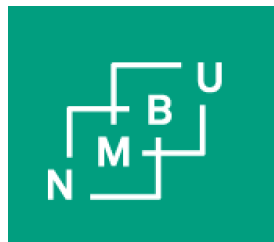




2 rørs kontra 4 rørs varmedistribusjonssystemer, teknisk og økonomisk analyse

av

Amin Alamdari og Anders Degerdal



Multiconsult

**Mastergradsarbeide i Industriell økonomi
Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Institutt for matematiske realfag og teknologi
Våren 2016**

Forord

Denne masteroppgaven er en avsluttende del av det 5. årige masterprogrammet i *Industriell Økonomi*. Studieretningen tilhører *Institutt for matematiske realfag og teknologi* (IMT) ved *Norges miljø- og biovitenskapelige universitet* (NMBU) på Ås. Oppgaven er skrevet for IMT og har et omfang på 60 studiepoeng, med 30 studiepoeng pr. student.

Mastergradsrapporten er skrevet i samarbeid med fjernvarmeseksjon i avdeling for industri, olje og gass i Multiconsult. I et tidlig oppstartsmøte med bedriften ble det diskutert utallige problemstillinger. Problemstillingen vi landet på ga oss muligheten til bruke mye av det vi har lært gjennom studietiden, hadde en praktisk tilnærming og ville samtidig gi oss mange utfordringer og læring underveis. Denne oppgaven er på mange måter et springbrett for oss inn i en bransje med mange karrieremuligheter. Gjennom mange års vennskap har begge forfattere god kjennskap til hverandres faglige, så vel som personlige, ferdigheter og egenskaper. Begge har vært sentrale støttespillere i å motivere hverandre og løse oppgavens mange utfordringer underveis.

Denne oppgaven kunne ikke blitt til uten hjelp fra både eksterne og interne veiledere. Vi ønsker å rette en stor takk til vår hovedveileder førsteamanuensis Jan Kåre Bøe for uvurderlig hjelp fra start til slutt. Takk til seksjonsleder Ingar Øygarden og Sivilingeniør Marius Bergsholm m.fl. ved Multiconsult for gode faglige diskusjoner og et fantastisk samarbeid.

Ås, 12. Mai 2015



Amin Alamdari



Anders Degerdal

Sammendrag

Da energikravet til moderne boliger stadig blir strengere, som igjen innebærer et mindre oppvarmingsbehov, vil kreve grundigere analyser av investering- og driftskostnader. Hovedmålet til mastergradsprosjektet er å utrede og analysere materialbruk, systemeffektivitet og kostnader knyttet til 2 kontra 4-rørs varmedistribusjonssystemer. Analysearbeidet vil i tillegg resultere i tekniske og økonomiske anbefalinger.

Oppgavens grensesnitt er sentrert i sekundærnettet og er inndelt i to casedefinisjoner. Disse består av et stort og lite nett med henholdsvis 90 og 30 rekkehusleiligheter. Casenes omgivelser er inspirert av et boligområde på Storfjell borettslag i Oslo. 2-rørssystemene er utstyrt med integrerte oppvarming- og tappevannskretser, og opererer samtidig med enten direkte eller indirekte effektilførsel. 4-rørssystemet består av separate kretser med direkte effektilførsel.

Simuleringsarbeid av rørrnettene, samt beregning av trykk- og varmetap, har fortrinnsvis blitt gjennomført i programvaren Vitec Netsim. Teknisk analyse har blitt initiert ved å beregne dimensjonerende effektbehov i boligene etter energitiltakene i TEK10, hvor sammenlagret tappevannseffektbehov er beregnet etter Svensk fjärrvarme. Det stilles et minimumskrav for turtemperaturene i tappevannskretsene til å overholde minimum 65°C for å forhindre legionelladannelse. Rørdimensjoneringsprosessen har blitt gjort etter forhåndsdefinerte trykktapsbegrensinger på henholdsvis 150 og 300 Pa/m, hvor samtlige er preisolerte stålrør i isolasjonsserie 2.

Resultatene fra den tekniske analysen tilsier imidlertid at 2-rørssystemet med direkte effektilførsel generer høyest varmetap. En sentral medvirkende årsak til dette resultatet viser seg å være verdien av ΔT , og har tilsynelatende stor innflytelse når det gjelder systemenes energieffektivitet. Pumpeenergiforbruket kontra varmetap har blitt undersøkt ved én dimensjonsreduksjon for det samme 2-rørssystemet. Reduksjonen økte pumpeenergiforbruket fra 10743 til 28910 kWh for stort nett, og fra 3245 til 9057 kWh for lite nett.

I kostnadsanalysen har de ulike systemene blitt sammenlignet på bakgrunn av nåverdiberegning av investering- og driftskostnader. Driftskostnadene har blitt vurdert over en 30-årsperiode med en diskonteringsrente på 6%. Det viser seg at 4-rørssystemet har høyest totale kostnader, hvor investeringskostnader i rør og årlige varmetapkostnader fremtrer som dominerende. I forhold til pumpeenergi kontra varmetap, viser det seg at besparelsen fra rørinvestering og varmetap, er betydelig høyere enn det økte pumpeenergiforbruket.

Som en helhetlig vurdering av resultatene fra den tekniske og økonomiske analysen anbefales det derfor å dimensjonere rørrnettene for å minimere varmetapet.

Abstract

As the energy requirement for modern residents are getting more rigorous, and with a decreasing heating demand, requires a more thorough examination of investment and operation costs in building district heating systems. The goal for this master thesis is to analyze material use, system efficiency and costs in 2 and 4-pipe heat distribution systems. The analysis will result in a technical and economical recommendation.

The system interface is focused in the secondary heating network and consists of two case definitions, one large and small network. These consist of 90 and 30 linked houses, and are inspired by a residential area located at Storfjell in Oslo. The 2-pipe systems have integrated heating and hot water heat exchanger circuits, operating as either direct or indirect systems. The 4-pipe system has direct heating and hot water supply.

Simulation of the pipe networks, together with calculations of pressure and heat loss, have mainly been conducted in the computer software program Vitec Netsim. The technical analysis was initiated by calculating dimensioning heat demand in compliance with TEK 10 and Svensk fjärrvarme. Furthermore, a minimum temperature of 65 degrees must be maintained to prevent legionella formation. The pipe dimensioning process has been performed in compliance with pre-defined pressure loss limits of 150 and 300 Pa/m. All pipes are selected as pre-insulated steel pipes with insulation series 2.

Results from the technical analysis shows that the 2-pipe system with direct heat supply, generates the highest heat loss. The value of ΔT has a considerable influence when it comes to energy efficiency. The pump energy consumption in comparison with heat loss has been examined by reducing the dimensions of the aforementioned 2-pipe system. Reducing the dimensions resulted in increased pump energy consumption from 10743 to 28910 kWh for the large network, and 3245 to 9057 for the small network.

In the cost analysis all systems have been compared using present value calculations of investment and operation costs. The operation costs have been considered over a time period of 30 years, with an interest rate of 6%. Results show that the 4-pipe system has the highest total costs. The investment and heat loss costs appear to be more dominating. By considering the pump energy consumption in comparison with heat loss, show that higher cost savings can be achieved by reducing the dimensions.

Based on the technical and economic results it is recommended to dimension the pipe to reduce heat loss.

Innholdsfortegnelse

	side
Forord	I
Sammendrag	II
Abstract	III
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Fjernvarme i Norge	1
1.3 Om Multiconsult	3
1.4 Oppdragsbeskrivelse	3
1.5 Problemstillinger	3
2 Prosjektplan	4
2.1 Målsettinger	4
2.1.1 Hovedmål	4
2.1.2 Delmål	4
2.1.3 Milepæler og arbeidsplan	4
2.1.5 Begrensninger	5
3 Metodebruk	6
3.1 Terminologi	6
3.1.1 Definisjoner og begreper	6
3.1.2 Symboler og enheter	6
3.1.3 Formler	7
3.1.4 Symboler	9
3.2 Litteraturstudie	11
3.3 Programvarebruk	11
3.4 Kvalitetssikring	12
3.5 Prosessdiagram	13
4 Grunnlagsteori	14
4.1 Effektbehov	14
4.2 Varmetap i bygninger	14
4.3 Forskriftskrav	16
4.4 Massestrøm	17
4.5 Trykktap i systemet	17
4.6 Tappevannsbehov	19
4.7 Pumpeteori	20
4.8 Legionella	23
5 Teknologiutredning	24
5.1 Grunnleggende anleggsbeskrivelser	24
5.1.1 Fjernvarmeanlegg	24
5.1.2 Varmetap generelt	27
5.1.3 Fjernvarmegrøfter	27
5.1.4 Fjernvarmerør	28
5.1.5 Varmetap i rør	30

5.2	Systembeskrivelse for 2 og 4-rørssystemer	32
5.2.1	System 1	33
5.2.2	System 2	34
5.2.3	System 3	35
5.2.4	Fordeler og ulemper mellom systemene	36
5.2.5	Temperaturvalg	36
6	Forsøksoppsett	39
6.1	Forutsetninger	39
6.2	Rekkehus	40
6.3	Casedefinisjon	40
6.4	Effektbehov rekkehus	41
7	Teknisk Analyse.....	44
7.1	Dimensjonering - Stort nett	45
7.1.1	System 1	45
7.1.2	System 2	47
7.1.3	System 3	48
7.2	Dimensjonering - lite nett	51
7.2.1	System 1	51
7.2.2	System 2	52
7.2.3	System 3	53
7.3	Varmetap i rør	55
7.4	Trykktap	57
7.4.1	Effektsummering belastet krets	57
7.4.2	Produsert effekt og varmetap	61
7.5	Pumper	63
7.5.1	Valg av pumpe	63
7.5.2	Pumpeenergiforbruk	64
7.6	Redusert dimensjon	66
7.6.1	Varmetap	66
7.6.2	Pumpekraft kontra varmetap	67
8	Kostnadsanalyse	69
8.1	Investeringskostnader	69
8.1.1	Rør	69
8.1.2	Pumpe	74
8.2	Driftskostnader	75
8.2.1	Varmetapskostnader	75
8.2.2	Pumpekostnader	76
8.3	Sammenlikning av kostnader	77
8.4	Redusert dimensjon	79
9	Prosessevaluering og diskusjon	80
10	Konklusjon	83
10.1	Resultater	83
10.2	Anbefalinger	83
10.3	Videre arbeid	83

11 Kilder	84
11.1 Skriftlige kilder	84
11.2 Personlige meddelser.....	85
11.3 Nettkilder.....	85
11 Vedlegg	87

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Etter hvert som moderne bygninger blir bedre isolert, og samtidig får en tettere bygningskropp, blir behovet for oppvarmingsenergi redusert. I et fjernvarmeanlegg ligger en betydelig andel av kostnadene i investeringsfasen. For at fjernvarmeutbygging skal fortsette å være gunstig må kostnadseffektive løsninger vurderes. Ved å redusere investering- og driftskostnader, så kan dette resultere i mindre påløpte kostnader for sluttbrukeren. På denne måten kan fjernvarme bli en mer attraktiv og gunstig energikilde og tilfredsstille flere parter.

Det er tidligere gjort studier nært beslektet oppgavens tematikk. Blant annet så har et studie fokusert sin undersøkelse omkring konsekvensen av å redusere turtemperaturnivået i et fjernvarmesystem[1]. Et annet studie er basert på muligheten for forbedring av ΔT [2]. Til tross for dette foreligger det tilsynelatende få studier som fordyper seg i økonomiske analyser.

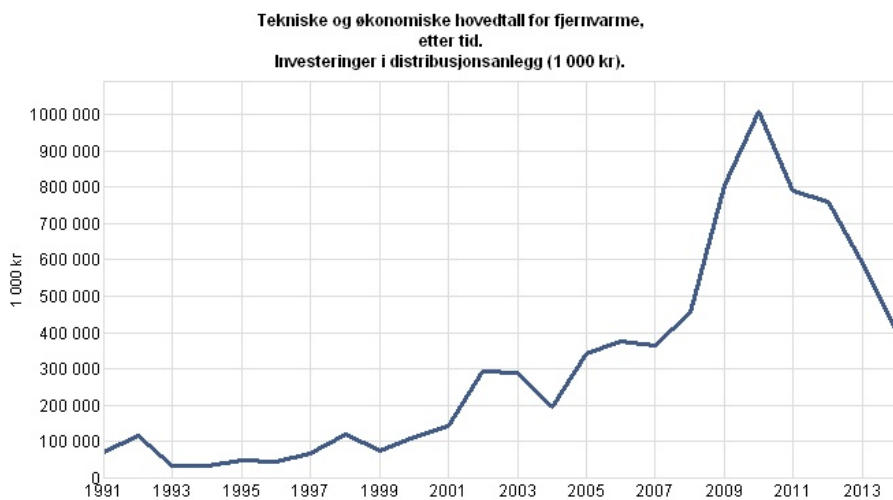
Svensden og Li ved Danmarks tekniske universitet (DTU) gjorde i 2013 et studie på optimale løsninger i forhold til et fjernvarmenettverk bestående av dobbelrør i stål og Aluflex. En del av forskningen gikk ut på å lage en generell algoritme for å vurdere den optimale rørdiameteren med tanke på investeringskostnader, pumpeenergiforbruk og varmetap. Deres studie så på fjernvarme i tilknytning til boligblokker og kontorbygninger. Det ble konkludert med at optimalisert rørdiameter skyldes mange parametere, eksempelvis effektforbruk i hver enkelt bolig, geografisk beliggenhet, temperatur i rørledningene og trykkbegrensninger[3].

Denne oppgaven er forskjellig fra tidligere studier ved at den sammenligner flere systemløsninger i sekundærnett, for deretter å kunne gi et økonomisk beslutningsgrunnlag. Andre forskjeller fra forskningen til Svensden og Li er at det i Norge opereres med høyere turtemperaturer på grunn av strengere krav til legionellaforebygging.

1.2 Fjernvarme i Norge

De første stegene som omhandlet produksjon og distribusjon av vannbåren varme, ble tatt helt tilbake i 1622 av nederlenderen Cornelius Drebbel. I Norge ble det første varmekraftverket allerede bygget i Oslo i 1936. Den gangen ble det installert tre dampkjeler med 40 MW hver, med bare en virkningsgrad på om lag 20 – 25%. Ved at man senere utnyttet kondensvarmen økte virkningsgraden til 90-95%, og kunne med dette brukes til fjernvarme [4].

Fjernvarme som oppvarmingskilde i norske husstander, fra omkring 1990-årene og frem til nyere tid, har vært noe lav. Likevel har etterspørselen vist tendenser til gradvis økning. Gjennomsnittlige verdier mellom 1993-1995 viser at fjernvarme dekket kun 0,6% av oppvarmingsbehovet, mens i 2009 var den 2% [5]. Gjennomsnittsverdiene for boliger tilknyttet fjernvarmenettet vil være høyere i storbyer, sammenlignet med gjennomsnittet på landsbasis. Dette kan igjen ha en sammenheng med at fjernvarmeutbygging er mer utbredt og lønnsomt i tettbebygde strøk, kontra desentraliserte områder. I dag er fjernvarmenæringen en bransje som er i sterk vekst. Statistiske verdier viser at årlig levert energi til husstander mellom 1991-2014 har økt fra 276 til 967 GWh, noe som tilsier nærmere en firedobling [6]. Ved å vurdere investeringen i distribusjonsanlegg i samme tidsperiode (se Figur 1.1), så har den også steget betraktelig. Lave fjernvarmepriser på starten av 1990-tallet medførte reduserte salgssinntekter, og derfor en lavere satsning på utbygging av større produksjons og distribusjonsanlegg. I senere år har lave energipriser bidratt til reduserte investeringer og lavere lønnsomhet for fjernvarmeselskapene. Ulike støtteordninger fra Enova har vært en pådriver for investeringene i fjernvarmeanlegg, og resultert i større interesse og lønnsomhet. Den kraftige økningen i investeringene kan også ses i sammenheng med politiske bestemmelser, hvor det i juli 2009 ble innført et deponiforbud. Med dette forbudet ble det derfor ulovlig med deponi av nedbrytbart avfall, og skapte et større behov for avfallsforbrenning. Resultatet ble en økt satsning på avfallsforbrenningsanlegg [7].



Figur 1.1: Investeringskostnader i distribusjonsanlegg 1991-2013[6]

Fjernvarmeteknologien har blitt stadig mer sofistikert og gjennomgått flere generasjonsskifter gjennom tidene. Norske fjernvarmenett består pr. dags dato hovedsakelig av andre og tredjegerasjonsanlegg, med driftstemperaturer på turvannet mellom 80-120°C [5]. Årsaken til disse høye temperaturene skyldes gjerne eldre bygningsmasse i boliger med høyere oppvarmingsbehov, samt industrikunder med spesifikke temperaturbehov til egen drift. I dag stiller både nasjonal og internasjonal energipolitikk strengere krav til energiforbruk i boliger, hvor byggteknisk forskrift (TEK 10) gradvis vil bli erstattet med passivhusstandarden. Fremtidens boliger vil ha en tettere bygningskropp og være mer energieffektive varmesystemer. I lys av dette vil fjerdegenerasjons fjernvarmeanlegg være en aktuell løsning,

hvor det langsiktige målet er å innføre lavenergibygging med distribusjonstemperaturer mellom 50-55°C. Fjerdegenerasjons fjernvarme kan anses som et konsekvent tiltak for regjeringens mål om å redusere energibruken i bygg med 15 TWh innen 2020. Et av delmålene i EU sin strategi for økt klimastabilisering er å øke energieffektiviteten med 20% [8].

1.3 Om Multiconsult

Multiconsult er blant Norges ledende aktører innen prosjektering og teknologisk rådgivning, med omtrent 2000 ansatte fordelt på kontorer nasjonalt og internasjonalt. Selskapet ble etablert i 1908, da under navnet "Norsk vandbygningkontor", men har siden 1974 vært kjent som det navnet det bærer i dag. Fra å ha nærmere hundre års erfaring innen vannkraftutbygging til å være med på det norske oljeeventyret, har Multiconsult en stolt historie innen mange ulike fagdisipliner. I dag er selskapet inndelt i seks ulike forretningsområder: Bygg og eiendom, industri, olje og gass, energi samt miljø og energiresurser [9].

Multiconsult sin strategi har fått navnet 3-2-1 og illustrerer ambisjonen om å tredoble marginene, doble omsetningen og være den fremste aktøren i bransjen. Deres visjon baserer seg på å være broen mellom fortid og fremtid, og være tilstede der mennesker ferdes, virker og fungerer [10, 11].

1.4 Oppdragsbeskrivelse

Mastergradsprosjektet er et samarbeid med Multiconsult sin avdeling i Oslo. Rammene omkring gradsarbeidet er knyttet til behov for kostnadsanalyser i forbindelse med 2-rørs kontra 4-rørs systemer i fjernvarmeanlegg. Setting for oppgaven er å vurdere kostnader i forprosjekteringsfasen for to ulike sekundærnett. Det største nettet skal ha kapasitet til å levere fjernvarme til 90 rekkehusleiligheter, mens det minste skal kunne levere til 30 rekkehusleiligheter. Hver rekkehusleilighet skal ha et boligareal på 100 m².

1.5 Problemstillinger

Fokuspunkter og problemstillinger i gradsarbeidet er som følger:

- Positive og negative erfaringer i forhold til ulike typer av eksisterende rørsystemer
- Fordeler og ulemper ved bruk av plast eller stål som materialvalg for rør i grøft.
- Valg av 2- eller 4-rørssystem med hensyn til kostnader, driftssikkerhet og vedlikeholdsvennlighet
- Valg mellom dimensjonering for lite pumpeenergiforbruk eller for lite varmetap.
- Vurderinger av optimale systemløsninger for små og store sekundærnett.

2 Prosjektplan

Kapitlet inkluderer hovedsakelig oppgavens målsetninger og hvorledes disse skal bli oppnådd. Som fremdriftsplan er det brukt et Gantt diagram, med tilhørende milepæler, til å fordele de ulike aktivitetene sekvensielt. Denne kan ses i sammenheng med prosessdiagrammet, som angir en visuell fremstilling på sentrale gjøremål i en skisser rekkefølge. Avslutningsvis er aktiviteter som ikke ble gjennomført på grunn av tidsmangel sammenfattet som begrensninger.

2.1 Målsettinger

2.1.1 Hovedmål

Mastergradsoppgavens hovedmål er som følger:

Å utrede og analysere materialbruk, systemeffektivitet og kostnader knyttet til 2-rørs kontra 4-rørsanlegg for fjernvarmetilførsel til rekkehus, med tilhørende tekniske og økonomiske anbefalinger.

2.1.2 Delmål

Følgende delmål vil bli gjennomført for å oppfylle hovedmålsettingen:

- Undersøke eksisterende teori og deretter beherske modellering og analyse i programvaren Netsim
- Velge rørdimensjoner og deretter simulere rørnett for dimensjonerende effektbehov
- Vurdere om det skal dimensjoneres for varmetap eller pumpeenergiforbruk
- Estimere investerings- og driftskostnader
- Leverer rapport innen 18. mai 2016

2.1.3 Milepæler og arbeidsplan

Den fullstendige oversikten over arbeidsplanen med milepæler finnes i vedlegg D. I tabellen fremstilles et kort utklipp av milepælene med datoer for når de ble fullført.

Tabell 2.1: Tabellen viser et utdrag av arbeidsplan. Milepæler er markert med stjerne.

Aktivitet	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai
Definere og avgrense problemstilling	■				
Tilegne systemforsåelse	■				
Sette seg inn i relevant faglitteratur og standarder	■				
Gjøre seg kjent med Netsim		■			
Fullført litteraturstudie og behersket Netsim		★			
Definere caser for lite og stort nett		■			
Beregne effektbehov i rekkehus		■			
Valg av utstyr og rørdimensjonering			■		
Beregne varmetap i rør			■		
Foreta simuleringer i netsim og drøfte resultater			■		
Gjennomført analyse i Netsim				★	
Drøfte pumpeeffekt kontra varmetap				■	
Sammenligne kostander i systemløsninger				■	
Sammenliknet systemløsninger					★
Generelt rapportarbeid	■	■	■	■	■
Lvert rapport					★
Forberede presentasjon					■
Gjennomført presentasjon					★

Tabell 2.2: Oversikt over milepæler og når de ble fullført.

Milepæl	Dato fullført
Fullført litteraturstudie og behersket Netsim	15. februar 2016
Rørdimensjonering	29. februar 2016
Gjennomført analyse i Netsim	6. april 2016
Sammenliknet systemløsninger	30. april 2016
Lvert rapport	14. mai 2016
Presentasjon	27. mai 2016

2.1.5 Begrensninger

På grunn av begrenset tid i arbeidet med masteroppgaven vil det ikke bli tatt hensyn til:

- Strømningstap over enkeltkomponenter
- Stigning og variasjon i priser på strøm- og fjernvarmebruk
- Utforming av rørrnett på grunn av spenninger
- Variasjoner i bakketemperatur over året
- Samtidighetsfaktor for oppvarming
- Kostnader og systemløsninger innenfor vegg rekkehus

3 Metodebruk

Kapitlet viser hvilke generelle og fagspesifikke forkortelser og begreper som benyttes i oppgaven, samt formelverk og symboler. Det inngår i tillegg et avsnitt om litteraturstudie, samt kilder og dataverktøy som benyttes i oppgaven.

3.1 Terminologi

3.1.1 Definisjoner og begreper

Tabell 3.1: Definisjoner og begreper som blir benyttet i oppgaven.

Begrep	Forklaring
BRA	Bruksareal
DN	Nominell diameter
DUT	Dimensjonerende utetemperatur
Forbrukt effekt	Effekt benyttet til oppvarming, ventilasjon og tappevann
Grenledning	Rørledning som ikke er tilknyttet bolig eller kundesentral
Hovedledning	Rørledning tilknyttet kundesentral
KS	Kundesentral
LN	Lite nett
Primærnett	Hoveddistribusjonssystemet adskilt med varmeveksler mot sekundærnett
Produsert effekt	Forbrukt effekt med tillegg for varmetap
Retur	Rørledning med avkjølt vann
S1	System 1
S2	System 2
S3	System 3
Sekundærnett	Distribusjonsnett i fjernvarmeanlegg
SI	Système international d'unités
SN	Stort nett
Stikkledning	Rørledning med tilknytning til bolig
Tur	Rørledning med varmt vann
VVC	Varmtvannssirkulasjonledning
YK	Ytterste kunde

3.1.2 Symboler og enheter

Tabell 3.2: Symboler og enheter som blir benyttet i oppgaven.

Symbol	Forklaring	SI-enhet
A	Areal	m
d	Indre diameter	m

Tabell 3.2: Tabellen forts.

Symbol	Forklaring	SI-enhet
\dot{m}	massestrøm	kg/s
\dot{V}	Volumstrøm	m ³ /s
D	Ytre diameter	m
f	friksjonsfaktor	-
g	Tyngdeakselerasjon	m/s ²
n	Luftvekslingstall	-
Q	Effekt	W (kW)
R	Varmemotstand	mK/W
T	Temperatur	°C
U	Varmegjennomgangs koeffisient	W/m ² k (mK)
w	Strømningshastighet	m/s
Z	Overdekning	m
ε	Ruhetstall	m
η	Virkningsgrad	-
θ	Kinematisk viskositet	m ² /s
λ	Varmeledningsevne	W/mK
ρ	Tetthet	kg/m ³
φ	Varmetap per lengdeenhet	W/m
ψ	Kuldebroverdi	

3.1.3 Formler

Tabell 3.3: Formler som blir benyttet i oppgaven

Betydning	Formel	Indeks
Effektbehov oppvarming og ventilasjon	$\Phi_I = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}$	4.1
Estimert effektbehov	$Q = -0,75 \cdot DUT + 20$	4.2
Varmetap fra bygningsdeler	$\Phi = U \cdot A$	4.3

Tabell 3.3: Tabellen forts.




Betydning	Formel	Indeks
Varmetap fra kuldebroer	$\Phi = \psi'' \cdot A_{fl}$	4.4
Varmetap fra balansert ventilasjon	$\Phi = \dot{V} \cdot c_p \cdot \rho \cdot (1 - \eta)$	4.5
Varmetap fra infiltrasjon	$\Phi = n \cdot V \cdot c_p \cdot \rho$	4.6
Nødvendig effekt	$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T$	4.7
Kontinuitetslikningen	$V = \frac{m}{\rho} = A \cdot w$	4.8
Reynolds tall	$Re = \frac{w \cdot d}{\nu}$	4.9
Strømningstap i rette rør	$h_v = f \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}$	4.10
Friksjonsfaktor for turbulent rørstrømning	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1,8 \log \left(\frac{6,9}{Re} + \left(\frac{\varepsilon}{3,7 D} \right)^{1,11} \right)$	4.11
Trykktap enkeltmotstander	$h_r = h_v \cdot 0,1$	4.12
Samtidig volumstrøm tappevann	$q = 0,15 + 0,015 \cdot (n \cdot 0,2 - 0,15) + 2,1 \cdot \sqrt{0,015 \cdot 0,15} \cdot \sqrt{n \cdot 0,2 - 0,15}$	4.13
Pumpeeffekt	$P = \frac{\Delta P \cdot \dot{V}}{600 \cdot \eta_{tot}}$	4.14
Fluks i turledning	$\phi_f = U_1(T_f - T_s) - U_2(T_r - T_s)$	5.1

Tabell 3.3: Tabellen forts.









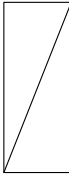



Betydning	Formel	Indeks
Fluks i returledning	$\phi_r = U_1(T_r - T_s) - U_2(T_f - T_s)$	5.2
U-verdi turledning	$U_1 = \frac{R_s + R_i}{(R_s + R_i)^2 + R_h^2}$	5.3
U-verdi returledning	$U_2 = \frac{R_h}{(R_s + R_i)^2 + R_h^2}$	5.4
Samlet U-verdi	$U = U_1 - U_2 = \frac{1}{R_s + R_i + R_h}$	5.5
Jordas varmemotstand	$R_s = \frac{1}{2\pi\lambda_s} \ln \frac{4Z_c}{D_c}$	5.6
Isolasjonens varmemotstand	$R_i = \frac{1}{2\pi\lambda_i} \ln \frac{D_{PUR}}{d_o}$	5.7
Varmoverførings motstand mellom tur og returledning	$R_h = \frac{1}{4\pi\lambda_s} \ln \left(1 + \left(\frac{2Z_c}{C}\right)^2\right)$	5.8

3.1.4 Symboler

Tabell 3.4: Symboler som blir benyttet i oppgaven.

Symbol	Forklaring
	Frekvensomformer
	Pumpe
	Temperaturkontroller

Tabell 3.4: Tabellen forts.

Symbol	Forklaring
	Termometer
	Sikkerhetsventil
	Frekvensomformer
	Generell ventil
	Differansetrykkregulering
	Tilbakeslagsventil
	Differansetrykk
	Filter
	Varmeveksler
	Temperaturtransmitter
	Reguleringsventil
	Trykk-indikator

3.2 Litteraturstudie

Forberedende litteraturstudie har blitt gjennomført på bakgrunn av følgende kilder:

- Faglitteratur og bokkilder
- Rapporter og avhandlinger
- Standarder
- Internettkilder
- Personkilder

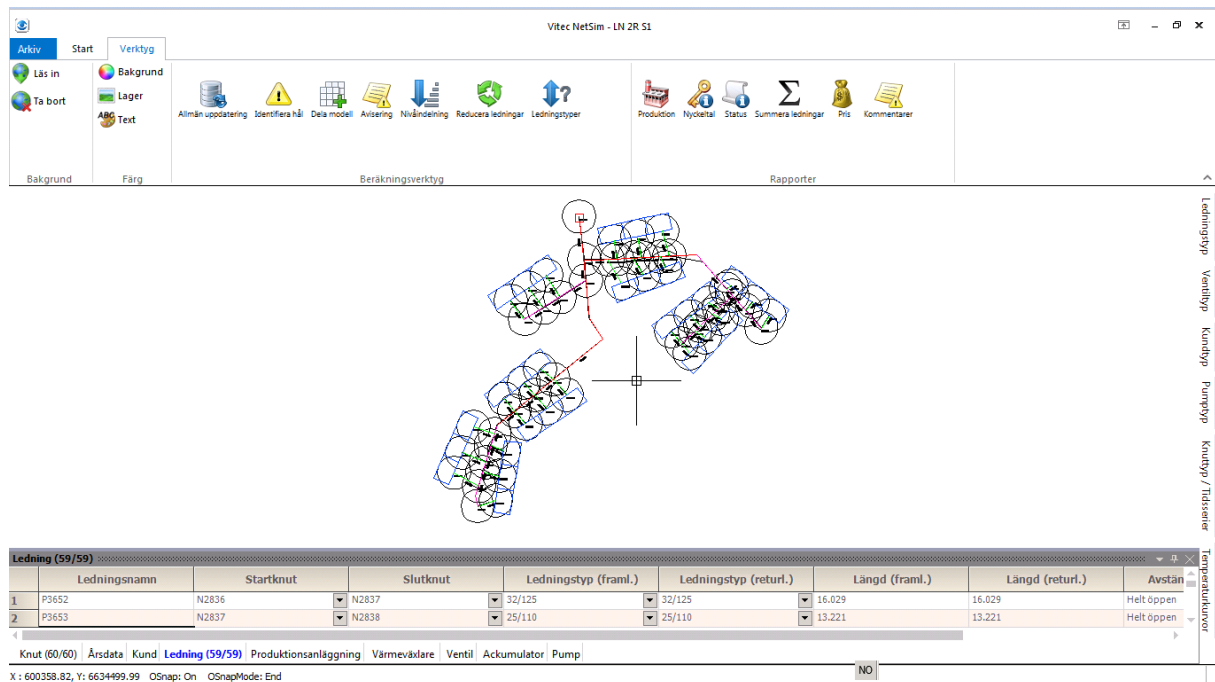
Store deler av informasjonsinnsamlingen har blitt gjort gjennom søk i ulike databaser via internett, og ved boklån på høgskole/universitetsbibliotek.

3.3 Programvarebruk

NetSim er et simuleringsprogram for fjernvarme, fjernkjøling og damp utviklet av det svenske selskapet Vitec. Analyseapplikasjonen i programmet gir ut en rekke data som for eksempel varmetap, trykk, hastigheter, temperatur, massestrøm etc. Programmet har i stor grad blitt brukt til å sammenligne og verifisere manuelle håndberegninger, og har spilt en stor rolle for oppgavens beslutningsgrunnlag.

Microsoft excel har blitt brukt til utforming av egne regneark for varmetap i bygninger, varme- og trykktap i rør, og deretter blitt sammenlignet med verdier fra Netsim.

Autodesk Autocad 2016 har blitt brukt til 2D modellering av underlagskisser til bygninger og rørtraseer, og deretter plassert i forhold til terreng. Disse har blitt brukt til videre simuleringsarbeid i Netsim.



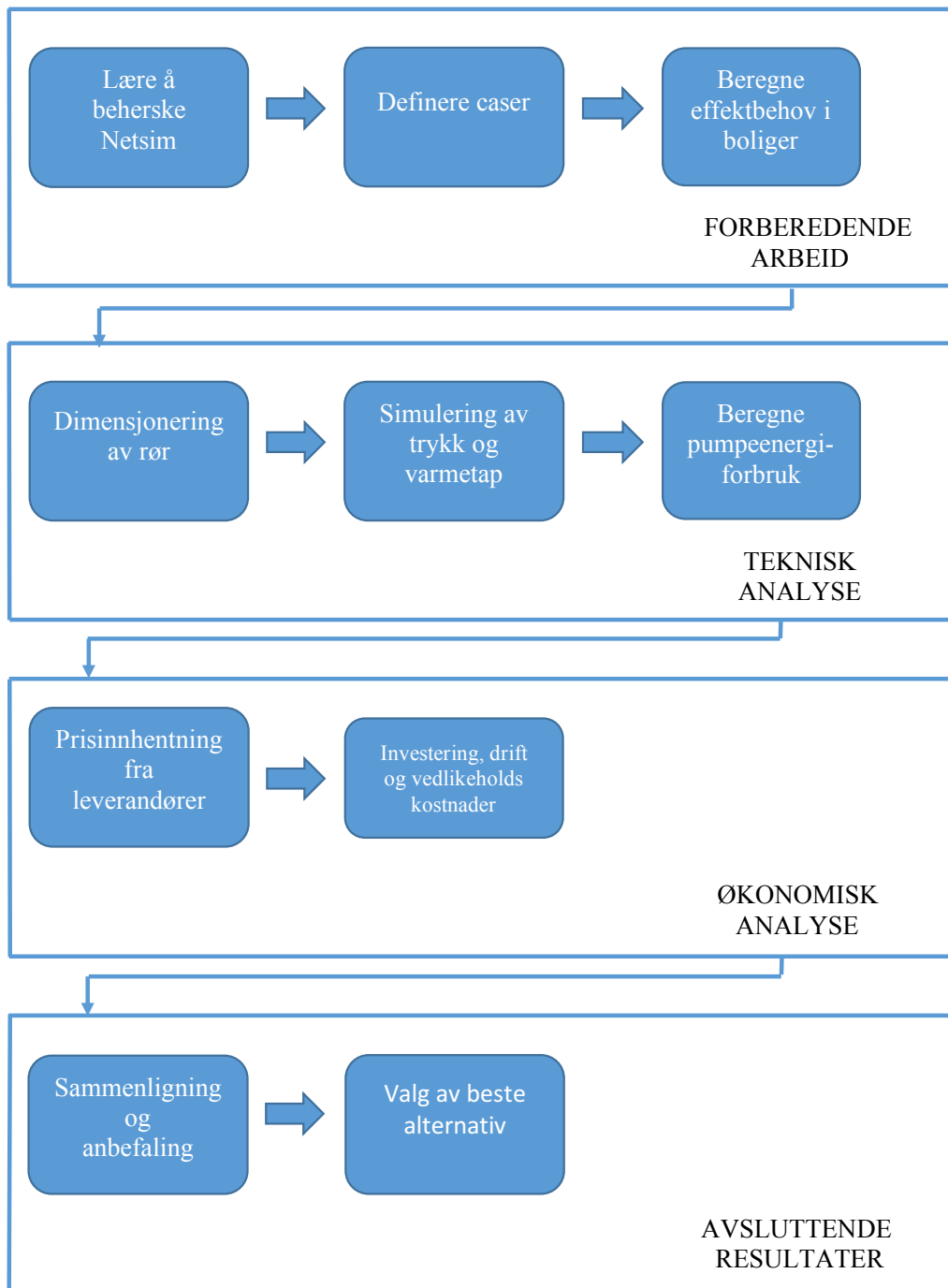
Figur 3.1: Grensesnittvindu av Vitec Netsim. Bildet viser modellerte noder med tilhørende rørstrekk.

3.4 Kvalitetssikring

Tekniske beregninger er gjort ved å bruke anerkjent litteratur som berører fagområder innen fysikk, termodynamikk og masse- og varmetransport. Bruken av formelverk inkluderer også empiriske tilnærminger. Kostnadsberegninger har blitt gjort ved å bruke metoder fra finansiering, investering og driftsregnskap. Eventuelle oppdøkkende uklarheter gjennom arbeidsprosessen har blitt løst i samarbeid med kompetente fagpersoner.

Usikkerhet i input filer er eksempelvis nødvendig effektbehov i boliger, da de er beregnet på grovt tilnærmede boligareal. Grunnet forprosjektfase er det derfor ingen spesifikke boligarealer å ta hensyn til. Bruk av relevante standarder er gjort ved å benytte utdrag fra spesifikke kapitler. Denne fremgangsmåten har gitt en god pekepinn for beregnede verdier, hvor fullstendig bruk av standardene ville vært u hensiktsmessig i denne oppgaven. Usikkerhetsmomenter tilknyttet ulike parametere i programvare har blitt verifisert gjennom kontrollberegninger.

3.5 Prosessdiagram



Figur 3.2: Prosessdiagram. Aktivitetene er delt inn i fire hovedgrupper.

4 Grunnlagsteori

Kapitlet belyser relevant teori og består av et utvalg temaer som i sin helhet berører fjernvarmesystemer.

4.1 Effektbehov

Fjernvarmevannet brukes til oppvarming, ventilasjon og tappevann. Formelen for beregning av dimensjonerende varmetap for et oppvarmet rom er gitt i NS12831 som:

$$\Phi_I = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} \quad (4.1)$$

hvor

$\Phi_{T,i}$ = Dimensjonerende varmegjennomgang for et oppvarmet rom (W)

$\Phi_{V,i}$ = Dimensjonerende varmetap på grunn av ventilasjon for et oppvarmet rom [W]

For å sammenligne det beregnede effektbehovet med erfaringsbaserte tall, så vil hus bygget etter TEK 10 bli beregnet ved følgende uttrykk[12]:

$$Q = -0,75 \cdot DUT + 20 \quad (4.2)$$

hvor

Q = Nødvendig effektbehov [W/m^2]

DUT = Dimensjonerende utetemperatur [$^{\circ}C$]

4.2 Varmetap i bygninger

Varmetransport fra bygningsdeler foregår ved konduksjon, konveksjon og stråling når oppstår en temperaturforskjell. For bygningsdeler er det mer interessant å betrakte den totale varmeledningsevnen i et materiale, også kjent som varmekonduktiviteten. Denne parameteren blir bestemt på bakgrunn av målinger gjennom forsøk. Når varmekonduktiviteten og tykkelsen på materialet er kjent, kan varmemotstanden beregnes. U -verdien er den inverse av total varmemotstand, og er et mål på varmegjennomgang for en bygningsdel. Varmetap fra bygningsdeler er gitt som [13]:

$$\Phi = U \cdot A \quad (4.3)$$

hvor

Φ = Varmegjennomgang i bygningsdelen [W/K]

U = Varmegjennomgangskoeffisient for bygningsdel [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]

A = Areal av bygningsdel [m^2]

ΔT = Differanse mellom inne og utetemperatur [$^{\circ}\text{C}/\text{K}$]

Varmetap fra kuldebroer

En kuldebro kan defineres som en bygningsdel hvor det er en større varmegjennomgang. Kuldebroer oppstår gjerne i forbindelser og overganger hvor det er ulike materialer, ulik tykkelse på materialene eller differanse mellom utvendig og innvendig areal [14]. Disse kan beregnes eksakt ved å summere samtlige lineære kuldebroverdier i en bygningskonstruksjon, men kan forenklet uttrykkes ved følgende formel [15]:

$$\Phi \approx \psi'' \cdot A_{fl} \quad (4.4)$$

hvor

Φ = Varmegjennomgang i kuldebroen [W/K]

A_{fl} = Oppvarmet del av BRA [m^2]

ψ'' = Normalisert kuldebroverdi [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$].

Varmetap fra ventilasjon

Tilførsel av frisk luft er nødvendig i nye og tette boliger for å opprettholde et akseptabelt inn klima og hindre muggvekst. For å tilføre frisk luft i slike boliger er det derfor nødvendig med et ventilasjonsanlegg. Ventilasjonsanlegget gjenvinner varmen fra brukt luft og pumper deretter inn frisk luft. Graden av gjenvinning avhenger av anleggets virkningsgrad. I henhold til TEK10 skal minste frisklufttilførsel være på $1,2 \text{ m}^3/\text{h}$ pr. m^2 gulvareal. Varmetap fra balansert ventilasjon beregnes ved følgende formel [16]:

$$\Phi = \dot{V} \cdot C_p \cdot \rho(1 - \eta) \quad (4.5)$$

hvor

\dot{V} = Luftvolumstrøm [m^3/h]

C_p = Luftens spesifikke varmekapasitet = $0,28$ [Wh/kgK]

ρ = Luftens tetthet = $1,2$ [kg/m^3]

η = Ventilasjonsanleggets virkningsgrad

Varmetap fra infiltrasjon

Infiltrasjon er uteluft som trenger gjennom utettheter i konstruksjonen og varmes opp til innetemperatur. Bygningens luftvekslingstall måles ved en trykkforskjell på 50 Pa (over-/undertrykk) kalt n_{50} . Kravet til maksimalt antall luftvekslinger $2,5$ pr. time i henhold til TEK10. Det virkelige luftvekslingstallet kan leses av grafisk når det målte luftvekslingstallet

er kjent. Dette gir et virkelig luftvekslingstall på 0,15. Varmetap fra infiltrasjon beregnes som følger [16] :

$$\Phi = n \cdot V \cdot C_p \cdot \rho \quad (4.6)$$

hvor

n = Virkelig luftvekslingstall

V = Romvolum [m^3]

4.3 Forskriftskrav

I denne oppgaven skal rekkehusleilighetenes varmetap beregnes med mål om å bestemme nødvendig oppvarmings- og ventilasjonsbehov. Byggeteknisk forskrift har nylig blitt oppdatert, men det kan imidlertid benyttes gamle energikrav frem til 1. januar 2017. Det er rimelig å anta at flere byggherrer vil velge ulike tilnærminger i prosjekteringsfasen. I dette avsnittet vil det fremkomme tallmateriale for gjeldende energikrav.

Da denne oppgaven befinner seg i forprosjektfasen, finnes det som nevnt lite grunnlag til å estimere nøyaktig utforming av rekkehusleilighetene. Utgangspunktet er verdiene gitt av energitiltakene i TEK10. En tilfredsstillende av disse kravene vil være i tråd med forskriften [17].

Tabell 4.1: Energiltak for småhus etter TEK 10/TEK 10 revidert.[17]

	Energiltak	Småhus TEK10	Småhus TEK10 rev.
1.	U-verdi yttervegg $W/(m^2K)$	$\leq 0,18$	$\leq 0,18$
2.	U-verdi tak $W/(m^2K)$	$\leq 0,13$	$\leq 0,13$
3.	U-verdi gulv $W/(m^2K)$	$\leq 0,15$	$\leq 0,10$
4.	U-verdi vinduer og dører $W/(m^2K)$	$\leq 1,2$	$\leq 0,80$
5.	Andel vindus- og dørareal av oppvarmet BRA	$\leq 20 \%$	$\leq 25 \%$
6.	Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner i ventilasjonsanlegg (%)	$\geq 70 \%$	$\geq 80 \%$
7.	Spesifikk vifteeffekt i ventilasjonsanlegg (SFP) $kW/(m^3/s)$	$\leq 2,5$	$\leq 1,5$
8.	Luftlekkasjetall pr. Time ved 50 Pa trykkforskjell	$\leq 2,5$	$\leq 0,6$
9.	Normalisert kuldebroverdi, der m^2 angis som oppvarmet BRA $W/(m^2K)$	$\leq 0,03$	$\leq 0,05$

4.4 Massestrøm

Innledningsvis er det viktig å bestemme massestrømmen i nettet ved dimensjonering av fjernvarmeledninger. Deretter må det avgjøres hvilken rørdimensjon som skal brukes til effektoverføring til forbrukerne. Generelt vil nødvendig effekt være gitt da denne er avhengig av dimensjonerende effektbehov. Nødvendig effekt beregnes ved følgende uttrykk:

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (4.7)$$

hvor

Q = Nødvendig effekt [kW]

m = Massestrøm [kg/s]

C_p = Spesifikk entalpi [kJ/(kgK)]

ΔT = Temperaturdifferanse mellom tur- og returledning [C/K]

Massestrømmen er den ukjente variabelen og kan beregnes med kontinuitetslikningen:

$$\frac{m}{\rho} = V = A \cdot w \quad (4.8)$$

hvor

V = Volumstrøm [m^3/s]

A = Indre rørareal [m^2]

w = Mediets middelhastighet [m/s]

ρ = Væskens tetthet [kg/m^3]

Ved å redusere massestrømmen i rørnettet vil dette påvirke volumstrømmen, og deretter rørets dimensjon. Massestrømmen kan reduseres ved å øke ΔT . Dette kan gjennomføres ved å øke turtemperaturen og/eller redusere returtemperaturen. Turtemperaturen vil være avhengig av kilden som produserer varmen. Avfallsforbrenning kan eksempelvis gi høye turtemperaturer, mens derimot en varmepumpe vil gi lavere turtemperaturer. Returtemperaturen vil i stor grad være avhengig av hvor godt vannet blir nedkjølt ved varmevekslere, radiator-, gulvvarme- og ventilasjonsanlegg. Samtidig kan tettere og bedre isolerte bygninger redusere det nødvendige effektbehovet. Dette vil igjen medføre mindre rørdimensjoner.

4.5 Trykktap i systemet

Trykktapet i rørsystemet er viktig for å bestemme nødvendig overført pumpeeffekt. For høye hastigheter oppstår store trykktap i rørene. Ved dimensjonering er det vanlig å forholde seg til maksimal hastighet eller trykkfall i rørnettet. Vannhastigheter over 2 m/s på sekundærsiden vil øke pumpens nødvendige løftehøyde. Dette kan overskride trykklassen på utstyr og armatur, og resultere i økt pumpeenergiforbruk.

Innledningsvis kan Reynolds tall (Re) brukes til å bestemme om en væske har turbulent eller laminær strømning. Overgangsområdet, som befinner seg mellom laminær og turbulent strømning, har de mest usikre estimatene [18]. En oversikt over hvilke grenseverdier som gjelder er gitt under. Fjernvarmesystemene befinner seg i området for turbulent strømning. Reynolds tall er definert som følgende:

$$Re = \frac{w \cdot d}{\vartheta} \quad (4.9)$$

hvor

w = Strømningshastighet [m/s]

d = Indre rørdiameter [m]

ϑ = Kinematisk viskositet [m²/s]

Laminær strømning: Re < 2320

Overgangsområdet: 2320 < Re < 4000

Turbulent strømning: Re > 4000

Den kinematiske viskositeten spesifiserer væskens seighet. Ved stigende temperaturer minker viskositeten. I Tabell 4.2 vises et utvalg av kinematiske viskositeter for ulike temperaturer i vann.

Tabell 4.2 Kinematisk viskositet og tetthet for vann ved ulike temperaturer[19].

Temperatur (°C)	Tetthet (kg/m ³)	Kinematisk viskositet (mm ² /s)
10	999,7	1,307
20	998,2	1,003
30	995,7	0,800
40	992,2	0,658
50	988,1	0,553
60	983,2	0,475
70	977,8	0,414

Trykktap i rette rør

Strømningstap for turbulent rørstrømning uttrykkes som følger [20]:

$$h_v = f \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g} \quad (4.10)$$

hvor

f = Friksjonsfaktoren

l = Rørets lengde [m]

Ettersom hastigheten er opphøyd i annen potens vil en dobling av hastighet føre til en firedobling av trykktapet. Det er verdt å merke seg at trykktapet er proporsjonalt med rørlengden og friksjonsfaktoren. Trykktapet er omvendt proporsjonal med den indre diameteren på røret. Friksjonsfaktoren for turbulent strømning og overgangen til turbulent strømning, ble funnet gjennom forsøk av Colebrook i 1939. Da friksjonsfaktoren er implisitt gitt i likningen til Colebrook, fant S.E. Haaland en formel i 1983. Denne formelen hadde kun en feilmargin på 2 %. Denne blir brukt for å bestemme friksjonsfaktoren og er definert som følger[18]:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1,8 \log \left(\frac{6,9}{Re} + \left(\frac{\varepsilon}{3,7d} \right)^{1,11} \right) \quad (4.11)$$

hvor

ε = Rørets ruhet [mm]

Rørets ruhet er avhengig av rørveggenes beskaffenhet og er en utfordrende enhet å avgjøre. Usikkerheten i tallverdiene kan variere med ± 60 %. Verdiene i Tabell 4.3 viser vanlige ruheter for en utvalg av materialer [18].

Tabell 4.3 - Ruhetstall for et utvalg materialer [18].

Ruhetstall	ε normal (mm)	ε høy (mm)	ε lav (mm)
Commercial steel	0,045	0,072	0,018
Stainless steel	0,002	0,0032	0,0008
Wrought iron	0,046	0,0736	0,0184
Cast Iron	0,26	0,416	0,104
Rubber, smoothed	0,01	0,016	0,004
Glass, plastic	0	0	0

Strømningstapet i rørdeler, slik som bend og overganger, er beregnet som 10 % i forhold til trykktapet i rette rør. Trykktap i enkeltmotstander vil derfor være definert som:

$$h_r = h_v \cdot 0,1 \quad (4.12)$$

4.6 Tappevannsbehov

En nøyaktig beregning av tappevannsbehovet kan i seg selv være en utfordrende operasjon. Den er blant annet avhengig av antall personer i boligen, antall tappepunkter og graden av

samtidig bruk. I forbindelse med denne beregningen tas det utgangspunkt i en erfaringsbasert likning fra bransjeorganisasjonen Svensk fjärrvärme for å dimensjonere tappevannsveksleren.

Dimensjonerende effekt på varmeveksleren vil bestå av full effekt for både tappevann og oppvarming til hver enkelt leilighet. Under vises likningen for å bestemme nødvendig volumstrøm for rørledningen i én eller flere boliger.

Nødvendig volumstrøm til n boliger er definert med følgende uttrykk[21]:

$$q = 0,15 + 0,015 \cdot (n \cdot 0,2 - 0,15) + 2,1 \cdot \sqrt{0,015 \cdot 0,15} \cdot \sqrt{n \cdot 0,2 - 0,15} \quad (4.13)$$

hvor

q = Sammenlagret volumstrøm [l/s]

n = Antall leiligheter

4.7 Pumpeteori

I dette avsnittet vil det belyses omkring generell pumpeteori og hvilke forhold som avgjør pumpens driftssituasjon. Avslutningsvis vil vi diskutere fordelene og ulempene ved turtallsregulerte og turtallsfaste pumper.

Pumpens oppgave i et fjernvarmeanlegg er å sirkulere nok væske til å dekke et energibehov, hvor dimensjoneringsgrunnlaget beregnes på bakgrunn av kaldeste utetemperatur (DUT) [22]. Sirkulasjonspumper i vannbårne anlegg er hovedsakelig av typen sentrifugalpumpe. Disse pumpene er karakterisert ved at roterende løpehjul danner et trykk når væsken settes i rotasjon [23]. Pumpen opererer med en akseffekt (P_2) ved å forbruke elektrisk effekt fra nettet. Deretter blir denne overført til mediet hvor den overførte effekten avhenger av pumpens virkningsgrad. Pumpens overførte effekt er uttrykt ved følgende formel[24]:

$$P = \frac{\Delta P \cdot \dot{V}}{600 \cdot \eta} \quad (4.14)$$

hvor

P = Effekt [kW]

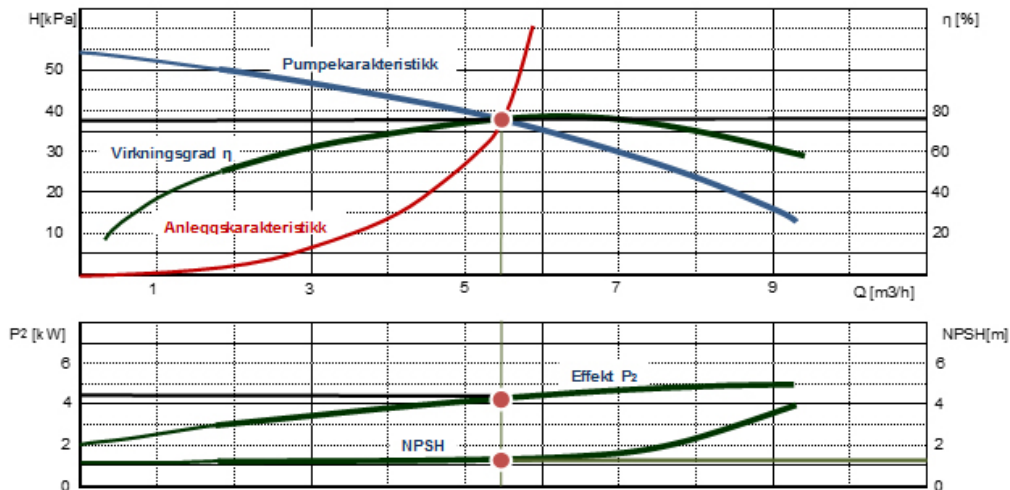
ΔP = Differansetrykk [25]

\dot{V} = Volumstrøm [l/min]

η = Virkningsgrad [%]

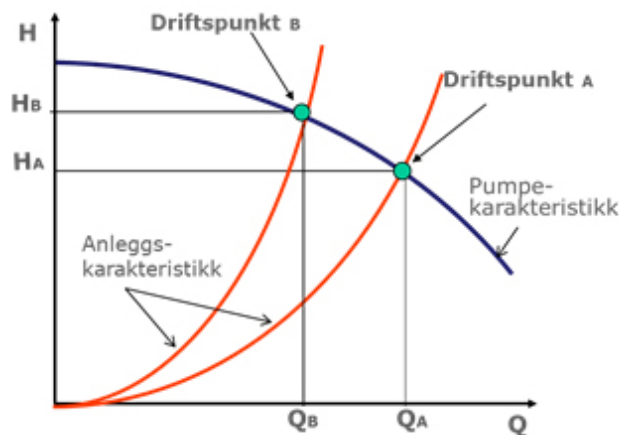
Pumpekarakteristikken kan beskrives som sammenhengen mellom væskemengde pumpen leverer sammen med en levert løftehøyde (se Figur 4.1). Løftehøyden vil si den motstanden pumpen må overvinne i anlegget, og beregnes på bakgrunn av den minst gunstige kretsen i

nettet. Pumpekararakteristikken ses i sammenheng med anleggskarakteristikken, hvor skjæringspunktet mellom grafene representerer anleggets driftspunkt. Pumpens virkningsgradkurve uttrykker det optimale forholdet mellom tilført elektrisk effekt og overført effekt til mediet.



Figur 4.1: Kurver for pumpe- og anleggskarakteristikk samt virkningsgrad[22].

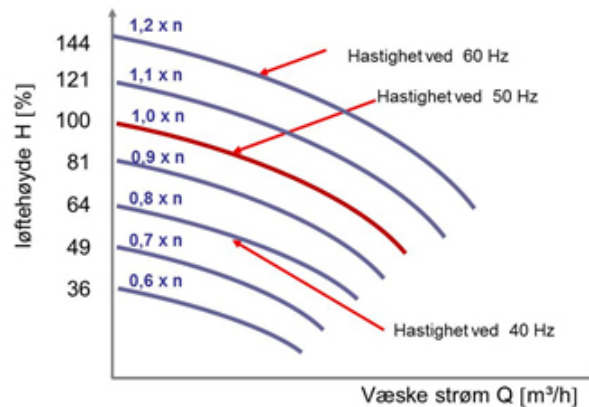
Sammenhengen mellom trykktap, løftehøyde og væskemengde er sentral i den generelle forståelsen av pumpens virkemåte. I mengderegulerte anlegg vil reguleringsventiler strupe vannmengden dersom det er behov for mindre volumstrøm[22]. Dette fremkommer i Figur 4.2 ved at opprinnelig anleggskarakteristikk, driftspunkt A, blir flyttet mot venstre til driftspunkt B. I dette tilfellet reduseres volumstrømmen, mens løftehøyde og trykktap øker.



Figur 4.2: Anleggskarakteristikken ved ulike driftspunkt. En redusert væskemengde øker pumpens løftehøyde[22].

Pumper med fast turtall passer godt i anlegg med konstant væskestrøm, men kan bli ugunstig dersom massestrømmen skulle variere. I slike tilfeller vil turtallsregulerte pumper være et mer fornuftig valg. Slike pumper er utstyrt med frekvensomformere og kan operere på ulike frekvenser. I Figur 4.3 vises pumpekurven ved ulike frekvenser, hvor motorens turtall endres

proporsjonalt med frekvensen. Pumpekurene ligger tilnærmet parallelt, men vil flate noe ut da løftehøyden reduseres mer enn væskemengden.



Figur 4.3: Pumpekararakteristikken ved ulike frekvenser[26].

Hvilken pumpetype som skal velges avhenger i stor grad av hvilket bruksområde den er tiltenkt. Turtallsregulerte eller turtallskonstante pumper byr på hver sin side ulike fordeler og ulemper, både praktiske og finansielle. For å beregne tiden pumpen driftes med en bestemt volumstrøm brukes det et driftskollektiv. Denne er basert på mengderegulering av dimensjonerende effektforbruk. Under vises en oversikt over antall timer ved hvert driftspunkt og tilhørende andel volumstrøm.

Tabell 4.4: Oversikt over volumstrøm ved ulike driftspunkter og tilhørende tid på hvert driftspunkt[26].

Driftspunkt	Andel av Q_{max}	Andel av timer
1	100%	6%
2	75%	15%
3	50%	35%
4	25%	44%

Den mest fremtredende forskjellen mellom de to pumpetyperne er det elektriske energiforbruket. Turtallsregulering legger bedre til rette for å tilpasse den varierende væskemengde og pumpens energiforbruk. Dette vil redusere pumpens driftskostnader. I tillegg forekommer det mindre slitasje på deler og komponenter. Den kan også redusere støynivået i forbindelse med struping av ventiler. Turtallsregulering kan likevel være en kostbar affære ved at det må investeres i frekvensomformere.

4.8 Legionella

Legionellabakterien kan forårsake legionærsykdom, også kjent som legionellose, som er en alvorlig form for lungebetennelse. Bakteriene kan medføre pontiacfeber og kan beskrives som en influensalignende sykdom. Mange som blir smittet av bakterien viser få eller ingen symptomer. De mest vanligste symptomene er hodepine, slapphet, muskelsmerter, feber og hoste. Inkubasjonstiden for sykdommen kan være noen timer opp mot 10 dager, avhengig om det er legionsykdom eller pontiacfeber. I visse tilfeller kan den også medføre magesmerter og diaré. I ytterste konsekvens er bakterien dødelig.



Figur 4.4: Avbildet legionellabakterie[27].

Legionellabakterien har forutsetninger til å formere seg i vanninstallasjoner hvor vekstvilkårene er optimale. I temperaturer mellom 20-50 °C vil bakterien vokse best, men vil ha en begrenset formering under 20 °C. På temperaturer over 60 °C dør bakterien i løpet av noen minutter [28]. Spredning av bakterien er som regel forårsaket av forstøvet vann og forekommer som regel på sensommer eller høst.

Aktuelle smittekjeder kan eksempelvis være [29]:

- Kjøleanlegg med kjøletårn
- Tappeutstyr med filter hvor det samles slam og partikler
- Vannsparende dusjhoder som produserer aerosoler (sprinkleranlegg, luftskrubbere, innendørs sprinkleranlegg)
- Luftfuktere

Det fins likevel sikkerhetstiltak som kan motvirke dannelse og spredning av legionellabakterien:

- Varmtvann i sirkulerende systemer bør overholde minimum 65°C
- Enkelte plastmaterialer fremmer bakteriedannelse og bør unngås
- Røranlegget dimensjoneres slik at installasjonen har normal vannhastighet for den enkelte rørdimensjon

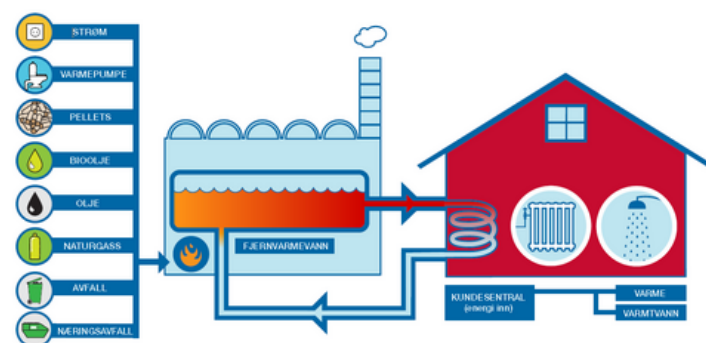
5 Teknologiutredning

Dette kapittelet dekker en rekke temaer som er direkte relevant for denne oppgaven, og bidrar til et økt kunnskapsnivå av fjernvarmesystemer. Innledningsvis utredes generell teori samt hvilke systemløsninger fjernvarmeanlegg består av. Teoridelen spisses deretter ved å gi en dypere beskrivelse om ulike typer enkeltkomponenter. Disse består eksempelvis av fjernvarmerør, fjernvarmegrøftens utforming, varmetap etc. Avslutningsvis fremkommer en mer utfyllende beskrivelse av oppgavens tre systemløsninger, med en tilhørende diskusjon som sammenfatter ulike fordeler og ulemper.

5.1 Grunnleggende anleggsbeskrivelser

5.1.1 Fjernvarmeanlegg

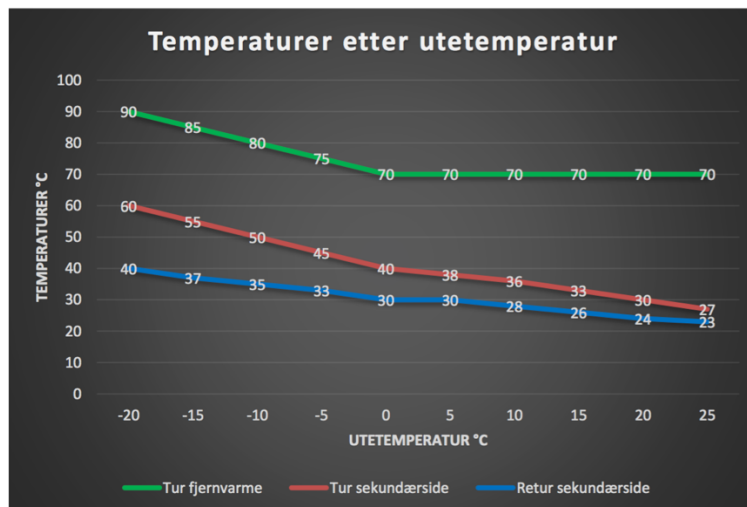
Et fjernvarmeanlegg er et energisystem hvor det produseres varmeenergi, som deretter transporteres til kunden og forbrukes i ulike geografiske områder. Eksempler på kunder kan være boliger, industri eller næringsliv, hvor energien leveres som romoppvarming, ventilasjonsoppvarming, gatevarme eller til tappevannsbruk. Fjernvarmesentralene er inndelt i grunn- og spisslaster. Grunnlasten står for mesteparten av varmforsyningen og det stabile forbruket gjennom året. I perioder med høyt energibehov vil spisslastsentralene bidra med supplerende varmeenergi, og således føre til en mer stabil og fleksibel energiforsyning. Brensel til grunnlastsentraler kan eksempelvis være bioavfall, pellets eller overskuddsvarme fra annen industri. Spissentraler bruker gjerne olje eller elektrisitet som brensel. Grunnlastene i større byer bruker stort sett avfallsforbrenning, mens i mindre områder er det mer vanlig med flisbrensel. Det kan også benyttes varmepumper [30].



Figur 5.1: Systemkisse av et fjernvarmeanlegg. Ulike brenselkilder (t.v.) bidrar til å skape varmeenergi til kunden[30].

I fjernvarmenettet, også kalt primærsiden, blir vannet oppvarmet og deretter distribuert ved hjelp av to separate rørledninger. Disse består av en tilløpsledning for varmtvann til kunden (turvann) og en ledning som frakter avkjølt vann tilbake til varmesentralen (returvann). Hvilken driftstemperatur som brukes avhenger av årstid, effektforbruk hos kunden og reguleres av fjernvarmeselskapet selv. Rørene er som regel dimensjonert med 120 °C og 25

bar trykk. I Figur 5.2 vises hvilke driftstemperaturer Akershus Energi og Varme (AEV) operer med i forhold til utetemperatur.



Figur 5.2: Temperaturer etter utetemperatur for AEV. Øverste graf representerer primærsiden[31].

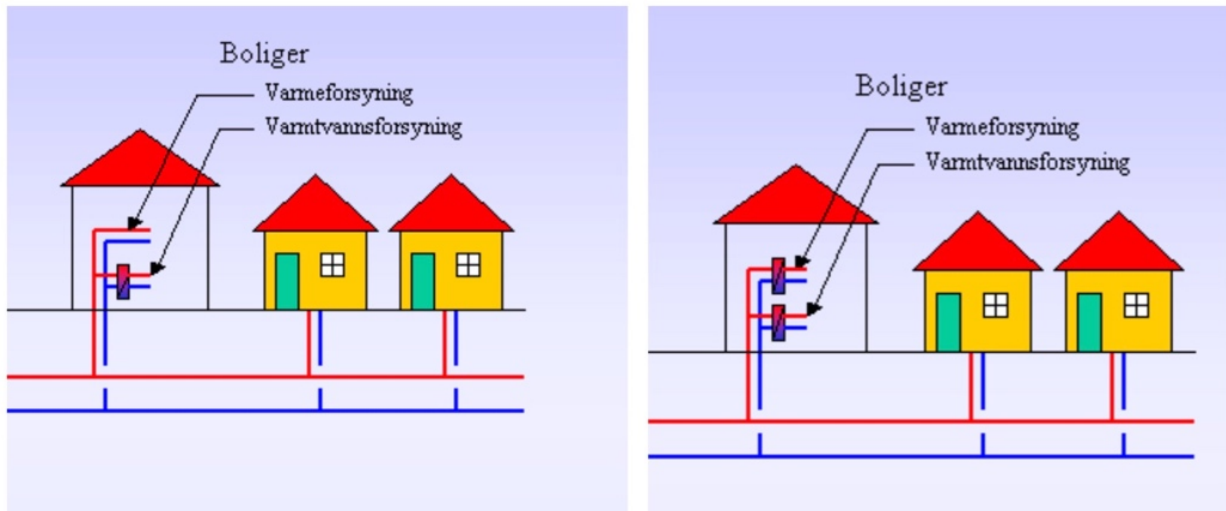
Fra fjernvarmenettet overføres og fordeles varmen til ulike kundesentraler. Kundesentralene er som regel lokalisert inne på byggeiers område og regnes som byggets, eventuelt borettslagets, eget distribusjonsenhet. Denne leveres som en prefabrikkert enhet og består blant annet av filter, varmemålere, stenge/reguleringsventiler etc. Kundesentralen kan anses som fjernvarmeselskapets produksjonsenhet og byggeiers distribusjonsenhet. Investeringskostnaden til enheten vil påfalle byggeier, hvor fjernvarmeselskapet er ansvarlig når det gjelder drift og vedlikehold. Dette vil være definert av grensesnittet mellom primær og sekundærside og angir hvem som er fjernvarmeselger, kjøper og andre juridiske forhold. I sekundærnettet blir varmeenergien brukt til oppvarming av radiatorer, gulv/gatevarme, ventilasjon samt tappevann.

Direkte og indirekte systemer

For å få en bedre forståelse til distribusjonsprosessen må det belyses litt nærmere omkring hvilke løsninger som benyttes. Generelt i større norske fjernvarmeanlegg er dimensjonerende trykknivå mellom 16-25 bar med temperaturer over 100 °C. Et sekundærnett derimot operer med lavere trykk og temperaturnivå. Det må derfor installeres varmevekslere mellom primær- og sekundærnettet. I sekundærnettet er turtemperaturer på om lag 70-80 °C. Her distribueres varmen direkte eller via boligens/byggets varmedistribusjonsenhet. Denne enheten kalles en villasentral, og skaper et hydraulisk skille mellom disse to områdene. Denne løsningen kalles et indirekte system, hvor boligens/byggets varmesystem definerer en såkalt tertiær side [32].

I et direkte system inngår det ingen varmeveksler til oppvarming i boligen. Her distribueres varmen direkte fra kundesentralen med kun én tappevannsveksler (se Figur 5.3). Fordelene

med direkte systemer er at de er enklere og billigere, da varmeveksleren for oppvarming utelukkes. Likevel kan problemer i forbindelse med lekkasjer innebære større mengder vann, og generelt vanskeliggjøre lokalisering av lekkasjen. Årsaken til dette er at sekundærnettets også omfatter boligens lokale varmeanlegg. Dersom det oppstår feil i én bolig, kan direkte varmforsyning påvirke flere kunder samtidig. Færre styring- og reguleringsmuligheter kan også vise seg å være problematisk [32].



Figur 5.3: Direkte system (t.v.) og indirekte system[32].

Et indirekte system er utstyrt med vekslere til både oppvarming og tappevann, og som tidligere nevnt medfører at boligens oppvarming- og varmtvannssystem er komplett adskilt fra fjernvarmenettet. Dersom det oppstår lekkasjer vil denne være lokalt begrenset til det respektive bygget, uten å påvirke andre boenheter. En slik løsning vil være mer omfattende i form at den vil kreve flere varmevekslere, sammenlignet med et direkte system, men tilbyr økt driftssikkerhet samt bedre styring – og reguleringsmuligheter [32].

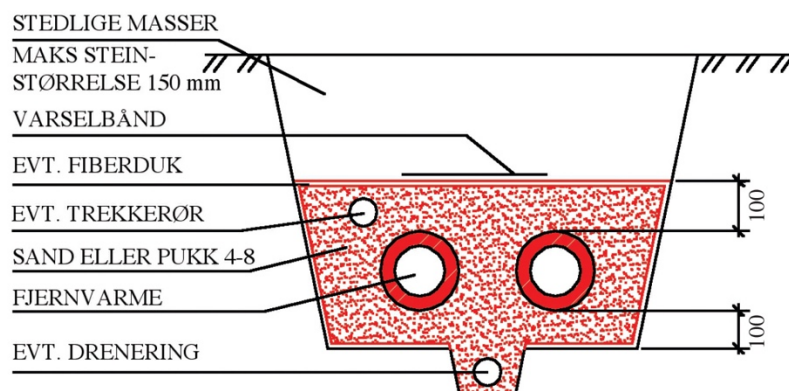
Bruk av fjernvarme har generelt en rekke fordeler. Dersom den vurderes fra et miljørelatert aspekt bidrar den til lokale og globale gevinster i form av å være en fornybar energikilde. I tillegg til å utnytte energiressurser som ellers ville gått tapt, bidrar den til reduksjon av klimagasser. Om det er økonomisk lønnsomt finnes det mange meninger om. Som energikilde skal prisen for fjernvarme, i henhold til energiloven, være lavere enn elektrisitet [33]. Til tross for dette kan slike anlegg innebære noe høyere investeringskostnader. Et av påvirkningsfaktorene her er om anlegget opererer med direkte eller indirekte systemer. Hva som bør velges er en vurderingssak, både funksjonelt og økonomisk, hvor hvert av systemene har sine egne fordeler og ulemper. Fjernvarme er likevel et alternativ som tilbyr høy leveringssikkerhet og har lave vedlikeholdskostnader for kunden [34, 35].

5.1.2 Varmetap generelt

Varmetap er avgitt termisk energi fra fjernvarmerørene til omgivelsene. Graden av varmetap er blant annet avhengig av driftstemperaturer, vannets hastighet, rørets isolasjonsserie og dimensjon. I denne delen betraktes varmetap som oppstår i sekundærnett med fokus på rørføringer i grøftpartiet. Innledningsvis vil se nærmere på isolasjonsmaterialenes betydning, grøftens utforming og deretter belyse beregningsmetoder av varmetapet. Varmetapene som oppstår i kundesentralen vil bli neglisjert, da tapet vanligvis kommer bygget til gode. Utvendige omgivelsesforhold, herunder bakke- og lufttemperaturer, utgjør den største faktoren når det gjelder varmetap. Bedre isolerte rør fordrer mer isolasjonsmateriale, som igjen resulterer i større mantelkappe. Dette vil øke behovet for ytterligere grøfteplass og øke utbyggingskostnadene.

5.1.3 Fjernvarmegrøfter

Fjernvarmegrøftens utforming har en vesentlig betydning for varmetapet. Fukt og vannansamling i form av grunn- eller overflatevann kan være problematisk, og kan i ytterste konsekvens tre til fire doble varmetap[36]. Dette fordrer gode dreneringsmuligheter i grøften. Omfyllingsmaterialets termiske egenskaper spiller også en vesentlig rolle. Fuktig grus og steinfrie masser har høy varmeledningsevne (2-2,5 W/mK) og vil derfor øke varmetapet. Disse krever også vesentlig mer komprimering og kan føre til setninger ved vannføring i grøftene. Tilstrekkelig overdekning (0,5-0,6 m), og en kombinasjon av sand og pukk med lav varmeledningsevne, vil beskytte og lede vannet vekk fra rørene. Anbefalt omfylling er 10 cm over fjernvarmerørene med 4/8 mm pukk eller natursand [37]. Dersom sandmassen er for fin kan det medføre at den klumper seg ved små mengder fuktighet. I tillegg er grøfttemperaturen lavere på vinteren enn på sommerstid. Med en høyere forskjell på innvendig rør- og omgivelsestemperatur vil dette gi økt varmetap.



Figur 5.4: Utforming av fjernvarmegrøfter[37].

5.1.4 Fjernvarmerør

Valg av best egnet materialtype er hovedsakelig bestemt på bakgrunn av temperaturnivå, rørdimensjon samt indre og ytre trykk. Eksempler på andre vesentlige faktorer kan være topografiske forhold i terrenget, krav til omfyllingsmaterialer i grøft, varmetap og rørenes levetid. I tillegg er de økonomiske aspektene en vesentlig faktor i seleksjonsprosessen. Som en generell regel vil større rørdimensjoner medføre høyere kostnader, både med tanke på økt prisnivå for større rør, men også at det innebærer mer gravearbeid. I denne delen vil det belyses og drøftes omkring egenskapene til ulike preisolerte rørledninger, med fokus på stål og plast som aktuelle materialvalg. Det vil riktignok ikke bli utført analyser med plast, men det kan likevel være hensiktsmessig å belyse materialets ulike styrker og svakheter.

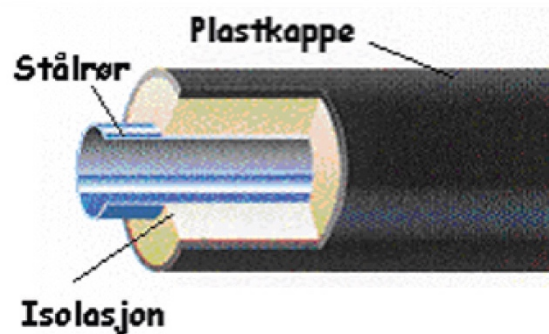
Preisolerte fjernvarmerør består av et medierør i enten plast eller metall. En beskyttelseskappe av plast omringer deretter isolasjonen. Grovt sett kan disse inndeles i følgende kategorier:

- Preisolerte stålrør – leveres som enkel, dobbel eller stålflexrør
- Diffusjonstette PEX – rør i plast

Bruken av fleksible rør i ulike materialer er også vanlig, men vil ikke utredes dypere i denne oppgaven.

Preisolerte stålrør

Rørets isolasjonsmateriale er laget av polyuretan skum (PUR), hvor beskyttelseskappen er av høydensitets polyethen (HDPE). Stålrøret i midten er som regel av typen P235 (tradisjonelt konstruksjonsstål i rør). Ved lengdeutvidelser oppfører materialene seg som én enhet og danner en samvirkekonstruksjon. Rørenes konstruksjonstemperatur er vanligvis 120 °C med et driftstrykk på 25 bar [37]. Sammenføyning skjer ved hjelp av sveising og muffing.



Figur 5.5: Preisolert stålrør med plastkappe og isolasjon[37].

Enkeltrør

Dette er den vanligste rørtypen som brukes i fjern- og nærvarmeanlegg, og kan leveres i dimensjoner fra DN 20 opp til DN 600. Aktuelle rørdimensjoner relatert til denne oppgaven

vil strekke seg fra DN 20 - 80. Rørene leveres enten som rette rør eller i maskinbuer med lengder fra 6 - 16 meter. Sammenføyning skjer ved hjelp av sveising og muffing.

Stålflexrør

Fordelen med disse rørene er større grad av fleksibilitet og tilpasning til hindringer og ujevnheter i terrenget. Disse brukes som oftest i avgreninger (fordeling fra hovedrør). Utvendig diameter er fra 20 – 28 mm (16 – 24 innvendig), og leveres i kveil opp til 100 meter. En umiddelbar ulempe er at plastkappen er tynnere og vil derfor tåle en mindre påkjenning.

Diffusjonstette PEX-rør

Diffusjonstette PEX-rør benyttes i mindre varmeanlegg, samt sekundæranlegget i boligområder tilknyttet et større anlegg. Levetiden på røret er svært temperaturavhengig hvor høye temperaturer reduserer rørets levetid. Maksimal driftstemperatur er 90 °C. Medierøret består av PEX utstyrt med en organisk diffusjonssperre hvor isolasjonsmateriale er av PUR. Diffusjonssperren består av et aluminiumslag som omringer røret med en beskyttelseskappe bestående av enten PEL eller høydensitets PE. I Tabell 5.1 fremstilles aktuelle plastmaterialer i fjernvarmerør.

Tabell 5.1: Ulike priser på plastmaterialer. += lav , -= høy , (+) = moderat[36].

Forkortelse	Materiale	Maks temp (°C)	Pris
PEH	Polyetylen, high density	50	+
PP	Polypropylen	60	+
PVC	Polyvinylklorid	60	(+)
PB	Polybutylen	80	(+)
PVC-C	Klorert Polyvinylklorid	80	(+)
PEX	Polyetylen, tverrbundet	110	(+)
PVDF	Polyvinylidenfluorid	110	-
	Polyester/Epoksy	110	-

Som tidligere nevnt er det en kombinasjon av temperatur og rørdimensjon som bestemmer hvilket rørmateriale som bør brukes. Ved temperaturer over 90 °C vil levetiden til plastrør reduseres betraktelig. Ved dimensjoner over 100 mm vil stål utelukkende være det aktuelle alternativet [36]. Plast er likevel et fornuftig valg ved at det har lav vekt, enkle skjøtemetoder, lav varmeledningsevne og relativ lav pris. Videre har plast en fordel når det gjelder termiske ekspansjoner i materialet. Indre spenninger som følge av temperaturendringer vil bli tatt opp i røret. Et annet viktig problem er hvorvidt materialene er diffusjonstette. Diffusjon oppstår når vanddamp og oksygen trekker seg inn gjennom rørveggen. Dette kan medføre korrosjonsproblemer på rør samt andre ståldeler i fjernvarmesystemet.

Isolasjon

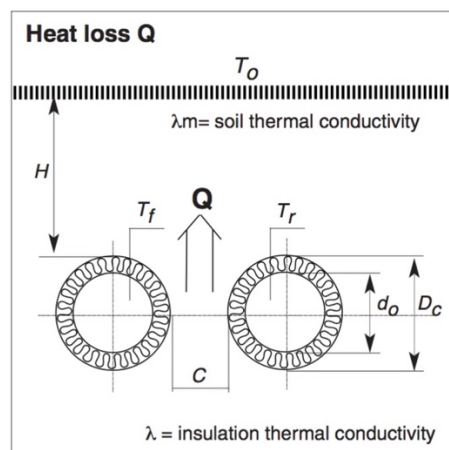
Det finnes en rekke rørprodusenter i markedet som tilbyr preisolerte stålrør med med stort sett like kvaliteter og egenskaper. Rørprodusenten Logstor kategoriserer isolasjonsseriene sine på følgende måte[38]:

Isolasjonsserie 1: Denne isolasjonen brukes i de fleste anleggstyper hvor det ikke stilles særskilt høye krav til energitap, eller hvor det er lave energipriser etc. Implikasjonen med det sistnevnte er at serien er utstyrt med en lavere isolasjonstykkelse og kan derfor være gjenstand for et økt varmetap.

Isolasjonsserie 2 og 3: Disse isolasjonene har en høyere tykkelse, og brukes i områder med spesielle temperaturforhold, eksempelvis lave omgivelsestemperaturer, konstant høye medietemperaturer, behov for sakte nedkjøling ved stopp og høye produksjonskostnader i energianlegg.

5.1.5 Varmetap i rør

NS-EN 13941 er en europeisk standard til utbygging av fjernvarmesystemer og har i denne oppgaven blitt brukt til alle varmetapsberegninger i rør. Formelverket i standarden har blitt brukt til å verifisere varmetapsresultater fra Netsim gjennom et beregningseksempel. Rørsystemet i grøften er illustrert i Figur 5.6 hvor tur og returledning er parallelt plassert med tilhørende beregningsparametere.



Figur 5.6: Rørparet i grøften. Venstre og høyre rør. Illustrerer tur- og returledning[39].

I NS-EN 13941 er det totale varmetapet avhengig av fluksen i tur- og returledningen. Varmetapet per rør beregnes med følgende to uttrykk:

$$\phi_f = U_1(T_f - T_s) - U_2(T_r - T_s) \quad (5.1)$$

$$\phi_r = U_1(T_r - T_s) - U_2(T_f - T_s) \quad (5.2)$$

hvor

ϕ_f = Varmetap i turledning [W/m]

ϕ_r = Varmetap i returledning [W/m]

U_1 = U-verdi i forhold til røret og bakken [W/mK], og

U_2 = U-verdi mellom rørparene [W/mK]

T_f = Temperatur i turledning [°C/K]

T_r = Temperatur i returledning [°C/K]

T_s = Temperatur i bakken [°C/K]

For symmetriske rør kan U-verdiene beregnes på følgende måte:

$$U_1 = \frac{R_s + R_i}{(R_s + R_i)^2 + R_h^2} \quad (5.3)$$

$$U_2 = \frac{R_h}{(R_s + R_i)^2 + R_h^2} \quad (5.4)$$

hvor

R_s = Varmemotstand i jorda [mK/W]

R_i = Varmemotstand i isolasjonsmaterialet [mK/W]

R_h = Varmeoverføringsmotstand mellom tur og returledning [mK/W]

Den totale U-verdien er:

$$U = U_1 - U_2 = \frac{1}{R_s + R_i + R_h} \quad (5.5)$$

Da Netsim neglisjerer varmetapet og varmeoverføringsmotstanden mellom tur- og returledning blir ikke verdien av U_2 og R_h inkludert i det kommende beregningseksempelet. Programmet opererer angivelig med samme U-verdi for begge rør. For ordens skyld vil U_2 bli uttrykt i formlene under.

Varmemotstand i jorda

$$R_s = \frac{1}{2\pi\lambda_s} \ln \frac{4Z_c}{D_c} \quad (5.6)$$

hvor

Z_c = En korrigert verdi av overdekningen Z som inkluderer varmemotstanden i jordoverflaten, $R_0 = 0,0685 \text{ m}^2\text{K/W}$. Denne er uttrykt ved: $Z_c = Z + R_0 \cdot \lambda_s$ [m]

Z = Avstand fra jordoverflate til senter av rør [m]

λ_s = Jordens varmeledningsevne [W/mK]

D_c = Ytre diameter av beskyttelseskappe

Varmemotstand i isolasjonsmaterialet

$$R_i = \frac{1}{2\pi\lambda_i} \ln \frac{D_{PUR}}{d_o} \quad (5.7)$$

hvor

D_{PUR} = Diameteren til isolasjonsmaterialet [m]

d_o = Ytre diameter til medierøret [m]

λ_i = Isolasjonsmaterialets varmeledningsevne [W/mK]

Varmeoverføringsmotstand mellom tur og returledning

$$R_h = \frac{1}{4\pi\lambda_s} \ln \left[1 + \left(\frac{2Z_c}{C} \right)^2 \right] \quad (5.8)$$

hvor

C = avstanden mellom senterlinjen til rørene [m]

Fra formlene over inngår varmeledningsfaktorene til både bakken og isolasjonsmaterialene som to svært sentrale variabler. Et viktig moment er derfor å belyse sammenhengen mellom koeffisientene og hvilket bidrag disse gir til effekttapet som oppstår, samt hvilken betydning den har for rørets totale effekttap. For preisolerte stålrør varierer denne mellom 0,023 - 0,027 W/mK. Varmeledningsevnen i jorden er ikke like enkel å avgjøre og det er her usikkerheten ligger. I leverandørens beregningsverktøy varierer jordens varmeledningsevne mellom 0,4 – 2,5 W/mK, hvor intervallet er inndelt i følgende tre grupperinger:

- Tørr jord: 0,4 – 1,0 W/mK
- Normal jord: 1,1 – 1,9 W/mK hvor 1,6 er ansett til å være normalverdien
- Våt jord: 2,0 – 2,5 W/mK

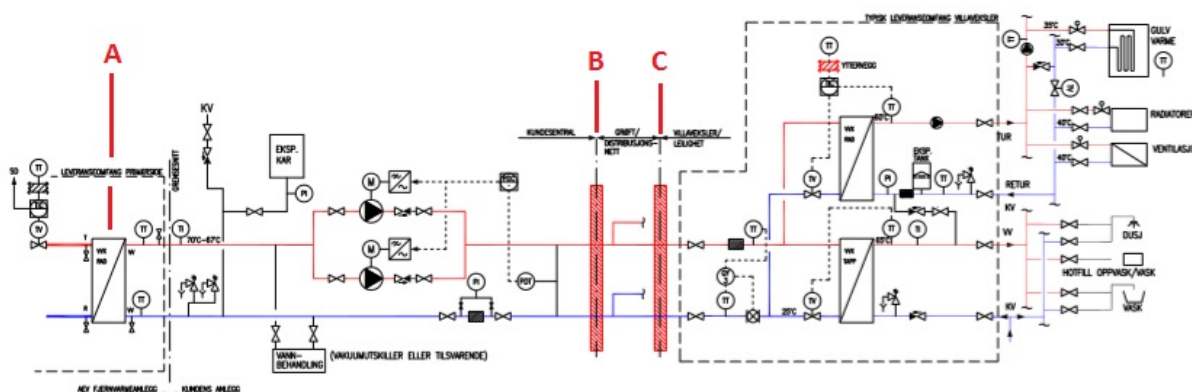
I NS-EN 13941 er verdier mellom 1,5 – 2,0 W/mK klassifisert som våt jord.

5.2 Systembeskrivelse for 2 og 4-rørssystemer

I dette avsnittet vil det innledningsvis vil bli foretatt en teknisk systembeskrivelse for to 2-rørs og ett 4-rørs system. Avslutningsvis kommer en diskusjonsdel av systemenes ulike fordeler

og ulemper. Felles for systemene er at oppvarmingstilførselen foregår i lukkede kretser, mens tappevannskretsen er åpen. Det er et krav om at driftstemperaturene må til enhver tid overholde minst 65 °C på grunn av fare for legionelladannelse[40]. Dette gjelder henholdsvis system 1 og 2 som operer med integrert tappevanns- og oppvarmingsveksler, samt den separate tappevannskretsen til system 3. Fokusområdet for systembeskrivelsen er hovedsakelig definert mellom varmeveksleren i kundesentralen (A) og kundens yttervegg i boligen (C) (se Figur 5.7). Det vil ikke bli foretatt tekniske utdypninger av boligens varmesystem (til høyre for C), men vil inkludere villasentralene i senere kostnadsberegninger. Årsaken til dette er at de vil utgjøre en vesentlig innvirkning på totale investerings- og driftskostnadene. Prosessflytskjemaene leses fra venstre slik pilene anviser, hvor grensesnittet mellom primær- og sekundærside befinner seg til høyre for punkt A. Grøftepartiet er definert mellom punkt B og C. Gjeldende symboler i prinsippkissene finnes i Tabell 3.4.

5.2.1 System 1

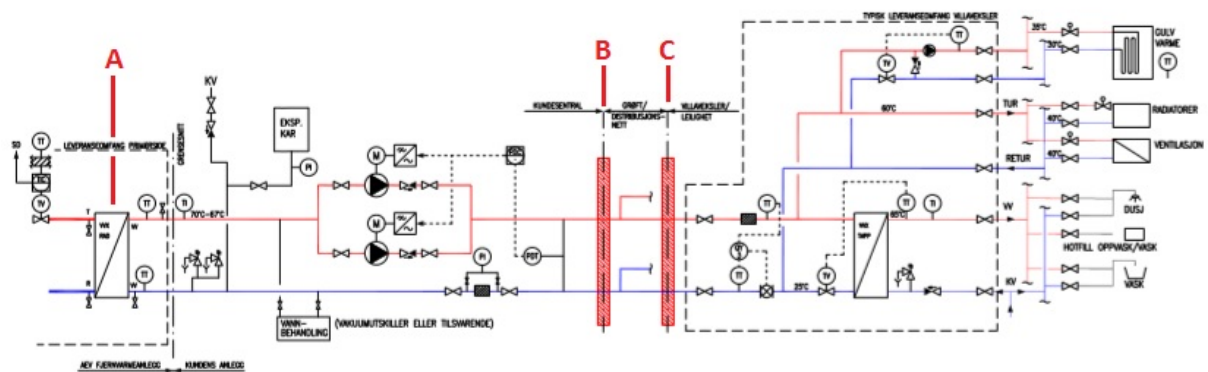


Figur 5.7: Prosessflytskjema system 1[40].

Fra fjernvarmenettet overføres varmen til kundesentralen i sekundærnettet, og fortsetter herfra til sirkulasjonspumpene. Av både sikkerhetsmessige hensyn samt vedlikeholdsvennlighet, så består pumpesløyfen av to pumper. Dersom det skulle oppstå et behov for å stenge den ene pumpen, så kan turvannet likevel fortsette via den andre uten å forårsake unødig operasjonell nedetid. Stengeventiler er hensiktsmessig plassert på begge sider av pumpene for å kunne bedrive demontering og vedlikehold. Tilbakeslagsventiler er montert for å sikre flyt i én retning. Det benyttes frekvensomformere som regulerer turtallet til pumpene på bakgrunn av differansetrykket over tur- og retursiden. Turvannet fortsetter til grøften og videre inn til kundens villasentral. Her blir vannet fordelt på to separate varmevekslere som består av en oppvarmings- og tappevannskrets. Pumpen i den lukkede kretsen sirkulerer kontinuerlig

vannet mellom varmeveksleren og oppvarmingskilden i boligen. I den åpne kretsen er vannledningene tilkoblet tappevannsvexleren. Kaldtvannstilførselen mater varmeveksleren etterhvert som vannet blir forbrukt. Det er derfor ikke nødvendig med ekstra pumpekraft i kretsen, da kaldtvannstrykket reguleres av den respektive kommunen. Begge kretser er utstyrt med temperaturmålinger av turvannet over varmeveksleren. En reguleringsventil vil åpne ved signal fra temperaturindikatoren og sørge for at varmeoverføringen foregår i takt med effektbehovet.

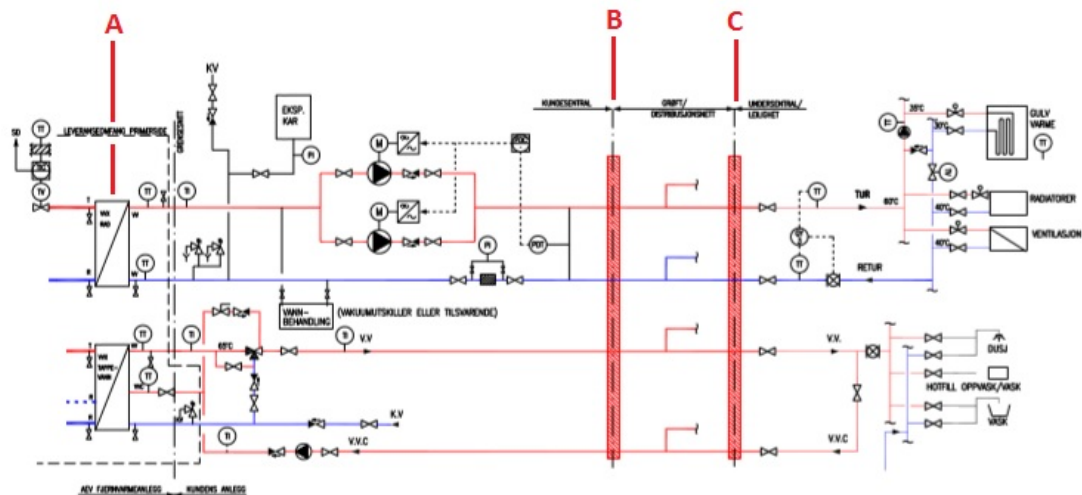
5.2.2 System 2



Figur 5.8: Prosessflytskjema system 2[40].

Denne løsningen har lik oppbygning som system 1 når det gjelder tappevannskretsen, men opererer med direkte oppvarmingstilførsel. Dette fremgår ved at oppvarmingskretsen er direkte tilkoblet varmeveksleren i kundesentralen. Mellom tur- og returvannet i denne kretsen er det i tillegg plassert en blandesløyfe. Dersom temperaturen på vannet skulle bli for høyt, vil det blandes inn kaldt vann for å unngå for høye temperaturer.

5.2.3 System 3



Figur 5.9: Prosessflytskjema system 3[40]

Karakteristikken til 4-rørssystemet fremkommer ved at tur- og returvannet er fordelt på to varmevekslere i kundesentralen, hvor effekttilførsel til oppvarming og tappevann foregår i separate kretser. Oppvarmingskretsen opererer med indirekte varmetilførsel på samme måte som system 2. Tappevannskretsen derimot er ikke utstyrt med returledninger på samme måte, men består isteden av en tilførende varmtvannsledning (VV-ledning) og en sirkulasjonsledning (VVC-ledning). Oppvarmingskretsen er temperaturkorrigert på bakgrunn av utetemperatur. Da legionelladannelse ikke er et problem i romoppvarming, tillates det lavere temperaturer i denne kretsen. Det er også nevnt at fjernvarmenettet generelt sett opererer med høyere temperaturer, og at det således er ekstra viktig med temperaturregulering og sikkerhetstiltak av tappevannet. Da tappevannsvexleren befinner seg i kundesentralen så foregår kaldtvannstilførselen på samme sted. Økte avstander mellom kundesentral og boenhet kan medføre høy responstid. Responstid i denne sammenheng vil si hvor raskt vannet reagerer på temperaturendringer, og bør ikke være over maksimalt 60 sekunder til temperaturen i ytterste tappepunkt er på et ønskelig nivå. For å ivareta responstiden brukes derfor VVC-ledninger som kontinuerlig sirkulerer vannet i nær tilknytning til boenhetene. I tillegg er det nødvendig med ledninger til å ivareta tilstrekkelig vanntemperatur og responstid også i perioder med lavt tappevannsforbruk.

5.2.4 Fordeler og ulemper mellom systemene

Om sekundærnettets skal bygges som et 2 eller 4-rørssystem må det tas hensyn til en rekke faktorer. I Tabell 5.2 er det oppsummert fordeler og ulemper for de ulike systemene. Disse må igjen vurderes helhetlig for å kunne være i stand til å velge en aktuell systemløsning.

Tabell 5.2: Fordeler og ulemper mellom systemene.

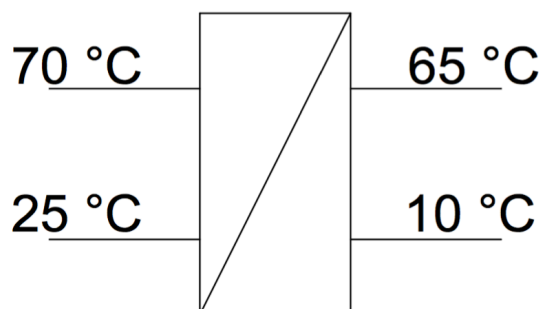
2-rørs system		4-rørs system	
Fordeler	Ulemper	Fordeler	Ulemper
Klarere juridisk skille med indirekte systemer	Lavere responstid	Høyere responstid	Kun direkte varmetilførsel
Integrert kretser gir lavere varmetap i rør	Krever flere varmevekslere	Færre varmevekslere	Parallelle kretser innebærer høyere varmetap
Generelt færre rørledninger	Konstant temperatur gir lavere reguleringsmuligheter	Færre reguleringsmuligheter	Krever fler førledninger

Da 4-rørssystemer operer med to separate kretser vil dette innebære mer rørledninger som kan bli en kostnadsdrivende faktor. Samtidig kreves det ikke ytterligere varmevekslere og kan således redusere de totale investeringskostnadene. Responstid i tappevannsledninger er også et vesentlig moment. Ulempen med et 2-rørssystem kan være treghet i forbindelse med responstid, da de ikke er utstyrt med VVC-ledninger. På den andre siden krever slike ledninger ekstra pumper, og kan samtidig bidra til å øke varmetap i rør og pumpeenergiforbruk. Det har tidligere også blitt nevnt at begge systemer skiller seg ut når det gjelder driftssikkerhet. Ved feil eller lekkasjer kan direkte systemer vanskeliggjøre feilsøkningsprosessen, og på denne måten forårsake unødig driftsmessig nedetid.

5.2.5 Temperaturvalg

Tappevann

For system 1 og 2 vil kaldtvannstilførselen til villasentralen ha en temperatur på 10 °C, hvor trykket vil leveres av vann- og avløpsetaten. Det er derfor ikke nødvendig med en egen sirkulasjonspumpe for de indirekte systemene. For at kaldtvannet på tertiærsiden skal kunne oppvarmes til 65 °C må temperaturen i sekundærnettets være 70 °C. Det velges en høyere temperatur enn 65 °C for å kompensere for temperaturfallet som oppstår i rørnettets og over varmeveksleren. Dimensjonering av varmeveksleren er valgt ved å bruke ΔT på 55 °C på tertiærsiden. Returtemperaturen på sekundærsiden er satt til 25 °C. Temperaturdifferansen på sekundærsiden gir da 45 °C.



Figur 5.10: Tappevannsvexler med temperaturer på sekundær- (t.v) og tertiærside.

I system 3 oppvarmes tappevannet i kundesentralen fra 10 °C til 65 °C ved forbruk. Tappevannet vil ellers sirkulere i nettet for å opprettholde temperaturen på 65 °C.

Oppvarming

Når det gjelder bolig- og ventilasjonsoppvarming vil begrensningen av størrelsen på heteflatene og middeltemperaturdifferanse i radiator/gulvvarmesystem avgjøre hvor stor ΔT det er mulig å oppnå. I denne oppgaven er det valgt å se på en radiatorkrets med temperatur på 60/40 °C for system 1, 70/50 °C for system 2 og 60/40 °C for system 3. Dersom gulvvarme benyttes vil dette føre til lavere returtemperatur på sekundærsiden. En forutsetning i alle systemer er at returtemperaturene er i større grad styrt av ventilasjons- og radiatorkretsene, hvor gulvarmen gir et mindre bidrag. For å opprettholde en komforttemperatur av badergulv antas gulvvarmekretsen å være i bruk hele året. På bakgrunn av dette opererer sirkulasjonspumpene med den driftstid på 8760 timer/år.

Maksimal belastning

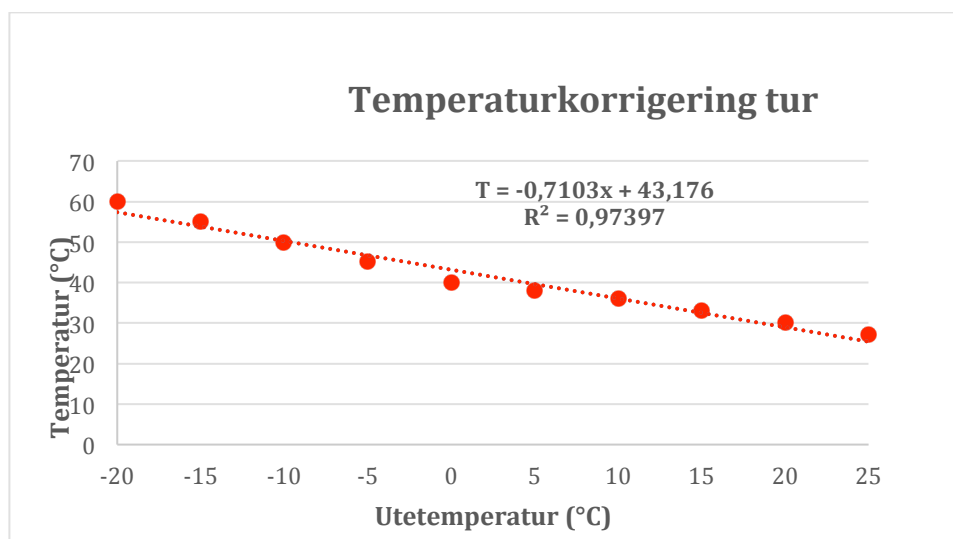
I dimensjoneringsprosessen må det tas hensyn til massestrømmen som oppstår ved tappevannsforbruk. Rørdimensjonering av system 1 og 2 foregår ved en kombinasjon av massestrømmen fra tappevann og oppvarming. System 3 dimensjoneres i to separate ledninger med henholdsvis oppvarming og tappevann.

Tabell 5.3: Temperaturer for beregning av veksler og rørdimensjon ved maksimal belastning. Temperaturer oppgitt som 70/40 står for en turtemperatur på 70 °C og en returtemperatur på 40 °C.

	Oppvarming (°C)	Tappevann(°C)
System 1	70/40	70/25
System 2	70/50	70/25
System 3	60/40	65/10

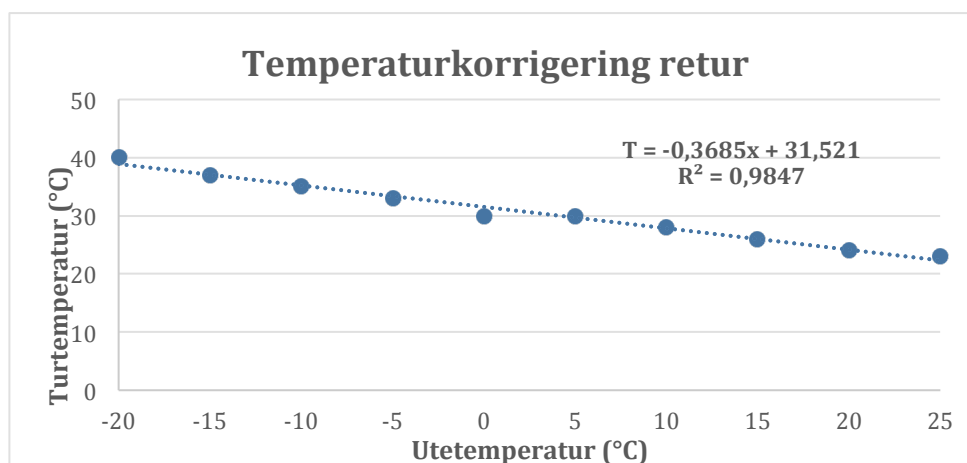
Varmetap

Da driftstemperaturen i oppvarmingskretsen på system 3 varierer med utetemperatur, har tapet blitt beregnet ved hjelp av lineær regresjonsanalyse. I korrigeringen har det blitt brukt en årsmiddeltemperatur på 6°C. Punktene i Figur 5.11 og Figur 5.12 under gjenspeiler tur- og returtemperaturer med tilhørende regresjonslinjer. For tur- og returtemperaturen fremkommer det en lineær sammenheng mellom verdiene på omkring 97,4 og 98,5%. På bakgrunn av dette beregner vi en tilhørende tur og returtemperatur:



Figur 5.11: Lineær temperaturkorrigering for turledning. Beregnet ut i fra styringskurven til AEV.

$$T(6^{\circ}\text{C}) = -0,7103 \cdot 6 + 43,176 \approx 40^{\circ}\text{C}$$

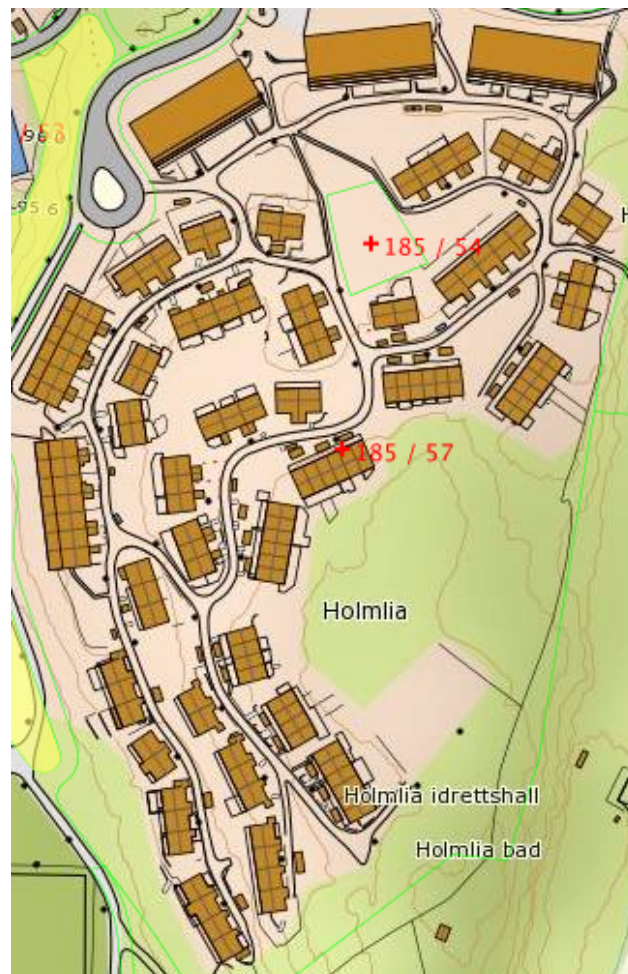


Figur 5.12: Lineær temperaturkorrigering for returledningen. Beregnet ut i fra styringskurven til AEV.

$$T(6^{\circ}\text{C}) = -0,3685 \cdot 6 + 31,521 \approx 30^{\circ}\text{C}$$

6 Forsøksoppsett

Inspirasjonen til oppgavens forsøksoppsett er hentet fra Storfjell borettslag i Oslo. Her har rekkehusene installert fjernvarme, hvor størrelsen på borettslaget kommer godt overens med oppgavens to caser. Utformingen av rørtraseene i casedefinisjonene er i stor grad bestemt av borettslagets topografiske forhold, og er plassert på en mest mulig hensiktsmessig og rørbesparende måte. Det må likevel påpekes at den valgte utformingen av rørtraseene i denne oppgaven vil være én av mange mulige løsninger, og at det tas høyde for at de kan legges på flere ulike måter.



Figur 6.1: Utklipp av rekkehusene ved Storfjell borettslag[41].

6.1 Forutsetninger

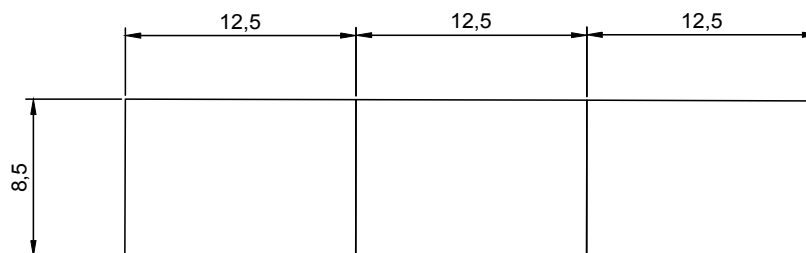
For dette forsøket er det gjort en del forutsetninger, disse er vist som punkter under.

- Den geografiske beliggenheten vil være i Oslo.
- Kotehøyder vil være satt til 0
- Bakketemperatur er satt lik årsmiddeltemperatur for beregning av varmetap i rør

- Det er benyttet stålrør i isolasjonsserie 2 fra produsenten Logstor
- Gren- og hovedledninger er tatt ut med 150 Pa/m
- Stikkledninger er tatt ut med 300 Pa/m
- Netsim operer kun med hele kW og ingen varmeoverføring mellom tur- og returledning
- Temperaturen på mediet er lik rørtemperaturen
- Minimum differansetrykk til ytterste kunde er 100 kPa
- Varmetapet i rørene legges på 10 % pga. grøftens utforming og isolasjonens egenskaper
- Rørenes ruhet er satt lik 0,05 mm for beregning av friksjonsfaktor
- Ingen sammenlagring på oppvarming.

6.2 Rekkehus

Hver rekkehusleilighet vil bestå av en grunnflate på $12,5 \cdot 8$ meter og en etasjehøyde på 2,4 meter. Et rekkehus vil bestå av 3 boenheter på 100 m^2 hver. Rekkehusets utforming og lengder er vist i Figur 6.2. En andel på 20 % av bruttoarealet (BRA) av ytterveggen vil bestå av vinduer og dører. Rekkehuset er modellert som en firkantet boks med isolasjonen flatt i taket.

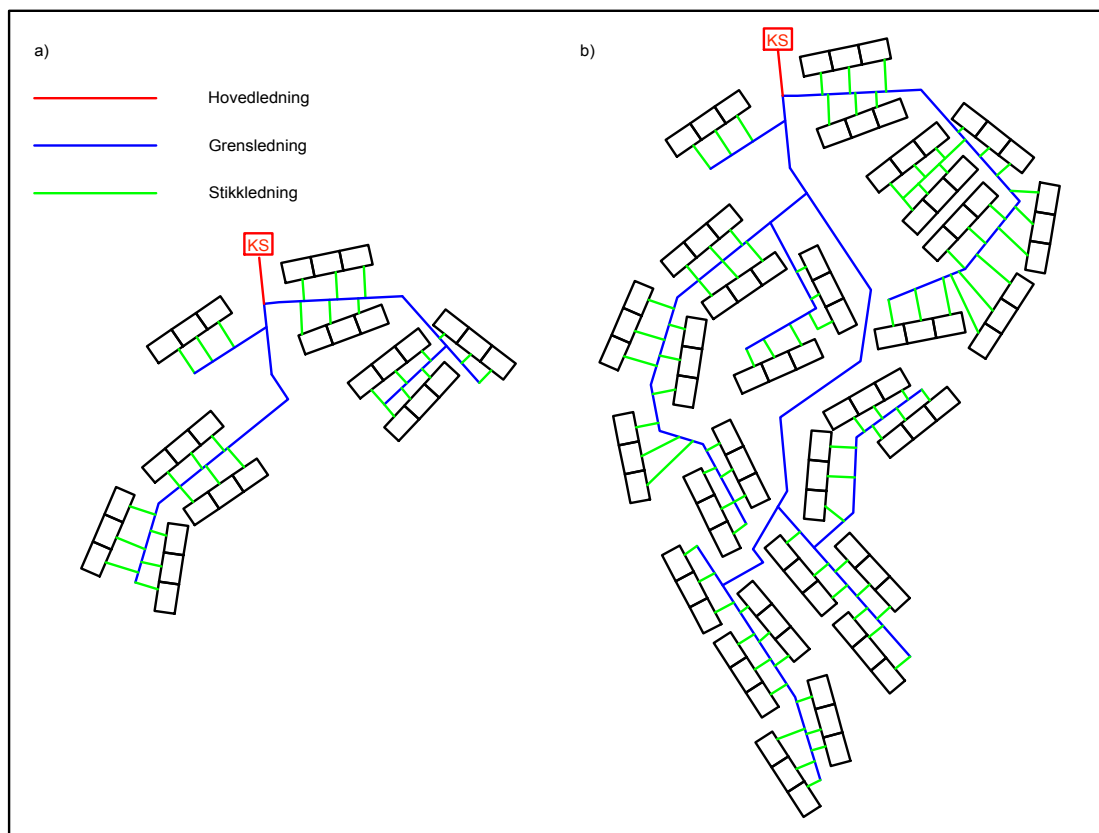


Figur 6.2: Modellert rekkehus med bredde 8,5 m og lengde 12,5 m per bolig.

6.3 Casedefinisjon

Casene i denne oppgaven er inndelt i et stort og lite nett, hvor antall boliger i hver case er henholdsvis 90 og 30 rekkehusleiligheter. Figurene under illustrerer casemodellen for begge nett med tiltenkte rørføringer. Hver strek indikerer tur- og returledninger for henholdsvis system 1 og system 2 samt oppvarmingskretsen til system 3. For tappevannskretsen til system 3 representerer hver strek varmtvannsledning sammen med VVC-ledning. Rørstrekene i sekundærnettet er inndelt i tre ledningskategorier; hoved-, gren- og stikkledninger (se Figur 6.3). Hovedledningen er tilkoblet sirkulasjonspumpen og har som oppgave å distribuere tilstrekkelig vannmengde for å imøtekomme nettets totale effektbehov. Grenledningene fungerer som fordelingsledninger og bidrar til å viderefordre vannet til rekkehusleilighetene. Stikkledningen er tilkoblet grenledningen og fører vannet inn boligen. Etterhvert som vannet blir fordelt til grenledningene reduseres vannmengden i hovedledningen på et punkt lengre

nede i nettet. På grunn av dette så kan det være mer hensiktsmessig å redusere rørdimensjonene.



Figur 6.3: Modellert a) lite nett og b) stort nett.

6.4 Effektbehov rekkehus

Varmetap fra bygningsdeler

Effekttapene som oppstår i de ulike bygningsdelene er som nevnt beregnet etter U-verdiene i TEK10. Tabellene under viser varmetapet for det midterste rekkehuset og enderekkehuset.

Tabell 6.1: Varmetap fra bygningsdeler for enderekkehuset.

Bygningsdel	Areal (m ²)	U-verdi (W/m ² K)	Tap (W/K)
Yttervegger	59,2	0,18	10,7
Tak	100	0,13	13
Gulv på grunn	100	0,15	15
Vinduer og dører	20	1,2	24
Normalisert kuldebro	100	0,03	3
		sum	65,7

Ved beregning av det midterste rekkehuset er det fratrukket et veggareal til tilstøtende leiligheter. Ettersom det er lik temperatur på begge sidene av veggen vil det ikke være noen varmegjennomgang mellom rekkehusene.

Tabell 6.2: Varmetap fra bygningsdeler for det midterste rekkehuset.

Bygningsdel	Areal (m ²)	U-verdi (W/m ² K)	Tap (W/K)
Yttervegger	40	0,18	7,2
Tak	100	0,13	13
Gulv på grunn	100	0,15	15
Vinduer og dører	20	1,2	24
Normalisert kuldebro	100	0,03	3
		sum	62,2

Varmetap fra bygningsdeler er beregnet ved å benytte formel:

$$\Phi_{\text{yttervegger}} = 0,18 \cdot 59,2 = 10,7 \text{ W/K} \quad (4.3)$$

Tapet fra kuldebroene er beregnet på følgende måte:

$$\Phi_{\text{kuldebro}} = 100 \cdot 0,03 = 3 \text{ W/K} \quad (4.4)$$

Ventilasjon

Ventilasjonstapene er beregnet likt for begge rekkehusene ettersom leilighetene har samme areal. Ventilasjonsanleggets virkningsgrad er satt til 70 % hvor ventilasjonsluftmengden er beregnet ved å bruke 1,2 m³/h per m² gulvareal. Ventilasjonstapene er beregnet slik:

$$\Phi_{\text{ventilasjon}} = 120 \cdot 0,28 \cdot 1,2 \cdot (1 - 0,7) = 12,1 \text{ W/K} \quad (4.5)$$

Infiltrasjon

Tapene fra infiltrasjon er beregnet ved å bruke bygningens totale romvolum på 240 m³. Det virkelige luftvekslingstallet er satt til 0,15. Infiltrasjonstapet er beregnet slik:

$$\Phi_{\text{infiltrasjon}} = 0,15 \cdot 240 \cdot 0,28 \cdot 1,2 = 12,1 \text{ W/K} \quad (4.6)$$

Dimensjonerende effektbehov

Dimensjonerende effektbehov beregnes ved å summere tap:

$$\Phi_I = (65,7 + 12,1 + 12,1) \cdot \Delta T = 89,9 \cdot \Delta T \quad (4.1)$$

Da varmetapet fra rekkehusleilighetene var tilnærmet like benyttes det kun beregninger av enderekkehuset videre i rapporten. For å beregne det nødvendige effektbehovet må det tas hensyn til hvilket klima bygningen befinner seg i. Dimensjonerende utetemperatur i Oslo er -19,8 °C [42], her avrundet til -20 °C. Dimensjonerende innetemperatur er 20 °C. Dette gir et

nødvendig effektbehov på 3,6 kW som skal tilføres fjernvarmesystemet til radiatorer og ventilasjon. Verdien er konservativ da det verken er tatt hensyn til bygningens varmelagringsevne eller interne tilskudd slik som elektriske installasjoner, lamper og soltilskudd.

$$\Phi_I = 89,9 \cdot (20 - (-20)) = 3596 \text{ W} = 3,6 \text{ kW}$$

Det gjøres en kontrollberegning i sammenligning av vanlig gitt formel 2. Denne kontrollen gir en effekt på 3,5 kW ved 100 m² gulvareal.

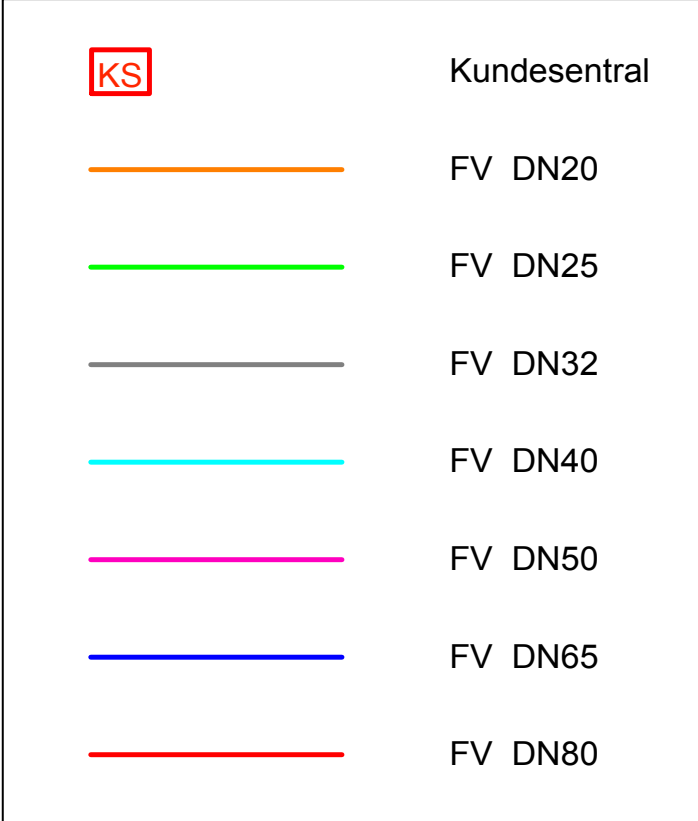
$$Q = -0,75 \cdot (-20) + 20 = 35 \text{ W/m}^2 \quad (4.2)$$

7 Teknisk Analyse

I dette kapitlet vil det presenteres åtte systemanalyser, og omfatter følgende punkter:

- Dimensjonsvalg av rørnettene
- Varmetapsberegninger i rørnettene
- Valg av pumpeutstyr
- Beregning og sammenligning av pumpenes årlige energiforbruk
- System 2 med reduserte dimensjoner

I de påfølgende dimensjonsskissene er de ulike rørstrekke kategorisert i individuelle farge- og bokstavkoder, hver med sin tilhørende informasjonstabell. Hver bokstavkode er tilknyttet et rørstrekk i nettet og gir blant annet informasjon om antall leiligheter som betraktes i punktet, effekt, dimensjon, vannhastighet og trykktap. Hvordan disse parameterne fremkommer vil bli forklart gjennom et regneeksempel i et senere avsnitt. Sammenligning av pumpeenergiforbruk kontra varmetap er et sentralt aspekt, og vil til slutt i dette kapitlet bli synliggjort ved å observere resultatene for reduserte dimensjoner for system 2.

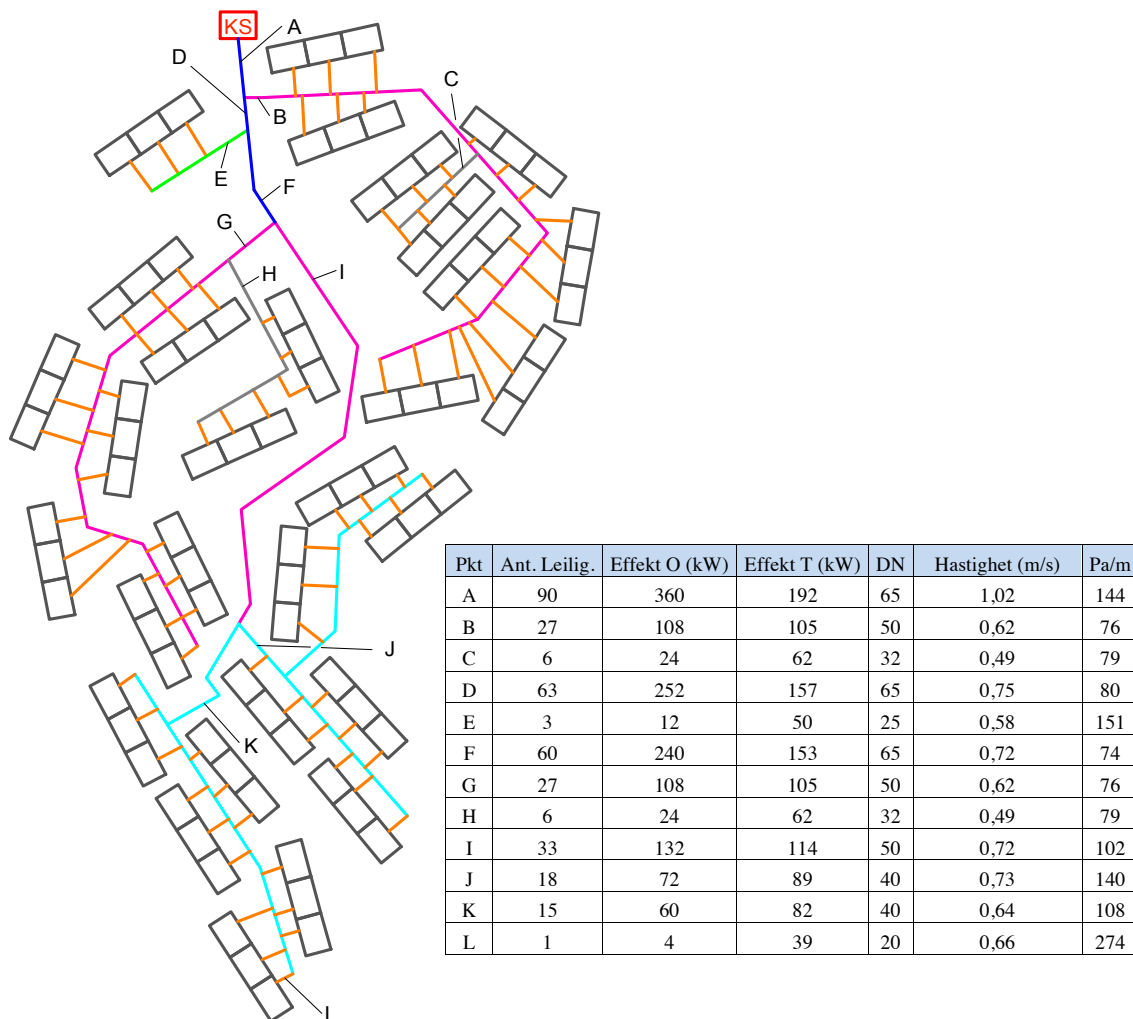


KS	Kundesentral
—	FV DN20
—	FV DN25
—	FV DN32
—	FV DN40
—	FV DN50
—	FV DN65
—	FV DN80

Figur 7.1: Symbolforklaring til kommende dimensjonsvalg.

7.1 Dimensjonering - Stort nett

7.1.1 System 1



Figur 7.2: Dimensjonsskisse m/informasjontabell stort nett system 1.

For å synliggjøre dimensjoneringsprosessen vil de ulike verdiene i tabellen over bli nærmere beskrevet gjennom et beregningseksempel. Eksempelet vil ta utgangspunkt for effektforbruket til én enkelt leilighet lokalisert i punkt L (se figur).

Massestrømmen for én bolig:

$$\dot{q} = 0,15 + 0,015 \cdot (1 \cdot 0,2 - 0,15) + 2,1 \cdot \sqrt{0,015 \cdot 0,15} \cdot \sqrt{1 \cdot 0,2 - 0,15} = 0,17 \text{ l/s} \quad (4.13)$$

Nødvendig effekt på varmeveksleren vil bestemmes ut i fra (4.7):

hvor

$$\Delta T = 65^\circ - 10^\circ = 55^\circ\text{C}$$

$$Q = 0,17 \cdot 4,2 \cdot 55 \approx 39 \text{ kW}$$

Oppvarmingseffekten per bolig er beregnet til å være 4 kW med en tur/returtemperatur på 70/40 °C. Tappevannseffekten på 39 kW er beregnet med en ΔT på 45 °C. Bruker (4.7) med hensyn på m:

$$m = \frac{4 \text{ kW}}{4,2 \cdot 30} + \frac{39 \text{ kW}}{4,2 \cdot 45} = 0,0317 + 0,2063 = 0,238 \text{ kg/s}$$

Rørdimensjoneringen er gjort på bakgrunn av iterering. Videre ser vi på rørstørrelser for et DN20 rør:

Innvendig rørdiameter, $\varnothing_{\text{inv}} = 21,7 \text{ mm}$

$$\text{Areal} = 0,00037 \text{ m}^2$$

Videre vet vi massestrøm er uttrykt ved (4.8). Løser med hensyn på w:

$$w = \frac{0,238}{0,00037 \cdot 977} \approx 0,66 \text{ m/s}$$

Videre ønsker vi å beregne trykktap. Beregner Reynolds tall (4.9):

$$\text{Re} = \frac{0,66 \cdot 0,0217}{0,414 \cdot 10^{-6}} \approx 34594$$

$\text{Re} > 4000$. Strømningen er turbulent.

Finner deretter rørets friksjonsfaktor ved (4.11):

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1,8 \log \left(\frac{6,9}{34594} + \left(\frac{0,05}{21,7} \right)^{1,11} \right)$$

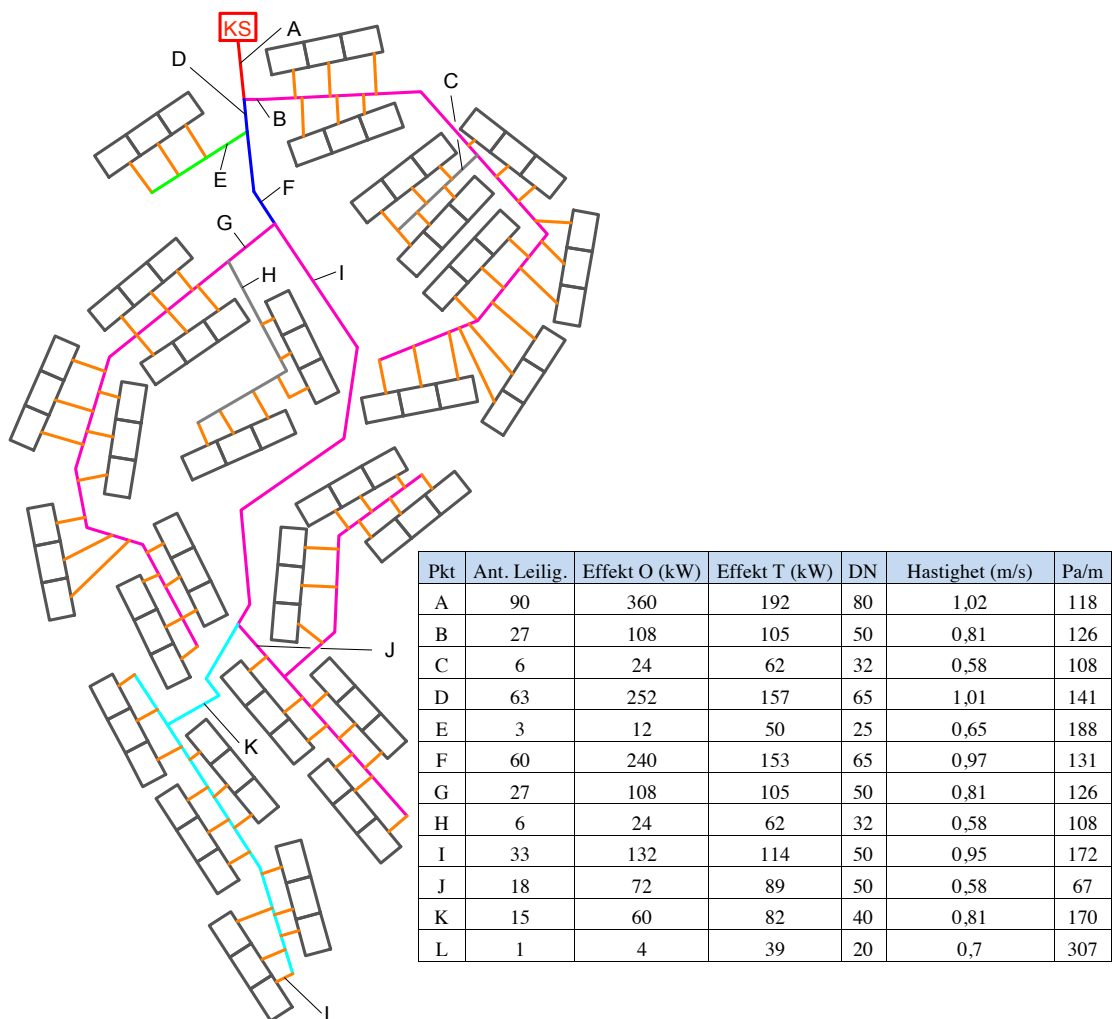
$$f \approx 0,0280$$

Avslutningsvis finner vi trykktap i røret per lengdeenhet (4.10):

$$h_v = \left(0,0280 \cdot \frac{1}{0,217} \cdot \frac{0,66^2}{2} \right) \cdot 977 \approx 274 \text{ Pa/m}$$

Det er viktig å merke seg at verdien av ΔT er av stor betydning for endelig dimensjonsvalg og dikterer i stor grad verdien av de øvrige parametere. Som tidligere nevnt er rørhastighetene begrenset til ca. 1 m/s på grunn av erosjonsfare. Det beregnes også med begrensninger i trykkfall for hoved/grenledning og stikkledning, på henholdsvis 150 Pa/m og 300 Pa/m.

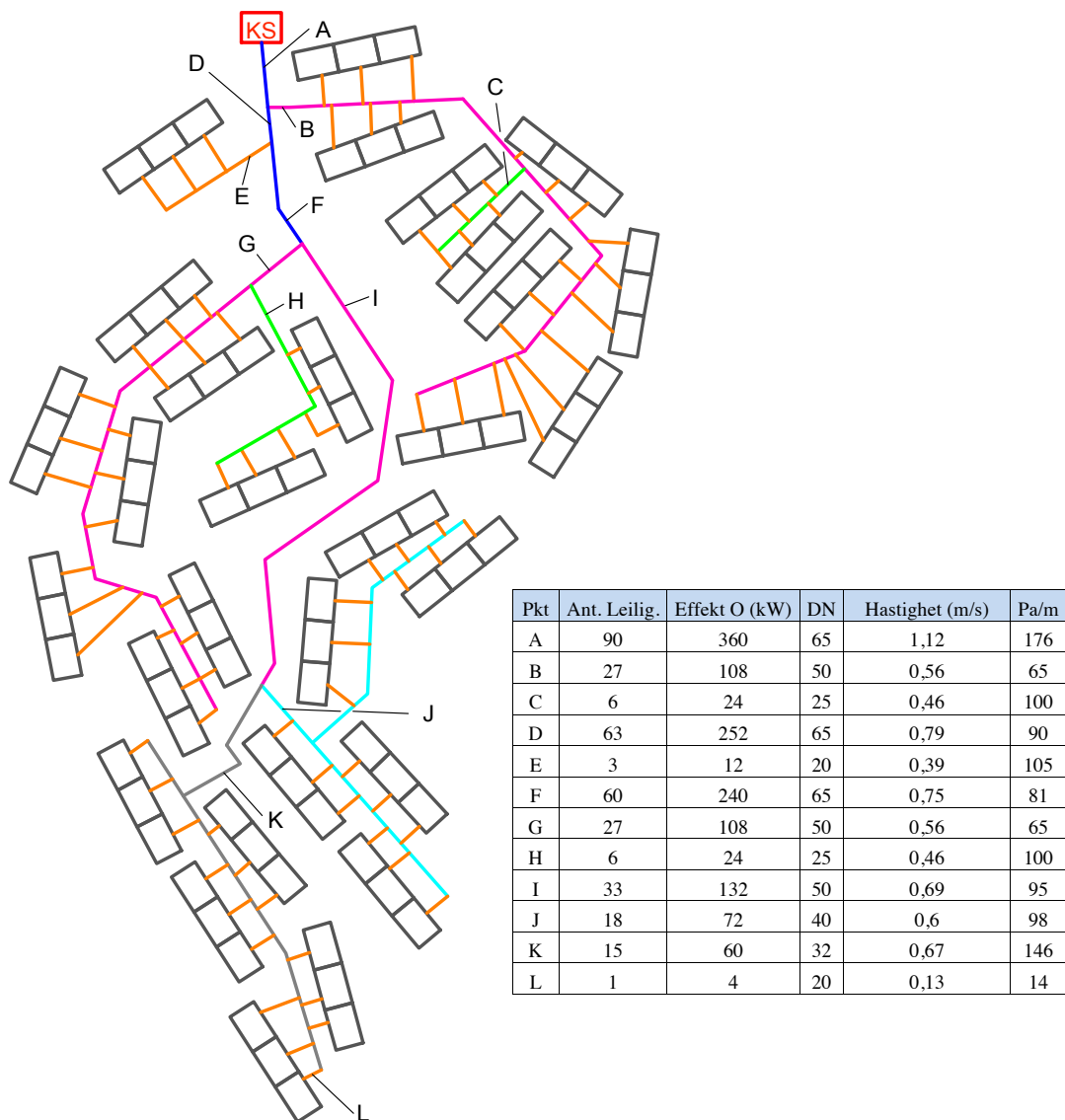
7.1.2 System 2



Figur 7.3: Dimensjonsskisse m/ informasjonstabell system 2.

Trykkfallet per meter i dette systemet har et høyere gjennomsnitt enn de tilsvarende rørledningene for system 1. Det kan derfor forventes at pumpeenergiforbruket vil være høyere. Det minste trykkfallet oppstår i ledning J på 67 Pa/m og det største trykkfallet oppstår i rørstrekk E med 188 Pa/m.

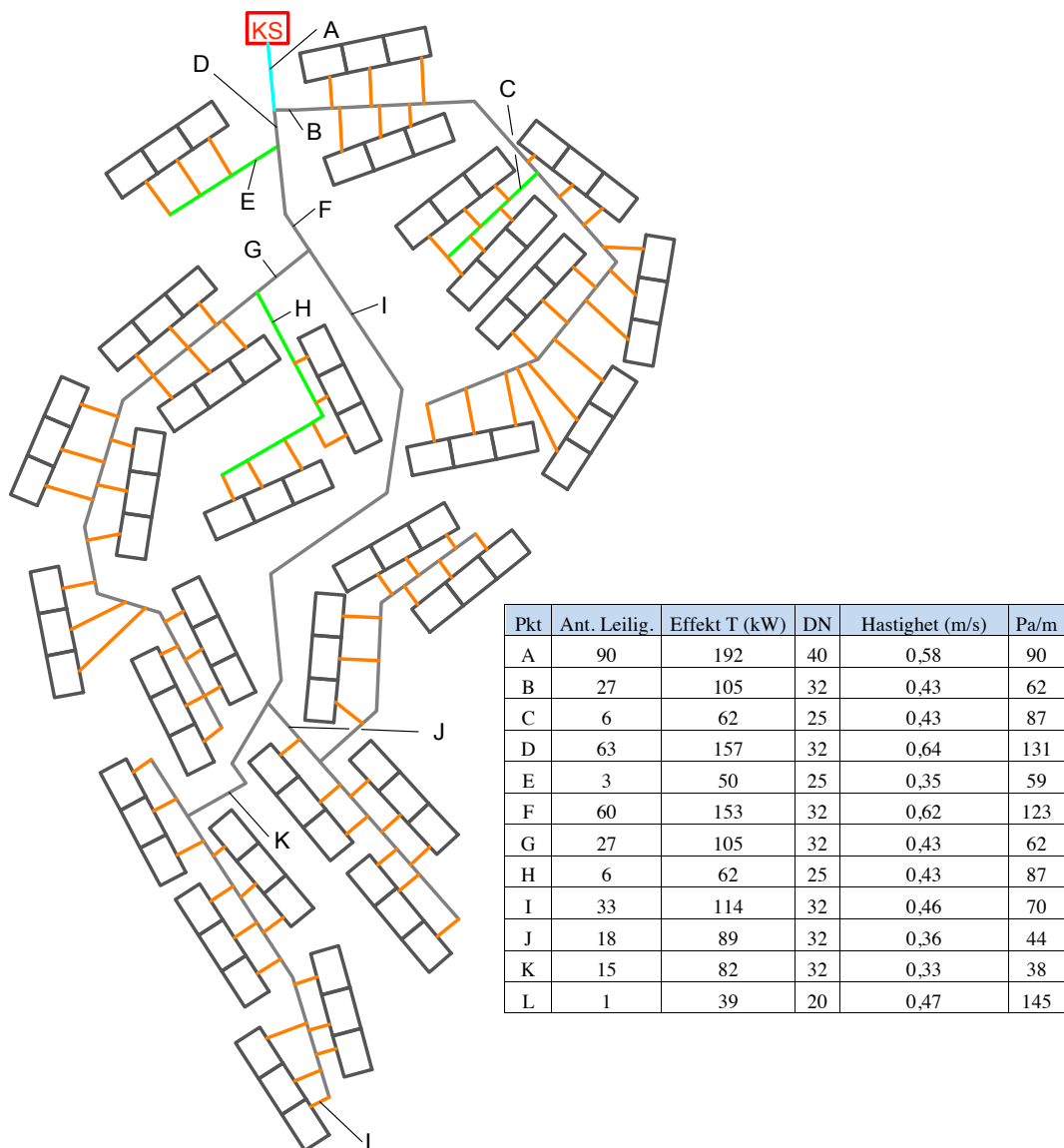
7.1.3 System 3



Figur 7.4: Dimensjonsskisse for oppvarmingskrets stort nett system 3.

I dette systemet ligger mange av rørledningene langt under 150 Pa/m. Dette vil gi et litt lavere pumpeenergiforbruk på oppvarmingskretsen, men må sees i sammenheng med det ekstra forbruket som oppstår i forbindelse med tappevannskretsen.

Tappevann



Figur 7.5: Dimensjonsskisse m/informasjonstabell for varmtvannsledning stort nett system 3.

Figuren viser varmtvannsledningene for tappevannskretsen. VVC-ledningen vil ha en konstant rørdimensjon og vil dimensjoneres i neste avsnitt.

Dimensjonering av sirkulasjonsledninger

Ved dimensjonering av VVC-ledningene må det tas hensyn til følgende forhold:

- Høyest tillatte temperaturfall til ytterste kunde, $\Delta T < 4^\circ\text{C}$ ($65-61$) $^\circ\text{C}$
- Maksimal hastighet i ledningene < 1 m/s

Fremgangsmåten for dimensjoneringen baserer seg på å betrakte den mest ugunstige ledningskretsen i nettet. Deretter identifiseres rørlengdene for varmtvannsledningene med tilhørende varmetap per lengdeenhet. Med ugunstig krets i denne sammenhengen menes et bestemt rørstrekk hvor det opptredende varmetapet i nettet er størst. Tapene i varmtvannsledningene multipliseres med sine respektive rørlengder og summeres til et totalt varmetap. Målet med denne operasjonen er å beregne en massestrøm som kan erstatte varmetapet for den mest ugunstige kretsen. VVC-ledningen dimensjoneres på bakgrunn av vannmengden. I tabellen under følger en oversikt over beregningen.

Tabell 7.1: Varmetapet i rørene er beregnet på bakgrunn av $T_f=65^\circ\text{C}$, $T_r=61^\circ\text{C}$ og bakketemperatur, $T_s=-3^\circ\text{C}$, $\lambda_s=1,6$ W/mK, $\lambda_i=0,027$ W/mK med (5.1) og (5.2)

Nominell diameter (mm)	Ledningstype	Varmetap i rør (W/m)	Lengde (m)	Varmetap (W)
40	Hovedledning	12,3	20	246
32	Grensledning	10,8	337	3639,6
20	Stikkledning	8,3	6	49,8
		Totalt varmetap		3935,4

Det totale varmetapet, Q_{total} , er da 3,935 kW. Finner da den nødvendige vannmengden på bakgrunn av totalt varmetap (4.7):

$$m = \frac{Q_{\text{total}}}{C_p \Delta T} = \frac{3,935}{4,2 \cdot 4} = 0,234 \text{ kg/s}$$

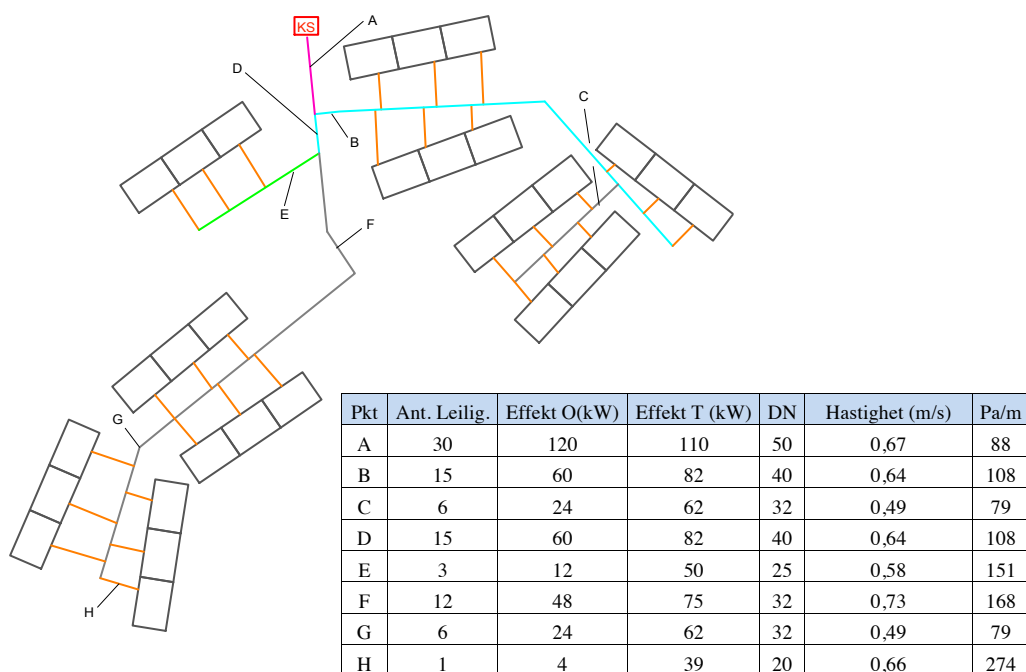
Beregner deretter nødvendig diameter (4.8):

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot m}{\pi \cdot w \cdot \rho}} = \left(\sqrt{\frac{4 \cdot 0,234}{\pi \cdot 1 \cdot 983}} \right) \cdot 1000 = 17,4 \text{ mm}$$

For denne diameteren er DN20 det nærmeste valget. Velger derfor denne dimensjonen som sirkulasjonsledning. Da produsentene ikke tilbyr lavere dimensjoner i preisolerte stålrør må denne dimensjonen velges som sirkulasjonsledning. Dette vil også gjelde for det lille nettet. Røret vil i dette tilfellet bli noe overdimensjonert og kan by på mer varmetap. Dimensjonering med plastrør, steelflex eller aluflex kan muligens være en mer hensiktsmessig løsning, men vil ikke bli gjennomført i denne oppgaven.

7.2 Dimensjonering - lite nett

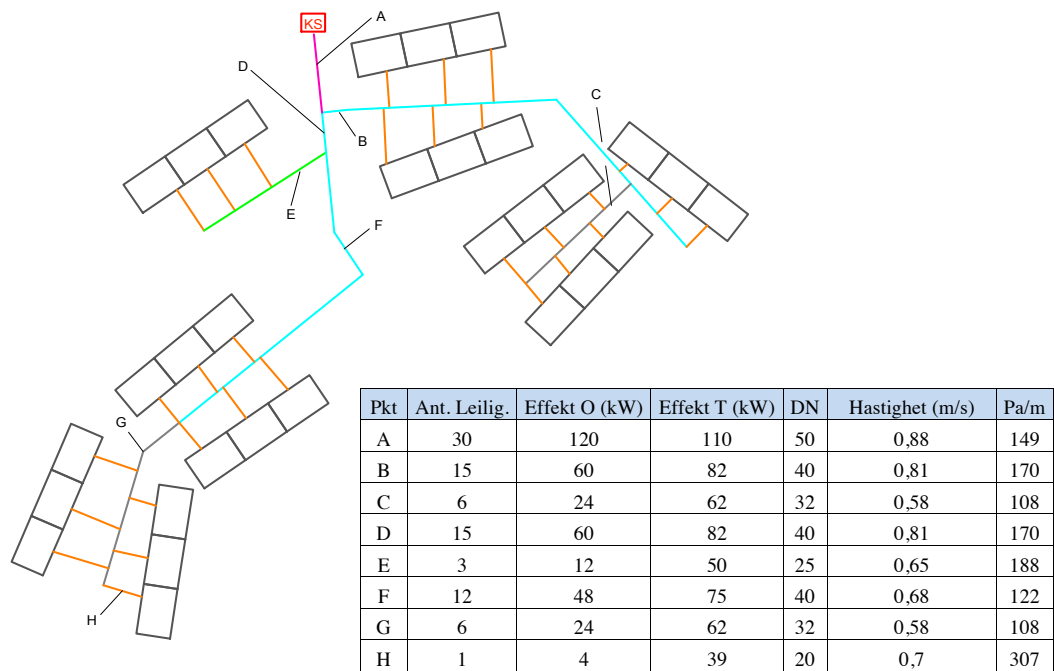
7.2.1 System 1



Figur 7.6: Dimensjonsskisse m/informasjonstabell lite nett system 1.

Trykkfallet per meter i dette systemet ligger noe lavere enn 150 Pa/m for mange av rørledningene. Stikkledningene har et trykkfall på 274 Pa/m.

7.2.2 System 2

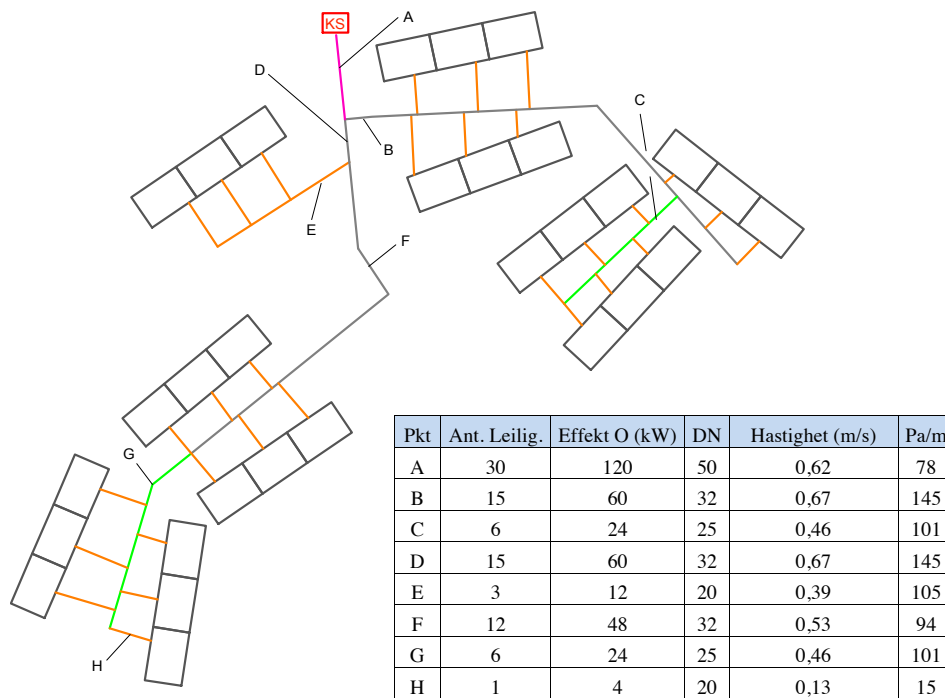


Figur 7.7: Dimensjonskisse m/informasjonstabell for lite nett system 2.

Trykkfallet per meter i dette systemet ligger høyere i gjennomsnitt for de forskjellige ledningene enn i system 1.

7.2.3 System 3

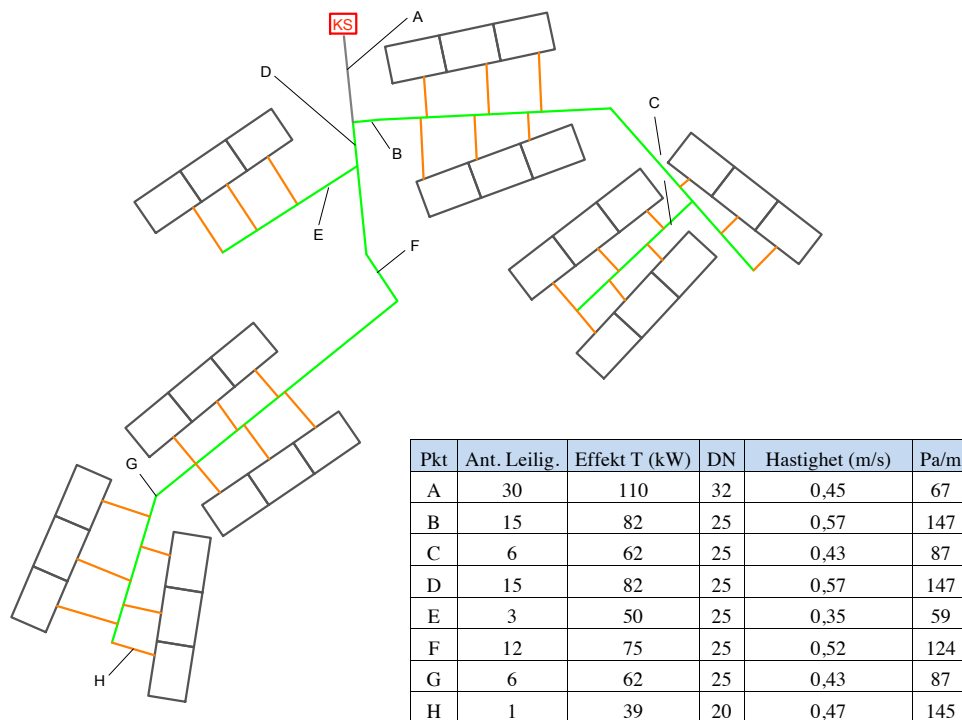
Oppvarming



Figur 7.8: Dimensjonsskisse m/ informasjonsskisse for oppvarmingskretsen for system 3.

I dette systemet ligger mange av rørledningene langt under 150 Pa/m. Det vil gi et litt lavere pumpeenergiforbruk på oppvarmingskretsen, men må sees i sammenheng med det ekstra forbruket som kommer i forbindelse med tappevannskretsen.

Tappevann



Figur 7.9: Dimensjonsskisse m/informasjontabell for varmtvannsledning for system 3.

Massestrømmen for tappevann er regnet ved å bruke samtidighetsformelen for tappevann i rørledningene. Figuren viser varmtvannsledningene for tappevannskretsen. I tillegg vil det fremkomme en VVC-ledning i DN20.

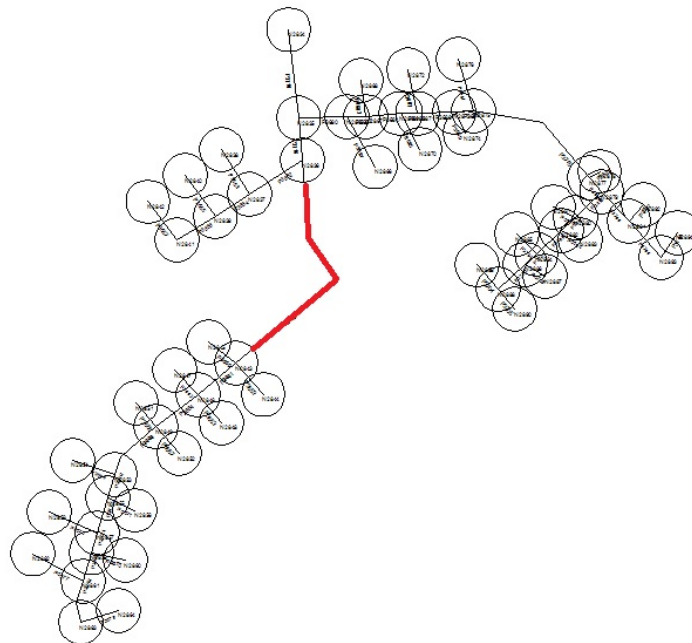
7.3 Varmetap i rør

Det vil nå gjennomføres en kontrollberegning ved å bruke NS-EN 13941. Målet med denne øvelsen er å verifisere resultatene fra Netsim. Dette gjøres på bakgrunn av usikkerheten omkring et utvalg parametere som programvaren bruker. Bakkens og isolasjonsmaterialets varmeledningsevne, avstand mellom rørene samt overdekning er ikke eksplisitt gitt i programmet og må derfor kvalitetssikres. Beregningen vil ta utgangspunkt i et bestemt rørstrekk for lite nett i system 1 hvor sammenligningsparameteren vil være rørets U-verdi. Følgende betingelser vil gjelde i beregningen:

- $T_f = 70^\circ\text{C}/343\text{ K}$
- $T_r = 40^\circ\text{C}/313\text{ K}$
- $T_s = 6^\circ\text{C}/279\text{ K}$
- $C = 0,15\text{ m}$
- $\lambda_s = 1,6\text{ W/mK}$
- $\lambda_i = 0,027\text{ W/mK}$
- Overdekning: $h = 0,6\text{ m}$ (blir referert til som Z i NS EN 13941)

Rørets spesifikasjoner:

- Rørtype: Preisolert stålrør DN 32
- Isolasjonsserie: 2
- D_c = Ytre diameter av beskyttelseskappe = 125 mm
- d_0 = Ytre diameter av medierør = 42,4 mm



Figur 7.10: Avbildet utvalgt rørstrekk fra Netsim, lite system 1.

Varmemotstand i jorda

Beregner først Z_C og bruker (5.6):

$$Z_C = \left(0,6 + \frac{0,125}{2}\right) + 0,0685 \cdot 1,6 = 0,7721 \text{ meter}$$

$$R_s = \frac{1}{2\pi \cdot 1,6} \ln \frac{4 \cdot 0,7721}{0,125} = 0,3190 \frac{\text{mK}}{\text{W}}$$

Varmemotstand i isolasjonsmaterialet

Beregner først D_{PUR} , trekker i fra veggtykkelse fra beskyttelseskappe med (5.7):

$$D_{PUR} = 0,125 - 2 \cdot 0,003 = 0,119 \text{ m.}$$

$$R_i = \frac{1}{2\pi \cdot 0,027} \ln \frac{0,119}{0,0424} = 6,0831 \frac{\text{mK}}{\text{W}}$$

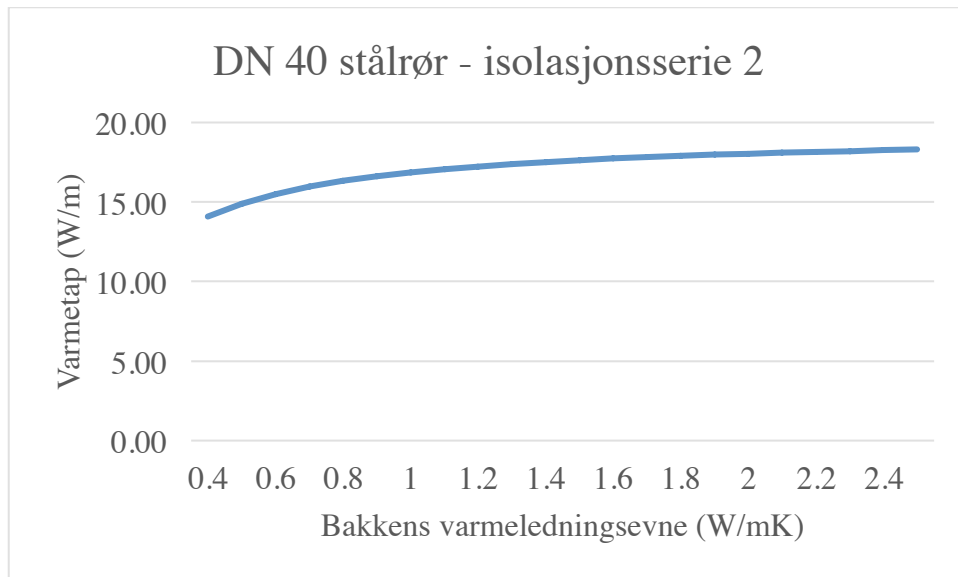
Beregner U_1 med (5.3):

$$U_1 = \frac{0,3190 + 6,0831}{(0,3190 + 6,0831)^2} \approx 0,16 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

Verdi for U-verdi for turledning i Netsim: Heat loss factor (s) = 0,18 W/mK.

Resultatet viser en feilmargin på ca. 3% og anses derfor som akseptabel. Feilmarginen kan skyldes avrundinger samt små unøyaktigheter i fra øvrige parametere.

I litteraturstudiet ble det belyst omkring usikkerhet i bakkens varmeledningsevne og betydningen av denne i forhold til varmetapet. Figuren under viser forholdet mellom varmetap og ulike verdier av jordens varmeledningsfaktor for et DN 40 rør i isolasjonsserie 2. Her ser vi at effekttapet per lengdeenhet er øker ved en høyere varmeledningsfaktor. Laveste og høyeste verdi for effekttap er henholdsvis 14,09 W/m og 18,30 W/m. Forskjellene er ikke drastiske, men illustrerer likevel at bakkens varmeledningsevne utgjør en usikkerhet.



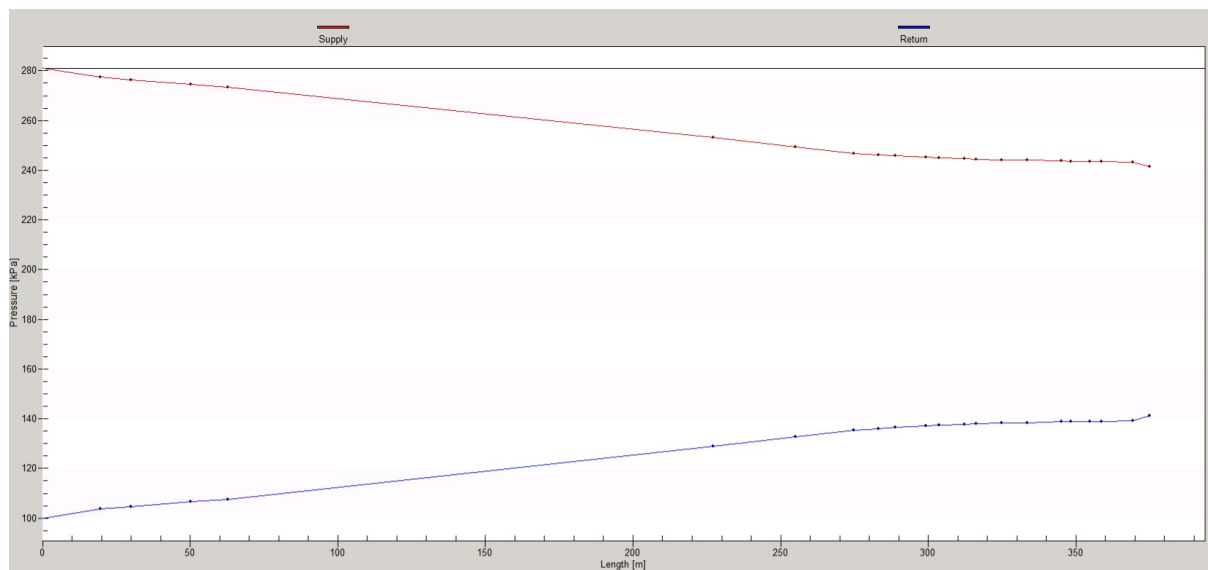
Figur 7.11: Forholdet mellom varmetap i et DN40 rør og bakkens varmeledningsevne.

7.4 Trykktap

7.4.1 Effektsummering belastet krets

I modellering- og dimensjoneringsprosessen må nettets mest ugunstige krets identifiseres. I denne sammenhengen vil ugunstig krets være rørføringer i nettet hvor de opprettede trykktapene vil være størst. Dette er en helt nødvendig operasjon i å sørge for at sirkulasjonspumpen er i stand til å levere maksimal effekt til nettets ytterste kunde. Da det ikke finnes kotehøyder i nettene vil ytterste kunde være plassert lengst unna slik Figur 7.12. Det må derfor være tilstrekkelig differansetrykk i dette punktet inkludert all trykktap underveis.

I Netsim defineres minimum differansetrykk hos ytterste kunde (YK) til å være 100 kPa. Av dette utgjør trykktap i varmevekslere omkring 25-30 kPa. Det tillegges en trykktapsfaktor på 10% for enkeltmotstander som bend, T-stykker, overganger etc. som medregnes i totalt trykktap over sirkulasjonspumpen (ΔP). På venstre side i Figur 7.12 tilsvarer området mellom tur- og returgrafene trykktapet over pumpen, hvor differansetrykket hos ytterste kunde er vist på høyre side. Da det ikke er høydeforskjeller i rørnettet er trykktapet tilnærmet lineært avtagende. Ved høydeforskjeller i nettet ville kurvene fått en bråere vending i enten opp eller nedgående retning. Punktene på kurvene indikerer noder hvor det forekommer en endring i massestrøm. Endringen skyldes ulikt effektbehov i nettet på de forskjellige punktene. Kurvene får en liten knekk i hvert punkt da trykkfallet vil være forskjellig i hver ledning. Øvre og nedre linje i grafen representerer henholdsvis tur- og returledning.

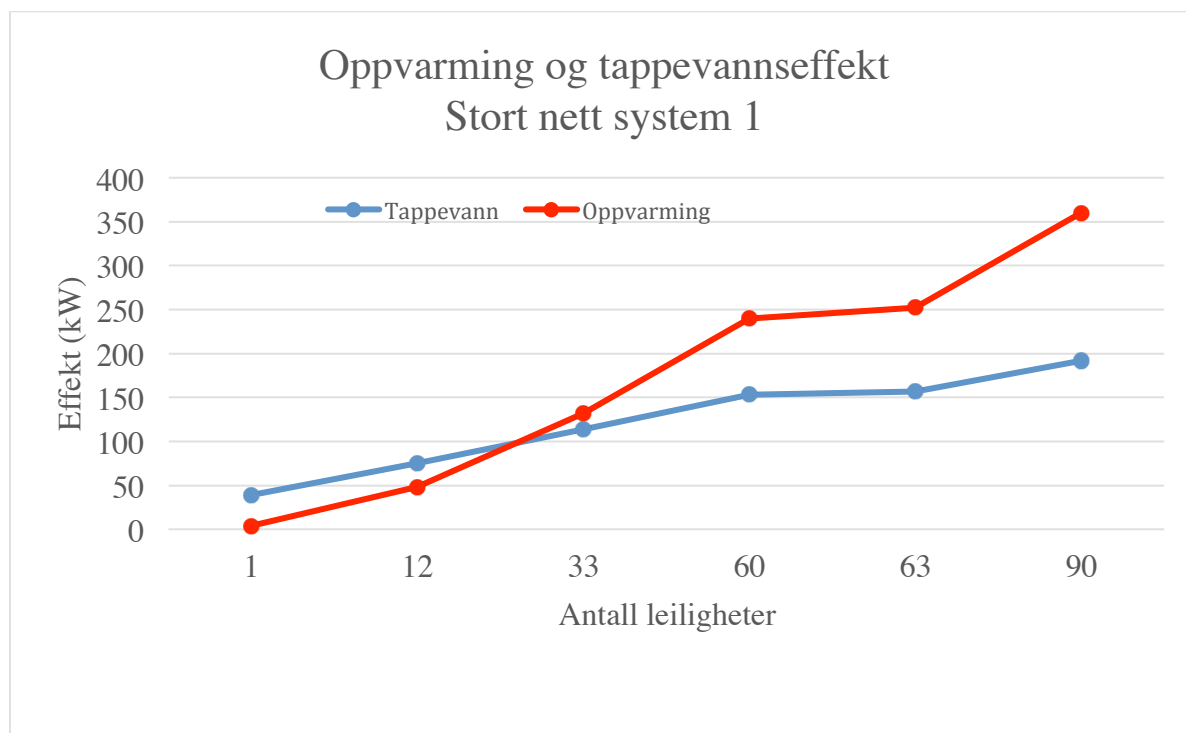


Figur 7.12: Bilde fra Netsim. Venstre side viser differansetrykk i nettet, mens høyre side viser differansetrykk over utstyr.

Da 2-rørs systemer opererer med integrerte kretser for oppvarming og tappevann kan simuleringsarbeidet i Netsim bli noe mer utfordrende. Det må tas hensyn til en samtidighetsfaktor for tappevannseffekten, hvor denne vil variere i takt med antall boenheter som betraktes. I tabell Tabell 7.2 utgjør tappevannseffekten 192 kW for hele nettet i punkt 1, og reduseres deretter til 157 kW i punkt 2. Tilhørende oppvarmingseffekt i begge punkter vil være 360 kW og 252 kW. På bakgrunn av effektverdiene ser vi at tappevannet utgjør en større andel av oppvarmingen fra punkt 1 til 2. Fra Figur 7.13 blir denne utviklingen mer visuelt fremstilt. Etterhvert som antall boliger reduseres blir differansen mellom tappevann og oppvarmingseffekt stadig mindre. Ved 12 leiligheter er tappevannseffekten høyere. Dette skyldes at massestrømmen minker i den mest belastede kretsen etterhvert grensledningene passeres.

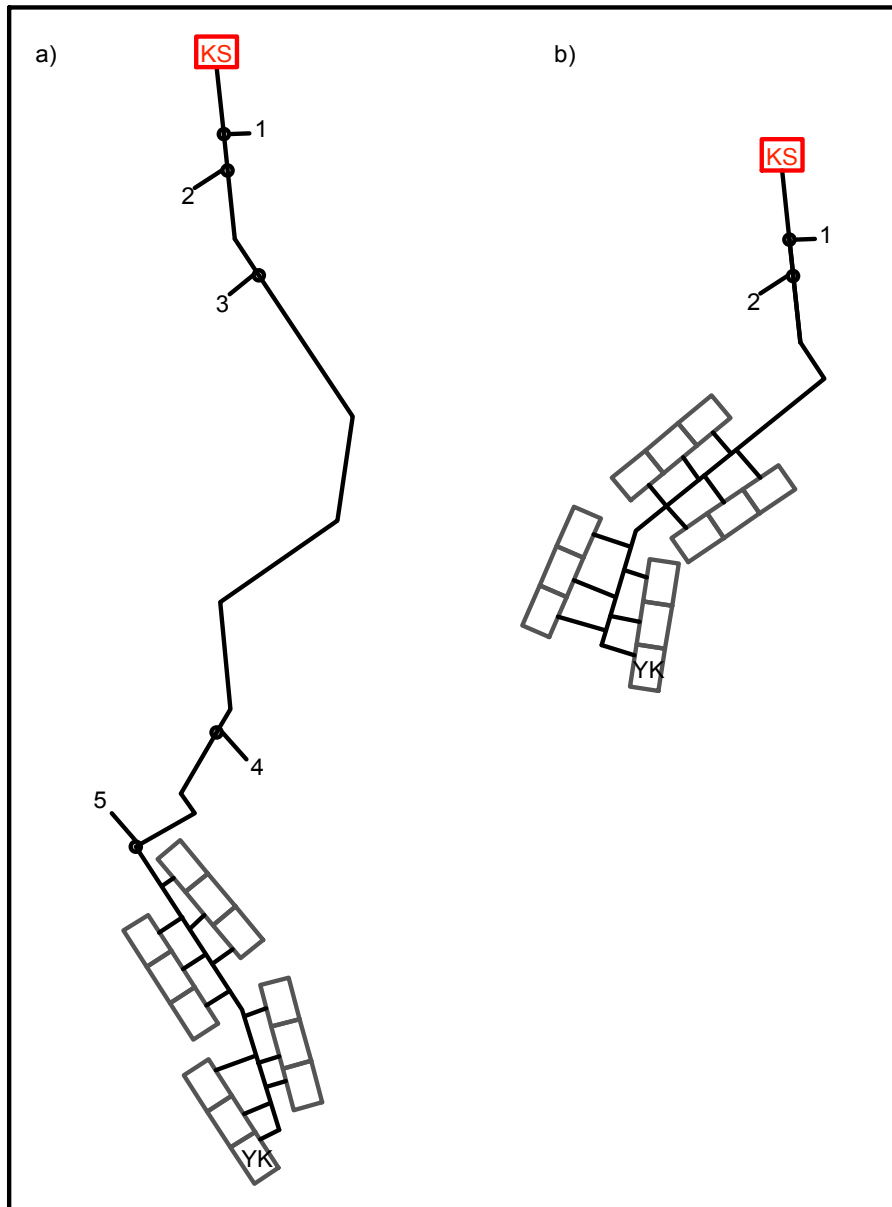
Tabell 7.2: Fordelingspunkter av tappevann for stort nett system 1.

Punkt	Antall leiligheter	Tappevannseffekt	Differanse
1	90	192	35
2	63	157	4
3	60	153	39
4	33	114	39
5	12	75	36
YK	1	39	-



Figur 7.13: Oppvarmings- og tappevannseffekt ved tilhørende antall leiligheter.

Fra verdiene i Tabell 7.2 vil det bli beskrevet en fremgangsmåte for hvordan 2-rørs systemer kan simuleres i Netsim, ved å fordele tappevannseffekten langs den mest belastede kretsen. Dette oppsettet vil riktignok ikke gjelde system 3 da kretsene er separate. I Figur 7.14 er mest den mest belastede kretsen skissert for begge nett. For de store nettene er det punkt 1-2-3-4-5-YK, hvor rørstrekk L er stikkledning inn til rekkehusleiligheten hos ytterste kunde. Tilsvarende for de små nettene gjelder punktene 1-2-YK, hvor H er tilsvarende stikkledning.



Figur 7.14: a) Belastet streng for stort og b) for lite nett med angitte samlingspunkter for tappevannseffekter.

Innledningsvis defineres oppvarmingseffekten på 4 kW i Netsim. Som tidligere nevnt tilsvarer tappevannseffekten på 192 kW for hele nettet i punkt 1. Mellom punkt 1 og 2 bortfaller rørstrekk C med 27 rekkehusleiligheter og et tilhørende effektbehov på 35 kW. Denne differanseverdien representerer derfor den effekten som plasseres i noden for punkt 1, før vi fortsetter til neste punkt med et effektbehov på 157 kW. Samme praksis gjelder for øvrige punkter, hvor summen av differanseverdiene tilsvarer total tappevannseffekt for hele nettet.

7.4.2 Produsert effekt og varmetap

For å beregne nødvendig produsert effekt i kundesentralen må det tas hensyn til effekttap som oppstår underveis mellom kundesentralen og boligens villasentral. Varmetapet i rørrettet mellom disse punktene må erstattes for å levere nødvendig effekt. Dette avsnittet viser simuleringresultatene fra Netsim på de ulike nettene. Produsert effekt representerer nødvendig levert effekt fra kundesentralen, mens forbrukt effekt benyttes til oppvarming, tappevann og ventilasjon. Tabellene under er kun gyldig ved dimensjonerende forhold da behovet er avhengig av bruksvaner. Varmetapet vil være konstant så lenge vannet i rørledningene sirkulerer. Dette betyr at varmetapet vil utgjøre en større andel av produsert effekt i sommermånedene sammenlignet vintermånedene. Tap i prosent angir hvor stor andel som går tapt.

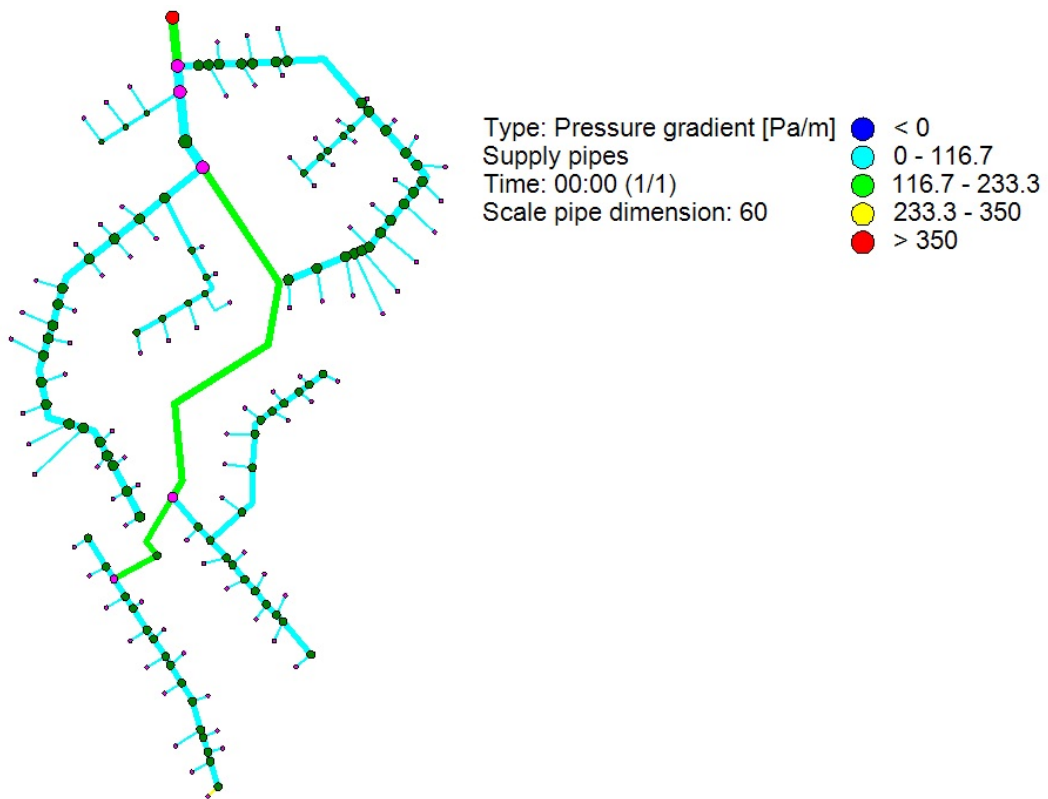
Stort nett

Forbrukt effekt, varmetap i rør og produsert effekt for System 1, 2 og 3 er vist i Tabell 7.3. For det store nettet er varmetapene på 37,7 kW og 39,8 kW, noe som gir en reduksjon på 2,1 kW fra system 2 til system 1. Varmetapet i system 3 er på 20,8 kW i oppvarmingskretsen, mens 25,5 kW går tapt i tappevannkretsen. For system 3 utgjør dette et totalt varmetap på 46,3 kW. Hovedårsaken til at varmetapene er større i system 2 enn system 1 er at rørdimensjonene er større og medfører et høyere varmetap. Dette fører til at system 2 må produsere mer varme for å kompensere tapet. Oppvarmingskretsen i system 3 har det laveste varmetapet i prosent ved at den opererer som et utetemperaturkompensert system. Sirkulasjonskretsens høye varmetap skyldes en temperatur på over 60 °C gjennom hele året.

Tabell 7.3: Resultater for stort nett etter analyse i Netsim. Produsert og forbrukt effekt for system 1, 2 og 3 ved dimensjonerende forhold. Tappevannskretsen er beregnet i vedlegg F.

System	Forbrukt effekt (kW)	Varmetap (kW)	Produsert effekt (kW)	Tap [%]
1	552	37,7	589,7	6,4
2	552	39,8	591,8	6,7
3 oppv	360	20,8	380,8	5,5
3 tapp	192	25,5	217,5	11,7

Figur 7.15 viser en simulering i Netsim hvor systemet er korrigert for varmetap. Dette vil medføre en høyere massestrøm i rørrettet enn beregnet innledningsvis, og dermed føre til et større trykktap enn ved dimensjonsvalget. Tillegget i massestrøm skyldes at det må kompenseres for tap i nettet.



Figur 7.15: Trykkfall pr. meter fra analyse i Netsim for stort nett system 1.

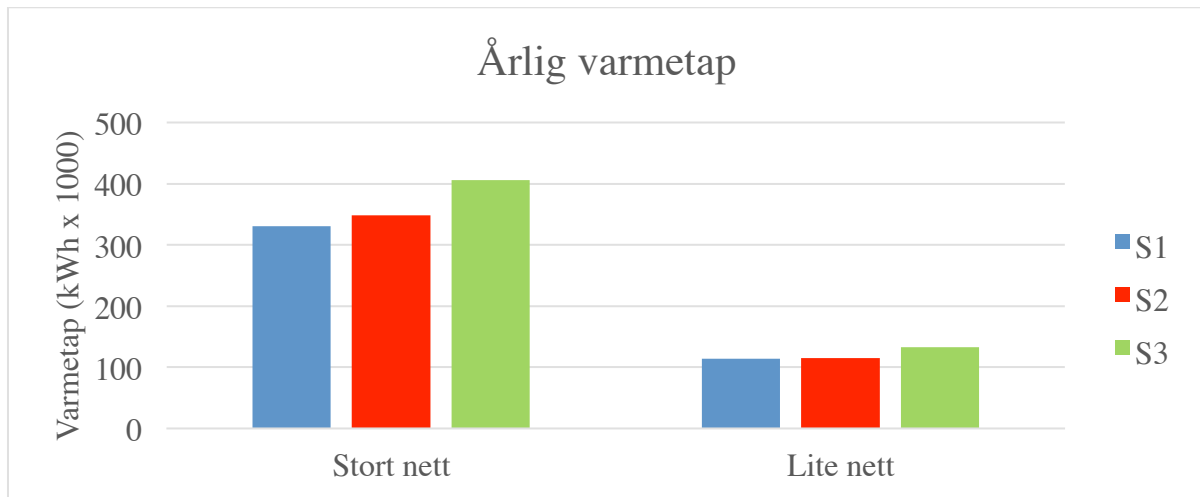
Lite nett

Forbrukt effekt, varmetap i rør og produsert for system 1 og 2 er vist i Tabell 7.4, hvor varmetapene i rørene er på henholdsvis 13 kW og 13,1 kW. Det viser seg at varmetapene for system 3 ligger i samme størrelsesorden. Her går 6,4 kW tapt i oppvarmingskretsen, mens 8,7 kW går tapt i tappevannskretsen. Til sammen utgjør dette et varmetap på 15,1 kW. Fra system 2 til 1 innebærer en reduksjon i effekttap på beskjedne 0,1 kW. Kun en dimensjon skiller de to systemene. Det er derfor ikke unaturlig at tapet blir svært likt.

Tabell 7.4: Resultat fra analyse i Netsim over produsert og forbrukt effekt for system 1, 2 og 3 lite nett. Tappevannskretsen er beregnet i vedlegg F.

System	Forbrukt effekt (kW)	Varmetap (kW)	Produsert effekt (kW)	Tap [%]
1	230	13	243	5,3
2	230	13,1	243,1	5,4
3 opp	120	6,4	126,4	5,1
3 tapp	110	8,7	118,7	7,3

Ved å multiplisere alle varmetapene på de ulike systemene med driftstiden på 8760 timer/år fører dette til et årlig varmetap som vist i Figur 7.16



Figur 7.16: Sammenlikning av årlig varmetap i kWh for system 1-3.

7.5 Pumper

7.5.1 Valg av pumpe

Pumpene har blitt valgt på bakgrunn av trykkfall og produsert effekt i rørnett. For valg av pumpe er det valgt å benytte et dimensjoneringsverktøy fra Grundfos[43] for å finne tilhørende pumper til de ulike systemene.

Forutsetningene for pumpevalget er som følger:

- Pumpene skal være flenset for å sikre god mulighet for vedlikehold
- Trykkklasse PN16
- Minimum væsketemperatur på 5 °C
- Maksimum væsketemperatur på 60/70 °C avhengig av systemløsning
- Pumpenes reguleringskarakteristikk er proposjonal trykkstyring
- Integrert frekvensomformer

I Tabell 7.5 vises valg av diverse hovedsirkulasjonspumper ved dimensjonerende data for løftehøyde og volumstrøm. Trykktapet som er beregnet i Netsim vil i dette tilfellet ha den samme løftehøyden som pumpe. Det må presiseres at korrosjon og smuss vil medføre et høyere pumpeenergiforbruk i senere år, men at virkningsgradene i forhold til reelle verdier uansett er et usikkerhetsmoment. Under vises et eksempel på hvordan nødvendig volumstrøm for lite nett system 1 beregnes. Pumpen skal generere denne volumstrømmen for å overvinne motstanden i rørnett (ΔP). Tilsvarende gjelder de andre systemene. Volumstrømmen regnes med (4.7) og (4.8):

$$V_{\text{maks}} = \frac{243 \text{ kW}}{4,2 \cdot 30 \cdot 983} = 1,96 \text{ l/s}$$

Tabell 7.5: Oversikt over valgte hovedsirkulasjonspumper for system 1-3 lite og stort nett. Trykktap beregnet i vedlegg F for tappevannkretsen.

Nett	System	ΔP (kPa)	Qmax (kW)	ΔT (C)	Q (l/s)	Valgt pumpe
Lite	1	140	243	30	2	TPE3 32-180-S
	2	144	243,1	20	2,9	TPE3 32-200-S
	3	164	126,4	20	1,5	CRE 5-4
Stort	1	181	589,7	30	4,8	TPE3 40-240-S
	2	225	591,8	20	7,2	TPE50-290-S
	3	224	380,8	20	4,6	TPE 32-380

7.5.2 Pumpeenergiforbruk

Hovedsirkulasjonspumpe

Pumpeenergiforbruket beregnes ved å benytte en fordeling for sannsynlig volumstrøm i et mengderegulert system. Volumstrømmen ved driftspunkt 2 tilsvarer 75 % av maksimal belastning på nettet. Ved proporsjonaltrykkstyrte pumper opereres det med en fordeling av løftehøyden på 100 %, 88 %, 75 % og 63 % [43] ved henholdsvis driftspunkt 1, 2, 3 og 4. Driftstimene på hovedsirkulasjonspumpen er satt til 8760 timer/år.

Ved driftspunkt 2 vil derfor pumpeenergiforbruket beregnes med (4.14):

$$P = \frac{(0,88 \cdot 1,4) \cdot (2 \cdot 0,75) \cdot 60}{0,407 \cdot 600} = 0,442 \text{ kW}$$

hvor

$$\eta_{\text{tot}} = \eta_p \eta_m$$

η_p = Pumpens virkningsgrad

η_m = Motorens virkningsgrad

Ved å multiplisere antall driftstimer med andel av tiden pumpen går med denne volumstrømmen, vil det årlige forbruket ved driftspunkt 2 beregnes som følger:

$$P = 0,442 \cdot 1314 = 581 \text{ kWh}$$

Tabell 7.6: Beregning av pumpeenergiforbruk for system 1 lite nett ved samtlige driftspunkter.

Driftspunkt	ΔP (bar)	Q (l/s)	η_{tot}	Forbruk (kW)	timer/år	kWh/år
1	1,4	2	47,1%	0,594	526	312
2	1,2	1,5	40,7%	0,442	1314	581
3	1,1	1	32,0%	0,344	3066	1055
4	0,9	0,5	19,2%	0,234	3854	902
					sum	2850

VVC-pumper

VVC-pumpene i system 3 er satt til å sirkulere 8760 timer. Disse pumpene er valgt uregulerte da deres eneste funksjon er å sirkulere varmtvannet. Dette medfører at det blir kun ett driftspunkt for disse pumpene. Pumpen for det store og lille nettet vil kreve et energiforbruk på henholdsvis 1770 og 385 kWh/år (Se Tabell 7.7 og Tabell 7.8).

Tabell 7.7: Pumpeenergiforbruket for sirkulasjonspumpe system 3 lite nett.

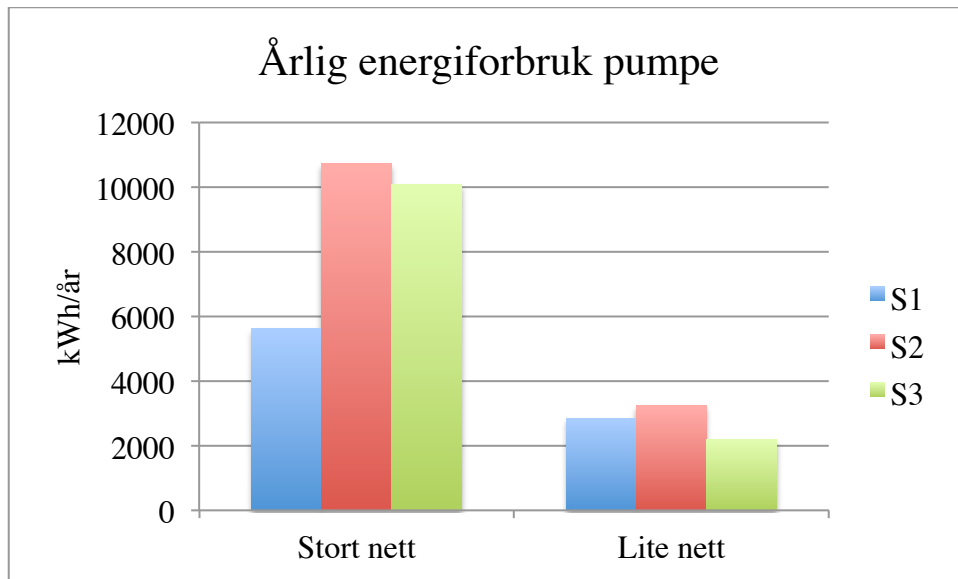
Driftspunkt	ΔP (bar)	Q (l/s)	η_{tot}	Forbruk (kW)	timer/år	kWh/år
1	0,49	0,13	14,5%	0,044	8760	385

Tabell 7.8: Pumpeenergiforbruket for sirkulasjonspumpe system 3 stort nett.

Driftspunkt	ΔP (bar)	Q (l/s)	η_{tot}	Forbruk (kW)	timer/år	kWh/år
1	1,9	0,28	26,3%	0,202	8760	1770

Samlet energiforbruk

Det årlige pumpeenergiforbruket for samtlige systemer er vist i figuren under. System 1 og 2 vil tilsvare energiforbruket til hovedsirkulasjonspumpen, mens for system 3 vil det være et samlet forbruk av varmtvanns- og hovedsirkulasjonspumpen. Det totale forbruket er 5630, 10743, 10086 kWh/år for stort nett, og 2850, 3245 og 2201 kWh/år for det lille nettet (se Figur 7.17). Etersom alle systemene har blitt dimensjonert i forhold til et trykkfall på 150 Pa/m, er det ikke uventet at pumpeenergiforbruket er tilnærmet like. Unntaket er stort nett system 1 som har et vesentlig lavere forbruk. Dette skyldes at systemet operer med en høyere ΔT .



Figur 7.17: Årlig pumpeenergiforbruk for system 1-3 lite og stort nett. Fullstendige beregninger i vedlegg C.

7.6 Redusert dimensjon

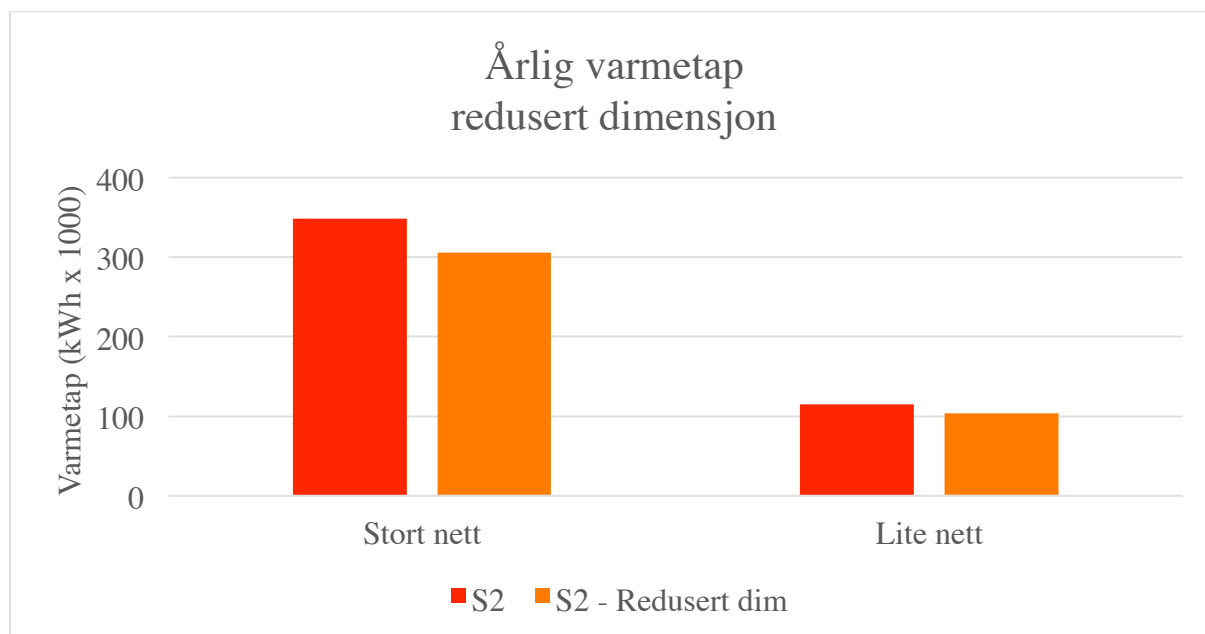
Dette avsnittet sammenligner resultatene for varmetap og pumpeenergiforbruk for system 2 med reduserte dimensjoner. Målet er å belyse hvilken betydning denne operasjonen har for systemets energieffektivitet. Stikkledningene vil beholde samme dimensjon mens dimensjonene for hoved- og grenledninger reduseres. Dette vil medføre et mindre varmetap for rørledningene og et høyere pumpeenergiforbruk.

7.6.1 Varmetap

En dimensjonsreduksjon fører til varmetap på henholdsvis 11,8 kW og 34,9 kW. Dette gir en reduksjon i effekttap på 1,3 kW for det lille nettet og 4,9 kW for det store nettet. Endringen skyldes hovedsakelig en mindre rørdimensjon som gir et lavere varmetap.

Tabell 7.9: Resultat etter analyse i Netsim over varmetap, produsert og forbrukt effekt. Redusert dimensjon og opprinnelige verdier.

Forbrukt effekt (kW)	Varmetap (kW)		Produsert effekt (kW)		Tap (%)	
	Opprinnelig	Redusert	Opprinnelig	Redusert	Opprinnelig	Redusert
230	13,1	11,8	243,1	241,8	5,4	4,9
552	39,8	34,9	591,8	586,9	6,7	5,9



Figur 7.18: Sammenlikning av årlig varmetap i kWh for system 2 redusert dimensjon.

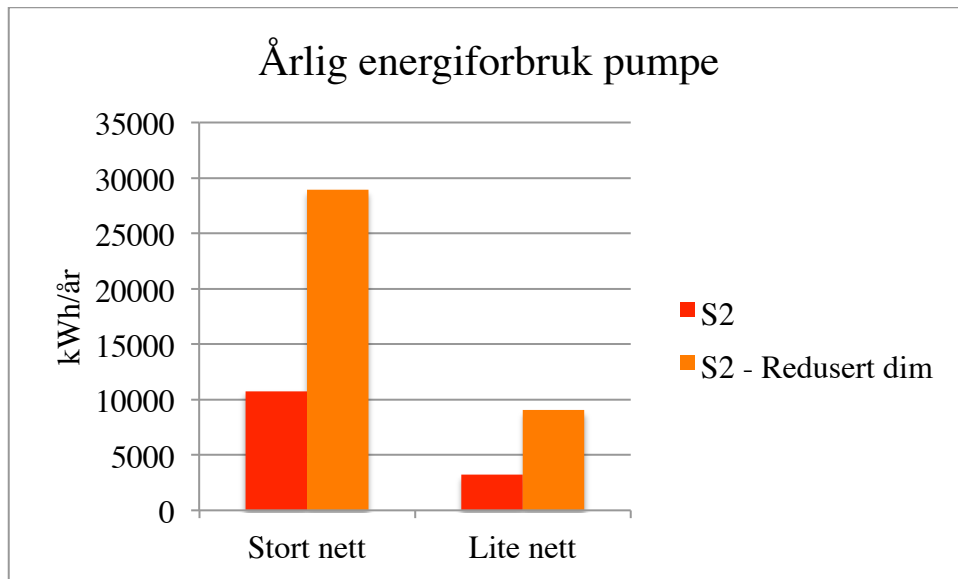
7.6.2 Pumpekraft kontra varmetap

Under er det gjort en analyse på store og det lille nettet for å se hvilken innvirkning det vil ha for pumpeenergiforbruket.

Tabell 7.10: Trykktap, produsert effekt, volumstrøm og valg av pumpe for redusert dimensjon.

Nett	System	ΔP (kPa)	Q_{max} (kW)	ΔT (C)	Q (l/s)	Valgt pumpe
Lite	1	301	243,6	20	3	TPE32-380
Stort	2	485	586,9	20	7,1	TPE 40-530

Ved å gå ned en dimensjon på system 2 vil pumpeforbruket øke fra 10743 til 28910 kWh/år for det store nettet, mens det lille nettet vil øke fra 3245 til 9057 kWh/år.



Figur 7.19: Årlig pumpeenergiforbruk ved å gå en dimensjon ned. Opprinnelig verdi er tatt med som sammenlikning.

8 Kostnadsanalyse

Dette kapitlet utreder hvilke kostnadskomponenter de ulike nettene består av, og sammenligner deretter de totale kostnader på tvers av systemene. Kostnadene er sammensatt av:

- Investeringskostnader: Rørmateriale, sirkulasjonspumper, kundesentraler og villasentraler
- Driftskostnader: Varmetap og pumpeenergiforbruk. Vurderes over en periode på 30 år med en diskonteringsrente på 6%.
- Vedlikeholdskostnader: pumper

På samme måte som i foregående kapittel vil det også her bli gjort en kostnadsanalyse av system 2 med reduserte dimensjoner. Målet er å belyse hvilken effekt dette har på sammenligningen av varmetap kontra pumpeenergiforbruk.

8.1 Investeringskostnader

8.1.1 Rør

Å bestemme totale investeringskostnader i rørmateriell kan være en intrikat prosess. Det må innhentes informasjon om flere ulike kostnadsposter, både når det gjelder ulike varer og tjenester, som allokeres og resulterer i en total kostnad for hver enkelt rørdimensjon. I denne delen vil vi innledningsvis se nærmere på de ulike kostnadselementene som inngår ved fjernvarmeutbygging, og deretter presentere kostnadsresultatene for system 1-3. Rapporten ”Kostnader for fjernvarmeutbygging” har i denne sammenhengen blitt brukt som et hjelpeverktøy til å definere de ulike kostnadene, samt hvilke kostnadskomponenter som inngår i forprosjekteringsfasen[32].

Tabell 8.1 viser en oversikt av hvilke kostnadselementer per meter grøft som inngår for de ulike dimensjonene i isolasjonsklasse 2. Da det ikke foreligger tilsvarende prisinformasjon for alle dimensjoner har det blitt foretatt alternative tilnærminger til å generere prisene. Disse blir nærmere beskrevet under. Prisene i tabellen er fra 2010 og har derfor blitt korrigert med en generell konsumprisindeks på 8,5% frem til 2015.

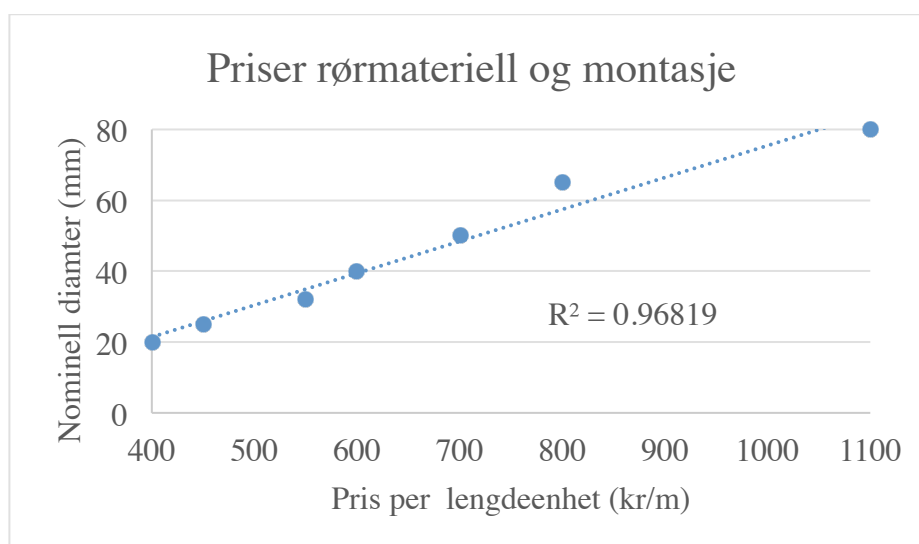
Kostnadselementene i tabellen blir inndelt i følgende punkter:

1. Rørkostnader som omfatter innkjøp av materiell (rør, bend, ventiler, muffe etc.)
2. Rørmontasje med sveising, muffing og alarmsystem
3. Grøftarbeid inklusive graving, sprengning, fjerning samt tilkjørsel av nye masser
4. Administrative kostnader i forbindelse med prosjektering og byggeledelse, dokumentasjon etc.

Tabell 8.1: Kostnader for ulike rørstørrelser. Prisene er gitt pr. meter rør.

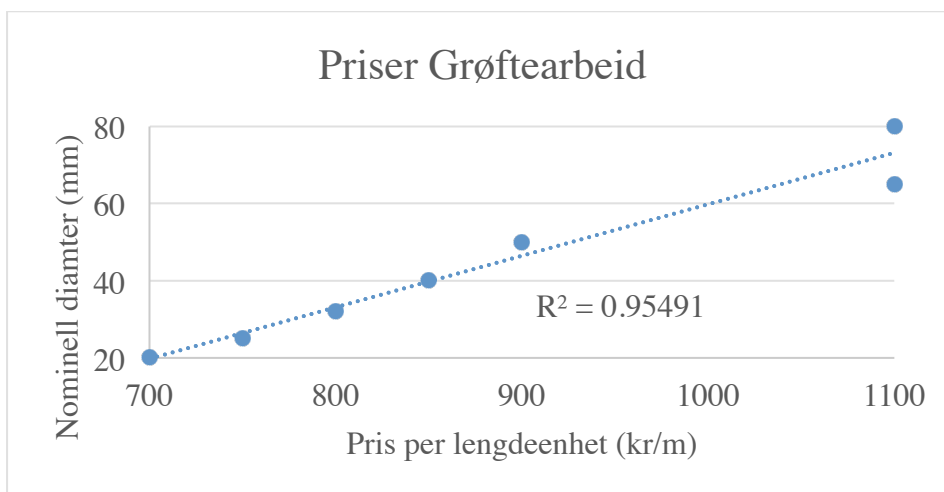
DN (mm)	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN65	DN80
Kostnadselement							
1. Rør materiell	200	225	275	300	350	400	450
2. Rørmontasje	200	225	275	300	350	400	650
3. Grøftarbeid	700	750	800	850	900	1100	1100
4. Prosj/byggeledelse	200	250	300	350	400	500	550
Konsumprisindeks	1,085	1,085	1,085	1,085	1,085	1,085	1,085
Sum kostnad per meter grøft	1411	1573	1790	1953	2170	2604	2984

Som tidligere nevnt fremkommer det ingen prisinformasjon for henholdsvis DN20 og 25, samt kostnadselement 3 og 4 for DN32. Prisinformasjon for disse dimensjonene har blitt bestemt på bakgrunn av lineære regresjonsanalyser og iterering (se Figur 8.1, Figur 8.2 og Figur 8.3).



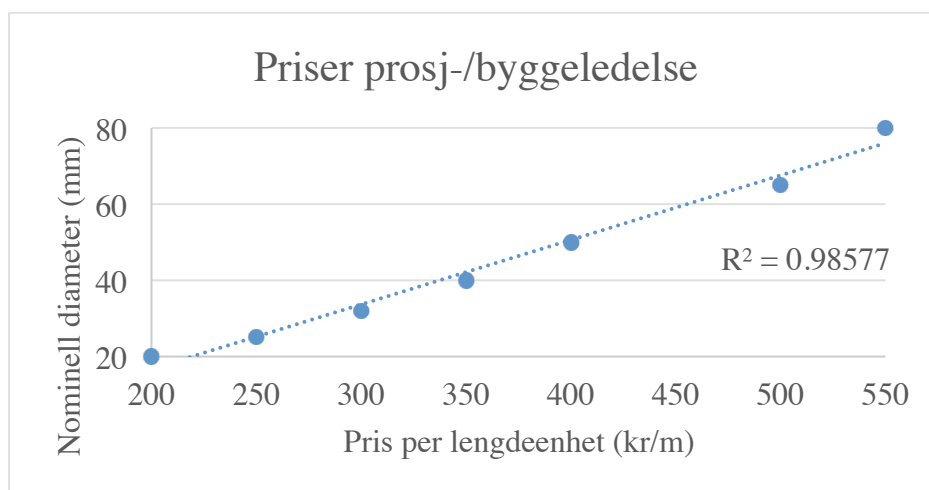
Figur 8.1: Lineær regresjonskurve for estimering for rørmateriell og montasje

Kostnadselement 1 og 2 utgjør tilsammen en komplett pris for rør og er definert til og med DN32. For øvrige dimensjoner i Tabell 8.1 så er disse verdiene tilsynelatende likt fordelt på begge kostnadselementer. Itereringsverdiene er valgt på bakgrunn av å observere prisreduksjonen mellom DN65 til DN40 hvor prisen per meter grøft reduseres med kr 100. Mellom DN32 og DN20 antas mindre prisvariasjoner hvor spranget er satt til kr 50 per meter grøft. På bakgrunn av resultatet i Figur 8.1 utgjør itereringsverdiene en feilmargin på tilsammen ca 3,2%.



Figur 8.2.: Lineær regresjonskurve for estimering av priser pr. meter for grøftarbeid

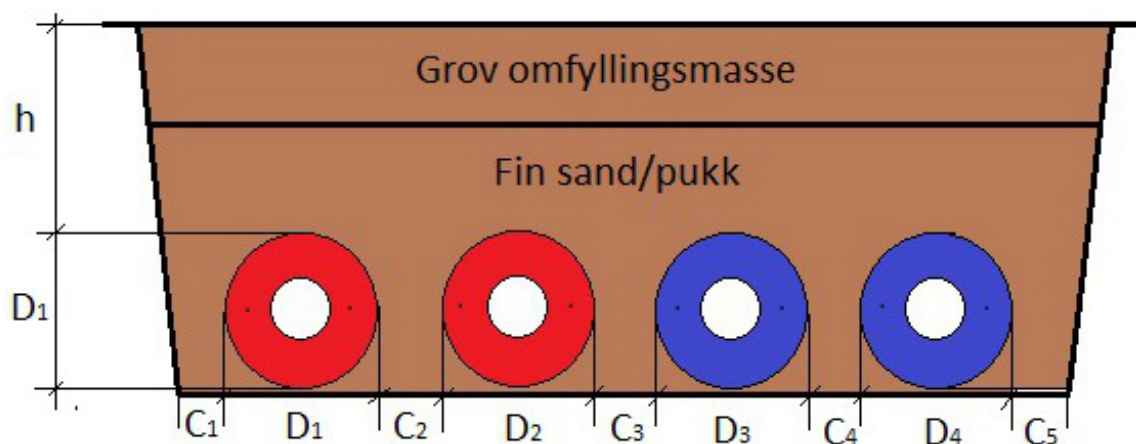
Tilsvarende fremgangsmåte er benyttet til å definere kostnader i forbindelse med grøftarbeid. Generelt sett har prisøkningen en tendens til å være kraftigst i overgangen mellom DN80 og 100. Itereringsverdiene her gir en feilmargen på ca. 4,5%.



Figur 8.3: Lineær regresjonskurve for estimering av priser prosjektering/byggeledelse.

Prisøkningen for prosjektering og byggeledelse er kr 50 per meter grøft for samtlige dimensjoner mellom DN40 og 80 og reduseres tilsvarende for DN25 og 32. Itereringsverdiene gir en feilmargen på 1,4%.

Da ovenstående kostnader for grøfteutbygging gjelder 2-rørssystemer må det derfor gjøres alternative tilnærminger for 4-rørssystemer, da et slikt system har felles grøft for oppvarmings- og tappevannsledningene. Tilleggsarealet som kreves for å romme tappevannsledningene vil bli beregnet i forhold til opprinnelig grøfteareal fra oppvarmingsledningene. Riktignok vil grøftearealet variere, avhengig av hvor man befinner seg i rørrettet, da kombinasjonen av rørparene for oppvarming og tappevannsledningene også varierer. Til tross for dette beregnes det økte grøfteareal på bakgrunn av de største rørparene. Dette vil bli utført for både stort og lite nett i system 3.



Figur 8.4: Forenklet skisse av grøften for et 4-rørssystem. D_1 , D_2 , D_3 og D_4 angir ytterdiametere til rørkappen.

Figur 8.4 viser en forenklet grøfteskisse hvor oppvarming og tappevannsledningene er markert i henholdsvis rødt og blått. Avstanden mellom rørene (C_2 , C_3 , C_4) er satt til 0,15 meter med en overdekning på 0,6 meter. Det antas at avstanden fra grøftveggen frem mot yttersiden av røret (C_1 og C_5) har samme lengde. Rørstørrelsen for tur (D_1) og returledningen (D_2) i oppvarmingskretsen vil være like, og samtidig bestemme den totale høyden i grøften. For tappevannskretsen er D_3 varmtvannsledningen mens D_4 er sirkulasjonsledning. På bakgrunn av dette gjør vi følgende betraktninger:

$$\begin{aligned} D_1 &= D_2 \\ h &= 0,6 \text{ m} \\ C_1 &= C_2 = C_3 = C_4 = C_5 = 0,15 \text{ m} \end{aligned}$$

Stort nett

Fra Figur 8.4 ser vi at største kombinasjon av rørdimensjoner i grøften er DN 65 for oppvarmingsledningene, og DN 40 og 20 for varmtvann- og sirkulasjonsledningen. Disse finnes i punkt A og H. Fra produktkatalogen finner vi følgende dimensjonsstørrelser:

Oppvarming: $D_1 = D_2 = 0,16 \text{ m}$
 Tappevann: $D_3 = 0,125 \text{ m}$ og $D_4 = 0,11 \text{ m}$

Beregner først grøftearealet bestående av kun oppvarmingsledningene:

$$\begin{aligned} A &= (C_1 \cdot D_1 + C_2 \cdot D_2 + C_3) \cdot (D_1 + h) \\ &= (3 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,16) \cdot (0,16 + 0,6) \approx 0,59 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Ser deretter på økningen av arealet med både oppvarming- og tappevannsledninger :

$$A = (C_1 + D_1 + C_2 + D_2 + C_3 + D_3 + C_4 + D_4 + C_5) \cdot (D_1 + h)$$

$$(2 \cdot 0,16 + 0,125 + 0,11 + 5 \cdot 0,15) \cdot (0,16 + 0,6) \approx 1 \text{ m}^2$$

Grøftstørrelsen øker ca. 70%.

Lite nett

Tilsvarende beregninger gjelder også lite nett. De største rørpårene er henholdsvis DN 50 for oppvarming, og DN 32 og 20 for tappevann. Fra produktkatalog finner vi følgende dimensjonsstørrelser:

- Oppvarming: $D_1 = D_2 = 0,14 \text{ m}$
- Tappevann: $D_3 = 0,125 \text{ m}$ og $D_4 = 0,11 \text{ m}$

Grøfteareal bestående av kun oppvarmingsledninger:

$$A = (3 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,14) \cdot (0,6 + 0,14) \approx 0,54 \text{ m}^2$$

Grøfteareal med oppvarming og tappevannsledninger:

$$(2 \cdot 0,14 + 0,125 + 0,11 + 5 \cdot 0,15) \cdot (0,14 + 0,6) \approx 0,93 \text{ m}^2$$

Grøftestørrelsen øker med ca 70%.

På bakgrunn av dette vil de økte grøftekostnadene for tappevannskretsen øke med 70%.

Legeringstillegg

Da tappevannskretsen er åpen kan føre til korrosjon da preisolerte stålrør stort sett produseres i karbonstål. Det er heller ingen vannbehandling av kretsen. I lys av dette brukes det derfor rustfritt stål hvor det vil påløpe en ytterligere kostnad for legeringstillegget (se Tabell 8.2). Tabellen viser aktuelle rørdimensjoner i system 3 som påregnes et legeringstillegg. Prissatsen på kr 9,52 kr/kg er gjeldende i april måned[44]. Rørvekten for de ulike dimensjonene er hentet fra Logstor sin produktkatalog.

Tabell 8.2: Legeringstillegg.

DN	Legeringstillegg (kr/kg)	Rørvekt (kg/m)	Pris (kr/m)
DN20	9,52	3,3	31,4
DN25	9,52	3,7	35,2
DN32	9,52	4,6	43,8
DN40	9,52	5	47,6
DN50	9,52	6,5	61,9
DN65	9,52	8	76,2
DN80	9,52	10	95,2

Stort nett

Totale rørinvesteringskostnader vises i Tabell 8.3

Tabell 8.3: Rørinvesteringskostnader stort nett.

Stort nett	System 1	System 2	System 3 oppv.	System 3 tapp.
DN20	2 398 700	2 398 700	2 412 810	1 938 455
DN25	117 975	117 975	353 925	162 218
DN32	402 750	402 750	578 170	1 146 716
DN40	1 304 604	630 819	673 785	26 964
DN50	2 365 300	3 113 950	2 326 240	-
DN 65	328 104	223 944	375 984	-
DN 80	-	119 360	-	-
Sum rørkostnad	6 917 433	7 007 498	6 720 914	3 274 353

Lite nett

Totale rørinvesteringskostnader vises Tabell 8.4

Tabell 8.4: Rørinvesteringskostnader lite nett.

Lite nett	System 1	System 2	System 3 oppv.	System 3 tapp.
DN20	780 283	780 283	886 108	663 813
DN25	117 975	117 975	287 859	402 257
DN32	653 350	327 570	748 220	25 037
DN40	460 908	816 354	-	-
DN50	97 650	97 650	97 650	-
DN 65	-	-	-	-
DN 80	-	-	-	-
Sum rørkostnad	2 110 166	2 139 832	2 019 837	1 091 107

Samtlige systemer har relativt like verdier for begge nettstørrelser hvor system 3 har de høyeste kostnadene. Den mest fremtredende kostnadsforskjellen er mellom system 1 og 3. For stort og lite nett blir disse adskilt med henholdsvis kr 793000 og kr 255000. Resultatet er ikke uventet. Økte rørkostnader for system 3 vil være naturlig da dette er et 4-rørs system med separate kretser. System 1 og 2 har identiske rørlengder, men er dimensjonert noe annerledes. Da system 2 har større rørdimensjoner vil dette være en kostnadsdrivende faktor.

8.1.2 Pumpe

I denne delen er det innhentet investerings- og vedlikeholdspriser for pumpene med assistanse fra pumpeprodusenten Grundfos. Investeringsprisene som er listet opp under vil i følge Grundfos være rabatterte i forbindelse med prosjekter, men i denne sammenhengen er det valgt å operere med listepriiser. Vedlikeholdssettene for TP-pumpene ligger på 1500 kr, CR-

pumpene på 2500 kr, og magna er vedlikeholdsfri. Grundfos estimerer en servicetime per pakning på 1000 kr og gir en garantitid på 2 år[25].

Tabell 8.5: Viser oppgitte priser for investerings- og vedlikeholdskostnader pumpe inkl. montasje.

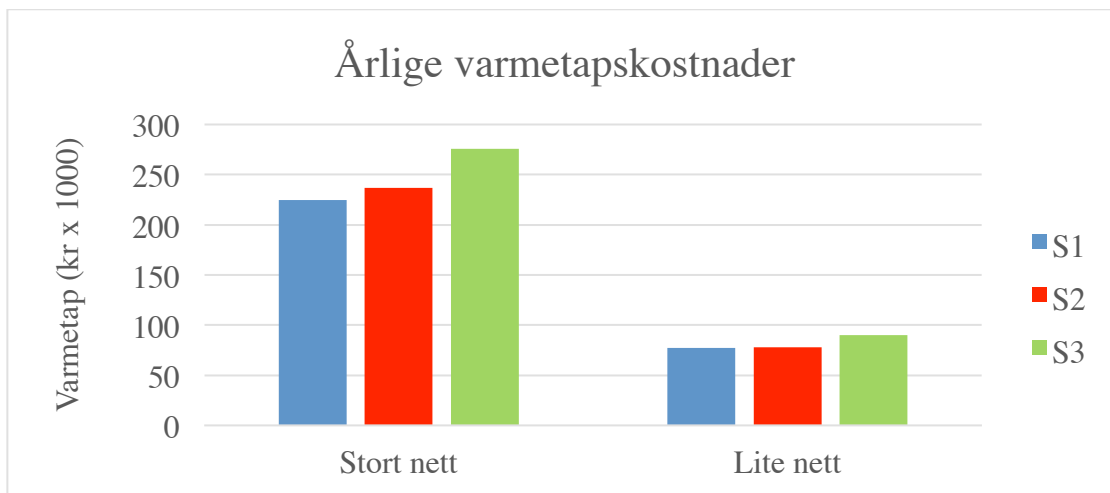
Pumpe	Investering (kr)	Vedlikehold (kr)
CR 1S-5	8626	3 500
CRE 5-4	20225	3 500
Magna1 32-60 F	7561	-
TPE 32-380	36060	2 500
TPE40-530	51294	2 500
TPE3 32-180-S	29449	2 500
TPE3 50-290-S	29059	2 500
TPE32-200-S	21685	2 500
TPE3 40-240-S	40663	2500

8.2 Driftskostnader

8.2.1 Varmetapskostnader

I denne delen vil det bli nærmere belyst hvilke kostnader tapene generer årlig. Ved å observere fjernvarmeprisene til Hafslund gjennom et års periode, fra henholdsvis februar 2015 til 2016, så har det blitt beregnet et gjennomsnittlig pris på 0,68 kr/kWh. Som tidligere nevnt er det et grensesnittskille mellom primær- og sekundærside som skiller fjernvarmeselger og kjøper. Det er derfor viktig å merke seg at prissatsen som brukes gjelder sekundærnett og vil være noe høyere enn primærnett. Kostnader i forbindelse med varmetap i sekundærnett vil i praksis påfalle blant borettslagets abonnenter.

Figur 8.5 viser årlige varmetapskostnader for samtlige nettsystemer og er beregnet på bakgrunn av varmetapsverdier fra Netsim. Kostnadene i system 3 er sammensatt av varmetapene for både oppvarming- og tappevannskretsen

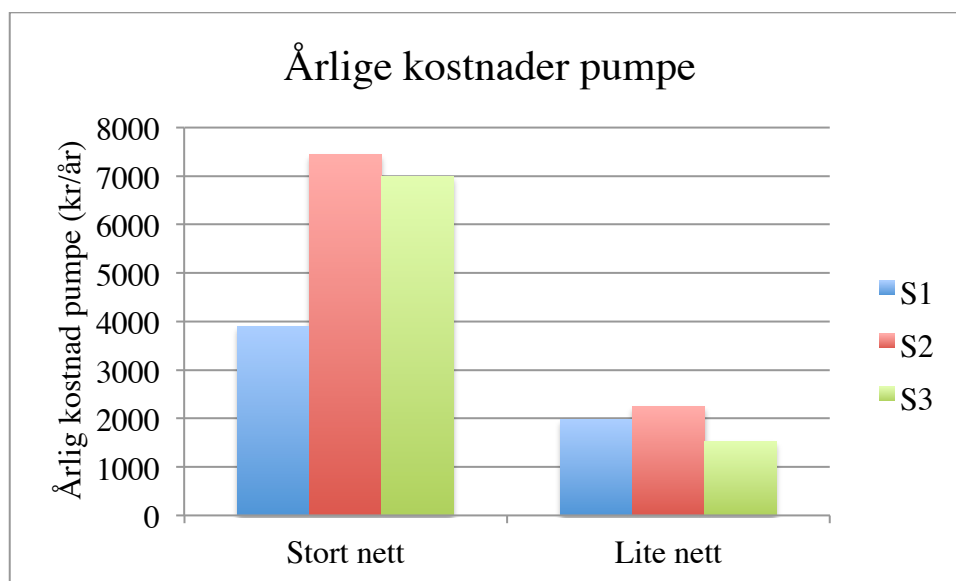


Figur 8.5: Sammenlikning av varmetapskostnader for samtlige systemer.

I Figur 8.5 fremkommer de årlige kostnadene hvor resultatet tilsier at det totalt sett påløper høyest kostnader i system 2. Resultatet er ikke uventet da varmetapet i tillegg er høyest. De viktigste faktorene som bidrar til disse forskjellene er en kombinasjon av rørdimensjon og temperaturer i rør og bakken. En matematisk betraktning av formelverket i NS-EN 13941 beviser at mindre rørdimensjoner resulterer i lavere U-verdi. Sammen med de ulike temperaturene vil disse være de mest utslagsgivende faktorene for varmetapet.

8.2.2 Pumpekostnader

De årlige pumpekostnadene har blitt regnet ut ved å sette en pris som er 2 % høyere enn fjernvarmeprisen på 0,68 kr/kWh. Figur 8.6 viser den årlige driften av pumpen i kroner.



Figur 8.6: Sammenlikning av årlige kostnader for drift av pumpe for system 1-3.

8.3 Sammenlikning av kostnader

I dette avsnittet skal systemene kostnadvurderes. For å sammenlikne rørnettene blir det foretatt en nåverdi-analyse. Avskrivningstiden på rørsystemet vil være 30 år til tross for at den mekaniske levetiden kan være mye lenger. Diskonteringsrenten vil være 6% årlig[3]. Alle investeringene vil gjøres i slutten av år null og det antas at kostnadene vil påløpe i slutten av hvert år.

Det vil brukes to pumper med 15 års levetid. I investeringsfasen må det kjøpes inn fire pumper. Kun én av pumpene være i bruk da den andre vil stå i reserve. Løpende kostnader vil være varmetap fra rør, pumpeenergiforbruk og vedlikeholdskostnader. De årlige vedlikeholdskostnadene kommer fra en planlagt service av pumpene annethvert år. Kostnadene er fordelt slik at de påløper årlig.

Investeringskostnaden, I er gitt som:

$$I_t = I_r + I_p + I_{ks} + I_{vs}$$

hvor

I_r = Investering i rør

I_p = Investering pumpe

I_{ks} = Investering i kundesentral

I_{vs} = Investering i villasentral

Driftskostnadene er gitt som:

$$K = \sum_{t=1}^t \frac{K_p + K_r + K_{vh}}{(1+r)^t} = (K_p + K_r + K_{vh}) \cdot \frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n}$$

hvor

K_p = Pumpekostnader

K_r = Varmetapskostnader

K_{vh} = Vedlikeholdskostnader

r = Diskonteringsrente

t = Kalkulasjonsperiode

Tabell 8.6: Viser oversikt over de totale kostnadene for stort nett.

Stort nett	System 1	System 2	System 3
Investering Rør	6 917 433	7 007 498	9 995 267
Investering Pumpe	162 652	116 236	161 492
Investering Kundesentral	70 000	70 000	80 000
Investering Villasentral	1 800 000	1 530 000	-
Sum Investerings kostnader	8 950 085	8 723 734	10 236 759
Drift Pumpe	53 733	102 526	96 251
Vedlikehold Pumpe	34 400	34 400	36 150
Varmetap	3 090 097	3 262 235	3 796 948
Sum Driftskostnader	3 178 230	3 399 161	3 929 349
Sum Totalkostnader	12 128 315	12 122 895	14 166 108

Tabell 8.7: Viser oversikt over de totale kostnadene lite nett.

Lite nett	System 1	System 2	System 3
Investering Rør	2 110 166	2 139 832	3 110 944
Investering Pumpe	117 796	86 740	96 022
Investering Kundesentral	50 000	50 000	60 000
Investering Villasentral	600 000	510 000	-
Sum Investerings kostnader	2 877 962	2 786 572	3 266 966
Drift Pumpe	27 204	30 974	17 605
Vedlikehold Pumpe	34 400	34 400	48 160
Varmetap	1 065 547	1 073 748	1 229 484
Sum Driftskostnader	1 127 151	1 139 122	1 295 249
Sum Totalkostnader	4 005 113	3 925 694	4 562 215

Til tross for ulik størrelse så er resultatene for begge nett tilnærmet proporsjonale. Dersom vi betrakter investeringskostnadene i rør for system 3, ser denne ut til å utgjøre en betydelig høyere kostnad. Kostnadene for villasentralene utgjør også en betydelig sum. Da system 1 er et indirekte system vil den kreve flere varmevekslere, kontra system 2 som kun er utstyrt med tappevannsvexlere. System 3 opererer etter et direkte system og har derfor ingen villasentral. Det er likevel viktig å påpeke at kostnadene for villasentralene har blitt generert ved å tilegne én sentral per bolig, men at det samtidig tas høyde for at det kan gjøres på ulike måter. Driftskostnadene til pumpen for system 2 er høyest og er forårsaket av hvor nøyaktig man treffer trykk tapsbegrensningene ved dimensjonsitering. Varmetapskostnadene utgjøre store deler av driftskostnadene og gjenspeiler mengden varmetap hvert system generer årlig.

8.4 Redusert dimensjon

De totale kostnadene for reduserte dimensjoner for stort og lite nett reduseres med henholdsvis 5,1 % og 3,1 %, og utgjør betydelige kostnadsbesparinger. Da pumpeenergiforbruket øker må det også benyttes større pumper som medfører økte investerings- og driftskostnader. Pumpeenergikostnadene i det store nettet blir tilnærmet tredoblet. Varmetapskostnadene har ikke en like høy prosentvis reduksjon, men gir likevel årlige besparinger i driftskostnader. Investeringskostnadene går betraktelig ned og bidrar til å redusere de totale kostnadene ytterligere.

Tabell 8.8: Totale kostnader ved reduserte dimensjoner på system 2 stort nett.

Stort nett	System 2	Redusert dimensjon	Differanse
Investering Rør	7 007 498	6 527 133	-480 365
Investering Pumpe	116 236	205 176	88 940
Investering Kundesentral	70 000	70 000	-
Investering Villasentral	1 530 000	1 530 000	-
Sum Investerings kostnader	8 723 734	8 332 309	-391 425
Drift Pumpe	102 526	276 067	173 541
Vedlikehold Pumpe	34 400	34 400	-
Varmetap	3 262 235	2 860 594	-401 641
Sum Driftskostnader	3 399 161	3 171 061	-228 100
Sum Totalkostnader	12 122 895	11 503 370	-619 525

I det lille nettet ser vi tilsvarende tendenser som i det store nettet. Både driftskostnadene og investeringskostnadene bidrar til en lavere total kostnad.

Tabell 8.9: Totale kostnader ved reduserte dimensjoner på system 2 lite nett.

Lite nett	System 2	Redusert dimensjon	Differanse
Investering Rør	2 139 832	2 010 072	-129 760
Investering Pumpe	86 740	144 240	57 500
Investering Kundesentral	50 000	50 000	-
Investering Villasentral	510 000	510 000	-
Sum Investerings kostnader	2 786 572	2 714 312	-72 260
Drift Pumpe	30 974	86 495	55 521
Vedlikehold Pumpe	34 400	34 400	-
Varmetap	1 073 748	967 190	-106 557
Sum Driftskostnader	1 139 122	1 088 086	-51 036
Sum Totalkostnader	3 925 694	3 802 398	-123 296

9 Prosessevaluering og diskusjon

Det har vært en jevn progresjon og faglig utvikling gjennom oppgavens varighet hvor fremdriftsplanen har vært et sentralt hjelpemiddel i å måle arbeidsprosessens fremgang. Store mengder data og tallmateriale har stilt høye krav til kvalitetssikring av resultatene. Oppgaven har likevel vært preget av enkelte problematiske momenter. Disse er relatert til følgende punkter:

- utfordringer i Netsim
- Temperaturkompensering i S3
- Avgjøre pumpeenergiforbruk
- Feiltolkning av prosessflytskjemaer

Manuell input av blant annet rørdimensjoner, temperaturer og effekter i hver enkelt node i Netsim har vært gjenstand for unødvendig tidsbruk. Diverse tekniske problemer med programvaren har i tillegg forsinket fremgangen. En annen utfordring har vært å avgjøre temperaturene for oppvarmingskretsen i system 3 da denne er avhengig av utetemperatur. Lineære sammenhenger mellom driftstemperaturer i fjernvarme- og sekundærnett har gjort det mulig å forenkle. Dette har også en sammenheng med pumpeenergiforbruk som varierer i takt med nettets effektforbruk, og ble løst ved å bruke et driftskollektiv. Forståelse av prosessflytskjemaene har vært også vært en gradvis modningsprosess med mange detaljer å ta hensyn til. En feiltolkning i forbindelse med beregning av massestrømmen innebar en større endring av resultatene i prosjektets slutfase.

Fjernvarme er en bærekraftig og fremtidsrettet energikilde som tilbyr både miljø- og kostnadsmessige fordeler. Den er i tillegg fornybar og samtidig regulert av norsk lov til å være en mer kostnadseffektiv energikilde. Kostnadsbildet er likevel avhengig av hvilken part den vurderes ut ifra. Hvem som er fjernvarmeselger, kjøper eller utbygger har en stor innvirkningsgrad når det gjelder kostnadsfordeling. Dette kan igjen ses sammenheng med sekundærnettets tekniske utforming, avhengig av om det bygges som et 2 eller 4-rørssystem. Ulike fordeler og ulemper for et direkte og indirekte system vil derfor være styrende. Hva som ønskes i forhold til rørføring, antall varmevekslere, pumpeutstyr samt driftssikkerhet må vurderes helhetlig i en teknisk og økonomisk sammenheng.

Et sentralt aspekt i denne oppgaven har vært å undersøke systemenes energieffektivitet og den totale mengden varmetap som oppstår. I lys av dette ble det innledningsvis definert et boligareal som er nødvendig for å initiere en slik analyse. En mulig svakhet i denne prosessen har vært forenklingen av boligens areal og tilhørende effektbehov. Blant annet har det ikke blitt tatt hensyn til interne laster i form av personoppvarming, sollys og bidraget til oppvarming fra elektroniske preparater. Videre så har effektbehovet blitt beregnet etter forskriftskrav. Dette innebærer at U-verdier er valgt uten å vise hensyn til konkrete mål på vegger, tak, vinduer etc. Til tross for dette har forenklinger i denne sammenhengen vært helt nødvendig. Oppgaven befinner seg i forprosjektfasen hvor det ikke finnes spesifikke

boligstørrelser å ta hensyn til. Målet her har vært å generere et oppvarmingsbehov for deretter å ta ut mest mulig korrekte rørdimensjoner. Å tilstrebe korrekte tilnæringer ville derfor overkomplisert oppgaven.

En stor del av den tekniske analysen er basert på vurdering av varmetapet i rør hvor det underveis har blitt gjort en rekke valg i dimensjoneringsprosessen. Bakkens og isolasjonsmaterialets varmeledningsevne samt bakketemperatur er eksempler på usikkerhetsmomenter som kan gi ulike resultater i forhold til varmetap. Det har blitt brukt en årlig middeltemperatur på 6 °C i bakken, som kan anses som en god tilnærming i sammenligning av midlere varmetap mellom systemene. Det påpekes likevel at en reell varmetapsanalyse derimot hadde fordret nøyaktig målte klimadata, og vært en uhensiktsmessig fremgangsmåte i denne sammenhengen. Andre eksempler på potensielle påvirkningsfaktorer kan også være de valgte rørtrasene i modelleringsfasen. Målet her var å gjennomføre skisseringen i likhet med Storfjell borettslag på en best mulig og rørbesparende måte. Det tas likevel høyde for at alternative løsninger kunne gi andre resultater, men at rørføringen i forprosjektfasen uansett er grove estimater.

Det var ikke uventet at system 2 ville ha høyest varmetap for begge rørnettene, og beviser hvilken innflytelse parameteren ΔT har når det gjelder systemets energieffektivitet. En nærmere betraktning viser at massestrømmen i utgangspunktet påvirker samtlige ledd. Kort oppsummert innebærer en lavere verdi av ΔT en høyere massestrøm, som deretter medfører større rørdimensjoner og et økt varmetap. ΔT påvirker ikke varmetapet alene, men har i tillegg en betydelig innvirkning på trykktapet. Tidligere har vi konstatert at høye massestrømmer også gir høye hastigheter. Trykktapet uttrykkes som funksjonen av den kvadrerte hastigheten, hvor små endringer i hastighet gir store trykktap. Med trykktapsbegrensinger på 150 og 300 Pa/m blir det derfor små muligheter til dimensjonsiterering uten overskridelse av begrensningene. I tillegg til at rørene er inndelt i spesifikke dimensjonsklasser så kan dette medføre unøyaktigheter i itereringen ved at man ikke treffer godt nok på verdiene.

Pumpeenergiforbruket har en direkte sammenheng med hvilket trykktap som oppstår i de ulike systemene, hvor et lavt trykkfall gir et mindre pumpeenergiforbruk. Ved å betrakte pumpeenergiforbruk kontra varmetap viser det seg at varmetapet utgjør en betydelig større andel. De sparte rørinvesteringene indikerer at det bør tillates å dimensjonere med høyere trykktapsbegrensninger. Det må påpekes at et slikt forsøk vil kreve nøye observasjoner i forhold til erosjonsproblemer i rørene. Det knyttes likevel noe usikkerhet til beregning av pumpeenergiforbruket da dette er beregnet etter et fastsatt driftskollektiv. Denne kan være ulik fra virkelig mengde.

Det er ingen stor overraskelse at de totale kostnadene for system 3 skulle være høyest da dette er et 4-rørs system. Rørinvesteringskostnadene utgjør en betydelig andel. Det kan likevel eksistere unøyaktigheter her da manglende kostnadselementer for henholdsvis DN 20, 25 og 32 har blitt generert på bakgrunn av regresjonsanalyser. Dette gir likevel en god pekepinn da prisforskjellene per meter rør for de mindre rørdimensjonene tilsynelatende er mindre. I tillegg er det innbakt mange ulike aktiviteter i prissatsene. Å produsere nøyaktige priser kunne

blitt en unødvendig intrikat prosess. Det er også usikkerhet i tilknytning til nøyaktige priser på kunde- og villasentraler. Disse er basert på enhetspriser fra tidligere prosjekter og leverandører[40, 45]. Prisene utelater riktignok eventuelle montasjekostnader, men gir likevel gode estimater. Økte grøftekostnader utgjør også betydelige investeringskostnader for system 3, og har blitt beregnet til å utgjøre ca. 70% prosent i tilleggskostnader. Her finnes det også enkelte usikkerhetsmomenter. En alternativ fremgangsmåte kunne være å finne det økte grøftearealet ved å betrakte økningen i areal på flere steder i rørnettene. Det må også nevnes at legeringstillegget for system 3 utgjør små beløp, men må anses som en kostnadsdrivende faktor. Dette systemet krever samtidig ikke ytterligere villasentraler som viser seg å være betydelig kostnadsbesparende. I våre caser har det riktignok blitt fordelt én villasentral per bolig, men at dette kan løses på flere ulike måter. Eksempelvis kan én villasentral tildeles et rekkehus på tre boliger, som igjen kan endre denne kostnadsposten. Øvrige drift og vedlikeholdskostnader har blitt vurdert over en 30 års periode hvor de diskonterte varmetapskostnadene for system 2 er høyest. Hovedårsaken til dette er som følge av større rørdimensjoner. Kostnadsanalysen for system 2 med reduserte dimensjoner viser en kraftig reduksjon på rørinvesteringskostnadene for både lite og stort nett

De ulike materialegenskapene til plast har tidligere i denne oppgaven blitt belyst. Sammenlignet med stålrør er den rimeligere i pris, men har problemer ved temperaturer over 100°C. På bakgrunn av at fremtidige sekundærnett mest sannsynlig vil operere med lavere temperaturnivåer kan plastrør vise seg å være et fornuftig alternativ.

Et av problemstillingene i oppgaven baserer seg på å evaluere erfaringsrapporter i forbindelse med fjernvarmeutbygging. Målet med dette var å få innblikk i både positive og negative erfaringer som kunne være til hjelp i arbeidsprosessen. Etter nærmere undersøkelse er slike rapporter tilsynelatende lite brukt og vanskelig å oppdrive.

10 Konklusjon

Tre ulike systemløsninger, både 2 og 4-rørs nett, har i dette prosjektet blitt vurdert som potensielle sekundærnett-løsninger. Ved å definere to ulike caser, et for stort og lite nett, har systemene blitt sammenlignet på system- og kostnadseffektivitet. Den tekniske analysen består av en rekke beregninger og faglige vurderinger, og er gjennomført ved hjelp av grundige forstudier av relevant faglitteratur. Utforming av rørnettene og simuleringer har blitt gjennomført ved å bruke Netsim og Autocad. De totale kostnadene består av investering- og driftskostnader og har blitt identifisert. På bakgrunn av dette arbeidet anser vi derfor oppgavens hovedmål som oppnådd, og prosjektets problemstillinger til å være besvart.

10.1 Resultater

Under følger oppgavens resultater:

- System 2 har høyest årlig varmetap og pumpeenergiforbruk
- Kostnadsbesparelsen for varmetap var høyere enn pumpeenergiforbruk
- System 3 har høyest totale kostnader for stort og lite nett
- System 3 har høyest årlig varmetap-kostnader for stort og lite nett
- Totalkostnader for system 2 med reduserte dimensjoner ble redusert med 5% for stort nett og 3% for lite nett
- Investering i rørnett og varmetap utgjør store deler av totalkostnaden for system 1-3

10.2 Anbefalinger

Resultatene tilsier en kostnadsbesparelse ved reduksjon av rørdimensjoner i system 2, både med tanke på investering og driftskostnader. Ser man dette i en større produksjonskala av sekundærnett kan dette by på store årlige besparelser. På bakgrunn av resultatene i denne oppgaven anbefales derfor rørdimensjonering for å minimere varmetap.

10.3 Videre arbeid

Under arbeidet med denne masteroppgaven har det dukket opp en del momenter som ikke kunne vurderes nærmere. Noen forslag til videre arbeid er listet opp under.

- Undersøke forprosjekteringskostnader og systemløsninger for boligbygg og kontorer
- Undersøke reelle returtemperaturer fra gulvvarmeanlegg, radiatorer og ventilasjonsanlegg
- Valg av optimal isolasjonsklasse med tanke på varmetap
- Følsomhetsanalyser for bakketemperaturer og varmeovergangskoeffisient for jord
- Mulighet for å operere system 1 og 2 med lavere turtemperatur enn 70 °C
- Undersøke løsninger dersom det benyttes twin-rør i stedet for enkeltrør
- Foreta analyser ved å inkludere grensesnittområder utenfor oppgavens systembeskrivelse
- Undersøke plast som et materialalternativ

11 Kilder

11.1 Skriftlige kilder

- [1] M. K. Gurholt and R. Ulseth, "Analyse av konsekvenser ved reduksjon av turtemperaturnivået i fjernvarmesystemer," in Analysis on the consequences of reduction of the temperature level in district heating systems, Institutt for energi- og prosessteknikk, 2011.
- [2] J. B. Jæger and R. Ulseth, "Analyse av forbedringspotensial med hensyn til delta T(T tur - T retur) i fjernvarmesystemer," in Analysis on the potential for increased delta T(T supply - T return) in the district heating systems, Institutt for energi- og prosessteknikk, 2011.
- [3] H. Li and S. Svendsen, "District heating network design and configuration optimization with genetic algorithm," Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, vol. 1, side 291-303, 2013.
- [4] C. Gochenour, District energy trends, issues, and opportunities: the role of the World Bank vol. 23: World Bank Publications, 2001.
- [5] M. E. Ingebretsen, "Muligheter for konvertering av eksisterende bygninger til lavtemperatur fjernvarme," 2014.
- [7] T. Aanensen and N. Fedoryshyn, "Fjernvarme og fjernkjøling i Norge - utvikling i sentrale størrelser," Statistisk sentralbyrå, 2014.
- [8] U. Persson, K. Ruehling, C. Felsmann, M. Crane, R. Burzynski, R. Wiltshire, et al., "Toward 4th Generation District Heating: Experience and Potential of Low-Temperature District Heating," , 2014.
- [12] V. Havellen and Norconsult, Varmenormen, Utg. 2012.01. Oslo: Skarland Press, 2012.
- [13] K. I. Edvardsen, T. Ø. Ramstad, T. Haug, J. Saltnes, and S. Byggforsk, Trehus, 9. utg., 4. rev. oppl. ed. vol. 53. Oslo: Sintef byggforsk, 2010.
- [14] S. Anda and A. S. H. Bjelland, Fra passivhus til plusshus : tverrfaglig planlegging av energieffektive boliger. Bergen: Fagbokforl., 2013
- [15] Standard Norge, Beregning av bygningers energiytelse : metode og data = Calculation of energy performance of buildings : method and data vol. NS 3031:2014. Lysaker: Standard Norge, 2014.
- [16] D. Zijdemans, L. I. Stensaas, S. Røed, G. Skjevraak, and A. Palm, Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer. Oslo: Skarland press, 2012.
- [17] b. Direktoratet for, Veiledning til forskrift om tekniske krav til byggverk av 26. mars 2010 nr. 489, 6. utg. ed. Oslo: Norsk byggtjenestes forl., 2015.

- [18] Y. A. Çengel and J. M. Cimbala, Fluid mechanics : fundamentals and applications, 3rd ed. ed. Boston: McGraw-Hill, 2013.
- [19] J. Kestin, M. Sokolov, and W. A. Wakeham, "Viscosity of liquid water in the range– 8 C to 150 C," Journal of Physical and Chemical Reference Data, vol. 7, pp. 941-948, 1978.
- [20] P. E. Thoresen, Kompendium i strømningskrefter, 1. utg. ed. Oslo: Høgskolen i Oslo, Avd. for ingeniørutdanning, 1998.
- [24] K. Brautaset, Innføring i oljehydraulikk. Oslo: Universitetsforl., 1983, side 136
- [26] P. Moen, Hastighetsregulering av sirkulasjonspumper i sentralvarmeanlegg. www.kompetansebiblioteket.no, 2014
- [29] Byggteknisk forskrift, "Veiledning om tekniske krav til byggverk," in §15-5 Generelle krav til innvendige vann - og avløpsinstallasjoner ed: Direktoratet for byggkvalitet, antall sider 291, 2016,
- [31] Akershus Energi, "Tekniske retningslinjer Installasjon, drift og vedlikehold av kundesentraler," 2015.
- [32] M. Rosenberg, "Kostnader for fjernvarmeutbygging," Bioen AS, Nittedal, 2010.
- [33] Lov om produksjon, omforming, overføring, omsetning, fordeling og bruk av energi m.m. (energiloven) , N. lover, 1990.
- [38] Logstor A/S, "Product Catalogue," ed, 2015.
- [42] Sintef Byggforsk, "Klimadata for termisk dimensjonering og frostsikring," 2012.

11.2 Personlige meddelser

- [25] Teknisk VVS ingeniør A. S. Barka, Grundfos, "Investerings- og vedlikeholdspriser pumpe," 2016.
- [40] Sivilingeniør M. Bergsholm, Multiconsult, "Systemforståelse for 2 og 4 rørs sekundærnett," "Netsim" 2016.

11.3 Nettkilder

- [6] Fjernvarme. Statistisk sentralbyrå. www.ssb.no
- [9] Multiconsult. Kort om Multiconsult. www.multiconsult.no
- [10] Multiconsult. Visjon.

- www.multiconsult.no
- [11] Multiconsult. Strategi.
www.multiconsult.no
- [21] Svensk Fjärrvärme, "Fjärrvärmecentralen utförande och installation," 2014.
- [22] P. Moen, Sirkulasjonspumper i varme - og kjøleanlegg.
www.kompetansebiblioteket.no, 2014
- [23] Å. Hofstad, Pumpeteori - sentrifugalpumper.
www.vannforeningen.no, 2007
- [27] M&S Water Services. Legionella control.
www.mswaterservices.co.uk
- [28] Folkehelseinstituttet. Legionellose - veileder for helsepersonell.
www.fhi.no
- [30] Store norske leksikon. Fjernvarme.
www.snl.no
- [34] Hafslund. Om fjernvarme.
www.hafslund.no
- [35] Skagerak varme. Hva er fjernvarme?
www.skagerakvarme.no
- [36] P. Gundersen, Fjernvarme i boligområder.
www.byggforsk.no , 1991
- [37] P. Lien, Preisolerte rørsystemer.
www.kompetansebiblioteket.no, 2004
- [39] Powerpipe, Product Catalogue Single pipes.
www.powerpipe.se, 2013
- [41] Kartverket. Storfjell borettslag.
www.kartverket.no
- [43] Grundfos. Product Selection.
www.grundfos.com
- [44] Brødrene Dahl. Legeringstillegg.
www.dahl.no
- [45] VVS butiken. Villacentral.
www.vvsbutiken.nu

11 Vedlegg

- Vedlegg A: Utdata fra Netsim
- Vedlegg B: Fullstendige investeringskostnader rør
- Vedlegg C: Fullstendige pumpekostnader
- Vedlegg D: Fremdriftsplan
- Vedlegg E: Prosessflytskjemaer
- Vedlegg F: Varme- og trykktap tappevannkrets system 3

Vedlegg A: Output data fra Netsim

Lite nett: System 1

Ved 4kW i hver node og 70/40 °C

=====

= Heat Balance, Overview =

=====

Total heat production : 133.0 kW

Total heat consumption : 120.0 kW

Total heat loss : 13.0 kW

Heat loss/Heat production : 9.8 %

Ved 4kW oppvarming 70/40 °C i hver node og tappevannseffekt 70/25 °C

=====

= Max/Min Values =

=====

Maximum pressure gradient 353.2 Pa/m in pipe: P3679

Maximum velocity 0.70 m/s in pipe: P3710

Maximum pressures 240.0 kPa in node: N2834

Maximum temperatures 70.0 C in node: N2834

Maximum difference pressure 140.0 kPa in node: N2834

Minimum temperatures 25.0 C in node: N2863

Minimum difference pressure 100.2 kPa in node: N2864

Lite nett: System 2

Ved 4kW i hver node og 70/50 °C

=====

= Heat Balance, Overview =

=====

Total heat production : 133.1 kW

Total heat consumption : 120.0 kW

Total heat loss : 13.1 kW

Heat loss/Heat production : 9.8 %

Ved 4kW oppvarming 70/50 i hver node og tappevannseffekt 70/25

=====

= Max/Min Values =

=====

Maximum pressure gradient 351.6 Pa/m in pipe: P3679

Maximum velocity 0.91 m/s in pipe: P3710

Maximum pressures 243.6 kPa in node: N2834

Maximum temperatures 70.0 C in node: N2834

Maximum difference pressure 143.6 kPa in node: N2834

Minimum pressures 100.0 kPa in node: N2834

Minimum temperatures 25.0 C in node: N2863

Minimum difference pressure 100.4 kPa in node: N2864

Lite nett: System 2 – redusert dimensjon

Ved 4kW I hver node og 70/50 °C

=====

= Heat Balance, Overview =

=====

Total heat production : 131.8 kW

Total heat consumption : 120.0 kW

Total heat loss : 11.8 kW

Heat loss/Heat production : 8.9 %

Ved 4kWoppvarming 70/50 I hver node og tappevannseffekt 70/25 °C

=====

= Max/Min Values =

=====

Maximum pressure gradient 673.9 Pa/m in pipe: P3710

Maximum velocity 1.45 m/s in pipe: P3710

Maximum pressures 300.8 kPa in node: N2834

Maximum temperatures 70.0 C in node: N2834

Maximum difference pressure 200.8 kPa in node: N2834

Minimum pressures 100.0 kPa in node: N2834

Minimum temperatures 25.0 C in node: N2863

Minimum difference pressure 100.5 kPa in node: N2864

Lite nett: System 3 oppvarming

=====

= Heat Balance, Overview =

=====

Total heat production : 126.4 kW

Total heat consumption : 120.0 kW

Total heat loss : 6.4 kW

Heat loss/Heat production : 5.1 %

=====

= Max/Min Values =

=====

Maximum pressure gradient 187.3 Pa/m in pipe: P3716

Maximum velocity 0.71 m/s in pipe: P3716

Maximum pressures 236.2 kPa in node: N2834

Maximum temperatures 60.0 C in node: N2834

Maximum difference pressure 136.2 kPa in node: N2834

Minimum pressures 100.0 kPa in node: N2834

Minimum temperatures 39.4 C in node: N2836

Minimum difference pressure 100.2 kPa in node: N2862

Stort nett: System 1

Ved 4kW I hver node og 70/40 °C

=====

= Heat Balance, Overview =

=====

Total heat production : 397.7 kW

Total heat consumption : 360.0 kW

Total heat loss : 37.7 kW

Heat loss/Heat production : 9.5 %

Ved 4kWoppvarming 70/40 I hver node og tappevannseffekt 70/25

=====

= Max/Min Values =

=====

Maximum pressure gradient 355.3 Pa/m in pipe: P3400

Maximum velocity 1.07 m/s in pipe: P3144

Maximum pressures 280.9 kPa in node: N2338

Maximum difference pressure 180.9 kPa in node: N2338

Minimum pressures 100.0 kPa in node: N2338

Minimum temperatures 25.0 C in node: N2594

Minimum difference pressure 100.3 kPa in node: N2595

Stort nett: System 2

Ved 4kW i hver node og 70/50 °C

=====

= Heat Balance, Overview =

=====

Total heat production : 399.8 kW

Total heat consumption : 360.0 kW

Total heat loss : 39.8 kW

Heat loss/Heat production : 10.0 %

=====

= Max/Min Values =

=====

Maximum pressure gradient 352.1 Pa/m in pipe: P3400

Maximum velocity 1.06 m/s in pipe: P3144

Maximum pressures 324.5 kPa in node: N2338

Maximum temperatures 70.0 C in node: N2338

Maximum difference pressure 224.5 kPa in node: N2338

Minimum pressures 100.0 kPa in node: N2338

Minimum temperatures 25.0 C in node: N2594

Minimum difference pressure 100.3 kPa in node: N2595

Stort nett: System 2 – redusert dimensjon

Ved 4kW i hver node og 70/50 °C

=====

= Heat Balance, Overview =

=====

Total heat production : 394.9 kW

Total heat consumption : 360.0 kW

Total heat loss : 34.9 kW

Heat loss/Heat production : 8.8 %

=====

= Max/Min Values =

=====

Maximum pressure gradient 790.7 Pa/m in pipe: P3331

Maximum relative power loss 1.9 W/m in pipe: P3331

Maximum velocity 1.75 m/s in pipe: P3228

Maximum pressures 584.6 kPa in node: N2338

Maximum temperatures 70.0 C in node: N2338

Maximum difference pressure 484.6 kPa in node: N2338

Minimum pressures 100.0 kPa in node: N2338

Minimum temperatures 25.0 C in node: N2594

Minimum difference pressure 100.5 kPa in node: N2595

System 3: Stort nett oppvarming

=====

= Heat Balance, Overview =

=====

Total heat production : 380.8 kW

Total heat consumption : 360.0 kW

Total heat loss : 20.8 kW

Heat loss/Heat production : 5.5 %

=====

= Max/Min Values =

=====

Maximum pressure gradient 222.9 Pa/m in pipe: P3144

Maximum velocity 1.19 m/s in pipe: P3144

Maximum pressures 286.6 kPa in node: N2338

Maximum temperatures 60.0 C in node: N2338

Maximum difference pressure 186.6 kPa in node: N2338

Minimum pressures 100.0 kPa in node: N2338

Minimum temperatures 39.3 C in node: N2422

Minimum difference pressure 100.2 kPa in node: N2593

Vedlegg B: Fullstendige investeringskostnader rør

Stort nett: System 1

DN [mm]	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN65
Kostnadgruppe						
Rør materiell	200	225	275	300	350	400
Rørmontasje	200	225	275	300	350	400
Grøftarbeid	700	750	800	850	900	1100
Prosj/byggeledelse	200	250	300	350	400	500
Konsumprisindeks	1,085	1,085	1,085	1,085	1,085	1,085
Sum kostnad per meter	1411	1573	1790	1953	2170	2604
Ant.meter	1700	75	225	668	1090	126
Sum kostnad per dim	2398700	117975	402750	1304604	2365300	328104
Sun rørkostnad						6 917 433

Stort nett: System 2

DN [mm]	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN65	DN80
Kostnadgruppe							
Rør materiell	200	225	275	300	350	400	450
Rørmontasje	200	225	275	300	350	400	650
Grøftarbeid	700	750	800	850	900	1100	1100
Prosj/byggeledelse	200	250	300	350	400	500	550
Konsumprisindeks	1,085	1,085	1,085	1,085	1,085	1,085	1,085
Sum kostnad per meter	1411	1573	1790	1953	2170	2604	2984
Ant.meter	1700	75	225	323	1435	86	40
Sum kostnad per dim	2398700	117975	402750	630819	3113950	223944	119360
Sun rørkostnad							7 007 498

Stort nett: System 3 oppvarming

DN [mm]	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN65
Kostnadsgruppe						
Rør materiell	200	225	275	300	350	450
Rørmontasje	200	225	275	300	350	650
Grøftarbeid	700	750	800	850	900	1100
Prosj/byggeledelse	200	250	300	350	400	550
Konsumprisindeks	1,085	1,085	1,085	1,085	1,085	1,085
Sum kostnad per meter	1411	1573	1790	1953	2170	2984
Ant.meter	1710	225	323	345	1072	126
Sum kostnad per dim	2412810	353925	578170	673785	2326240	375984
Sun rørkostnad oppv.						6 720 914

..

Stort nett: System 3 tappevann

DN [mm]	DN20	DN25	DN32	DN40	Sirk.ledning (DN20)
Kostnadsgruppe					
Rør materiell	200	225	275	300	200
Rørmontasje	200	225	275	300	200
Grøftarbeid	490	525	560	595	490
Prosj/byggeledelse	0	0	0	0	0
Legeringstillegg	31,4	35,2	43,8	47,6	31,4
Konsumprisindeks	1,085	1,085	1,085	1,085	1,085
Sum kostnad per meter	999,719	1096,067	1251,873	1348,221	999,719
Ant.meter	855	148	916	20	1084
Sum kostnad per dim	854759,745	162217,916	1146715,668	26964,42	1083695,396
Sun rørkostnad tappv.					3 274 353

Stort nett: System 2 redusert dimensjon

DN [mm]	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN65
Kostnadsgruppe						
Rør materiell	200	225	275	300	350	400
Rørmontasje	200	225	275	300	350	400
Grøftarbeid	700	750	800	850	900	1100
Prosj/byggeledelse	200	250	300	350	400	500
Konsumprisindeks	1,085	1,085	1,085	1,085	1,085	1,085
Sum kostnad per meter	1411	1573	1790	1953	2170	2604
Ant.meter	1773	225	323	1435	86	40
Sum kostnad per dim	2501703	353925	578170	2802555	186620	104160
Sun rørkostnad						6 527 133

Lite nett: System 1

DN [mm]	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50
Kostnadsgruppe					
Rør materiell	200	225	275	300	350
Rørmontasje	200	225	275	300	350
Grøftarbeid	700	750	800	850	900
Prosj/byggeledelse	200	250	300	350	400
Konsumprisindeks	1,085	1,085	1,085	1,085	1,085
Sum kostnad per meter	1411	1573	1790	1953	2170
Ant.meter	553	75	365	236	45
Sum kostnad per dim	780283	117975	653350	460908	97650
Sun rørkostnad					2 110 166

Lite nett: System 2

DN [mm]	DN 20	DN 25	DN 32	DN 40	DN50
Kostnadsgruppe					
Rør materiell	200	225	275	300	350
Rørmontasje	200	225	275	300	350
Grøftarbeid	700	750	800	850	900
Prosj/byggeledelse	200	250	300	350	400
Konsumprisindeks	1,085	1,085	1,085	1,085	1,085
Sum kostnad per meter	1411	1573	1790	1953	2170
Ant.meter	553	75	183	418	45
Sum kostnad per dim	780283	117975	327570	816354	97650
Sun rørkostnad					2 139 832

Lite nett: System 3 oppvarming

DN [mm]	DN20	DN25	DN32	DN50
Kostnadsgruppe				
Rør materiell	200	225	275	350
Rørmontasje	200	225	275	350
Grøftarbeid	700	750	800	900
Prosj/byggeledelse	200	250	300	400
Konsumprisindeks	1,085	1,085	1,085	1,085
Sum kostnad per meter	1411	1573	1790	2170
Ant.meter	628	183	418	45
Sum kostnad per dim	886108	287859	748220	97650
Sun rørkostnad oppv.				2 019 837

Lite nett: System 3 tappevann

DN [mm]	DN20	DN25	DN32	Sirk.ledning (DN20)
Kostnadsgruppe				
Rør materiell	200	225	275	200
Rørmontasje	200	225	275	200
Grøftarbeid	490	525	560	490
Prosj/byggeledelse	0	0	0	0
Legeringstillegg	31,4	35,2	43,8	31,4
Konsumprisindeks	1,085	1,085	1,085	1,085
Sum kostnad per meter	999,719	1096,067	1251,873	999,719
Ant.meter	277	367	20	387
Sum kostnad per dim	276922,163	402256,589	25037,46	386891,253
Sun rørkostnad tappv.				1 091 107

Lite nett: System 2 redusert dimensjon

DN [mm]	DN20	DN25	DN32	DN40
Kostnadsgruppe				
Rør materiell	200	225	275	300
Rørmontasje	200	225	275	300
Grøftarbeid	700	750	800	850
Prosj/byggeledelse	200	250	300	350
Konsumprisindeks	1,085	1,085	1,085	1,085
Sum kostnad per meter	1411	1573	1790	1953
Ant.meter	628	183	418	45
Sum kostnad per dim	886108	287859	748220	87885
Sun rørkostnad				2 010 072

Vedlegg C: Fullstendige pumpekostnader

Stort nett: System 1

Driftspunkt	ΔP (bar)	Q (l/s)	η_{tot}	Forbruk kW	timer/år	kWh/år
1	1,8	4,8	62,7%	1,378	526	725
2	1,6	3,6	58,1%	0,991	1314	1302
3	1,4	2,4	49,4%	0,68	3066	2085
4	1,1	1,2	33,5%	0,394	3854	1518
					sum	5630

Stort nett: System 2

Driftspunkt	ΔP (bar)	Q (l/s)	η_{tot}	Forbruk kW	timer/år	kWh/år
1	2,3	7,2	58,1%	2,85	526	1499
2	2	5,4	55,7%	1,939	1314	2548
3	1,7	3,6	49,3%	1,241	3066	3805
4	1,4	1,8	33,6%	0,75	3854	2891
					sum	10743

Stort nett: System 3 oppvarming

Driftspunkt	ΔP (bar)	Q (l/s)	η_{tot}	Forbruk kW	timer/år	kWh/år
1	2,2	4,7	45,6%	2,268	526	1193
2	2	3,525	45,2%	1,56	1314	2050
3	1,7	2,35	41,5%	0,963	3066	2953
4	1,4	1,175	29,9%	0,55	3854	2120
					sum	8316

Stort nett: System 3 tappevann

Driftspunkt	ΔP (bar)	Q (l/s)	η_{tot}	Forbruk kW	timer/år	kWh/år
1	1,9	0,28	26,3%	0,202	8760	1770

Stort nett: System 2 redusert dimensjon

Driftspunkt	ΔP (bar)	Q (l/s)	η_{tot}	Forbruk kW	timer/år	kWh/år
1	4,9	7,1	49,2%	7,071	526	3719
2	4,3	5,325	45,6%	5,021	1314	6598
3	3,6	3,55	38,5%	3,319	3066	10176
4	3,1	1,775	25,2%	2,184	3854	8417
					sum	28910

Lite nett: System 1

Driftspunkt	ΔP (bar)	Q (l/s)	η_{tot}	Forbruk kW	timer/år	kWh/år
1	1,4	2	47,1%	0,594	526	312
2	1,2	1,5	40,7%	0,442	1314	581
3	1,1	1	32,0%	0,344	3066	1055
4	0,9	0,5	19,2%	0,234	3854	902
					sum	2850

Lite nett: System 2

Driftspunkt	ΔP (bar)	Q (l/s)	η_{tot}	Forbruk kW	timer/år	kWh/år
1	1,4	3	57,5%	0,73	526	384
2	1,2	2,25	51,6%	0,523	1314	687
3	1,1	1,5	42,2%	0,391	3066	1199
4	0,9	0,75	26,7%	0,253	3854	975
					sum	3245

Lite nett: System 3 oppvarming

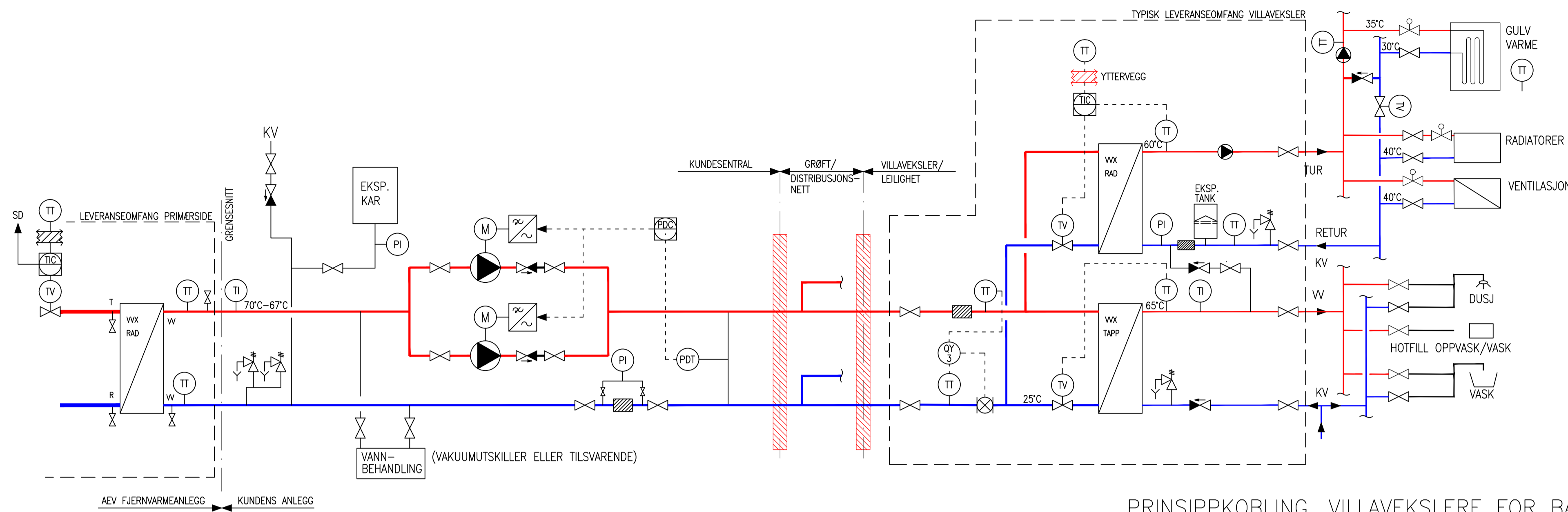
Driftspunkt	ΔP (bar)	Q (l/s)	η_{tot}	Forbruk kW	timer/år	kWh/år
1	1,6	1,5	49,6%	0,484	526	255
2	1,4	1,125	47,9%	0,329	1314	432
3	1,2	0,75	42,6%	0,211	3066	647
4	1	0,375	29,9%	0,125	3854	482
					sum	1816

Lite nett: System 3 tappevann

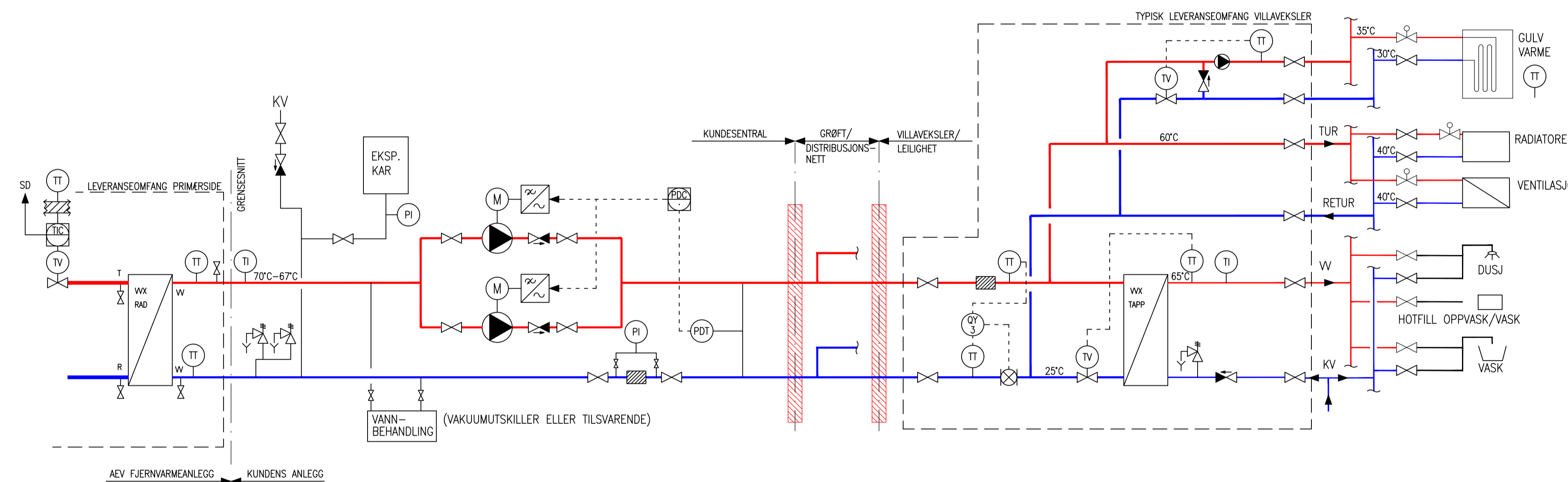
Pumpe 7	Driftspunkt	ΔP (bar)	Q (l/s)	η_{tot}	Forbruk kW	timer/år	kWh/år
	1	0,49	0,13	14,5%	0,044	8760	385

Lite nett: System 2 redusert dimensjon

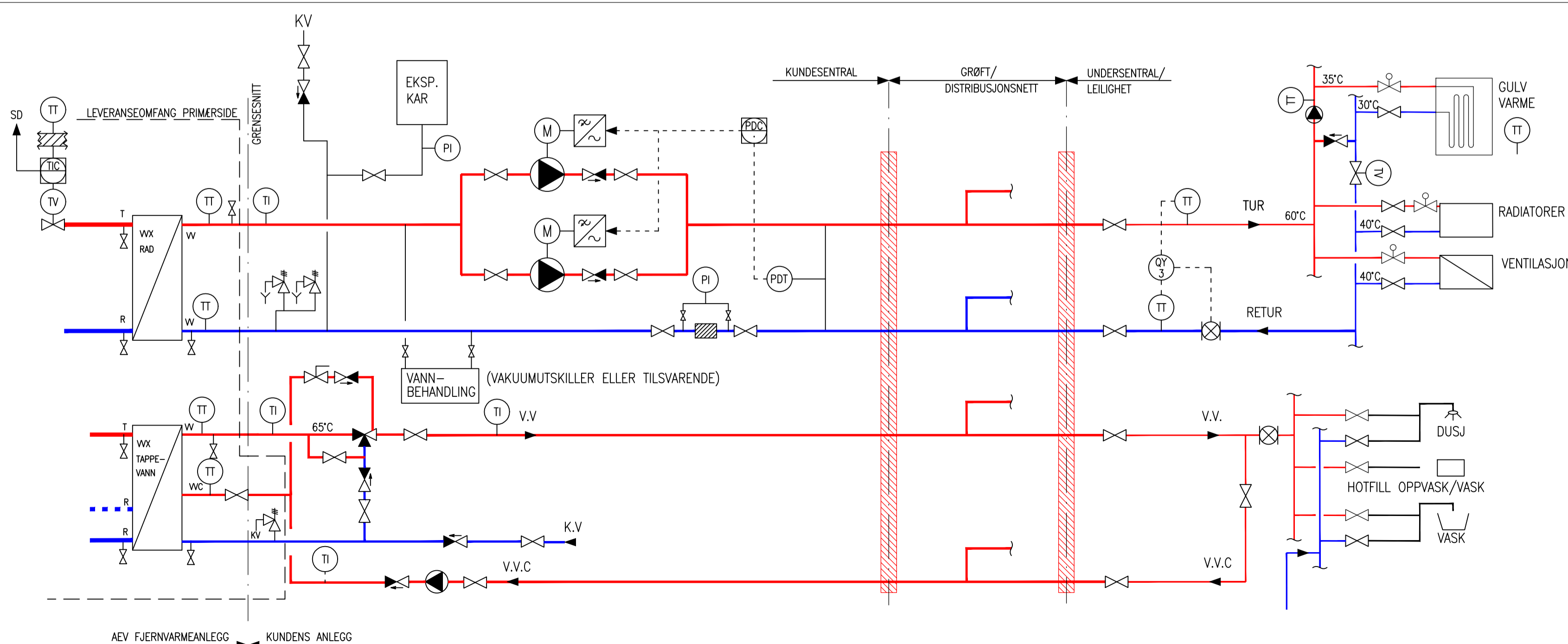
Driftspunkt	ΔP (bar)	Q (l/s)	η_{tot}	Forbruk kW	timer/år	kWh/år
1	3	3	42,3%	2,128	526	1119
2	2,6	2,25	38,7%	1,512	1314	1987
3	2,3	1,5	32,2%	1,071	3066	3284
4	1,9	0,75	20,6%	0,692	3854	2667
					sum	9057



PRINSIPKOBLING, VILLAVEKSLERE FOR BÅDE VARME OG TAPPEVANN



PRINSIPKOBLING, VILLAVEKSLER TAPPEVANN



PRINSIPKOBLING, 4-RØRSANLEGG

FJERNVARME, PRIMÆRSIDE

DESIGNTEMPERATUR: 120°C, DESIGNTRYKK: PN16

TURTEMPERATUR VINTER: 95°C

10 % RØNTGEN, TRYKKPRØVES 23 BAR

AEV LEVERER KUNDESENTRAL MED ÉN VEKSLER FOR VARME OG EVT ÉN VEKSLER FOR TAPPEVANN.

AUTOMATIKK STYRER KUNDENS TURTEMPERATUR BASERT PÅ UTETEMPERATUR

KRAV TIL TEKNISK ROM

STØRRELSE: min 3x3 m, Takhøyde 2,40m

ADKOMST: Skal være permanent uten kundens påvirkning, eksempelvis med nøkkelboks.

TYPE: Våtrom, med utdøsløende dører og 10cm sorg.

SANITÆRANLEGG: Varmtvann, kaldtvann med slangetilkobling, trommel m 6m slange, 110mm sluk

VENTILASJON: Frostsikkert, maks 35°C

STØY: Støynivå fra Fjernvarmens utstyr, 70 dB (A)

STRØM: Plomberbors kurs 10 ampere, 2-pollet (16 A) stikkontakt i teknisk rom.

LYS: Synlig instrumenter, og apparater, 150 lux

KRAV TIL SEKUNDÆRSIDEN

ENERGI- OG EFFEKTBEHOV: Skjema overleveres til AEV

FLYTSKJEMA: Skjema overleveres til AEV, og skal minimum inneholde effekter, temperaturer og mengder.

FREMDRIFTSPLAN: Tidspunkt for montasje av primærside oppgis med en måneds nøyaktighet
Tidspunkt for montasje av kundesentral oppgis minst en uke i forkant.
AEV varsles 2 uker før ønsket driftssettelse
AEV innkaller til ferdigbefaring 1 uke før ønsket driftssettelse

TEGNINGER: Tegninger av bygget (og omgivelser) med angitt plassering av teknisk rom.

AUTOMATIKK: Mengdereguleres uten bruk av bypass mellom tur og retur, slik at lavest mulig retur oppnås.

VANNBEHANDLING: Filter med maks maskestørrelse på 0,6 mm monteres på returledningen før vekslere. Utskifting eller rensing av vekslere pga dårlig vannkvalitet eller smuss på sekundærsiden vil bli belastet kunden.

LUFTING: Det skal være mulig å luften i undersentralene; fortrinnsvis med mikrobleutskiller og/eller luftepotter. Dette er spesielt viktig med gulvvarme montert høyere enn undersentral.

B01 TIL KOMMENTAR		05.02.2016		MARIE SJA	MARIE
Rev	Beskrivelse	Dato	Tegn.	Kontr.	Godkj.
AKERSHUS ENERGI VARME ALLE OMRÅDER			Original format A1	Fag FJERNVARME	
SEKUNDÆRNETT VEILEDNING FOR ULIKE LØSNINGER			Målestokk 1:20	Multiconsult www.multiconsult.no	
Prosjektnummer	Dato 20.06.2015	Konstr./Tegnet MARIB	Kontrollert ANM	Godkjent ANM	
	Oppdragsnr. 124.313	Tegningsnr./Arkivkode 9.9.6-0003	Rev.	B01	

Vedlegg F: Varme- og trykktap tappevannskrets system 3

Varmetap

Stort nett

DN (mm)	Lengde [m]	Varmetap [W/m]	Totalt varmetap (kW)
DN20	427,5	13,93	5,96
DN25	74	16,63	1,23
DN32	458	18,04	8,26
DN40	10	20,54	0,21
Sirk.ledning DN20	542	13,93	7,55
Sum varmetap [kW]			23,2
10% enkeltkomp.			2,3
Totalt varmetap			25,5

Lite nett

DN (mm)	Lengde (m)	Varmetap (W/m)	Totalt varmetap (kW)
DN20	138,5	13,93	1,93
DN25	183,5	16,63	3,05
DN32	10	18,04	0,18
Sirk.ledning DN20	193,5	13,93	2,70
Sum varmetap [kW]			7,86
10% enkeltkomp.			0,786
Totalt varmetap			8,6

Trykktap

Stort nett

Effekt [kW]	DN	Hastighet [m/s]	Re	f	Trykkfall, m	Pa/m	Lengde [m]	Trykktap [kPa]
192	40	0,58	60382	0,0266	0,0106	102	20	2
157	32	0,64	57507	0,0275	0,0154	148	11	2
153	32	0,62	55710	0,0276	0,0145	139	33	5
119	32	0,49	44029	0,0281	0,0092	88	160	14
89	32	0,36	32348	0,0289	0,0051	49	133	7
39	20	0,47	24635	0,033	0,0171	164	6	1
VVC								
54	20	0,65	34070	0,0322	0,0320	306	357	109

Lite nett

Effekt (kW)	DN	Hastighet (m/s)	Re	f	Trykkfall (m)	Pa/m	Lengde (m)	kPa
110	32	0,45	40435	0,0283	0,0079	75	20	1,50
82	25	0,57	39239	0,03	0,0174	167	10	1,71
75	25	0,52	35797	0,0302	0,0146	140	138	19,77
39	20	0,47	24635	0,033	0,0171	164	10	1,68
VVC								
25	20	0,3	15725	0,0346	0,0073	70	168	11,76



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no