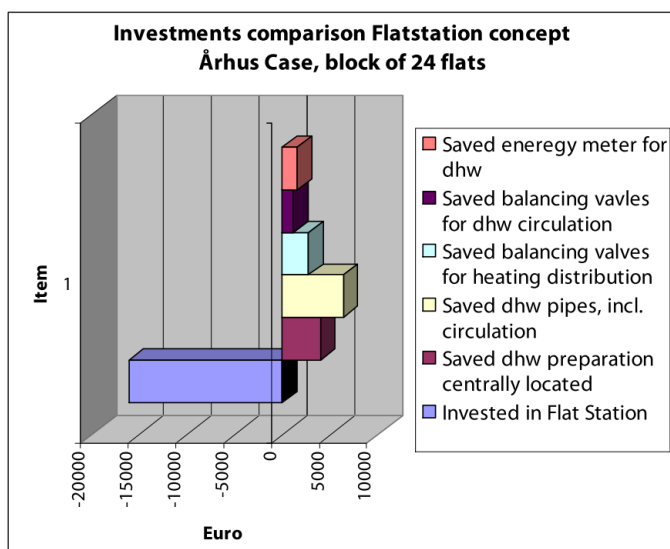


Figur 2.5: Energitap per leilighet. På systemene vist i figur 2.4 der system C er tilnærmet likt system B, med forskjellen at forbruks vannsrørene også er lagt i trappeoppgangen. (Kristjansson, 2009, Side 7)

I figur 2.5 har Kristjansson for Danfoss gjort en analyse på hvilket system som i løpet av et år vil ha størst netto energitap. Her ser vi at flat station systemet til Danfoss er beregnet til å ha et betydelig lavere energitap fra rørstrekene enn de tre tradisjonelle systemene. Dette er data som kan sammenlignes med 3-rørsløsningen som skal sees på i denne oppgaven, da disse to systemene vil ende med like mange distribusjonsrør. (Kristjansson, 2009)

Det er i Danmark også gjort sammenligninger av installasjonskostnader for flat station systemet av Thorsen (2010). Dette bør ligge i samme område som for 3-rørssystemet vi undersøker, med tanke på at det at bruken av varmevekslere og mengden rør, vil være tilnærmet lik.

I figur 2.6 ser vi sammenligningen av utgifter for et flat station system sammenlignet med et klassisk system med 5-rør. Der kan vi se ut fra kalkulasjonene av utgifter gjort av (Thorsen, 2010) at investeringen i varmevekslersystemet for klargjøring av varmt tappevann i hver leilighet er vesentlig dyrere enn det som vil være tilfelle for et 5-rørssystem. Men legger man sammen de innsparte utgiftene som kommer av færre rørføringer, og færre komponenter ellers i systemet, viser det seg at totalt kommer investeringskostnadene ut omtrent likt for begge systemene.

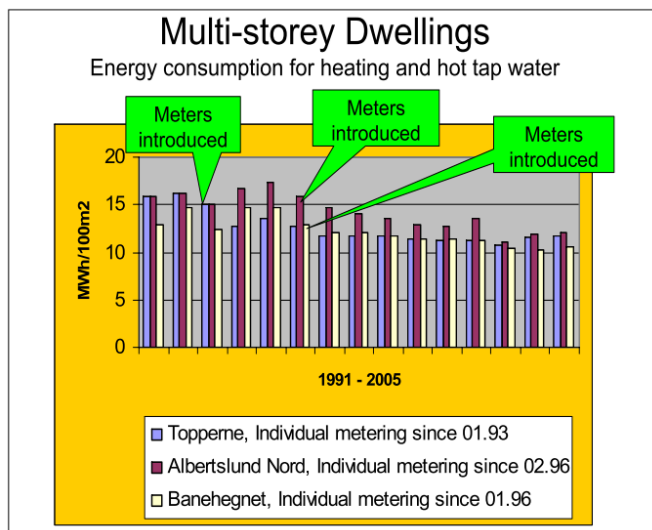


Figur 2.6: Installasjonskostnader for flat station system sammenlignet med 5-rørsystem(Thorsen, 2010)

2.5 Måling av energibruk i leiligheter

2.5.1 Individuell målere i hustander

Et studie gjort i Danmark viser at man kan ha energibesparelse på 15-30% ved å installere individuelle målinger for hver enkelt husstand, for leilighetskomplekser var det en besparelse på 15-23% ved målinger gjort på totalt 791 leiligheter (Gullev and Poulsen, 2006). Dette skyldes at når man har individuell målinger for hver leilighet har man også individuell fakturering av forbruk, dette fører til mer observante og sparsomme forbrukere.



Figur 2.7: Multistorey dwelling (Gullev and Poulsen, 2006, side24)

I henholdt til energieffektiviseringsdirektivet er det i EU krav om at sluttbruker skal ha målere som reflekterer deres faktiske forbruk (NA, 2012). Dette kravet gjelder også for systemer med en sentralt plassert energikilde, ved endring 11.12.18, som enda ikke er innlemmet i EØS men er oppe i formel drøfting nå (NA, 2018). Disse kravene fremkommer også av TEK17 (Regionaldepartementet, 2017, §14.2(6)). Det er av denne grunn målere plassert i hver enkelt boenhet i både 5- og 3-rørsystemet i denne oppgaven.

2.6 Varmetap

Alle rør som har en høyere temperatur en omgivelsene vil ha et varmetap. Varmetapet vil variere med temperatur, isolasjonstykkelse og rørdimensjoner. Alt varmetap i distribusjonsnettet er uønsket, da det bidrar til avgitt energi på uønskede steder, ukontrollerbar oppvarming og et netto energitap. Det viktigste tiltaket for å unngå varmetap er isolering etter gjeldene forskrifter. Det neste som kan gjøres er å redusere antall meter rør, størrelsen på rørene og temperaturen i rørene i anlegget. Ved reduksjon av dimensjoner uten noen andre tiltak, vil det være nødvendig med en økning i hastigheten og trykktapet i rørene, dette vil igjen føre til større pumpearbeid, og mulig støy fra rørene. Reduksjon i temperatur, kan føre til legionellafare for tappevann, og fare for å ikke få avgitt nok energi i varmeanlegg. Derfor kan en reduksjon i antall meter distribusjonsrør stå igjen som en fornuftig løsning, det er dette 3-rørsystemet kan bidra med.

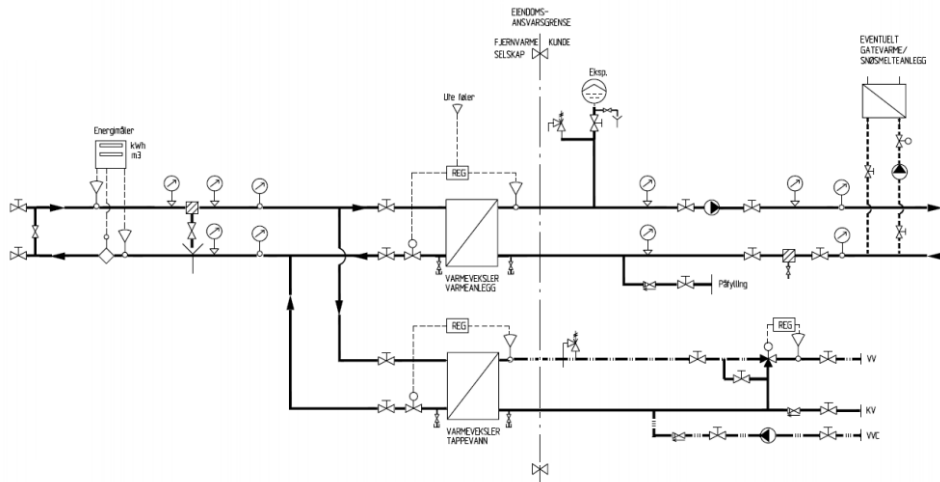
2.6.1 Varmetap til romoppvarming

Alt varmetapet fra distribusjonsrør vil ikke gå til spille. Varmetapet skjer som regel inne i et bygg og vil derfor hjelpe til med romoppvarming i vinterhalvåret. Men selv om varmetapet skjer i bygget så er ikke all energien nyttbar til oppvarming. I følge Bøhm et al. (2009) så regner man med 30-40% av det totale varmetapet fra distribusjonsrør blir nyttegjort til oppvarming (Bøhm et al., 2009, side55). Hvis man ikke regner med varmetap fra ventilasjon. Disse beregningene er gjort i Danmark. Med ventilasjonstapet i tillegg regner de med at det reelle nyttbare varmetapet ligger en del lavere enn dette.

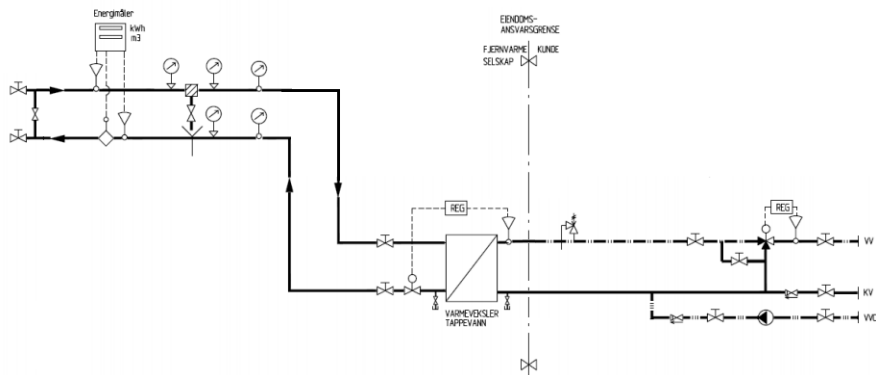
Varmetap fra rør vil uansett være uønsket da du vil få en ukontrollert oppvarming av rom som rørene går gjennom. Dette kan være korridorer som ikke trenger å ha vesentlig oppvarming, eller det kan være snakk om oppholdsrom der kunden er interessert i å holde en lav romtemperatur, som for eksempel soverom. Derfor bør varmetap fra tilførselsrør minimeres så godt som praktisk mulig.

2.7 Fjernvarmeleverandør

Ved standard 5-rørssystem vil du mot et fjernvarmeanlegg trenge to varmevekslere, en til varmeanlegget, som vil veksle mot det lukkede varmeanlegget, og for forbruksvannet som vil veksle mot tappevannsystemet.



Figur 2.8: Systemskisse av kundesentral i standard fjernvarmesystem med to varmevekslere. Systemløsning fra Stakraft. (Statkraft, 2017)

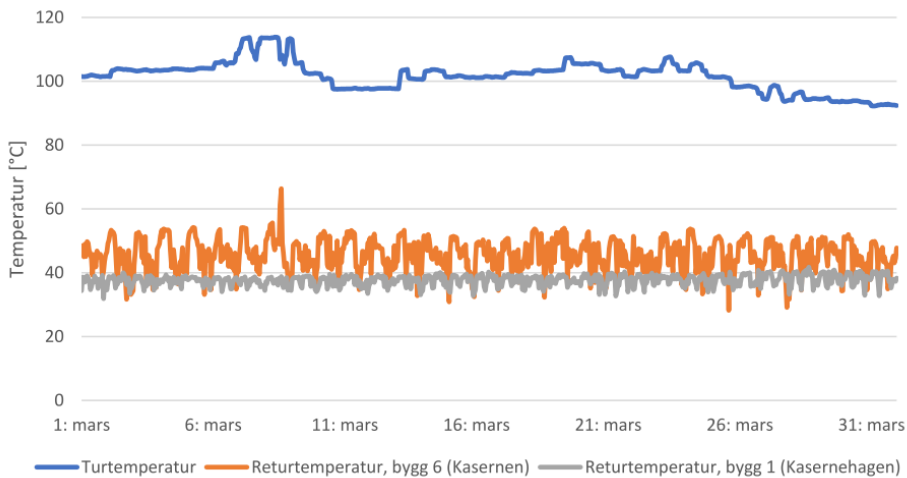


Figur 2.9: Systemskisse av kundesentral i 3-rørs fjernvarmesystem med kun tappevannsvexler. Modifisert systembilde med utgangspunkt i Statkraft sin løsning. (Statkraft, 2017)

Som kan sees på figur 2.8 og 2.9 er det ved 3-rørsystemet mulig å spare inn en vesentlig del av komponentene i abonnementsentralen ved bruk av 3-rørsystemet kontra 5-rørsystemet. Det er dog noen begrensninger her som det vil komme tilbake til senere i teksten.

2.7.1 Returtemperatur

Returtemperaturen i et fjernvarmeanlegg bør være så lav som mulig. Større ΔT over varmeveksleren i bygget betyr at mer av energien som sirkulerer i fjernvarmenettet blir utnyttet. Hvis returtemperaturen kan senkes vil varmetapet fra fjernvarmenettet minke, og den totale mengden vann som må sirkulerer kan reduseres. Dette vil spare energi både i mindre varmetap og mindre pumpearbeid. På lang sikt kan lavere og mer stabile returtemperaturer føre til at fjernvarmenettet kan dimensjoneres ned, da det vil kreves mindre sirkulert væske for å levere samme mengde energi.



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

Figur 2.10: Måledata fra to nabobygg, et med tradisjonelt 5-rørsystem (bygg 6 Kasernen) og et bygg med 3-rørsystem (bygg 1 Kasernehagen) (Nørstebø, 2018)

I figur 2.10 har Kristin Nørstebø i sin masteroppgave (Nørstebø, 2018) sammenlignet returtemperaturen fra to nabobygg der det ene har et tradisjonelt 5-rørsystem og det andre har et 3-rørsystem. Bygget med 3-rørsystemet i grått har en mye jevnere returtemperatur enn bygget med 5-rørsystemet. Returtemperaturen fra bygget med 3-rørsystemet ligger også vesentlig lavere enn for bygget med 5-rørsystemet gjennom hele måleperioden. Ved målinger gjort over et helt år, lå returtemperaturen på 3-rørsystemet på 34,6°C i snitt, med topp på 40°C og lavest målte temperatur på 19°C. Dette viser at det er mulig å holde en jevn lav returtemperatur med et 3-rørsystem.

2.8 Plass i sjakter

Med en stadig økende pris på eiendom i Norge (SSB, 2019) er det naturlig at plass til tekniske installasjoner blir presset mer og mer. Rørsjakter er areal som ikke kan selges til forbrukerne, så fra perspektivet til en utbygger er det interessant å ha så små sjakter som mulig. Mulighetene for utbygger å få bedre utnyttelse av areal er å gjøre sjaktene trangere, eller kutte i antall komponenter som er i sjaktene.

I et 3-rørsystem vil det være behov for 2 færre rør i all rørsjakter i et bygg, dette er en innsparing på 40% av arealbehov for rør. I fellessjakter er ventilasjonskanaler dimensjonerende for størrelse på sjaktene, så der vil kutting av antall rør hovedsaklig føre til lettere installasjon(Aali, 2002). Mens det i rørsjakter der det kun går rør vil det kunne være muligheter for å kutte i størrelsen på sjakten ved bruk av 3-rørsystem.

Kapittel 3

Metode

Dette kapitlet omhandler hvilke metoder som har blitt bruk for å besvare oppgaven. Det vil her bli forklart hvordan metodene er gjennomført, hvilke verktøy som er brukt og hvorfor det er valgt å gjøre det på denne måten. Under dette kapitlet blir det beskrevet hvilke metoder og formler som er brukt for dimensjoneringer, kostnadsberegninger og energiberegninger.

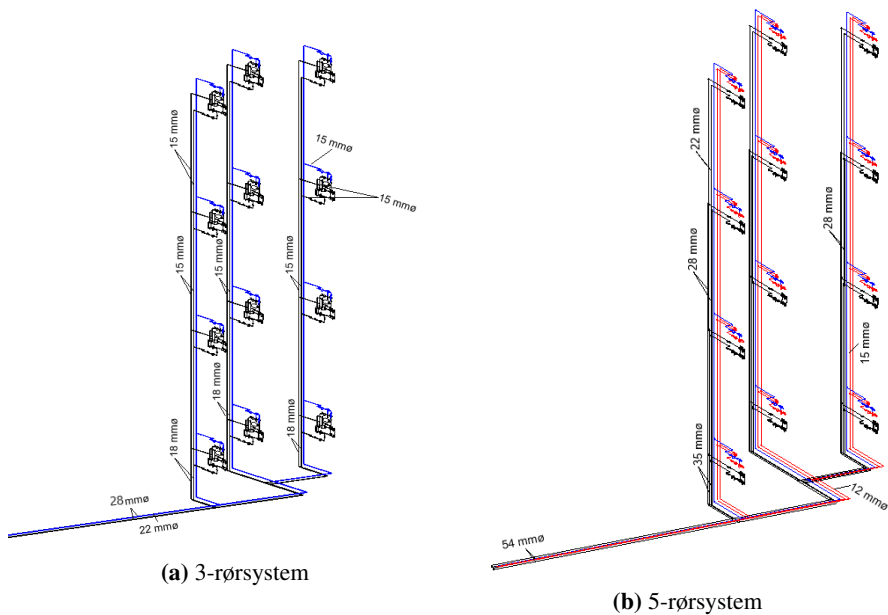
Det er valgt å ta en analytisk tilnærming for å besvare oppgaven. Det blir ikke utført noen fysiske eksperimenter/forsøk eller målinger på allerede eksisterende systemer. Alle utregninger og beregninger som er utført, er utført på ett eksempelsystem. Alt av utregninger og figurer som ikke er produsert av oss, er referert til opphavsperson i teksten med fullstendig informasjon i referanselisten.

3.1 Eksempelsystem

Det er tegnet to eksempelsystemer i Revit, et 5-rørsystem og et 3-rørsystem. Begge systemene er kun tegnet med rørføringer uten selve bygget. De er lagt opp på den måten at det enkelt kan legges til flere etasjer for å utvide beregningsgrunnlaget. Bygget er lagt opp med 3 leiligheter i hver etasje. Systemet er tegnet frem til og med fordelingskapet i hver leilighet. I fordelerskapet er det tatt med alle viktige komponenter.

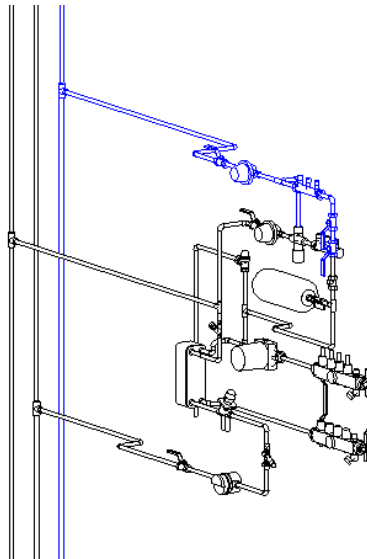
De to forskjellige systemene er gjort så like som mulig, så langt dette lar seg gjøre. Det er gjort på den måten for å gi de to systemene så like betingelser som mulig. Dette er gjort for at beregningene ikke skal favorisere det ene systemet foran det andre.

Eksempelsystemene blir brukt til å beregne og sammenligne investeringskostnader, varmetapsberegninger, beregning av pumpearbeid og for å kartlegge driftskostnader. I figur 3.1 og 3.2 kan man se 3D bilder fra Revit av de to systemene. Systemet er tegnet og dimensjoner for 4 etasjer i Revit, dette er gjort for å få en visuell fremstilling av systemet og for å gi en bedre forståelse for de to systemene og for hva som trengs i prosjekteringsfasen. Selve dimensjoneringen vil bli gjort for 1-30 leiligheter.

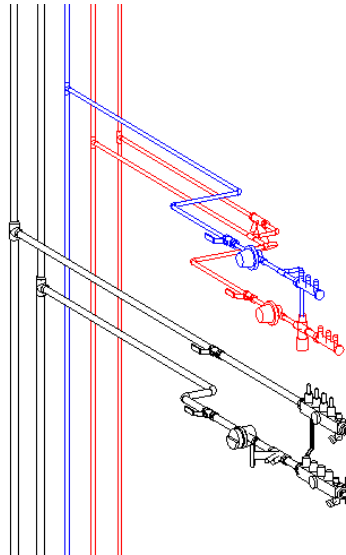


Figur 3.1: Bilde fra Revit 3D

Figur 3.2 viser et nærbilde av 3.1 med fokus på fordelersentralene. I kapittel 2, figur 2.3 og 2.2 kan man se flytskjema for 3-rørsystemet.



(a) 3-rørsystem nærbilde



(b) 5-rørsystem nærbilde

Figur 3.2: Bilde fra Revit 3D, nærbilde av fordelersentral

3.1.1 Dimensjonering av eksempelsystem

Dimensjoneringen av eksempelsystemet er gjennomført i henhold til reglene som er satt i TEK17 (Regionaldepartementet, 2017), det har blitt brukt Standard abonnementsvilkår (Gjertsen et al., 2008) og Rørhåndboka (Andersen and Ole Larmerud, 2018) sine metoder for dimensjonering av rørene. Dimensjoneringen baserer seg på normalvannmengder, sannsynlig samtidighet og effektbehov til leilighetene.

Det er valgt at alle leilighetene er like og har et oppvarmet areal på $50m^2$, dette er gjort for enkelhetsskyld med tanke på beregninger. Men her ville det vært fullt mulig å legge til flere leiligheter og ha forskjellig oppvarmet areal på disse.

Dimensjoneringer er blitt gjort for 1-30 leiligheter og kan leses av utfra de forskjellige tabellene som er laget for dimensjonering, i vedlegg B.2 er det med eksempel på hvordan man bruker disse tabellene. Alle dimensjoner som er i tabellene er for utvendig diameter på kobber, eller tynnvegget galvaniserte stålrør.

Dimensjonering KV og VV

Dimensjoneringen av KV- og VV tilførselsrør er basert på normalvannmengder og samtidighet. Normalvannmengdene finner man i Standard abonnementsvilkår (Gjertsen et al., 2017, side 37) og utregning av samtidighet finner man formel for i Standard abonnementsvilkår for vann og avløp (Gjertsen et al., 2017, kapittel 2.1.1). For å finne normalvannmengden er det valgt ut nødvendig utstyr som trenger vanntilførsel i en leilighet på $50 m^2$. Alt av utstyr og deres normalvannmengder er satt opp i tabell 3.1. Utstyr er valgt utfra hva som er realistisk å ha i en leilighet på denne størrelsen. Det er valgt å dimensjonere kaldtvannstilførsel for 3- og 5-rørsystem og varmtvannstilførsel for 5-rørsystem på denne måten, ettersom at dette er en utprøvd metode som er godt innarbeidet i bransjen.

Beregninger vannmengder 1 leilighet		
Utstyr	Normalvannmengder	
	VV	KV
Servant bad	0,1	0,1
Dusj	0,2	0,2
Klosettsisterne	0	0,1
Oppvaskbatteri	0,2	0,2
Oppvaskmaskin	0	0,2
Vaskemaskin	0	0,2
Totalt	0,5	1

Tabell 3.1: Normalvannmengder

For å finne sannsynlig samtidig vannmengde brukes formel ifra standard abonnementsvilkår: $q = q_1 + 0,015(Q - q_1) + 0,17\sqrt{Q - q_1}$ (Gjertsen et al., 2017, kap 2.1.2). Ved denne formelen regnes det ut sannsynlig samtidig vannmengde for 1 til 30 leiligheter, dette er oppført i tabell 3.2.

Beregning av maks samtidig vannmengde			Formel for samtidigighet	
Antall leiligheter	Samtidig vannmengde VV	Samtidig vannmengde KV	$q=q_1+0,015(Q-q_1)+0,17s\sqrt{Q-q_1}$	
1	0,23	0,28	Symboler	Forklaring
2	0,28	0,38		
3	0,33	0,48	q	Maks samtidig vannmengde
4	0,38	0,58	q1	Vannmengde største tappested
5	0,43	0,68	Q	Sum normalvannmengder
6	0,48	0,78		
7	0,53	0,88		
8	0,58	0,98		
9	0,63	1,08		
10	0,68	1,18		
11	0,73	1,28		
12	0,78	1,38		
13	0,83	1,48		
14	0,88	1,58		
15	0,93	1,68		
16	0,98	1,78		
17	1,03	1,88		
18	1,08	1,98		
19	1,13	2,08		
20	1,18	2,18		
21	1,23	2,28		
22	1,28	2,38		
23	1,33	2,48		
24	1,38	2,58		
25	1,43	2,68		
26	1,48	2,78		
27	1,53	2,88		
28	1,58	2,98		
29	1,63	3,08		
30	1,68	3,18		

Tabell 3.2: Beregning sannsynlig samtidig vannmengder med formel og symbol forklaring

Den sannsynlig samtidige vannmengden som er oppført i tabell 3.2 er grunnlaget som blir brukt i dimensjonering av VV tilførsel for 5-rørsystem, KV tilførsel for både 3- og 5 rørsystem og den blir også videre brukt i beregninger for felles VV og varmerør for 3-rørsystemet (For dimensjonering av 3-rørsystem se 3.1.2).

Dimensjonering KV

Utfra tabell 3.2 er det satt opp tabell for dimensjonering av KV tilførsel for 3- og 5-rørsystem og tabell for VV tilførsel for 5-rørsystem. KV tilførsel vil være lik for begge systemene. Dette er den eneste dimensjoneringen som vil være identisk i begge systemløsningene. For alle andre rør blir det gjort dimensjoneringer hver for seg for de to systemene.

Dimensjonering kaldvann						
Antall etasjer	Sjakt1		Sjakt2		Sjakt 3	
	Samtidig vannmengde l/s	Dimensjon fra samlestokk til fordelerskap , mm	Samtidig vannmengde l/s	Dimensjon fra samlestokk til fordelerskap , mm	Samtidig vannmengde l/s	Dimensjon fra samlestokk til fordelerskap , mm
1	0,28	15	0,28	15	0,28	15
2	0,38	15	0,38	15	0,38	15
3	0,48	18	0,48	18	0,48	18
4	0,58	22	0,58	22	0,58	22
5	0,68	28	0,68	28	0,68	28
6	0,78	28	0,78	28	0,78	28
7	0,88	28	0,88	28	0,88	28
8	0,98	28	0,98	28	0,98	28
9	1,08	28	1,08	28	1,08	28
10	1,18	35	1,18	35	1,18	35
Kjellerstrek →	Sum, 3 sjakter ↓		Sum, 2 sjakter ↓		Sum, 1 sjakt ↓	
Antall etasjer	Total samtidig vannmengde 3 sjakter, l/s	Dimensjon kjellerstrek 3 sjakter, mm	Total samtidig vannmengde 2 sjakter, l/s	Dimensjon kjellerstrek 2 sjakter, mm	Total samtidig vannmengde 1 sjakt, l/s	Dimensjon kjellerstrek 1 sjakt, mm
1	0,48	18	0,38	15	0,28	15
2	0,78	28	0,58	22	0,38	15
3	1,08	28	0,78	28	0,48	18
4	1,38	35	0,98	28	0,58	22
5	1,68	35	1,18	35	0,68	28
6	1,98	42	1,38	35	0,78	28
7	2,28	42	1,58	35	0,88	28
8	2,58	42	1,78	35	0,98	28
9	2,88	54	1,98	42	1,08	28
10	3,18	54	2,18	42	1,18	35

Tabell 3.3: Dimensjonering KV

Dimensjoneringen er gjort for 1-10 etasjer. Man velger da antall etasjer man vil ha dimensjon for, så leser man av dimensjon for opplegg på øvre del av tabellen, og dimensjon for kjellerstrekket i nedre del av tabellen¹. Dimensjonen er valg utfra forenklet dimensjonerings metode fra Rørhåndboka (Andersen and Ole Larmerud, 2018, kap 312.04 E) og tabeller fra Standard abonnementsvilkår (Gjertsen et al., 2017, side 50) (tabeller i standard abonnementsvilkår er hentet fra NS3055:1989). Utregnede dimensjoner kan sees i tabell 3.3.

¹Se vedlegg B.2 for eksempel på bruk av dimensjonstabell

Dimensjonering VV 5-rørsystem

Dimensjoneringen av VV-tilførselsrørene blir utført på samme måte som man gjør for KV-tilførselsrør, denne metoden er forklart i 3.1.1. VV-tilførselen er også dimensjonert for 10 etasjer og kan leses av i tabell 3.4. Det er kun i 5-rørsystemet man har et eget tilførselsrør for varmt tappevann, i 3-rørsystemet er det et felles rør for varme og varmt tappevann, men vi tar allikevel med oss beregningen av varmt tappevanns rør videre til dimensjonering av 3-rørsystem, dette er forklart i kapittel 3.1.2.

Dimensjonering VV						
Antall etasjer	Sjakt1		Sjakt2		Sjakt 3	
	Samtidig vannmengde l/s	Dimensjon fra samlestokk til fordelerskap , mm	Samtidig vannmengde l/s	Dimensjon fra samlestokk til fordelerskap , mm	Samtidig vannmengde l/s	Dimensjon fra samlestokk til fordelerskap , mm
1	0,23	15	0,23	15	0,23	15
2	0,28	15	0,28	15	0,28	15
3	0,33	15	0,33	15	0,33	15
4	0,38	15	0,38	15	0,38	15
5	0,43	18	0,43	18	0,43	18
6	0,48	18	0,48	18	0,48	18
7	0,53	22	0,53	22	0,53	22
8	0,58	22	0,58	22	0,58	22
9	0,63	28	0,63	28	0,63	28
10	0,68	28	0,68	28	0,68	28
Kjellerstrek →	Sum, 3 sjakter ↓		Sum, 2 sjakter ↓		Sum, 1 sjakt ↓	
Antall etasjer	Total samtidig vannmengde 3 sjakter, l/s	Dimensjon kjellerstrek 3 sjakter, mm	Total samtidig vannmengde 2 sjakter, l/s	Dimensjon kjellerstrek 2 sjakter, mm	Total samtidig vannmengde 1 sjakt, l/s	Dimensjon kjellerstrek 1 sjakt, mm
1	0,33	15	0,28	15	0,23	15
2	0,48	18	0,38	15	0,28	15
3	0,63	28	0,48	18	0,33	15
4	0,78	28	0,58	22	0,38	15
5	0,93	28	0,68	28	0,43	18
6	1,08	28	0,78	28	0,48	18
7	1,23	35	0,88	28	0,53	22
8	1,38	35	0,98	28	0,58	22
9	1,53	35	1,08	28	0,63	28
10	1,68	35	1,18	35	0,68	28

Tabell 3.4: Dimensjonering VV

Dimensjonering varmerør 5-rørsystem

For å kunne dimensjonere varmerørene trengs det først å finne effektbehovet for hver leilighet. Som tidligere nevnt så har leilighetene et oppvarmet areal på $50m^2$, siden dette er imaginære leiligheter så er det ikke valgt noe vegg eller vindus arealer. Derfor beregnes effektbehovet utfra forenklet metode som beskrevet i Rørhåndboka (Andersen and Ole Larmerud, 2018, kap 325.01). For beregningene settes det betingelser om at det er en ny boligblokk som er plassert på Østlandet. Man finner da at det gjennomsnittlige effektbehovet er på $33W/m^2$. Det blir så regnet ut effektbehovet for hver leilighet $50m^2 \cdot 33W/m^2 = 1650W = 1,65kW$. Det er dette effektbehovet som blir brukt for både 5- og 3-rørsystemet.

Selve dimensjoneringen av varmerørene for 5-rørsystem utføres etter metodene beskrevet i rørhåndboka (Andersen and Ole Larmerud, 2018, kap 321.02). Det blir her brukt nøyaktig metode som baserer seg på massestrømmen i røren og trykktap pr meter. Massestrømmen regnes ut av formelen: $m = \frac{\dot{Q} \cdot [KW]}{4,18 \cdot (t_{tur} - t_{retur})}$. Trykktapet velges til $100pa/m$ i henhold til anbefaling fra varmenormen (Varmefaktor, 2017, side151), temperaturredifferansen (ΔT) er valgt til $5K$ (pga ønsket ΔT for gulvvarme (Varmefaktor, 2017, side151)) og effekten (\dot{Q}) i hver leilighet er som tidligere vist $1,65KW$. Diameter velges så ut ved bruk av nomogram, siden det her er innvendig diameter som er oppført i nomogramet, blir denne omgjort til utvendig diameter som tilsvarer den innvendige dimensjonen fra nomogramet. Se tabell 3.5 for dimensjoneringen av 10 etasjer. Se vedlegg B.1 for brukt nomogram.

Dimensjonering Varmerør						
Antall etasjer	Sjakt1		Sjakt2		Sjakt 3	
	Vannmengde l/s	Dimensjon fra samlestock til fordelerskap , Utv. [mm]	Vannmengde l/s	Dimensjon fra samlestock til fordelerskap , Utv. [mm]	Vannmengde l/s	Dimensjon fra samlestock til fordelerskap , Utv. [mm]
1	0,08	22	0,08	22	0,08	22
2	0,16	28	0,16	28	0,16	28
3	0,24	35	0,24	35	0,24	35
4	0,32	35	0,32	35	0,32	35
5	0,39	42	0,39	42	0,39	42
6	0,47	42	0,47	42	0,47	42
7	0,55	54	0,55	54	0,55	54
8	0,63	54	0,63	54	0,63	54
9	0,71	54	0,71	54	0,71	54
10	0,79	54	0,79	54	0,79	54
Kjellerstrek →	Sum 3 sjakter ↓		Sum 2 sjakter ↓		Sum 1 sjakt ↓	
Antall etasjer	Total vannmengde 3 sjakter, l/s	Dimensjon kjellerstrek 3 sjakter, Utv. [mm]	Total vannmengde 2 sjakter, l/s	Dimensjon kjellerstrek 2 sjakter, Utv. [mm]	Total vannmengde 1 sjakt, l/s	Dimensjon kjellerstrek 1 sjakt, Utv. [mm]
1	0,24	30	0,16	28	0,08	22
2	0,47	35	0,32	35	0,16	28
3	0,71	40	0,47	42	0,24	35
4	0,95	54	0,63	54	0,32	35
5	1,18	54	0,79	54	0,39	42
6	1,42	54	0,95	54	0,47	42
7	1,66	54	1,11	54	0,55	54
8	1,89	76	1,26	54	0,63	54
9	2,13	76	1,42	54	0,71	54
10	2,37	76	1,58	54	0,79	54

Tabell 3.5: Dimensjonering varmerør 5-rørsystem

Dimensjonering sirkulasjonsledningen 5-rør

For dimensjonering av sirkulasjonsledningen benyttes forenklet dimensjonering av sirkulasjonsledninger som beskrevet i rørhåndboka (Andersen and Ole Larmerud, 2018, kap. 312.71), utregninger og formler kan ses i tabell 3.6. Temperaturdifferansen (ΔT) er her differanse fra teknisk rom og frem til sirkulasjonspunktet, den er satt til $4K$, utfra rørhåndboka (Andersen and Ole Larmerud, 2018, kap. 312.71) skal ΔT ligge på $3 - 5K$ og q kan settes til $0,01KW/m$, l er avstand frem til ugunstigste punkt. Dimensjonene er valgt utfra nomogram med vannhastighet mellom 0, 5 og $1m/s$, for å unngå støyyproblemer og slitasje på rørene, etter anbefalinger fra rørhåndboka.

Beregning sirkulasjonsledning				
Antall etasjer	Rørlengde, [m]	Sirkulert vannmengde [l/s]	Innvendig diameter fra nomogram [mm]	Valgt diameter utvendig [mm]
1	44	0,026	8	12
2	48	0,029	8	12
3	52	0,031	8	12
4	56	0,033	8	12
5	60	0,036	10	12
6	64	0,038	10	12
7	68	0,041	10	12
8	72	0,043	10	12
9	76	0,045	10	12
10	80	0,048	10	12

Formel for sirkulert vannmengde	
$G=q \cdot l / (4,18 \cdot \Delta T)$	
Symbol	Forklaring
G	Vannmengde i sirkulasjonsledningen [kg/s]
q	Varmetap pr meter rør [kW]
ΔT	Temperaturfall over varmtvannsledning [K]
l	Lengde i meter på varmtvannsledning [m]

Tabell 3.6: Dimensjonering sirkulasjonsledning

Som man ser i tabellen så er det en utregnet diameter for sirkulasjonsledningen og en valgt diameter. Det blir her regnet ut dimensjon for å finne største dimensjonen som er nødvendig, i dette tilfelle blir den $12mm$, da dette er den minste dimensjonen som er i normalt bruk.

3.1.2 Dimensjonering 3-rørsystem

Dimensjonering av 3-rørsystem er noe som vi enda ikke har fått noe godt innarbeidete rutiner for i Norge. Vi har derfor valgt å begrunne våre valg ved denne dimensjoneringen ganske nøye. I 3-rørsystemet er det tre rør som skal dimensjoneres, det er turledningen for varmt tappevann/varme, returledningen/sirkulasjonsledningen og det er KV-tilførselsledningen. Dimensjoneringen av KV blir gjort på samme måte som for 5-rørsystemet og ble forklart i kapittel 3.1.1.

Som hovedgrunnlag for dimensjoneringen er det i likhet med 5-rørsystemet, normalvannmengder, sannsynlig samtidig vannmengder og effektbehov som legger grunnlaget. I dette avsnitt blir det gått igjennom hvordan vi har dimensjonert disse rørene og hvorfor det er gjort etter denne metoden.

Dimensjonering av VV- og Varmerør 3-rørsystem

For dimensjonering av 3-rørsystemet må man ta i betraktning både oppvarmingsbehov og VV-behov. Varmebehov og VV-behov blir dimensjonert hver for seg, på samme metode som man gjør for et 5-rørsystem, som er beskrevet i 3.1.1. Dimensjonene for VV vil bli identiske som de for 5-rørsystemet da det ikke er noen av faktorene som er annerledes. Men siden det er en større temperaturdifferanse for tur/retur med tanke på dimensjonering for varmebehov så vil disse dimensjonene bli annerledes. Temperaturdifferansen (ΔT) er valgt til $35K$, fordi vi kan da ha en tur temperatur på $70\text{ }^{\circ}C$ og en returtemperatur på $35^{\circ}C$, i kapittel 2.7.1 blir det vist at $35^{\circ}C$ er en returtemperatur man kan holde på et stabilt nivå. Trykktap er satt til $100Pa/m$, da det er $100Pa/m$ vi bruker for 5-rørsystemet og vi ønsker å gi systemene så like betingelser som mulig. Dimensjoneringen kan leses av i tabell 3.7. I tabell 3.7 ser man at det er noen rørstrekk hvor dimensjonen for VV er størst og noen rørstrekk hvor dimensjonen for varme er størst. Det blir da valgt den største av disse dimensjonene som den dimensjonerende for hvert delstrekk i systemet. Her kan man se grunnen til at alle dimensjoner er satt til utvendig diameter, det er gjort for at det skal være lettere å se hvilke dimensjon man skal velge til 3-rørsystemet.

Dimensjonering VV og varme 3 r�r													
Antall etasjer	Sjakt1				Sjakt2				Sjakt 3				
	vannmengde l/s		Dimensjon fra samlestock til fordelerskap , Utv. [mm]		vannmengde l/s		Dimensjon fra samlestock til fordelerskap , Utv. [mm]		vannmengde l/s		Dimensjon fra samlestock til fordelerskap , Utv. [mm]		
	Varme	VV	Varme	VV	Varme	VV	Varme	VV	Varme	VV	Varme	VV	
1	0,01	0,23	12	15	0,01	0,23	12	15	0,01	0,23	12	15	
2	0,02	0,28	12	15	0,02	0,28	12	15	0,02	0,28	12	15	
3	0,03	0,33	15	15	0,03	0,33	15	15	0,03	0,33	15	15	
4	0,04	0,38	18	15	0,04	0,38	18	15	0,04	0,38	18	15	
5	0,06	0,43	22	18	0,06	0,43	22	18	0,06	0,43	22	18	
6	0,07	0,48	22	18	0,07	0,48	22	18	0,07	0,48	22	18	
7	0,08	0,53	22	22	0,08	0,53	22	22	0,08	0,53	22	22	
8	0,09	0,58	22	22	0,09	0,58	22	22	0,09	0,58	22	22	
9	0,10	0,63	22	28	0,10	0,63	22	28	0,10	0,63	22	28	
10	0,11	0,68	22	28	0,11	0,68	22	28	0,11	0,68	22	28	
Kjellerstrekk →		Sum, 3 sjakter ↓				Sum, 2 sjakter ↓				Sum, 1 sjakt ↓			
Antall etasjer	Total vannmengde 3 sjakter, l/s		Dimensjon kjellerstrekk 3 sjakter, Utv. [mm]		Total vannmengde 2 sjakter, l/s		Dimensjon kjellerstrekk 2 sjakter, Utv. [mm]		Total vannmengde 1 sjakt, l/s		Dimensjon kjellerstrekk 1 sjakt, Utv. [mm]		
	Varme	VV	Varme	VV	Varme	VV	Varme	VV	Varme	VV	Varme	VV	
1	0,03	0,33	15	15	0,02	0,28	12	15	0,01	0,23	12	15	
2	0,07	0,48	22	18	0,04	0,38	18	15	0,02	0,28	12	15	
3	0,10	0,63	22	28	0,07	0,48	22	18	0,03	0,33	15	15	
4	0,13	0,78	28	28	0,09	0,58	22	22	0,04	0,38	18	15	
5	0,17	0,93	28	28	0,11	0,68	22	28	0,06	0,43	22	18	
6	0,20	1,08	28	28	0,13	0,78	28	28	0,07	0,48	22	18	
7	0,24	1,23	35	35	0,16	0,88	28	28	0,08	0,53	22	22	
8	0,27	1,38	35	35	0,18	0,98	28	28	0,09	0,58	22	22	
9	0,30	1,53	35	35	0,20	1,08	28	28	0,10	0,63	22	28	
10	0,34	1,68	35	35	0,22	1,18	35	35	0,11	0,68	22	28	

Tabell 3.7: Dimensjonering Varme og VV tilførsels r r 3-rørsystem

Hvis det velges å legge sammen vannmengdene som kreves for tappevann og varme og dimensjonere ut fra dette, vil dette føre til uforholdsmessig store dimensjoner i systemet. Da vil vannmengden krevd ved DUT og maks sannsynlig tappevannsmengde kunne føres frem samtidig. Dette er ikke nødvendig, da tappevann blir brukt i forholdsvis kort tid om gangen. Siden tappevann blir tatt ut f r varmevekslerene er det dette som vil bli prioritert ved høyt forbruk, og riktig temperatur på tappevann vil være tilgjengelig uavhengig av effektbehov til oppvarming. Det vil da i perioder med høyt forbruk kunne bli litt mindre energi tilgjengelig til oppvarming av gulvvarmesystemene.

På grunn av tregheten i et vannbårent system, og energien som er lagret i gulvkonstruksjonen, vil ikke en kort stund med mindre energi tilgjengelig utgjøre noe problem. Mesteparten av døgnet er det ikke betydelig forbruk av varmtvann, og da vil all den energien som trengs til varmeanlegget være tilgjengelig.

Denne måten å dimensjonere et 3-rørsystem på stemmer også med det vi har diskutert med andre aktører i bransjen.

Dimensjonering av sirkulasjon 3-rørsystem

For at man skal klare å tilfredsstille oppvarmingsbehovet er man nødt til å dimensjonere sirkulasjonsledningen utfra varmebehovet. Dette er fordi om man dimensjonerer sirkulasjonsledningen på lik måte som man gjør for 5-rørsystemet vil det ende med altfor små dimensjoner i forhold til ønsket sirkulert vannmengde, da denne dimensjonen vill bli betraktelig mindre enn om man dimensjonerer utfra varmebehovet. Dette medfører at man i 3-rørsystemet vil få en større dimensjon på sirkulasjonsledningen enn det man får på 5-rørsystemet.

Selve dimensjonering blir da gjort samme måte som for varmerør i 5-rørsystemet (se 3.1.1). Det er også her valgt trykktap på $100Pa/m$, fordi det drivende trykket kommer fra sirkulasjonspumpen og en ΔT på $35K$.

Dimensjonering sirkulasjon 3-rør						
Antall etasjer	Sjakt1		Sjakt2		Sjakt 3	
	Vannmengde l/s	Dimensjon fra samlestokk til fordelerskap , Utv. [mm]	Vannmengde l/s	Dimensjon fra samlestokk til fordelerskap , Utv. [mm]	Vannmengde l/s	Dimensjon fra samlestokk til fordelerskap , Utv. [mm]
1	0,01	12	0,01	12	0,01	12
2	0,02	12	0,02	12	0,02	12
3	0,03	15	0,03	15	0,03	15
4	0,04	18	0,04	18	0,04	18
5	0,06	22	0,06	22	0,06	22
6	0,07	22	0,07	22	0,07	22
7	0,08	22	0,08	22	0,08	22
8	0,09	22	0,09	22	0,09	22
9	0,10	22	0,10	22	0,10	22
10	0,11	22	0,11	22	0,11	22
Kjellerstrekk →	Sum 3 sjakter ↓		Sum 2 sjakter ↓		Sum 1 sjakt ↓	
Antall etasjer	Total vannmengde 3 sjakter, l/s	Dimensjon kjellerstrekk 3 sjakter, Utv. [mm]	Total vannmengde 2 sjakter, l/s	Dimensjon kjellerstrekk 2 sjakter, Utv. [mm]	Total vannmengde 1 sjakt, l/s	Dimensjon kjellerstrekk 1 sjakt, Utv. [mm]
1	0,03	15	0,02	12	0,01	12
2	0,07	22	0,04	18	0,02	12
3	0,10	22	0,07	22	0,03	15
4	0,13	28	0,09	22	0,04	18
5	0,17	28	0,11	22	0,06	22
6	0,20	28	0,13	28	0,07	22
7	0,24	35	0,16	28	0,08	22
8	0,27	35	0,18	28	0,09	22
9	0,30	35	0,20	28	0,10	22
10	0,34	35	0,22	35	0,11	22

Tabell 3.8: Dimensjonering sirkulasjonsledning 3rørsystem

3.2 Lønnsomhetsberegninger

Det blir utført kostnadsammenligninger mellom 5- og 3-rørsystem for å finne ut hvilke av systemene som er mest kostnadseffektivt. Investeringskostnader beregnes med alle nødvendige komponenter som skiller de to systemene. Der det er mulig er det valgt ut like komponenter for at man ikke skal favorisere det ene anlegget over det andre med tanke på pris. For priser på komponenter og rør så er det brukt Brødrene Dahl² sine nettsider, og priser er ut til entreprenør uten moms og fortjeneste. Fortjeneste og moms vil være relativt likt for alle komponenter, så for å beregne prisforskjeller er ikke dette tatt hensyn til. De delene av systemene som er like for 5- og 3-rørsystemet, som kaldtvannsystemet, er ikke priset og tatt med i beregningene, da det ikke vil føre til noen prisforskjell eller gjøre utslag på de endelige beregningene. Beregningene det er lagt mest vekt på er for boligblokk med 10 etasjer og 30 leiligheter. For å få et bredere sammenligningsgrunnlag er beregningene også gjort for 6 etasjer, 18 leiligheter og 2 etasjer, 6 leiligheter. Det blir regnet kostnader for rør, fordelerskap og teknisk rom for begge systemene. Varmetap blir beregnet, som er med å gi grunnlaget for driftskostnadene.

For nødvendige komponenter i fordelerskapet er det tatt utgangspunkt i monteringsanvisningen til Uni-X skapet til LK (2019), som er laget spesielt for 3-rørsystemet. Dette kombiskapet er også blitt priset av LK og er med i analysen av investeringskostnader i resultat og analyse delen av oppgaven.

3.2.1 Varmetapsberegninger

For å beregne varmetap i systemet er beregningene på systemet gjort for et steady-state system. Det er gjort forenklinger ved at det blir beregnet en konstant temperatur i hvert av rørene. Det blir også beregnet en konstant varmestrøm gjennom isolasjonen til omgivelsene.

Varmetap blir regnet ut fra dimensjoner som dimensjonert i 3.1.1 ut fra eksempelbygget vårt er varmetapet regnet ut fra formel for varmetap for sylindere. (Bai and Bai, 2010, s.415)

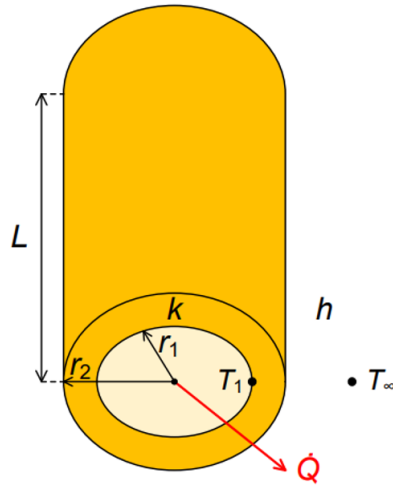
$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_\infty}{R_{tot}} = \frac{T_1 - T_\infty}{R_{cond} + R_{conv}}$$

$$R_{cond} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k}$$

$$R_{conv} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r_2 \cdot L \cdot h}$$

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_\infty}{\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r_2 \cdot L \cdot h}}$$

²www.dahl.no, med innlogging og rabatter fra Kjell Trandum AS



Figur 3.3: Varmetap i rør med isolasjon(Austbø, 2017)

Konveksjonskoeffisienten h er for fri konveksjon mot luft, satt til $h = 4 \frac{W}{m^2 \cdot K}$, hentet fra Subsea Engineering Handbook (Bai and Bai, 2010, s.409), for fri konveksjon til luft.

Konduksjonskoeffisienten er satt fra Glava sitt datablad til $k = \lambda = 0,033 \frac{W}{m \cdot K}$ (Glava, 2018).

Temperaturen i røret T_1 er gitt av ønsket temperatur i varmeoverføringsmediet. Omgivelsestemperaturen $T_\infty = 20^\circ C$ er satt som omgivelsestemperaturen til rørene etter ønsket temperatur i rom som typisk er rundt rørsjakter.

Isolasjonstykkelse $r_2 - r_1$ er tatt ut etter Glava sin dimensjoneringsveiledning til Tek 17 (Glava, 2018). Rørdiameter $r_1 \cdot 2$ er satt etter dimensjonering gjort av rør.3.1.1.

Varmetap for hvert rørstrekk av gitt dimensjon, isolasjonstykkelse og temperatur blir regnet for seg og deretter lagt sammen til et samlet effekttap for systemet. 3- og 5-rørsystemet blir beregnet hver for seg, for så å bli sammenlignet med hverandre.

Komplette utregninger og alle tall som er brukt kan sees i vedlegg C 2 og C 3.

3.2.2 Temperaturer

5-rør

Vanntemperaturene i våre beregninger tar utgangspunkt i 70°C for varmt tappevann, for å unngå legionellaoppblomstring. 55°C for sirkulasjonledning til varmtvann, for å tilfredsstille anbefalingene på ventetid og legionella tiltak (Andersen and Ole Larmerud, 2018, kap 312.70 og 910.07). Denne kan justeres etter ønsket tappevannstemperatur, i henhold til hvilket type bygg og hvilke krav den typen bygg stiller.

Varmeanlegget vi dimensjonerer er et lavtemperatur gulvvarmeanlegg. Her er turtemperaturen lagt til 35°C og returtemperaturen 30°C, dette er normale temperaturer på et slikt system i et Tek17 bygg, da man ønsker en ΔT på 5K (Varmefaktor, 2017, side151). Dette vil ligge til grunn for alle beregninger for varmetap og dimensjonerer i 5-rørsystemet. (Andersen and Ole Larmerud, 2018).

3-rør

I 3-rørsystemet vil også tilførselen med varmtvann være dimensjonert til 70°C. Sirkulasjonsledningen vil her holde en lavere temperatur, typisk 35°C da varmen blir avgitt til varmeanleggene før det sirkulerer tilbake til fjernvarmevekslereren. Her vil det kunne bli aktuelt med tilbakeslagsventiler og oppholdstank for vannet for å hindre at legionella kan spre seg fra den delen av sirkulasjonssystemet med lav temperatur videre til tappevannsutstyret (Nørstebø, 2018). I denne oppgaven vil vi ikke gå noe nærmere inn på legionella, da det faller utenfor oppgaven, men her finnes det akseptable løsninger.

Tur og returtemperatur på gulvvarmesystemet er henholdsvis 35°C og 30°C, for da å ha en ΔT på 5K, som er det samme som for 5-rørsystemet sin gulvvarmekrets. (Varmefaktor, 2017, side151).

3.2.3 Energipris

Varmetapet blir beregnet for hvert rør med en gitt temperatur for hele rørstrekket. Varmetapet blir videre samlet for systemet og regnet om til energitap i kWh. Prisen for fjernvarme som blir brukt i lønnsomhetsberegningene er hentet fra Fortum, (Fortum, 2019) og avregnet til 1kr/kWh som en fornuftig snittpris for energi til våre beregninger.

3.2.4 Driftstid

Både 5-rørsystemet og 3-rørsystemet er satt til å driftes 8760 timer i året. I noen anlegg blir varmeanlegget skrudd av i sommermånedene. Siden det er gulvvarme som er varmesystemet og forbrukerne gjerne vil ha varme på gulvet også om sommeren, spesielt bad, må varmeanlegget være påskrudd hele året.

Effekttapet som er utregnet blir regnet om til energitap i kWh/år. Ved drifting av systemet hele året. Det samlede energitapet blir så tatt videre til lønnsomhetsberegningen for byggets livssyklus, der også installasjonskostnader er tatt hensyn til.

3.2.5 Nåverdibetraktninger

For å kunne sammenligne investeringsutgifter med besparelser er det brukt nåverdibetraktninger for å få en rettferdig sammenligning av investeringsutgifter og sparte driftsutgifter. Beregningen av nåverdi følger (Standard Norge, 2013, NS3454) sin, Livssyklus kostnader for byggverk Prinsipper og klassifikasjoner. Denne beskriver hvordan driftutgifter skal regnes tilbake til året for ferdigstillelse av bygget. Det er brukt 4% som kalkulasjonsrente. 4% er valgt etter (Standard Norge, 2013, NS3454), eksempel for rente for offentlige bygg.

$$\begin{aligned} NPV(i, N) &= \sum_{t=0}^N \frac{R_t}{(1+i)^t} \\ NPV &= \text{Nåverdi} \\ i &= \text{kalkylerente} \\ N &= \text{Antall tidsperioder} \\ t &= \text{Tidsperiode i år} \\ R_t &= \text{Pengeflyt for periode } t \end{aligned}$$

Bruk av nåverdimetoden bringer alle innsparinger/utgifter for driftsutgifter, i dette tilfellet varmetap, tilbake til året for ferdigstillelse av bygget. Dette brukes videre til sammenligning av innsparte driftskostnader med investeringskostnader.

For å se lønnsomheten i de forskjellige varmeanleggstypene i et helhetsperspektiv så er investeringskostnader lagt sammen med beregnede kostnader fra varmetap i rørnett.

Kostnadsforskjellen i driftsutgifter er nåverdijustert og samlet opp akkumulert for en sammenligning av utgifter etter hvor mange år det er beregnet at bygget med varmeanlegg skal vare.

Kapittel 4

Resultater

I dette kapitlet skal vi se på resultatene fra utregninger som er gjort for installasjonskostnader og driftsutgifter for 3-rørsystemet og 5-rørsystemet. Hvis ikke annet er nevnt er alle utregninger og figurer i dette kapitlet gjort for referansebygget med 10 etasjer, 3 rørsjekter vertikalt og 30 leiligheter.

Prisene som kommer frem i denne oppgaven reflekterer ikke de totale kostnadene for et tappevanns- og varmeanlegg, men skal kun brukes for å kartlegge forskjellene mellom et 5- og 3-rørsanlegg, da det kun er de delene av systemet som utgjør en forskjell mellom systemene som er priset. Alle priser som er brukt er som beskrevet i kapittel 3.2 priser ut til entreprenør, uten moms og fortjeneste.

4.1 Installasjonskostnader

En viktig ting å være klar over når resultatene skal leses og tolkes er at alle priser som er regnet under installasjonskostnader kun har tatt utgangspunkt i de delene av anlegget som utgjør en kostnadsforskjell på 3- og 5-rørsystem. Så kaldtvannsystemet er fullstendig neglisjert, det er også de komponentene i tekniske rom som er like for begge typer systemer, arbeidskostnader er bare beregnet for de delene av systemet der det er en vesentlig forskjell. For å se hvilke komponenter og priser som er tatt med i utregningene se vedlegg C 1.

4.1.1 Fordelerskap

Beregningene våre av fordelerskap i leiligheter viser at prisforskjell per skap er på 7400kr i favør 5-rørsystemet. Dette stemmer bra med prisforskjellene som kommer frem fra de prefabrikkerte løsningene til leverandørene. Våre prisede skap for 5-rørsystemet kommer ut med en pris på 23 700kr og for 3-rørsystemet 16 300kr.

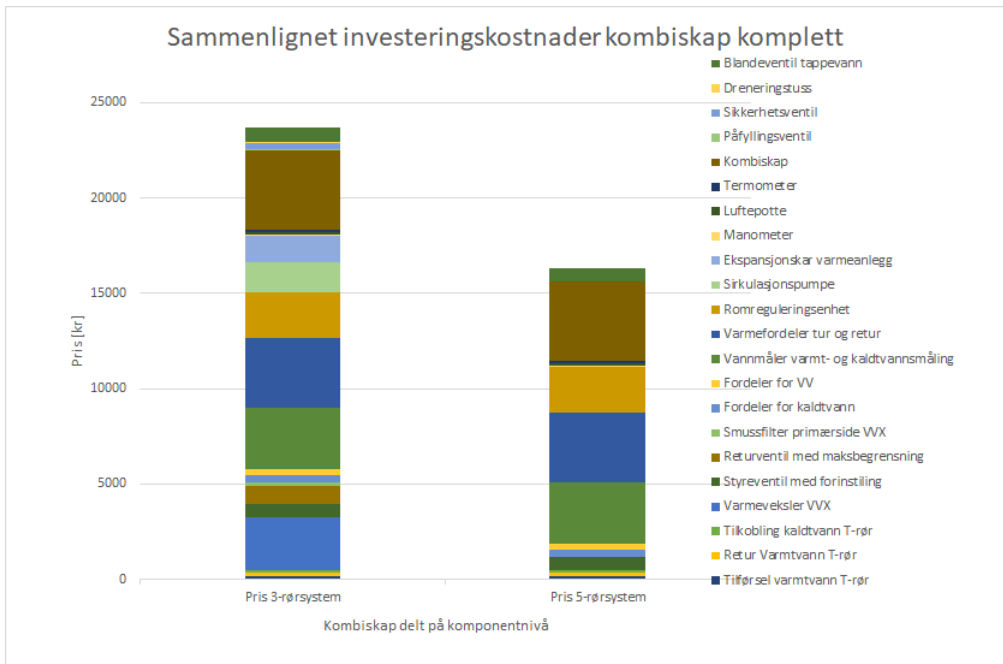
LK priser sitt Uni-X skap tilpasset 3-rørsystemet med fordeler til varmt og kaldtvann, varmeveksler og gulvvarmefordeler med styreenhet til 18 000kr. Et standard prefabrikkert kombiskap med gulvvarmefordelere og tappevannsfordelere priser de til 10 500kr. Dette gir en prisforskjell på 7 500kr for skapet. Prisantydning gitt fra Ole Andreas Valnes (LK Systems AS, e-post, 29.04.2019). I LK sine priser er blant annet vannmåler ikke tatt med, som forklarer noe av prisforskjellen mellom deres skap og våre prisinger.

Roth priser et tilsvarende skap til 5-rørsystem med tappevannsfordelere, gulvvarmefordelere og shuntunit med pumpe for gulvarme til 11 360kr per stykk. Prisen er gitt til Ivar Trandem (Kjell Trandem AS, e-post, 27.03.2019) fra Roth via Brødrene Dahl, merk her er det også med en sirkulasjonspumpe.

Dette gir oss utgangspunktet for de videre beregningene av lønnsomhet. Vi har tatt utgangspunkt i de skapene vi priset med frittstående komponenter. Der er prisforskjellen per skap 7400kr. Ettersom prisforskjellen på de ferdige skapene fra LK og skapene som er priset av oss har en forskjell på under 100kr vil ikke dette valget påvirke de endelige resultatene i stor grad.

Det er ikke funnet noen indikasjon på at arbeidsmengden skal bli noe vesentlig forskjellig fra om det installeres et kombiskap i et 5-rørsystem eller 3-rørsystem. Disse kan komme ferdigbygd fra fabrikk, og skal deretter bare installeres i leilighet. Installasjonskostnader av kombiskap neglisjeres derfor i den videre analysen av kostnader.

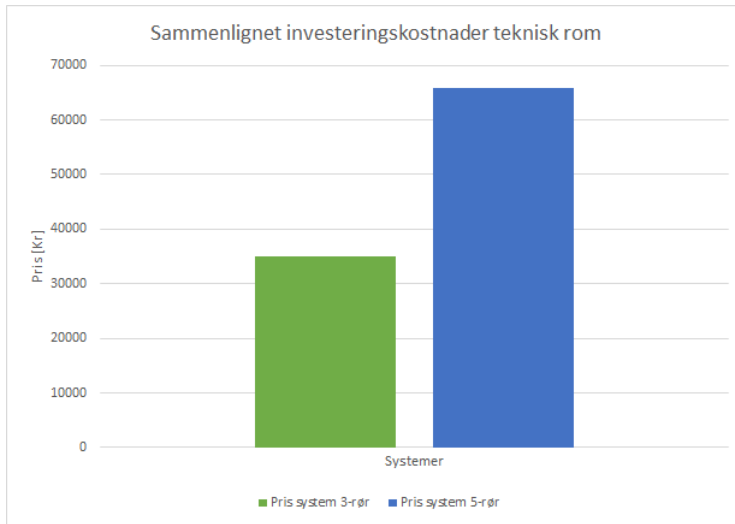
I figur 4.1 er investeringskostnadene for et enkelt kombiskap for 3-rør og 5-rørsanlegg sammenlignet. Dette er skapene som er brukt i den totale lønnsomhetsutregningen for systemet



Figur 4.1: Sammenlignede investeringskostnader for kombiskap

4.1.2 Prising av teknisk rom

For prising av teknisk rom viser våre prisantydninger en forskjell i pris på 31 000kr i kun komponenter. Dette er et lavt estimat, da det ikke tar hensyn til hverken rør, klamring eller arbeidstimer, da dette vil variere i stor grad mellom anlegg.



Figur 4.2: Sammenlignede kostnader for teknisk rom

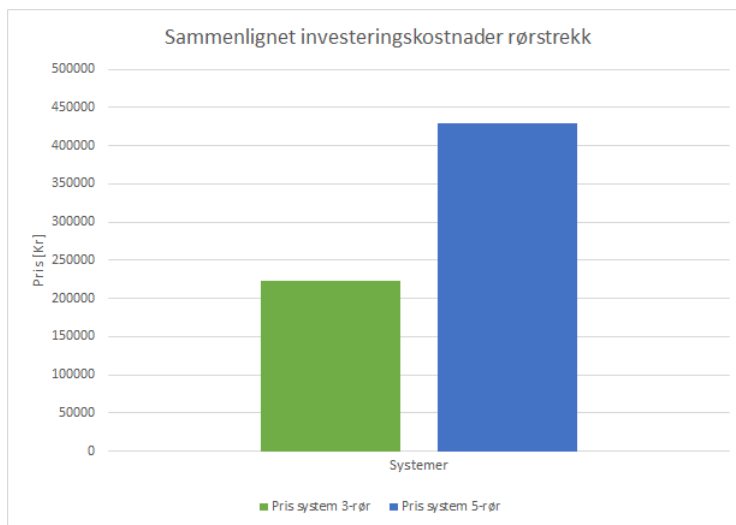
Et estimat på prisforskjell for teknisk rom fra Kjell Trandum AS er 60 000kr der ca 50% er deler, i sparte shuntgrupper og pumper, mens 50% er arbeidskostnader. Prisforskjellen her er estimert med 2 varmesystemer, tradisjonelt til ventilasjon og 3-rørsystem til gulvvarme i leiligheter. Prisforskjellen vil bli vesentlig høyere hvis varme til ventilasjons-systemet kan kuttes ut.

Her er det store forskjeller i hvordan forskjellige anlegget er bygget opp, hvor stor prisforskjellen vil bli. Derfor har vi valgt å bruke et forsiktig estimat med en prisforskjell på 31 000kr, der kun de komponentene og pumpene som utgjør en klar forskjell mellom anleggene er tatt hensyn til. Dette estimatet på prisforskjell er i den lavere enden av skalaen på hva som er sannsynlig at prisforskjellene på et 5- og 3-rørsanlegg anlegg kommer til å være. Vi valgte å legge oss konservativt her for å ikke favorisere 3-rørsystemet i stor grad i de videre lønnsomhetsberegningene. En fullstendig sammenligning av komponenter i tekniske rom er vanskelig å få til generelt da det er mange individuelle forskjeller fra varmeanlegg til varmeanlegg som kan påvirke prisen. For fullstendig liste over komponenter som er tatt med i sammenligningen av anleggene se vedlegg C 1.

4.1.3 Rørstrekk

Rør

I lønnsomhetsberegningene av rørstrekkene er priser på rør fra grossist ut til rørlegger med rabatt lagt til grunn. I 3-rørsystemet vil det være rør i kobber eller annet drikkevannsikert materiale. I beregningene som er gjort er det tatt utgangspunkt i kobber, ettersom dette har vært mest utbredt. I 5-rørsystemet er det tatt utgangspunkt i 3 rør i kobber tappevannsrørene og 2 galvaniserte tynnveggede rør for varmeanlegg. Alle rør er beregnet for pressfittings.



Figur 4.3: Sammenlignet investeringskostnad rørstrekk, isolasjon og arbeid med rør

Pris på rør for kaldtvann er ikke tatt med i analysen, da dette vil være likt for begge system og ikke vil skape noen prisforskjell som vil påvirke de videre lønnsomhetsberegningene.

Isolasjon

Isolasjon er en betydelig bidragsyter til utgiftene i på rørstrekk. Derfor er all isolasjon for varme rør tatt med i beregningene av pris. Isolasjonstykkelsen som er lagt til grunn for prising er som beskrevet i kapittel 3.2.1, tatt ut etter Glava sin tabell for TEK17 Glava (2018) og priser er hentet fra Brødrene Dahl.

Klammer og deler

For klamring og deler er det vanlig i bransjen å prise dette etter hvor stor kostnad du har på rør. Det er valgt å benytte en faktor på 300% etter forslag fra Kjell Trandem AS, v/Ivar Trandem, deler utgjør en større utgift enn rørene, siden antall deler er en større og vanskeligere jobb å estimere enn antall meter rør i et bygg, er det vanlig i bransjen å prise antall meter rør, for så å gange resultatet med en faktor, for å ende med en estimert pris for rør med deler.

Klammer, bend og andre deler er som regel direkte proporsjonalt med antall meter rør og prisen på klammer og deler er som regel avhengig av hvilken dimensjon det skal settes på, derfor får vi et greit estimat av kostnadene til deler i systemet ved å ta utgangspunkt i kostnadene til rør.

Arbeid på rør

Den største forskjellen i arbeidskostnader kommer av legging og isolering av rør. For å beregne arbeidskostnader har vi brukt Fellesforbundet (2017), sin tariff ganget med 3, dette etter anbefaling til beregning av arbeidskostnader fra Kjell Trandem AS v/Ivar Trandem. Akkordtariffen er det rørleggeren kan forvente å få betalt for arbeidet, og reflekterer ikke de fullstendige kostnadene som utførende firma vil ha, for å dekke kostnadene til lønn og andre utgifter ved å ha ansatte til å utføre jobben.

4.1.4 Pumper

Prisen på pumper er regnet inn i kostnadene for skap og teknisk rom, der hvor de hører til. Det er dermed ingen egen post i kostnadsberegningene for installasjonskostnader for pumper. Siden de to systemene skiller seg fra hverandre på bruken av pumper er det et eget avsnitt der vi ser på forskjellen i driftskostnader for pumper, det er også i dette avsnittet forklart forskjellen på pumper i de to systemene. I kostnadsberegningene er det tatt utgangspunkt i at det installeres 2 pumper for sirkulasjon til varmeanlegg og tappevann, der disse kjøres vekselvis for å opprettholde forsyningssikkerheten også hvis en pumpe ryker.

3-rørsystem

I et 3-rørsystem er systemet avhengig av en egen pumpe i hver leilighet. Dette vil i eksemplsystemet føre til 30 sirkulasjonspumper for leilighetsystemene en i hvert kombiskap. I leilighetene er kostnadene for pumper beregnet ut fra en Alpha 1 25-40 180 pumpe, disse er inkludert i kostnadene beregnet i kombiskap-prisene.

I 3-rørsystemet vil det kun være nødvendig med en hovedsirkulasjonspumpe som vil sirkulere både forbruksvann og varme. Det vil her være nødvendig med en rustfri pumpe for forbruksvann. I kostnadsberegningene er det tatt utgangspunkt at det installeres to pumper av typen Magna 1 32-120 N tappevannsirkulasjonspumpe.

5-rørsystem

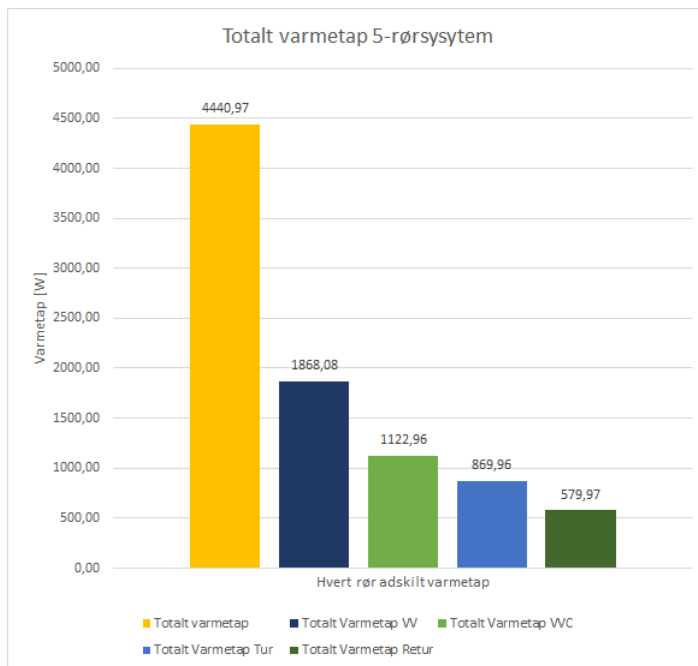
I 5-rørsystemet vil det ikke være nødvendig med en pumpe til hver leilighet, så lenge vannet er shuntet ned til ønsket temperatur allerede i teknisk rom, men egne pumper i hver leilighet kan også her i enkelte tilfeller være ønskelig. I prisberegningene er det tatt utgangspunkt i at det installeres to pumper av typen Grundfos Magna 3 40-180F, som sirkulerer alt vann i varmeanlegget, og 2 pumper av typen Alpha 1 25-80N 180 for sirkulasjon av tappevann.

4.2 Driftskostnader

Av driftskostnader er det i hovedsak varmetap fra rørene som dominerer kostnadsbildet, så det er der hovedfokuset vil ligge, men vi ser også på bruk av pumpeenergi.

4.2.1 Varmetap

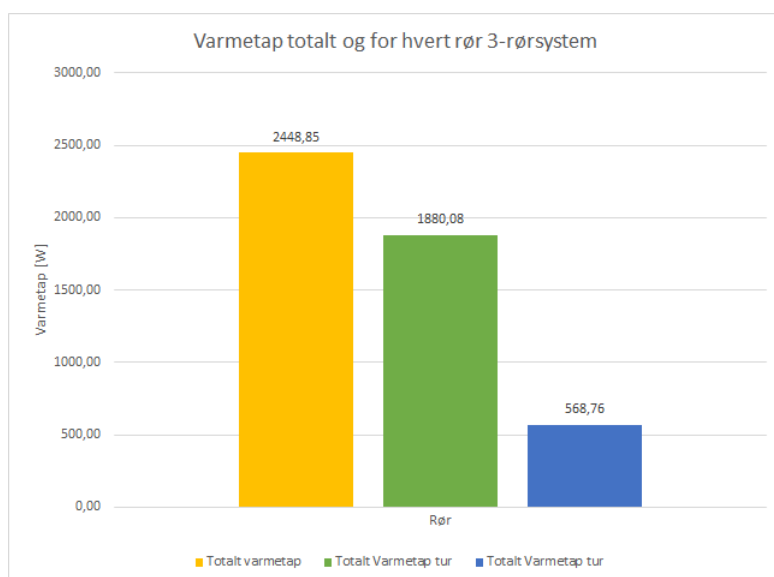
Varmetapsberegningene som er gjort viser det totale varmetapet fra rør i bygget. Varmetapsberegningene er gjort for hver rørtype separat, så det er mulig å se hvordan varmetapet fordeler seg mellom rørene.



Figur 4.4: Varmetap for 5-rørsystem

I figur 4.4 ser vi på varmetapet for hvert enkelt rør i 5-rørsystemet, og varmetapet samlet. Det er det samlede varmetapet som vil bli brukt videre i beregningene for energitap i bygget. Som vi kan se er det tappevannsrørene som her er det klart største varmetapet, grunnet den høye temperaturen sammenlignet med varmeanlegget.

I figur 4.5 ser vi varmetapet fra rørene i 3-rørsystemet. Dette består av kun 2 rør med varmetap. Temperaturen på sirkulasjonsledningen er også lavere her enn den er for 5-rørsystemet, da den har en lavere snittemperatur grunnet effektuttaket til varmeanlegget i hver leilighet. Det totale varmetapet fra 3-rørsystemet blir brukt videre i beregningene av energitap i systemet.

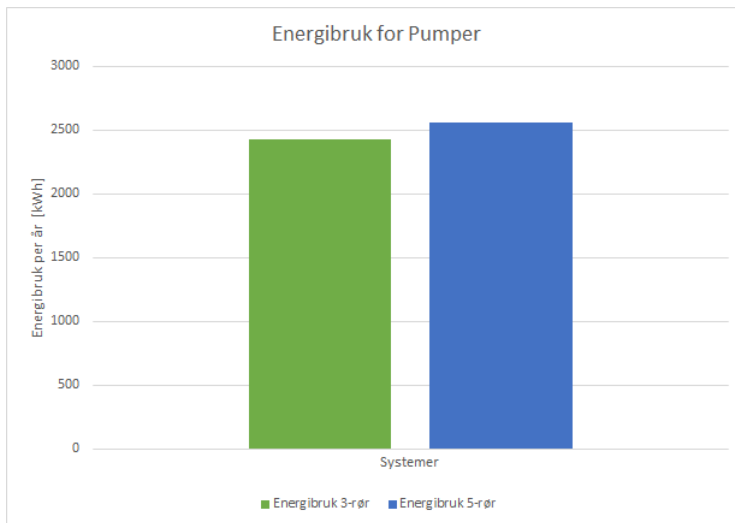


Figur 4.5: Varmetap for 3-rørsystem, samlet

4.2.2 Pumper

Energibruk

Det andre klare energitapet i systemet er pumper. Pumpeenergien kan beregnes som et direkte tap. Her er det brukt dimensjoneringsverktøyet til Grundfos. (Grundfos, 2019) Det beregnes årlig energibruk for en pumpe i drift. Dette er beregnet på grunnlag av 30 pumper i leiligheter og en hovedsirkulasjonspumpe for 3-rørsystemet. For 5-rørsystemet er det beregnet energibruk for en hovedsirkulasjonspumpe, samt en tappevannsirkulasjonspumpe. Resultatene viser at ved et 3-rørsystem vil det spares noe energi i forhold til et 5-rørsystem. Differansen i energitap for 5 og 3-rørsystemet er derimot så liten sammenlignet med det totale energitapet fra varmetap, så energitapet fra pumper er valgt å neglisjere når vi ser på lønnsomheten i anlegget.



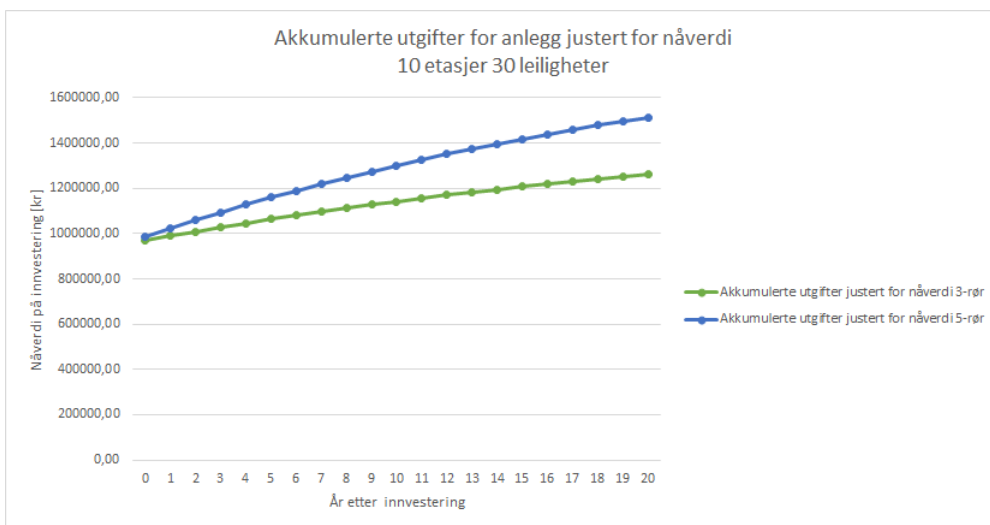
Figur 4.6: Energibruk for pumper

Forskjellen i energibruk for pumpesystemer i de to systemene er på kun 135kWh, denne forskjellen er veldig liten i forhold til energitapet fra varmetap og en del av energitapet fra våtløpende pumper vil gå inn i varmeanlegget som nyttbar varme. Dette gjør at en neglisjering av pumpetapet i lønnsomhetsberegningen ikke vil føre til noen større feil.

4.3 Akkumulerte utgifter for anlegg nåverdijustert

Her presenteres resultatene fra kostnadsberegningene som er gjort for 3- og 5-rørssystemene samlet. For komplette utregninger og alle verdier, se vedlegg: C. Her er installasjonskostnadene lagt til grunn før forskjellen i driftsutgifter nåverdijustert er lagt på for hvert år i drift. Tekniske anleggs levetid er som regel forventet å være 15-20år, med noe lenger levetid for rørføringer. Beregningene for lønnsomhet er derfor gjort frem til anleggets år 20 i drift.

I figur 4.7 ser vi på utgiftene for referansebygget med 10 etasjer og 30 leiligheter. Mens i figur 4.8 og figur 4.9 er de samme utregningene gjort for et bygg av samme type, men med henholdsvis 6 etasjer og 18 leiligheter, og 2 etasjer og 6 leiligheter.

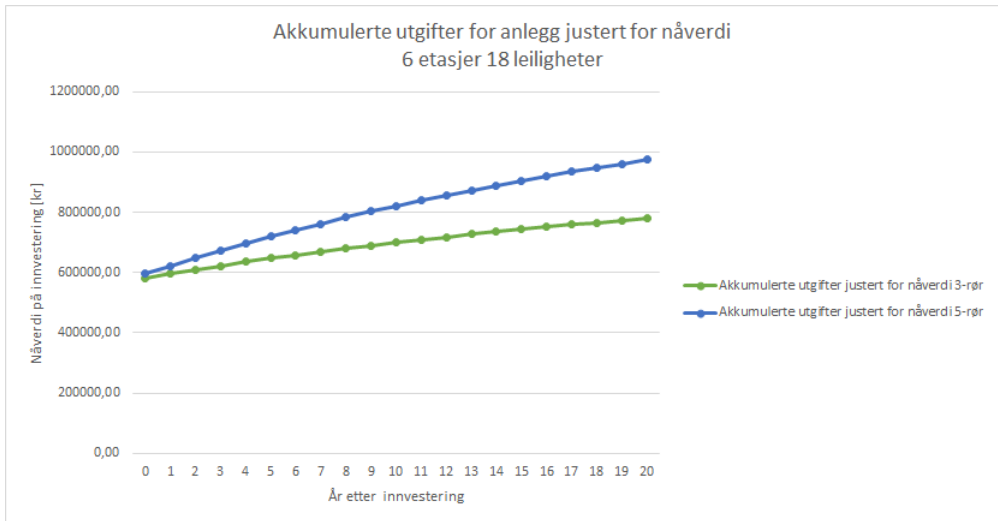


Figur 4.7: Akkumulerte utgifter for 3- og 5-rørssystem over anleggets forventede levetid

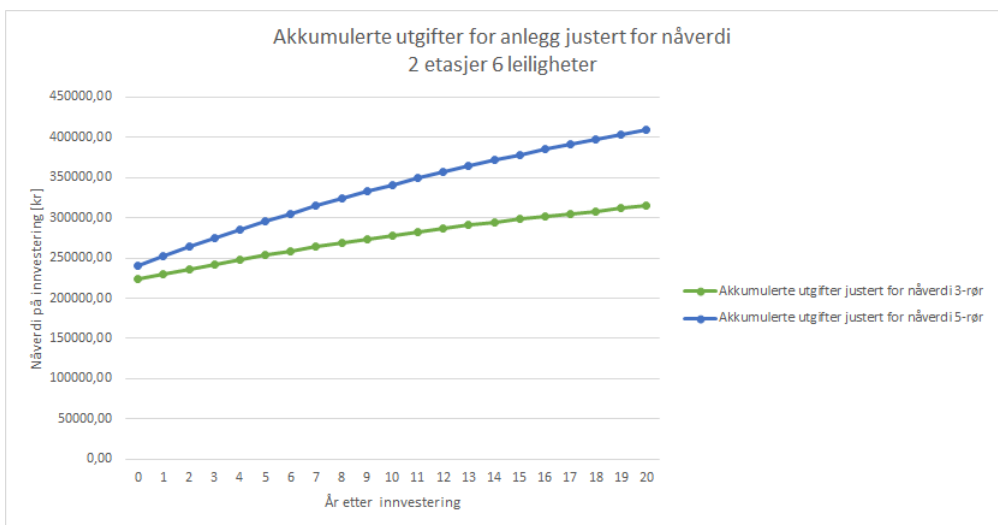
Hoveddelen av oppgaven bygger på resultatene fra kostnadsberegningene for bygget med 10 etasjer og 30 leiligheter. I figur 4.7 er resultatene fra utregningene gjort for lønnsomhet med hensyn til investeringsutgifter, og driftsutgifter forårsaket av varmetap, nåverdijustert tilbake til året for ferdigstillelse, presentert. Verdiene brukt i utregningene kan sees i vedlegg C 4.

I figur 4.8 ser vi de samme grafene som i figur 4.7, men her for et bygg på 6 etasjer.

Igen i figur 4.9 er det de samme tallene som i figur 4.7 og 4.8 som er presentert, men her for 2 etasjer og 6 leiligheter.



Figur 4.8: Akkumulerte utgifter for 3- og 5-rørsystem over anleggets forventede levetid for 6 etasjer og 18 leiligheter



Figur 4.9: Akkumulerte utgifter for 3- og 5-rørsystem over anleggets forventede levetid for 2 etasjer og 6 leiligheter

Kapittel 5

Analyse

5.1 Installasjonskostnader

I del 1 av denne oppgaven er det sett på installasjonskostnader for de forskjellige systemene. Det er innhentet priser fra Brødrene Dahl AS på enkeltkomponenter som er satt sammen til et system for både 3 og 5 rørsystemer. Det er også hentet inn priser på komplette tappevannskap fra LK, og Roth. Dette er brukt sammen med prisene på komponenter i teknisk rom og på rørstrekk til å danne grunnlag for sammenligning av installasjonskostnader for de to forskjellige systemene.

5.1.1 Kombiskap/leilighetsystem

5-rørssystem

For 5-rørssystemet er det tatt utgangspunkt i et standard kombiskap, der tappevann og gulvarmesystem er samlet i samme skap. Deretter er det valgt ut de nødvendige standardkomponentene som skal til for å bygge et konkurransedyktig system. Alle komponenter er så priset hovedsakelig med priser fra Brødrene Dahl. Et standard 5-rørssystem krever relativt få komponenter. Den totale prisen på kombiskapet for en leilighet endte på 16 300kr som vist i figur 4.1. Det er også hente inn priser på prefabrikkerte og komplette kombiskap fra leverandører, prisene på komplette skap ligger noe under det vi har priset. Se vedlegg C 1.

3-rørssystem

3-rørssystemet er mindre utbredt så det er ikke like mange standardiserte skap å bruke i beregningene. Det er også her priset et skap med standard komponenter, samt hentet inn priser fra LK på et komplett skap. Også her ligger prisen på den prefabrikkerte løsningen noe under det vi har priset på skapet der alle komponenter er plukket ut hver for seg.

Skapet vi har priset ville kostet 23 700kr, mens det vi har fått pris på komplett fra LK ville kostet 18 000kr.

Sammenligning

En tendens vi ser er at komplette prefabrikkerte skap fra leverandør er noe billigere enn det skapene blir når komponenter er plukket ut separat og systemet er priset for seg. Noe av prisforskjellen kommer fra vannmålere som ikke er priset inn i de prefabrikkerte skapene, det er også naturlig at skap som kan selges ferdig med alle komponenter i store kvanta vil kunne ligge noe lavere i pris enn skap bygget opp av enkeltkomponenter.

Ikke uventet er løsningen til 3-rørsystemet, dyrere enn et standard 5-rørsystem når det kommer til kombiskap. Prisforskjellen kommer fra de ekstra komponentene som kreves når du skal ha et eget lukket system til hver leilighet, de største forskjellene kommer fra varmeveksler, pumpe, sikkerhetsventil og ekspansjonskar.

Selv om prisene på skapene vi har tatt ut komponenter til avviker noe fra de ferdige skapene, er den totale prisforskjellen ganske lik. For de to skapene vi har priset ligger prisforskjellen på 7400kr som vist i figur 4.1, mens den på de to skapene for de to forskjellige systemene vi her fått priset komplette fra LK er forskjellen på 7500kr.

I utregningene av lønnsomhet er det prisforskjeller som er interessant og ikke prisen på de enkelte komponentene. Så de videre utregningene vil dermed gjelde for både systemer med prefabrikkerte skap og om vi tar utgangspunkt i skap som er bygd opp fra grunnen.

I lønnsomhetsberegningene er det regnet med en prisforskjell på 7400kr per leilighet.

5.1.2 Rørstrekk

Den store fordelene med et 3-rørsystem som også navnet tilsier, at det kun trengs 3 rør for varme- og tappevann sammenlignet med et tradisjonelt system der det kreves 5 rør. Dette fører til en betydelig plassbesparelse i sjakter. Som beskrevet i kapittel 2.8 er det en fordel for utførende med bedre plass i allerede trange sjakter, eller minske plassen som sjaktene trenger i bygg.

Utrekningene våre for installasjonskostnader baserer seg på pris per meter rør etter dimensjoneringsgrunnlaget beskrevet i kapittel 3.1. Rør og isolasjon, er beregnet etter antall meter rør. Bend, klammer og andre deler er lagt inn som en post som baserer seg på prisen fra rør. Som kan sees i figur 4.3 så er kostnadene for rørstrekk beregnet til å være ca. 200 000kr lavere for 3-rørsystemet enn 5-rørsystemet i vårt eksempelbygg med 30 leiligheter. Dette er en betydelig innsparing grunnet mindre materialer og mindre arbeid med rørføringer.

Selv om tappevannsrørene må oppdimensjoneres noe i 3-rørsystemet og rør for varmeanlegg er noe billigere enn tappevannsrør er de totale innsparte utgiftene betydelige.

5.1.3 Teknisk rom

Kostnadene i teknisk rom er de vanskeligste å dra noen generelle konklusjoner om når vi sammenligner de to typene systemer. For 3-rørsystemet er det en hovedting som avgjør hvordan kostnadsbildet vil bli. Det er om det kreves et separat varmeanlegg for ventilasjonsaggregat eller oppvarming av garasjeanlegg, korridorer og andre områder med høyt energikrav for oppvarming og veldig lite tappevannsbehov, ved disse tilfellene vil det være lite hensiktsmessig å bruke tappevannsystemet som energibærer til disse delene av systemet.

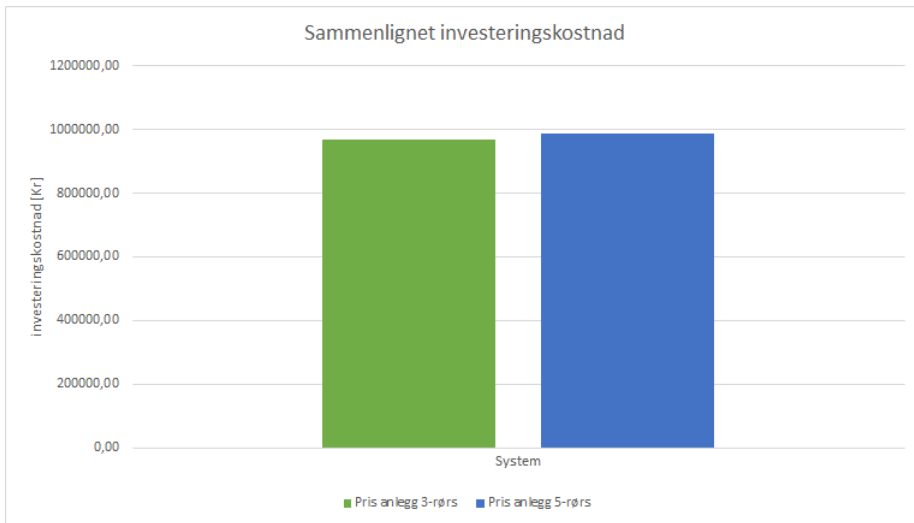
Hvis det kreves et eget varmeanlegg til ventilasjon, etc. vil det også kreves 2 fjernvarmevekslere og oppbygging av 2 separate anlegg tilsvarende det som kreves for et 5-rørsanlegg, vist i figur 2.8. Hvis dette er tilfelle for systemet vil kostnadsbilde ligge i nærheten av det vi har stipulert i utregningene og vist i kapittel 4.1.2. Her vil kostnadsbildet for 5-rørsystemet og 3-rørsystemet ligge relativt likt, men litt lavere pris for et 3-rørsystemet der det spares en shuntgruppe og en pumpe per opplegg pluss jobben dette fører med seg, begge anlegg vil trenge alt av utstyr som kreves til å koble det ekstra varmesystemet.

De store kostnadsforskjellene kommer i systemer der det ikke kreves et eget varmeanlegg til ventilasjon, etc. Her vil det kunne spares inn hele varmevekslergruppen for varmeanlegg, og alle komponenter dette fører med seg, som vist i figur 2.9. Dette tilfellet vil gi betydelig innsparte kostnader for et 3-rørsystem sammenlignet med et 5-rørsystem. Her vil omtrent halvparten av komponentene i teknisk rom forsvinne, dette vil føre til raskere installasjonstid både på fjernvarmesiden og forbrukersiden.

Det er ikke gitt at dette er aktuelt i alle systemer, men i de byggene der det kun kreves oppvarming på leilighetsnivå, vil det å gå for et 3-rørsystem kontra et 5-rørsystem kunne vise seg å være veldig lønnsomt.

I kostnadsberegningene er det det ikke tatt hensyn til innsparingene som kan komme av at den ene fjernvarmeveksleren kan kuttes ut. Ventilasjonsbatterier og systemer tilknyttet dette er ansett til å være likt for begge systemer og er ikke med i beregningene.

5.1.4 Samlede investeringskostnader

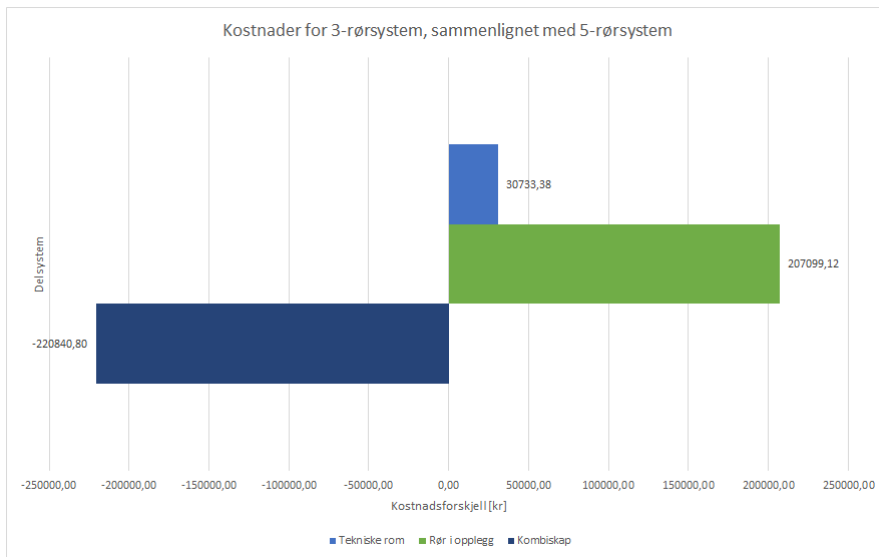


Figur 5.1: Sammenlignet investeringskostnad 3- og 5-rørsystem

Om man ser på alle investeringskostnadene samlet, så ser det ut til at installasjonsmessig kommer begge systemene ut relativt likt som vist i figur 5.1. I tekniske rom er det en liten prisgevinst på å gå for et 3-rørsystem, hvis bygget fortsatt krever et separat varmeanlegg til ventilasjon eller lignende. Hvis bygget klarer seg med kun en fjernvarmeveksler og dermed bare tappevannsdelen av anlegget, vil besparelsene her bli noe større. Nørstebø (2018) fant også at det vil kunne være betydelige innsparinger i installasjonsutgifter forbundet med et 3-rørsystem, gitt at det holder med en varmeveksler.

Som vi kan se av figur 5.2 kommer de store kostnadsforskjellene i systemene fra kombiskapene i leiligheter, og rørstrekk. I eksempelbygget vi har brukt i kostnadsberegningene veier de innsparte kostnadene akkurat opp for de økte kostnadene til kombiskap og 3-rørsystemet ender totalt med å være 17 000kr billigere i installasjon enn 5-rørsystemet.

Hvordan kostnadene vil fordele seg her vil variere med type bygg, antall leiligheter og lengde på rørstrekk. Lengre rørstrekk og færre leiligheter vil gjøre at 3-rørsystemet kommer gunstigere ut i forhold til installasjonskostnader.



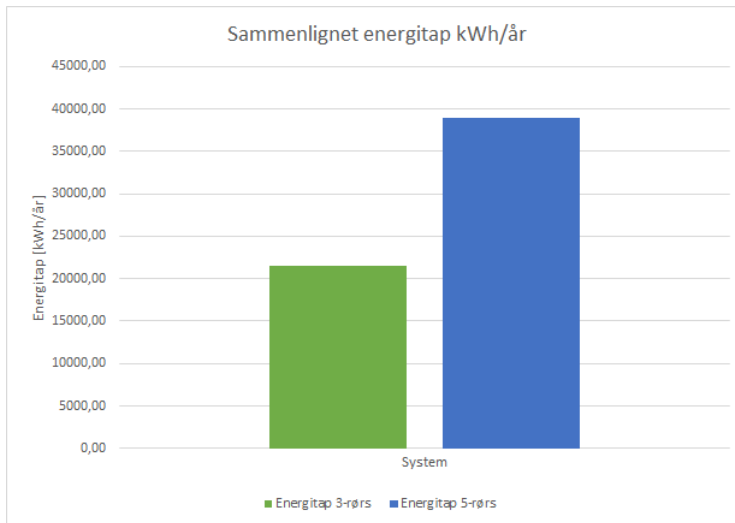
Figur 5.2: Sammenlignet investeringskostnad 3- og 5-rørsystem

Figur 5.2 viser at kostnadsmessig, ser utgiftsfordelingen i 3-rørsystemet ganske likt ut som Flat Station systemet beskrevet i kapittel 2.4 der vi så utgiftsfordelingene beregnet av Thorsen (2010), viser at kostnadene på et flat station system og et 5-rørsystem ligger omtrent i samme område med tanke på installasjonskostnader. Dette ser ut til å stemme ganske bra for 3-rørsystemet med tappevannsystemet som energibærer også.

5.2 Driftskostnader

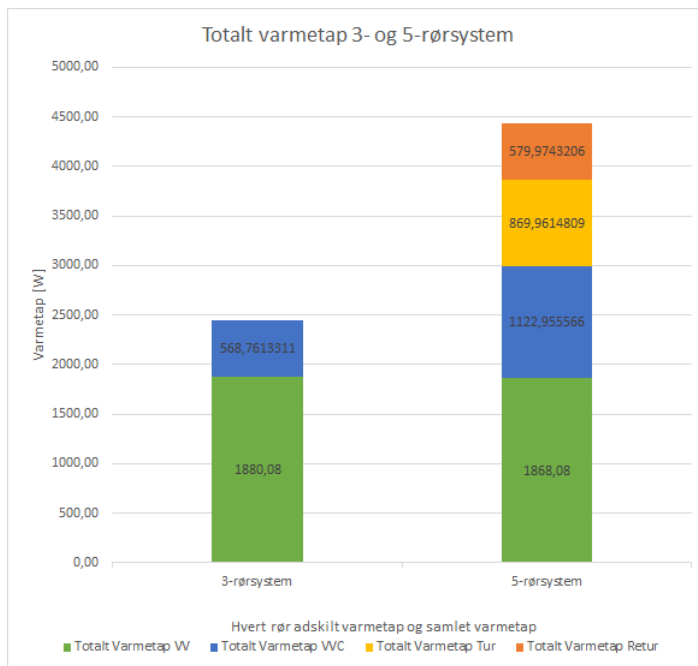
5.2.1 Varmetap

Utregningene av varmetap viser at det er et betydelig mindre varmetap per meter rørsjakt for 3-rørsystemet enn for 5-rørsystemet. Det er her tatt utgangspunkt i rør isolert etter gjeldende krav fra TEK 17 (Glava, 2018). Utregningene våre viser at på eksempelbygget vårt på 10 etasjers med 3 oppganger/rørsjakter vil det årlige energitapet fra varmetap bare fra rørstrekene være på ca. 21000kWh hvis det er brukt et 3-rørsystem og ca. 39000kWh for et 5-rørsystem. Dette er vist i figur 5.3.



Figur 5.3: Sammenlignet energitap 3- og 5-rørsystem

Sammenligner vi de to systemene ser vi at 3-rørsystemet har betydelig redusert varmetap grunnet 2 færre rør som kan tape varme. Fra figur 5.4 ser vi at tilførselsrøret til varmtvann for 3-rørsystemet har et noe høyere varmetap, grunnet oppdimensjoneringen som kreves for å fungere som varmetilførsel. Varmtvannsirkulasjonsrøret har noe lavere varmetap i 3-rørsystemet enn i 5-rørsystemet, på tross av større dimensjoner, den lavere temperaturen som sirkulerer grunnet uttaket av varme til varmeanleggene i leilighetene kompenserer for dimensjonsendringen og at det er mer vann som sirkulerer. Tur og retur røret for varmeanlegget fører til at varmetapet til et 5-rørsanlegg ender med å være tydelig høyere enn for 3-rørsystemet.



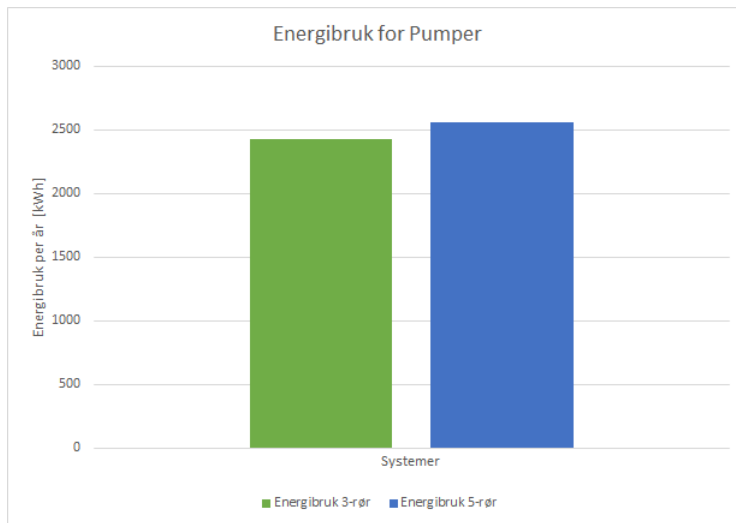
Figur 5.4: Sammenlignet varmetap 3- og 5-rørsystem

5.2.2 Pumpeenergi

Det er beregnet energibruk for sirkulasjonspumper i begge anleggene. Dette er utført med Grundfos sitt levetidsberegningsprogram. Her er det lagt til sirkulert vannmengde og trykktap i anlegget. Deretter er det valgt en passende pumpe til anlegget og årlig energiforbruk er beregnet ut fra dette, av Grundfos.

Resultatene fra beregning av pumpeenergi viser at det er noe mindre energibruk til pumper i 3-rørsystemet enn det er for 5-rørsystemet. Pumpeenergien er i utgangspunktet ikke veldig høy, så forskjellen i energibruk utgjør bare 135kWh. Mindre energiforbruk med desentraliserte pumper stemmer bra overens med Hansen (2013) sine resultater. Hansen (2013) så i sin masteroppgave på hvor mye energi som kan spares på å gå fra en sentralisert til flere desentraliserte pumper. Han har i sin masteroppgave konkludert med at flere og mindre pumper er mer energieffektivt en få store pumper. Resultatene derfra viser at det er en andel energi å spare, men i absoluttverdi utgjør det ikke så mye. Dette gjør at kun å bytte til flere og mindre pumper ikke lar seg forsvare når det kommer til investeringskostnader.

På bakgrunn av dette er pumpeenergi neglisjert i de videre utregningene av lønnsomhet, da det utgjør under 10% av det totale energitapet i anlegget og forskjellen på systemene kun ligger på 135kWh.



Figur 5.5: Energiforbruk for pumper per år

5.2.3 Energitap og prisberegninger

Det totale energitapet er regnet ut fra en driftstid på 8760 timer i året. På 3-rørsystemet er dette nødvendig, da varmtvannet blir tilført gjennom samme rør som vannet til varmeanlegget og varmtvann sirkulasjon er nødvendig hele året. I 5-rørsystemet er også 8750 timer driftstid lagt til grunn. Dette er vanlig i systemer med gulvvarme da folk ofte vil ha varme i gulvet på bad og toalett også om sommeren.

Energiprisene for fjernvarme er hentet fra Fortum (2019), her er prisen flytende i April 2019 101,27øre/kWh. I beregningene er det brukt en snittpris på 100øre/kWh, dette er noe lavere enn strøm. Disse beregningene må justeres i henhold til hvilke energikilde som er i bruk i anlegget.

5.3 Samlede kostnader over byggets levetid

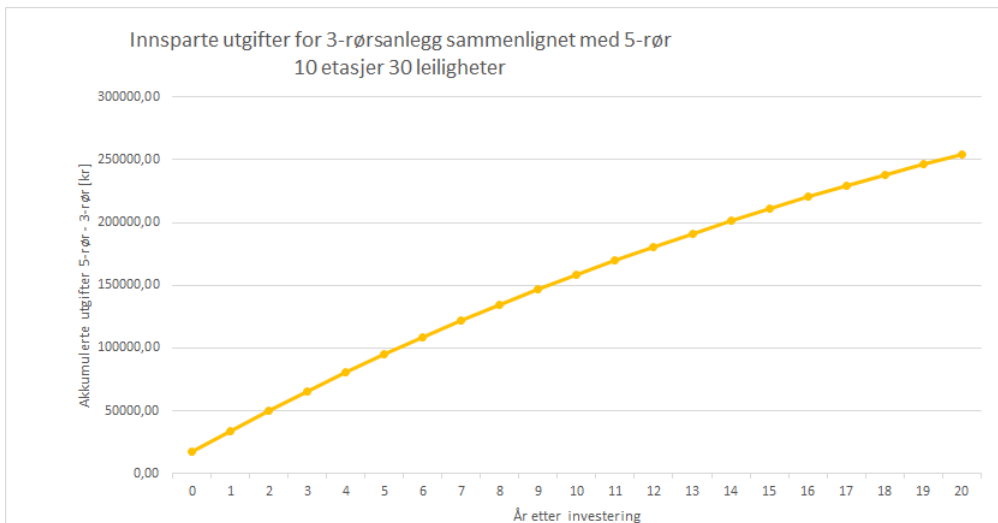
Når det blir sett på lønnsomhet i et prosjekter er det viktig å være klar over at alle involverte parter i et prosjekt ikke nødvendigvis har samme mål om å få ned utgifter. En utbygger vil som oftest være mest opptatt av å få ned installasjonsutgiftene i et bygg, da dette kan direkte realiseres i et overskudd for utbygger, da prisen på leiligheter ofte er gitt i henhold til det markedet er villig til å gi per m^2 . For en forbruker vil driftsutgifter være interessant, da dette bestemmer mye av lønnsomheten for de når de kjøper seg leilighet. Lavere driftsutgifter er ikke alltid noe forbrukerne er klar over eller bryr seg om når de kjøper en leilighet, og kan da bli nedprioritert av utbygger å legge vekt på.

Ut fra disse forutsetningene er det viktig å være klar over forskjellene i innsparte utgifter og lavere byggekostnader, ikke alltid kan direkte sammenlignes, hvis ikke byggherre og bygdrifter er samme person.

Nåverdibetraktninger er lagt til grunn for utregningene av utgifter for varmetap fremover i tid som beskrevet i avsnitt. Her er det gjort sammenligning av installasjonsutgifter og utgifter til varmetap fremover i tid.

Hovedarbeidet i oppgaven har dreid se om å kartlegge kostnadene i referansebygget vårt på 10 etasjer og 30 leiligheter. For å få et bredere grunnlag for å gjøre en konklusjon har vi også regnet på utgifter til installasjon og varmetap for et tilsvarende bygg med 6 og 2 etasjer. Dette gir oss et bredere grunnlag for å trekke anbefalinger ut fra denne oppgaven og for å finne ut når det vil være lønnsomt med et 3-rørsystem kontra et tradisjonelt 5-rørsystem.

10 etasjer



Figur 5.6: Utgifter for 3-rørsystem sammenlignet med 5-rør

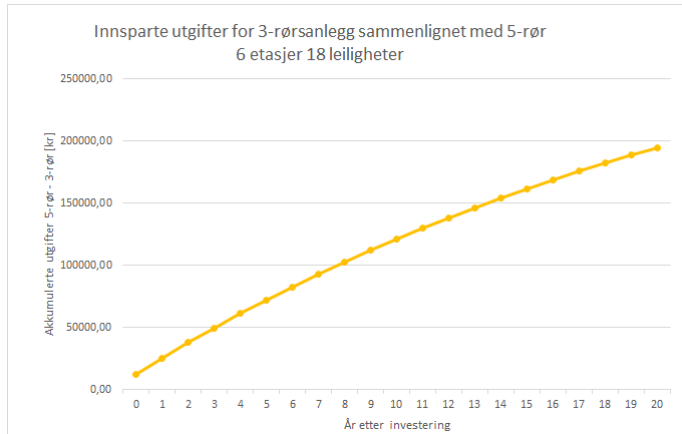
I figur 5.6 er grafen for 5-rørsystem trukket fra grafen for 3-rørsystem i figur 4.7, dette gir et tydelig bilde av kostnadsforskjellene for de to typene anlegg. Vi ser her i år 0, ved installasjon er kostnadene relativt like for begge systemene.

Her er energiprisen for fjernvarme beregnet til å være 1kr/kWh som beskrevet i kapittel 2.5. Alt varmetap fra rørsystemet er også regnet som et netto tap. Hva varmetap som nyttes til oppvarming som beskrevet i kapittel 2.6.1 har å si for lønnsomheten til anlegget har skal sees på senere i kapittel 5.4.

Vi kan se av grafen at varmetapet for de to forskjellige anleggstypene utgjør en betydelig forskjell, og etter 20 år med anlegget i full drift. Hvis driftsutgifter i løpet av anleggets levetid blir lagt til grunn ved investeringstidspunktet og nåverdibetraktninger sett på. Vil et 3-rørsystem komme ut 250 000kr billigere enn tilsvarende 5-rørsystem.

6 etasjer

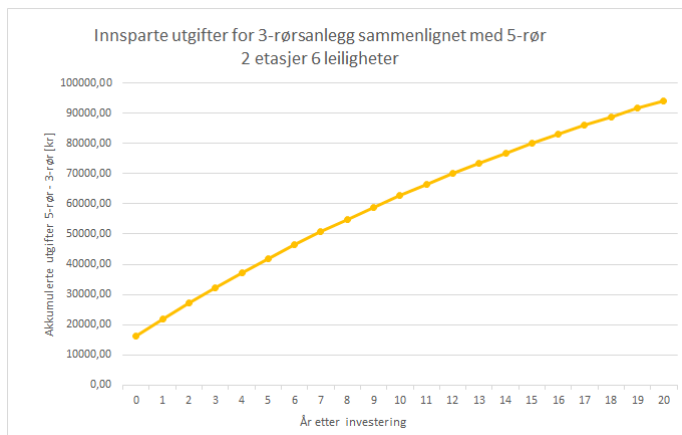
I figur 5.7 ser vi den samme grafen som i figur 5.6, men her for et bygg med 6 etasjer og 18 leiligheter. Her ser vi en litt flatere graf, på grunn av mindre varmetap generelt, grunnet færre meter med rør.



Figur 5.7: Utgifter for 3-rørssystem sammenlignet med 5-rør for 6 etasjer og 18 leiligheter

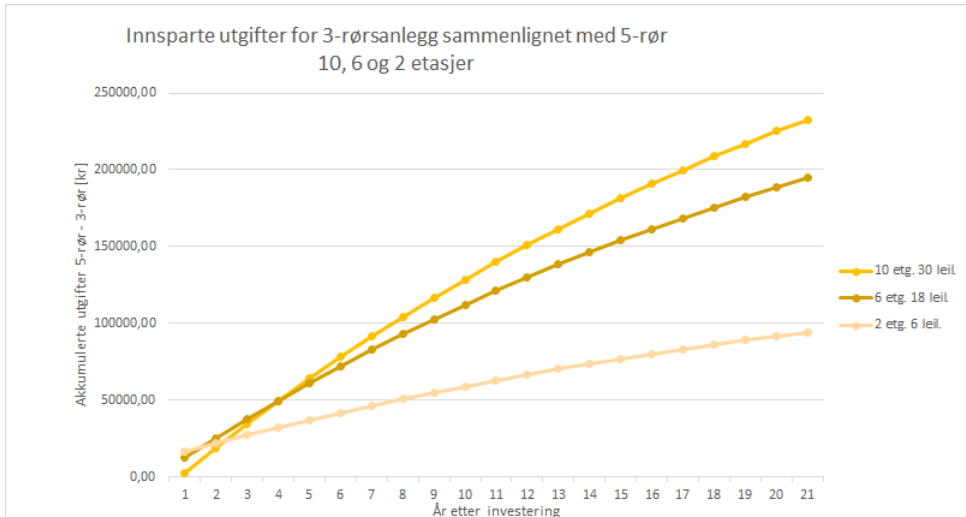
2 etasjer

I figur 5.8 ser vi igjen samme figur som 5.6 og 5.7, men her for kun 2 etasjer og 6 leiligheter. Igjen er grafen flatere, fordi det er mindre rør.



Figur 5.8: Utgifter for 3-rørssystem sammenlignet med 5-rør for 2 etasjer og 6 leiligheter

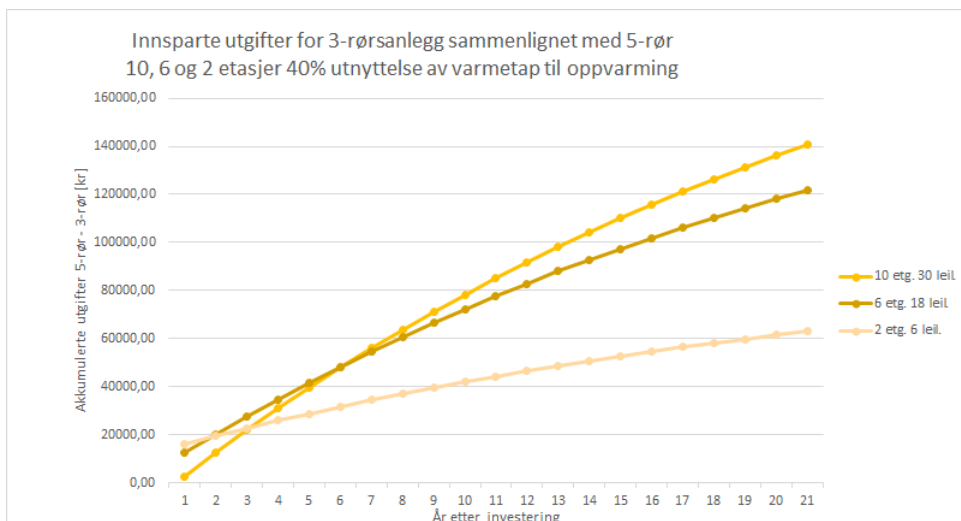
5.4 Resultater sammenstilt



Figur 5.9: Utgifter for 3-rørssystem sammenlignet med 5-rør for 10, 6 og 2 etasjer

I figur 5.9 er grafene fra figur 5.6, 5.7 og 5.8 satt sammen. Her ser vi tydelig at et større bygg gir mer innsparing fra varmetap, da det her også er mer rør. Det er ikke de store forskjellene i forskjellene i investeringsutgifter i forhold til størrelsen på byggene. Vi kan se at jo færre leiligheter det er kommer 3-rørssystemet litt bedre ut med tanke på investeringsutgifter, men det ikke de store utslagene her.

Resultater sammenstilt, tatt hensyn til varmetap som blir brukt til oppvarming



Figur 5.10: Utgifter for 3-rørssystem sammenlignet med 5-rør for 10, 6 og 2 etasjer der 40% av varmen er nyttet til oppvarming

I kapittel 2.6.1: Varmetap brukt til romoppvarming, ser vi at Bøhm et al. (2009) argumenterer for at 30-40% av varmetapet fra tilførselssystemet i et varmeanlegg kan være nyttbart til romoppvarming. Hvis vi tar hensyn til dette når vi beregner lønnsomhet av systemene vil vi i figur 5.10, der vi har justert ned det utregnede varmetapet til 60% av det totale tapet, 40% blir igjen i bygget som nyttbart til oppvarming. Da kan vi se at alle grafene flater ut sammenlignet med innsparingene vi ser i figur 5.9 der vi regner alt varmetap som et direkte tap ut av systemet.

Men selv med en del av varmetapet regnet som nyttbart til oppvarming, vil nåverdien på det største 3-rørssystemet være på 140 000kr etter 20 års drift.

Her bør det også tas hensyn til at den nyttbare oppvarmingen som kan komme av varmetap i rør, ikke nødvendigvis skjer på ønskede steder i bygget, og derfor også bør betegnes som uønsket.

5.5 Miljø

Miljø kommer stadig mer i fokus, det er derfor viktig å huske på miljøaspektet med de forskjellige systemene. Noen viktige faktorer når man tenker på miljøet er materialbruk, hvor godt man utnytter energien og hvor energien kommer ifra.

5.5.1 Materialforbruk

Med tanke på materialforbruk så kommer 3-rørsystemet litt bedre ut med tanke på rørføringer, da man kun trenger å ha 3-rør i sjakten. Man vil derfor ha ca 40% mindre rørlengde med et 3-rørsystem enn 5-rørsystemet. Det vil være flere komponenter i fordelerskapene til 3-rørsystemet og litt færre komponenter i teknisk rom. I forhold til materialforbruk er det vanskelig å trekke noen konklusjoner om hvilket system som er mest miljøvennlig.

5.5.2 Varmetap

Som man ser utfra figur 5.3 er det et betraktelig større energitap for 5-rørsystemet i forhold til 3-rørsystemet. Selv om man som nevnt i kapittel 2.6.1 kan regne med at ca 30-40% av dette kan betraktes som energi som går til oppvarming, er det fortsatt en stor forskjell i energitapet på de to forskjellige systemene der 3-rørsystemet kommer betraktelig bedre ut en 5-rørsystemet. Man vil klare å utnytte den energien man putter inn i systemet mye bedre i et 3-rørsystem kontra et 5-rørsystem.

Totalt energiforbruk til oppvarming i en bolig i boligblokk er som beskrevet tidligere maksimalt $95kWh/m^2$. I en rapport fra norsk energi (Haugerud et al., 2011) er det gjort målinger på energiforbruk for tappevann i boligblokker tilknyttet fjernvarme, der kommer det frem at gjennomsnittlig årlig energiforbruk til tappevannsoppvarming er $21kWh/m^2$ for små leiligheter. Legger vi disse målingene til grunn for å beregne totalt energibehov til eksempelbygget vårt, ender vi med et årlig forbruk på $(95kWh/m^2 + 21kWh/m^2) \cdot 50m^2 \cdot 30 = 1740000kWh$

Dette gjør at varmetapet vi har i systemet summerer opp til å bli hele 18% av det totale energiforbruket for 5-rørsystemet og 11% av energiforbruket til 3-rørsystemet.

Når det blir større fokus på å få ned energiforbruk, og bygg blir bedre isolert vil det i fremtiden også bli viktigere å få ned energiforbruket fra kilder som fører til varmetap. Jo lavere energibehovet til bygget blir jo større blir andelen som blir tap. Som vi kan se av utregningene gjort kan en bidragsyter til å kutte i varmetapet være å kutte ned på antall distribusjonsrør i bygg som 3-rørsystemet gjør.

5.5.3 Energikilden

I begge systemene i denne oppgaven så ser vi på fjernvarme som energikilde. Fjernvarme er betraktet som en miljøvennlig energikilde, derfor kommer begge systemene godt ut på dette punktet. Man kan også koble begge systemene mot andre typer energikilder, så her kommer det an på hva man velger, hvor miljøvennlig løsningen blir.

5.6 Fjernvarmeleverandør

For fjernvarmeleverandøren ser vi i kapittel 2.7 av målingene gjort av Nørstebø (2018) at 3-rørsystemet kan gi en lavere og jevnere returtemperatur gjennom året. Dette er fordel med tanke på utnyttet energipotensiale og varmetap i fjernvarmenettet. Ved lavere returtemperatur er mer av den totale energien levert til systemet utnyttet. På sikt kan det føre til at fjernvarmerør kan neddimensjoneres og mindre pumpearbeid kreves grunnet at det kreves mindre vannmengder sirkulert.

I abonnementsentralen vil du kunne gå ned til en fjernvarmeveksler, der det ikke kreves et separat system til ventilasjonsanlegget. Dette vil føre til enklere og billigere montering for fjernvarmeleverandøren og færre komponenter.

For fjernvarmeleverandørene ser det ut til at et 3-rørsystem kan være gunstig. Både med tanke på antall komponenter i abonnementsentralen, returtemperatur og dermed også varmetap og pumpearbeid.

Kapittel 6

Konklusjon

6.1 Lønnsomhet

Som vi har sett i hele gjennomgangen av systemene, så er 3-rørsystemet et godt alternativ til varmeanlegg i leilighetsbygg. Generelt sett så ser det ut til at 3-rørsystemet er like bra eller bedre enn et 5-rørsystem på de fleste punkter vi har sett på.

Når man ser på investeringskostnadene kommer begge systemene ut relativt likt, med 3-rørsystemet litt billigere, og det er forskjeller i bygget som hovedsaklig vil bestemme hvor stor investeringsforskjellene vil bli og hva som vil bli billigst.

I systemer der det holder med en varmevekslersentral mot fjernvarmesiden, kan de innsparte utgiftene i forbindelse med 3-rørsystemet bli betydelig større enn det er regnet med i denne oppgaven.

På pumpearbeidet så er forskjellen så små at man her kan se på 3-rørsystemet og 5-rørsystemet som likeverdige systemer.

Den store forskjellen i driftskostnader kommer fra forskjellene i varmetap i systemene der 3-rørsystemet er betydelig bedre.

3-rørsystemet har et varmetap 45% mindre enn et tilsvarende 5-rørsystem. For eksempelbygget med 30 leiligheter og 10 etasjer vil dette beløpe seg til 10 000 kr årlig, hvis vi legger til grunn at 40% av varmetapet nyttes til romoppvarming. Om man ikke legger til grunn at noe av varmetapet kan benyttes til oppvarming så kommer 3-rørsystemet ut med en årlig innsparing på 17 000kr.

Med færre rør i bygget vil også plass frigis i føringsveier som kan brukes til å gi bedre plass til de installasjonene som er der, eller gjøre sjakter mindre.

Under alle utregninger av utgifter tilhørende installasjon har vi vært konservative med tanke på hva kostnadsforskjellene vil være i favør 3-rørsystemet. Ved kostnadsberegninger av teknisk rom har vi lagt våre utregninger i den lavere ende av skalaen av hva som vil være reelt innsparte utgifter ved å velge 3-rørsystemet.

Men ganske konservative beregninger så kommer det frem at investeringskostnadene på 3-rørsystemet blir omtrent det samme som 5-rørsystemet. Kanskje noe billigere.

Prisforskjellen på kombiskapene vil trolig ligge rundt det som vi har regnet med, og vi har ikke funnet noen indikasjoner på at det skal være noe forskjell i arbeidsmengden for installasjon av skapene på de to systemene.

Også i litteraturen som er å finne på systemer som ligner, som systemene med de-sentralisert tappevannsoppvarming er innsparte utgifter fra varmetap beregnet til å være betydelig, det er også beregnet at investeringskostnadene vil være omtrent de samme som for et tradisjonelt system. Dette samsvarer godt med de resultatene som vi har kommet frem til med tanke på 3-rørsystemet.

Med den informasjonen vi har skaffet til veie, ved beregninger, litteraturstudie og analyse av resultater, ser det ut til at bruk av 3-rørsystem i leilighetsbygg er en lønnsom løsning, for forbruker, entreprenør og fjernvarmeleverandør.

Med en lettere installasjon og mulighet for innsparte kostnader ved installasjon, viser det seg at 3-rørsystemet vil være helt konkurransedyktig med et 5-rørsystem i et nytt bygg. Med færre rørføringer kan det også tenkes at dette kan være et gunstig system ved rehabilitering av eldre bygg. Innsparte utgifter fra varmetap og mulig lavere returtemperatur til fjernvarmenettet gjør at vi ser på 3-rørsystemet som en løsning som kan bli mer vanlig enn det er i dag. Dette vil kunne føre til betydelige innsparte kostnader og miljømessig avtrykk med tanke på oppvarmingsbehov.

Vi har under arbeidet med oppgaven ikke funnet noen klare ting som gjør at et 3-rørsystem ikke skal være konkurransedyktig med dagens mest utbredte løsninger. På bakgrunn av det vi har kartlagt i denne oppgaven, ser vi ingen grunn til å ikke anbefale bruk av 3-rørsystem til varmeanlegg i leilighetsbygg.

6.2 Videre arbeid

- **Dimensjoneringsgrunnlag:** En ting som kan ses på videre er hvordan man dimensjonerer 3-rørsystemet, etter hvilke laster burde man dimensjonere 3-rørsystemet og om det er noen ekstra hensyn man må ta når energien til varmeanlegget skal fraktes i tappevannsirkulasjonsledningene.
- **Temperatursenkning:** Kan vi ha nattsenkning i 3-rørsanlegg? Er det mulighet for å kunne senke temperaturen på systemet om natten for å ytterlig forbedre varmetapet? Dette vil gå på bekostning av tilgjengelig varmt tappevann og eventuell fare for legionella.

6.3 Feilkilder

- **Dimensjoneringsgrunnlag:** Siden det ikke er en bestemt måte for å dimensjonere et 3-rørsystem på. Så kan det hende hende at dette ikke er utført etter den beste metoden. Noe som kan føre til for stor/små dimensjoner.
- **Steady state beregninger:** For å beregne varmetapet er det brukt stady-state beregninger, med antatt konstant temperatur gjennom hele rørstrekket. Dette fører til en ikke perfekt modellering av systemet. Men feilen bør ikke bli veldig stor her. For å modellere systemene med temperaturløst fra rør kunne det vært aktuelt å gjøre systemsimuleringer ved hjelp av CFD programmer.
- **Temperaturer:** I forskjellige bygg er det forskjellige systemer så det er ikke gitt at dette vil gjelde for alle bygg.
- **Eksempelbygg:** At alle beregninger er gjort på et eksempelbygg og ikke et reelt bygg, forskjellene i utforming på systemer i forskjellige bygg vil kunne påvirke resultatene for installasjonspris og varmetap.

Bibliografi

- Aali, K. K. (2002). Plassbehov for føringsveier til tekniske installasjoner. *Byggforskserien*.
- Andersen, M. and Ole Larmerud, R. N. (2018). *Rørhåndboka 2019*. VVS-foreningen/Skarland Press AS, Oslo, 2019 edition.
- Austbø, B. (2017). Forelesning i termodynamikk 2 og fluidmekanikk.
- Bai, Y. and Bai, Q. (2010). *Heat Transfer and Thermal Insulation*. Gulf Professional Publishing.
- Bøhm, B., Schrøder, F., and Bergsøe, N. (2009). *Varmt Brugsvand – Måling af forbrug og varmetab fra cirkulationsledninger SBI 2009:10*, Statens Byggforskningsinstitut, Aalborg Universitet. Statens Byggforskningsinstitut.
- Byggkvalitet, D. (2015). Byggteknisk forskrift (tek 10). https://dibk.no/globalassets/endringshistorikk/byggteknisk-forskrift/kapittel-14-energi_byggteknisk-forskrift_2015.pdf. (Accessed on 04/17/2019).
- Fellesforbundet (2017). AKKORDTARIFF for RØRLEGGERFAGET. Technical Report august, Fellesforbundet.
- Fortum (2019). Prismodeller - fjernvarme | fortum.no. <https://www.fortum.no/fjernvarme/priser-og-vilkar>. (Accessed on 05/14/2019).
- Gjertsen, T., Grimsrud, G., Hofshagen, T., Jakobsen, G., Torgersen, æ., Wikstrøm, T., and øien, T. (2008). *Standard abonnementsvilkår for vann og avløp : tekniske bestemmelser*. Kommuneforl., Oslo.
- Gjertsen, T., Grimsrud, G., Hofshagen, T., Jakobsen, G., Torgersen, æ., Wikstrøm, T., and øien, T. (2017). *Tekniske bestemmelser : standard abonnementsvilkår for vann og avløp*. Kommuneforl., Oslo, 2. utg. edition.
- Glava (2018). Isolering av rør i henhold til.

-
- Grundfos (2019). Grundfos product center. <https://product-selection.grundfos.com/front-page.html>. (Accessed on 04/24/2019).
- Gullev, L. and Poulsen, M. (2006). The installation of meters leads to permanent changes in consumer behaviour. *News from DBDH*, 3:20–24.
- Hansen, J. S. (2013). *Analyse av energiytelser til sirkulasjonspumper i bygninger*. PhD thesis, NTNU.
- Haugerud, L. P., Lien, I. R., and Jensen, E. (2011). Studie på energibruk i bygg med fjernvarmetilknytning. Technical report, Nork Energi.
- Kristjansson, H. (2009). Distribution Systems in Apartment Buildings. *Sdde 2009*.
- LK (2019). LK Kombiskap UNI-X.
- NA (2012). Energieffektiviseringsdirektivet - regjeringen.no. <https://www.regjeringen.no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2011/sep/energieffektiviseringsdirektivet/id2433307/>. (Accessed on 05/14/2019).
- NA (2018). Endringer til energieffektiviseringsdirektivet (eedii) - regjeringen.no. <https://www.regjeringen.no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2017/feb/forslag-til-revidert-energieffektiviseringsdirektiv/id2541215/>. (Accessed on 05/14/2019).
- Nørstebø, K. (2018). Innføring av ny teknisk løsning for vannbåren varme i leilighetsbygg – Tappevannsløsningen. Technical report, NTNU.
- Raanes, J. (2004). *Varmeanlegg*. Kolofon, [Høvik].
- Regionaldepartementet, K. o. (2017). Byggteknisk forskrift (tek17) - direktoratet for byggkvalitet. <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/>. (Accessed on 04/12/2019).
- SSB (2019). Prisindeks for nye boliger - ssb. <https://www.ssb.no/nybolig>. (Accessed on 04/27/2019).
- Standard Norge (2013). NS 3454-Livssyklus kostnader for byggverk-Prinsipp og klassifisering.
- Statkraft (2017). Almindelige og tekniske bestemmelser for fjernvarme- levering. Technical report, Statkraft Varme AS.
- Thorsen, J. E. (2010). Analysis on flat station concept (Preparing DHW decentralised in flats). *The 12th International Symposium on District heating and cooling*.
- Varmefaktor (2017). *DIMENSJONERING AV RØRNETT GEBERIT MAPRESS EL-FORSINKET PRESSYSTEM I*. Brødrene Dahl, 5. utgave edition.

Tillegg **A**

Populærvitenskapelig artikkel

Varmtvannssirkulasjonssystemer som energibærer til lavtemperatur varmesystemer i leilighetsbygg, er det en lønnsom og akseptabel løsning?

Christian Helledal Trandum og Bjørn Røste Dalen

NTNU, Norges Tekniske Naturvitenskapelige Universitet

19. mai 2019

Dagens vannbårne varmesystemer har vanligvis en lukket krets for varmeanlegg, og en krets for tappevann. Ettersom det blir jaktet på mer energi- og kostnadseffektive systemer har det også blitt aktuelt å se på andre løsninger for oppbygning av varmeanlegg. En av disse løsningene er å bruke tappevann som energibærer til varmeanlegg. Denne systemløsningen gjør at hver leilighet får sitt eget lille lukkede varmeanlegg, som får tilført energi fra varmtvannssystemet. Dette medfører en reduksjon fra 5 til 3 rør i rørsjakter, og en reduksjon i varmetap fra systemet

Introduksjon

I løpet av de siste 10 årene har kravene til energifleksibilitet og maksimalt effektbehov blitt strengere. Dagens krav sier at det skal være minimum 60% energifleksibilitet og at maksimalt energibehov til oppvarming i leilighet i blokk skal være $95\text{ kWh}/\text{m}^2$ oppvarmet boareal per år.[2]

Ettersom isolering av bygg blir bedre og krav om maksimalt energibehov blir lavere, blir det mer og mer relevant å finne systemer som utnytter energien best mulig. En systemtype som er interessant er det å bruke varmt tappevann som energibærer til en lavtemperatur varmekilde. Denne løsningen er inntresant da den som et vannbårne varmesystem oppfyller kravene om energifleksibilitet, siden den kan fungere med flere forskjellige energikilder. Siden tappevannet fungerer som energibærer blir det færre rør som kan avgi varme.

I denne oppgaven er det sett på hvordan et system med varmt tappevann som energibærer, vil komme ut

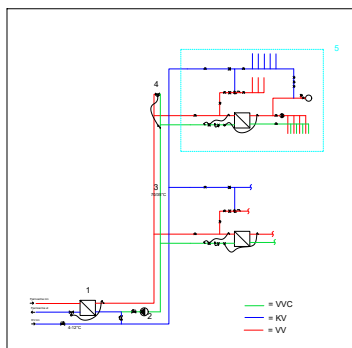
kostnadmessig sammenlignet med et mer tradisjonelt anlegg med adskilte systemer. Det er i hovedsak sett på forskjeller i installasjonspris og driftsutgifter, der varmetap utgjør største del av driftsutgiftene.

Hva er et 3-rørsystem?

Et eksempel på en løsning for et 3-rørsystem kan ses på figurene 1 og 2. Figur 1 viser flytskjema for slik systemet vårt er bygget opp, men det er ikke gitt at dette er eneste måten å løse det på. Utfra figur 1 ser man at det her kun er 3-rør i sjakten i motsetning til systemet i figur 3 der det er 5 rør. Man har også kun behov for en varmeveksler mot fjernvarme i teknisk rom, gitt at det ikke er krav om separat varmenett til ventilasjon eller garasjeanlegg.

I figur 2 kan man se et flytskjema for forbrukersentralen som vil være plassert i hver leilighet/abonnement. Her er de viktigste komponentene for et 3-rørsystem tegnet inn og navngitt. Som man kan se på figur 2 så er det en varmeveksler i hver forbrukersentral, det er også flere andre komponenter i fordelerskapet i hver leilighet enn det som ville vært tilfelle med et 5-rørsystem. Ettersom man vil ha et lukket system i hver leilighet så må man av forskriftsmessige grunner også ha egen sikkerhetsventil og et ekspansjonskar i hvert fordelerskap [1], samt at det trengs en egen sirkulasjonspumpe i hvert kombiskap.

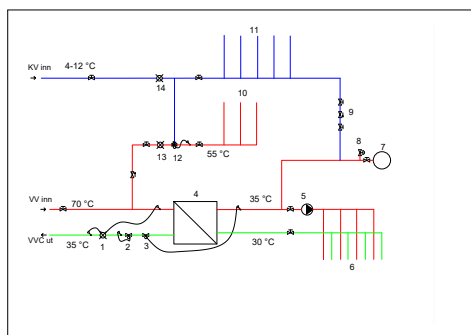
På grunn av at det kun er 3 rør som går i sjaktene i bygget, kalles dette for et 3-rørsystem, mens et vanlig varmesystem med 5 rør i sjakter kalles et 5-rørsystem i denne artikkelen.



Figur 1: Forenklet flytskjema 3-rørsystem

Forklaring av punktene i 3-rørsystemet

- | | |
|-----------------------|------------------|
| 1. Varmeveksler | 4. Bløder/bypass |
| 2. Sirkulasjonspumpe. | 5. Figur 2. |
| 3. Tur/retur temp. | |

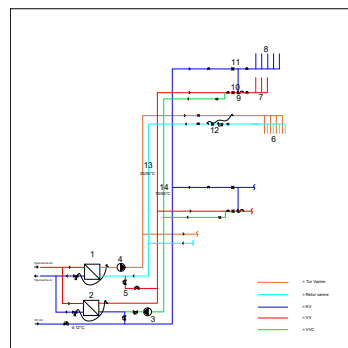


Figur 2: Forenklet flytskjema fordelerskap 3rørsystem

- | | |
|-------------------------------------|---------------------|
| 1. Energimåler | 8. Sikkerhetsventil |
| 2. Termisk styrt ventil | 9. Påfyllingsgruppe |
| 3. Termisk styrt ventil | 10. VV fordeler |
| 4. Varmeveksler | 11. KV fordele |
| 5. Desentralisert sirkulasjonspumpe | 12. Blandeventil |
| 6. Gulvvarmefordeler | 13. Energimåler |
| 7. Ekspansjonskar | 14. Mengdemåler |

Eksempelbygg

For å sammenligne de to systemene er det tegnet to eksempelbygg, et med 5-rørsystem og et med 3-rørsystem. De er begge lagt opp med 3 leiligheter i hver etasje og 10 etasjer. Dimensjonering av systemene er gjort basert på varmebehov, normalvannmengder og sannsynlig samtidighet. De to byggene er dimensjonert etter så like vilkår som mulig og alle leiligheter er på $50m^2$ og har et bergenet effektbehov på $1,65KW$, de har også en



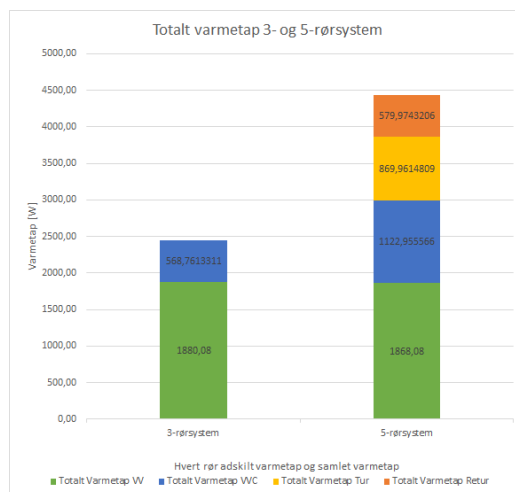
Figur 3: Forenklet flytskjema 5-rørsystem

sannsynlig samtidig vannmengde på $0,22l/s$ for varmt vann og $0,27l/s$ for kaldt vann.

På disse to eksempelssystemene er det gjennomført kostnadsberegninger, varmetapsberegninger og beregninger av pumpeenergi.

Funn

For å se på kostnader for et anlegg i drift er varmetapp og pumpearbeid to viktige faktorer å se på. Som man kan se utfra figur 4 så er det et mye lavere varmetapp i 3-rørsystemet da dette har to færre rør som kan avgi varme.

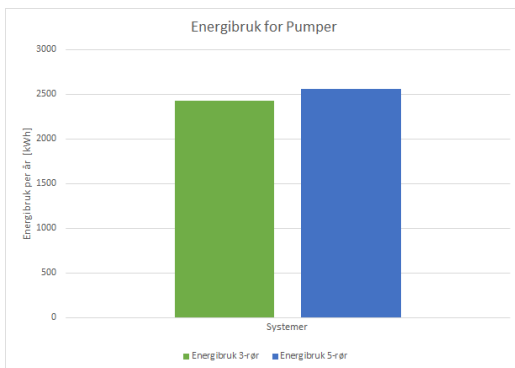


Figur 4: Sammenlignet effektapp 3- og 5-rørsystem

I vårt eksempel med beregning av pumpearbeid har vi brukt 30 leiligheter, dette medfører at 3-rørsystemet får totalt 31 pumper, 30 små i leiligheter og en hovedsirkulasjonspumpe i teknisk rom. For 5-rørsystemet blir det her kun 2 pumper, en for varmtvannsirkulasjon og en for sirkulasjon til varmekretsen, Begge disse vil

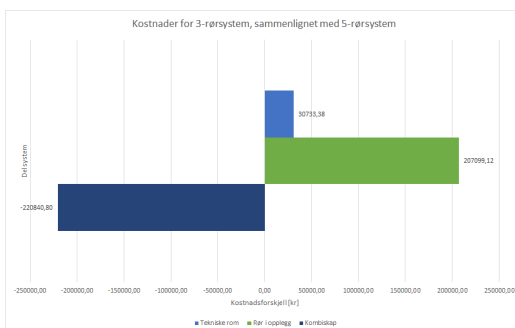
være plassert i teknisk rom. Men selv om det er flere pumper i 3-rørsystemet blir den totale pumpeenergien mindre. Besparelsen i pumpeenergi utgjør veldig lite i forhold til det totale energitapet i systemet.

I energitap er det helt klart varmetapet som dominerer og det er dette som utgjør mesteparten av forskjellene i driftskostnader for systemene. Den årlige besparelsene i driftsutgifter for et 3-rørsystem sammenlignet med et 5-rørsystem er beregnet til å ligge mellom 10 000kr-17 000kr, for eksempelbygget med 30 leiligheter.



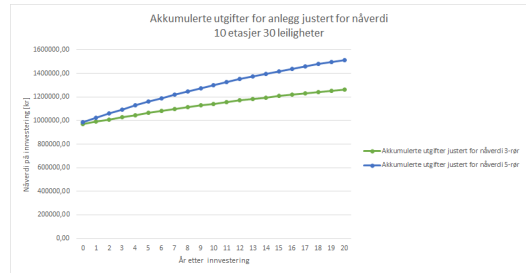
Figur 5: Energiforbruk for pumper per år

Som figur 6 viser så ser man at det ikke er stor forskjeller i investeringskostnad i et 3-rørsystem i forhold til et 5-rørsystem. De ekstra kostnadene for flere komponenter i kombiskapet til 3-rørsystemet blir innspart igjen på sparte kostnader ved færre rør og komponenter færre og billigere i teknisk rom.



Figur 6: Sammenlignet investeringskostnad 3- og 5-rørsystem

Siste figuren, figur 7 viser hvordan besparelsen i driftsutgifter vil utvikle seg utover systemets levetid. Som man ser er det ca lik investeringskostnad, men siden 3-rørsystemet er billigere i drift så får man en økende besparelse i systemet desto lengre systemene er i drift.



Figur 7: Akkumulerte utgifter for 3- og 5-rørsystem over anleggets forventede levetid

Hvorfor velge 3-rørsystem?

3-rørsystemet viser seg å være en god løsning både med tanke på investering og driftsutgifter. Investeringskostnaden for et 3-rørsystemet kommer etter vår beregninger på omtrent det samme som et vanlig 5-rørsystem, dette samsvarer også godt med det som er funnet ut for andre lignende systemer [3]. I drift virker 3-rørsystemet å være billigere. Med tanke på kostnader påløpt til varmetap viser det seg at 3-rørsystemet har et varmetap på i underkant av 60% av det som vil være tilfelle for et tilsvarende 5-rørsystem. For eksempelbygget med 30 leiligheter og 10 etasjer vil dette beløpe seg til et sted mellom 10 000kr og 17 000kr i året. Men all informasjonen vi har utarbeidet så ser det ut som at 3-rørsystemet kan være en lønnsom løsning for alle parter.

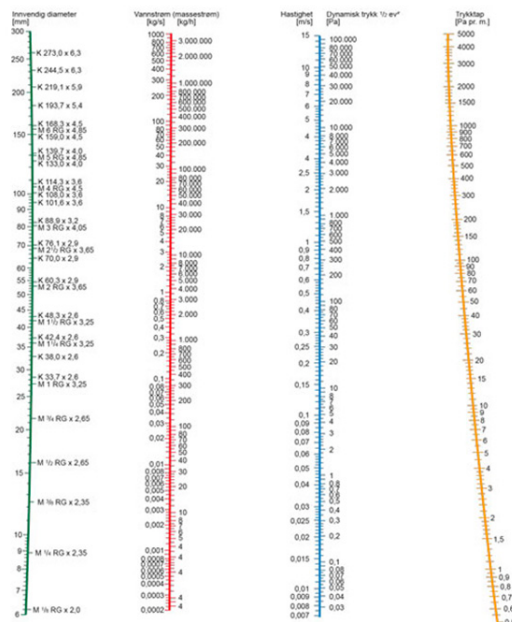
Bibliography

- [1] TA Gjertsen mfl. *Tekniske bestemmelser : standard abonnementsvilkår for vann og avløp*. 2. utg. Oslo: Kommuneforl., 2017. ISBN: 978-82-446-2282-0.
- [2] Kommunal og Regionaldepartementet. *Byggeteknisk forskrift (TEK17) - Direktoratet for byggkvalitet*. <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/>. Sep. 2017.
- [3] Jan Eric Thorsen. «Analysis on flat station concept (Preparing DHW decentralised in flats)». I: *The 12th International Symposium on District heating and cooling* (2010).

Tillegg B

Dimensjonering

B.1 Nomogram



VVS kunnskap.no

Figur B.1: Nomogram for dimensjonering av varmeledninger, design fig: Røed Engineering og Design, Hooksund. (Andersen and Ole Larmerud, 2018, side251)

B.2 Eksempel på bruk av dimensjonstabeller

Dette vedlegget er et eksempel på hvordan man kan bruke dimensjoneringstabellene som er laget i denne oppgaven.

Først velger må man velge antall etasjer som skal dimensjoneres for, i dette eksempelet blir det brukt 4 etasjer. Da er det kun delen av tabellen som er merket med gult og rødt som er relevant.

Dimensjonering VV og varme 3 rår												
Antall etasjer	Sjakt1				Sjakt2				Sjakt3			
	vannmengde l/s		Dimensjon fra samlestøkk til fordelerskap, Uth. (mm)		vannmengde l/s		Dimensjon fra samlestøkk til fordelerskap, Uth. (mm)		vannmengde l/s		Dimensjon fra samlestøkk til fordelerskap, Uth. (mm)	
	Varme	VV	Varme	VV	Varme	VV	Varme	VV	Varme	VV	Varme	VV
1	0.01	0.22	12	15	0.013	0.22	12	15	0.013	0.22	12	15
2	0.03	0.26	15	15	0.039	0.26	15	15	0.039	0.26	15	15
3	0.04	0.3	14	15	0.039	0.3	14	15	0.039	0.3	14	15
4	0.05	0.34	18	15	0.052	0.34	18	15	0.052	0.34	18	15
5	0.07	0.38	22	15	0.065	0.38	22	15	0.065	0.38	22	15
6	0.08	0.42	22	18	0.079	0.42	22	18	0.079	0.42	22	18
7	0.09	0.46	22	18	0.092	0.46	22	18	0.092	0.46	22	18
8	0.10	0.5	22	18	0.105	0.5	22	18	0.105	0.5	22	18
9	0.12	0.54	28	22	0.118	0.54	28	22	0.118	0.54	28	22
10	0.13	0.58	28	22	0.131	0.58	28	22	0.131	0.58	28	22
Kjellerstrek 3												
Antall etasjer	Sum 3 sjakter 3				Sum 2 sjakter 2				Sum 1 sjakt 1			
	Total vannmengde 3 sjakter, l/s		Dimensjon kjellerstrek 3 sjakter, Uth. (mm)		Total vannmengde 2 sjakter, l/s		Dimensjon kjellerstrek 2 sjakter, Uth. (mm)		Total vannmengde 1 sjakt, l/s		Dimensjon kjellerstrek 1 sjakt, Uth. (mm)	
1	0.04	0.3	18	15	0.03	0.26	15	15	0.013	0.22	12	15
2	0.08	0.42	22	18	0.05	0.34	18	15	0.016	0.26	15	15
3	0.12	0.54	22	22	0.08	0.42	22	18	0.039	0.3	14	15
4	0.16	0.66	28	28	0.10	0.5	22	18	0.052	0.34	18	15
5	0.20	0.78	28	28	0.13	0.58	28	22	0.065	0.38	22	15
6	0.24	0.9	35	28	0.16	0.66	28	28	0.079	0.42	22	18
7	0.28	1.02	35	28	0.18	0.74	28	28	0.092	0.46	22	18
8	0.31	1.14	35	35	0.21	0.82	28	28	0.105	0.5	22	18
9	0.35	1.26	42	35	0.24	0.9	35	28	0.118	0.54	28	22
10	0.39	1.38	42	35	0.26	0.98	35	28	0.131	0.58	28	22

Figur B.2: Dimensjonering 3-rørsystem

Som man ser så er det valgt to forskjellige dimensjoner for 3-rørsystemet, her velgar man den største som dimensjonen man bruker (markert med rødt i tabellen). Kjellestreket blir valgt utifra nedre del av tabelle, dimensjonen merket med rødt er da dimensjonen ifra teknisk rom og frem til rørsjakt. I dette tilfellet blir det da 28 mm frem til 1 sjakt, 22mm fra 1 til 2 sjakt og 18mm fra 2 til 3 sjakt.

Etter avlest kjellerstrekk kan man lese av opplegg, siden varmt tappevannbehov og oppvarmingbehovet er likt i alle sjaktene vil det bli lik dimensjon for alle tre sjaktene.

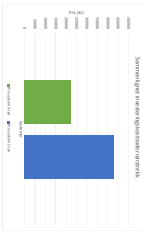
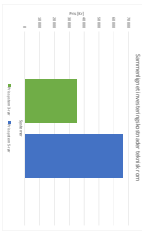
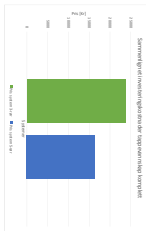
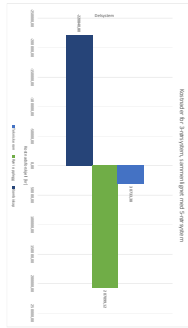
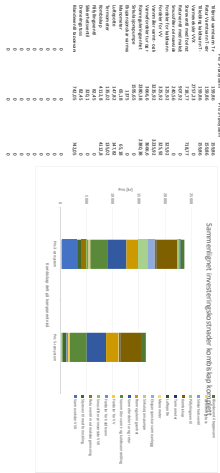
Når man skal lese av dimensjon ifra kjellestrekk og oppigjenom sjakten, må man se på antall etasjer man har valg. Vi har valg 4 etasjer. Da leser man av dimensjon ifra bunn og oppover (øvre halvdel av tabellen, nedre del blir kun brukt til å lese av kjellerstrekk). Man leser av dimensjon til å være 18mm fra kjellerstrekk og opp til andre etasje og 15mm ifra 2 og opp til 4 etasje.

Ifra sjakt og til fordelerskap kan man se på som samme behovet som for kun 1 etasje, dette streket kan derfor leses av som 15mm. (dette gjelder kun om alle leilighetene er like, om de ikke er like kan man ikke finne det streket utifra denne tabellen, da må det regnes ut hver for seg).

Tillegg **C**

Grunnlag for lønnsomhetsberegninger

C.1 Investeringskostnader



Prosjekt	Periode	Byggkostnader	Anleggskostnader	Utsatt	Totalt
Kommunalt bygg	2021	1,800,000	300,000	0	2,100,000
Kommunalt bygg (inkl. byggkostnader)	2021	1,800,000	300,000	0	2,100,000
Sammenhengende investeringskostnader (inkl. byggkostnader)					
Totalt					

Prosjekt	Periode	Byggkostnader	Anleggskostnader	Utsatt	Totalt
Kommunalt bygg	2021	1,800,000	300,000	0	2,100,000
Kommunalt bygg (inkl. byggkostnader)	2021	1,800,000	300,000	0	2,100,000
Sammenhengende investeringskostnader (inkl. byggkostnader)					
Totalt					

Prosjekt	Periode	Byggkostnader	Anleggskostnader	Utsatt	Totalt
Kommunalt bygg	2021	1,800,000	300,000	0	2,100,000
Kommunalt bygg (inkl. byggkostnader)	2021	1,800,000	300,000	0	2,100,000
Sammenhengende investeringskostnader (inkl. byggkostnader)					
Totalt					

Prosjekt	Periode	Byggkostnader	Anleggskostnader	Utsatt	Totalt
Kommunalt bygg	2021	1,800,000	300,000	0	2,100,000
Kommunalt bygg (inkl. byggkostnader)	2021	1,800,000	300,000	0	2,100,000
Sammenhengende investeringskostnader (inkl. byggkostnader)					
Totalt					

C.3 Beregning av varmetap 3-rør

Spørsmål 1 | **Spørsmål 2** | **Spørsmål 3** | **Spørsmål 4** | **Spørsmål 5** | **Spørsmål 6** | **Spørsmål 7** | **Spørsmål 8** | **Spørsmål 9** | **Spørsmål 10**

Spørsmål 1

Spørsmål 1	Spørsmål 2	Spørsmål 3	Spørsmål 4	Spørsmål 5	Spørsmål 6	Spørsmål 7	Spørsmål 8	Spørsmål 9	Spørsmål 10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Spørsmål 2

Spørsmål 2	Spørsmål 3	Spørsmål 4	Spørsmål 5	Spørsmål 6	Spørsmål 7	Spørsmål 8	Spørsmål 9	Spørsmål 10	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Spørsmål 3

Spørsmål 3	Spørsmål 4	Spørsmål 5	Spørsmål 6	Spørsmål 7	Spørsmål 8	Spørsmål 9	Spørsmål 10
1	2	3	4	5	6	7	8

Spørsmål 4

Spørsmål 4	Spørsmål 5	Spørsmål 6	Spørsmål 7	Spørsmål 8	Spørsmål 9	Spørsmål 10
1	2	3	4	5	6	7

Spørsmål 5

Spørsmål 5	Spørsmål 6	Spørsmål 7	Spørsmål 8	Spørsmål 9	Spørsmål 10
1	2	3	4	5	6

Spørsmål 6

Spørsmål 6	Spørsmål 7	Spørsmål 8	Spørsmål 9	Spørsmål 10
1	2	3	4	5

Spørsmål 7

Spørsmål 7	Spørsmål 8	Spørsmål 9	Spørsmål 10
1	2	3	4

Spørsmål 8

Spørsmål 8	Spørsmål 9	Spørsmål 10
1	2	3

Spørsmål 9

Spørsmål 9	Spørsmål 10
1	2

Spørsmål 10

Spørsmål 10
1

Spørsmål 1 | **Spørsmål 2** | **Spørsmål 3** | **Spørsmål 4** | **Spørsmål 5** | **Spørsmål 6** | **Spørsmål 7** | **Spørsmål 8** | **Spørsmål 9** | **Spørsmål 10**

Spørsmål 1

Spørsmål 1	Spørsmål 2	Spørsmål 3	Spørsmål 4	Spørsmål 5	Spørsmål 6	Spørsmål 7	Spørsmål 8	Spørsmål 9	Spørsmål 10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Spørsmål 2

Spørsmål 2	Spørsmål 3	Spørsmål 4	Spørsmål 5	Spørsmål 6	Spørsmål 7	Spørsmål 8	Spørsmål 9	Spørsmål 10
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Spørsmål 3

Spørsmål 3	Spørsmål 4	Spørsmål 5	Spørsmål 6	Spørsmål 7	Spørsmål 8	Spørsmål 9	Spørsmål 10
1	2	3	4	5	6	7	8

Spørsmål 4

Spørsmål 4	Spørsmål 5	Spørsmål 6	Spørsmål 7	Spørsmål 8	Spørsmål 9	Spørsmål 10
1	2	3	4	5	6	7

Spørsmål 5

Spørsmål 5	Spørsmål 6	Spørsmål 7	Spørsmål 8	Spørsmål 9	Spørsmål 10
1	2	3	4	5	6

Spørsmål 6

Spørsmål 6	Spørsmål 7	Spørsmål 8	Spørsmål 9	Spørsmål 10
1	2	3	4	5

Spørsmål 7

Spørsmål 7	Spørsmål 8	Spørsmål 9	Spørsmål 10
1	2	3	4

Spørsmål 8

Spørsmål 8	Spørsmål 9	Spørsmål 10
1	2	3

Spørsmål 9

Spørsmål 9	Spørsmål 10
1	2

Spørsmål 10

Spørsmål 10
1

C.4 Lønnsomhetsberegninger

Fjernvarme energipris per kWh inkl. nettleie

1,00 kr

Støpsystem

Pris anlæg 5-rør	585.785,78 kr
Pris anlæg 3-rør	582.794,08 kr
Energlag 3-rør	39062,12 kWh/år
Energlag 5-rør	14.451,89 kWh/år
Tap investering	16991,70 kr
Årlig investering 3-rør	17.945,43 kr

År

År	Total 5-rør	Total 3-rør	Differens ikke justert for nåverdi
0	585.785,78	582.794,08	16991,70
1	1022668,20	902545,97	31442,73
2	1505391,62	1315187,86	51893,76
3	2122494,54	1931948,76	89346,79
4	2784197,46	2546201,63	126795,82
5	3480500,38	3157953,52	164246,86
6	4211303,30	3767504,41	21899,89
7	4976606,22	4365256,30	139148,92
8	5776409,14	4951508,19	196599,95
9	6610712,06	5525760,08	274951,98
10	7489514,98	6088511,97	352100,01

Opvarmning
Tappesvarm
Åndel per leilighet
leiligheter

Årlig energibehov

174000,00 kWh/år

Andel av brukt energi som er tap
Andel av brukt energi som er tap

0,18 5-rør
0,11 3-rør

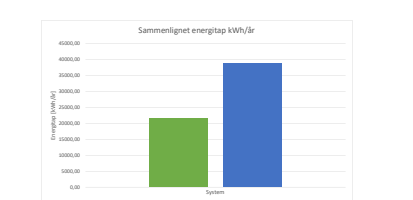
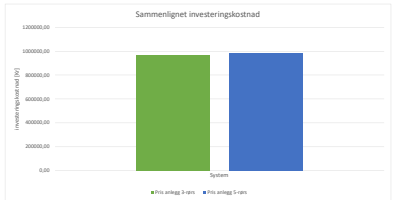
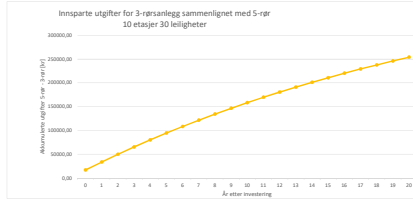
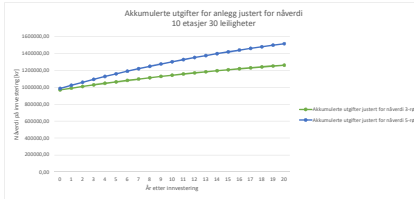
Instanserte

0,04

År	Sammenligning	Nåverdi sammenligning	Nåverdi etter 5-rør
0		16991,70	16991,70
1		17451,03	16774,24
2		17451,03	16154,40
3		17451,03	15511,90
4		17451,03	14841,71
5		17451,03	14144,48
6		17451,03	13420,59
7		17451,03	12670,24
8		17451,03	11894,00
9		17451,03	11091,40
10		17451,03	10263,19
11		17451,03	9418,95
12		17451,03	8558,28
13		17451,03	7680,60
14		17451,03	6785,45
15		17451,03	5872,35
16		17451,03	4940,89
17		17451,03	3990,57
18		17451,03	3021,90
19		17451,03	2035,49
20		17451,03	1031,81

5-rør

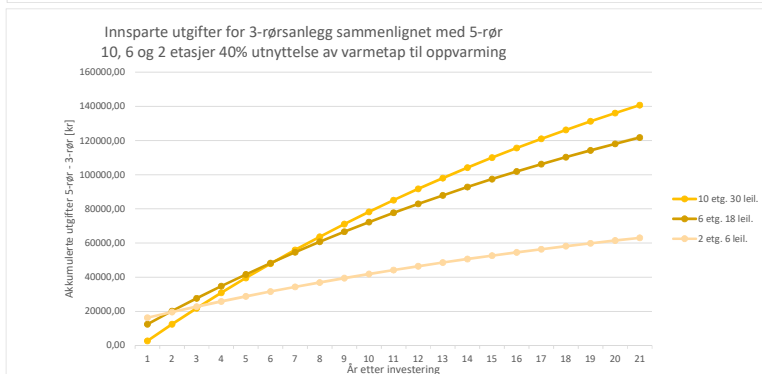
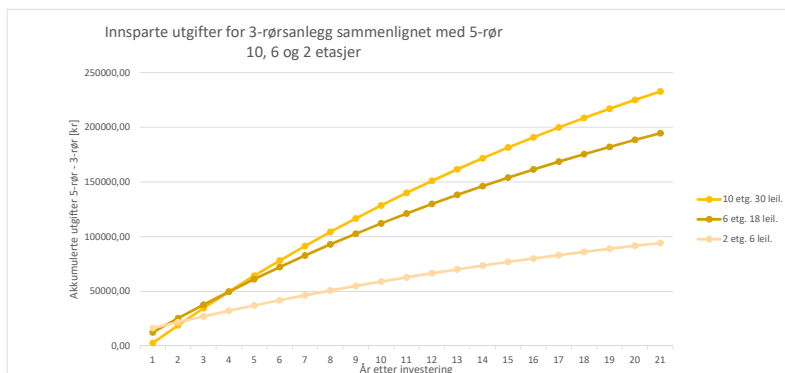
År	Nåverdi 5-rør	Akkumulerte utgifter justert 3-rør	Nåverdi 3-rør	Akkumulerte utgifter justert for nåverdi 3-rør
0	585.785,78	585.785,78	582.794,08	582.794,08
1	1022668,20	1.611.124,41	902.545,97	902.545,97
2	1505391,62	2.516.160,37	1.315.187,86	1.315.187,86
3	2122494,54	3.298.953,30	1.931.948,76	1.931.948,76
4	2784197,46	3.959.504,22	2.546.201,63	2.546.201,63
5	3480500,38	4.506.810,14	3.157.953,52	3.157.953,52
6	4211303,30	4.950.861,05	3.767.504,41	3.767.504,41
7	4976606,22	5.291.653,97	4.365.256,30	4.365.256,30
8	5776409,14	5.538.194,86	4.951.508,19	4.951.508,19
9	6610712,06	5.691.486,84	5.525.760,08	5.525.760,08
10	7489514,98	5.751.531,81	6.088.511,97	6.088.511,97



C.5 Utgifter sammenlignet 10, 6, 2 etasjer

År	Nåverdi etter år		
	10 etg. 30 leil.	6 etg. 18 leil.	2 etg. 6 leil.
0	2702,34	12447,30	16291,26
1	18979,73	25336,34	21804,20
2	34631,07	37729,64	27105,10
3	49680,44	49646,28	32202,12
4	64150,98	61104,59	37103,10
5	78064,97	72122,19	41815,58
6	91443,80	82716,04	46346,81
7	104308,06	92902,44	50703,76
8	116677,54	102697,05	54893,14
9	128571,27	112114,94	58921,39
10	140007,55	121170,61	62794,71
11	151003,98	129877,98	66519,05
12	161577,46	138250,45	70100,15
13	171744,27	146300,91	73543,51
14	181520,05	154041,73	76854,44
15	190919,84	161484,83	80038,02
16	199958,10	168641,65	83099,16
17	208648,73	175523,21	86042,56
18	217005,11	182140,10	88872,76
19	225040,09	188502,49	91594,10
20	232766,03	194620,18	94210,77

År	Nåverdi etter år			0,6 utnyttelse av varmetap
	10 etg. 30 leil.	6 etg. 18 leil.	2 etg. 6 leil.	
0	2702,34	12447,30	16291,26	
1	12468,78	20180,72	19599,02	
2	21859,58	27616,71	22779,56	
3	30889,20	34766,69	25837,77	
4	39571,53	41641,67	28778,36	
5	47919,92	48252,24	31605,85	
6	55947,21	54608,55	34324,59	
7	63665,77	60720,38	36938,76	
8	71087,46	66597,15	39452,39	
9	78223,70	72247,88	41869,34	
10	85085,47	77681,28	44193,33	
11	91683,32	82905,71	46427,93	
12	98027,41	87929,19	48576,59	
13	104127,50	92759,46	50642,61	
14	109992,97	97403,96	52629,17	
15	115632,84	101869,82	54539,32	
16	121055,80	106163,91	56376,00	
17	126270,18	110292,85	58142,04	
18	131284,00	114262,98	59840,16	
19	136104,99	118080,42	61472,96	
20	140740,56	121751,03	63042,97	



C.6 Beregning av pumpeenergi

<https://product-selector.grundfos.com/using-result.html?card=54544110&selected=quick>
Beregnet energiforbruk pumper

3-øst	Pumpe	Pumpenavn	Sirkulert vannmengde	antall totalt	energi bruk per år	Totalt 30 lert	Grundfos pris	
	Hovedledningspumpe	Magna 1 25-120 N	0.38l/s	1	1374 kWh	1374 kWh	12751	9945
	Gulvvarmepumpe	Alpha 1 25-40 130m F	0.08l/s	30	35 kWh	1050 kWh	2117	1595
					Energi bruk 3-	2424 kWh	8261	
5-øst	Pumpe	Magna 3 40-180 F	2.37l/s	1	2282 kWh	2282 kWh	23568	19079
	Varme	Alpha 1 25-80 N 180	0.048l/s	1	277 kWh	277 kWh	4748	3700
	Sirkulasjon				Energi bruk 5-	2559 kWh	28316	

Produkt nr.	Pumpenavn
99222227	Magna 1 25-120 N
99195576	Alpha 1 25-40 180
97924272	Magna 3 40-180 F
99199594	Alpha 1 25-80 N 180

