

Tekniske og økonomiske analyser ved utbygging av fjernvarmesystem

Astrid Gaustad

Master i energi og miljø
Oppgaven levert: November 2007
Hovedveileder: Rolf Ulseth, EPT

Oppgavetekst

Bakgrunn:

I området rundt Hallset i Klæbu eksisterer det i dag et mindre fjernvarmesystem som skal utbygges videre for å dekke tilgrensende områder med både eksisterende og ny bebyggelse. Fjernvarmesystemet bygges ut med en varmesentral som baserer seg på biobrensel som grunnlastkilde.

I praksis er det mange ulike forhold som er med på å avgjøre om man får et system som er så funksjonelt og økonomisk som mulig under tilsvarende forhold.

Denne oppgaven tar sikte på å analysere utvalgte forhold i forbindelse med den videre utbygging av det aktuelle fjernvarmesystemet, samt utbygging av tilsvarende systemer. Hovedhensikten vil være å få et bedre vurderingsgrunnlag for hva som vil være "optimale" tekniske og økonomiske valg for de forhold som kan påvirkes ved utbygging av slike systemer.

Mål:

Målet vil være å få frem et bedre beslutningsunderlag for utbygging av det aktuelle fjernvarmesystem samt for utbygging av tilsvarende systemer.

Oppgaven bearbeides ut fra følgende punkter:

1. Redegjør for ulike typer abonnentsentraler som bygges ved dagens praksis og klarlegg de utviklingstrender som eksisterer på dette området. De tekniske og økonomiske motivene bak dagens praksis og utviklingstrendene klarlegges.
2. Redegjør for ulike typer fjernvarmeledninger som bygges ved dagens praksis og klarlegg de utviklingstrender som eksisterer på dette området. De tekniske og økonomiske motivene bak dagens praksis og utviklingstrendene klarlegges.
3. Redegjør for beregning av samtidige effektbehov for oppvarming av varmt tappevann for boligblokker og boligfelt ved direkte varmeveksling ved varierende antall boliger.
4. Beregn estimert samtidighetsfaktor for effektbelastningen for fjernvarmeledningen mot Klæbu sentrum ved hjelp av "normaliserte" lastprofiler for de ulike bygningskategoriene på denne grenledningen.
5. Nye byggforskrifter forutsetter redusert behov for levert varme til nye bygninger. Redegjør for de tekniske og økonomiske konsekvenser ved antatt 30 % lavere behov for levert varme på grenledningen mot Klæbu sentrum.

Oppgaven gitt: 11. juni 2007



Rapportnummer

Gradering

POSTADRESSE NTNU INSTITUTT FOR ENERGI OG PROSESSTEKNIKK Kolbjørn Hejes vei 1A N-7491 Trondheim - NTNU	TELEFONER Sentralbord NTNU: 73 59 40 00 Instituttkontor: 73 59 38 60 Vannkraftlaboratoriet: 73 59 38 57	TELEFAX Instituttkontor: 73 59 35 80 Vannkraftlaboratoriet: 73 59 38 54
Rapportens tittel Tekniske og økonomiske analyser ved utbygging av fjernvarmesystem		
Dato 23.11.2006		
Antall sider og bilag 130		
Forfatter Astrid Gaustad		
Ansv. sign.		
Avdeling Institutt for energi- og prosesseteknikk		
Rapportnummer EPT-M-2007-14		
ISBN nr.		
Studieprogram Energi og miljø		
Oppdragsgiver NTNU, i samarbeid med Trondheim Energi Fjernvarme		
Oppdragsgivers ref. Rolf Ulseth, Amund Utne		

Ekstrakt <p>I Norge har nye tekniske byggeforskrifter, TEK 07, som mål å redusere energibruken i bygninger med totalt 25 %, og at minimum 40 % oppvarmingsbehovet skal dekket av alternativ energi. Dette gjør fjernvarme stadig mer aktuelt. Økonomien i fjernvarmeanlegg kan bedres ved god utnyttelse av produsert energi og optimalisere bruken av systemkomponentene.</p> <p>Rapporten analyserer og vurderer utvalgte forhold basert på innsamlede opplysninger, og gjennom eksemplifisering ved beregninger av fjernvarmesystem i Klæbu som er under utvidelse.</p> <p>Abonnentsentralene må utformes med sikte på effektiv varmeoverføring, og studien begrunner at dette best oppnås ved direkte veksling av varmt tappevann. I Sverige har standardisering og sertifisering av abonnentsentraler gitt gode resultater.</p> <p>Rapporten peker på muligheter for forbedringer i distribusjonsnettet blant annet ved å benytte tvillingrør hvor mulig, øke isolasjonen på enkeltrør til serie 2 og øke bruken av fleksible rør i stikkledninger.</p> <p>Når oppvarmingsbehovet reduseres, får dimensjoneringen av tappevannvarmeveksleren, større betydning, og gjennomgang av effektbehov for varmt tappevann indikerer at Normalreglementet for sanitæranlegg ikke er tilstrekkelig.</p> <p>For grenledning i Klæbu beregnes sammenlagret effekt, sammenlagrings- og samtidighetsfaktor. Videre beregnes anleggets innteksttap dersom levert varme til aktuelle bygninger reduseres med 30 %.</p> <p>Erfaring fra lavenergiboliger i Sverige viser at estimert framtidig energibehov er lavere enn reell utvikling blant annet på grunn av endringer i abonnentenes varmebehov. Det er derfor usikkerhet knyttet til energibruken i bygninger etter innføring av TEK 07. Slik TEK 07 fremstår, legger den etter rapportens vurdering ikke i tilstrekkelig grad til rette for alternative energikilder til oppvarmingsformål.</p>
--

	Stikkord på norsk	Indexing Terms English
Gruppe 1	Energi	Energy
Gruppe 2	Fjernvarme	District heating
Egenvalgte stikkord	Analyse av systemkomponenter	Analysis of system components

Forord

Denne masteroppgaven er utført ved Institutt for Energi- og Prosessteknikk, NTNU, høsten 2007. Oppgaven er en videreføring av sommerjobb hos Trondheim Energi Fjernvarme og prosjektoppgave skrevet høsten 2006.

Målet med oppgaven har vært å analysere utvalgte forhold ved fjernvarmeanlegg, for å få frem et bedre beslutningsunderlag for fjernvarmeutbygginger. En del av analysene er utført ved å ta utgangspunkt i en pågående utbygging av fjernvarmesystemet i Klæbu.

Arbeidet med denne oppgaven har gitt meg stor innsikt i en del av de forhold som er av betydning ved fjernvarmeutbygginger. I tillegg har jeg fått kjennskap til en sammensatt problemstilling rundt optimalisering av fjernvarmesystemer.

Jeg vil benytte anledningen til å takke min hovedveileder Rolf Ulseth ved Institutt for Energi- og Prosessteknikk for uvurderlig hjelp under arbeidet. Han har til en hver tid vært tilgjengelig for veiledning, og gjennom lange samtaler har han gitt meg kunnskap om ulike sider ved fjernvarme. Jeg har opplevd samarbeidet som svært godt, og ingen spørsmål har vært for store eller for små. I tillegg vil jeg takke min veileder ved Trondheim Energi Fjernvarme, Åmund Utne, som har hjulpet meg med alle spørsmål om praktiske forhold underveis i arbeidet.

Trondheim 23. november 2007

Astrid Gaustad

Sammendrag

Det er i dag sterkt fokus på å bekjempe klimaendringer og for å nå internasjonale utslippsavtaler. I Norge har det nå kommet nye Tekniske Byggeforskrifter, TEK 07, som tar sikte på å redusere energibruken i bygninger med totalt 25 %, og at minimum 40 % av oppvarmingsbehovet skal dekkes av alternative energikilder. Dette gjør bruk av fjernvarme til oppvarmingsformål stadig mer aktuelt, men betyr at fjernvarmeselskapene i teorien vil få solgt mindre mengde energi over året til hver abonnent. Denne oppgaven analyserer utvalgte forhold som kan påvirkes ved utbygging av et fjernvarmesystem. Dette er gjort ved noen generelle betraktninger, og gjennom eksemplifisering ved beregninger av pågående utbygging av fjernvarmesystemet i Klæbu. Økonomien i et fjernvarmesystem kan bedres gjennom å utnytte produsert energi på en best mulig måte, samtidig som investeringer og drift og vedlikehold av distribusjonsnettene sikrer høy kvalitet over lengre tid. Det er derfor behov optimalisering av komponentene i fjernvarmesystemet.

Det er viktig at abonnentsentralen utføres slik at den sikrer mest mulig effektiv varmeoverføring, og ut fra vurderinger gjort her vil dette best oppnås ved en systemløsning med direkte vekslings av varmt tappevann. Sverige har innført standardisering og sertifisering abonnentsentraler, og har gjennom dette opplevd utvikling mot mer effektive sentraler.

Forbedringer i distribusjonsnettene kan ut fra rapportens gjennomgang og vurderinger blant annet skje ved å benytte tvillingrør hvor dette er mulig, øke isolasjonen på enkeltrør til serie 2 og i større grad benytte fleksible rør i stikkledninger.

Redusert oppvarmingsbehov vil føre til større betydning for riktig dimensjonering av tappevannvarmeveksleren. Gjennomgang av beregning av effektbehov for varmt tappevann indikerer at Normalreglementet for sanitæranlegg muligens ikke er tilstrekkelig, da det er uklart i forhold til tappevannstemperaturer og gir tilsynelatende noe overdimensjonering av nødvendig effektkapasitet på veksleren.

Beregningseksempel for grenledning i Klæbu ga en sammenlagret effekt på 2173 kW som opptrådte kl 09. Sammenlagningsfaktoren ble beregnet til 0,977, som skyldes få bygninger med relativt likt forbruksmønster. Samtidighetsfaktoren ble beregnet til 1 for nesten alle bygningene. Beregninger for denne grenledningen viste videre en reduksjon i TEFs inntekter på omlag 300 000 kr med dagens brenselspris ved 30 % redusert behov for levert varme til aktuelle bygninger.

Erfaring fra prosjekt med lavenergiboliger i Sverige viser at estimert framtidig energibehov er lavere enn reell utvikling, blant annet på grunn av endringer i abonnentenes varmebehov. Det er derfor usikkerhet knyttet til energibruken i bygninger etter innføring av TEK 07. Slik TEK 07 fremstår, legger den etter vurdering her ikke i tilstrekkelig grad til rette for bruk av alternative energikilder til oppvarmingsformål.

Abstract

Around the world today we see an increasing focus on fighting climate changes and fulfilling international protocols on emissions to air. In Norway the new technical regulation scheme for buildings, TEK 07, has just been introduced, and the intension is to reduce the need of energy in buildings with a total of 25 %, and in addition to that 40 % of heating in buildings should be based on alternative energy resources. This increases the actuality of district heating for heating purposes, although it means a decrease in the amount of energy sold to each customer.

This paper analyses some aspects that can be influenced when building district heating systems, in general terms and by looking into a specific district heating system in Klæbu. The economy of district heating systems can be improved by more efficient use of the energy produced, and by making sure investments and operation and maintenance give a high quality distribution system over time. It is therefore important to optimize the components in district heating systems.

It is important that the customers' substation ensures an efficient heat transfer, and the evaluations done in this paper conclude that this can be achieved by direct heat exchange of tap water. In Sweden substations have been standardized and certificated, and this has led to a development towards more efficient substations.

Improvements in the distribution system are evaluated and the most promising appear to be using twin piping where possible, increase isolation in single pipes and by the use of flexible pipes where this seems reasonable.

A decrease in the need of heating in buildings makes it more important to make a correct dimensioning of the tap water heat exchanger. By going through calculations for needed capacity on the tap water heat exchanger it seems to this author that "Normalreglementet for sanitæranlegg" is not sufficient. It appears to be unclear concerning the tap water temperature, and seemingly it overestimates the capacity of the heat exchanger.

Case study estimations on the district heating system in Klæbu led to a maximal coincidental effect of 2173 kW at 9 a.m. The coincidental effect factor is estimated to 0.977, and is caused by a few buildings and with relatively concurrent heat load profile. The simultaneous factor is 1 of nearly all buildings. Calculations showed that for this specific system a 30 % reduction in delivered heat to each of these buildings would mean a loss in profits of 300 000 kr to TEF with fuel price of today.

Experience gained from a project with low energy buildings in Sweden show that the estimated need for energy is lower than what is realistic, and therefore it is uncertainty concerning the real need of energy in buildings with TEK 07. The way TEK 07 is presented, it does not favor the use of alternative energy to a sufficient extent.

Innholdsfortegnelse

Forord	ii
Sammendrag	iii
Abstract	iv
Innholdsfortegnelse	v
Tabelliste	viii
Figurliste	ix
Forkortelser og begreper	x
1 Innledning	1
2 Bakgrunn	2
3 Abonnentsentraler	3
3.1 Tilkoblingsprinsipper hos abonnenter, [2]	3
3.1.1 Direkte system	3
3.1.2 Indirekte system	4
3.1.3 Konvertering fra kjelsystem til fjernvarme	4
3.2 Systemløsning i abonnentsentral	5
3.2.1 Direkte veksling av varmt tappevann og bygningsoppvarming	7
3.2.2 Direkte veksling til oppvarming, akkumulatortank til varmt tappevann	8
3.2.3 Kun direkte veksling av varmt tappevann	9
3.2.4 Kun direkte veksling til oppvarming	9
3.3 Fordeler og ulemper med direkte veksling og akkumulering	10
3.4 Praksis ved norske fjernvarmeselskaper	13
3.4.1 Trondheim Energi Fjernvarme	13
3.4.2 Viken fjernvarme	14
3.4.3 Tafjord Kraft	14
3.4.4 Haugaland Kraft	15
3.5 Praksis i Norden	15
3.5.1 Finland	15
3.5.2 Danmark	16
3.5.3 Sverige	17
3.6 Utvikling	18
3.6.1 Sertifisering av abonnentsentraler	18
3.7 Vurdering	20
4 Fjernvarmerør	22
4.1 Legging av rør	23
4.2 Ulike typer rør	24
4.2.1 Stive rør	24
4.2.2 Fleksible rør	26
4.2.3 Enkelt- og tvillingrør	28

4.3	Økonomi	30
4.4	Praksis hos ulike fjernvarmeselskap	32
4.4.1	Trondheim Energi Fjernvarme	32
4.4.2	Viken Fjernvarme	33
4.4.3	Tafjord Kraft	33
4.4.4	Haugaland Kraft	34
4.5	Praksis i Norden	34
4.5.1	Sverige	34
4.5.2	Finland	35
4.5.3	Danmark	35
4.6	Vurdering	36
5	<i>Samtidig effektbehov varmt tappevann</i>	38
5.1	Samtidige vannmengder	39
5.2	Sammenlagring tappevann	42
5.3	Samtidig effekt tappevann	45
5.4	Vurdering	49
6	<i>Sammenlagring av effektbelastning</i>	51
6.1	Grenledning mot Klæbu sentrum	51
6.1.1	Bygninger på grenledning	51
6.1.2	Antakelser ved bruk av HQ, [2]	52
6.1.3	Energi- og effektbehov for bygninger i Klæbu sentrum	53
6.2	Lastprofiler	53
6.3	Effektsammenlagring	54
6.3.1	Effektbelastning ulike bygninger	55
6.3.2	Sammenlagret effekt for bygninger på grenledning	56
6.3.3	Sammenlagningsfaktor	57
6.4	Samtidigheidsfaktor for effektbelastningen	58
6.5	Vurdering	59
7	<i>Nye byggforskrifter</i>	61
7.1	Nye byggeforskrifter	61
7.2	Mulige konsekvenser for fjernvarme	63
7.3	Grenledning Klæbu sentrum	65
7.3.1	Redusert behov for energi til oppvarmingsformål	65
7.3.2	Prosentvis effekt- og energireduksjon	66
7.4	Vurdering	71
7.4.1	Vurdering av TEK 07	71
7.4.2	Vurdering av grenledning mot Klæbu sentrum	74
8	<i>Konklusjon</i>	75
9	<i>Litteraturliste</i>	76
10	<i>Vedlegg</i>	I
	Vedlegg A.	I

Vedlegg B.	VI
Vedlegg C.	XIII
Vedlegg D.	XIV
Vedlegg E.	XXXIII
Vedlegg F.	XXXIV
Vedlegg G.	XXXVIII
Vedlegg H.	XXXIX

Tabelliste

Tabell 4.1. Priseksempler ulike rørkvaliteter	31
Tabell 5.1. Normalvannmengder	39
Tabell 5.2. Normalvannmengder varmt tappevann for småhus og leilighet	40
Tabell 5.3. Sannsynlig maksimal vannmengde for småhus, leiligheter og miks	41
Tabell 5.4. Normalvannmengder for småhus ved beregninger her og utført av TEF.	44
Tabell 6.1. Energi- og effektbehov fra fjernvarme for bygninger på grenledning mot Klæbu sentrum, beregnet i HQ	53
Tabell 6.2. Samtidighetsfaktor for de ulike bygningne.....	59
Tabell 7.1. Krav til ulike bygningsdeler i ny byggeforskrift.	62
Tabell 7.2. Oversikt over netto energibehov ulike bygningstyper	62
Tabell 7.3. Energibehov for bygninger i Klæbu per i dag og ved 30 % reduksjon.	66
Tabell 7.4. Effektforbruk, varmetapstall, effektilskudd, balansetemperatur og prosentvis effektreduksjon for bygninger på grenledning til Klæbu sentrum.....	69
Tabell 7.5. Gradtimetall og prosentvis endring i effektbehov per i dag og etter TEK07.	70

Figurliste

Figur 2.1. Illustrasjon av fjernvarmesystem	2
Figur 3.1. Prinsippskisse direkte system.....	3
Figur 3.2. Prinsippskisse indirekte system.....	4
Figur 3.3. Prinsippskisse fjernvarmetilkobling for eksisterende bygg med kjelsystem ved indirekte system	5
Figur 3.4. Prinsippskisse ett-trinnskobling av abonnentsentral	6
Figur 3.5. Prefabrikkert enhet med direkte veksling for oppvarming og varmt tappevann	7
Figur 3.6 Prinsippskisse av flyten i to-trinnskobling.....	8
Figur 3.7. Prinsippskisse av veksling og akkumulering av varmt tappevann.....	8
Figur 3.8. Prefabrikkert abonnentsentral for varming av varmt tappevann.....	9
Figur 3.9. Prefabrikkert abonnentsentral for oppvarming	9
Figur 3.10. Kostnader forbundet med direkte veksling og akkumulering.....	11
Figur 3.11. Eksempel på sertifiseringsmerke for svenske abonnentsentraler	19
Figur 4.1 Prinsipiell oppbygning prefabrikkert enkelt- og tvillingrør for fjernvarme.....	23
Figur 4.2. Prinsipiell skisse av rørlegging i grøft for henholdsvis tvilling- og enkeltrør .	23
Figur 4.3. Varmetap i enkelt- og tvillingrør.....	29
Figur 4.4. Levetidskostnader for enkelt- og tvillingrør.....	30
Figur 5.1. Sannsynlig maksimal vannmengde ved varierende antall boligenheter.....	41
Figur 5.2. Sammenlagring ved varierende antall boligenheter.....	42
Figur 5.3. Sammenlagringsfaktor for småhus ved TEFs beregningsmåte og ved beregninger gjort her.....	43
Figur 5.4. Vinterforhold, alle boligkategorier ved ulike tappevannstemperaturer.	46
Figur 5.5. Sommerforhold, alle boligkategorier ved ulike tappevannstemperaturer.	46
Figur 5.6. Vinterforhold, tappevannstemperatur 45 °C.....	47
Figur 5.7. Nødvendig effektkapasitet for småhus ved sommerforhold og ulike tappevannstemperaturer. $T_v = 10$ °C.....	47
Figur 5.8. Effektbehov til småhus ved beregningsmetode benyttet her og TEFs metode.	48
Figur 6.1. Effektbelastning over døgnet for bygninger på grenledning i Klæbu.....	55
Figur 6.2. Effektprofil for de ulike bygningene over døgnet inkludert sammenlagring og total maksimal effekt.....	56
Figur 7.1. Beregnet og målt forbruk i lavenergiboliger i Malmö, Sverige	73

Forkortelser og begreper

BRA	Bygnings bruksareal/bruttoareal
Coincidental effekt	Sammenlagret effekt
DKK	Danske kroner
Effektsammenlagring	Uttrykk for at alle abonnenters totale effekt vil være lavere enn hver enkelt abonnents effekt lagt sammen
Fjernvarmesystem	Fellesbetegnelse for varmesentral og distribusjonsnett
Flerbolighus	Fellebetegnelse for bygning med 4 boligenheter eller mer
PUR	Polyuretanskum
REN	Veileder til TEK 07
Råvann	Kaldt vann fra drikkevannsforsyning inn på tappevannsvarmeveksleren
SFF	Svensk Fjärrvärme Forening
Sammenlagringsfaktor	Reduksjonsfaktor for flere abonnenters sammenlagte effektbehov.
Samtidighetsfaktor	Forhold mellom abonnents effektuttak i det tidspunkt maksimal effekt registreres, og abonnents maksimale effekt.
Simultaneous factor	Samtidighetsfaktor
Småhus	Fellesbetegnelse for småhuser, rekkehus, tomannsboliger
SP	Sveriges Tekniske Forskningsinstitut
TEF	Trondheim Energi Fjernvarme
TEK 07	Teknisk Forskrift av 1.2.2007 for bygninger
ΔT	Temperaturdifferanse varmt og kaldt vann
VVS-krets	Varmtvanns sirkulasjonskrets

1 Innledning

I Norge var bruken av vannbåren varme økende i perioden 1900-1960. Etter dette økte elektrisitetsproduksjonen, basert på vannkraft, i Norge betraktelig, og på grunn av stor kapasitet, var elektrisk kraft rimelig. Dette har ført til at høyverdig el har vært dominerende energibærer til oppvarmingsformål ved bruk av blant annet panelovner. I dagens samfunn med økende krav til komfort, forbrukes stadig mer elektrisitet. Norge er i dag netto importør av elektrisitet i et normalår, og den importerte elektrisiteten er i stor grad basert på forurensende kullkraft. Med økt fokus på menneskeskapte klimaendringer og gjennom internasjonale avtaler som Kyoto-avtalen, har vi forpliktet oss til å redusere utslipp av klimagasser. Et steg på veien for å redusere utslipp er å legge om energibruken til oppvarmingsformål i bygninger, til bruk av alternative energikilder og vannbåren varme. Regjeringen la i 2002 fram en strategi for utbygging av vannbåren varme som et ledd i å redusere elektrisitetsavhengigheten til oppvarmingsformål, og for å øke bruken av alternative og fornybare energikilder. Målet er at innen 2010 skal bruken av vannbåren varme basert på fornybare energikilder, varmepumper og spillvarme øke til 4 TWh [1]. Nye tekniske byggeforskrifter, TEK 07, av 1. februar 2007 skal sørge for 25 % redusert energibehov i bygninger, og at minst 40 % av oppvarmingsbehovet skal være basert på alternative energikilder.

I Klæbu står det et eldre fjernvarmesystem Trondheim Energi Fjernvarme (TEF) overtok i 2001. Varmesentralen er etter overtakelsen blitt renovert, og det er blant annet satt inn en biobrenselkjel og en elkjel i tillegg til de to eksisterende oljekjelene. Distribusjonsnettets er også under utvidelse, med en ny trasé mot Klæbu sentrum og forlengelse av de eksisterende.

Ved redusert energibehov i bygninger, er det viktig at fjernvarmesystemer konstrueres slik at de sikrer effektiv varmeleveranse til abonnentene. Oppgaven tar sikte på å analysere utvalgte forhold som kan påvirkes ved utbygging av fjernvarmesystemer, for å oppnå et mest mulig optimalt system. Dette gjøres gjennom betraktninger av generelle problemstillinger rundt fjernvarmesystemer. Noen av disse problemstillingene knyttes så opp mot fjernvarmesystemet i Klæbu for eksemplifisering.

Oppgaven ser først på hvilke typer abonnentsentraler og fjernvarmerør som bygges ved dagens praksis, samt de tekniske og økonomiske motiver bak disse. Ulike fjernvarmeselskapers og lands praksis blir så omhandlet før en ser på utviklingen fremover. Det redegjøres videre for beregning av samtidig effektbehov for oppvarming av varmt tappevann ved direkte vekslings for varierende antatt boligenheter. Samtidig effektbehov for fjernvarmetraseen mot Klæbu Sentrum beregnes ved hjelp av ”normaliserte” lastprofiler. Til slutt ses det på de nye tekniske byggeforskriftene, TEK 07, og hvilke konsekvenser denne kan ha for fjernvarmesystemer. Tekniske og økonomiske vilkår for fjernvarmesystemet i Klæbu ved 30 % lavere behov for levert vurderes for eksemplifisering. Oppgaven tar ikke for seg dypere økonomiske vurderinger, men ser overordnet på aspekter som virker inn på kostnader og økonomi for fjernvarmesystemer.

2 Bakgrunn

Fjernvarme er en teknologi for å transportere varme ut til en abonnentmasse. Vann varmes opp i kjelsystemer i en varmesentral, og det varme vannet sendes så i et distribusjonsnett ut til abonnentene. En prinsipiell skisse av et fjernvarmesystem er illustrert i figur 2.1. Fjernvarmen i seg selv er ikke en energibærer, men en kan benytte ulike energibærere til å varme opp vannet i varmesentralen. En av fordelene med fjernvarme er at en kan benytte mange ulike energibærere, som for eksempel olje, biobrensel, varmepumpe, spillvarme avfall og el. Avfallsforbrenning og spillvarme fra industribedrifter er energi som ellers ville gått til spille. Fordelen med å kunne utnytte flere ulike energibærere er leveringssikkerhet til kundene, og at en til en hver tid kan benytte den eller de energibærerne som er økonomisk og miljømessig gunstige. I tillegg oppnår en større virkningsgrad på ett stort anlegg, framfor en liten installasjon i hvert hjem hvor det kanskje ikke utføres nødvendig vedlikehold og ettersyn. Utslipp i form av røykgass fra ett stort anlegg vil også være lettere å rense enn mange små punktutslipp fra ulike bygninger. Fjernvarme vil være mest lønnsomt å benytte i områder med stor befolkningstetthet, hvor det er mange abonnenter med varmebehov på et lite geografisk område, [2].

Denne rapporten er en videreføring av prosjektoppgaven ”Analyser og planlegging av utbygging fjernvarmesystem” skrevet høsten 2006. I Klæbu er det en pågående utbygging av fjernvarmeanlegget, hvor varmesentralen er oppgradert og utvidet ledningsnett er under legging. I prosjektoppgaven ble det utført analyser i tilknytning til denne utbyggingen, blant annet ble nødvendig effekt- og energibehov hos abonnentene beregnet. Noen av effekt- og energiberegningene fra prosjektoppgaven anvendes videre for å se på andre aspekter ved utvidelsen av fjernvarmesystemet.



Figur 2.1. Illustrasjon av fjernvarmesystem, [3].

3 Abonnentsentraler

I dette kapitlet behandles ulike typer systemløsninger i abonnentsentraler og fordeler og ulemper knyttet til direkte veksling og akkumulering av varmt tappevann. Videre ses det på praksis hos ulike fjernvarmeselskaper i Norge, og i Norden forøvrig.

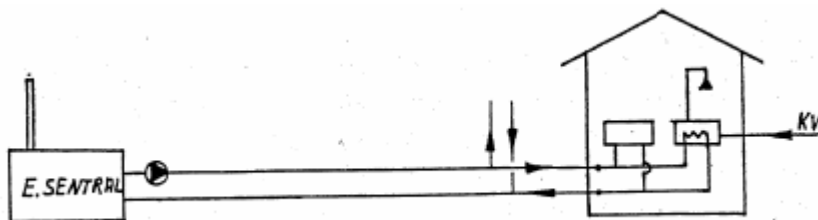
Når en abonnent ønsker å koble seg til et fjernvarmenett, kan dette skje på to måter. Primærvannet fra distribusjonsnettet for fjernvarme kan sirkulere inn i abonnentens interne varmesystem uten noen form for fysisk skille, eller primærvannet kan varmeveksles med et separat sekundært varmesystem hos abonnenten. Denne koblingsenheten mellom fjernvarmenettet og abonnenten kalles en abonnentsentral. Det finnes ulike typer abonnentsentraler på markedet i dag med forskjellige systemløsninger, og denne rapporten tar for seg noen av hovedforskjellene for de ulike typene sentraler.

3.1 Tilkoblingsprinsipper hos abonnenter, [2]

Kobling mellom fjernvarmenett og abonnent kan løses ved to tilkoblingsprinsipper, direkte- eller indirekte systemtilkobling.

3.1.1 Direkte system

I et direkte system er det ikke noe hydraulisk skille mellom distribusjonstettet for fjernvarme og system hos abonnenten. Dette betyr at det samme vannet strømmer i primærnettet og i det interne varmesystemet hos abonnenten. En prinsippskisse av dette er vist i figur 3.1. Temperaturen på vannet reguleres ved å blande inn en tilstrekkelig mengde av nedkjølt returvann med det varme turvannet via en shuntventil. Det er da behov for en intern rørkrets med pumpe i bygningen. Oppvarming av varmt tappevann skjer ved varmeveksling. Det anbefales ikke å benytte temperaturer høyere enn 80°C ved direkte system. Dette systemet kan benyttes i mindre fjernvarmesystem med lavt trykk i distribusjonsnettet. Dersom trykket er for høyt, må dette strupes og en får store trykktap, [4].

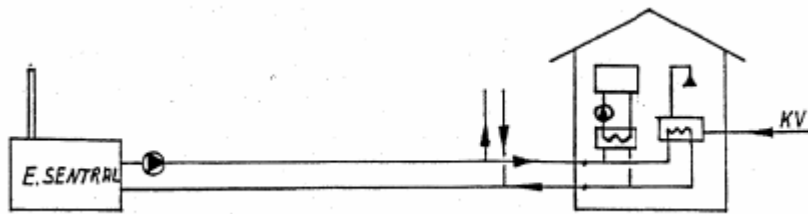


Figur 3.1. Prinsippkisse direkte system, [4].

Begrunnelser for å velge et direkte system er reduserte investeringskostnader hos abonnenten og mulighet for økt varmetransportkapasitet i fjernvarmenettet, da en unngår temperaturfall over varmeveksler, [4].

3.1.2 Indirekte system

I et indirekte system er det et hydraulisk skille mellom vannet som strømmer i distribusjonsnettet og vannet hos abonnenten. Dette betyr i praksis at vannet fra primærnettet varmeveksles mot et sekundærnett hos abonnenten i en abonnentsentral. Det interne distribusjonssystemet hos abonnenten fører så varmt vann rundt i bygningen. Prinsipiell oppbygning av indirekte system er vist i figur 3.2. Varmt tappevann varmeveksles mot turvannet i egen varmeveksler, [4]. Dette er i dag den mest utbredte systemløsningen.



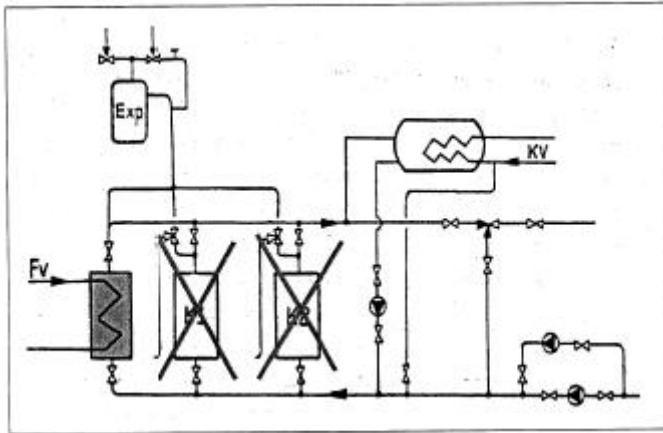
Figur 3.2. Prinsippkisse indirekte system, [4].

Hovedgrunnen for å velge et indirekte system er å oppnå et sikrest mulig system. En reduserer faren for lekkasje hos abonnenten som følge av høyt systemtrykk eller trykkstøt, samt konsekvensene av en eventuell lekkasje eller driftsproblemer i systemet. I tillegg unngås for høyt systemtrykk i abonnentens interne system, og en får en klar oppdeling av ansvar hos fjernvarmeselskap og abonnent [4].

Nye abonnenter ved varmesentralen anbefales å benytte indirekte systemtilkobling på grunn av de fordeler som er nevnt over.

3.1.3 Konvertering fra kjelsystem til fjernvarme

Eksisterende bygninger med kjelsystem og vannbåren varme kan kobles til fjernvarme. Figur 3.3 viser en mulig tilkobling til fjernvarmenettet. En kan i prinsippet velge om en vil koble seg til fjernvarmenettet ved direkte eller indirekte kobling, men det viser seg at en direktekobling kan føre til flere problemer hos abonnenten. I gamle kjeler kan det ha oppstått små lekkasjer. Stadig etterfylling av varmt, oksygenrikt vann vil være skadelig for systemet. I tillegg er det store problemer knyttet til lekkasjeskader på gamle varmtvannsbereidere, og gammel automatikk kan forårsake problemer med å oppnå ønsket temperatur og temperaturstabilitet. Det anbefales derfor eksisterende kjelsystemer med vannbåren varme å konvertere til et system med indirekte kobling, [4].



Figur 3.3. Prinsippskisse fjernvarmetilkobling for eksisterende bygg med kjelsystem ved indirekte system, [4].

I dag brukes nesten utelukkende indirekte kobling, og systemløsninger omtalt videre i denne oppgaven forutsetter derfor indirekte systemtilkobling. Abonnentsentraler omtalt her gjelder i hovedsak bolighus. Det finnes andre typer abonnentsentraler for industri og til andre formål som ikke behandles her.

3.2 Systemløsning i abonnentsentral

Det finnes flere mulige systemløsninger for tilkoblingen mellom fjernvarmens primærnett og sekundærnettet i en bygning. Tilkoblingsenheten, abonnentsentralen, plasseres inne i abonnentens bygning. I Norge finnes det ingen nasjonale føringer for valg av systemløsning på abonnentsentraler. Dette innebærer at det er opp til hvert enkelt fjernvarmeselskap å vurdere hvilken systemløsning de ønsker at abonnentene skal benytte. Primærvannet fra fjernvarmenettet kan brukes til varming av tappevann og til oppvarming av bygningen, og det finnes i hovedsak fire ulike systemløsninger for abonnentsentralen. Man kan bruke primærvannet til både bygningsoppvarming og varming av tappevann, enten ved direkte veksling eller bruk av akkumuleringstank, eller kun til varming av en av delene.

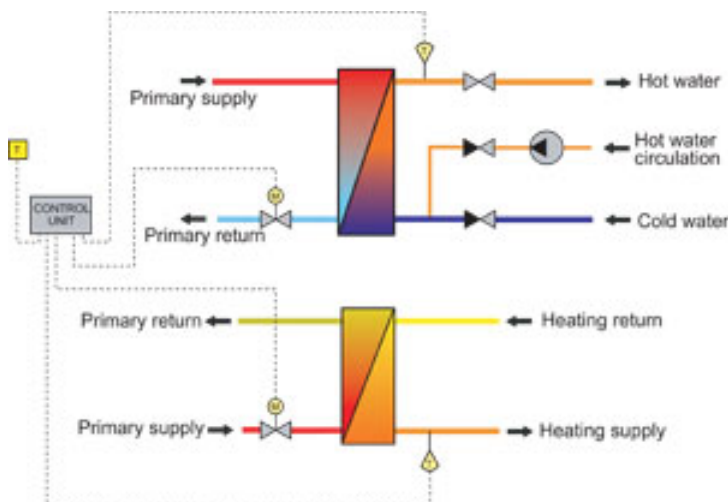
Abonnentsentralen kan enten spesialbygges på stedet av en rørlegger eller komme som en prefabrikkert enhet som inneholder alle de nødvendige komponenter for tilkobling til fjernvarme. Ved sistnevnte løsning trenger rørlegger bare å koble rørene fra primær- og sekundærnettet på den prefabrikkerte enheten. Tidligere var det relativt utbredt at rørlegger bygde abonnentsentraler på stedet, men i dag gjøres dette kun i noen tilfeller ved større abonnentsentraler. Prefabrikkerte abonnentsentraler er i dag nesten helt dominerende da de er kompakte, rimelige og lette å installere. De kommer i en rekke størrelser, fra 10 kW opp til 5 MW. Disse kan dekke behovet fra småhus (rekkehus, eneboliger, tomannsboliger) opp til store boligkompleks. De største kan forsyne omlag 1000 leiligheter, [5]. I småhus er det utbredt å ha en abonnentsentral per bolig, mens i flerbolighus er det vanlig å installere en større abonnentsentral i teknisk rom som forsyner hele boligkomplekset.

Det er flere produsenter av prefabrikkerte abonnentsentraler, blant annet er to større leverandører Danfoss Redan A/S (Danmark) og Alfa Laval AB (Sverige). Mange av deres produkter er prinsipielt like, men med noen individuelle forskjeller, og på grunn av dette vil systemløsningene her omtales på en generell basis. Abonnentsentraler dimensjoneres for turtemperatur på primærsiden på 120 °C, og med trykkklasse 16 eller 25 bar. På sekundærsiden er det relativt vanlig å dimensjonere for 80 °C og 6 bar. I fremtiden vil en muligens se noe lavere temperaturnivå i abonnentsentralene, kanskje omlag 70 °C, for i større grad å kunne utnytte for eksempel varmepumper og andre lavtemperatursystemer, [6].

En abonnentsentral for varming av tappevann og til bygningsoppvarming vil typisk bestå av følgende hovedkomponenter:

- Varmeveksler for bygningsoppvarming
- Varmeveksler for varming av tappevann
- Ekspansjonskar
- Ventiler
- Regulatorer
- Trykk og temperaturmålere
- Filter på primær- og sekundærsiden
- Sirkulasjonspumper
- Luftutskiller
- Energimåler

Figur 3.4 under viser en prinsipiell skisse over flyten i en abonnentsentral med primærnett til venstre og abonnentens sekundærsystem til høyre.



Figur 3.4. Prinsipskisse ett-trinnskobling av abonnentsentral, [7].

3.2.1 Direkte veksling av varmt tappevann og bygningsoppvarming

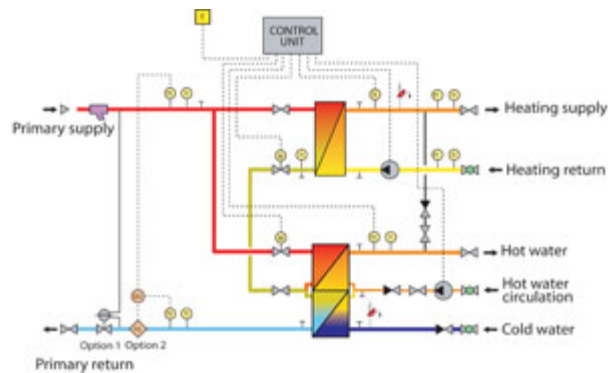
Ved direkte veksling av både varmt tappevann og oppvarming av boligen inneholder abonnentsentralen minimum to varmevekslere i parallell, en til veksling av tappevann, og en til veksling av vann til bygningsoppvarming. Dette kalles en parallellkobling eller ett-trinnskobling, og figur 3.5 viser et eksempel på en prefabrikkert abonnentsentral med parallellkobling for småhus. Når det tappes varmt vann i springen foregår en momentan oppvarming av råvann i tappevannsveksleren, og veksleren dimensjoneres for å dekke hele tappevannsbehovet. Figur 3.4 over viser flyten i en abonnentsentral med ett-trinnskobling.

I større bygninger hvor det forbrukes relativt mye varmt tappevann kan det være fornuftig å installere en abonnentsentral med to-trinnskobling. Her utnyttes returtemperaturen fra veksleren for bygningsoppvarming til å forvarme tappevannet. En ettervarmingsveksler varmer deretter opp tappevannet til ønsket temperatur dersom veksleren for bygningsoppvarming ikke klarer å varme opp tappevannet tilstrekkelig. Figur 3.6 neste side viser en slik to-trinnskobling. Denne koblingen sikrer bedre nedkjøling av primærvannet enn en ett-trinnskobling, gir økttemperaturdifferanse mellom varmt og kaldt vann, ΔT , da den krever mindre vanngjennomstrømning av primærvann.

Abonnentsentraler for direkte veksling av tappevann leveres svært ofte som en prefabrikkert enhet, og er kompakt da varmevekslerne tar liten plass. Enheter for mindre boliger kan veggghenges og skjules av et skap, men de største enhetene for mange boligheter krever noe større plass. I tillegg har enhetene lav brukerterskel og krever lite vedlikehold [7]. Denne systemløsningen er svært vanlig å bruke, både for småhus og for flerbolighus. I flerbolighus er det vanlig å ha en intern sirkulasjonskrets (VVS-krets) i bygget hvor det hele tiden sirkulerer noe varmt tappevann. VVS-kretsen hindrer at tappsteder langt fra abonnentsentralen må vente lenge på varmt tappevann, da det hele tiden går varmt vann i rørene.



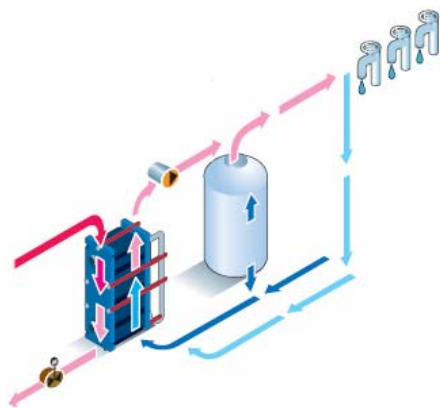
Figur 3.5. Prefabrikkert enhet med direkte veksling for oppvarming og varmt tappevann [7].



Figur 3.6 Prinsippkisse av flyten i to-trinnskobling, [8].

3.2.2 Direkte veksling til oppvarming, akkumulatortank til varmt tappevann

I denne typen abonnentsentral er oppvarmingen og lagringen av varmt tappevann separert. Sentralen består av to varmevekslere, en for bygningsoppvarming og en relativt liten vekslere for varmt tappevann. Varmt tappevann føres fra veksleren og inn i en akkumulatortank, se figur 3.7 under for prinsippkisse. Effektkapasiteten på veksleren vil være avhengig av størrelsen og ladetiden på akkumulatortanken. Når tilgjengelig fjernvarmekapasitet er liten i forhold til tappevannsbehovet, kan denne systemløsningen være fornuftig. I akkumulatortanken har en under ladning sjikting av vannet, slik at oppvarmet vann med relativt stabil temperatur befinner seg over kaldt vann. Bruk av akkumulatortank vil minimalisere eventuelle variasjoner i tappevanns-temperatur ved stort effektuttak, [4], [5]. Denne typen systemløsning krever en del plass, da den består av både en kompakt fjernvarmeanhet og en akkumulatortank. Denne systemløsningen er ganske vanlig, både i småhus og flerbolighus.



Figur 3.7. Prinsippkisse av veksling og akkumulering av varmt tappevann, [9].

3.2.3 Kun direkte veksling av varmt tappevann

I denne typen systemløsning inneholder abonnentsentralen en veksler, og denne brukes kun til oppvarming av varmt tappevann. Bygningsoppvarming skjer da ved bruk av for eksempel elektriske panelovner. Motivet for å velge en slik løsning er for utbygger at det er tids- og kostnadsbesparende å ikke installere vannbårent distribusjonssystem for gulvvarme eller radiatorer i bygninger. I eldre bygg som renoveres hvor det tidligere har vært oppvarming ved bruk av el kan dette være en rimelig løsning, da man slipper å installere føringsveier for vannbåren varme. For tappevann eksisterer det allerede føringsveier, og det er relativt enkelt å koble disse opp mot fjernvarme, [10]. En kan velge en systemløsning hvor tappevannet veksles direkte eller en kan velge å benytte akkumulatortank, [12]. Figur 3.8 under viser en abonnentsentral for varming av tappevann for småhus.



Figur 3.8. Prefabrikkert abonnentsentral for varming av varmt tappevann, [13].

3.2.4 Kun direkte veksling til oppvarming

Denne typen enheter kommer kun med varmeveksler til oppvarming av boligen. Varming av varmt tappevann foregår da for eksempel i en elektrisk bereder. Dette kan være en alternativ løsning hvis det eksisterer et vannbårent kjelsystem i bygningen, og hvor varming av tappevann skjer i en elektrisk bereder. Man kan ha ulike motiver for å ville beholde berederløsningen som allerede eksisterer, for eksempel kan det være rimeligere å la eksisterende installasjon stå [14]. Figur 3.9 viser et eksempel på denne typen abonnentsentral for småhus.



Figur 3.9. Prefabrikkert abonnentsentral for oppvarming, [15].

Av de fire overstående systemløsninger er de mest brukte systemløsningene direkte vekslings av både bygningsoppvarming og varmt tappevann, eller direkte vekslings til bygningsoppvarming og akkumulatortank for tappevann. Det er kun i spesialtilfeller at en velger de to andre systemløsningene.

3.3 Fordeler og ulemper med direkte vekslings og akkumulering

Ved valg av systemløsning er det flere faktorer som spiller inn. Hovedutfordringen ligger i å finne ut hvorvidt direkte vekslings eller akkumulering av varmt tappevann vil være fornuftig ut fra en teknisk og økonomisk helhetsvurdering, og det er flere aspekter som påvirker valget, blant annet pris, sikkerhet og plass.

Abonnentsentraler med direkte vekslings av varmt tappevann er meget kompakte, og kan i mange tilfeller veggenges, noe som er spesielt fordelaktig i boenheter med begrenset plass. Tendensen er at boliger som oppføres i dag har mindre boligareal enn tidligere, og en del boliger føres opp uten bod hvor en kan plassere abonnentsentralen. Akkumulatortank krever større installasjon, og legger derfor beslag på mer av gulvarealet i boligen. I prinsippet kan potensielt større boligareal bety økt inntekter til utbygger.

Abonnentsentraler med direkte vekslings av varmt tappevann krever en større effektkapasitet på veksleren enn ved bruk av akkumulatortank. For at en større effekt skal kunne overføres momentant, må vekslersflaten og vannmengden over denne økes. En større vannmengde over veksleren betyr at det må gå en større mengde vann fra hovedledningen og inn i stikkledningen til bygningen. Dette fører til økt dimensjon på stikkledningen som gir noe høyere rørkostnader. Dessuten stiger varmetapet fra rør ved økende overflatedimensjon, i tillegg til at det har en sammenheng med isoleringsgrad av rørene. Ved bruk av akkumulatortank slipper en disse ekstra utgiftene [2]. Det er i Danmark gjort beregninger og skrevet flere rapporter som bekrefter det faktum at dersom alle abonnentene utelukkende benytter direkte vekslings av tappevannet, må rørdimensjonene ytterst i distribusjonsnettet økes med en til to dimensjoner i forhold til om alle abonnentene benyttet akkumulatortank, [16].

Fjernvarmeselskapene etterstreber høyest mulig dimensjonerende temperaturdifferanse, ΔT , på tur- og returvannet i primærnettet. Jo høyere ΔT er, jo mer effekt har abonnentene fått overført fra primærvannet, som i sin tur betyr god økonomi for systemet. Ved direkte vekslings av varmt tappevann får man større nedkjøling av primærvannet gjennom veksleren i de periodene det tappes varmt vann. Høy ΔT betyr på grunn av økt effektuttak at man trenger mindre sirkulert mengde vann i primærnettet og mindre energiforbruk til pumpedrift. Ved bruk av akkumulatortank vil tappevannsveksleren trekke en relativt jevn effekt fra primærvannet, og temperaturen på primærvannet vil ikke synke like my over veksleren som ved direkte vekslings.

En ulempe ved direkte vekslings er at man vil få større effektsvingninger i nettet ved tapping av varmt vann enn ved bruk av akkumulatortank. For et stort nett vil ikke et stort momentant effektuttak merkes i særlig grad, men det kan være merkbart i et lite

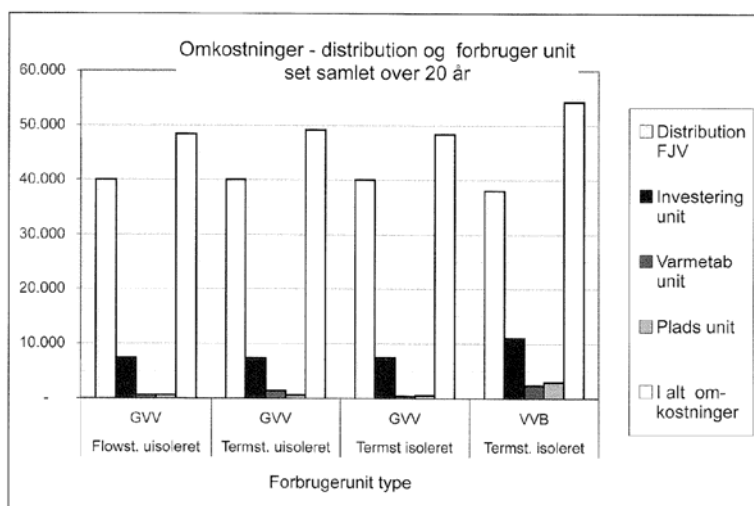
fjernvarmenettverk. En kan da risikere at ikke alle kundene får tilgang på den effekten de prøver å ta ut fra nettet. På grunn av stadige svingninger av effektuttak knyttet til tapping, kan det hende at ventilene i nettet blir stående og regulere mye. Dette fører til slitasje, og ventiler kan måtte skiftes ut tidligere enn ved bruk av akkumulatortank hvor en har et jevnere effektuttak, [17].

Direkte veksling kan gi noe økte omkostninger for distribusjonsnettet, men dette er også avhengig av hvilke rør som benyttes og dimensjoneringen av disse. Avstandene i nettet og lengden på stikkledninger vil også ha betydning for kostnadene.

Investeringskostnadene forbundet med abonnentsentralen vil normalt være lavere for abonnentsentraler med direkte veksling. Dette kan avhenge av blant annet hvor teknisk avansert reguleringen av sentralen er. Det finnes rimelige sentraler styrt av bare ventiler, eller en kan få helautomatiske sentraler.

Varmetap fra abonnentsentralen som ikke bidrar til å dekke netto varmebehov i boligen regnes som tap, og dette gjør seg gjeldene dersom abonnentsentralen for eksempel står i et rom som ikke skal varmes opp og avgir varme, eller når sentralen avgir varme i perioder uten varmebehov. En abonnentsentral med akkumulatortank vil avgi mer varme enn en sentral med direkte veksling, som følge av tankens større volum og overflateareal. I tillegg vil akkumulatortanken nesten alltid være fylt med varmt vann og den vil dermed avgi varme konstant til omgivelsene, også i perioder uten tapping.

I Danmark er det gjort beregninger i forhold til kostnadene forbundet med direkte veksling og akkumulering av varmt tappevann. I beregningene ble noen av de aspekter nevnt over vurdert for en tidsperiode på 20 år med rente på 3 %. Her ble det bare sett på nye distribusjonsnett, ikke nett som allerede eksisterer, [18]. Resultatet av dette arbeidet er gjengitt i figur 3.10 under.



Figur 3.10. Kostnader forbundet med direkte veksling og akkumulering.

Av figuren ser en at totalkostnadene vil være noe høyere samlet sett ved bruk av akkumulatortank for en periode på 20 år. For direkte veksling vil totale kostnader ligge i underkant av 50 000 DKK (danske kroner), mens for akkumulering vil de være omlag

10 % høyere. For direkte veksling vil kostnader forbundet med distribusjonsnettet utgjøre 80 % av totalkostnadene. Akkumulering fører til en besparelse på ca 2000 DKK forbundet med distribusjonsnettet, [18]. En må huske at dette gjelder danske forhold, og at figuren ikke uten videre er korrekt for norske forhold. Kostnadsbildet forbundet med de ulike postene kan fortone seg annerledes her, i tillegg til at prisene kan variere fra prisnivået i Danmark. En annen ting er at gravekostnader for distribusjonsnettet vil variere i hvilket område gravingen skjer, om det er i urbane strøk eller i mer uberørte områder. Det fremgår heller ikke om lønnskostnader til for eksempel graving av rørgroft inngår i disse kostnadene, og slike kan muligens avvike noe fra norske forhold. Tallene gir likevel en indikasjon på kostnadsnivået forbundet med de ulike postene, og på totalkostnadene for abonnentsentraler med akkumulering eller direkte veksling av varmt tappevann.

Ved bruk av akkumulatortank må en ta stilling til problematikk vedrørende Legionella. Den mest kjente bakterien, Legionella pneumophila, står bak ca 90 % av alle infeksjoner hos mennesker. Bakterien fører til en lungesykdom kalt Legionærsyken. Oppblomstring av Legionella kan forekomme i akkumulatortanker og andre plasser i tappevannkretsen hvor vekstvilkårene er gode og hvor vannet er relativt stillestående. Bakterien formerer seg ved temperaturer fra 25-46 °C. Den raskeste formeringen skjer ved 40 °C, og det tar da ca 10 timer å fordoble populasjonen. Formeringen avtar raskt når temperaturen synker, og under 20 °C stopper formeringen helt. Ved temperaturer over 46 °C dør bakterien, dødsraten øker med temperaturen. Undersøkelser har vist at ved 50 °C tar det 100 minutter før 90 % av bakteriene dør, mens ved 58 °C tar det bare 6 minutter. Det er derfor viktig å holde en så høy temperatur på vannet i hele tappevannskretsen at bakterien ikke får anledning til å blomstre opp. Preisolerte plastrør, Pexrør, er en type rør som brukes i tappevannskretser, hvor det kan dannes en biofilm som gir grobunn for Legionella. I kobberrør vil dette ikke være et tilsvarende problem, da kobber er et giftig materiale ved høye konsentrasjoner, og vil derfor til en viss grad drepe legionellabakterien, [19].

For å hindre at Legionella skal få grobunn i akkumulatortanker, har Nasjonalt folkehelseinstitutt kommet med veileder for forebygging og kontroll av legionellasmitte fra VVS-anlegg. Denne veilederen sier at temperaturen på tappevannet bør holde en temperatur på 55 °C innen et minutt etter åpning av varmtvannskranen. For å oppnå dette, anbefales det at temperaturen i akkumulatortanken holdes på minimum 65 °C. I tillegg bør varmtvannsanlegget sjokkbehandles med tappevannstemperaturer på 70-80 °C minst en gang hver sjetten måned. Denne temperaturen bør holdes i tre døgn, og hvert tappested skal gjennomspyles i fem minutter ved full temperatur [20]. Følgene av dette er at fjernvarmeselskapene må ha minimum 70 °C på turvannet på primærsiden for å kunne levere 65 °C etter veksleren på sekundærsiden til akkumulatortanken. På sommeren kan dette være et problem da de fleste fjernvarmeselskapene senker temperaturen på primærvannet. Dette fordi fjernvarmevannet i stor grad bare brukes til å varme tappevann. Veiledningen fra folkehelseinstituttet kan i praksis bety at fjernvarmeselskapene må heve turtemperaturen på sommerstid i forhold til optimal temperatur. I tillegg må de heve turtemperaturen opp til 80-90 °C en gang hver sommer når varmtvannsanleggene skal sjokkbehandles.

Heving av temperaturen kan ha økonomiske følger for fjernvarmeselskapene, avhengig av hvilken energikilde de bruker. Ved bruk av for eksempel spillvarme som holder høyere temperatur enn kravene fra folkehelseinstituttet tilsier, vil ikke dette være et problem. Derimot vil det ha betydning for anlegg hvor fjernvarmeselskapet betaler for oppvarmingen av turvannet, som for eksempel anlegg som bruker ulike kjelsystemer.

Ved å benytte direkte veksling til varming av tappevannet unngår man hele denne problemstillingen, da vann ikke blir stående stille over lengre tid slik tilfellet er i akkumulatortanker.

3.4 Praksis ved norske fjernvarmeselskaper

Det er interessant å se på hvilken praksis de norske fjernvarmeselskapene har når det gjelder valg av systemløsning i abonnentsentralen. Et par norske fjernvarmeselskaper var behjelpelige med å svare på spørsmål, mens det var vanskelig å få konkret informasjon fra andre. Noen selskaper valgte å ikke besvare spørsmål i det hele tatt.

3.4.1 Trondheim Energi Fjernvarme

Trondheim Energi Fjernvarme skriver i sine tekniske forskrifter at alle abonnentsentraler skal ha direkte veksling av varmt tappevann opp til et effektuttak på 250 kW. Dersom nødvendig effekt på varmeveksleren er større enn dette, skal abonnentsentralen inneholde akkumulatortank [21]. I noen tilfeller hvor fjernvarme skal kobles til eksisterende rørsystem og varmeanlegg i bygninger, kan det gjøres unntak fra de tekniske forskriftene [22]. Dette har ført til at flere rørleggere ikke vurderer direkte veksling for større bygg, da de ved god margin på dimensjoneringen i mange tilfeller overstiger maksimumskravet for direkte veksling på 250kW, [23]. Hovedgrunnen til at TEF setter krav til direkte veksling er mindre effekter enn dette er at de ønsker en størst mulig nedkjøling av primærvannet gjennom abonnentenes systemer for å oppnå lavest mulig returtemperatur.

Fjernvarmenettet i Trondheim er så stort at momentane effektuttak på grunn av tapping hos abonnentene er lite merkbart. I tillegg ønsker de å redusere faren for oppblomstring av Legionella i akkumulatortanker, [24]. TEF leverer fjernvarme frem til abonnentens tekniske rom, slik at abonnenten selv velger type abonnentsentral og er eier av denne. Det er vanlig for småhus og mindre flerbolighus å installere en prefabrikkert abonnentsentral. Ved større bygninger øker antallet abonnentsentraler som bygges på stedet av rørlegger. Etter at rørlegger har installert abonnentsentralen hos abonnenten, skal en representant for TEF igangsette energimåleren. Denne foretar da grovkontroll av utførelsen av anlegget. Normalt skal alle abonnentsentraler gjennom en omfattende kontroll, men dette er et arbeid de ligger på etterskudd med. Det betyr i praksis at de ikke rekker å kontrollere at alle abonnentsentraler som installeres følger de tekniske forskriftene, [22].

Ved TEF er oppfatningen at bruken av direkte veksling til varming av tappevann trolig vil øke i fremtiden. Standardisering av abonnentsentraler ville vært ønskelig, men fordi TEF ikke eier sentralene har de begrenset mulighet til å påvirke denne utviklingen, [24].

3.4.2 Viken fjernvarme

Viken Fjernvarme krever i sine tekniske forskrifter at alle abonnenter skal ha direkte veksling av varmt tappevann, uavhengig av effektuttaket hos abonnenten, med mindre noe annet er særskilt avtalt. Dette er et godt salgsargument for installering av fjernvarme da det sparer byggherren for unødige investeringer, blant annet i forhold til installering av akkumulatortank, [25]. I likhet med TEF ønsker de å minimere faren for oppblomstring av Legionella, og de ønsker lavest mulig returtemperatur i primærnettet for å sikre best mulig utnyttelse av nettet. Viken Fjernvarme leverer komplett fjernvarmetilkobling med abonnentsentral, slik at de i prinsippet selger ”varmt vann” til sine abonnenter. På denne måten har de full kontroll med hvilke abonnentsentraler som benyttes og de unngår problemstillinger vedrørende ansvarsgrenser i forhold til abonnenten. De bruker kun prefabrikkerte enheter både til mindre og større bygninger, og som rørlegger monterer på stedet. Anlegg blir kontrollert av representanter fra Viken Fjernvarme etter at de er ferdig montert.

På grunn av større fokus på faren for Legionella i akkumulatortanker og skjerpede krav til egenkontroll av tappevannsanlegg, oppfattes det ved Viken Fjernvarme at man i fremtiden vil se økt bruk av direkte veksling av varmt tappevann. De viser likevel til at mange leverandører av akkumulatortanker og rørleggere ønsker å selge fordyrende løsninger som kan forsinke utviklingen. Viken Fjernvarme jobber mot en standardisering av abonnentsentraler, og deltok blant annet i prosjektgruppen til Matilda-prosjektet, et standardiseringsprogram som omtales i avsnitt 3.6. Ved å eie alle sine abonnentsentraler har de i stor grad innvirkning på denne utviklingen i sitt konsesjonsområde, [25].

3.4.3 Tafjord Kraft

Tafjord Kraft krever at alle deres kunder skal benytte seg av akkumulatortank til varmt tappevann. De leverer prefabrikkerte abonnentsentraler, men abonnenten må selv sørge for å få installert akkumulatortank, [26]. Gjennom tappevannsvexleren går det konstant vannstrøm som skal tilsvare midlere forbruk, og akkumulatortanken dimensjoneres for styrt-tapping. De har valgt å utelukkende benytte prefabrikkerte sentraler fordi disse er kompakte, rimelige og lette å installere, [17].

Vexleren for tappevann er stilt inn på konstant vekslingstemperatur hele året, [26]. I VVS-kretsen sirkulerer det kontinuerlig varmt tappevann, for å redusere responstiden på tappevannet. Tappevannstemperaturen er på 65 °C, og dette i kombinasjon med sirkulerende vann skal hindre vekst av Legionella i akkumulatortankene. Ved høytemperatur utspyling av dusjhoder etc. for å hindre Legionella i tappevannsystemet som pålagt av Nasjonalt folkehelseinstitutt, endrer Tafjord set-punktet for tappevannet til et tilfredsstillende høyt nivå. Abonnentene koster sine akkumulatortanker, og dette er økonomisk gunstig for Tafjord Kraft da abonnentsentralen blir noe rimeligere.

Oppfatningen ved Tafjord Kraft er at den ekstra nedkjølingen av primærvannet man oppnår ved direkte veksling er så marginal at den ikke spiller noen rolle. Store deler av

dagen foregår det meget lite tapping, og vannet som sirkulerer i tappevannskretsen er da så varmt at en bare trenger en liten åpning på ventilen på primærsiden gjennom veksleren. Ved styrt-tapping vil det komme råvann inn på veksleren, og man oppnår da samme grad av nedkjøling som ved direkte veksling, [17].

3.4.4 Haugaland Kraft

Haugaland kraft sier i sine tekniske forskrifter at deres kunder skal ha direkte veksling til oppvarming av boligen og til varmt tappevann. De leverer fjernvarme til innefor kundens husvegg, og kunden må selv bekoste abonnentsentral. Haugaland Kraft er likevel behjelpelig med å foreslå en abonnentsentral om dette ønskes av abonnenten. I småhus benyttes utelukkende prefabrikkerte abonnentsentraler, mens i større bygninger blir abonnentsentralen i noen tilfeller bygd av rørlegger. Kundene bør foreta en forsiktig overdimensjonering av veksleren slik at en tar høyde for noe beleggdannelse på vekslerflaten. Tappevannsveksleren skal dimensjoneres for temperaturløft på minimum 45 °C (5-50 °C). Det anbefales ikke bruk av trykkstyrte blandebatterier da trykktap er større gjennom en varmeveksler enn en akkumulatortank, [27]. Haugaland kraft kan ikke gi noen spesiell begrunnelse for at de krever direkte veksling, men pekte på at de var plassbesparende og er at det gir abonnenten ubegrenset tilgang på varmt tappevann, [28].

3.5 *Praksis i Norden*

I Norge har vi hatt rikelig tilgang på billig elektrisitet, og derfor ikke vært opptatt av å utvikle alternative kilder til bygningsoppvarming. I resten av Norden har de vært mer avhengig av alternative oppvarmingskilder, og derfor har de utviklet tradisjon for fjernvarme. For eksempel er fjernvarmeproduksjonen i Sverige, som har størst produksjon, på 47.8 TWh (2004) i året, [29], i motsetning til Norge som produserer ca 2,5 TWh (2006), [30]. Derfor er det fornuftig å se på hvilken praksis de nordiske landene har med hensyn til abonnentsentraler. Det var dessverre ikke mulig å få noen svar fra den Islandske Fjernvarmeforeningen, Samorka.

3.5.1 Finland

Finsk Energi Industri har publisert retningslinjer for kundesentraler, og her er det bare illustrert bruk av direkte veksling for varmt tappevann. Retningslinjene er ikke bindende, men det er kun i svært få tilfeller at en velger å benytte varmtvannsberedere. Det dreier seg da om svømmehaller eller idrettsanlegg hvor en har store variasjoner i effektforbruket til varming av varmt tappevann, [31].

Selv om Finland ikke har bindende regler knyttet til direkte veksling, har de retningslinjene som er publisert fra Finnish Energy Industries nærmest ført til en standardisering av abonnentsentraler. De tror ikke at det vil komme noen forandringer vedrørende varming av tappevann de neste årene og at det derfor ikke er behov for en

ytterligere standardisering av abonnentsentraler. Begrunnelsen for å velge direkte veksling av varmt tappevann har vært at denne installasjonen er mindre plasskrevende enn en akkumulatortank. Videre unngår en også problemstillinger knyttet til Legionella, og en oppnår større nedkjøling av primærvannet gjennom abonnentsentralen som gir bedre økonomi for fjernvarmesystemet, [31].

3.5.2 Danmark

I Danmark finnes det ingen nasjonale retningslinjer for hvorvidt abonnentsentraler skal ha en systemløsning med direkte veksling eller akkumulering av varmt tappevann. Det er opp til hver enkelt fjernvarmeselskap å lage sine egne leveringsbetingelser. Noen ganger er det også opp til abonnentene å avgjøre hvilken systemløsning de ønsker å benytte. Begrunnelsen for dette er at abonnentene i stor grad selv eier abonnentsentralene. Dansk Fjernvarme har ingen oversikt over hvilken systemløsning som er den mest fortrukne, men tror det er overvekt av direkte veksling av varmt tappevann da dette krever mindre installasjon hos abonnentene, [32].

Valg av systemløsning avhenger i stor grad av det enkelte fjernvarmeselskap eller abonnents vurderinger, eller det kan være tilfeldigheter som avgjør hva som blir foretrukket. I områder hvor det bygges lavenergihus er trenden at man bruker akkumulatortank på grunn av lavere effektuttak i nettet og fordi en kan gå ned i dimensjon på stikkledninger. Danmark har man en vannnorm som sier at et småhus trenger 32 kW effekt ved direkte veksling. For å levere denne effekten trengs det en stikkledning på omlag 20-25 mm. Hvis en velger en løsning med en 110 liters akkumulatortank (den mest anvendte størrelsen) og en varmeveksler på 7 kW til tappevann, reduseres nødvendig størrelse på stikkledningen 10-14 mm. Dette reduserer også varmetapet fra stikkledningen, [32]. Københavns Varmeverk har tidligere anbefalt direkte veksling, men det har ved bruk av kobberør oppstått flere tilfeller av utmattelsesproblemer, fordi direkte veksling fører til hurtige og høye temperaturvekslinger. I 2004 gikk de derfor ut med anbefaling for bruk av akkumulatortank, men ble møtt med motstand hos kunder som synes den tar for stor plass, [33].

Dansk Fjernvarme arbeider for tiden med å informere de enkelte fjernvarmeselskaper om hvilke konsekvenser valg av systemløsning vil ha for dimensjonering av hovedledningene på primærsiden, og det pekes spesielt på at det er stor forskjell om man skal dimensjonere stikkledning for direkte veksling eller akkumulatortank. Danfoss prøver å legge press på danske fjernvarmeselskap til å velge direkte veksling av varmt tappevann, men alle argumentene er ikke like saklige. I noen år har en arbeidsgruppe fra Dansk Fjernvarme arbeidet med å få til en energimerking av abonnentsentraler. Gjennom en slik merking tror de at abonnentene blir mer bevisst på å velge systemløsninger som er energimessig fornuftig, og ikke velge det billigste produktet, [32].

3.5.3 Sverige

I Sverige er det krav om at alle abonnenter skal ha direkte veksling av varmt tappevann. Svensk Fjärrvarme Forening (SFF) har kommet med en noen normer gjennom Tekniska bestämmelser som sier at all oppvarming av bolig og tappevann skal skje ved direkte veksling. Det finnes fortsatt unntaksvis anlegg med akkumulering, men disse er på vei ut. En av hovedgrunnene til at det ble krav om direkte veksling, er problematikken rundt Legionella, hvor en prøver å fjerne en av kildene for smitte. Et annet aspekt er også at de synes direkte veksling gir bedre kontroll med returtemperaturen i nettet, [34]. I tillegg til å kreve bruk av direkte veksling, har de innført en sertifisering av abonnentsentraler. I 1999 kom sertifiseringen for småhus, og i april i år kom den også for flerbolighus. Denne sertifiseringen er resultatet av et nordisk samarbeid, som er blitt omtalt som Matilda-prosjektet.

I tiden mellom 1995 til 2005 pågikk det i Sverige forskning på abonnentsentraler. De tok for seg anlegg i Europa som er bygd opp på sammen måte som i Sverige, blant annet i Norden. Det ble ut fra denne forskningen vitenskapelig bevist at omtrent alle abonnentsentraler i Europa er overdimensjonert til omlag dobbel effektkapasitet på varmevekslerne. Overdimensjonering av abonnentsentraler fører til en betydelig økning i kostnader ved utbygging av fjernvarme. Både varmesentralen, distribusjonsnett og selve abonnentsentralen påvirkes, [35]. Varmesentralen dimensjoneres for unødig høy effekt som bidrar til å øke investeringskostnadene. I distribusjonsnett kan man kanskje klare seg med mindre dimensjoner på rørene til samme mengde bebyggelse, som betyr at utgiftene til graving av grøft og rørkostnadene går noe ned. I tillegg kan dette gi en bedre utnyttelse av de rørene som allerede er gravd ned, ved for eksempel at det kan bli mulig å koble flere bygninger på samme ledning.

Dersom vekslerne overdimensjoneres mye, vil det føre til bruk av større ventiler enn det som muligens er nødvendig. Ventilene vil da regulere på en liten åpning, og man vil få en grov regulering av vannstrømmen over vekslerne, [35]. Dette var en av årsakene til at de ønsket seg kontroll med hvilke typer abonnentsentraler som ble benyttet i det svenske markedet. Et annet argument har vært at ved individuell tilpassing av hver abonnentsentral blir dimensjonering og installering av sentralen ofte kostbar og tidskrevende. Abonnentsentralene er en del av et stort nettverk, og gjennom kontroll kan en sikre at sentralene holder høy kvalitet mot primærnettet så vel som mot husets indre sekundærsystem, [36].

3.6 Utvikling

3.6.1 Sertifisering av abonnentsentraler

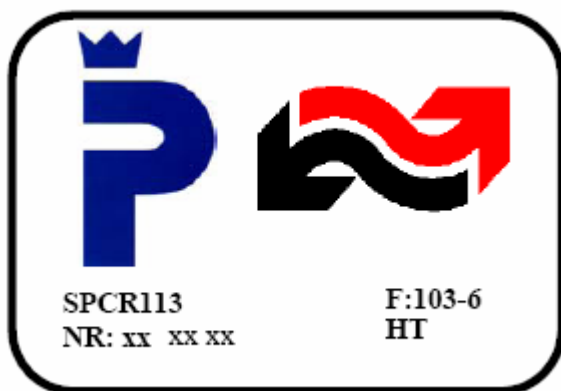
Sverige har arbeidet med fjernvarme helt siden 1950-tallet, og de abonnentsentralene som i dag bygges holder høy kvalitet. SFF har bidratt til denne utviklingen gjennom Tekniska bestämmelser, hvor det stilles krav til kvalitet og funksjon av abonnentsentralene. For å sikre at disse kravene oppfylles har de satt i gang arbeidet med sertifisering av abonnentsentraler. I 1999 ble det som nevnt laget en funksjonell standard for sertifisering av abonnentsentraler i småhus. Resultatet av denne sertifiseringen var at abonnentsentralene ble videreutviklet, de ble mer effektive og robuste og de fikk bedre funksjonalitet. Produksjonen av sentralene ble også effektivisert, som resulterte i reduserte priser og raskere levering. På grunn av de positive erfaringene med sertifisering av abonnentsentraler i småhus ville man se på muligheten for å lage en tilsvarende sertifisering for abonnentsentraler i flerbolighus, [35], [36].

Matilda-prosjektet ble startet i regi av svenske fjernvarmeaktører og pågikk fra 2002-2007. Det var en nordisk prosjektgruppe som gjennomførte standardiseringsprosjektet for flerbolighus, og det ble ledet av Gunner Nilsson i Göteborg Energi. Denne standarden og sertifiseringen trådte i Sverige i kraft 1. april 2007, og er så langt det eneste landet hvor den gjelder, [35]. Standarden omfatter et modulsystem av totalt seks varmevekslere med forskjellig effektkapasitet, to for veksling av varmt tappevann, og fire for bygningsoppvarming. Vekslerne har effektkapasitet på 10 til 400 kW. To varmevekslere (en for tappevann og en for bygningsoppvarming) kan kombineres på ulike måter for å oppnå et optimalt system for bygninger med opp til omlag 80 leiligheter. Modulsammensetningen vil avhenge av effektbehovet, antall leiligheter og i hvilken klimasone bygningen ligger. En får på denne måten en abonnentsentral som er tilpasset bygningen uten å måtte bygge en helt unik sentral. Modulkonseptet har fått internasjonal oppmerksomhet, og kan gi produsentene av abonnentsentraler markedsfordeler i utlandet fordi de kan tilby gunstige priser på sentralene, [36].

Sertifiseringen skal sikre et økonomisk og teknisk godt fjernvarmesystem, og det er da viktig at også abonnentsentralene optimaliseres. Brenselet som brukes i varmesentralen skal utnyttes på best mulig måte, og dette betyr at det stilles krav til godt effektutbytte i abonnentsentralene. De må også sørge for størst mulig nedkjøling av primærvannet. Kravene er de samme for småhus og flerbolighus. For at en abonnentsentral skal bli godkjent må den blant annet tåle en temperatur på 120 °C og 16 bars trykk. Differansetrykket skal ligge mellom 1-6 bar. For flerbolighus kreves det at temperaturen i sirkulasjonskretsen (VVS-kretsen) for varmt tappevann ikke kommer tilbake til veksleren med temperatur høyere enn 45 °C. Tappevannstemperaturen ut fra tappestedet skal ikke overstige 60 °C, [35], [36].

Sertifiseringen er ikke lovpålagt, SFF har kun kommet med en anbefaling ovenfor sine medlemmer og som simpelthen sier at det er foretatt en upartisk vurdering av abonnentsentralen. Det er SP Sveriges Tekniske Forskningsinstitut som foretar kontrollen. Når en type abonnentsentral utvikles og produseres, sender produsenten dokumentasjon på modulkonseptet til SP. Dokumentasjonen skal blant inneholde spesifikasjon over komponentene, miljødeklarasjon, prinsippskisse, reguleringskriterier og beregninger for varmevekslerne. Produsentene sender i tillegg de ulike typene sentraler inn til SP for testing. De kan velge å sertifisere spesielle kombinasjoner av varmevekslerne, eller hver enkelt sentral kan gjennomgå sertifiseringen. SP har en spesialbygd testrigg hvor en har mulighet til å simulere ulike driftsbetingelser som kan forekomme i primær og sekundærnettet. Hvis abonnentsentralen godkjennes, videresender SP testresultatene og dokumentasjonen til en sertifiseringsenhet som lager sertifikat for sentralen. Sertifiseringsenheten består av representanter fra SP og SFF. Videre sendes dette sammen med en full rapport over sentralen til SFF. Disse sertifikatene og rapportene legges så ut på deres hjemmeside slik at alle har fri tilgang til dem, [36].

Alle godkjente sentraler får et sertifiseringsmerke slik figur 3.11 under viser. Sertifikatet er gyldig i to år, og kan forlenges i ytterligere to år dersom abonnentsentralen har vært uforandret i løpet av denne tiden. Etter fire år må så sentralen gjennom ny godkjenning, [36].



Figur 3.11. Eksempel på sertifiseringsmerke for svenske abonnentsentraler, [36].

Tyskland har vist stor interesse for Matilda-standarden, og en skal nå se på mulighetene for å innføre en tilsvarende standard der. I Sverige ser en for seg at standarden på sikt også kan bli tatt i bruk i de andre nordiske landene.

3.7 Vurdering

Ved valg av systemløsning i abonnentsentralen er det som vist over en rekke hensyn å ta. For abonnenter og boligutbyggere vil plasshensyn i bygningen og investeringskostnadene for sentralen dersom en eier denne selv, være viktige kriterier. Fjernvarmeselskapene må vurdere hvilke aspekter de ønsker å legge mest vekt på. Ved akkumulering kan de oppnå lavere momentane effektuttak i nettet, som kan være fordelaktig for mindre fjernvarmesystem og nærvarmesystem. Akkumulering av tappevann kan også gi besparelser for fjernvarmeselskapene ved legging av stikkledning, og i noen tilfeller også for hovedledning. Ved mindre rørdimensjoner oppnår en også noe redusert varmetap fra distribusjonsnettet avhengig av type rør og isolering på grunn av at varmetap øker med overflaten på røret. En ulempe er at på grunn av fare for Legionella må en høyere turtemperaturen i distribusjonsnettet, og at primærvannet ikke avkjøles i like stor grad gjennom abonnentsentralen som ved direkte veksling. Beregninger gjort i Danmark viste at totale kostnader over 20 år med 3 % rente for direkte veksling lå på omlag 50 000 DKK, og abonnentsentral med akkumulering lå ca 10 % over dette. Det er som nevnt flere usikkerhetsmomenter knyttet til disse beregningene, men den viser at kostnadsbildet for direkte veksling ligger noe under akkumulering.

I Norge er det litt ulik praksis hos fjernvarmeselskapene. Tafjord Kraft har lagt seg på en linje hvor alle abonnentene skal benytte akkumuleringstank, mens Viken Fjernvarme og Haugaland Kraft kun ønsker direkte veksling. TEF har lagt seg på en middelvei, hvor de ønsker at små abonnenter benytter direkte veksling, og hvor større abonnenter med nødvendig effektkapasitet over 250 kW må installere akkumulatortank. Det er altså ingen entydig profil på hva som er den mest foretrukne løsningen, og en burde hatt informasjon fra flere fjernvarmeselskap for å kunne si noe mer sikkert. Både TEF og Viken Fjernvarme nevner målet om lavest mulig returtemperatur og å unngå problemstillinger i forhold til Legionella som begrunnelse for å velge direkte veksling. Viken Fjernvarme fremstår som det mest bevisste selskapet i forhold til denne problemstillingen, og de er tydelige på at de vil ha kontroll med hvilke sentraler som benyttes. Videre ønsker de en standardisering av abonnentsentraler og har bidratt til dette arbeidet gjennom Matilda-prosjektet i Sverige. Tafjord Kraft mener fordelene ved direkte veksling er minimale, og ser ikke på krav til endring av turtemperatur på primærvannet i perioder som et problem. Inntrykket gjennom kontakt og samtaler med de ulike fjernvarmeselskapene som har respondert på henvendelser og spørsmål, er at de er noe vage og utydelige i begrunnelse for valg av systemløsning.

I Danmark er det også opp til hvert enkelt fjernvarmeselskap og abonnent eller utbygger å avgjøre hvilken systemløsning de foretrekker, og har i så måte lik praksis som i Norge. De prøver å få til en energimerking av sentralene som indikerer hvilke sentraler som er energimessig fornuftig. Dette skal lette avgjørelsen om hvilken løsning abonnentene bør velge, uten å ta stilling til hvorvidt det mest fornuftige vil være akkumulering eller direkte veksling. Finland har heller ingen klare krav til abonnentsentralene, men her har fjernvarmeforeningen kommet med retningslinjer som indikerer bruk av direkte veksling. Disse retningslinjene blir i stor grad fulgt, og de ser flere fordeler for bruk av direkte

veksling. Sverige er det landet som tydeligst har tatt stilling til problemstillingen rundt abonnentsentraler. De har krav om at alle abonnenter skal ha direkte vekslings, og har kommet så langt at de har innført en standardisering av abonnentsentraler, både for småhus og flerbolighus. Dette har ført til en bedring av abonnentsentralene, og bidrar til et teknisk godt fjernvarmesystem med mer rasjonell drift, som inkluderer abonnentsentraler, distribusjonsnett og varmesentral.

Det er fordeler og ulemper med begge systemløsningene, men fordelene ved å velge direkte vekslings virker overveiende. Det faktum at en i stor grad unngår problemer knyttet til Legionella, oppnår redusert turtemperatur på primærvannet og at installasjonen er mindre plasskrevende taler for bruk av direkte vekslings. Det faktum at den danske beregningen indikerer at dette totalt sett er det rimeligste alternativet har også betydning. Videre tror både TEF og Viken Fjernvarme at en vil se en økning i andelen abonnentsentraler med direkte vekslings.

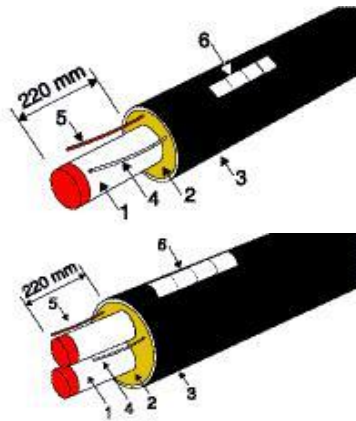
I Sverige har standardiseringen ført til en stor utvikling av abonnentsentralene, og standarden på sentralene er hevet i forhold til tidligere. Produsentene har blitt tvunget til å utvikle godkjente løsninger som i tillegg er konkurransedyktige på pris. En slik standard ville vært fordelaktig også i de andre Nordiske landene for å utvikle mest mulig lønnsomme anlegg, spesielt er dette viktig med økt fokus på å minimere oppvarmingsbehov i bygninger. Det ville vært fordelaktig for de som dimensjonerer anlegg i bygninger, abonnenten som får et anlegg til en rimelig pris og for fjernvarmeselskapet. En standardisering ville også ført til større bevissthet om hvorfor noe foretrekkes framfor noe annet, i motsetning til i dag hvor avgjørelser angående valg av systemløsning i abonnentsentralen synes noe tilfeldige.

4 Fjernvarmerør

I dette kapitlet blir det sett på ulike typer fjernvarmerør og når de ulike typene er aktuelle å benytte. Det ses på praksis hos Norske fjernvarmeselskaper, og hvilke typer rør som benyttes i resten av Norden.

Det finnes flere ulike typer fjernvarmerør på markedet i dag, og nesten helt utelukkende prefabrikkerte varianter. Den prinsipielle oppbygningen av de forskjellige prefabrikkerte rørene er lik, men med små individuelle forskjeller. Hovedutformingen er en fast sandwichkonstruksjon med føringsrør for vannet, isolasjonslag av polyuretanskum (PUR) og en ytterkappe (mantelrør) av for eksempel polyetylen plast med høy tetthet. I tillegg er det vanligvis en tynn kobbertråd i isoleringslaget for sporing av lekkasje, [4]. Fjernvarmerørene kan hos noen produsenter også leveres med en diffusjonssperre mellom isolasjonsskummet og mantelrøret av tynn aluminiumsfilm, [38]. Gjennom mantelrøret vil det oppstå diffusjon av isolasjonsgasser og vanndamp over tid. Dette fører til forringet isolasjonsevne i isolasjonen og derved økt varmetap. Aluminiumsfilmen skal hindre at isolasjonen forringes ved at det ikke tillates diffusjon gjennom mantelrøret, [39], [40]. Isolasjonsskummet er som nevnt laget av PUR, som er et fincellet materiale med lukkede celler. Cellene inneholder en blanding av kulloksid og syklopentan, og varmeledningsevnen for dette materialet er liten i forhold til andre materialer, mellom 0,024-0,029 W/mK, [40].

Fjernvarmerør kan være helt stive eller fleksible, avhengig av materialet og forbehandlingen av føringsrøret. Det kan være ett (enkeltrør) eller to (tvillingrør) føringsrør inne i mantelrøret, [41]. Figur 4.1 neste side viser prinsipiell oppbygning av både enkelt- og tvillingrør. Rør med føringsrør av metall leveres med frie ender på 220 mm slik figuren viser. Dette forenkler monteringsarbeidet, da rørene sveises sammen og det isoleres over skjøtene. På endene er det løkk slik at forurensninger ikke skal trenge inn i føringsrøret. Rør produseres med ulike materialer på føringsrøret, og tilgjengelige diametre på føringsrøret er avhengig av materialet. Isolasjonstykkelse og lengde på rørene varierer også mellom ulike dimensjoner og typer rør, men også for ulike leverandører. Vannet som sirkulerer i primærnett bør behandles slik at det ikke skal skade fjernvarmerørene over tid. For å forlenge rørenes levetid anbefales vannet blant annet å ha redusert oksygeninnhold, saltinnhold mindre enn 3000 mg per liter og at det er basisk, med pH mellom 9,5-10, [40]. Fra produsent er levetid på alle rør oppgitt til minimum 30 år, men denne levetiden vil være avhengig av driftsbetingelsene.



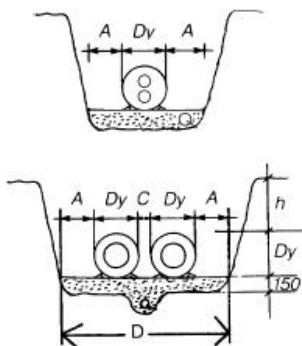
Rørene består av følgende hovedkomponenter:

- 1 Føringsrør
- 2 Isolasjon, Polyuretanskum
- 3 Mantelrør, Polyetylen
- 4 Koppertråd, sporing av lekkasje
- 5 Kobbertråd, sporing av lekkasje
- 6 Merking av rør

Figur 4.1 Prinsipiell oppbygning prefabrikkert enkelt- og tvillingrør for fjernvarme, [42], [43].

4.1 Legging av rør

Fjernvarmerør legges normalt i grøft på en "sandseng", og overdekkes deretter med pukk eller sand. Dybden og bredden på grøften vil variere med diameteren på føringsrøret, men for de minste dimensjonene kreves det et overdekke på 0.4 meter, og for de største 0.75-1 meter, [39]. Kostnadene knyttet til legging øker for økende rørdimensjon, i tillegg til at de avhenger av jordsmonnet. Utbygging i urørt grunn kan gi halvering av kostnadene sammenlinket med utbygging i bykjerneområder, [2]. I en grøft er det normalt ett føringsrør for turvann og ett for returvann. Disse vil enten ligge i samme mantelrør ved bruk av tvillingrør eller ved siden av hverandre for enkeltrør. Figur 4.2 viser prinsipiell legging av rør i grøft for enkelt- og tvillingrør. I rørgrøfter er det vanlig å legge flere typer rør sammen fjernvarmerørene, som for eksempel vanntilførsel og elkabel. Det er fordelaktig med tanke på at det gir et felles kartverk som kan benyttes ved senere garving og påvisning. Det er også økonomisk gunstig for fjernvarmeselskapene at det legges flere typer rør i en grøft. Fjernvarmerør kan også legges i rørgater under bakken sammen for eksempel kloakk, vann etc. Dette er blant annet gjort i Oslo, hvor rørene får bevege seg relativt fritt og en unngår at friksjonskrefter gjør seg gjeldene, [2], [10]. For legging av ulike typer rør er det spesielle hensyn å ta på grunn av bevegelse i rørene, og leggemetode omtales derfor under hver type rør.



Figur 4.2. Prinsipiell skisse av rørlegging i grøft for henholdsvis tvilling- og enkeltrør, [44].

4.2 Ulike typer rør

Tre store produsenter av fjernvarmerør i Norden er Logstor A/S (Danmark), Iosplus Fjernvarmeteknik A/S (Danmark) og Powerpipe Systems AB (Sverige). Av disse er Logstor den største leverandøren. Rørene som de tre produsentene lager er veldig like med hensyn til materialbruk og hvilke typer rør de tilbyr. Da det er så små forskjeller mellom rørene produsentene tilbyr, omtales rørene på en generell basis. Dersom det er noen rør som skiller seg markant ut vil disse bli omtalt for seg. Logstor har vært meget behjelpelig med å fremskaffe informasjon om sine produkter og til å svare på henvendelser. Det er derfor naturlig å ta utgangspunkt i en del av deres produkter og erfaringer.

For å beskrive størrelsen på et rør brukes to parallelle systemer. Noen rør oppgis i mm, enten innvendig eller utvendig diameter på føringsrøret. Dimensjonen kan også oppgis i DN (diameter nominell) og er en betegnelse som henger igjen fra tidligere tider da føringsrørene hadde større godstykkelse enn i dag på grunn av annen produksjonsmetode. I tillegg varierer størrelsene for de ulike typer rørkvalitet, slik at systemet er noe forvirrende. For å gjøre rørene sammenlignbare, oppgis alle dimensjoner her med innvendig diameter på føringsrøret. Rørene kan deles opp i grupper ut fra deres egenskaper, som stive eller fleksible rør, enkle- eller tvillingrør og materialet på føringsrøret. Her er rørene delt opp i stive og fleksible rør hvorunder de ulike materialtypene er omtalt. Alle rør finnes både som enkle og tvillingrør med mindre annet er omtalt under det aktuelle røret, og forskjeller på enkle- og tvillingrør omtales til sist.

4.2.1 Stive rør

I stive rør er føringsrøret er av stivt stål med isolasjonsskum av hard polyuretan, som gjør denne typen fjernvarmerør vanskelig å bøye. I stive rør av kobber finnes også, men det brukes relativt sjeldent, derfor omtales kun føringsrør av stål her. Diameteren på føringsrøret varierer fra 21,3 til 1220 mm avhengig av isolasjonstykkelsen. Tvillingrør av stål levers i dimensjoner fra 26,9 mm til 219 mm (* 2), [39]. For diametre på føringsrøret over 90 mm er det bare stive stålrør som produseres, og de leveres i lengder på 6, 12 og 16 meter. På grunn av at stålrør er de eneste rørene som produseres i store dimensjoner, og kun enkeltrør for dimensjoner større enn 219,1 mm, brukes de alltid som hovedledninger i større distribusjonsnett. Hver rørlengde må sveises sammen og man må isolere over sveisene som gjør legging av denne typen rør til et tidkrevende og relativt kostbart arbeid.

Maksimal temperaturer på turvannet er 150 °C for korte perioder, mens kontinuerlig turtemperatur kan være opptil 140 °C og driftstrykk 25 bar. På grunn av at rørene tåler et så høyt temperatur- og trykknivå, er de meget anvendelige. Selv om rørene er stive, kan fleksibiliteten i rørene utnyttes ved mindre bøyninger. For større retningsendringer må det benyttes bend eller rørbuer. Rørbuer kan med fordel brukes hvor dette er mulig da dette reduserer strømningstap, [45], [46]. Alle leverandørene behandlet her produserer stive stålrør, og de er mer eller mindre identiske i utformingen, [45], [47], [48]. På grunn av

stålrørenes holdbarhet over tid, anvendelighet og spekter av dimensjoner er dette den typen rør som benyttes i størst grad.

Oppvarming og avkjøling av stive stålrør fører til ekspansjoner og kontraksjoner i rørene. Ved legging av rør vil disse bevegelsene føre til spenninger i rørene. Når det skjer bevegelse av rørene, vil friksjon mellom røret og jordsmonnet gir motkrefter til denne bevegelsen. Dette fører til trykkspenninger i kulverten, og ved et gitt punkt vil de oppbygde friksjonskreftene være i balanse med aksialkreftene og røret ligger i ro videre innover i sandlaget. Ved endene på rørene vil det ikke være så store friksjonskrefter som virker på røret, og aksialkraften vil skape bevegelse i røret. Dersom enden på røret hadde vært fri ville ikke dette vært et problem, men fordi enderør er koblet til for eksempel en abonnentsentral, må en fange opp denne bevegelsen, slik at den ikke får en negativ innvirkning på distribusjonsnettet, [4].

Det finnes ulike leggeteknikker for fjernvarmerør, hvor en kan fange opp bevegelser som oppstår på noe ulik måte. Her er det tatt utgangspunkt i Logstors veiledning, men tilsvarende prinsipper gjelder også for andre rørprodusenter.

Kald legging med ekspansjonsutstyr

Her opptas ekspansjonen som oppstår i rørene ved å legge inn bevegelige bend. Man kan også legge rørene i buer og legge inn myke skumputer i grøften slik at rørene får rom til å bevege seg. Denne leggemetoden kan typisk anvendes i hoved- og fordelingsledninger. Ved denne metoden er det mulig å dekke til røret etter hvert som det legges, og en unngår aksialspenninger. Dette gjør leggemetoden anvendelig i byområder, da en kan tette igjen rørgroften etter hvert som rørene er lagt ned. Det negative med leggeteknikken er at hele røret kan bevege seg i jorden og at den krever ekstra kostnader til ekspansjonsutstyr, [40]. TEF har erfaring med at bruk av ekspansjonsutstyr ikke er optimalt over tid på grunn av utmattelsesbruddbrudd i ekspansjonsbend etter omlag 20 år, [6].

Pre-temperert legging

Leggeteknikken går ut på at en varmer opp røret til omlag 70 °C før en dekker det til. På denne måten begrenses bevegelser og aksialspenninger etter tildekkingen ved oppvarming til normal driftstemperatur. Systemet holdes fast ved friksjonskraften mellom mantelrøret og jordsmonnet, og temperaturvariasjoner tas opp som aksialspenninger i røret. En vil ved denne leggemetoden ikke få bevegelser i rørene under drift, en unngår utlegg til ekspansjonsutstyr og det er enklere montering enn når en legger inn bend. Rørene kan ikke dekkes til underveis i leggearbeidet, da de må forvarmes. På grunn av dette er denne leggeteknikken mest velegnet til transmisjonsledninger i områder uten særlig bebyggelse, altså utenfor byområder, [40].

Pre-temperert legging med ekspansjonsutstyr

Leggeteknikken er en kombinasjon av de overstående, hvor en legger inn ekspansjonsbend i starten av rørsystemet, og forvarmer rørene. Rørene dekkes til før forvarmingen, unntatt områder rundt ekspansjonsbendene. Etter forvarmingen tildekkes også områdene rundt ekspansjonsbendene og røret varmes opp til normal driftstemperatur. Temperaturvariasjoner under drift vil tas opp som trykk- og

trekkspenninger i røret, og en får ingen bevegelse i systemet. Monteringsarbeidet vil også være lettere enn for kald legging. Denne leggeteknikken egner seg godt i byområder med bebyggelse hvor en er avhengig av å kunne dekke til rørene underveis i arbeidet. Denne leggemetoden gir også kostnader knyttet til ekspansjonsutstyr, [40].

Kald legging

Her opptas bevegelser i rørene som spenninger i rørene uten bruk av ekspansjonsutstyr. Enkelte stive stålrør med standard godstykkelse på føringsrøret opp til dimensjon 323 mm kan ta opp spenninger som oppstår opp til 130 °C uten fare for folding av rørveggen. Førstegangsekspsjonen vil ved denne leggeteknikken være betraktelig. Ved avgreininger og retningsendringer ved rørendene må man være oppmerksom på det høye spenningsnivået, slik at en for eksempel legger sand rundt endene og legger inn ekstra krumning på rørene slik at de får bevege seg og det ikke oppstår brudd. For avgreininger i området av røret med store friksjonskrefter og røret ligger i ro som nevnt over vil ikke dette være et problem. Fordelen med dette er at det er billig system uten kostnader til forvarming eller ekspansjonsutstyr. Montering er enkel, og kan anvendes i hoved- og transmisjonsledninger. De negative sidene ved dette systemet er at det vil være høye aksialspenninger, [40]. Fra TEF opplyses at denne leggeteknikken øker i omfang, da den er billigere enn alternativene, [6].

4.2.2 Fleksible rør

Fleksible rør har som navnet tilsier et fleksibelt føringsrør. Rørene kan bøyes ved legging, og man trenger ikke bend eller andre komponenter ved retningsendring på rørene. Isolasjonsskummet i fleksible rør er semi-fleksibelt for å tåle bøyninger av røret. Rørene leveres oppkveilet i ruller på 50, 100 og 200 meter ved mindre dimensjoner, men diameteren på rullen kan ikke overstige 2,4 meter. For større dimensjoner på føringsrøret levers de kappet opp i 12 meters lengder. Fleksible rør levers ikke i dimensjoner over 90 mm, og egner seg derfor best som stikkledninger eller som hovedledning i mindre nett eller i separate sekundærnett. Bruksområder hvor fleksible rør egner seg godt er typisk i kupertede områder, i trange passasjer/tunneler og i områder med hindringer i form av for eksempel vegetasjon eller bebyggelse.

Rørene leveres med føringsrør i ulike materialer, som har forskjellige trykk- og temperaturegenskaper, [38]. Ved legging av denne typen rør tas det hensyn til ekspansjoner og kontraksjoner ved å legge rørene i krumninger slik at det er rom for bevegelse ved varming og kjøling av rørene, [6]. De fleksible rørene som er omtalt her er de mest brukte produktene i Norden, men det finnes også andre produsenter som leverer rør, blant annet har den tyske rørprodusenten Brugg, [49], og svenske Uponor, [6].

PexFlex

Pexrørene har føringsrør av kryssbundet polyetylen med organisk diffusjonssperre og brukes typisk som stikkledning eller som mindre fordelingsledning. De har lav vekt og med rørlengder opptil 200 meter blir legge- og monteringsarbeidet relativt enkelt og økonomisk. Pexrør leveres i dimensjoner fra 12 mm opp til 90 mm for enkeltrør, og 14 til 40,8 mm (* 2) for tvillingrør, [39]. Pexrørene leveres uten frie endestykker, da føringsrøret skal beskyttes mot dagslys som har forringende virkning på rørene. I likhet med rør av metall leveres de med ende lokk for å hindre forurensninger i å komme inn i føringsrøret. Vannhastigheten i denne typen rør må ikke overstige 2 m/s for å unngå korrosjon i koblingene. Videre er det trykk- og temperaturbegrensninger ved bruk av Pex føringsrør som begrenser bruksområdet. Rørene må ikke utsettes for temperaturer på over 95-100 °C i mer enn 100 timer per år, kontinuerlig driftstemperatur på 80-85 °C og driftstrykk 6 bar. Ved 70 °C turtemperatur tåler de trykk på 10 bar, [50], [51], [52]. PexRør kan også leveres med økt veggtykkelse, og dermed tåler de noe høyere trykk og temperaturnivå, [6].

I Pexrør vil det oppstå diffusjon gjennom føringsrøret inn i isolasjonsskummet på samme måte som det oppstår diffusjon gjennom mantelrøret nevnt over. Dette betyr at isolasjonsegenskapene til Pexrør vil reduseres noe over tid. Graden av diffusjon øker med stigende temperatur på vannet i føringsrøret. For å redusere forringelsen av isolasjonsegenskapene er det satt relativt strenge temperaturkrav ved bruk av Pexrør. Et relativt nytt produkt på markedet, som hindrer diffusjon fra primærvannet inn i isolasjonen er AluFlex. Denne rørtypen har et tynt aluminiumsbelegg utenpå føringsrøret i Pex, slik at diffusjon hindres. Dermed beholdes isolasjonsegenskapene bedre, og det kan tillates noe høyere vanntemperatur. AluFlexrørene tåler en maksimal temperatur på 105 °C, kontinuerlig driftstemperatur på 95 °C og et driftstrykk på 10 bar. De finnes både som enkle- og tvillingrør, [53].

CuFlex

CuFlex har føringsrør av mykt kobber som er varmebehandlet (glødet). For diameter på føringsrøret fra 15-35 mm leveres rørene på 50 eller 100 meters ruller, og fra 35- 89 mm levers de i lengder på 12 meter. Tvillingrør leveres i dimensjon fra 18 mm opp til 54 mm (*2), [39]. CuFlex rørene har lav vekt, og sammen med deres fleksibilitet og lange lengder krever de få bender og er økonomiske og enkle å legge. De tåler driftstemperatur opp til 120-130 °C, maksimalt trykk på 25 bar og kontinuerlig driftstrykk på 16 bar. Rørene er anvendelige i høytemperaturanlegg da de tåler et høyt trykk- og temperaturnivå. Ved normal behandling av fjernvarmevannet, er det ingen fare for korrosjon ved bruk av kobber sammen med stål i fjernvarmesystem. For å unngå korrosjon må ikke vannhastigheten i rørene overstige 1,5-2 meter per sekund, [51], [54], [55].

StålFlex

I Stålflex rørene er føringsrøret produsert av en myk stålkvalitet med relativt tynt tverrsnitt. Rørene leveres i ruller på 50 eller 100 meter, eller de kan kappes i mindre lengder. På grunn av dette reduseres antall sammenføyninger og de er raske å legge. I tillegg kan de legges oppå hverandre slik at en bare trenger en smal grøft, som gir reduserte gravekostnader. Rørene leveres med diameter på føringsrøret fra 20 mm opp til 28 mm, og egner seg derfor best som stikkledninger. De tåler en maksimal temperatur på 130 °C, kontinuerlig driftstemperatur på 120 °C og driftstrykk på 25 bar. Rørene leveres både som enkle- og tvillingrør, men Logstor produserer ikke tvillingrør av denne typen, [56], [57], [58].

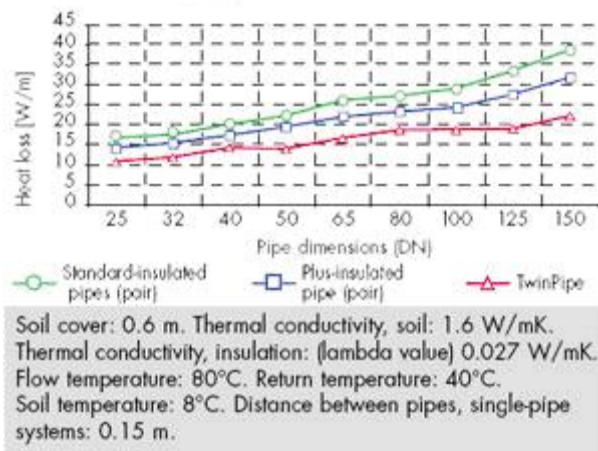
Thermaflex

Thermaflex er et nederlandsk selskap som er i gang med utviklingen av et nytt fjernvarmerør i plast. Dette røret skiller seg fra andre Pexrør ved at føringsrøret er laget av polybuten, og både isolasjonsskum og kapperør av polyetylen. I tillegg er føringsrøret belagt med etylenlen vinyl alkohol - copolymer (EVOH), en diffusjonssperre som reduserer diffusjon av oksygen og vanndamp. Det er også en diffusjonssperre utenpå mantelrøret som hindrer diffusjon av oksygen inn i røret, [59]. Fordelen med polybuten i føringsrøret er at materialet er termoplastisk og kan derfor sveises i skjøtene, i motsetning til Polyuretan som vanligvis sammenføykes ved metallklemmer som er utsatt for korrosjon, [10]. I motsetning til polyuretanskummet i konvensjonelle Pexrør er isolasjonsskummet av polyetan mer eller mindre vanntett, men det har noe dårligere isolasjonsegenskaper på grunn av høyere transmisjonskoeffisient. Maksimalt temperaturnivå i rørene er 95 °C, og trykk på 6 bar. Rørene finnes i dimensjoner fra ca 20 mm opp til ca 90 mm for enkeltrør, og ca 20 mm til ca 55 mm for tvillingrør. De leveres oppkveilet på rull tilsvarende andre fleksible rørsystemer. På grunn av trykk- og temperaturbegrensninger vil denne typen rør egne seg best i sekundærsystemer, [59].

4.2.3 Enkelt- og tvillingrør

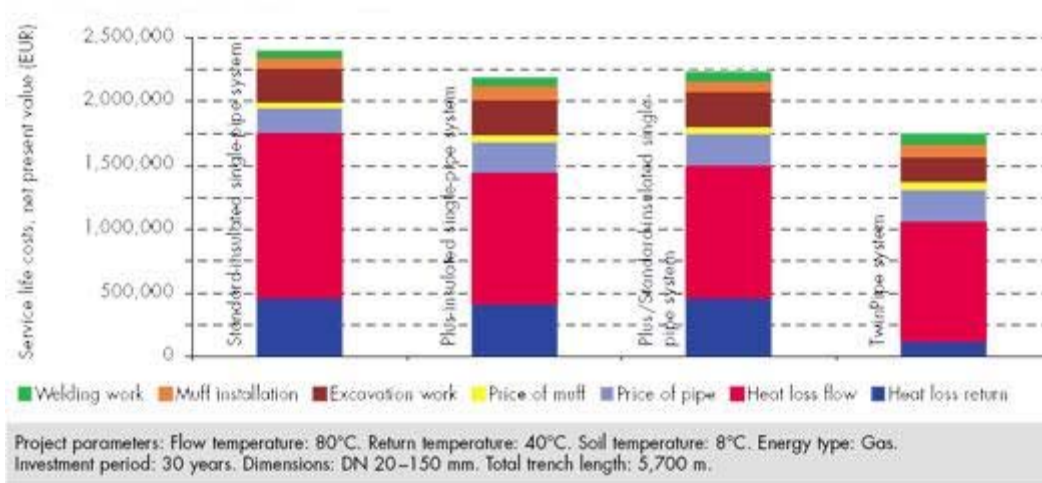
Som nevnt tidligere finnes det to hovedtyper fjernvarmerør, enten med ett eller to føringsrør inne i mantelrøret. Enkeltrør i stål finnes i dimensjon helt opp til 1220 mm, mens tvillingrør av stål ikke produseres i størrelse over 219 mm. Pexrør og CuFlex er de fleksible rørene som kommer i størst dimensjoner, ca 90 mm for enkeltrør og henholdsvis 40,8 mm og 54 mm for tvillingrør. Dette gjør stålrør generelt det eneste alternativet for hovedledninger i større fjernvarmesystem. Enkeltrørene kommer med tre ulike isoleringsserier; 1 (vanlig), 2 (mye) og 3 (ekstra mye), og dette gjelder for alle produsentene behandlet her, [45], [47], [48]. Valg av isolasjonsserie er en teknisk/økonomisk vurdering, hvor blant annet utetemperatur, temperaturnivå i rørene og kravet til nedkjøling av primærvannet spiller inn, [2]. Tvillingrør kommer med isolasjonstykkelse som tilsvarer serie 3 for enkeltrør. I tvillingrøret ligger tur- og returrøret over hverandre, med isolasjon i mellom rørene og med returrøret plassert på toppen.

Tvillingrør har omlag 30 % mindre varmetap til omgivelsene enn enkeltrør da varmeovergangen i større grad skjer mellom rørene i stedet for mellom rør og omgivelser, [60]. Reduksjonen i varmetap fører i noen grad til at returtemperaturen på primærvannet blir noe høyere enn ved bruk av enkeltrør, og de passer seg derfor best i system hvor en ikke er avhengig av størst mulig nedkjøling av vannet. Figur 4.3 under viser beregnet reduksjonen i varmetap for tvillingrør sammenliknet med enkeltrør med forskjellige isolasjonsserier under gitte betingelser gjort av Logstor. Vanntemperaturen er henholdsvis 80 °C og 40 °C på tur- og returledningen og bakketemperatur er 8 °C, [61]. Dette er en prinsipiell figur som baserer seg på en forenklet analyse, men det er interessant å se størrelsesordenen på varmetapsforskjellene.



Figur 4.3. Varmetap i enkelt- og tvillingrør, [61].

Med to rør inne i ett mantelrør blir tvillingrørene stivere enn enkeltrørene, og derfor vanskeligere å bøye. Dette gjelder spesielt tvillingrør i stivt stål, som er praktisk talt ubøyelige og som derfor er uegnet til bruk i terreng med høydeforskjeller, [6]. Det er mer komplisert å sveise tvillingrør enn enkeltrør, som skyldes at rørene ligger såpass nære hverandre, og at de plasseres over hverandre i grøften som fører til at blir vanskeligere å komme til. Begge rørendene må dessuten ligge mot hverandre når en sveiser dem, i motsetning til enkeltrør, hvor man kan legge ned hvert rør separat, [10]. En av hovedfordelene med tvillingrør framfor enkeltrør er at en trenger smalere grøft og en kan også redusere dybden på grøften. Avstikk fra hovedrøret skjer i samme høyde og en trenger halvparten så mange rør og rørkoblinger. Å ha to rør i ett mantelrør betyr at rørene og delene blir større, som betyr at investeringskostnadene ikke nødvendigvis blir lavere enn for enkeltrør, men en oppnår store besparelser over levetiden, [61], [63]. Logstor har et beregningsprogram en kan benytt til å beregne hvorvidt enkelt- eller tvillingrør vil være det mest lønnsom over tid under ulike investerings- og driftsbetingelser. Figur 4.4 neste side viser kostnadene for enkeltrør med ulike isoleringsserier og tvillingrør under gitte betingelser. Vanntemperaturen er henholdsvis 80 °C og 40 °C på tur- og returledningen og bakketemperatur er 8 °C. Total lengde på ledningen er 5,7 km og analyseperioden er 30 år, [61]. Ved vurdering av denne figuren må en ta i betraktning at det er en forenklet analyse som ligger bak, men den gir indikerer størrelsesordenen til de ulike kostnadspostene.



Figur 4.4. Levetidskostnader for enkelt- og tvillingrør, [61].

Fordelene med redusert varmetap i tvillingrør gjør seg også gjeldene i form av lavere utslipp av CO₂. Et redusert behov for varmeproduksjon reduserer CO₂-utslippene tilsvarende. Dette er positivt i dagen samfunn med økt fokus på reduksjon av klimagassutslipp, [61].

4.3 Økonomi

Det har dessverre vist seg svært vanskelig å få tak i informasjon angående de økonomiske aspekter ved fjernvarmerør. Dette avsnittet vil derfor overordnet se på noen investeringskostnader uten å gå i dybden.

Ved etablering av distribusjonsnett kan investeringskostnadene deles inn i tre poster:

1. Legging
2. Rør og rørdeler
3. Sveising/rørlegging og skumming/muffing (isolering av skjøt)

I tillegg til disse postene vil det komme kostnader knyttet til blant annet prosjektering, byggleidelse, administrering. Disse utgiftene vil være relativt like uavhengig av rørvalg, og vil representere et påslag på omlag 10 % i tillegg til postene over, [22].

Hvor store kostnadene forbundet med hvert punkt vil være, avhenger av flere aspekter. Legging fleksible rør er relativt rimelig, da de for mindre dimensjoner kommer i lange lengder slik at en unngår høye kostnader forbundet med sveising og isolering av skjøter. I tillegg er et ikke nødvendig med ekspansjonsutstyr fordi røret legges i buer som tar opp ekspansjoner. Rør som kommer i kortere lengder, som blant annet stive stålrør, vil kostnader til sveising og isolering av rør være betydelig i forhold til fleksible rør på kveil. En vil også måtte ha ekspansjonsutstyr og bend for retningsendringer ved legging av stive stålrør slik at kostnaden øker ytterligere. Tvillingrør er avhengig av en relativt smal grøft

ved legging fordi de har tur- og returrør i samme mantelrør. Dette reduserer kostnadene ved graving av grøft i forhold til ved bruk av enkeltrør. Gravekostnadene øker dessuten med økt dimensjon på rørene som skal legges.

For de ulike rørkvalitetene har det vært vanskelig å få fullstendig kostnadsoversikt, men SGP Varmeteknikk har vært behjelpelig med å fremskaffe noen priseksempler fra Logstor og dette er gjengitt i tabell 4.1 under, [62].

Tabell 4.1. Priseksempler ulike rørkvaliteter, [62].

Rørkvalitet	Dimensjon [mm]	Pris [kr/m]
Enkelrør stål	33	151
Enkelrør stål	168.3	680
Enkelrør stål	355	2001
Tvillingrør stål	33.7	275
Tvillingrør stål	168.3	1860
Pex	12	120
Pex	90	632
Pex tvilling	14	167
Pex tvilling	40.8	433
CuFlex	22	278
CuFlex	88.9	1778

Av tabellen ser en at tvillingrør av stål er noe dyrere enn enkeltrør for begge dimensjonene. Ved vurdering av prisen må en ta i betraktning at man må kjøpe to enkeltrør (tur og retur) mens en bare behøver ett tvillingrør. Tvillingrør vil også gi besparelser forbundet med redusert varmetap fra rørene og leggekostnader, og dette vil innvirke på det reelle kostnadsbildet. Ut fra tabellen later det til at fleksible rør er generelt dyrere enn stålrør, selv om en ikke har de eksakt samme dimensjonene å sammenlikne med. En oppnår besparelser ved legging av fleksible rør, men da de er en del dyrere enn stålrør i innkjøp er det usikkerhet knyttet til hvordan de totale kostnadene vil være. Dette er eksempler på priser, og de kan variere mellom ulike rørprodusenter. Tallene gir likevel en indikasjon på kostnadsnivået for ulike typer rør. Det er heller ikke nevnt hvilken isoleringsserie som er benyttet på de ulike rørene. Videre er det ikke mulig å si noe om hvilke rør som vil gi best totaløkonomi da en ikke vet noe om prisnivået på for eksempel graving av rørgroft, sveising og isolering av skjøter.

4.4 *Praksis hos ulike fjernvarmeselskap*

Det er interessant å se på hvilke kriterier norske fjernvarmeselskaper legger til grunn ved valg av fjernvarmerør.

4.4.1 Trondheim Energi Fjernvarme

TEF har dimensjonerende temperatur i primærnettet for trondheimsområdet på 120 °C (skal endres til 115 °C i nye tekniske forskrifter), og 16 bars driftstrykk (noen få steder er det 25 bar). Varmeproduksjonen baseres for nettet i Trondheim hovedsakelig på søppelforbrenning, og i Klæbu på biobrensel. I områder med småhus og flerboligbebyggelse benytter TEF i en del tilfeller sekundærsystemer. Primærvann fra distribusjonsnettet varmeveksles med et separat sekundærsystem i en undersentral. Undersentralen er en separat enhet for varmeveksling av varmt vann, i likhet med en abonnentsentral. Denne sentralen inneholder derimot bare en varmeveksler som senker trykket og temperaturen på vannet til 80 °C og 6 bar før det distribueres videre til abonnentene. Undersentralen står som regel i en egen teknisk stasjon i et boligfelt. TEF benytter seg av undersentraler fordi abonnentsentralen ofte er plassert i oppholdsarealet hos kunden, og ved eventuell lekkasje i abonnentsentralen er det ikke ønskelig at vann ved 120 °C og 16 bar skal kunne skâlde kunden. Det finns noen småhus som mottar vann ved 120 °C og 16 bars trykk, og disse har krav om at abonnentsentralen må plasseres i låsbar bod, [6]. Inne i abonnentenes hus finns det i tillegg en abonnentsentral slik at det interne systemet hos abonnenten blir et tertiæranlegg.

Pexrør er utelukket i primærnettet på grunn av dette rørets begrensninger, men kan benyttes i sekundærnett. De andre typene rør er derimot aktuelle for begge nettene, bortsett fra i de delene av nettet hvor det er nødvendig med store dimensjoner. TEF har imidlertid lagt seg på en linje hvor de kun benytter stive stålrør, både i primær og sekundærnett. Årsaken til at de ikke ønsker å bruke Pexrør er at de forringes over tid med hensyn til isolasjonskvalitet og føringsrør i motsetning til stålrør, [24]. Stålflex har vært vurdert i områder med flere hindringer, men da TEF ikke har hatt slike rør på lager har de heller brukt stive stålrør. Så langt har de heller ingen leveringsavtale med noen produsent om levering av fleksible rør. Tidligere var kvaliteten på CuFlex rør ikke særlig god, og av denne grunn har TEF så langt ikke vurdert å bruke denne typen rør, [22]. Tvillingrør benyttes ofte i sekundærnett, og i relativt flate områder av primærnettet hvor nødvendig dimensjon på føringsrøret tillater det. De ønsker å benytte tvillingrør hvor det er mulig på grunn av lavere varmetap og reduserte kostnader i forbindelse med rørlegging. Utenom dette brukes utelukkende stive enkeltrør av stål. En av grunnene til at de ønsker å bruke færrest mulig typer rør er for enkelhetens skyld da flere typer rør krever større lager av rør og rørdeler. TEF informerer om at stålrør er den rørkvaliteten som holder aller best over tid slik at totaløkonomien blir best mulig, [6].

TEF har så langt bare brukt isolasjonsserie 1 i sine rør, da det tidligere var overskuddsvarme fra avfallsanlegget og derfor ikke så stort fokus på minimering av

varmetap. Det er i dag ikke varmeoverskudd fra varmesentralen, men de har vegret seg for å gå over til serie 2 på grunn av at dette krever lager for begge isolasjonsseriene. I den nye ledningen over Byåsen er det brukt serie 2 på turrøret og serie 1 på retur.

TEF tror de i fremtiden vil gå over til å benytte seg av serie 2 som standard for alle ledninger, både tur og retur. Grunnen til å velge økt isolering for begge ledningene er at de ønsker minst mulig lager av forskjellige rørtyper med tilhørende komponenter, [6]. Så lenge TEF ser såpass store fordeler ved bruk av stålrør vil de ikke vurdere bruken av fleksible rør, [22].

4.4.2 Viken Fjernvarme

Viken Fjernvarme har dimensjonerende temperatur i primærnettet på 120 °C og 25 bar. De bruker utelukkende enkeltrør i stål for både hovedledninger og stikkledninger. Varmeproduksjonen er i stor grad basert på søppelforbrenningsanlegg og Varmepumpe med kloakk som varmekilde. For rør med dimensjoner mindre enn 400 mm brukes isoleringsgrad 1, og for dimensjonene over dette brukes isoleringsgrad 2. Grunnen til å velge serie 2 i større overføringsledninger er å minimere varmetap. Stikkledninger utføres utelukkende med stive stålrør, uten at Viken Fjernvarme kunne gi fullstendig oversikt over begrunnelsen for dette valget. Det blir heller ikke benyttet tvillingrør i deres nett. Bruk av tvillingrør har vært vurdert i trange områder for å minimere størrelsen på rørgroft, men de har valgt å legge seg på en linje hvor de kun anvender enkeltrør. Viken Fjernvarme bygger ut eksisterende nett, og det er derfor vanskelig å integrere nye typer rør. De ser heller ingen særlig utvikling i valg av rørkavliteter og isolering, [64].

4.4.3 Tafjord Kraft

Tafjord Kraft har dimensjonerende turtemperatur i sitt primærnett på omlag 100 °C og trykkklasse 16 bar. Varmeproduksjonen i varmesentralen er hovedsakelig basert på et søppelforbrenningsanlegg hvor de per i dag har overskuddsvarme. Tafjord Kraft bruker utelukkende stål enkeltrør med isolasjonsserie 1 i hovedledningene. På grunn av overskuddsvarmen har de så langt ikke hatt fokus på minimering av varmetap. Tafjord Kraft informerte om at de ikke ønsker å benytte seg av tvillingrør da disse er mer kompliserte å legge, til tross for tvillingrørens fordeler i forhold til enkeltrør. I stikkledninger har de frem til nå i stor grad benyttet StålFlexrør for å lette leggearbeidet. Det siste året har de tatt i bruk en type rør fra tyske Brugg som heter CasaFlex. Dette er fleksible rør med rustfritt rustfritt stål i føringsrøret. Det er i tillegg behandlet på en slik måte at en overhodet ikke trenger ta hensyn til bevegelser i røret ved legging. I tillegg har de en bedre evne til å føre med seg luft, [65]. Rørene tåler driftstemperatur opp til 180 °C, og 25 bars driftstrykk, og finnes i dimensjonene fra 28 mm til 54 mm, [66]. De er meget godt fornøyd med disse rørene til stikkledninger, og mener de på sikt vil overta for StålFlexrørene. Så langt er totalkostnadene for CasaFlex rørene på samme nivå som for stive stålrør, men sier dette skyldes manglede utstyr og kompetanse. På sikt vil de opparbeide bedre kompetanse på legging av disse rørene, og kostnadene vil gå ned. Ut

over dette ser de ingen utvikling i deres valg av rør. Tafjord Kraft vil fortsette å bruke enkeltrør stål med isolasjonsklasse 1 så lenge de har overskuddsvarme i systemet, [65].

4.4.4 Haugaland Kraft

Maksimalt trykk- og temperaturnivå i distribusjonsnettet er 16 bar og 120 °C selv om turtemperatur normalt ikke skal overstige 80 °C ved dimensjonerende forhold, [27]. Varmeproduksjonen er i hovedsak basert på naturgass, men de vurderer å installere biobrenselkjel eller et søppelforbrenningsanlegg. De benytter hovedsakelig stålrør i hovedledninger, tvillingrør for mindre dimensjoner og enkeltrør for de større. I stikkledninger ble det tidligere brukt stålrør, men de har gått over til CuFlex rør da dette letter leggearbeidet. Isolasjonsserie 1 er mest anvendt i enkeltrørene, men de har også brukt noe serie 2. Haugaland Kraft opplyste at grunnen til at serie 2 ble benyttet, var et gunstig pristilbud, men de har ellers ingen planer om å gå opp i isolasjonsserie. Valg av isolasjon for å minimere varmetap i rør har så langt ikke vært diskutert, [28].

4.5 *Praksis i Norden*

Det er interessant å se på hva de andre nordiske landene gjør med hensyn til valg av fjernvarmerør fordi de har lengre erfaring enn vi har i Norge. Den Islandske fjernvarmeforeningen har dessverre ikke svart på henvendelser og utelates derfor i denne sammenhengen.

4.5.1 Sverige

Sverige har gjennom lang tids arbeid med fjernvarme opparbeidet seg betydelig kunnskap om fjernvarmerør. Alle fjernvarmesystem er dimensjonert for trykk på 16 bar og en dimensjonerende temperatur på 120 °C, og de er det eneste landet i Europa hvor alle nett dimensjoneres med samme trykk og temperaturnivå. Konsekvensen av dette er at det ikke brukes Pexrør i Sverige, på grunn av trykk- og temperaturbegrensninger. Tidligere ble slike rør i noen grad brukt i sekundærsystemer for byggefelt, men det er i dag slutt på denne praksisen. Rørene som benyttes i Sverige i dag er for mindre dimensjoner i all hovedsak tvillingrør med føringsrør i stål. Disse rørene har et isolasjonsnivå som tilsvarer isoleringsserie 3 for enkeltrør.

For dimensjoner på føringsrøret på over 210 mm må man som nevnt tidligere benytte enkeltrør, [66]. I stål enkeltrør er det vanlig å ha isoleringsserie 2 på turledningen og isolasjonsgard 1 på returledningen. Dette fordi en ønsker å oppnå størst mulig nedkjøling av primærvannet gjennom distribusjonsnettet, og det er derfor ikke viktig med spesielt god isolering på returledningen. I tillegg benytter man enkeltrør hvor det er store høydeforskjeller i terrenget. Logstor i Sverige mener hovedfordelene ved bruk av tvillingrør er at en kun har ett føringsrør i bakken og at avstikk er i samme nivå som hovedledningen. Tvillingrør har dessuten mye bedre isoleringsegenskaper enn enkeltrør

og de ser derfor ingen grunn til å velge enkeltrør hvor man alternativt kan benytte tvillingrør i stedet. I småhusområder benyttes det nesten utelukkende fleksible rør i stikkledninger, og her er omlag 90 % CuFlex og resten StålFlex, [66].

Isoplus, Logstor og Powerpipe er enige om at det er liten utvikling på rørsiden i Sverige. For stålrør har det nesten ikke vært noen utvikling de siste årene, mens rørsystemer som AluFlex har kommet de senere år. De ser heller ingen utvikling med hensyn til valg av isolasjonsserie eller produkter som blir valgt. Mønsteret for valg av fjernvarmerør har holdt seg stabilt i en årrekke, [60], [66], [67].

4.5.2 Finland

Finland følger i stor grad samme mønster som Sverige i valg av fjernvarmerør, hvor tvillingrør velges for mindre dimensjoner, og andelen enkeltrør blir større for økt dimensjon. Noen selskaper har for enkelhets skyld lagt seg på en linje hvor de kun anvender enkeltrør. Finnish Energy Industries har kommet med retningslinjer for valg av isolasjonsserie for enkeltrør. Serie 2 er anbefalt for de større dimensjonene, mens for de mindre benyttes en del serie 3, [31]. Finland har ingen nasjonale krav til temperatur i primærnettene, og de opplyser at turtemperaturen varierer fra 70-120 °C for de ulike selskapene, med designtrykk på 16 bar. Pexrør er bare brukt i noen eldre sekundærsystemer, men brukes i liten grad i dag. Andre former for fleksible rør anvendes og kun i begrenset omfang, og da i hovedsak StålFlex i stikkledninger, [68].

Tvillingrør har vært brukt siden 1980-tallet, og andelen av denne typen rør fortsatt vokser i utbredelse noe for mindre dimensjoner. Den stadige økningen i bruken av tvillingrør skyldes lave varmetap og økonomi knyttet til investering og legging. Ut over dette er det liten utvikling i det finske markedet for fjernvarmerør, [31], [68].

4.5.3 Danmark

Danmark har tradisjonelt brukt veldig mye stål enkeltrør med isolasjonsserie 1. I løpet av de siste 5 år har denne trenden snudd og andelen tvillingrør er stadig økende for mindre dimensjoner. Dette hovedsakelig på grunn av økonomi og varmetap. På grunn av økt fokus på varmetap er det for enkeltrør blitt mer vanlig å anvende isolasjonsserie 2 i rørene. Alle stikkledninger til småhus er fleksible rør. Primært er det Pex, AluFlex og StålFlex som anvendes, avhengig av krav til røret. Dimensjonerende turtemperatur for fjernvarmesystemer i Danmark varer mellom ca 70-100 °C, [69]. Den Danske fjernvarmeforeningen arbeider stadig for å øke kvaliteten på de rørene som blir brukt, spesielt med hensyn til isolasjonen. Hvert år gjennomfører de en test på rørene hos et vilkårlig utvalgt fjernvarmeselskap, og en vurderer om rørene holder det som loves fra produsenten på et perspektiv på 30 år. Denne testen gjennomgås for bransjen, og er med på å øke fokus på og krav til rørkvalitet. De arbeider også for at fjernvarmeselskapene skal ha et langsiktig perspektiv ved innkjøp av rør, se på totalkostnadene over levetiden heller enn investeringskostnadene. Dansk Fjernvarme tror utviklingen videre vil ligge i

økt isolering, hvor produsentene må arbeide ytterligere for å få ned varmetapet gjennom isolasjonen. Danmark nærmer seg den praksisen de har i Sverige med hensyn til hvilke typer rør som velges, [32].

4.6 Vurdering

Temperatur- og trykknivå i nettet er i mange tilfeller en avgjørende faktor for hvilke rør en kan velge blant, for eksempel utelukker man bruk av Pexrør i høytemperaturanlegg. Vannstrømmen gjennom rørene vil også kunne være avgjørende for hvilke rør som benyttes, for eksempel finnes det kun stive stål enkeltrør for de største dimensjonene, og hovedledninger i store distribusjonsnett er derfor alltid stålrør. Videre spiller økonomi en viktig rolle i valg av rør, og en må vurdere hvilke rør som vil være mest økonomiske både ved installering og over levetiden. For å kunne si noe sikkert om dette, kreves en grundigere økonomisk analyse enn den foretatt her. En må også vurdere for enkeltrør hvilken serie av isolasjon som vil være det økonomisk optimale. Et selskap med stort varmeoverskudd fra søppelforbrenning slik som Tafjord Kraft AS er ikke så opptatt av å minimere varmetap, og velger derfor den rimeligste isoleringen for å redusere kostnader. Andre selskap som betaler for hver kW varme det installerte kjelsystemet produserer, ønsker å minimere varmetap i rør da dette utgjør en betydelig kostnad over levetiden. Dette vil gi økte investeringskostnader, men kan være gunstig for å minimere kostnader på sikt. Et annet grep for å redusere varmetap fra rør er å investere i rør med diffusjonssperre på mantelrøret for å hindre diffusjon. Diffusjon svekker et rørs isoleringsegenskaper over tid og en vil oppnå økonomisk gevinst på sikt ved å sørge for at kvaliteten av rørene holder seg høy.

Problemstillingen angående enkelt- eller tvillingrør er en teknisk og økonomisk vurdering. Tvillingrør er noe mer kostbare enn enkeltrør, men de gir mindre varmetap og derigjennom lavere utslipp av CO₂ enn enkeltrør. I tillegg oppnår en besparelser ved graving av grøft. Tvillingrørene er noe vanskeligere å legge enn enkeltrør og en oppnår ikke like lav returtemperatur på primærvannet. Tvillingrør av stål er dessuten utelukket i terreng med store høydeforskjeller. I områder hvor det er mulig fremstår det likevel som totaløkonomisk gunstig å benytte tvillingrør. I stikkledninger synes fleksible rør å gi fordeler på grunn av redusere kostnader ved legging gjennom enkle leggeteknikker og lange rørlengder. Det er også en utvikling mot bedre rør, og nye rør som omtale Thermaflex er en aktør som utvikler bedre rør av plast.

En ser at det er litt ulik praksis hos de ulike fjernvarmeselskapene i Norge. TEF ønsker av praktiske og økonomiske årsaker å sitte på et minst mulig lager av ulike rørtypene med tilhørende komponenter. Følgen av dette er at de har valgt å utelukkende benytte stålrør, tvillingrør hvor mulig og ellers enkeltrør, også i stikkledninger. Viken ønsker utelukkende å benytte enkeltrør i stål, med økt isolasjon i hovedledninger for minimering av varmetap. Haugaland Kraft og Tafjord Kraft derimot, ser store fordeler med fleksible rør i stikkledninger som letter leggearbeidet. Tafjord har heller ikke vurdert å øke isolasjonen på rørene så lenge de har varmeoverskudd i varmesentralen.

Det har så langt ikke vært fokus på varmetap fra rør i Norge, faktisk har flere selskaper valgt rimelige rør med lav isoleringsserie og investeringskostnad, til tross for at økt isoleringsserie ville lønne seg over en 10 års periode, [14]. SGP Varmeteknikk mener en nå ser en utvikling hos de norske selskapene mot ønsket om å minimere varmetap, [39]. Denne utviklingen er tydelig hos for eksempel TEF som nå går over til å benytte isolasjonsserie 2 og Viken som benytter serie 2 i overføringsledninger. Varmetap fra rør er også en stor miljømessig utfordring, da det stadig blir viktigere å forvalte den energien vi har på en bevisst og riktig måte. Avgift på CO₂ er et tiltak for å minimere utslipp av klimagasser, og fjernvarmeselskapene må selv koste CO₂-avgiften. For å redusere dette avgiftsbeløpet er det i selskapenes interesse å minimere varmetap fra rør og derigjennom kostnader.

I Norden for øvrig er det Sverige som er det mest bevisste landet i forhold til valg av rør. Alle fjernvarmesystem har det samme trykk- og temperaturnivået i distribusjonsnettene, som gir dem fordeler med hensyn til optimalisering av nettene. De har fokus på varmetap i rør, og bruker derfor tvillingsrør hvor dette er mulig og ellers benyttes enkel rør med serie 2 isolasjon på tur og serie 1 på retur. I stikkledninger benyttes fleksible rør for å minimere kostnader. Svenskene har fokus på å drive effektive og lønnsomme anlegg og i realiteten har de standardisert hele fjernvarmesystemet, fra trykk- og temperaturreguleringer, distribusjonsnettene og til kravspesifikasjoner i abonnentsentralen. Resten av Norden ser til Sverige for å se hvordan de kan optimalisere sine anlegg. Alle landene omtalt her beveger seg i retning de ”standardene” svenskene har utviklet. Danmark og Finland har kommet et stykke på vei i utviklingen mot Sverige, men Norge henger noe etter.

Norge er landet med kortest tradisjon med fjernvarme, og på grunn av vår rikelige tilgang på billig energi har vi tradisjonelt fokusert på minimering av investeringskostnader framfor driftskostnader. Imidlertid har nå også norske selskaper begynt å rette fokus mot ønsket om økonomisk effektive fjernvarmesystem.

5 Samtidig effektbehov varmt tappevann

Dette kapitlet tar for seg samtidige vannmengder og sammenlagring av varmt tappevann ved direkte veksling. Det beregnes nødvendig effektkapasitet til varming av tappevann ved direkte veksling og for et varierende antall boligenheter.

En bygnings effektbehov fra fjernvarme er avhengig av to ting. Det ene er nødvendig effekt til bygningsoppvarming og det andre er nødvendig effekt til varming av tappevann. Ved dimensjonering av ledning til en gruppe abonnenter tar man utgangspunkt i maksimalt effektbehov til hver abonnent. Ved å legge sammen alle maksimaleffektene sikrer man nødvendig teoretisk ledningskapasitet slik at alle abonnentene får den effektkapasiteten de etterspør. Sannsynligheten for at alle forbruker maksimal effekt samtidig er derimot meget liten, og totalt maksimalt effektbehov vil i praksis være mindre enn for alle abonnentene lagt sammen. Denne reduksjonen i maksimal samtidig effekt kalles effektsammenlagring, og er synkende for et økende antall abonnenter, [70]. Gjennom nye byggeforskrifter hvor det stilles krav til redusert varmetap fra bygninger, blir behovet for bygningsoppvarming mindre. Dette fører til at nødvendig effekt til varming av tappevann i større grad vil være bestemmende for bygningens effektbehov, og derigjennom dimensjoneringen av kapasitet i rørledninger. Det er derfor viktig at en foretar en riktig vurdering av hvor stor effektkapasitet som er nødvendig til varming av tappevannet.

Direkte veksling av varmt tappevann krever en større momentaneffekt enn bruk av akkumulatortank, hvor effektbehovet ut av varmeveksleren i stor grad avhenger av kapasitet i liter og ladetiden på tanken. Varmeveksleren for direkte veksling dimensjoneres for maksimalt momentant effektuttak for varmt tappevann. Sammenlagningsfaktoren for direkte veksling av varmt tappevann synker raskere enn for abonnentsentraler med akkumulatortank. Dette kommer av at dersom en abonnentsentral med akkumulatortank har maksimal effekt på 25 % av en sentral med direkte veksling, vil den i utgangspunktet forbruke fjernvarmevann i fire ganger så lang tid som ved direkte veksling for å kunne levere samme mengde energi til tappevannet, [70]. Dette fører til at det er mindre sannsynlighet for at to sentraler med direkte veksling er i bruk samtidig enn to sentraler med akkumulering. I denne rapporten behandles bare oppvarming av tappevann ved direkte veksling. Det er dessuten kun sett på tappevann i boliger, både småhus og flerbolighus. Betegnelsen småhus omfatter her både eneboliger, rekkehus og tomannsboliger, og flerbolighus bygninger med flere enn fire leiligheter.

5.1 Samtidige vannmengder

Alle beregninger og beregningsunderlag finnes i Vedlegg A.

Ved dimensjonering av nødvendig vannmengde i stikkledningen og effektkapasitet på varmeveksleren for varming av tappevann, benytter man normalvannmengder for de ulike tappestedene. Verdiene for normalvannmengdene sier hvor mange liter per sekund som normalt tappes fra de ulike tappestedene i en bygning. Normalvannmengdene for forskjellige tappesteder en kan finne i ulike typer bygninger er gjengitt i tabell 5.1 under. I forbindelse med dimensjonering vedrørende varmt tappevann er det kun de verdiene indikert som varmtvann som er interessante. Disse verdiene indikerer bare at det er varmt vann som benyttes, men sier ikke noe om temperaturen på tappevannet.

Tabell 5.1. Normalvannmengder, [71].

Type installasjon (Tappested)	Normalvannmengde (l/s)	
	Kaldtvann	Varmtvann
Badekar	0,3	0,3
Dusj	0,2	0,2
Oppvask	0,2	0,2
Vask	0,2	0,2
Servant	0,1	0,1
WC	0,1	
Bidé	0,1	0,1
Spyleventil	0,2	0,2
Tappeventil		0,2
Vannutkaster	0,2	
Vaskemaskin, husholdning	0,2	
Vaskemaskin, bedrift	0,4	
Oppvaskmaskin	(0,2)	0,2

Alle tappestedene innad i en bygning vil normalt ikke være i bruk samtidig, og sannsynlig maksimalt vannforbruk vil være gitt av samtidighetsformelen, formel 1 under, [72]. Formelen kan benyttes ved dimensjonering for flerbolighus og for undersentraler ved å summere normalvannmengdene, Q , for det ønskede antallet boligheter.

$$q = q_1 + 0,015(Q - q_1) + 0,17\sqrt{Q - q_1} \quad (1)$$

Hvor:

q	maksimal sannsynlig vannmengde	[l/s]
q_1	normalvannmengde største tappested	[l/s]
Q	sum normalvannmengder	[l/s]

Den maksimale samtidige belastningen kan aldri bli mindre enn normalvannmengden fra det tappestedet med størst vannforbruk, [73]. Hvor mange tappesteder og hvilke ulike

typer tappesteder en bygning inneholder, er avhengig av blant annet bygningskategori og størrelse på bygning.

Et småhus og en leilighet i flerbolighus vil ha noe ulike tappesteder. Et småhus inneholder ofte både badekar, to baderom samt utslagsvask. En leilighet derimot utstyres som regel med et bad hvor det kun er mulighet for dusj. Dette vil være avhengig av størrelsen på leiligheten, men for beregninger her er dette satt som standard. Tabell 5.2 under viser oversikt over forventet tappevannsutrustning og forventede normalvannmengder i henholdsvis småhus og leilighet.

Tabell 5.2. Normalvannmengder varmt tappevann for småhus og leilighet.

Tappested	Normalvannmengde varmt tappevann, l/s	
	Småhus	Leilighet
Dusj	0,2	0,2
Badekar	0,3	
Servant 1	0,1	0,1
Servant 2	0,1	
Oppvask	0,2	0,2
Utslagsvask	0,2	
Total vannmengde, Q	1,1	0,5

I noen områder vil en finne en kombinasjon av småhus og flerbolighus, og for å kunne gjøre beregninger på denne typen bebyggelse er det her gjort noen forenklinger. Bebyggelsen er satt til å bestå av 50 % småhus og 50 % leiligheter. Dette vil ikke gi helt korrekte verdier, men benyttes her til å se prinsipielle forskjeller i forbruk av tappevann for alternativ bygnings sammensetning i et område. Summen av normalvannmengdene er satt til middelverdien av småhus og leiligheter:

$$Q_{miks} = \frac{1,1 + 0,5}{2} \text{ l/s} = 0,8 \text{ l/s} \quad (2)$$

Videre er normalvannmengden største tappested også satt til middelverdien:

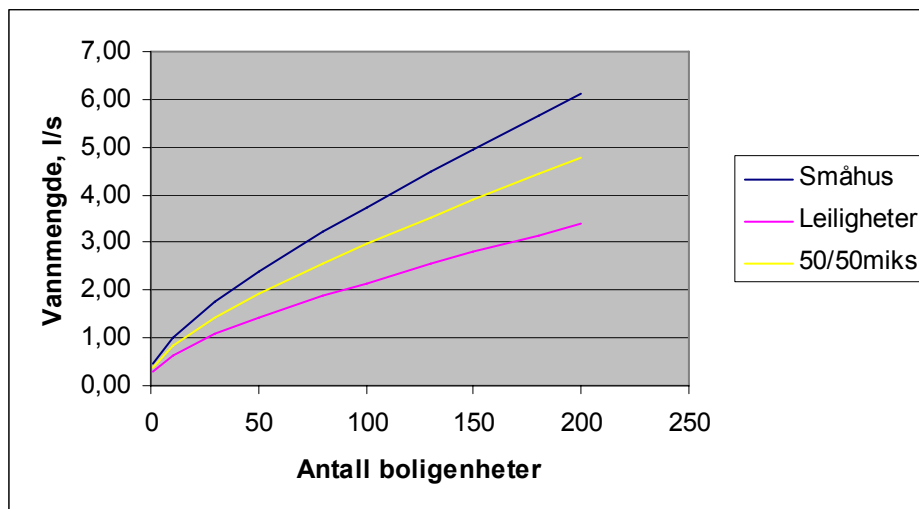
$$q_{1miks} = \frac{0,3 + 0,2}{2} \text{ l/s} = 0,25 \text{ l/s} \quad (3)$$

Tabell 5.3 under viser sannsynlig maksimal vannmengde for småhus, leiligheter og for miks av småhus og leiligheter ved varierende antall boligenheter.

Tabell 5.3. Sannsynlig maksimal vannmengde for småhus, leiligheter og miks.

Antall boligenheter	småhus, q	leiligheter, q	50/50 miks, q
n	l/s	l/s	l/s
1	0,46	0,30	0,38
10	1,02	0,64	0,84
30	1,76	1,08	1,43
50	2,38	1,42	1,92
80	3,21	1,87	2,56
100	3,73	2,15	2,96
130	4,47	2,54	3,54
150	4,95	2,79	3,91
180	5,66	3,16	4,44
200	6,12	3,40	4,79

Figur 5.1 under viser grafisk hvordan sannsynlig maksimal vannmengde, q, forandrer seg med antall boligenheter for ulike byggkategorier.



Figur 5.1. Sannsynlig maksimal vannmengde ved varierende antall boligenheter.

En ser av grafen at kurvene for de tre boligkategoriene har samme stigning, men at småhus har størst maksimal vannmengde uavhengig av antall boligenheter. Dette er naturlig da småhus som nevnt over har flere tappesteder enn leiligheter, og fordi sannsynlig normalvannmengde for dimensjonerende tappested er større. En ser videre at grafen er krum for et mindre antall boligenheter, men at den flater ut og får en lineær stigning for et større antall boligenheter.

Antallet boligenheter det er naturlig å legge sammen vannmengdene, Q , for ved beregninger, avhenger av om det er et område med småhus- eller flerboligbebyggelse. For flerbolighus er det vanlig å ha en felles abonnentsentral som dekker alle boligenhetene. For småhus er det ulik praksis på hvorvidt hver bolig har egen

abonnentsentral, eller om flere småhus er knyttet til en undersentral. TEF benytter seg av slike undersentraler i områder med småhus eller kombinert småhus- og flerboligbebyggelse, og antallet boliger knyttet til en undersentral vil avhenge av geografien i området. Det finnes omlag 30 slike undersentraler rundt om i Trondheim, og det er ikke uvanlig at en undersentral forsyner over 100 boliger.

5.2 Sammenlagring tappevann

Alle beregninger finnes i Vedlegg A.

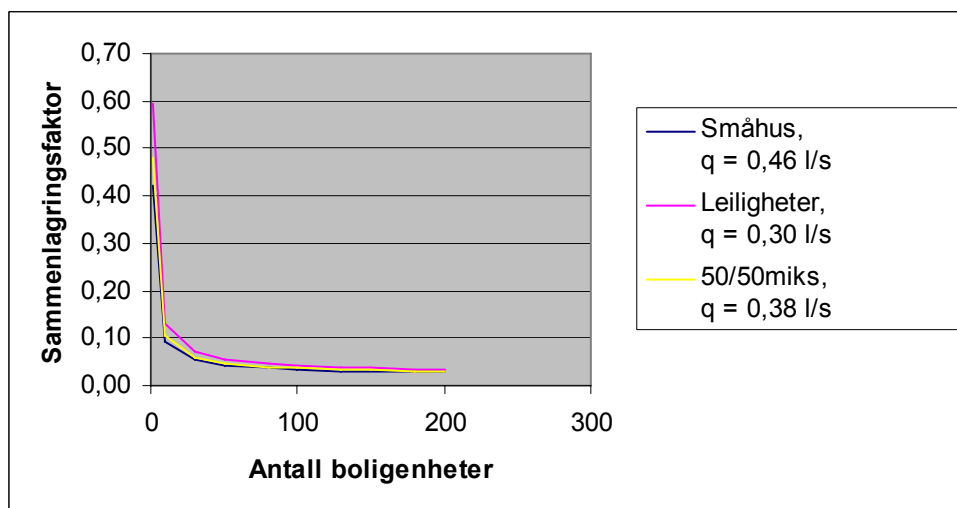
Sammenlagningsfaktoren for tappevann sier noe om hvor stor sannsynligheten er for at et visst antall boliger tapper vann samtidig. Det er forholdet mellom sannsynlig maksimal vannmengde, q , dividert på den totale vannmengden, Q , dersom det ble tappet fra alle tapstedene samtidig, se formel 4 under, [10].

$$K_T = \frac{q_n}{Q_n} \quad (4)$$

Hvor:

K_T	Sammenlagningsfaktor for tappevann	[-]
q_n	Sannsynlig maksimal vannmengde for n antall boligenheter	[l/s]
Q_n	Normalvannmengder for n antall boligenheter	[l/s]

Figur 5.2 under viser hvordan sammenlagningsfaktoren for de tre boligkategoriene synker ved en økning av antall boligenheter.

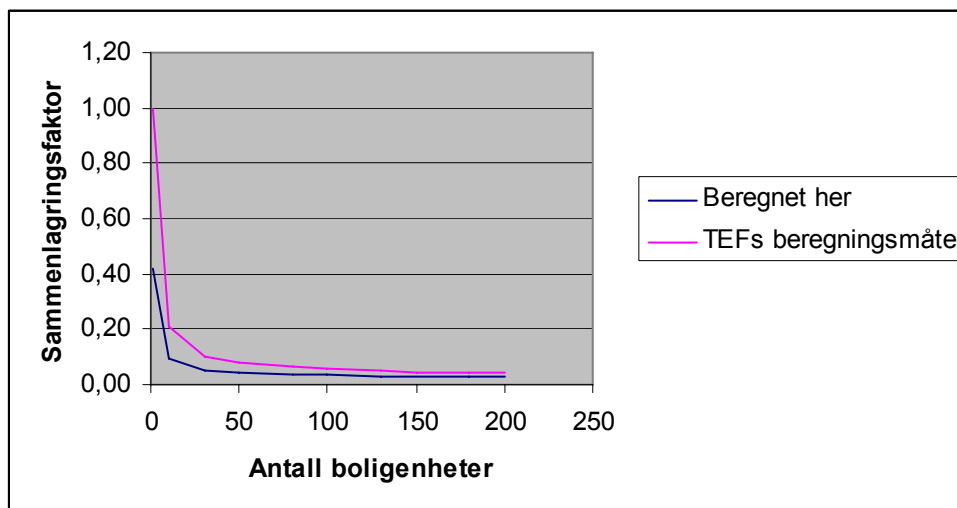


Figur 5.2. Sammenlagring ved varierende antall boligenheter.

I et småhus er sammenlagningsfaktoren 0.42 ved en boligenhet, og sammenlagningsfaktoren synker meget raskt ned til 0.09 for 10 boliger. I en leilighet er sammenlagningsfaktoren 0.6, og for 10 leiligheter har sammenlagningsfaktoren sunket til 0.13. Ved miks av

småhus og leiligheter er sammenlagingsfaktoren 0.48, og synker til 0.1 for 10 boligenheter. Videre synker sammenlagingsfaktoren sakte for alle boligkategorier ved økt antall boligenheter og stabiliserer seg på ca 0.02-0.03. Ved vurdering av grafen må en huske på at utgangspunktet for sannsynlig vannmengde for de ulike boligkategoriene er forskjellig. Selv om sammenlagingsfaktoren synker veldig likt for de ulike boligkategoriene blir ikke vannmengdene like, og de vil være størst for småhus.

Hos TEF menes det at i realiteten vil tappevannsmengdene også være avhengig av abonnentkategori i tillegg til boligkategori. For eksempel vil småbarnsfamilier forbruke en større andel varmt vann enn eldre mennesker og studenter, [74]. Ved beregning av sammenlagingsfaktoren for tappevann foretar TEF noen forenklinger i forhold til det normalreglementet for sanitæranlegg beskriver. Der settes normalvannmengden, Q , for en boligenhet lik tappevannsmengden fra største tappested, q_1 , og antar at kun største tappested blir benyttet. Normalvannmengden multipliseres deretter opp med ønsket antall boligenheter for å finne total normalvannmengde, [6]. For å finne maksimal sannsynlig vannmengde, q , benyttes ”Tabell over maks. sannsynlig vannmengde”, figur 3 i Normalreglementet for sanitæranlegg, [73], ved beregnet Q -verdi. Sammenlagingsfaktoren finnes så ved å dividere q med Q . Ved å bruke disse tallene får Utne en annen sammenlagingsfaktor enn verdiene funnet her. Figur 5.3 under viser sammenlagingsfaktor ved TEFs beregningsmåte og beregninger gjort her.



Figur 5.3. Sammenlagingsfaktor for småhus ved TEFs beregningsmåte og ved beregninger gjort her.

Av grafen ser en at beregningsmåten TEF benytter, gir en sammenlagingsfaktor på 1 for en boligenhet, og ellers synker grafene relativt likt. Tabell 5.4 neste side viser forskjellen i vannverdier for småhus ved TEFs beregningsmåte og de beregningene gjort her.

Tabell 5.4. Normalvannmengder for småhus ved beregninger her og utført av TEF.

Antall boligenheter	Q beregnet her	Q beregnet ved TEF
n	l/s	l/s
1	1,1	0,3
10	11,0	3,3
30	33,0	9,9
50	55,0	16,5
80	88,0	26,4
100	110,0	33,0
130	143,0	42,9
150	165,0	49,5
180	198,0	59,4
200	220,0	66,0

Tabellen viser at ved å følge oppskriften i normalreglementet for sanitæranlegg får man veldig høye normalvannmengder i forhold til verdiene TEF operer med. Vannmengdene beregnet her er over 3 ganger høyere enn verdiene TEF benytter ved dimensjoneringsarbeid for nødvendig effektkapasitet i forhold til tappevann. TEFs beregningsmetode for nødvendig vannmengde fungerer i praksis, og viser at formelen fra normalreglementet sannsynligvis fører til overdimensjonering av vannmengdene. Et annet aspekt er at formelen gitt av normalreglementet ikke sier noe om verken tappevannstemperatur eller nødvendig temperatur ut av tappevannsvexleren. Dette betyr at vannmengdene beregnet her kan være nødvendige vannmengder ved tappested for å oppnå en ønsket tappevannstemperatur etter innblanding av kaldt vann etter veksleren. Hvis dette er tilfellet, er denne formelen ikke helt optimal til bruk ved dimensjoneringsarbeid for å finne nødvendig vannmengde i stikkledning for tappevann og effektkapasitet på tappevannsvexleren.

De beregninger TEF gjør er på siden av det Normalreglementet sier, men gir kanskje mer reelle vannmengder dersom vannmengdene de beregner, er nødvendig vannmengde etter veksleren med temperatur på 55 °C.

5.3 Samtidig effekt tappevann

De maksimale vannmengdene, q , funnet over kan brukes til å finne nødvendig effektkapasitet på varmeveksleren for varmt tappevann i en abonnent- eller undersentral. En må i tillegg vite ΔT , temperaturredifferansen på det kalde råvannet inn på varmeveksleren og levert temperatur ved tappested. Nødvendig effektkapasitet kan beregnes ut fra likning 5 under, [4].

$$P = q * c * \rho * (t_v - t_k) \quad (5)$$

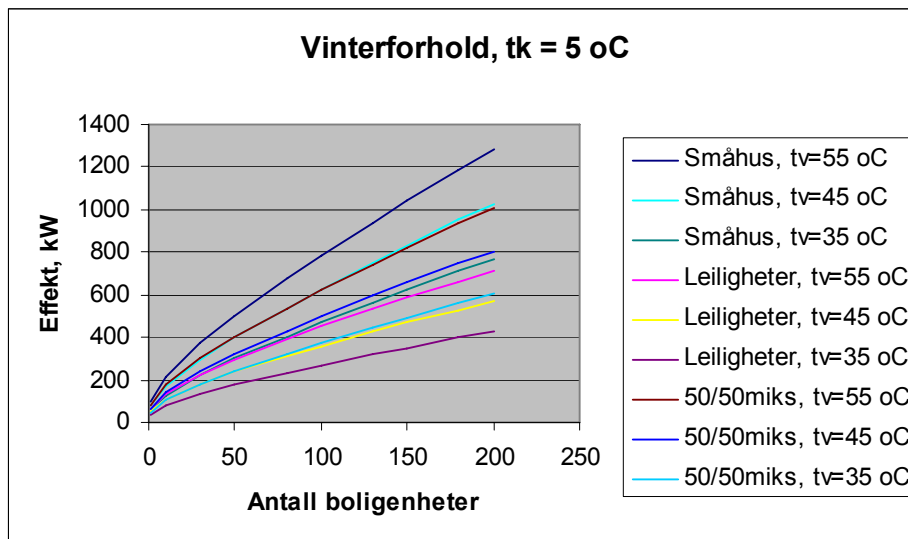
Hvor:

P	nødvendig effekt	[kW]
q	vannmengde	[l/s]
c	vannets spesifikke varmekapasitet, 4,2	[kJ/kgK]
ρ	vannets tetthet, 1	[kg/l]
$(t_v - t_k)$	ΔT , temperaturredifferanse varmt og kaldt vann	[°C]

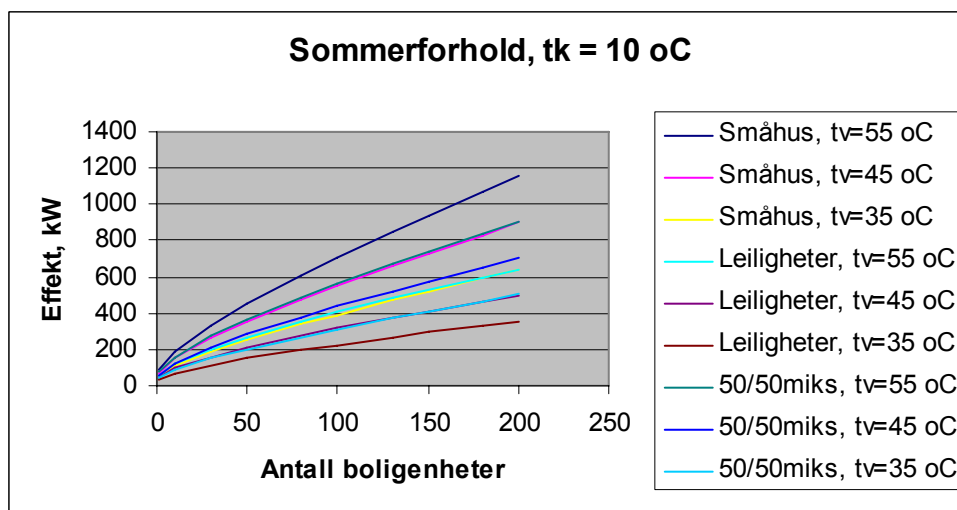
Temperaturen på det kalde råvannet inn på varmeveksleren vil variere over året, og er her for enkelthets skyld satt til 5 °C på vinteren og 10 °C om sommeren. Ut av varmeveksleren er det krav om at temperaturen på vannet skal være 55 °C, men det er sjeldent en tapper vann ved denne temperaturen. I realiteten vil tappevannstemperaturen være en god del lavere, da mye av tappingen foregår ved omlag kroppstemperatur. Dette gjelder blant annet dusjing og vask av hender, mens oppvask vil foregå ved noe høyere temperatur.

Beregningene av nødvendig effektkapasitet er her foretatt for ulike scenario for å se på hvordan tappevannstemperaturen påvirker effektbehovet. Beregningene er gjort for 55 °C, 45 °C og 35 °C. Det er interessant å ha med 55 °C for å se hvor stort effektbehovet vil være i det mest ekstreme tilfelle, 35 °C er omlag kroppstemperatur og 45 °C er tatt med for å vise middelverdien. Realiteten vil ligge i området rundt de laveste verdiene, kanskje nærmere 35 °C. Her er det bare sett på boliger, men dersom en hadde sett på institusjoner som for eksempel sykehus ville en større andel av tappingen foregått ved høyere temperatur. Det er også sett på hvordan effektbehovet forandrer seg for sommer og vinterforhold. Figur 5.4 til 5.8 under viser effektbehovet ved ulike scenarier. Her er det tatt med et utvalg av scenarier, men grafer for alle scenarier og tabeller med beregningsunderlag finnes i Vedlegg B. T_k står for kaldt råvann inn på veksleren, og T_v er temperaturen ved tappested.

Figur 5.4 og 5.5 under viser effektbehovet ved henholdsvis vinter- og sommerforhold for alle boligkategoriene ved de ulike tappevannstemperaturene.



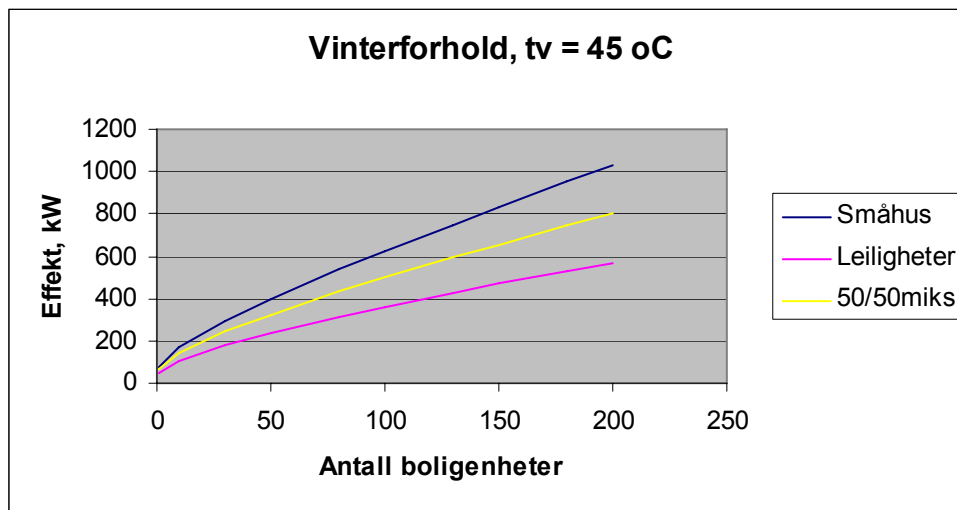
Figur 5.4. Vinterforhold, alle boligkategorier ved ulike tappevannstemperaturer.



Figur 5.5. Sommerforhold, alle boligkategorier ved ulike tappevannstemperaturer.

En ser av figurene at stigningen i effektbehovet er lik for de tre bygningskategoriene, men at småhus har det klart høyeste effektbehovet. Dette er en naturlig konsekvens av at de krever større vannmengder som følge av flere og større tappesteder. For småhus synker den maksimale effekten for 200 boliger med 128 kW for alle tappevannstemperaturene fra vinter- til sommerforhold, for leiligheter faller effekten med 71 kW og for miks av leiligheter og småhus 101 kW fra vinter- til sommerforhold.

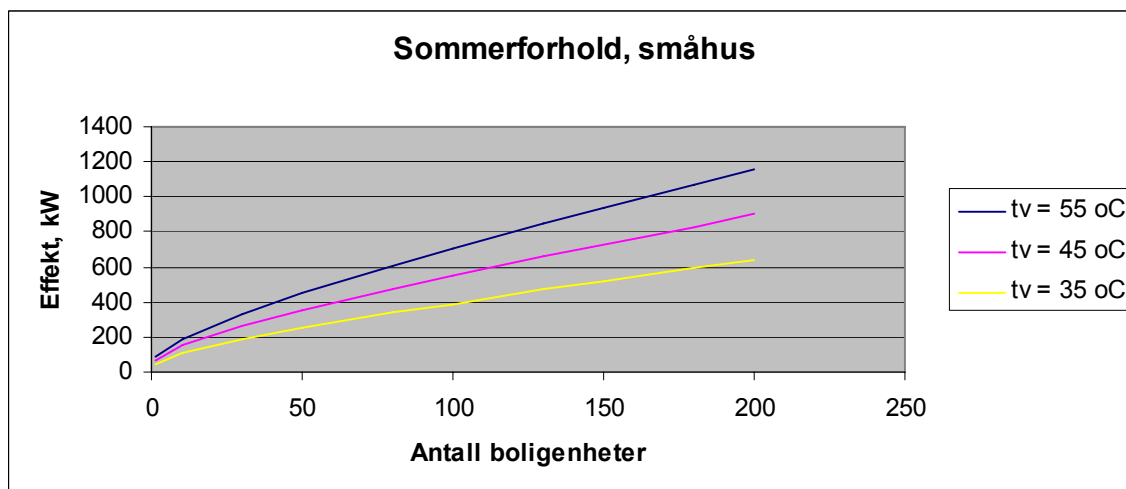
Figur 5.6 under illustrerer hvordan effektbehovet for de tre bygningskategoriene varierer ved tappevannstemperatur på 45 °C under vinterforhold.



Figur 5.6. Vinterforhold, tappevannstemperatur 45 °C.

For 100 boligenheter er effektbehovet til småhus 626 kW, leiligheter 361 kW og miks av leiligheter og småhus 498 kW. For ett stykk boligenhet trenger småhus 56 % mer effektkapasitet enn leiligheter, for 100 boligenheter trengs 73 % mer effektkapasitet og for 200 boligenheter trengs 80 % mer effektkapasitet enn for leiligheter. Småhus trenger fra ca 20 % opp til ca 30 % mer effektkapasitet enn boligområder med miks av småhus og leiligheter. Grafene ser tilsvarende ut for de andre tappevannstemperaturene, både for vinter- og sommerforhold, den eneste forskjellen ligger i størrelsen på effektbehovet ved de ulike scenariene.

Figur 5.7 under viser hvordan effektbehovet til småhus synker for ulike tappevannstemperaturer ved sommerforhold.

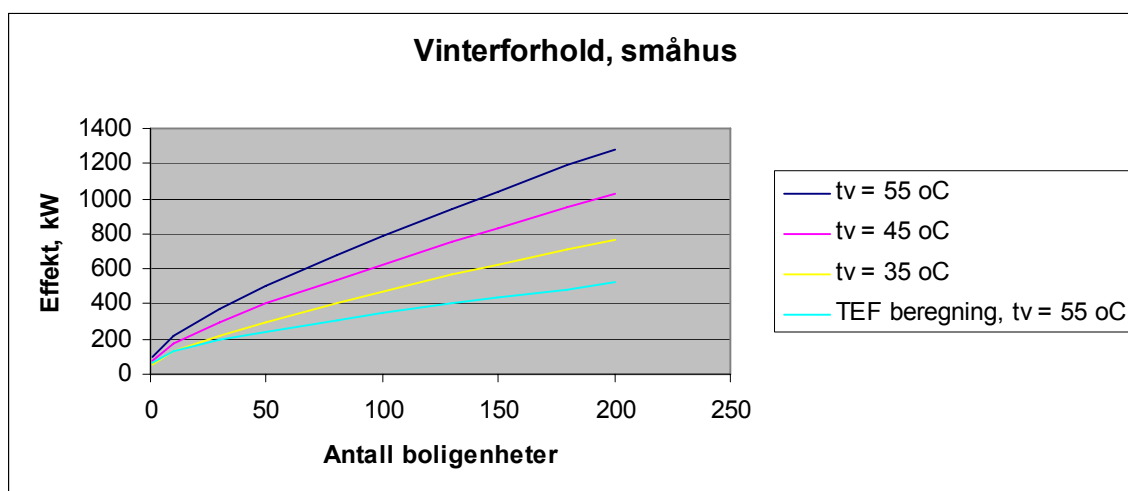


Figur 5.7. Nødvendig effektkapasitet for småhus ved sommerforhold og ulike tappevannstemperaturer. $T_v = 10$ °C.

En ser at det har stor betydning for effektbehovet om det beregnes ut fra maksimal vanntemperatur på 55 °C eller om det regnes ut fra realistisk tappevannstemperatur. For 100 småhus synker effektbehovet fra 704 kW til 391 kW (313 kW) fra 55 °C til 35 °C. Dette er en reduksjon på nesten 80 %, og vil ha vesentlig betydning for nødvendig kapasitet på varmeveksleren. En ser her hvor viktig det er med en realistisk dimensjonering av effektbehovet for å få et optimalt fungerende tappevannssystem. Effektbehovet synker fra 704 kW til 548 kW (156 kW, 28 %) fra 55 °C til 45 °C. Reduksjonene er i størrelsesorden tilsvarende for leiligheter og for områder med miks av småhus og leiligheter.

Varmevekslere for tappevann vil med tiden bli utsatt for beleggdannelse, som gjør dem mindre effektive. For å ta høyde for denne beleggannelsen på vekslerflatene bør varmeveksleren overdimensjoneres noe. TEF anbefaler en overdimensjonering av varmeveksleren på omlag 10 % for å ta høyde for beleggdannelse. Det er viktig å ikke overdimensjonere vekslerflaten for mye, da det fører til redusert vannhastighet gjennom veksleren. Lav vannhastighet vil føre til større andel beleggdannelse fordi vannet ikke har nok fart til å rive med seg belegg fra vekslerflaten, [6]. Flerbolighus har vanligvis en VVS-krets for å minimere ventetiden ved tappested for varmt vann. I denne kretsen sirkulerer vann med en høy temperatur, med omlag 55 °C ut fra veksler og returnerer med temperatur på mellom 40-50 °C. Dette betyr at vannet som går inn på varmeveksleren vil være en miks av råvann og varmt vann fra VVS-kretsen, og vil følgelig ha en høyere temperatur enn 5 °C eller 10 °C som benyttet her. Dette er det ikke tatt høyde for ved beregningene, men vil i praksis spille en liten rolle for effektbehovet i varmeveksleren.

Figur 5.8 under viser effektbehovet for småhus ved vinterforhold ved ulike tappevannstemperaturer. I tillegg er effektbehovet ved TEFs beregningsmetode for tappevannstemperatur på 55 °C tatt med for å vise forskjellene i nødvendig effektkapasitet.



Figur 5.8. Effektbehov til småhus ved beregningsmetode benyttet her og TEFs beregningsmetode.

Grafen viser at TEF får et lavere effektbehov med en tappevannstemperatur på 55 °C enn effektbehovet beregnet her for alle tappevannstemperaturer. Dette kan tyde på at overdimensjoneringen i nødvendig effektkapasitet for tappevannsvekslere vil være betydelig dersom man beregner vannmengder ut fra normalreglementet for sanitæranlegg og regner med en tappevannstemperatur på 55 °C. Effektbehovet beregnet her er mer enn fordoblet for temperatur på 55 °C i forhold bruk av vannmengdene TEF operer med. Dette vil føre til relativt store varmevekslere for tappevann med en liten gjennomstrømning av vann. En må ta i betraktning at sammenlikningen er gjort med et fjernvarmeselskap, og praksis kan være avvikende hos andre selskaper. Det indikerer likevel de forskjellene en kan få ved å benytte ulike vannmengder ved dimensjonering.

5.4 Vurdering

Beregninger utført her viser at temperaturnivået inn og ut av tappevannsveksleren en benytter ved beregninger spiller en stor rolle for nødvendig installert effektkapasitet. Dersom man antar at det alltid tappes vann ved tappested på 55 °C vil en få en meget høy nødvendig effektkapasitet på veksleren i forhold til om man antar at det tappes ved en noe lavere temperatur, som 45 °C eller 35 °C. De lavere tappevannstemperaturene er nok mer realistisk for boliger. En svakhet i tabellen over normalvannmengder synes å være at tabellen ikke indikerer ved hvilken temperatur vannet ved de ulike tappestedene blir tappet. Dette fører til forvirring angående hvilken temperatur en skal utføre beregninger med, som kan gi store feilkilder i videre beregninger. Gjennom beregningseksempel her ved bruk av formelen, og sammenlikning med de verdier TEF baserer seg på ved dimensjonering, synes det som samtidighetsformelen fra normalreglementet for sanitæranlegg overdimensjonerer nødvendig vannmengde noe. Det må tas i betraktning at dette kun dreier seg om en case, og det kan ikke dras noen allmenne konklusjoner på bakgrunn av dette. Temperaturnivået en benyttet ved beregninger spilte også en rolle for hvor mye større nødvendig effektkapasitet på veksleren ble ved beregninger her enn de verdiene beregningmetoden til TEF ga.

Effektbehovet på tappevannsveksleren avhenger i stor grad av hvilke vannmengder og tempernivå en benytter. For å gjøre dimensjoneringsarbeidet enklere, kunne det være en ide å angi hvor stor vannmengde ved 55 °C som var nødvendig ved hvert tappested. Her må det tas hensyn til at beregninger gjort her er overslagsberegninger, men de gir indikasjoner på forskjellene i effektkapasitet for ulike temperaturer. Ved dimensjonering av effektkapasitet på tappevannsveksleren må en benytte en temperatur på 5°C for råvannet inn på veksleren (vinterforhold), men det er interessant å se hvordan mindre endringer i temperaturen inn på veksleren gir betydelige utslag.

Dersom effektkapasiteten på tappevannsvarmeveksleren overdimensjoneres for mye vil dette gi en abonnentsentral eller undersentral som ikke fungerer optimalt. Vekslerflaten vil bli så stor at en får en liten vannstrøm over den, som kan føre til beleggdannelse og forringelse av veksleren. Ventiler vil også dimensjoneres for store, som gir en grov regulering av vannstrømmen over veksleren. Ventilene vil bli stående og stadig regulere, som fører til slitasje av ventiler og de vil dermed gi enda dårligere regulering.

Konsekvensen kan bli at abonnenten enten får veldig kaldt eller altfor varmt vann ved tappested. Overdimensjonering vil også gi en abonnent- eller undersentral som er mer kostbar enn nødvendig, og fjernvarmeselskapet må i verste fall gå opp i dimensjon på stikkledning i forhold til det som hadde vært tilstrekkelig ved korrekt dimensjonering. Dette gir også økte kostnader, og dersom alle abonnenter overdimensjonerer sine anlegg kan det føre til en betraktelig økning i investeringskostnadene for fjernvarmeselskapet. For å få et mest mulig effektivt fjernvarmenett kan det være nødvendig å revidere bergningsunderlaget for dimensjonering av varmt tappevann ut fra de vurderinger foretatt her.

6 Sammenlagring av effektbelastning

I dette kapitlet beregnes sammenlagringsfaktor og samtidighetsfaktor for et konkret område, og i her er det gjort beregninger for grenledning mot Klæbu sentrum. Først finner en effektbehovet til de ulike bygningene på grenledningen, før sammenlagringsfaktor og samtidighetsfaktoren beregnes. Til beregning av sammenlagring og samtidighetsfaktor blir det benyttet ”normaliserte” lastprofiler for varmelasten for de ulike bygningskategoriene.

6.1 Grenledning mot Klæbu sentrum

For å vise beregningsmetode for effektsammenlagring benyttes her grenledning mot Klæbu sentrum som eksempel. Disse beregningene vil kun være gyldige for dette tilfellet, men beregningsmetoden vil være tilsvarende for andre områder.

6.1.1 Bygninger på grenledning

Varmesentralen i Klæbu skal ved ferdigstillelse av distribusjonsnettet forsyne tre ulike grenledninger. To av disse ledningene eksisterer i dag, men er under opprusting. Den tredje ledningen, vestover mot Klæbu sentrum, er helt ny og en har ved dags dato påbegynt arbeidet med denne. Grenledningen skal kobles til noen eksisterende bygninger i sentrum med sentralvarmeanlegg, og et par bygninger som er under planlegging. Det er seks eksisterende bygninger i sentrum som er aktuelle for tilkobling til fjernvarme, og disse er Klæbu Rådhus, Selli opptreningsssenter, Klæbu Prix, Klæbu sykehjem og omsorgsboliger. I tillegg er det planer om å bygge ut et byggefelt ved Hydro/Texaco (YX) med kombinert bolig og næringsformål. I rapporten ”Analyser og planlegging av utbygging av fjernvarmesystem” av A. Gaustad ble det gjort dimensjoneringsarbeid for den pågående utvidelsen av fjernvarmesystemet. Her ble energi- og effektbehovet for de bygningene som er planlagt tilkoblet fjernvarme i sentrum beregnet ved hjelp av det PC-baserte beregningsverktøyet Heat Quick (HQ), [75]. Relevante resultater av disse beregningene blir benyttet videre i denne oppgaven, og er gjengitt i tabell 6.1, [2]. Noen av bygningene fra prosjektoppgaven er utelatt, da det i ettertid har vist seg at disse ikke skal knyttes til den aktuelle grenledningen. Dette gjelder Sletten skole og Holtegården næring og bolig. Sletten skole faller ut på grunn av at TEF har valgt en noe annen trasé for grenledningen enn den som ble anbefalt i den overnevnte rapporten, mens byggherren for Holtegården har bestemt seg for å ikke knytte bygningene til fjernvarme, [6].

For alle bygg er det forutsatt akkumulering av varmt tappevann i beregningene da dette ligger inne som forutsetning i HQ. Dette samsvarer med de tappevannsinstallasjonene som finnes i de eksisterende bygningene, men en vet ikke hvorvidt utbyggingene ved YX kommer til å benytte seg av akkumulering eller direkte veksling. Videre er det gjennomført nye beregninger i HQ for utbygging ved YX, da en nå med større sikkerhet vet hvor store arealer som er satt av til bolig- og næringsformål. Av totalt 16.200 m²

tillatt bebyggelse, er en tredel satt av til næringsvirksomhet og resten til boliger. Arealene blir derfor henholdsvis 5400 m² og 10.800 m², [76]. Plantegninger over bygninger som skal kobles til fjernvarme i Klæbu sentrum finnes i Vedlegg C.

6.1.2 Antakelser ved bruk av HQ, [2]

HQ er et enkelt verktøy som med relativt få inndata gir relativt gode estimater for effekt- og energibehov. HQ tar utgangspunkt i klimadata for det aktuelle stedet, gulvareal for aktuell bygning og bygningens utforming. I tillegg tas det høyde for bygningskategori og drift av bygget. HQ innehar ikke klimadata for Klæbu, men det er benyttet klimadata for Selbu. Dette kan brukes fordi kommune ligger i det samme geografiske området og har relativt likt klima. Det er stor usikkerhet knyttet til driften av ventilasjonsanlegg og varmesystemet, slik at det gjort flere antakelser i forhold til disse. Normalverdier for installasjoner er brukt hvor det ikke har vært sikker informasjon om drift tilgjengelig. HQ er i utgangspunktet ikke et beregningsverktøy ment for beregninger i privatboliger, men ved å sette privatboliger lik helseinstitusjoner, kan det benyttes. Privatboliger har bruksmønster ikke veldig ulikt helseinstitusjoner, og feilen blir akseptabel. De effektverdier som beregnes i HQ er midlere maksimaleffekt over dimensjonerende døgn. I det videre baseres alle beregninger på resultater fra HQ.

Selli Opptreningscenter er beregnet i tre ulike deler, da byggår og drift av bygningsdelene varierer noe. Disse er så lagt sammen ved innsetting i tabell. Brukstiden for hele bygget er satt lik gjennomsnittsverdien for de tre bygningsdelene. Dette gir et meget grovt estimat, men vil være godt nok for prinsipielle overslagsberegninger her.

Arealer for eksisterende bygg i Klæbu sentrum, samt informasjon om framtidige utbygginger er hentet fra rådhuset i Klæbu kommune, hvor arealtegninger, reguleringsplaner og ulike bygndata har vært tilgjengelig, [76], [77].

Bolig- og næringsområdet ved YX vil bli bygges ut etter 2007, og det vil derfor komme under den nye tekniske byggforskriften, TEK 07, hvor det stilles strengere krav til energibruken i bygninger. Bygninger som bygges etter 2007 er nå lagt inn som et eget valg i HQ. TEK 07 blir grundigere behandlet i kapittel 7.

HQ rapport for bygningene finnes i Vedlegg D.

6.1.3 Energi- og effektbehov for bygninger i Klæbu sentrum

På grunnlag av energi- og effektverdier beregnet i HQ, kan en sette opp tabell 6.1 under for de ulike bygningene på grenledningen til Klæbu sentrum.

Tabell 6.1. Energi- og effektbehov fra fjernvarme for bygninger på grenledning mot Klæbu sentrum, beregnet i HQ, [2].

Bygning	Kategori	Oppv. gulvareal	Maks. effekt		Energiforbruk		Brukstid
		m ²	kW	W/m ²	MWh	kWh/m ²	h/år
Rådhus	Kontor	4200	269	64	541	129	2010
Bank	Kontor	1900	141	74	271	143	1919
Prix	Handel (kontor)	900	87	97	167	186	1920
Selli	Helse	6000	409	68	924	154	2125
Sykehjem	Helse	565	38	67	76	135	2008
Omsorgsboliger	Helse	850	53	62	97	114	1811
Bolig YX	Bolig	10800	516	48	882	82	1710
Næring YX	Handel (kontor)	5400	266	49	353	65	1329

6.2 Lastprofiler

Linda Pedersen behandlet i sin doktoravhandling "Load Modelling of Buildings in Mixed Energy Distributions Systems" effektmålinger gjort for flere typer bygningskategorier, og for flere bygninger av hver kategori. Effektmålingene pågikk over lengre tid, og på bakgrunn av disse målingene ble det produsert "normaliserte" lastprofiler for ulike bygningskategorier over døgnet. Lastprofilene er i doktoravhandlingen fremstilt grafisk, med en relativ vektning av varmelasten for hver time over døgnet, og for uke- og helgedager. Bygningskategoriene behandlet i doktoravhandlingen er kontor, hotell/restauranter, skolebygg, boligbygg (kombinasjon av småhus og flerfamiliehus) og helsebygg (sykehjem og omsorgsboliger), [78]. Lastprofilene for de forskjellige bygningskategoriene produsert av Pedersen er gjengitt i Vedlegg E.

Lastprofilene fra doktoravhandlingen til Pedersen blir her benyttet til å beregne sammenlagring- og samtidighetsfaktor for bygningene på grenledningen til Klæbu sentrum. Her brukes effektprofilen fra ukedager, da denne har den høyeste effektbelastningen, og er derfor den mest interessante når en skal se på effektsammenlagring. For kontorbygg bidrar driften av ventilasjonsanlegget i stor grad til formen på lastprofilen. Typisk for ventilasjonsanlegg i kontorbygninger er at de er tidsstyrt supplert med tilstedeværelsesstyring. Helsebygg har en lengre driftstid av ventilasjonsanlegget utover kvelden enn kontorer, og her er det naturlig å redusere ventilasjonsluftmengden når beboerne går til sengs, [78].

Pedersen har ikke gjort effektmålinger for bygningskategorien handel og næring, og her setters derfor Prix og næringsvirksomhet ved YX til å være kontorbygninger. Dette er ikke korrekt da forbruksmønsteret over døgnet vil være noe avvikende. Prix er en butikk

med åpningstid fra kl. 9-21, og har tekniske installasjoner som fryserer og kjølerom gående døgnet rundt. Det per dags dato ikke fastlagt hvilken type næring som vil komme i næringslokalene ved YX, da utbyggingen ikke er detaljplanlagt. Området er relativt stort, og her vil det kunne komme både handel og kontorvirksomhet. Kategorien kontor vil på tross av ulikheter og usikkerhet være den bygningskategorien som best svarer overens med forbruksmønsteret til Prix og næringsområde ved YX. En må være bevisst at denne forneklingen vil kunne gi et noe feilaktig bilde av både sammenlagring- og samtidighetsfaktoren for disse bygningene.

Bygningskategorien bolig fra avhandlingen til Pedersen forutsetter direkte veksling av varmt tappevann, mens en ikke vet hvorvidt boligene som skal bygges ved YX vil få direkte veksling eller akkumulering av varmt tappevann. Dersom TEFs nåværende tekniske forskrifter for boliger fortsatt gjelder ved byggestart, er det naturlig å anta at boligene vil få akkumulering av tappevann. TEF krever akkumulering ved effekt over 250 kW på tappevannsveksleren, [21]. Her er vil det antakeligvis bli bygget relativt store flerfamilieboliger på grunn av reguleringsbestemmelser fra kommunen som sier at det skal være 3 etasjes blokkbebyggelse i sentrum og med høy utnyttelsesgrad av området, 50 % BYE, [76]. Effekttuttaket ved akkumulering og direkte veksling av tappevann er noe forskjellig, da effekttuttaket ved direkte veksling kommer momentant, mens effekttuttaket er noe forskjøvet ved akkumulering. På grunn av dette er det mulig at lastprofilen for boliger er noe forskjellig fra realiteten i boliger ved YX. For eksempel vil effekttoppen om morgenen på grunn av morgenstell komme noe senere ved akkumulering.

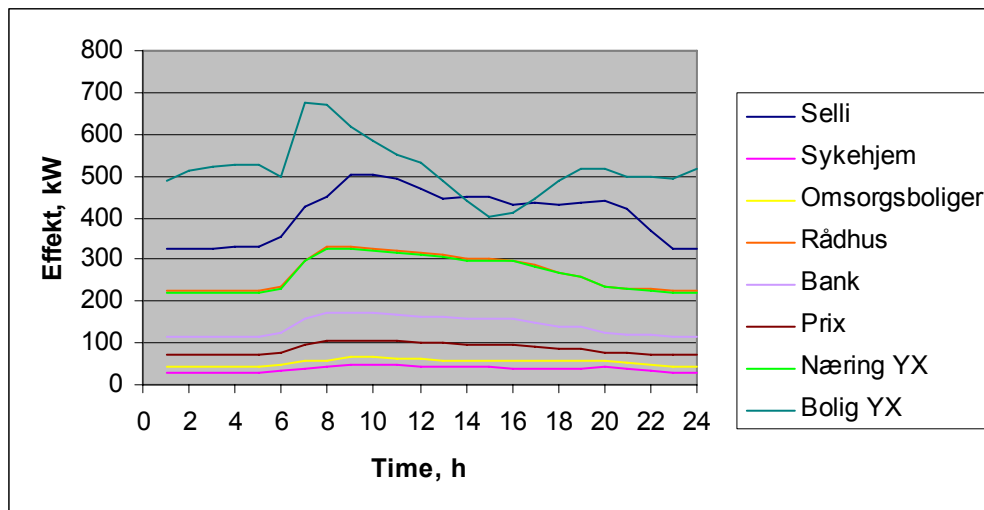
For kategoriene kontor og helse vil lastprofilene stemme noenlunde overens med de faktiske forhold, da helsebygningene er nettopp sykehjem og omsorgsboliger, og kontorene har åpningstider som er normalt for kontorvirksomhet (kl 8-16).

6.3 Effektsammenlagring

Effektbelastningen for et område er som tidligere nevnt avhengig av effektbehovet til varmt tappevann og til bygningsoppvarming. Ved å summere disse får en nødvendig teoretisk effektbehov, men dette må da korrigeres for sammenlagring. Sammenlagring betyr i prinsippet at ikke alle abonnentene har maksimalt effekttuttak samtidig, [4]. Dette er fordelaktig for fjernvarmeselskapet da varmesentralen ikke trenger å bygges ut med en effektkapasitet for totalt effektbehov fra alle abonnentene, men for den sammenlagrede effekten hos abonnentene, [79]. Sammenlagringsfaktoren for total tilknytningseffekt for et område er mindre eller lik 1, avhengig av bygningskategorier i området og den vil variere mellom ulike fjernvarmeområder. Områder med homogen bebyggelse vil ha en høyere sammenlagringsfaktor enn et område med variert type bebyggelse. Dette kommer av at bygninger av samme art har relativt likt forbruksmønster, og får derfor relativt sammenfallende effekttopper. I områder med variert bebyggelse vil effekttoppene i større grad utjevnes over døgnet på grunn av ulike forbruksmønster. Videre vil sammenlagringsfaktoren for et område bli lavere jo flere abonnenter som er tilkoblet fjernvarmen da hver bygning vil bidra i mindre grad til den totale effekttoppen, [4]. Beregninger finnes i Vedlegg F.

6.3.1 Effektbelastning ulike bygninger

Effektbelastningen for hver bygning over dimensjonerende døgn, $T_{\text{ute}} -20\text{ }^{\circ}\text{C}$, er beregnet ved å multiplisere de relative varmelastverdiene Pedersen fant for de ulike bygningskategoriene med den maksimale effektverdien for hver time over døgnet for alle bygningene. Figur 6.1 under viser grafisk hvordan effektbelastningen til oppvarmingsformål varierer over døgnet for de ulike bygningene ved bruk av Pedersens varmelastprofiler. Alle effektverdier funnet her gjelder kun effektbehov til oppvarmingsformål, ikke effektbehov hvor det benyttes elektrisitet.



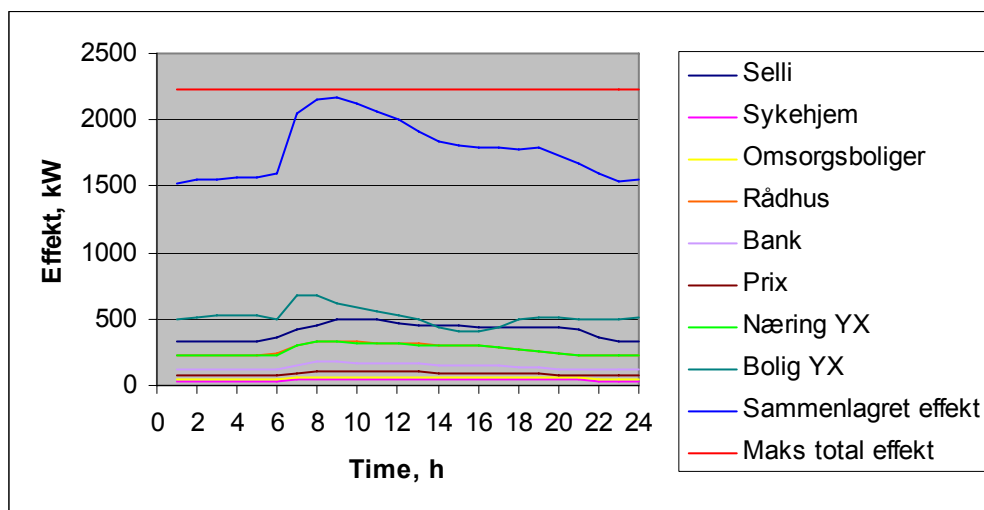
Figur 6.1. Effektbelastning over døgnet for bygninger på grenledning mot Klæbu sentrum.

Av figuren ser en at det er boligområdet ved YX som har det høyeste effektuttaket og de største døgnvariasjonene. Effektbelastningen skyldes at dette boligområdet dekker et stort areal (10.800 m^2). Boliger har dessuten et typisk forbruksmønster med en topp kl 7 om morgenen når folk står opp, og en ny oppsving på kvelden etter at folk har kommet hjem fra jobb. Som nevnt over er effektprofilen her basert på boliger med direkte veksling, slik at effektprofilen i realiteten muligens vil være forskjøvet noe mot høyre. Boliger har ellers ikke et fast forbruksmønster slik en finner for eksempel i kontorer, [78], som skyldes at folk har forskjellig døgnrytme og tid de skal ut på blant annet skole og jobb. Selli, som er en stor helseinstitusjon (6000 m^2), har et relativt høyt effektforbruk, og en ser en markant økning i effektforbruket når ventilasjonsanlegget tilpasses dagdrift. Effekttoppen på morgenen kan også relateres til at det brukes mye vann til stell av beboere og at det foregår mye aktiviteter i bygningen. Effektprofilen for bygningene med kontordrift karakteriseres av økt effektforbruk på dagtid når ventilasjonsanlegget er i drift. Nattsinking av romoppvarmingen i bygningen vil også bidra noe til økt effektuttak på morgenen. En ser av grafen at næring ved YX og Rådhuset har meget likt effektforbruk, og ut fra beregningene i HQ er det kun et par kW som skiller disse bygningene. På grunn av at begge bygningene er satt til kontorer er effektprofilene helt sammenfallende. En ser ellers at effektuttaket til de ulike bygningene i stor grad er relatert til størrelsen på bygningene. Alle verdiene funnet her er basert på forenklinger og

vil derfor ikke nødvendigvis være helt korrekte i realiteten. De gir likevel indikasjoner på hvilke nivåer de ulike bygningene vil ligge, samt deres effektprofil over døgnet.

6.3.2 Sammenlagret effekt for bygninger på grenledning

Sammenlagret effekt for bygningene over døgnet består av bidrag fra alle bygningenes effektuttak, og finnes ut fra grafene over ved å legge sammen de ulike effektprofilene til hver bygning. Det er også interessant å se på total maksimal effektbelastning for alle bygningene over døgnet, og dette finnes ved å summere maksimal effektverdi for hver bygning. Figur 6.2 under viser effektprofilene til de ulike bygningene over døgnet i tillegg til sammenlagret effekt og total maksimal effektbelastning.



Figur 6.2. Effektprofil for de ulike bygningene over døgnet inkludert sammenlagring og total maksimal effekt.

Total maksimal effekt for alle bygningene er 2224 kW dimensjonerende døgnet, og denne kurven er jevn over hele døgnet da det ikke tas hensyn til sammenlagring. Ved å ta hensyn til sammenlagring får man en effektprofil som er avhengig av effektprofilene til hver bygning slik grafen viser. En ser at på morgenen omlag kl 06 gjør effektuttaket et sprang, og maksimalt sammenlagret effektuttak som opptrer kl 09 er på 2173 kW. Dette spranget kommer som følge av at alle byggkategoriene har maksimalt effektuttak på morgenen når det blant annet foregår morgenaktiviteter og ventilasjonsanlegg slås på. Effektuttaket synker relativt jevnt frem til kl 14, hvor effektuttaket holdes på et relativt stabilt nivå frem til omlag kl 19. Deretter synker effektuttaket jevnt utover kvelden når aktiviteten reduseres og ventilasjonsanlegg og varmeanlegg er tilpasset nattdrift. Minimumsverdien for sammenlagret effektbelastning er 1523 kW, og opptrer kl 01 på natten.

6.3.3 Sammenlagersfaktor

Sammenlagersfaktoren for bygningene vil som nevnt over være mindre eller lik 1, avhengig av effektuttaket i hvert bygg. For å beregne sammenlagersfaktoren for bygningene på grenledningen til Klæbu sentrum, kan en benytte formel 6 under, [4].

$$K_s = \frac{P_{MAKS}}{\sum_{a=1}^n P_{a,maks}} \quad (6)$$

Hvor:

K_s	Sammenlagersfaktor	[-]
P_{MAKS}	Total sammenlagret effekt	[kW]
$\sum_{a=1}^n P_{a,maks}$	Summen av maksimalt effektuttak hos hver abonnent	[kW]

Med:

$$\sum_{a=1}^n P_{a,maks} = 2224 \text{ kW} \quad \text{og} \quad P_{MAKS} = 2173 \text{ kW}$$

Gir dette sammenlagersfaktoren:

$$K_s = \frac{P_{MAKS}}{\sum_{a=1}^n P_{a,maks}} = \frac{2173}{2224} = 0,977$$

Sammenlagersfaktoren for alle bygningene på grenledningen er beregnet til 0,977. Dette er en relativt høy verdi som indikerer at abonnentene forbruker maksimal effekt omtrent samtidig. At verdien blir såpass høy skyldes flere ulike faktorer. For det første er det kun åtte bygninger på grenledningen, slik at hver bygning har stor innvirkning på det samlede effektuttaket. I tillegg er det en relativt homogen bygningssammensetning, med fire kontorer, tre heleinstitusjoner og kun ett boligområde. Dette betyr at kontorer og helseinstitusjonene har stor betydning for den sammenlagrede effektprofilen. To av bygningene satt til kontor er egentlig handelslokaler, som også bidrar til at bygningmassen blir mer homogen enn det som i realiteten er tilfellet. Her er det også benyttet "normaliserte" lastprofiler for de ulike bygningsskategoriene, slik at alle bygninger av en type fikk helt sammenfallende lastprofil. For å få helt realistiske verdier burde man målt effektuttaket i de ulike bygningene over tid og gjort de samme beregningene, men her er poenget å vise prinsippet med sammenlagring, og hvordan de ulike abonnentene spiller en rolle for totalt sammenlagret effektuttak.

Store døgnvariasjoner i effektbehov fra fjernvarme for en bygning er ikke ønskelig for fjernvarmeselskapene. Dette gjelder spesielt om morgenen da mange installasjoner krever større effektuttak samtidig. Ventilasjonsanlegg settes i gang, bygninger med nattsinking av romtemperaturen på oppvarmingssystemer og det tappes mye vann til morgenstell. Disse faktorene til sammen fører til at sammenlagringen hos abonnentene reduseres, og fører til kraftige effekttopper i nettet som gjør at fjernvarmeselskapene må dimensjonere hele anlegget for en større effektkapasitet. Nattsinking av romtemperatur og stopp av ventilasjonsanlegget er eksempler på energibesparelser som kan stå i kontrast til effektiv fjernvarmedrift, [79].

6.4 Samtidighetsfaktor for effektbelastningen

For å se på i hvor stor grad den enkelte abonnent bidrar til den maksimale effektbelastningen for et område over døgnet, kan en beregne samtidighetsfaktoren for de ulike byggene. Samtidighetsfaktoren er forholdet mellom abonnents effektuttak, når gruppens maksimale effektuttak registreres, og maksimalt effektuttak hos abonnenten. Når det maksimale sammenlagrede effektuttaket for alle abonnentene forekommer, bidrar hver abonnent med et effektuttak som er en brøkdel av den totale effekten, [4], som her opptrer kl 09 om morgenen og er på totalt 2173 kW. Samtidighetsfaktoren kan beregnes ved formel 7 under, [4]:

$$S_n = \frac{p_n(t_{MAKS})}{p_{n,maks}} \quad (7)$$

Hvor:

S_n	Samtidighetsfaktor hos abonnent n	[-]
$p_n(t_{MAKS})$	Effektuttak hos abonnent n ved tidspunkt gruppens maksimale effektuttak forekommer	[kW]
$p_{n,maks}$	Maksimalt effektuttak hos abonnent n	[kW]

Ved $S = 1$ forekommer abonnentens maksimaleffekt samtidig som maksimal sammenlagret effekt, og ved $S = 0$ har abonnenten ingen belastning når gruppens maksimale effektuttak forekommer, [4].

Tabell 6.2 under viser samtidighetsfaktoren for de ulike bygningene på grenledningen til Klæbu sentrum, samt deres maksimale effekt og når den oppstår. Beregninger finnes i vedlegg G.

Tabell 6.2. Samtidighetsfaktor for de ulike bygningne.

Bygg	Abos. Effekt ved t maks	Abos. maks effekt	tidspkt abos. maks effekt	Samtidighetsfaktor
	kW	kW	kl	
Rådhus	331	331	8 og 9	1
Bank	173	173	8 og 9	1
Prix	107	107	8 og 9	1
Selli	503	503	9 og 10	1
Sykehjem	47	47	9 og 10	1
Omsorgsboliger	65	65	9 og 10	1
Bolig YX	619	676	7	0,92
Næring YX	327	327	8 og 9	1

Av tabellen ser en at samtidighetsfaktoren for nesten alle abonnentene er 1, som betyr at abonnentens maksimale effektuttak oppstår samtidig med maksimalt sammenlagret effektuttak kl 09. Det er kun boligområdet ved YX som har maksimalt effektuttak ved et annet tidspunkt, kl 07, og som dermed får en sammenlagningsfaktor på 0,92. Dette tidspunktet er ikke nødvendigvis helt korrekt, lastprofilene forutsetter direkte vekslings, men en vet ikke per i dag hvorvidt dette er tilfellet i realiteten. Da det er benyttet ”normaliserte” lastprofiler er det naturlig at bygningene innen hver enkelt bygningskategori har maksimalt effektuttak samtidig. Ved å bruke disse lastprofilene får en at maksimalt effektuttak holder seg stabilt over to timer for de aller fleste bygningene. I realiteten vil nok maksimalt effektuttak nås ved ett tidspunkt, og ikke holde seg på et høyt nivå i såpass lang tid. Lastprofilene benyttet her er midlet for hver time, og dette fører til at en ikke registrerer de faktiske effekttoppene som en ville fått med dersom man midlet målingene for kortere tidsintervall.

6.5 Vurdering

Bruk av ”normaliserte” lastprofiler er et nyttig verktøy for å utføre en grov estimering av sammenlagningen for et større antall abonnenter ved dimensjonering av fjernvarmeutbygginger. Ved relativt enkle beregninger får en brukbare overslagsverdier for sammenlagningen hos ulike typer abonnenter dersom man har informasjon om effektuttaket hos de ulike abonnentene. Dette kan være et nyttig redskap ved planlegging av utbygging av fjernvarmesystem.

I det beregningseksempellet brukt her med bygningene på grenledningen mot Klæbu sentrum ble det gjort flere forenklinger som spiller inn på resultatet. I beregningen av effektbehovet til de ulike bygningene ble det gjort forenklinger som gir feilkilder. Videre er det kun åtte bygninger på grenledningen til Klæbu sentrum, og dette fører til at effektuttaket til hver bygning spiller stor rolle for den sammenlagrede effekten. Når det da i tillegg kun var tilgang på tre relevante lastprofiler for de ulike bygningskategoriene

må det foretas forenklinger. Disse forenklingene gir feilkilder som gir utslag på effektsammenlagringen. Dersom man gjør beregninger for flere bygninger vil hver bygning bli mindre signifikant, og feilen ved beregningene reduseres. For å oppnå mer realistiske verdier, burde en hatt "normaliserte" lastprofiler for flere bygningskategorier.

En kan ikke overføre de beregningsresultatene en fikk her til generelle forhold, i andre områder vil resultatene for effektsammenlagring og samtidighet se annerledes ut. Poenget var her å vise et eksempel på denne type beregning, og at en kan oppnå brukbare resultater ved enkle overslagsberegninger.

Her ble sammenlagningsfaktoren beregnet til 0.977 og samtidighetsfaktoren 1 for alle bygningene unntatt bolig ved YX, hvor man fikk en faktor på 0.92. Sammenlagring og samtidighet er tett knyttet til hverandre, og dersom en har liten grad av sammenlagring, vil en også oppleve å få høye verdier for samtidighetsfaktoren slik en så i dette beregningseksempelet.

7 Nye byggforskrifter

I dette kapitlet behandles de nye tekniske forskriftene, TEK 07, og det ses på hvilke konsekvenser dette kan medføre for fjernvarme. Grenledningen til Klæbu sentrum benyttes som beregningseksempel for å se på hva de nye forskriftene betyr i praksis. Det foretas beregning av effektreduksjon til oppvarmingsformål ved de nye forskriftene, og prosentvis effekt- og energireduksjon estimeres.

Energibruk i bygninger utgjør omlag 40 % av landets totale energiforbruk. Dette er en høy andel, og er et betydelig bidrag til de samlede klimagassutslippene. I dag må Norge importere elektrisitet i et normalår, kraft som i stor grad er produsert av fossile brensler og som fører til ytterligere klimagassutslipp. Regjeringen har som mål å redusere bruken av elektrisitet til oppvarming, stimulere til økt bruk av fornybare energikilder og gjøre lavenergiboliger standard. Ett tiltak for å nå dette målet har vært å introdusere ny Teknisk Forskrift for bygninger, TEK 07, hvor det stilles krav til at bygningers energibehov skal reduseres med totalt 25 %. Kravet gjelder for nye bygninger som skal oppføres og for eksisterende boliger som gjennomgår omfattende rehabilitering, [80].

Innskjerpingene i byggeforskriften er også en del av oppfølgingen av EØS direktivet om bygningers energibruk som trådte i kraft januar 2006. EU stiller ingen krav til ambisjonsnivået i energikravene, men sier at alle nasjoner skal ha et minstekrav for alle energiposter som omfatter drift av bygninger. Et av hovedmålene med de nye kravene er å redusere CO₂-utslipp knyttet til energibruk i bygninger, og Statens forskningstilsyn har gjennom analyser funnet at energiøkonomisering i bygninger er et av de mest lønnsomme tiltak for at Norge skal oppnå sine Kyoto-forpliktelser, [80].

7.1 Nye byggeforskrifter

TEK 07 skal sørge for at byggverk utføres på en slik måte at de fremmer lavt energibehov, [81], og kravnivået skjerpes med omlag 40 % fra TEK 97. Forskriftene stiller krav til reduserte U-verdier for nesten alle bygningsdeler, som betyr at isolasjonstykkelsen for blant annet gulv, vegger og tak økes, og vinduene utstyres med trelags glass eller tolags glass med isolert ramme. Det stilles også krav til vindus- og dørarealets andel av bygningens oppvarmede bruksareal (BRA) og strengere krav til lufttetthet. Videre reguleres energibehov til bygningsoppvarming og tappevann, og det stilles krav til økt effektivitet i ventilasjonsanlegg. Tabell 7.1 neste side viser et relevant utdrag av de nye kravene i byggeforskriften, [81], [82].

Tabell 7.1. Krav til ulike bygningsdeler i ny byggeforskrift.

Energiltak	Krav til bygningskonstruksjoner
Samlet glass-, vindus- og dørareal	Maksimalt 20 % av BRA
U-verdi yttervegg	0,18 W/m ² K
U-verdi tak	0,13 W/m ² K
U-verdi gulv på grunn og mot det fri	0,15 W/m ² K
U-verdi glass/vindu/dør	1,2 W/m ² K, gjennomsnitt inkl. ramme
Normalisert kuldebroverdi	0,03 W/m ² K (m ² av BRA), småhus 0,06 W/m ² K (m ² av BRA), øvrige bygg
Lufttetthet	2,5 luftveksling pr time, småhus 1,5 luftveksling pr time, øvrige bygg (50 kPa trykkforskjell)
Midlere årsvirkningsgrad varmegjenvinner i ventilasjonsanlegg	70 %
Spesifikk vitteeffekt ventilasjonsanlegg (SFP-faktor)	2,5 kW/m ³ s, bolig 2/1 kW/m ³ s (dag/natt), næringsbygg
Utvendig solavskjerming, tiltak mot overoppheting	Unngå lokalkjøling
Natt-/helgesenkning av romtemperatur hvor det skilles mellom dag/natt/helgedrift	19 °C

Omfordeling av tiltakene er mulig så lenge det totale varmetapet ikke øker som følge av dette. Dette innebærer at en kan redusere energibehovet enda mer på noen områder, og ikke stille så strenge krav på andre. Netto energibehov til ulike bygningskategorier kan ikke være større enn rammekravene gjengitt i tabell 7.2 under, [82].

Tabell 7.2. Oversikt over netto energibehov ulike bygningstyper, [82].

BYGNINGSDEL	Rammekrav kWh/m ² oppv. BRA år
Småhus	125 + 1600/oppvarmet BRA
Boligblokk	120
Barnehager	150
Kontorbygg	165
Skolebygg	135
Universitet/høyskole, kulturbygg	180
Sykehus	325
Sykehjem/forretningsbygg	235
Hoteller	240
Idrettsbygg/lett industri/verksteder	185

For å dokumentere at energikravene i forskriften blir fulgt kan man benytte to hovedprinsipper. Enten gjennom krav til bygningskonstruksjoner (energiltak) eller krav til netto energibehov. Energifkravene regnes oppfylt dersom en kan dokumentere at energiltakene holder seg innenfor kravene gjengitt i tabell 7.1. Kontrollberginger av

netto energibehov, etter ny NS 3031, skal også vise at bygningen ikke overskrider de gitte rammekravene gjengitt i tabell 7.2, [82].

I tillegg skal en vesentlig del, minst 40 %, av varmebehovet i en bygning dekkes av annen energiforsyning enn elektrisitet og/eller fossile brensler. Alternativer kan være solfanger, nær- og fjernvarmesystem, varmepumpe, pelletsovn eller vedfyring. Dette kravet om alternativ oppvarming bortfaller dersom en bygnings energibehov er mindre enn 17 000 kWh per år, eller kravet fører til merkostnader over bygningens levetid. Dette betyr i praksis blant annet at kravet bortfaller for boliger under 200 m² ved de nye energikravene, [82]. I konsesjonsområder for fjernvarme gis kommunen, etter paragraf § 66a i plan- og bygningsloven, ved vedtekt mulighet til å bestemme at alle bygninger som oppføres innen konsesjonsområdet må tilknyttes fjernvarmesystemet, Denne tilknytningsplikten innebærer i prinsippet også at bygget må tilrettelegges slik at det faktisk kan ta imot fjernvarme, for eksempel ved å tilrettelegge for vannbåren varme, [83].

Forskriftene trådte i kraft 1. februar 2007, og som en overgangsordning skal de gamle og nye reglene gjelde side om side til 1. august 2009. Overgangsperioden strekker seg over et såpass langt tidsrom for å gi byggenæringen tid til å omstille seg, [84].

Økonomiske analyser Kommunal- og regionaldepartementet har fått utført, viser at for bolighus på 150 m² vil de nye energikravene føre til en merutgift ved bygging på omlag 70 000 kr. Ifølge analysen vil dette tjenes inn gjennom reduserte strømregninger, slik at energitiltakene skal lønne seg for forbruker, [84].

7.2 Mulige konsekvenser for fjernvarme

Krav til redusert energibehov i bygninger vil påvirke vilkårene for fjernvarme på sikt. Tiltak som tettere og bedre isolerte bygningskropper og økt gjenvinning av ventilasjonsluften fører til at behovet for bygningsoppvarming synker. Disse to faktorene påvirker også nødvendig effektkapasitet på varmeveksleren for bygningsoppvarming. Senking av romtemperaturen på nattes tid vil også være med på å redusere energibehovet, men vil ikke påvirke effektbehovet i bygningen. Kravet om at minimum 40 % av oppvarmingsbehovet i bygninger skal dekkes av fornybar energi vil også være av betydning, da fjernvarme i denne sammenhengen regnes som fornybar energi, uavhengig av energikilde som benyttes.

Forskriften vil i første omgang være av betydning for nybygg, og framtidige fjernvarmeutbygginger i områder med nyetableringer og hvor det planlegges videre utbygginger. I allerede utbygde områder vil fjernvarmeselskapene ikke umiddelbart merke særlig mye til de nye forskriftene, da abonnentmassen de har i dag vil fortsette å ha det samme forbruket, frem til abonnentene foretar en vesentlig oppgradering av sine bygninger til kravnivået i TEK 07. Ved TEF opplyses det at det nok vil ta tiår før fjernvarmeselskapene i etablerte områder vil merke noe særlig til de skjerpede kravene, [6]. En er heller ikke sikker på i hvilken grad de nye forskriftene vil påvirke

fjernvarmeselskapene, ettersom dette er en helt ny problemstilling og det så langt ikke er utført noen beregninger som tallfester reell energi- og effektreduksjon fra fjernvarme. Energireduksjonen skal være 25 % totalt for bygget, og det er antydning om at energibehovet til oppvarmingsformål skal senkes med 30 %, [10].

De nye forskriftene legger en del føringer på hvor en kan vente reduksjoner, som for eksempel ved økte U-verdier i bygningskroppen, men det er også åpnet for omfordeling av energibruken. Dette er tillatt så lenge det totale energibehovet ikke overstiger tallverdiene gjengitt i tabell 7.2 over for de ulike bygningskategoriene. Utbygger kan dermed i noen grad bestemme hvor reduksjonene skal foretas, som gjør det vanskelig å si noe eksakt om hvordan energibehovet til oppvarmingsformål vil bli i fremtiden for ulike bygninger.

Ved utbygging av et fjernvarmesystem er det viktig å kartlegge effekt- og energibehov hos potensielle abonnenter for å kunne bygge ut et anlegg som er tilpasset forventet forbruk. Hovedkostnaden ved utbygging er i stor grad knyttet til det effektbehovet abonnentmassen har, i form av nødvendig installert effektkapasitet på kjeler, og utbygging av nødvendig kapasitet i distribusjonsnett. På grunn av høye investeringskostnadene ønsker fjernvarmeselskapene å utnytte den installerte effekten på best mulig måte ved å selge mest mulig energi over året, for å oppnå størst mulig lønnsomhet av anleggene. I TEK 07 er målet nettopp å senke behovet for energi til oppvarmingsformål, som vil føre til at fjernvarmeselskapene får solgt mindre energi per abonnent.

En redusert energileveranse fra fjernvarmesystemene kan gi mindre lønnsom drift ved dagens betingelser. For å få solgt samme mengde energi som tidligere, må derfor fjernvarmeselskapene levere energi til flere abonnenter. Flere abonnenter betyr økte utgifter til legging av stikkledninger, i tillegg til at hver abonnent vil bidra med en viss nødvendig effektutvidelse i varmesentralen og i hovedledningsnettet, slik at investeringskostnadene øker. Reduksjon i energibehovet hos den enkelte abonnent vil føre til en reduksjon i effektbehovet, men energibehovet vil synke forholdsvis mer enn effektbehovet. En prinsipiell undersøkelse av dette fenomenet er gjort i avsnitt 7.3.2 under. Fjernvarmeselskapene vil kunne oppnå noen besparelser ved redusert effektbehov i form av for eksempel reduserte kjelkostnader, mindre rørdimensjoner og grave- og leggekostnader. Likevel er det ikke sannsynlig at investeringskostnadene vil synke like mye som reduksjonen i energisalg, og en konsekvens kan være at utbyggingsprosjekter for fjernvarme blir mindre attraktive. Enova skal i prinsippet utbalansere tapet av energisalg ved å ved å øke tilskuddene til fjernvarmeutbygginger, slik at det også i fremtiden skal være lønnsomt å bygge ut fjernvarme, [10].

Intensjonen i TEK 07 er å redusere energiforbruket i bygninger kombinert med en reduksjon i elforbruket, men noen av formuleringene åpner for muligheter for å omgå kravene, [85]. Kravet om at minimum 40 % av energibehovet til oppvarming skal komme fra alternative energikilder er godt tiltak for å fremme økt bruk av energiriktige oppvarmingsystemer, deriblant fjernvarme. Veilederen til forskriften (REN) unntar bygninger som forbruker mindre enn 17 000 kWh dette kravet. I prinsippet betyr dette at

for en småhus vil peisovn og panelovner være tilfredsstillende oppvarmingskilder, [85]. Dette kan dermed føre til at et økende antall boliger som oppføres sørger for å komme seg under disse grenseverdiene for å slippe ekstrautgifter forbundet med installering av vannbåren varme. Videre står det at kravet til alternative oppvarmingskilder bortfaller dersom det skaper merkostnader over bygningens levetid. Unntaket gjør det derved mulig å ”regne seg bort” fra dette kravet. Dette vil være et smutthull for blant annet utbyggere som fokuserer på en strategi hvor en bygger billig og selger dyrt, og som derfor ønsker å unngå den unødige ekstrautgiften med installering av vannbåren varme. Til grunn i disse bergningene ligger blant annet framtidig energipris, men det er ingen i dag som vet hvordan prisutviklingen for elektrisitet og andre energibærere vil være, og en bruker derfor de prisene som gir ønsket resultat. Resultatet av denne typen unntak i forskriften kan bety at en i fremtiden får elektrisk oppvarming i de aller fleste bygninger som ikke er pålagt tilknytningsplikt til fjernvarme, [85].

7.3 Grenledning Klæbu sentrum

Grenledningen mot Klæbu sentrum under legging, og det vil være interessant å se på hvilke konsekvenser de nye forskriftene vil ha for behovet av levert varme på denne ledningen, i tillegg til hvordan energi- og effektbehovet vil kunne endres. Beregningene som gjøres her er kun prinsipielle overslagsberegninger og vil ikke være gyldig for andre områder.

7.3.1 Redusert behov for energi til oppvarmingsformål

Ambisjonen i de nye forskriftene er å redusere energiforbruket i bygninger til oppvarmingsformål med totalt 30 %. Selv om det er åpnet for omfordeling av energireduksjonene, er det interessant å se hvilken betydning en reduksjon på 30 % vil ha for grenledningen til Klæbu sentrum.

Tabell 7.3 neste side viser energibehovet til bygningene over året på grenledningen til Klæbu sentrum i dag, og ved 30 % reduksjon av energibruk til oppvarmingsformål. Bolig- og næringsbygningene ved YX vil ikke oppleve endret energibehov da disse bygningenes energibehov i HQ allerede er beregnet etter TEK 07. Dette er gjort fordi de er planlagte utbygginger og vil skje etter at forskriften er tatt i bruk.

Tabell 7.3. Energibehov for bygninger i Klæbu sentrum per i dag og ved 30 % reduksjon.

Bygg	Energiforbruk i dag		30 % redusert energiforbruk	
	MWh	kWh/m ²	MWh	kWh/m ²
Rådhus	541	129	379	90
Bank	271	143	190	100
Prix	167	186	117	130
Selli	924	154	647	108
Sykehjem	76	135	53	95
Omsorgsboliger	97	114	68	80
Bolig YX	882	82	882	82
Næring YX	353	65	353	65
Totalt	3311		2688	

Reduksjonen vil ligge på totalt 623 MWh årlig for grenledningen, på grunnlag av bergninger gjort i HQ. Dette er en stor nedgang i solgt energi, og tapet av inntekter vil være betydelig for TEF. For å illustrere hvor store de reduserte inntektene til TEF i størrelsesorden vil være, kan en ta utgangspunkt i dagens fjernvarmepris. For privatkunder med variabel pris og egen måler, har prisen så langt i 2007 vært gjennomsnittlig 45,25 øre per kWh, [86]. I realiteten vil prisen ligge noe lavere, da de fleste bygningene på grenledningen er forretningskunder, ikke privatkunder. Forretningskunder har normalt noe rabatterte priser i forhold til privatkunder, men slike avtaler utarbeides i hvert enkelt tilfelle og er derfor ikke tilgjengelig informasjon. For overslagsberegning vil prisen oppgitt her være tilstrekkelig god. Dette ville bety en nedgang i inntektene til TEF på 281 908 kr for gjeldene år. Dette er en høy sum da det dreier seg om energiforbruket til kun 6 abonnenter, selv om abonnentene er relativt store.

7.3.2 Prosentvis effekt- og energireduksjon

En reduksjon i oppvarmingsbehovet i bygninger gjennom tiltak som økte U-verdier, tettere bygningskropp og større grad av varmegjenvinning av ventilasjonsluft vil også føre til en reduksjon i bygningens effektbehov. Det er derimot vanskelig å si noe eksakt om hvor stor denne reduksjonen kan ventes å bli. Derfor er det interessant å gjøre en prinsipiell vurdering av dette, gjennom noen enkle overslagsberegninger hvor en ser på hvilken størrelsesorden den prosentvis reduksjon i effektbehovet kan bli. Effektbehovet for de ulike bygningene beregnet i HQ brukes som basis i overslagene. Med grunnlag i de reduserte effektverdiene en beregner kan det være interessant å se på prosentvis energireduksjon dette vil medføre. De utregningene som gjøres her er kun enkle overslag, og det foretas noen grove forenklinger. En må huske at de verdier som fremkommer ikke vil være fullstendig representative, men de gir et noenlunde inntrykk av de prosentvise størrelsesordner som kan forventes. HQ rapport for de ulike bygningene beregnet etter TEK 07 finnes i Vedlegg D og beregninger i Vedlegg H.

Effektreduksjon

Beregning av effektreduksjon i bygningene på grenledningen mot Klæbu sentrum ved nye byggforskrifter, TEK 07, kan gjøres ved å ta utgangspunkt i varmetapstallet for de ulike bygningene. Varmetapstallet sier noe om hvor stor effektreduksjonen i bygningen er per °C, og finnes ved formel 8 under, og varmetapstallene for bygningene er gjengitt i tabell 7.4 under, [10].

$$V_t = \frac{P_{bygg/m^2}}{T_{inne} - T_{dim}} \quad (8)$$

Hvor:

V_t	Varmetapstallet	[W/°C·m ²]
P_{bygg/m^2}	Effektbehov per m ² i bygning ved dimensjonerende forhold, beregnet i HQ	[kW]
T_{inne}	Temperatur inne	[°C]
T_{dim}	Dimensjonerende utetemperatur	[°C]

Temperaturen inne, T_{inne} , i hver bygning er gjengitt i HQ rapportene fra de ulike bygningene, se Vedlegg D. Innetemperaturen er i hovedsak 22 °C for bygninger med helse- og boligformål, og 20 °C for bygninger med kontordrift. Dimensjonerende utetemperatur, T_{dim} , for Selbu (referanseområde her) er -20 °C.

Varmetapstallet kan en så benytte til å beregne ved hvilken utetemperatur en bygnings interne effektilskudd er tilstrekkelig til å varme opp bygningen, og kalles bygningens balansetemperatur. Dette gjøres ved bruk av standardverdier for internt varmetilskudd i ulike typer byggkategorier fra NS 3031, tabell 4b, [87]. Her er totalverdiene for interne tilskudd benyttet, og de inkluderer belysning, utstyr og personer. Soltilskudd er også en del av en bygnings effektilskudd, som varierer over året. Her er dette tilskuddet ikke tatt med, da det ville blitt mye arbeid knyttet til beregningene av soltilskudd. Viktigheten av soltilskuddet er heller ikke så stor her, da en ønsker å se på den prosentvise forskjellen i effektbehov for en bygning slik tilfellet er per i dag, og slik det vil være ved bruk av de TEK 07. Virkningen av soltilskudd vil være større for en bygning bygd etter TEK 07 i forhold til en eldre bygning, da bygningene er tettere og bedre isolert etter TEK 07. Fordi en er ute etter prinsipielle virkninger av forskjeller mellom nye og gamle forskrifter, blir feilen her akseptabel.

Bygnings balansetemperatur beregnes etter formel 9, [10]:

$$T_{balanse} = T_{inne} - \frac{P_{tilskudd}}{V_t} \quad (9)$$

Hvor:

$T_{balanse}$	Balansetemperatur for aktuell bygning	[°C]
T_{inne}	Temperatur inne	[°C]
$P_{tilskudd}$	internt effekttilskudd	[W/m ²]
V_t	Varmetapstallet	[W/°C·m ²]

Denne balansetemperaturen er beregnet for bygningene per i dag, og etter TEK 07 ved bruk av de to ulike beregnede varmetapstallene for hver bygning. Balansetemperaturen for en bygning vil egentlig være ulik for dag og nattdrift av bygningen, da graden av interne tilskudd varierer over døgnet. På dagtid vil det være mye større interne tilskudd, da det er personer tilstede, lysarmaturene er tent og utstyr som PC-er etc. avgir mye varme. På natten derimot vil disse tilskuddene være minimale, og bygningens balansetemperatur vil være noe høyere, [10]. Her tas det ved beregninger ikke høyde for dette, da dette er en grov forenkling hvor en ønsker å få frem prinsipielle verdier for bygningene ved slik det er per i dag og ved TEK 07. Balansetemperaturen for de ulike bygningene er gjengitt i tabell 7.4 under.

Videre kan en finne den prosentvise effektreduksjonen en vil oppnå ved bruk det effektbehovet en oppnår ved TEK 07, sammenliknet med det eksisterende effektbehovet i bygningene ved formel 10 under.

$$P_{reduksjon,\%} = \frac{T_{balanse,idag} - T_{balanse,07}}{T_{opp\ var\ min\ gsbehov}} \quad (10)$$

Hvor:

$P_{reduksjon,\%}$	Effektreduksjon	[%]
$T_{balanse,idag}$	Balansetempartur i bygninger per i dag	[°C]
$T_{balanse,07}$	Balansetemperatur i bygninger ved TEK 07	[°C]
$T_{opp\ var\ min\ gsbehov}$	Temperaturområde bygning har et oppvarmingsbehov	[°C]

$$T_{opp\ var\ min\ gsbehov} = -T_{dim} + T_{balanse,idag} \quad (11)$$

Tabell 7.4 neste side viser effektverdier, varmetapstall, effekttilskudd, balansetemperatur og effektreduksjonen for de ulike bygningene ved dagens forhold og beregnet etter de nye forskriftene, TEK 07.

Tabell 7.4. Effektforbruk, varmetapstall, effekttilskudd, balansetemperatur og prosentvis effektreduksjon for bygninger på grenledning til Klæbu sentrum.

Bygg	Effektforbruk per i dag		Effektforbruk TEK 07		Varmetapstall per i dag		Varmetapstall TEK 07		Tilskudd	T bal., per i dag	T bal., TEK 07	% effektreduksjon
	kW	W/m2	kW	W/m2	W/oC*m2	W/oC*m2	W/m2	oC				
Rådhus	269	64	208	49	1,60	1,23	20	7,5	3,7	13,9		
Bank	141	74	109	57	1,85	1,43	20	9,2	6,0	11,0		
Prix	87	97	46	51	2,43	1,28	29	8,0	-2,7	38,5		
Selli	409	68	308	52	1,62	1,24	9	16,4	14,7	4,7		
Sykehjem	38	67	38	67	1,60	1,60	9	16,4	16,4	0,0		
Omsorgsboliger	53	62	52	61	1,55	1,53	9	14,2	14,1	0,3		
Bolig YX	516	48	516	48	1,14	1,14	7,1	15,8	15,8	0,0		
Næring YX	266	49	266	49	1,23	1,23	26	-1,2	-1,2	0,0		

Av tabellen ser en at reduksjonen i effektbehov vil være størst for Prix, og kommer av at Prix er et gammelt bygg som i dag krever stor effektkapasitet. For bolig- og næringsformål ved YX ser en at det ikke vil være noen effektreduksjon, som skyldes at bygningene ikke er utbygd per i dag og vil oppføres etter TEK 07. Sykehjemmet og omsorgsboligene er bygd etter 1997, og av tabellen ser en at det ikke vil oppnå noen effektreduksjon ved bruk av de nye forskriftene ved sykehjemmet, og i svært begrenset grad for omsorgsboligene.

Energireduksjon

På bakgrunn av den beregnende effektreduksjonen for de ulike bygningene over, kan en også beregne hvilken prosentvis energireduksjon dette vil gi for bygningene. Når en vet bygningenes balansetemperatur ved dagens krav og etter TEK 07, kan en anvende gradtimetall for å finne den prosentvise endringen i energibehov. Dette vil gi et grovt overslag og er basert på en meget enkel modell. En bygnings balansetemperatur sier ved hvilken utetemperatur det ikke er behov for romoppvarming av bygningen.

Gradtimetallet er avhengig av i hvilken klimasone bygningen ligger og balansetemperaturen, og sier hvor mange timer i året bygningen har et oppvarmingsbehov. Her brukes Selbu som referansested fordi en ikke har klimadata for Klæbu og på grunn av at Selbu har noenlunde liknende klimatiske forhold som Klæbu. Selbu ligger i Klimasone C, med årsmiddeltemperatur på 4,5 °C. Ved bruk av VVS-tekniske klimadata for Norge, kan en sette opp en tabell med gradtimetallet for de ulike bygningene ved ulike balansetemperaturer, [88]. Den prosentvise endringen i energibehov over året kan beregnes ved å se på forskjellen i gradtimetall per i dag og etter TEK07, og dividere på dagens gradtimetall, formel 12 under.

$$W_{\text{endring, \%}} = \frac{GT_{\text{idag}} - GT_{\text{TEK07}}}{GT_{\text{idag}}} \quad (12)$$

Hvor:

$W_{\text{endring, \%}}$	Prosentvis endring i energibehov	[%]
GT_{idag}	Gradtimetall per i dag	[h]
GT_{TEK07}	Gradtimetall etter TEK 07	[h]

Tabell 7.5 under viser gradtimetall og prosentvis endring i energibehov for de ulike bygningene på grenledningen mot Klæbu sentrum ved endring i balansetemperaturen for de forskjellige bygningene.

Tabell 7.5. Gradtimetall og prosentvis endring i effektbehov per i dag og etter TEK 07.

Bygg	T balanse, per i dag	T balanse, TEK 07	Gradtimetall per i dag	Gradtimetall TEK 07	Differanse i %
	oC	oC			
Rådhus	7,5	3,7	1799	1054	41
Bank	9,2	6,0	2206	1475	33
Prix	8,0	-2,7	1913	331	83
Selli	16,4	14,7	4206	3636	14
Sykehjem	16,4	16,4	4206	4206	0
Omsorgsboliger	14,2	14,1	3474	3442	1
Bolig YX	15,8	15,8	4002	4002	0
Næring YX	-1,2	-1,2	448	448	0

Ved å se på tabell 7.4 og 7.5 ser en at ved en gitt reduksjon i effektbehovet, synker energibehovet vesentlig mer. For Prix reduseres effektbehovet med 38,5 %, mens energibehovet synker med 83 % ved endring fra dagens energiforbruk til beregninger etter TEK 07. For Rådhuset synker effektbehovet med 14 % og energibehovet med 41 %, og i banken synker effektbehovet med 11 % og energibehovet med 33 %. Selli har en reduksjon i effektbehovet på omlag 5 %, og energibehovet synker med 14 %. Helsebygningene bygd etter 1997 opplever som nevnt over nesten ingen reduksjon, og bygningene ved YX er allerede beregnet ved TEK 07 og vil derfor ikke oppleve noen reduksjon.

Prix er oppført på begynnelsen av 70-tallet, banken og rådhuset på slutten av 80-tallet og Selli er bygd og oppgradert i flere byggetrinn i 1972, 1992 og sist i 2003, [2]. Ved å se på byggeår for de ulike byggene og hvor mye effekt og energibesparelser de oppnår gjennom de nye forskriftene, ser en tydelig sammenheng mellom alder på bygningene og effekt- og energiforbruk. Eldre bygninger forbruker mye mer energi enn nyere bygg, og vil ved oppgradering kunne oppnå store besparelser på energikostnadene til oppvarmingsformål.

En må ved vurdering av disse data ta i betraktning at dette kun er et grovt estimat for å kunne si noe om den prosentvise størrelsen på reduksjon av forbruket. Beregningsmåten er en forenkling, og i virkeligheten vil det være flere faktorer som spiller inn. Det er likevel interessant å se på forskjellene i effekt- og energireduksjon når en går fra dagens byggforskrifter til de krav som stilles i TEK 07. De resultatene en får her vil dessuten kun være gyldig for dette eksemplet. Ved å se på andre områder vil en oppnå endrede resultater, men den forenklete beregningsmetoden vil være anvendbar.

I varmesentralen er det installert en biobrenselkjel på 1,5 MW som grunnlastkilde. Biobrenselkjeler er mest lønnsomme når de dimensjoneres for 35-45 % av det maksimale effektbehovet hos abonnentene, og de kan dellastreguleres ned til 20-30 % av maksimal

effektkapasitet, [2]. En reduksjon i effektbehovet hos abonnentene vil føre til at denne kjelen vil være mindre lønnsom, da en effektreduksjon hos abonnentene fører til en overdimensjonering av installert effektkapasitet i kjelen. I varmesentralen i Klæbu var to oljekjeler (hhv. 1,5 og 1,8 MW) av totalt tre spisslastkjeler installert før TEF overtok anlegget, og de har etter overtakelsen i 2001 satt inn en eldre elkjel (2,4 MW) i tillegg, [2]. Disse tre spisslastkjelene vil også være overdimensjonerte ved et redusert effektbehov, men de kan enklere kjøres på dellast. I tillegg vil ledningsnettet være overdimensjonert, som fører til at kostnadene forbundet med legging var noe større enn muligens nødvendig.

7.4 Vurdering

7.4.1 Vurdering av TEK 07

Regjeringen har målsetninger om å øke bruken av vannbåren varme og alternative energikilder, samt å redusere utbredelsen av elektrisk oppvarming frem til 2016. De vil også redusere CO₂-utslipp som et bidrag til at Norge skal nå sine Kyoto-forpliktelser, [80]. Slik TEK 07 fremstår synes den ikke helt å være i overensstemmelse med de klimamål regjeringen har satt, da det er unntaksbestemmelser i forskriften som muliggjør fortsatt bruk av elektrisitet til oppvarmingsformål. Dette kan bli utnyttet av utbyggere som setter økonomiske hensyn foran energi- og klimahensyn.

Noe av kritikken mot TEK 07 går på at forskriften baserer seg på nettoenergi, som ikke tar hensyn til forbruk av primærenergi. En bygnings primærenergibehov er definert som den energimengden som må tilføres varmesentralen multiplisert med en vektet primærenergifaktor, for å kunne levere nok brutto energi til bygningen. Vekting av primærenergifaktor skjer ut fra miljøbelastningen knyttet til produksjon og bruk av de ulike energibærere, fra utvinning til forbruk. For eksempel vil primærenergifaktoren for elektrisitet være 4.05, og for biobrensel er den 1.07, [2]. Når en baserer energiberegninger på nettoenergi, mister man denne linken til primærenergi, mens man burde benyttet bruttoenergi, hvor det tas hensyn til hvor energien kommer fra. Det betyr i praksis at det vil virke som en bygning som baserer seg på fjernvarme og elektrisitet er like energieffektivt. EU-direktiv foreslår bruk av ”primærenergiforbruk₂ og ”CO₂-utslipp” som standardiserte indikatorer på en bygnings energiytelse, [89].

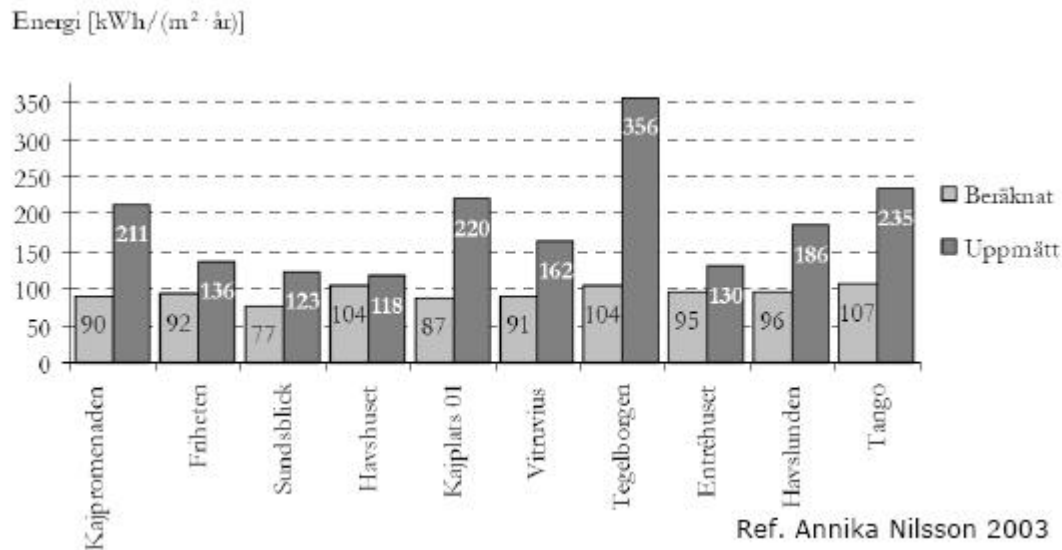
For å redusere forurensing og for å nå våre klimamål er det er veldig viktig å redusere CO₂-utslipp fra bygningsoppvarming, og en økt satsing på fjernvarmeutbygging vil bidra til reduksjon i utslipp til en rimelig kostnad. I doktoravhandling, [85], er det funnet at CO₂-utslipp knyttet til varmeformål er høyere for en lavenergibolig med helelektrisk oppvarming enn for et normalt hus med fjernvarme til oppvarmingsformål, [85]. Det er ikke tilstrekkelig å redusere energibehovet i bygninger, det må også skje en energiomlegging til mer miljøvennlig energi. Norsk elproduksjon er klimanøytral da den i stor grad kommer fra vannkraft. Problemet er at vi i et normalår må importere elektrisitet, og denne elektrisiteten er i stor grad basert på fossile brensler, for eksempel kull, som

bidrar til store utslipp av CO₂. Dersom det i Norge tillates at energibruken til oppvarmingsformål i bygninger også i fremtiden baseres på elektrisitet, vil våre CO₂-utsipp øke i omfang, og vi vil ikke være i stand til å nå våre klimamål. Mange mener at den klimanøytrale elektrisiteten vi produserer bør heller eksporteres til spesifikke elektrisitetsformål i Europa, i stedet for å sløse høyverdig energi på oppvarming i Norge, [90]. En vet heller ikke hvordan prisutviklingen på elektrisitet vil bli i fremtiden. Europa har generelt et mye høyere prisnivå på elektrisitet enn det som er tilfelle i Norge, og på grunn av den lave prisen er man i Norge mer tilbøyelig til å sløse unødige med elektrisiteten. For å bremse denne sløsingen, er det nødvendig med en oppjustering av prisen på elektrisitet, i tillegg til at økt forbruk fører til en høyere import av dyr elektrisitet. Norge kan derfor i fremtiden få priser på elektrisitet som er mer i samsvar med de prisene en finner ellers i Europa. Det innføres nå CO₂-avgift på elektrisitet, men denne prisøkningen vil ikke være kraftig nok til å stanse sløsingen av elektrisitet. Regjeringen skal vurdere energiloven av 1990 for å vurdere om det er tjenelig med at det kun er markedet som styrer prisen på elektrisitet slik tilfellet er i Norge i dag. Olje- og energidepartementet arbeider for en endring av energiloven, hvor prisen også i fremtiden baseres på markedsfilosofi, men kanskje med bruk av andre midler i tillegg, [10].

For å sikre en fortsatt satsning på fjernvarme og andre alternative energikilder er det viktig at myndighetene tilrettelegger lovverk for økt satsning på vannbåren varme. Tiltak kan omfatte støtteordninger for å fremme vannbåren varme gjennom infrastruktur og omlegging fra elektrisitet til alternative energikilder. Dessuten bør det stilles strengere krav til unntaksbestemmelsene i TEK 07, og kravet til andel av varmebehov som dekkes av alternative energikilder bør høynes for å gjøre det vanskeligere for utbyggere å kun satse på elektrisk oppvarming. Plan og bygningsloven kan også skjerpe lovteksten. I dag må fjernvarmselskapene søke om konsesjonsplikt for aktuelle utbyggingsområder og kommunen må vedta tilknytningsplikt. Lovteksten kan endres slik at tilknytningsplikten til fjernvarme, i områder hvor dette finnes, blir vanskeligere å omgå, [85].

I tillegg til at lovverket må tilpasses vannbåren varme, må også vannbårne systemer tilpasses et redusert oppvarmingsbehov. Dette kan gjøres ved å lage forenklete systemer. Blant annet vil det være redusert fare for kaldras fra vinduer ved bedre skjerpede krav, slik at det ikke nødvendigvis er behov for radiatorer under vindene. De kan i stedet plasseres der det er mest hensiktsmessig i en forkortet vannsløyfe. Dette vil føre til at utbyggere ikke nødvendigvis ser på elektrisk oppvarming som det billigste alternativet. I Sverige er det i dag lik pris på boliger med elektrisk oppvarming og vannbåren varme, [90].

Det er usikkerhet knyttet til hvordan oppvarmingsbehovet vil utvikle seg i fremtiden. Selv om intensjonen bak TEK 07 er å redusere energibehovet i bygninger, vet en ikke hvordan energibruken i bygninger i realiteten vil bli. I Sverige er Nordnes største lavenergiprojekt utført, og resultatet av denne undersøkelsen er gjengitt i figur 7.1 neste side.



Figur 7.1. Beregnet og målt forbruk i lavenergiboliger i Malmö, Sverige, [90].

Figuren viser at for disse lavenergibygningene lå beregnet energiforbruk langt under det målte energiforbruket. For alle bygningene ligger reelt energiforbruk mellom 14 og 252 kWh per m² årlig over det beregnede, [90].

Da de nye forskriften TEK 97 kom, var det også usikkerhet knyttet til hvilken innvirkning dette ville ha på fjernvarmenæringen, og en fryktet en nedgang i energi- og effektbehovet hos abonnentmassene. I ettertid har det imidlertid vist seg at energi- og effektbehovet økte, som følge av bygningene ble mer teknisk avanserte, og det ble innført blant annet strengere krav til større ventilasjonsmengder. Komfortkravene økte også, og totalt sett førte dette til en økning i salget av levert varme fra fjernvarme, [6].

Det ovenstående viser hvor vanskelig det er å beregne seg frem til hvordan energibruken i fremtiden vil utvikle seg. Det er derfor viktig å satse på en energifleksibel oppvarming som kan redusere CO₂-utslipp og som kan være et rimelig alternativ til elektrisitet. Det faktum at vi stadig øker kravene til komfort i våre boliger vil i stor grad påvirke energibruken. Boligene blir stadig varmere, bruken av elektriske apparater øker i omfang og vi lar apparater stå på ”standby” i stedet for å slå dem av. For å få ned energibruken er det viktig med en holdningsendring blant folket, hvor en øker bruken av alternativ energi til oppvarmingsformål og bare benytter høyverdig elektrisitet til de nødvendige formål.

7.4.2 Vurdering av grenledning mot Klæbu sentrum

Beregningseksemplene fra grenledningen til Klæbu sentrum illustrerte noen av de mulige konsekvensene av TEK 07 for fjernvarme. En reduksjon på 30 % av energibehovet for bygningene på grenledningen vil føre til betydelig reduksjon i inntektene til fjernvarmeselskapet. Overslagsberegningene viste en reduksjon i inntektene på i størrelsesorden 300 000 kr for gjeldene år. Videre ble det vist ved enkle beregninger at energibehovet for bygningene vil synke vesentlig mer enn effektbehovet, og dette fører til redusert lønnsomhet av fjernvarmeutbygginger. En vil få investeringskostnader som er forholdsmessig større enn inntektene av energisalg, og Enova vil måtte gi relativt store tilskudd til utbygginger for å gjøre dem like lønnsomme som ved dagens betingelser. I tillegg kan en risikere at effektinstallasjoner i varmesentralen, som her biobrenselkjelen, ikke lenger vil være optimal ved en effektreduksjon hos abonnentene.

En reduksjon i energibehovet hos abonnentene gjør det ekstra viktig at fjernvarmesystemet minimerer utgifter forbundet med drift av anlegget. Dette innebærer at den energien som produseres i varmesentralen i større grad blir effektiv utnyttet hos abonnentene. For å muliggjøre dette virker det naturlig at en bør minimere varmetap fra distribusjonsnettet og sørge for bedre effektoverføring i abonnentsentralen. Minimering av varmetap i nettet kan ut fra vurderinger her best oppnås ved å investere i rør med bedre isolering, som vil øke kostnadene for nettet. Videre vurderes det her fordelaktig med en standardisering av abonnentsentralene slik praksis er i Sverige, og hvor effektiviteten av abonnentsentraler har økt som følge av dette. For eksemplet med Klæbu kunne det vært lønnsomt for TEF å eie abonnentsentralene selv, slik at de kan ha kontroll med hvilke abonnentsentraler som benyttes. Da ville de hatt anledning til å kun benytte sentraler de visste var effektive og derigjennom påvirke en standardiseringsprosess av disse. TEF kunne også bestemmes seg for enten å benytte direkte veksling eller akkumulering i alle abonnentsentraler, i stedet for midtlinjen de følger per i dag.

8 Konklusjon

Skjerpede krav til oppvarmingsbehov i bygninger ved innføring av TEK 07 fører til at fjernvarmesystemer får solgt mindre mengde energi per abonnent, og systemene må effektiviseres for fortsatt og oppnå lønnsom drift. For å oppnå dette er en avhengig av at komponentene som inngår i systemet optimaliseres. Det er viktig at det foretas en korrekt dimensjonering av forbruk hos abonnentene, at abonnentsentralene har effektiv varmeoverføring og at varmetap i distribusjonsnett minimeres.

Systemløsningen i abonnentsentral er et viktig moment for å sikre effektiv varmeoverføring, og på bakgrunn av de argumenter fremlagt i denne rapporten synes det fornuftig å velge en systemløsning med direkte veksling av varmt tappevann. Sverige har opplevd utvikling mot mer effektive abonnentsentraler etter standardiseringen og sertifiseringen av disse, og denne kunnskapen kunne tilsynelatende med fordel vært anvendt også i Norge.

I Norge har det til nå vært lite fokus på å minimere varmetap fra distribusjonsnett. En ser nå at trenden begynner å snu fra minimering av kostnader til minimering av varmetap. Sverige er landet som har kommet lengst i arbeidet med minimering av varmetap fra rør, og en ser at resten av Norden følger etter. For å oppnå velfungerende distribusjonsnett synes det fornuftig ut fra vurderinger her å velge tvillingrør hvor mulig, økte isolasjon på hovedledninger og bruke fleksible rør hvor dette er fordelaktig.

Alle fjernvarmeaktører har en felles utfordring i å heve kunnskapen i bransjen blant annet gjennom utvikling mot standardisering av komponenter og gjennom fremtidsrettede systemer for utbygging.

Gjennomgang av beregningsunderlaget i henhold til Normalreglementet for sanitæranlegg for dimensjonering av kapasitet på tappevannsveksleren, fremstår her noe uklart i forhold til hvilken tappevannstemperatur en skal regne med. Dimensjoneringsmetoden synes også å kunne gi overdimensjonering av nødvendig effektkapasitet på veksleren.

Beregningseksemplet for grenledningen i Klæbu viser at maksimal sammenlagret effekt for bygningene var på 2173 kW, og opptrådet kl 09. Sammenlagringsfaktoren ble beregnet til 0,977, og samtidighetsfaktoren for omtrent alle bygningene var 1. Årsaken til dette er at det er få bygninger med relativt likt forbruksmønster.

En reduksjon på 30 % levert varme på grenledningen i Klæbu, kan føre til en inntektsreduksjon for TEF på omlag 300 000 kr ved dagens brenselpriser, og underbygger behovet for reduserte kostnader ved investering og drift. Erfaring fra prosjekt med lavenergihus i Sverige viser større energibehov i praksis enn beregnet, og det er derfor usikkerhet knyttet til energibruken i bygninger etter TEK 07. Slik TEK 07 fremstår legger den ikke i stor nok grad til rette for bruk av alternative energikilder til oppvarmingsformål.

9 Litteraturliste

- [1] Olje og energidepartementet, *Strategi for utbygging av vannbåren varme 2002*,
http://odin.dep.no/filarkiv/158694/Strategi_for_vannbaren_varme02.pdf,
(Accessed 17.12.2006)
- [2] Gaustad, A., analyser og planlegging av utbygging fjernvarmesystem.
(Prosjektoppgave NTNU, høst 2006)
- [3] Alfa Laval, *district heating*,
<http://www.alfalaval.com/ecoreJava/WebObjects/ecoreJava.woa/wa/showNode?siteNodeID=8486&contentID=-1&languageID=1>. (Accessed 21.11.2007)
- [4] Ulseth, R., *TEP24Bygningers energiforsyning. Vannbåren varme – systemer og egenskaper*, Institutt for energi- og prosesssteknikk, NTNU, 2006.
- [5] Alfa Laval, *Heating technology*,
http://www.alfalaval.com/digitalassets/2/file39690_0_district_heating.pdf.
(Accessed 28.9.2007)
- [6] Utne, Å., TEF, telefonsamtaler september til november 2007.
- [7] Alfa Laval, *small substations*,
<http://www.alfalaval.com/ecoreJava/WebObjects/ecoreJava.woa/wa/showNode?siteNodeID=8497&contentID=-1&languageID=>. (Accessed 28.9.2007).
- [8] Alfa Laval, *large substations*,
<http://www.alfalaval.com/ecoreJava/WebObjects/ecoreJava.woa/wa/showNode?siteNodeID=8501&contentID=-1&languageID=1>. (Accessed 28.9.2007)
- [9] Alfa Laval, *Hot tap-water applications*,
http://www.alfalaval.com/digitalassets/2/file39882_0_HotTapWater.pdf.
(Accessed 23.8.2007)
- [10] Ulseth, R., personlige samtaler august til november 2007.
- [11] Bennetsen, J., (jabe@danfoss.com), Danoss Redan AS, *SV: Kundesentral fjernvarme*, 16.8.2007. E-post til A. Gaustad astridg@stud.ntnu.no.
- [12] Alfa Laval, *Tap water heating*,
<http://www.alfalaval.com/ecoreJava/WebObjects/ecoreJava.woa/wa/showNode?siteNodeID=8485&contentID=-1&languageID=1>. (Accessed 30.9.2007).
- [13] Danfoss Redan A/S, *Vandvarmere*,
http://redan.danfoss.dk/xxTypex/152445_MNU17381817_SIT193.html.
(Accessed 23.8.2007)
- [14] Gilje, J. H., (jhg@sgpvarme.no), *SV: fjernvarmerør*, 21.8.2007. E-post til A. Gaustad astridg@stud.ntnu.no.
- [15] Danfoss Redan A/S, *fjernvarmeunits – Indirekte anlæg – varme*,
http://redan.danfoss.dk/Content/abc59c10-9e1c-47df-94b9-f575c08b943c_MNU17351123_SIT193.html. (Accessed 23.8.2007)
- [16] Nielsen, M., H., Dimensjoner på fjernvarmeledninger, *Fjernvarmen*, nr 11 2007.
- [17] Tafjord, K. A., Tajord Kraft, telefonsamtale 28.8.2007.

- [18] Sonne, P., Bro, G.-C., Kristjansson, H., Samlet syn på ledninger og forbrugerunits, *Fjernvarmen*, nr 11 2007.
- [19] Gaustad A., rapport: *Analyse av forhold knyttet til produksjon av varmt tappevann ved tilknytning til fjernvarme*, 19.6-28.7.2006.
- [20] Nasjonalt folkehelseinstitutt, *veileder for forebygging og kontroll av leigionellasmitte fra VVS-anlegg*, <http://www.fhi.no/dav/F21E990DF5.pdf>. (Accessed 29.8.2007)
- [21] Trondheim Energiverk Fjernvarme, *Tekniske Forskrifter, Fjernvarmeforsyning til boliger*, 25.8.2002
- [22] Utne, Å., (Amund.Utne@trondheimenergi.no), 26.9.2007, *SV: fjernvarmerør*. E-post til A. Gaustad, astridg@stud.ntnu.no.
- [23] Utne, Å., TEVF, telefonsamtaler, september til desember 2006
- [24] Utne, Å., (Amund.Utne@trondheimenergi.no), 21.8.2007, *SV: kundesentraler og fjernvarmerør*. E-post til A. Gaustad, astridg@stud.ntnu.no.
- [25] Jynge, P., (Per.Jynge@vikenfjernvarme.no), 15.8.2007, *Spørsmål fjernvarmerør*. E-post til A. Gaustad, astridg@stud.ntnu.no.
- [26] Tafjord Kraftvarme AS, *Teknisk informasjon*, revidert 12.5.2001.
- [27] Haugaland Kraft, *Tekniske spesifikasjoner for fjernvarme i Skåredalen, Haugesund*. [http://www.haugaland-kraft.no/getfile.php/PDF%20 %20Word/Tekniske%20Spesifikasjoner%20fjernvarme%20Sk%C3%A5redalen.doc](http://www.haugaland-kraft.no/getfile.php/PDF%20%20Word/Tekniske%20Spesifikasjoner%20fjernvarme%20Sk%C3%A5redalen.doc). (Accessed 4.9.2007).
- [28] Lütcherath, J. P., Haugaland Kraft, telefonsamtale 20.11.2007.
- [29] Svensk Fjärrvärme AB, *Fjärrvärme- og kraftvärmestatistik, 2004*, <http://www.svenskfjarrvarme.se/index.php3?use=publisher&id=30&lang=1>. (Accessed 22.11.2007).
- [30] Norsk fjernvarmeforening, *statistikk og nøkkeltall*, <http://www.fjernvarme.no/statistikk/index.htm>. (Accessed 22.11.2007).
- [31] Sirola, V. P., (Veli-Pekka.Sirola@energia.fi), *VS: district heating piping*. E-post til A. Gaustad astridg@stud.ntnu.no, 13.8.2007
- [32] Nielsen M. H., (mhn@danskfjernvarme.dk), 15.9.2007, *VS: abonnentsentraler og fjernvarmeledninger*. E-post til A. Gaustad astridg@stud.ntnu.no.
- [33] Sandberg E., Anton *Teknikkonsult AB, Danske erfaringer –fjärrvärme til småhus i Danmark*, Svensk Fjärrvärme 2004, <http://www.svenskfjarrvarme.se/?use=biblo&cmd=detailed&id=1148>. (Accessed 12.11.2007).
- [34] Feldhusen, H., Svensk Fjärrvärme, telefonsamtale 24.7.2006.
- [35] Nilsson G., Göteborg Energi, telefonsamtale 14.8.2007.
- [36] Rapport: *Certifisering av fjärrvärmecentraler – enkelt, trygt och bekvämt for kunden*, Svensk Fjärrvärme, 2007, <http://www.svenskfjarrvarme.se/index.php3?use=biblo&cmd=detailed&id=1357>. (Accessed 5.9.2007)
- [37] Berglund, J., rapport: *Certifisering av fjärrvärmecentraler*, Svensk Fjärrvärme, Tekniske bestemmelser F:103-6, 2007,

- <http://www.svenskfjarrvarme.se/index.php3?use=biblo&cmd=detailed&id=1346>. (Accessed 5.9.2007)
- [38] Logstor A/S, *Product catalouge*,
<http://www.logstor.com/showpage.php?pageid=546195&topmenuentry=1&oid=2415>, (Accessed 9.9.2007).
- [39] Jordan, T. J., SGP Varmeteknikk AS, telefonsamtale 12.9.2007 og 16.11.2007.
- [40] Logstor A/S: *Generelt – Introduksjon*, Gilje, J. H., jhg@sgpvarme.no, 21.8.2007, *SV: fjernvarmerør*. E-post til A. Gaustad, astridg@stud.ntnu.no.
- [41] Logstor A/S, *District Heating*,
<http://www.logstor.com/showpage.php?pageid=561064>, (Accessed 5.9.2007).
- [42] Logstor A/S, *The Steel-in-plastic system*,
<http://www.logstor.com/getfile.php?objectid=557937>, (Accessed 5.9.2007)
- [43] Logstor A/S, *TwinPipes*,
http://www.logstor.com/showpage.php?pageid=38370&id=EP_ITwin-rørsystemet03.TXT&topmenuentry=0, (Accessed 5.9.2007)
- [44] Powerpipe Systems AB, *montageanvisning*,
<http://www.powerpipe.se/res/PDFER/kapitel1005.pdf>, (Accessed 12.9.2007)
- [45] Logstor A/S, *The bonded pipe system, Overwiev*,
<http://www.logstor.com/getfile.php?objectid=557937>, (Accessed 9.9.2007).
- [46] Logstor A/S, *Generelt, Fast system – prosjektering*. Gilje, J. H., jhg@sgpvarme.no, 21.8.2007, *SV: fjernvarmerør*. E-post til A. Gaustad, astridg@stud.ntnu.no.
- [47] Isoplus Fjernvareteknikk A/S, *Stålrør*,
http://www.isoplus.dk/gfx/brugerupload/documents/2-Tekniske%20specifikationer_stålrør.pdf, (Accessed 9.9.2007)
- [48] Powerpipe Systems AB, *Enkeltrør*, <http://www.powerpipe.se/Enkelror.htm>, (Accessed 9.9.2007)
- [49] Brugg, *pipesystems, flexible solutions*,
http://www.pipesystems.com/site/index.cfm/id_art/21588/actMenuItemID/12229/vsprache/DE/Produkte_Industrie.cfm, (Accessed 27.9.2007).
- [50] Logstor A/S; *PexFlex DH*,
<http://www.logstor.com/getfile.php?objectid=883307>, (Accessed 9.9.2007)
- [51] Logstor A/S, *Generelt, LR Pex – prosjektering*. Gilje, J. H., jhg@sgpvarme.no, 21.8.2007, *SV: fjernvarmerør*. E-post til A. Gaustad, astridg@stud.ntnu.no.
- [52] Isoplus Fjernvarmeteknikk A/S, *PexFlex*,
<http://www.isoplus.dk/default.asp?kategori1=3c&id1=178>, (Accessed 9.9.2007)
- [53] Logstor A/S; *AluFlexpipes*,
<http://www.logstor.com/getfile.php?objectid=557915>, (Accessed 12.9.2007)
- [54] Logstor A/S; *CuFlex Pipes*,
<http://www.logstor.com/getfile.php?objectid=557919>, (Accessed 9.9.2007)

- [55] SGP Varmeteknikk AS, *Preisolerte kobberrør på kveil - CuFlex*, <http://www.sgpvarme.no/page/index.php?content=58&instance=123>, (Accessed 10.9.2007)
- [56] Logstor A/S; *SteelFlex Pipes*, <http://www.logstor.com/getfile.php?objectid=557930>, (Accessed 9.9.2007)
- [57] Isoplus Fjernvarmeteknikk A/S, *StålFlex*, <http://www.isoplus.dk/default.asp?kategori1=3c&id1=180>. (Accessed 9.9.2007)
- [58] Powerpipe AB, *Specialrör*, http://www.powerpipe.se/res/PDFER/ppkat_kap5.pdf, (Accessed 9.9.2007).
- [59] International Energy Agency (IEA), *Cost benefits and long term behaviour of all new plastic piping system*, Status Report Annex VIII, 2005, T5.
- [60] Rosendal, V., (v.rosendal@isoplus.dk), 10.9.2007, *fjernvarmerør*. E-post til A. Gaustad, astridg@stud.ntnu.no.
- [61] Logstor A/S, *Twin pipe*, <http://www.logstor.com/showpage.php?pageid=2135613>. (Accessed 16.11.2007)
- [62] Jordan, T. J., (tjj@sgp.no), 21.11.2007, *VS: Fjernvarmerør*. E-post til A. Gaustad, astridg@stud.ntnu.no.
- [63] Logstor A/S, *Systembeskrivelse, stålrør dobbelt – prosjektering*. Gilje, J. H., jhg@sgpvarme.no, 21.8.2007, *SV: fjernvarmerør*. E-post til A. Gaustad, astridg@stud.ntnu.no.
- [64] Strand, T., Viken Fjernvarme, telefonsamtale 20.11.2007.
- [65] Paulsen P. V., Tafjord Kraft A/S, telefonsamtale 27.9.2007.
- [66] Lindberg, G., Logstor Sverige, telefonsamtale 3.9.2007.
- [67] Andreasson, U., (ulf.andreasson@powerpipe.se), 6.9.2007, *SV: fjernvarmerør*. E-post til A. Gaustad, astridg@stud.ntnu.no.
- [68] Sirola, V. P., (Veli-Pekka.Sirola@energia.fi), 13.9.2007, *VS: district heating*. E-post til A. Gaustad astridg@stud.ntnu.no.
- [69] Nielsen M. H., (mhn@danskfjernvarme.dk), 26.9.2007, *SV: fjernvarmerør*. E-post til A. Gaustad astridg@stud.ntnu.no.
- [70] Kristjansson, H., Salomon, R., Samtidighet for brugsvandforbrug før og nu, *Fjernvarmen*, nr 8 2007. Nielsen M. H., (mhn@danskfjernvarme.dk), 26.9.2007, *SV: samtidighet fjernvarme*. E-post til A. Gaustad astridg@stud.ntnu.no
- [71] Uponor, *Håndbok, Wirsbo tappevann*, [http://www.uponor.no/upload/Documents%20\(PDF%20and%20officedocuments\)/Norway/HS/HANNE%20ZAKARIASSEN/Uponor%20Tappevann%20og%20Radiatorr%C3%B8rsystem/H%C3%A5ndb%C3%B8ker/Tappevann%20h%C3%A5ndbok%20\(WIRSBO%202002\).pdf](http://www.uponor.no/upload/Documents%20(PDF%20and%20officedocuments)/Norway/HS/HANNE%20ZAKARIASSEN/Uponor%20Tappevann%20og%20Radiatorr%C3%B8rsystem/H%C3%A5ndb%C3%B8ker/Tappevann%20h%C3%A5ndbok%20(WIRSBO%202002).pdf). (Accessed 17.11.2007)
- [72] Hanssen, S. O., Thue, J. V., Skarstien, Ø., Gjerstad, F. O., Novakovic, V., *Enøk i bygninger – effektiv energibruk*, Sintef, Universitetsforlaget, 1996.
- [73] Kommunenes sentralforbund, *Normalreglement for sanitæranlegg, -tekniske bestemmelser*, Kommuneforlaget, 4.utgave, 1998.

- [74] Utne, Å., (Amund.Utne@trondheimenergi.no), 3.10.2007, *SV: Samtidighet tappevann*. E-post til A. Gaustad, astridg@stud.ntnu.no.
- [75] Ulseth, R., Frydenlund F., *Heat Quick. PC basert verktøy for beregning av effekt og energibehov ved yrkesbygg*, utviklet ved NTNU Institutt for energi- og prosesssteknikk og Sintef energiforskning.
- [76] Klæbu Kommune, reguleringsplan for Klæbu sentrum. revidert 21.11.2000.
- [77] Sund, GM, Rodø, S, Klæbu kommune, personlige samtaler og e-post korrespondanse, september til november 2006.
- [78] Pedersen, L., Doctorial Theises; *Load Modelling of Buildnings in Mixed Energy Distribution Systems*, NTNU, 2007.
- [79] Fredriksen, S., Werner, S., *Fjärrvärme – Teori, teknik och funktion*, Studentlitteratur, Lund, 1993.
- [80] Kommunal og regionaldepartementet, *Nye byggeforskrifter*, <http://www.regjeringen.no/nb/dep/krd/pressesenter/pressemeldinger/2006/Nye-byggeforskrifter.html?id=104875>, (Accessed 31.10.2007)
- [81] Glava Isolasjon, *nye byggeforskrifter*, http://www.glava.no/filesystem/2007/09/web_forskrifter_2007_4958.pdf. (Accessed 31.10.2007)
- [82] Sintef Byggforsk, *Småhus som tilfredsstillter kravene i TEK-2007*, <http://www.sintef.no/upload/Byggforsk/Nyheter/2007TEK.pdf>. (Accessed 31.10.2007)
- [83] Statens bygningstekniske etat, *Nye regler med krav til byggverk. Høringsfrist 10.9.2006*, <http://www.be.no/beweb/regler/tekhoering06/faq.html#energiforsyning>. (Accessed 1.11.2007)
- [84] Kommunal og regionaldepartementet, *Regjeringen har vedtatt nye energikrav*, <http://www.regjeringen.no/nb/dep/krd/pressesenter/pressemeldinger/2007/Regjeringen-har-vedtatt-nye-energikrav.html?id=448761>. (Accessed 31.10.2007).
- [85] Nørstebø, A., Volla, R., Juhler, H., Asheim, K., *Vil TEK virke etter hensikten*, foredrag i Kommunal- og regionaldepartementet, 6.3.2007.
- [86] Trondheim Energi, *Fjernvarmepriiser*, http://www.trondheimenergi.no/trondheimenergi/privatkunder/fjernvarme_priser.asp. (Accessed 10.11.2007).
- [87] Norges Byggstandardiseringsråd (NBR), *Norsk Standard - NS 3031*, 4. utgave mai 1987.
- [88] Wolleng, T., *VVS-tekniske klimadata for Norge*, Håndbok 33, Norges byggforskningsinstitutt, 1979.
- [89] Juhler, H., (hmjuhler@ebl.no), 6.11.2007, *hørings svar*. E-post til A. Gaustad, astridg@stud.ntnu.no.
- [90] NVE, Energidagene, *En fornybar fremtid for miljøet og menneskene*, av Volla, R., Viken Fjernvarme, http://www.energidagene.no/foredrag/Sesjon_4/4_Rune_Volla.pdf. (Accessed 11.11.2007).

10 Vedlegg

Vedlegg A. Samtidige vannmengder

Tappedsted	Normalvannmengde varmt tappevann, l/s	
	Småhus	Leilighet
Dusj	0,2	0,2
Badekar	0,3	
Servant 1	0,1	0,1
Servant 2	0,1	
Oppvask	0,2	0,2
Utslagsvask	0,2	
Total vannmengde, Q	1,1	0,5

$$q = q_1 + 0,015(Q - q_1) + 0,17\sqrt{Q - q_1}$$

Hvor:

q = sannsynlig maksimal vannmengde

Q = sum normalvannmengder, l/s

q₁ = normalvannmengde største tappedsted, l/s

Beregning av total sannsynlig vannmengde, varierende antall eneboliger

Antall småhus	største tappedsted, q ₁	sum normalvannm., Q	maks. vannmengde, q
n	l/s	l/s	l/s
1	0,3	1,1	0,46
10	0,3	11	1,02
30	0,3	33	1,76
50	0,3	55	2,38
80	0,3	88	3,21
100	0,3	110	3,73
130	0,3	143	4,47
150	0,3	165	4,95
180	0,3	198	5,66
200	0,3	220	6,12

Beregning av total sannsynlig vannmengde, varierende antall leiligheter

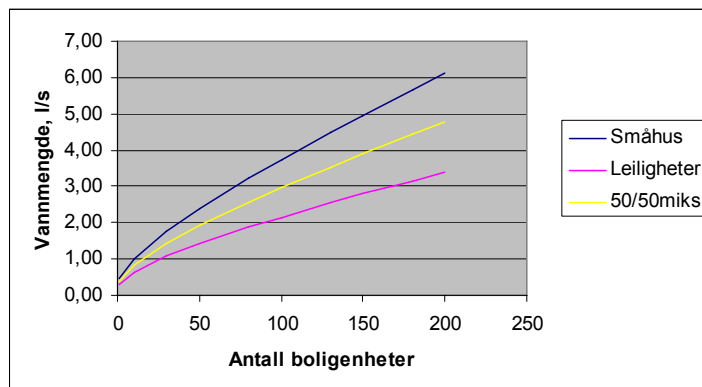
Antall leiligheter	største tappested, q1	sum normalvannm., Q	maks. vannmengde, q
n	l/s	l/s	l/s
1	0,2	0,5	0,30
10	0,2	5	0,64
30	0,2	15	1,08
50	0,2	25	1,42
80	0,2	40	1,87
100	0,2	50	2,15
130	0,2	65	2,54
150	0,2	75	2,79
180	0,2	90	3,16
200	0,2	100	3,40

For å kunne si noe om en miks med 50% småhus og 50% leiligheter,

er middelveien for normalvannmengde for de to valgt, Q: $(0,5+1,1)/s / 2 = 0,8$ l/sStørste tappested vil være middelveien for småhus og leilighet, q1: $(0,2+0,3)/s / 2 = 0,25$ l/s

Beregning av maks. sannsynlig vannmengde, miks av leiligheter og småhus

Antall boligenheter	største tappested, q1	sum normalvann, Q	maks. vannmengde, q
n	l/s	l/s	l/s
1	0,25	0,8	0,38
10	0,25	8	0,84
30	0,25	24	1,43
50	0,25	40	1,92
80	0,25	64	2,56
100	0,25	80	2,96
130	0,25	104	3,54
150	0,25	120	3,91
180	0,25	144	4,44
200	0,25	160	4,79



maksimale sannsynlige vannmengder

Antall boligenheter	småhus, q	leiligheter, q	50/50 miks, q
n	l/s	l/s	l/s
1	0,46	0,30	0,38
10	1,02	0,64	0,84
30	1,76	1,08	1,43
50	2,38	1,42	1,92
80	3,21	1,87	2,56
100	3,73	2,15	2,96
130	4,47	2,54	3,54
150	4,95	2,79	3,91
180	5,66	3,16	4,44
200	6,12	3,40	4,79

Beregning av samtidighetsfaktor

$$K_T = \frac{Q_n}{q_n}$$

Hvor:

KT = sammenlagningsfaktor

Qn = Normalvannmengder for n antall boligenheter

qn = Sannsynlig maksimal vannmengde for n antall boligenheter

Sammenlagnring småhus

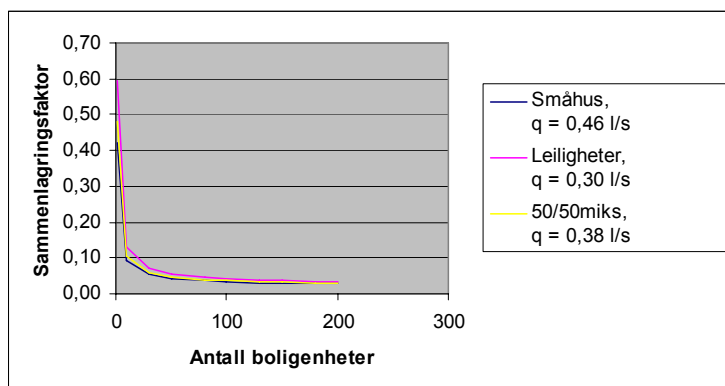
Antall	sum normalvannm., Q	maks vannmengde, q	samtidighetsfaktor
n	l/s	l/s	
1	1,1	0,46	0,42
10	11,0	1,02	0,09
30	33,0	1,76	0,05
50	55,0	2,38	0,04
80	88,0	3,21	0,04
100	110,0	3,73	0,03
130	143,0	4,47	0,03
150	165,0	4,95	0,03
180	198,0	5,66	0,03
200	220,0	6,12	0,03

Sammenlagring
leiligheter

Antall	sum normalvannm., Q	maks vannmengde, q	samtidighetsfaktor
n	l/s	l/s	
1	0,5	0,30	0,60
10	5,0	0,64	0,13
30	15,0	1,08	0,07
50	25,0	1,42	0,06
80	40,0	1,87	0,05
100	50,0	2,15	0,04
130	65,0	2,54	0,04
150	75,0	2,79	0,04
180	90,0	3,16	0,04
200	100,0	3,40	0,03

Sammenlagring
50/50miks

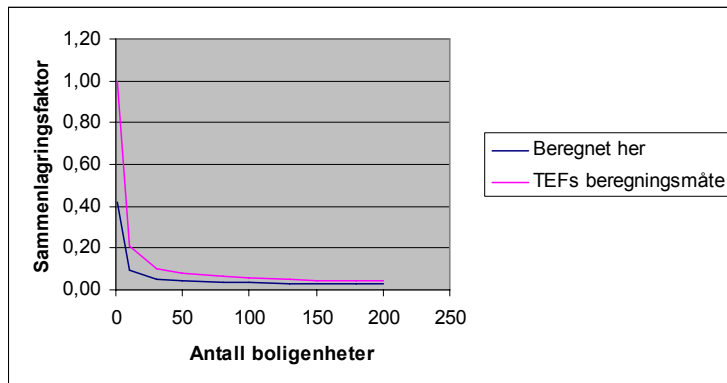
Antall	sum normalvannm., Q	maks vannmengde, q	samtidighetsfaktor
n	l/s	l/s	
1	0,8	0,38	0,48
10	8,0	0,84	0,10
30	24,0	1,43	0,06
50	40,0	1,92	0,05
80	64,0	2,56	0,04
100	80,0	2,96	0,04
130	104,0	3,54	0,03
150	120,0	3,91	0,03
180	144,0	4,44	0,03
200	160,0	4,79	0,03



Sammenlagring ved TEFs beregning for småhus, Q = 0,3

Antall	sum normalvannm., Q	maks vannmengde, q	samtidighetsfaktor
n	l/s	l/s	
1	0,3	0,30	1,00
10	3,0	0,62	0,21
30	9,0	0,93	0,10
50	15,0	1,17	0,08
80	24,0	1,48	0,06
100	30,0	1,67	0,06
130	39,0	1,95	0,05
150	45,0	2,10	0,05
180	54,0	2,30	0,04
200	60,0	2,51	0,04

Sammenlagringsfaktor bergninger TEFs mot beregninger her



Normalvannmengder ved TEFs beregningsmåte og beregninger gjort her

Antall boligenheter	Q beregnet her	Q beregnet ved TEF
n	l/s	l/s
1	1,1	0,3
10	11,0	3,3
30	33,0	9,9
50	55,0	16,5
80	88,0	26,4
100	110,0	33,0
130	143,0	42,9
150	165,0	49,5
180	198,0	59,4
200	220,0	66,0

Vedlegg B. Samtidig effektbehov

$$P = q * c * \rho * (t_v - t_k)$$

Hvor:

q = maksimal sannsynlig vannmengde, l/s

c = vannets spesifikke varmekapasitet, kJ/kgK: 4,2

$$\rho (t_v - t_k)$$

= vannets kg/l: 1
= temperaturdifferanse varmt og kaldt vann

tv1 = 55 oC (varmeste tapping)

tv2 = 45 oC (middeltemperatur tapping)

tv3 = 35 oC (kaldeste tapping)

tk1 = 5 oC (vinter)

tk2 = 10 oC (sommer)

Beregning effektbehov ulike antall småhus vinterforhold, tk = 5 oC

Antall Småhus	vannmengde, q	tv1-tk1	Effekt1	tv2-tk1	Effekt2	tv3-tk1	Effekt3
n	l/s	oC	kW	oC	kW	oC	kW
1	0,46	50	97	40	78	30	58
10	1,02	50	213	40	171	30	128
30	1,76	50	370	40	296	30	222
50	2,38	50	499	40	399	30	300
80	3,21	50	674	40	539	30	404
100	3,73	50	782	40	626	30	469
130	4,47	50	939	40	751	30	563
150	4,95	50	1040	40	832	30	624
180	5,66	50	1188	40	950	30	713
200	6,12	50	1284	40	1027	30	771

Beregning effektbehov ulike antall småhus sommerforhold, tk = 10 oC

Antall småhus	vannmengde, q	tv1-tk1	Effekt1	tv2-tk1	Effekt2	tv3-tk1	Effekt3
n	l/s	oC	kW	oC	kW	oC	kW
1	0,46	45	88	35	68	25	49
10	1,02	45	192	35	149	25	107
30	1,76	45	333	35	259	25	185
50	2,38	45	449	35	350	25	250
80	3,21	45	606	35	472	25	337
100	3,73	45	704	35	548	25	391
130	4,47	45	845	35	657	25	469
150	4,95	45	936	35	728	25	520
180	5,66	45	1069	35	831	25	594
200	6,12	45	1156	35	899	25	642

Beregning effektbehov leiligheter vinterforhold, tk = 5 oC

Antall leiligheter	vannmengde, q	tv1-tk1	Effekt 1	tv2-tk1	Effekt 2	tv3-tk1	Effekt 3
n	l/s	oC	kW	oC	kW	oC	kW
1	0,30	50	62	40	50	30	37
10	0,64	50	135	40	108	30	81
30	1,08	50	226	40	181	30	136
50	1,42	50	298	40	238	30	179
80	1,87	50	393	40	314	30	236
100	2,15	50	451	40	361	30	270
130	2,54	50	533	40	427	30	320
150	2,79	50	586	40	469	30	352
180	3,16	50	663	40	531	30	398
200	3,40	50	713	40	570	30	428

Beregning effektbehov leiligheter sommerforhold, tk = 10 oC

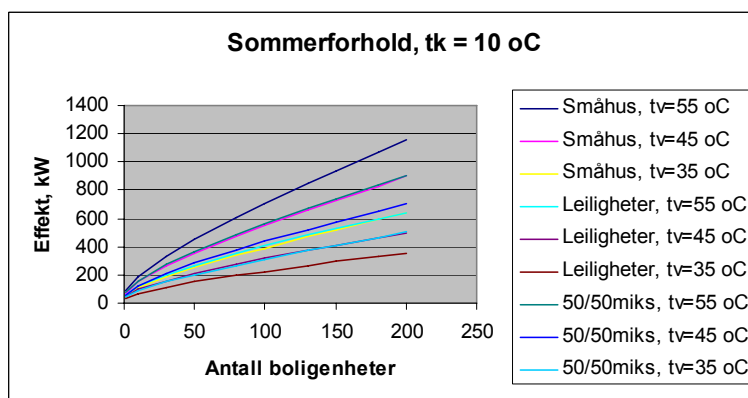
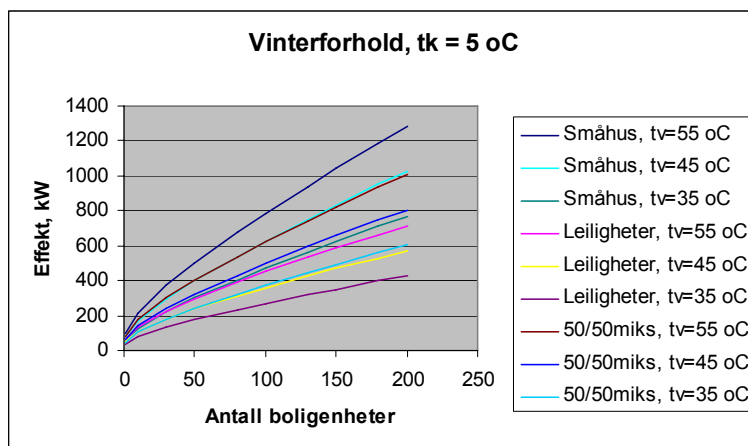
Antall leiligheter	vannmengde, q	tv1-tk1	Effekt 1	tv2-tk1	Effekt 2	tv3-tk1	Effekt 3
n	l/s	oC	kW	oC	kW	oC	kW
1	0,30	45	56	35	44	25	31
10	0,64	45	122	35	95	25	68
30	1,08	45	203	35	158	25	113
50	1,42	45	268	35	209	25	149
80	1,87	45	353	35	275	25	196
100	2,15	45	406	35	316	25	225
130	2,54	45	480	35	373	25	267
150	2,79	45	528	35	410	25	293
180	3,16	45	597	35	464	25	332
200	3,40	45	642	35	499	25	357

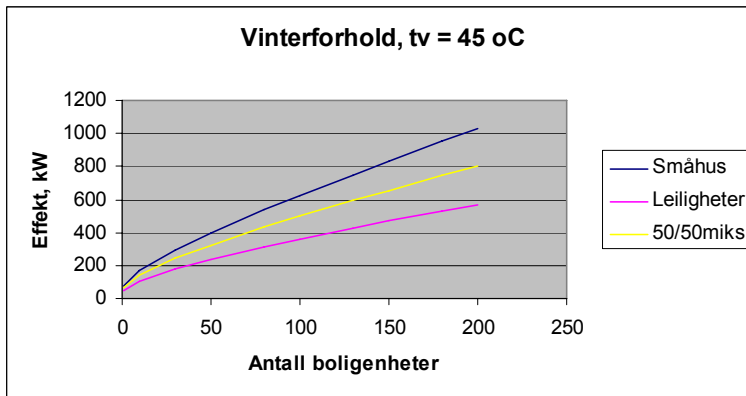
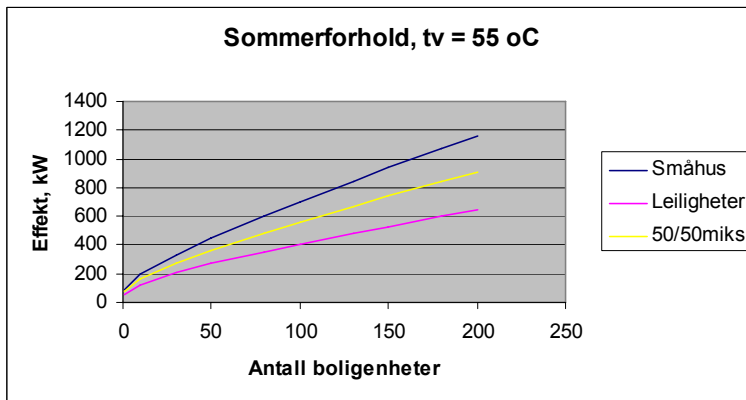
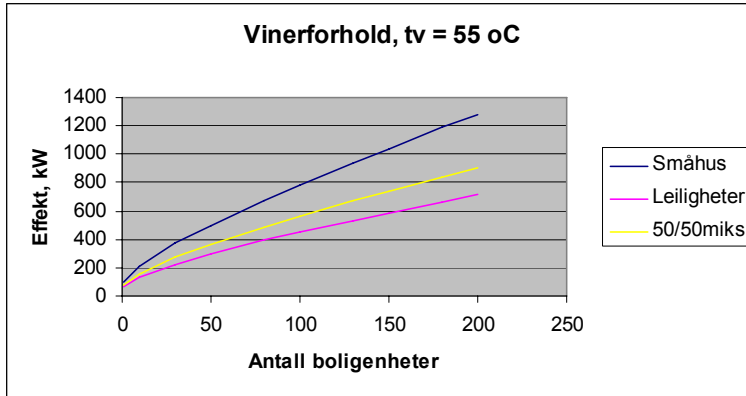
Beregning effektbehov 50% småhus, 50% leiligheter vinterforhold, tk = 5 oC

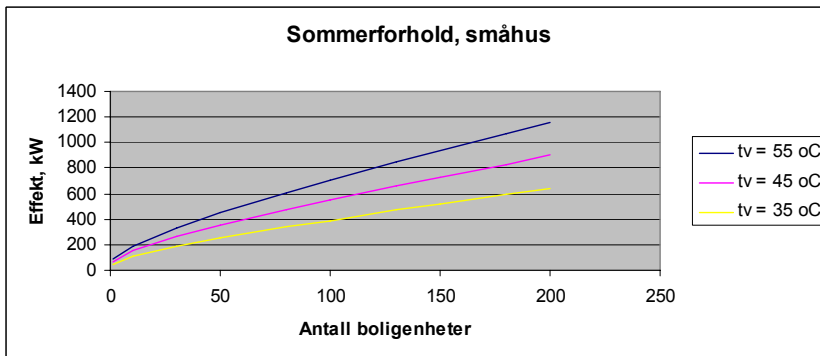
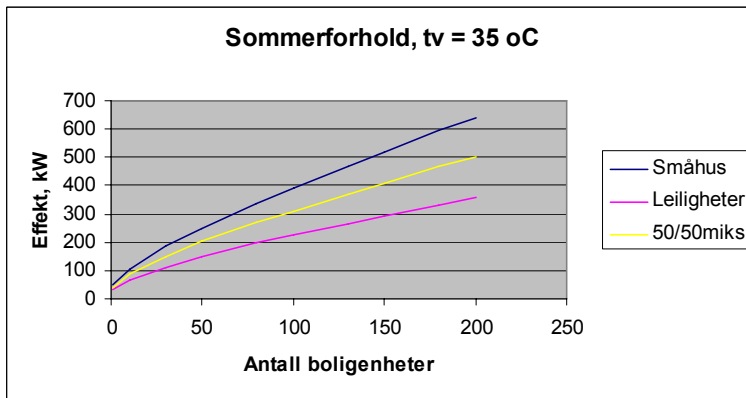
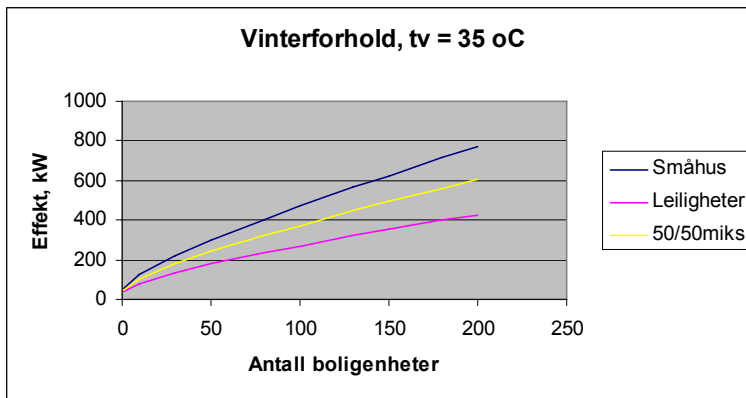
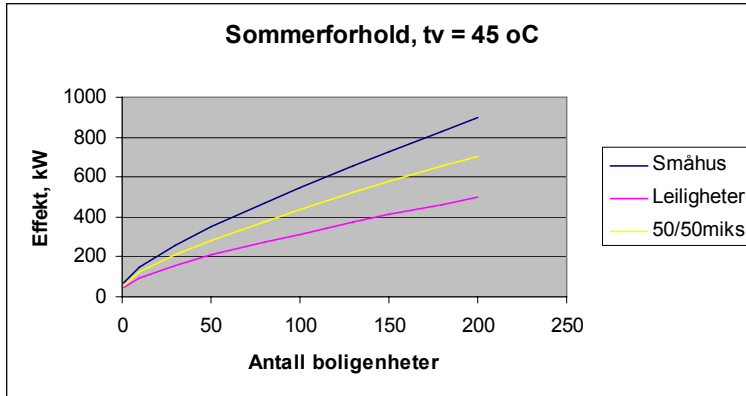
Antall boligenheter	vannmengde, q	tv1-tk1	Effekt 1	tv2-tk1	Effekt 2	tv3-tk1	Effekt 3
n	l/s	oC	kW	oC	kW	oC	kW
1	0,38	50	81	40	65	30	48
10	0,84	50	176	40	141	30	106
30	1,43	50	301	40	241	30	181
50	1,92	50	403	40	322	30	242
80	2,56	50	538	40	431	30	323
100	2,96	50	623	40	498	30	374
130	3,54	50	743	40	594	30	446
150	3,91	50	820	40	656	30	492
180	4,44	50	933	40	747	30	560
200	4,79	50	1007	40	806	30	604

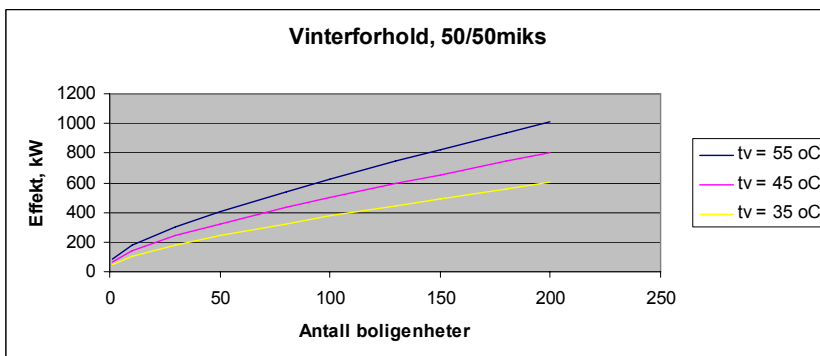
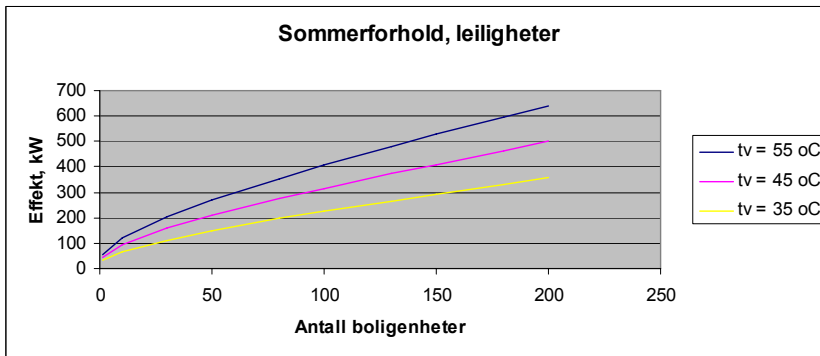
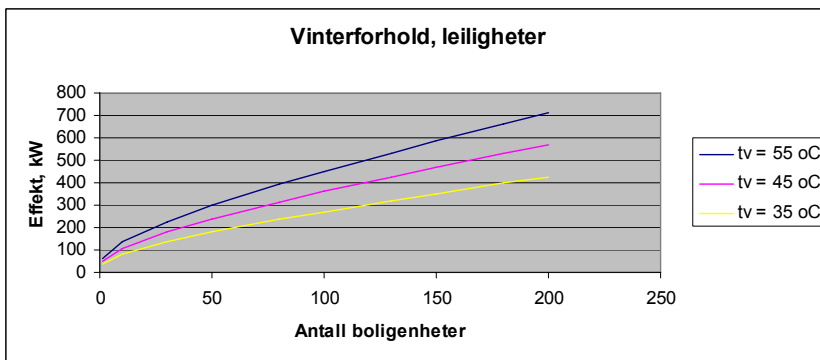
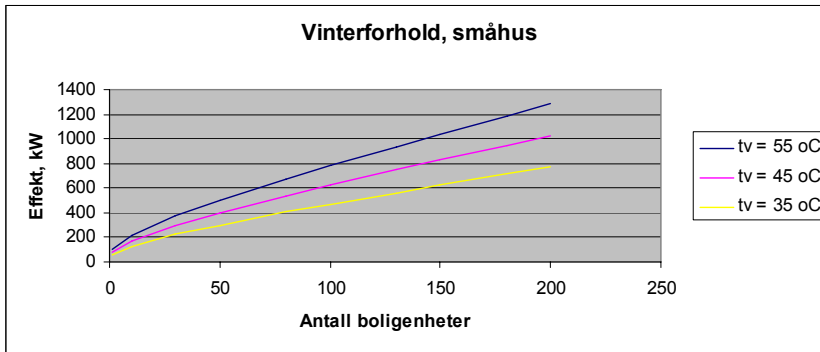
Beregning effektbehov 50% småhus, 50% leiligheter sommerforhold, tk = 10 oC

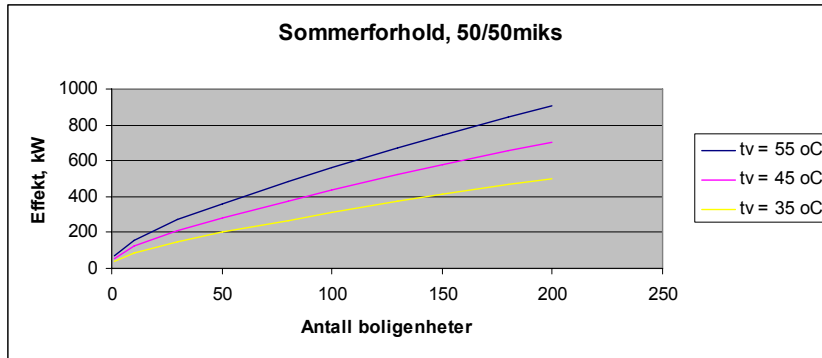
Antall boligenheter	vannmengde, q	tv1-tk1	Effekt 1	tv2-tk1	Effekt 2	tv3-tk1	Effekt 3
n	l/s	oC	kW	oC	kW	oC	kW
1	0,38	45	73	35	56	25	40
10	0,84	45	159	35	123	25	88
30	1,43	45	271	35	211	25	151
50	1,92	45	363	35	282	25	201
80	2,56	45	485	35	377	25	269
100	2,96	45	560	35	436	25	311
130	3,54	45	669	35	520	25	371
150	3,91	45	738	35	574	25	410
180	4,44	45	840	35	653	25	467
200	4,79	45	906	35	705	25	503





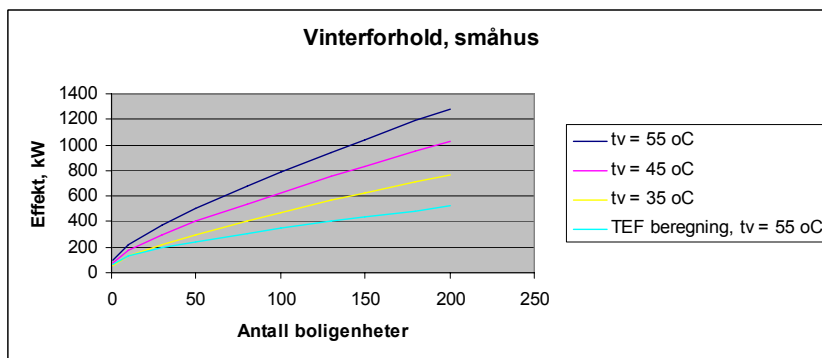






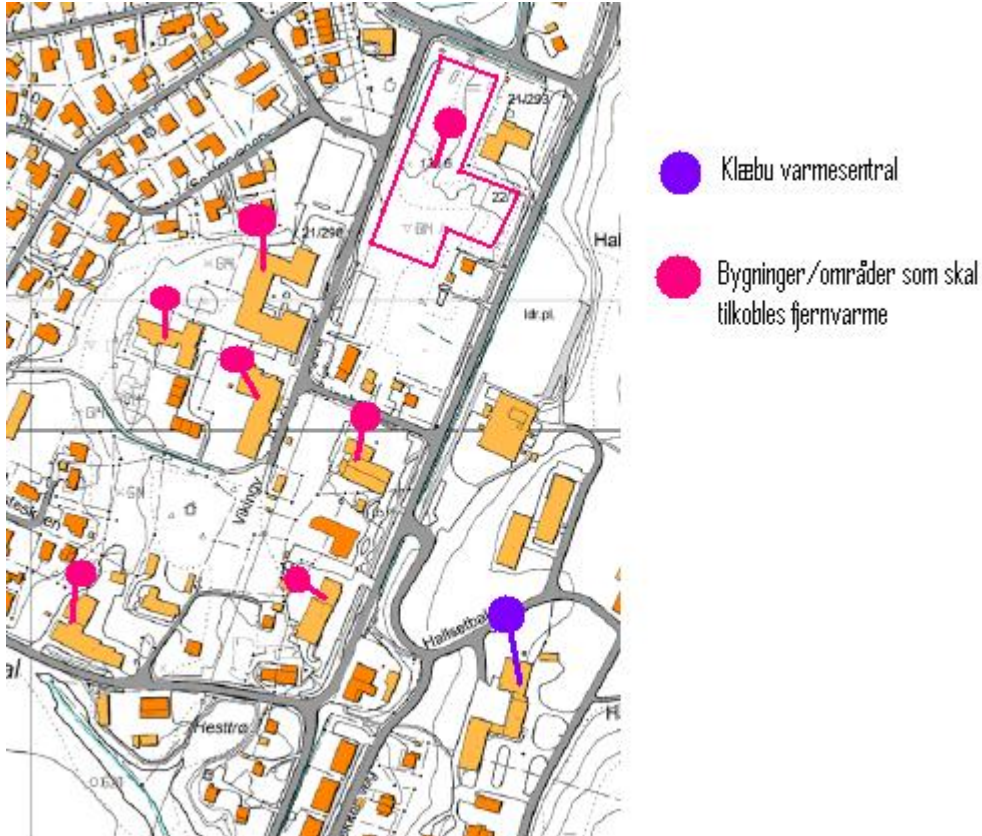
Beregning av effektbehov ved bruk av TEFs vannmengder ved 55 oC for småhus ved vinterforhold.

TEFs beregningsmetode			Beregnet her		
vannmengde, q	tv1-tk1	Effekt	vannmengde, q	tv1-tk1	Effekt
l/s	oC	kW	l/s	oC	kW
0,30	50	63	0,46	50	97
0,62	50	130	1,02	50	213
0,93	50	195	1,76	50	370
1,17	50	246	2,38	50	499
1,48	50	311	3,21	50	674
1,67	50	351	3,73	50	782
1,95	50	410	4,47	50	939
2,10	50	441	4,95	50	1040
2,30	50	483	5,66	50	1188
2,51	50	527	6,12	50	1284



Vedlegg C.

Utdrag av reguleringsplan for Klæbu sentrum med bygninger som skal kobles på fjernvarme.



Vedlegg D. HQ rapport for bygninger.

Rapport - HeatQuick 2.0

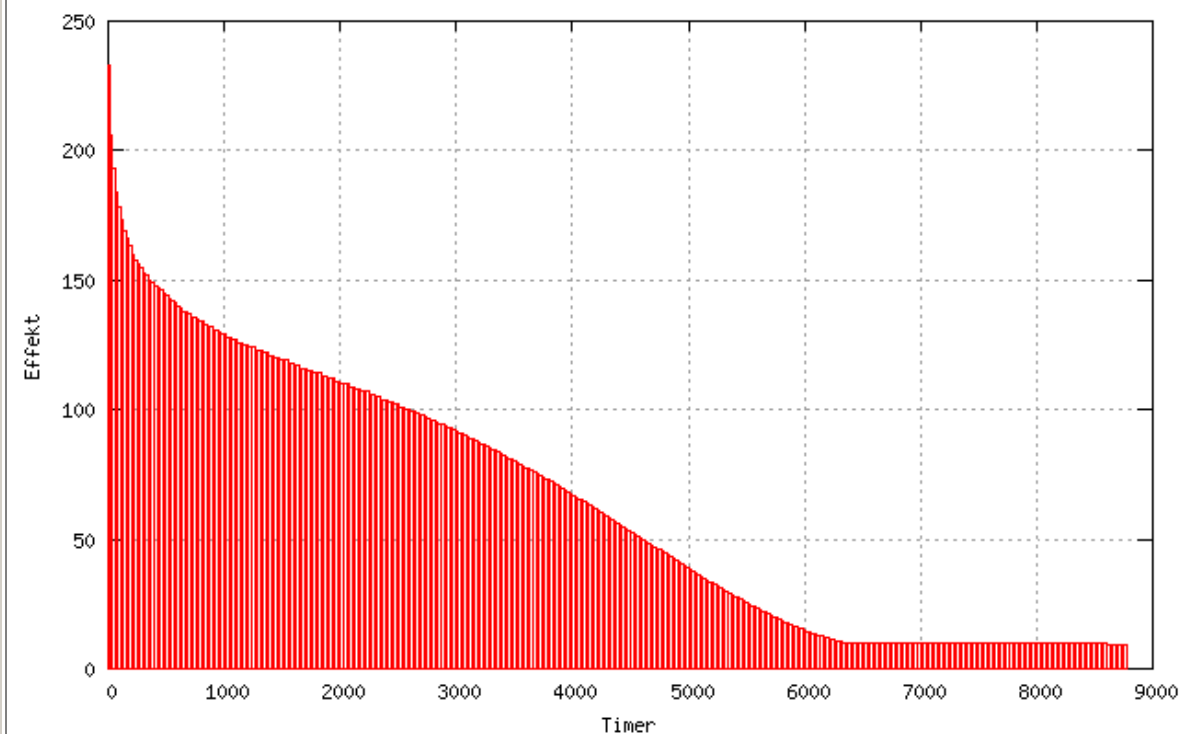
06-10-13

Prosjekt		Klimadata	
Ansvarlig		Sted	Selbu
Prosjektnavn	Astrid Gaustad	DUT	-20.0 °C
Prosjektnummer		Vind	4.6 m/s
Bygg	Selli Opptreningscenter, del 1	Graddagstall	5660 dK
Oppdragsgiver		Årsmiddel	4.5 °C
Bygg		Varme og Ventilasjon	
Areal	3000 m ²	Rom temperatur	22 °C
Form	Rektangulær	Døgndrift ventilasjon	Ja
Frie fasader	3	Vifte om natta:	Full hastighet
Fasadens tetthet	Normal	Luftvekslingsnivå	7.5 m ³ /m ² /h
Byggeår	1955-1980	Varmeveksler	60 %
Tappevann		Varmetilskudd	
Type	Helse/Sosialbygg	Internt varmetilskudd	20 W/m ²
Effekt-timesmiddel	12 W/m ²	Fradrag pga. døgndrift	0 W/m ²
Effekt ved magasin	6 W/m ²		

Resultater

	Totalt	pr. areal
Effektbehov (v/magasinberedning)	233 kW	78 W/m ²
Årlig energibehov	552 MWh	184 kWh/m ²
Brukstid for beregnet effektbehov	2371 h/år	

Estimert varighetskurve



Rapport - HeatQuick 2.0

06-10-13

Prosjekt		Klimadata	
Ansvarlig		Sted	Selbu
Prosjektnavn		DUT	-20.0 °C
Prosjektnummer	Astrid Gaustad	Vind	4.6 m/s
Bygg	Selli opptreningscenter, del2	Graddagstall	5660 dK
Oppdragsgiver		Årsmiddel	4.5 °C
Bygg		Varme og Ventilasjon	
Areal	1400 m ²	Rom temperatur	22 °C
Form	Rektangulær	Døgndrift ventilasjon	Ja
Frie fasader	3	Vifte om natta:	Halv hastighet
Fasadens tetthet	Normal	Luftvekslingsnivå	7.5 m ³ /m ² /h
Byggeår	Etter 1997	Varmeveksler	60 %
Tappevann		Varmetilskudd	
Type	Helse/Sosialbygg	Internt varmetilskudd	20 W/m ²
Effekt-timesmiddel	12 W/m ²	Fradrag pga. døgndrift	0 W/m ²
Effekt ved magasin	6 W/m ²		
Resultater			
		Totalt	pr. areal
Effektbehov (v/magasinberedning)		95 kW	68 W/m ²
Årlig energibehov		197 MWh	141 kWh/m ²
Brukstid for beregnet effektbehov		2076 h/år	
Estimert varighetskurve			

Rapport - HeatQuick 2.0

06-10-13

Prosjekt		Klimadata	
Ansvarlig		Sted	Selbu
Prosjektnavn	Astrid Gaustad	DUT	-20.0 °C
Prosjektnummer		Vind	4.6 m/s
Bygg	Selli Oppptreningssenter, del3	Graddagstall	5660 dK
Oppdragsgiver		Årsmiddel	4.5 °C
Bygg		Varme og Ventilasjon	
Areal	1600 m ²	Rom temperatur	20 °C
Form	Rektangulær	Døgndrift ventilasjon	Ja
Frie fasader	3	Vifte om natta:	Halv hastighet
Fasadens tetthet	Normal	Luftvekslingsnivå	7.5 m ³ /m ² /h
Byggeår	Etter 1997	Varmeveksler	70 %
Tappevann		Varmetilskudd	
Type	Helse/Sosialbygg	Internt varmetilskudd	20 W/m ²
Effekt-timesmiddel	12 W/m ²	Fradrag pga. døgndrift	0 W/m ²
Effekt ved magasin	6 W/m ²		
Resultater			
		Totalt	pr. areal
Effektbehov (v/magasinberedning)		91 kW	57 W/m ²
Årlig energibehov		175 MWh	109 kWh/m ²
Brukstid for beregnet effektbehov		1928 h/år	
Estimert varighetskurve			

Rapport - HeatQuick 2.0

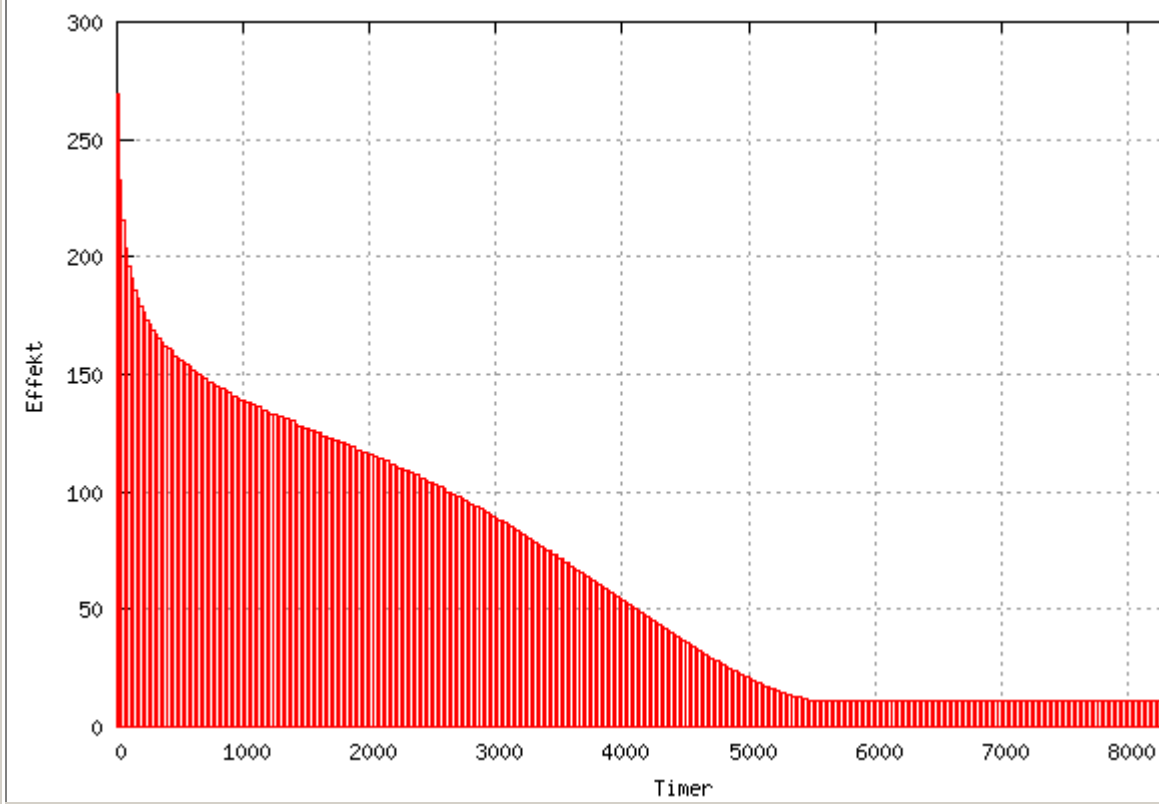
06-10-12

Prosjekt		Klimadata	
Ansvarlig		Sted	Selbu
Prosjektnavn	Astrid Gaustad	DUT	-20.0 °C
Prosjektnummer		Vind	4.6 m/s
Bygg	Klæbu Rådhus	Graddagstall	5660 dK
Oppdragsgiver		Årsmiddel	4.5 °C
Bygg		Varme og Ventilasjon	
Areal	4200 m ²	Rom temperatur	20 °C
Form	Rektangulær	Døgndrift ventilasjon	Ja
Frie fasader	4	Vifte om natta:	Halv hastighet
Fasadens tetthet	Normal	Luftvekslingsnivå	7.5 m ³ /m ² /h
Byggeår	1980-1997	Varmeveksler	60 %
Tappevann		Varmetilskudd	
Type	Kontorbygg	Internt varmetilskudd	20 W/m ²
Effekt-timesmiddel	10 W/m ²	Fradrag pga. døgndrift	0 W/m ²
Effekt ved magasin	5 W/m ²		

Resultater

	Totalt	pr. areal
Effektbehov (v/magasinberedning)	269 kW	64 W/m ²
Årlig energibehov	541 MWh	129 kWh/m ²
Brukstid for beregnet effektbehov	2010 h/år	

Estimert varighetskurve



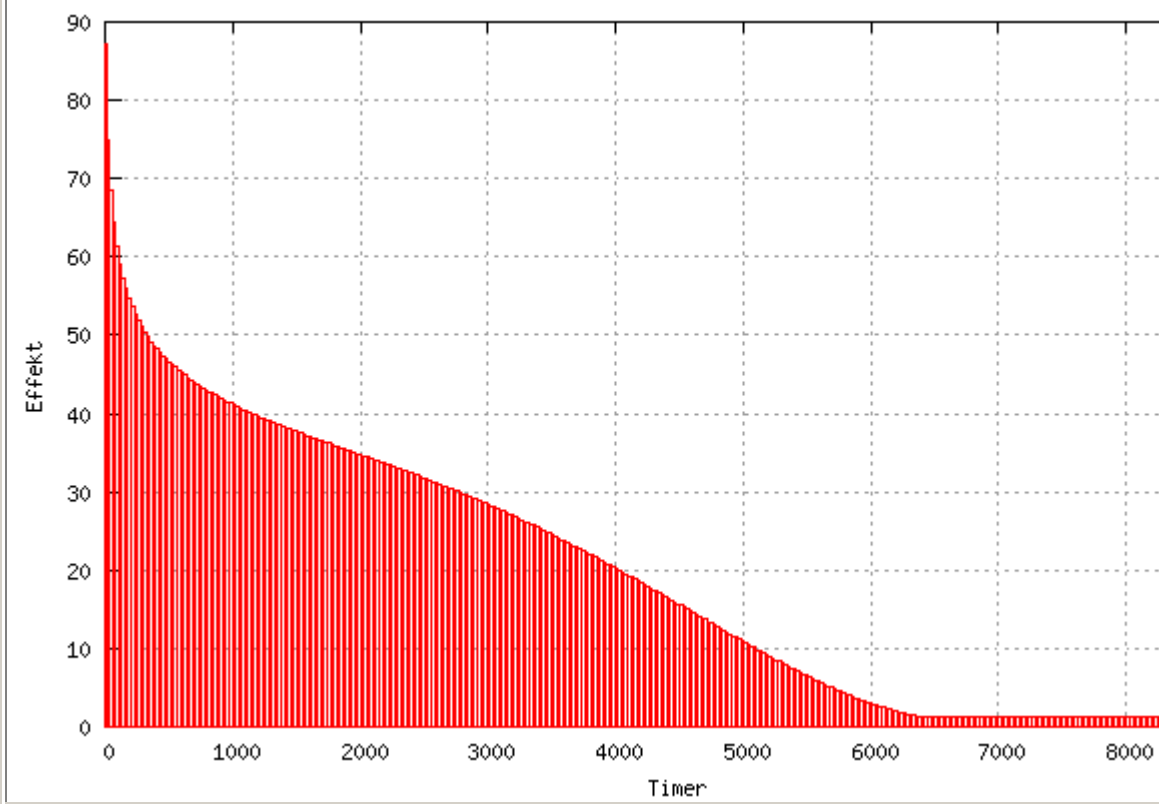
Rapport - HeatQuick 2.0

06-10-13

Prosjekt		Klimadata	
Ansvarlig		Sted	Selbu
Prosjektnavn	Astrid Gaustad	DUT	-20.0 °C
Prosjektnummer		Vind	4.6 m/s
Bygg	Prix Klæbu	Graddagstall	5660 dK
Oppdragsgiver		Årsmiddel	4.5 °C
Bygg		Varme og Ventilasjon	
Areal	900 m ²	Rom temperatur	20 °C
Form	Kvadrat	Døgndrift ventilasjon	Ja
Frie fasader	4	Vifte om natta:	Full hastighet
Fasadens tetthet	Normal	Luftvekslingsnivå	7.5 m ³ /m ² /h
Byggeår	1955-1980	Varmeveksler	60 %
Tappevann		Varmetilskudd	
Type	Butikk/Verksted	Internt varmetilskudd	20 W/m ²
Effekt-timesmiddel	4 W/m ²	Fradrag pga. døgndrift	0 W/m ²
Effekt ved magasin	2 W/m ²		

Resultater

	Totalt	pr. areal
Effektbehov (v/magasinberedning)	87 kW	97 W/m ²
Årlig energibehov	167 MWh	186 kWh/m ²
Brukstid for beregnet effektbehov	1920 h/år	

Estimert varighetskurve

Rapport - HeatQuick 2.0

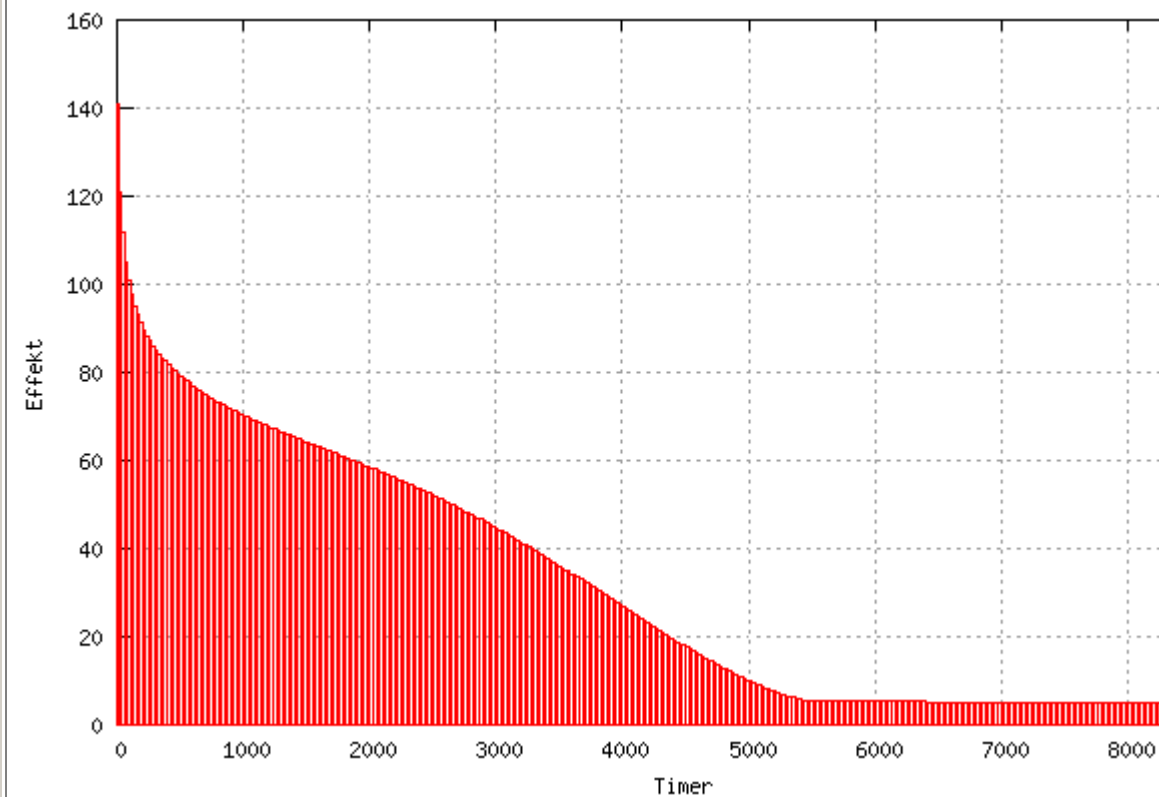
06-10-16

Prosjekt		Klimadata	
Ansvarlig		Sted	Selbu
Prosjektnavn	Astrid Gaustad	DUT	-20.0 °C
Prosjektnummer		Vind	4.6 m/s
Bygg	Bankbygget	Graddagstall	5660 dK
Oppdragsgiver		Årsmiddel	4.5 °C
Bygg		Varme og Ventilasjon	
Areal	1900 m ²	Rom temperatur	20 °C
Form	Rektangulær	Døgndrift ventilasjon	Ja
Frie fasader	4	Vifte om natta:	Halv hastighet
Fasadens tetthet	Normal	Luftvekslingsnivå	7.5 m ³ /m ² /h
Byggeår	1980-1997	Varmeveksler	60 %
Tappevann		Varmetilskudd	
Type	Kontorbygg	Internt varmetilskudd	20 W/m ²
Effekt-timesmiddel	10 W/m ²	Fradrag pga. døgndrift	0 W/m ²
Effekt ved magasin	5 W/m ²		

Resultater

	Totalt	pr. areal
Effektbehov (v/magasinberedning)	141 kW	74 W/m ²
Årlig energibehov	271 MWh	143 kWh/m ²
Brukstid for beregnet effektbehov	1919 h/år	

Estimert varighetskurve



Rapport - HeatQuick 2.0

06-10-12

Prosjekt		Klimadata	
Ansvarlig		Sted	Selbu
Prosjektnavn	Astrid Gaustad	DUT	-20.0 °C
Prosjektnummer		Vind	4.6 m/s
Bygg	KLæbu Sykehjem, hovedbygg,2	Graddagstall	5660 dK
Oppdragsgiver		Årsmiddel	4.5 °C
Bygg		Varme og Ventilasjon	
Areal	565 m ²	Rom temperatur	22 °C
Form	Rektangel	Døgndrift ventilasjon	Ja
Frie fasader	3	Vifte om natta:	Full hastighet
Fasadens tetthet	Normal	Luftvekslingsnivå	7.5 m ³ /m ² /h
Byggeår	Etter 1997	Varmeveksler	60 %
Tappevann		Varmetilskudd	
Type	Helse/Sosialbygg	Internt varmetilskudd	20 W/m ²
Effekt-timesmiddel	12 W/m ²	Fradrag pga. døgndrift	0 W/m ²
Effekt ved magasin	6 W/m ²		
Resultater			
		Totalt	pr. areal
Effektbehov (v/magasinberedning)		38 kW	67 W/m ²
Årlig energibehov		76 MWh	134 kWh/m ²
Brukstid for beregnet effektbehov		2008 h/år	
Estimert varighetskurve			

Rapport - HeatQuick 2.0

06-10-13

Prosjekt		Klimadata	
Ansvarlig		Sted	Selbu
Prosjektnavn	Astrid Gaustad	DUT	-20.0 °C
Prosjektnummer		Vind	4.6 m/s
Bygg	Klæbu sykehjem, vikingv 18-20	Graddagstall	5660 dK
Oppdragsgiver		Årsmiddel	4.5 °C
Bygg		Varme og Ventilasjon	
Areal	850 m ²	Rom temperatur	20 °C
Form	Rektangel	Døgndrift ventilasjon	Ja
Frie fasader	3	Vifte om natta:	Halv hastighet
Fasadens tetthet	Normal	Luftvekslingsnivå	7.5 m ³ /m ² /h
Byggeår	Etter 1997	Varmeveksler	60 %
Tappevann		Varmetilskudd	
Type	Helse/Sosialbygg	Internt varmetilskudd	20 W/m ²
Effekt-timesmiddel	12 W/m ²	Fradrag pga. døgndrift	0 W/m ²
Effekt ved magasin	6 W/m ²		
Resultater			
		Totalt	pr. areal
Effektbehov (v/magasinberedning)		53 kW	63 W/m ²
Årlig energibehov		97 MWh	114 kWh/m ²
Brukstid for beregnet effektbehov		1811 h/år	
Estimert varighetskurve			

Rapport - HeatQuick 2.1

07-10-26

Prosjekt		Klimadata	
Ansvarlig		Sted	Selbu
Prosjektnavn	Astrid Gaustad	DUT	-20.0 °C
Prosjektnummer		Vind	4.6 m/s
Bygg	Bolig ved YX	Graddagstall	5660 dK
Oppdragsgiver		Årsmiddel	4.5 °C
Bygg		Varme og Ventilasjon	
Areal	10800 m ²	Rom temperatur	22 °C
Form	Rektangulær	Døgndrift ventilasjon	Nei
Frie fasader	4	Nattsinking:	Ja
Fasadens tetthet	Normal	Luftveklingsnivå	7.5 m ³ /m ² /h
Byggeår	Etter 2007	Varmeveksler	70 %
Tappevann		Varmetilskudd	
Type	Helse/Sosialbygg	Internt varmetilskudd	20 W/m ²
Effekt-timesmiddel	12 W/m ²	Fradrag pga. døgndrift	0 W/m ²
Effekt ved magasin	6 W/m ²		
Resultater			
		Totalt	pr. areal
Effektbehov (v/magasinberedning)		516 kW	48 W/m ²
Årlig energibehov		882 MWh	82 kWh/m ²
Bruktid for beregnet effektbehov		1710 h/år	
Estimert varighetskurve			

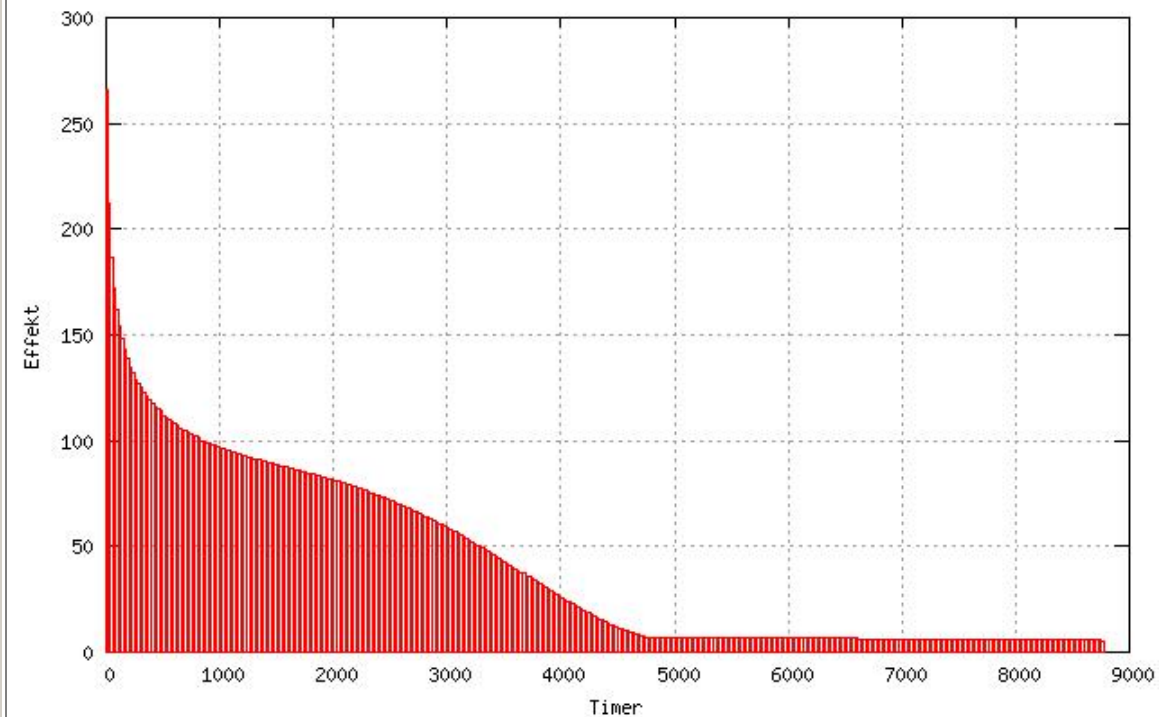
Rapport - HeatQuick 2.1

07-10-26

Prosjekt		Klimadata	
Ansvarlig		Sted	Selbu
Prosjektnavn	Astrid Gaustad	DUT	-20.0 °C
Prosjektnummer		Vind	4.6 m/s
Bygg	Næring ved YX	Graddagstall	5660 dK
Oppdragsgiver		Årsmiddel	4.5 °C
Bygg		Varme og Ventilasjon	
Areal	5400 m ²	Rom temperatur	20 °C
Form	Rektangulær	Døgndrift ventilasjon	Nei
Frie fasader	4	Nattsinking:	Ja
Fasadens tetthet	Normal	Luftvekslingsnivå	7.5 m ³ /m ² /h
Byggeår	Etter 2007	Varmeveksler	70 %
Tappevann		Varmetilskudd	
Type	Butikk/Verksted	Internt varmetilskudd	20 W/m ²
Effekt-timesmiddel	4 W/m ²	Fradrag pga. døgndrift	0 W/m ²
Effekt ved magasin	2 W/m ²		

Resultater		
	Totalt	pr. areal
Effektbehov (v/magasinberedning)	266 kW	49 W/m ²
Årlig energibehov	353 MWh	65 kWh/m ²
Bruktid for beregnet effektbehov	1329 h/år	

Estimert varighetskurve

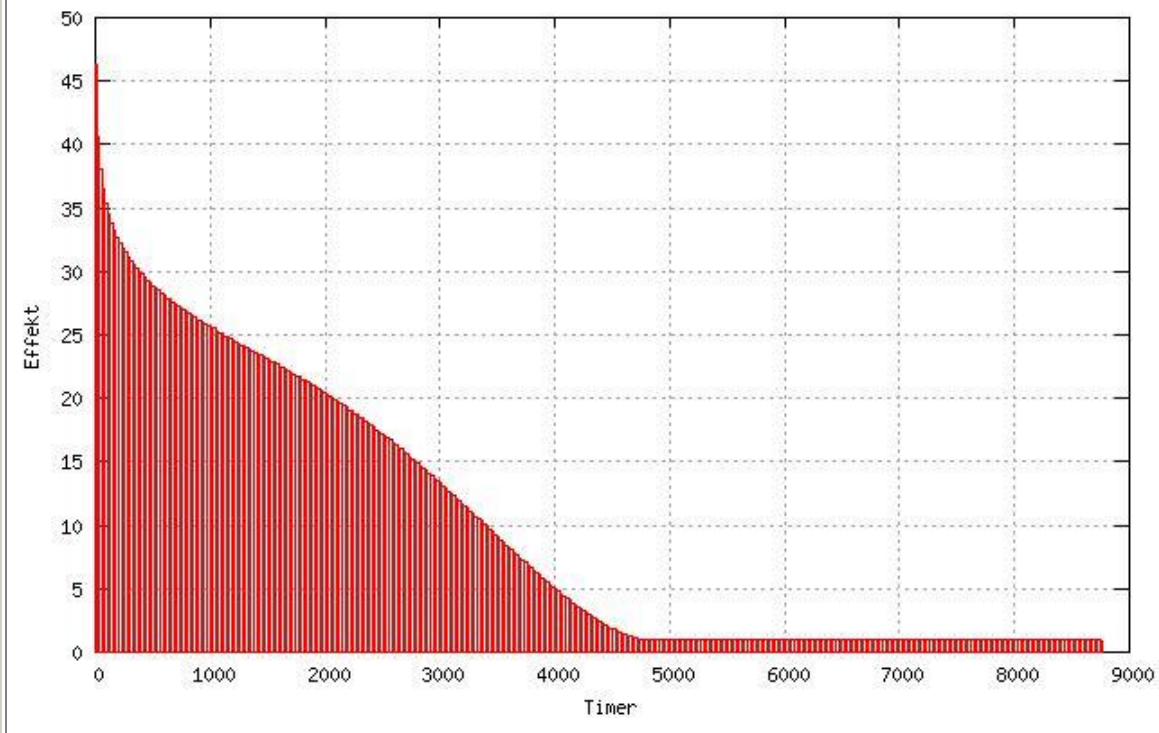


Rapport - HeatQuick 2.1

07-11-02

Prosjekt		Klimadata	
Ansvarlig		Sted	Selbu
Prosjektnavn	Astrid Gaustad	DUT	-20.0 °C
Prosjektnummer	Etter tek 07	Vind	4.6 m/s
Bygg	Prix	Graddagstall	5660 dK
Oppdragsgiver		Årsmiddel	4.5 °C
Bygg		Varme og Ventilasjon	
Areal	900 m ²	Rom temperatur	20 °C
Form	Kvadrat	Døgndrift ventilasjon	Ja
Frie fasader	4	Vifte om natta:	Full hastighet
Fasadens tetthet	Normal	Luftvekslingsnivå	7.5 m ³ /m ² /h
Byggeår	Etter 2007	Varmeveksler	70 %
Tappevann		Varmetilskudd	
Type	Butikk/Verksted	Internt varmetilskudd	20 W/m ²
Effekt-timesmiddel	4 W/m ²	Fradrag pga. døgndrift	0 W/m ²
Effekt ved magasin	2 W/m ²		
Resultater			
		Totalt	pr. areal
Effektbehov (v/magasinberedning)		46 kW	51 W/m ²
Årlig energibehov		84 MWh	94 kWh/m ²
Bruktid for beregnet effektbehov		1820 h/år	

Estimert varighetskurve



Rapport - HeatQuick 2.1

07-11-02

Prosjekt		Klimadata	
Ansvarlig		Sted	Selbu
Prosjektnavn	Astrid Gaustad	DUT	-20.0 °C
Prosjektnummer	Etter tek 07	Vind	4.6 m/s
Bygg	Rådhus	Graddagstall	5660 dK
Oppdragsgiver		Årsmiddel	4.5 °C
Bygg		Varme og Ventilasjon	
Areal	4200 m ²	Rom temperatur	20 °C
Form	Rektangulær	Døgndrift ventilasjon	Ja
Frie fasader	4	Vifte om natta:	Halv hastighet
Fasadens tetthet	Normal	Luftvekslingsnivå	7.5 m ³ /m ² /h
Byggeår	Etter 2007	Varmeveksler	70 %
Tappevann		Varmetilskudd	
Type	Kontorbygg	Internt varmetilskudd	20 W/m ²
Effekt-timesmiddel	10 W/m ²	Fradrag pga. døgndrift	0 W/m ²
Effekt ved magasin	5 W/m ²		
Resultater			
		Totalt	pr. areal
Effektbehov (v/magasinberedning)		208 kW	49 W/m ²
Årlig energibehov		422 MWh	100 kWh/m ²
Bruktid for beregnet effektbehov		2029 h/år	
Estimert varighetskurve			
<p>The graph shows a typical duration curve for a building's heating load. The vertical axis represents power demand in kW, ranging from 0 to 220. The horizontal axis represents time in hours, ranging from 0 to 9000. The curve begins at a peak power demand of approximately 210 kW at time zero. It then decreases in a roughly linear fashion, reaching about 100 kW at 2000 hours, 50 kW at 4000 hours, and finally leveling off at approximately 10 kW from 4500 hours onwards. The area under the curve is shaded with a light blue grid.</p>			

Rapport - HeatQuick 2.1

07-11-02

Prosjekt		Klimadata	
Ansvarlig		Sted	Selbu
Prosjektnavn	Astrid Gaustad	DUT	-20.0 °C
Prosjektnummer	Etter tek 07	Vind	4.6 m/s
Bygg	Sykehjem	Graddagstall	5660 dK
Oppdragsgiver		Årsmiddel	4.5 °C
Bygg		Varme og Ventilasjon	
Areal	565 m ²	Rom temperatur	22 °C
Form	Rektangulær	Døgndrift ventilasjon	Ja
Frie fasader	3	Vifte om natta:	Full hastighet
Fasadens tetthet	Normal	Luftvekslingsnivå	7.5 m ³ /m ² /h
Byggeår	Etter 2007	Varmeveksler	70 %
Tappevann		Varmetilskudd	
Type	Helse/Sosialbygg	Internt varmetilskudd	20 W/m ²
Effekt-timesmiddel	12 W/m ²	Fradrag pga. døgndrift	0 W/m ²
Effekt ved magasin	6 W/m ²		
Resultater			
		Totalt	pr. areal
Effektbehov (v/magasinberedning)		38 kW	67 W/m ²
Årlig energibehov		76 MWh	134 kWh/m ²
Brukstid for beregnet effektbehov		2007 h/år	
Estimert varighetskurve			

Rapport - HeatQuick 2.1

07-11-02

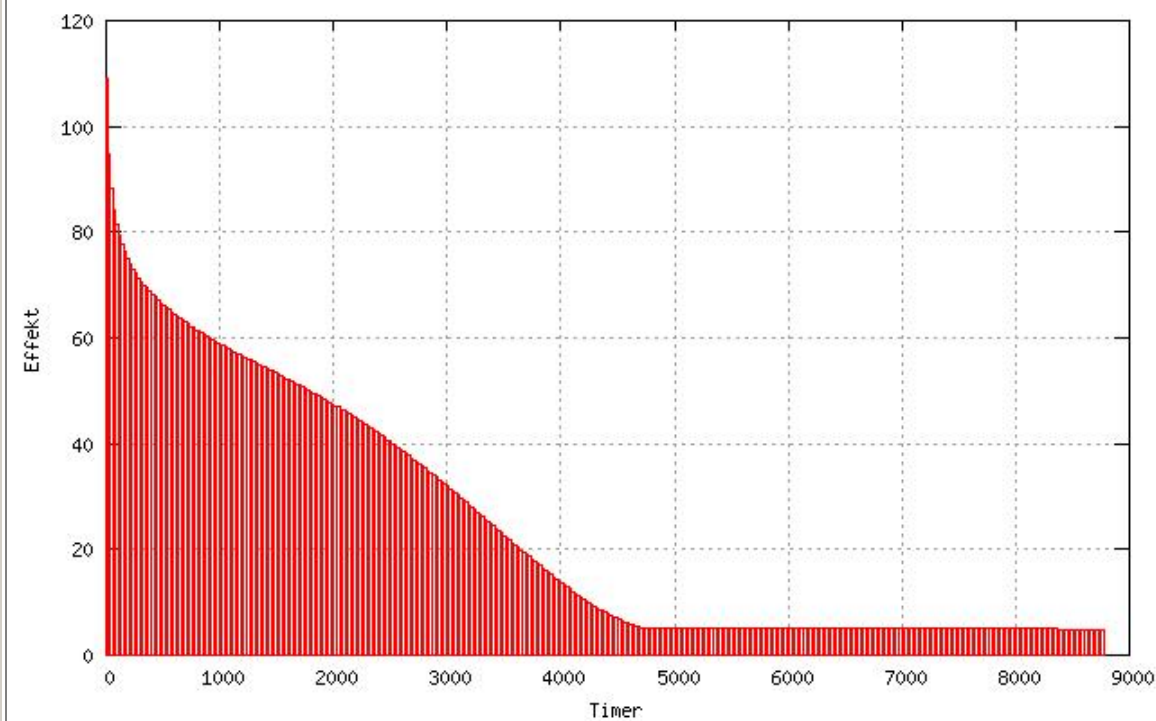
Prosjekt		Klimadata	
Ansvarlig		Sted	Selbu
Prosjektnavn	Astrid Gaustad	DUT	-20.0 °C
Prosjektnummer	Etter tek 07	Vind	4.6 m/s
Bygg	omsorgsbolig	Graddagstall	5660 dK
Oppdragsgiver		Årsmiddel	4.5 °C
Bygg		Varme og Ventilasjon	
Areal	850 m ²	Rom temperatur	20 °C
Form	Rektangulær	Døgndrift ventilasjon	Ja
Frie fasader	3	Vifte om natta:	Halv hastighet
Fasadens tetthet	Normal	Luftvekslingsnivå	7.5 m ³ /m ² /h
Byggeår	Etter 2007	Varmeveksler	70 %
Tappevann		Varmetilskudd	
Type	Helse/Sosialbygg	Internt varmetilskudd	20 W/m ²
Effekt-timesmiddel	12 W/m ²	Fradrag pga. døgndrift	0 W/m ²
Effekt ved magasin	6 W/m ²		
Resultater			
		Totalt	pr. areal
Effektbehov (v/magasinberedning)		52 kW	61 W/m ²
Årlig energibehov		93 MWh	110 kWh/m ²
Bruktid for beregnet effektbehov		1809 h/år	
Estimert varighetskurve			

Rapport - HeatQuick 2.1

07-11-06

Prosjekt		Klimadata	
Ansvarlig		Sted	Selbu
Prosjektnavn	Astrid	DUT	-20.0 °C
Prosjektnummer	Etter tek 07	Vind	4.6 m/s
Bygg	Bank	Graddagstall	5660 dK
Oppdragsgiver		Årsmiddel	4.5 °C
Bygg		Varme og Ventilasjon	
Areal	1900 m ²	Rom temperatur	20 °C
Form	Rektangulær	Døgndrift ventilasjon	Ja
Frie fasader	4	Vifte om natta:	Halv hastighet
Fasadens tetthet	Normal	Luftvekslingsnivå	7.5 m ³ /m ² /h
Byggeår	Etter 2007	Varmeveksler	70 %
Tappevann		Varmetilskudd	
Type	Kontorbygg	Internt varmetilskudd	20 W/m ²
Effekt-timesmiddel	10 W/m ²	Fradrag pga. døgndrift	0 W/m ²
Effekt ved magasin	5 W/m ²		
Resultater			
		Totalt	pr. areal
Effektbehov (v/magasinberedning)		109 kW	57 W/m ²
Årlig energibehov		209 MWh	110 kWh/m ²
Bruktid for beregnet effektbehov		1921 h/år	

Estimert varighetskurve



Rapport - HeatQuick 2.1

07-11-02

Prosjekt		Klimadata	
Ansvarlig		Sted	Selbu
Prosjektnavn	Astrid Gaustad	DUT	-20.0 °C
Prosjektnummer	Etter tek 07	Vind	4.6 m/s
Bygg	Selli, del 1	Graddagstall	5660 dK
Oppdragsgiver		Årsmiddel	4.5 °C
Bygg		Varme og Ventilasjon	
Areal	3000 m ²	Rom temperatur	22 °C
Form	Rektangulær	Døgndrift ventilasjon	Ja
Frie fasader	3	Vifte om natta:	Full hastighet
Fasadens tetthet	Normal	Luftvekslingsnivå	7.5 m ³ /m ² /h
Byggeår	Etter 2007	Varmeveksler	70 %
Tappevann		Varmetilskudd	
Type	Helse/Sosialbygg	Internt varmetilskudd	20 W/m ²
Effekt-timesmiddel	12 W/m ²	Fradrag pga. døgndrift	0 W/m ²
Effekt ved magasin	6 W/m ²		
Resultater			
		Totalt	pr. areal
Effektbehov (v/magasinberedning)		145 kW	48 W/m ²
Årlig energibehov		350 MWh	117 kWh/m ²
Bruktid for beregnet effektbehov		2408 h/år	
Estimert varighetskurve			

Rapport - HeatQuick 2.1

07-11-02

Prosjekt		Klimadata	
Ansvarlig		Sted	Selbu
Prosjektnavn	Astrid Gaustad	DUT	-20.0 °C
Prosjektnummer	Etter tek 07	Vind	4.6 m/s
Bygg	Selli, del 2	Graddagstall	5660 dK
Oppdragsgiver		Årsmiddel	4.5 °C
Bygg		Varme og Ventilasjon	
Areal	1400 m ²	Rom temperatur	22 °C
Form	Rektangulær	Døgndrift ventilasjon	Ja
Frie fasader	3	Vifte om natta:	Halv hastighet
Fasadens tetthet	Normal	Luftvekslingsnivå	7.5 m ³ /m ² /h
Byggeår	Etter 2007	Varmeveksler	70 %
Tappevann		Varmetilskudd	
Type	Helse/Sosialbygg	Internt varmetilskudd	20 W/m ²
Effekt-timesmiddel	12 W/m ²	Frdrag pga. døgndrift	0 W/m ²
Effekt ved magasin	6 W/m ²		
Resultater			
		Totalt	pr. areal
Effektbehov (v/magasinberedning)		77 kW	55 W/m ²
Årlig energibehov		160 MWh	114 kWh/m ²
Bruktid for beregnet effektbehov		2078 h/år	
Estimert varighetskurve			

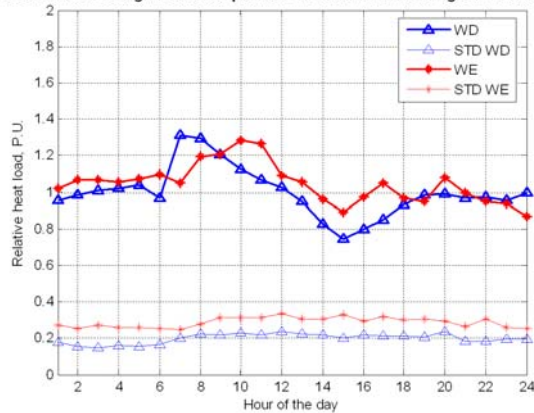
Rapport - HeatQuick 2.1

07-11-02

Prosjekt		Klimadata	
Ansvarlig		Sted	Selbu
Prosjektnavn	Astrid Gaustad	DUT	-20.0 °C
Prosjektnummer	Etter tek 07	Vind	4.6 m/s
Bygg	Selli, del3	Graddagstall	5660 dK
Oppdragsgiver		Årsmiddel	4.5 °C
Bygg		Varme og Ventilasjon	
Areal	1600 m ²	Rom temperatur	20 °C
Form	Rektangulær	Døgndrift ventilasjon	Ja
Frie fasader	3	Vifte om natta:	Halv hastighet
Fasadens tetthet	Normal	Luftvekslingsnivå	7.5 m ³ /m ² /h
Byggeår	Etter 2007	Varmeveksler	70 %
Tappevann		Varmetilskudd	
Type	Helse/Sosialbygg	Internt varmetilskudd	20 W/m ²
Effekt-timesmiddel	12 W/m ²	Fradrag pga. døgndrift	0 W/m ²
Effekt ved magasin	6 W/m ²		
Resultater			
		Totalt	pr. areal
Effektbehov (v/magasinberedning)		86 kW	54 W/m ²
Årlig energibehov		166 MWh	103 kWh/m ²
Bruktid for beregnet effektbehov		1931 h/år	
Estimert varighetskurve			

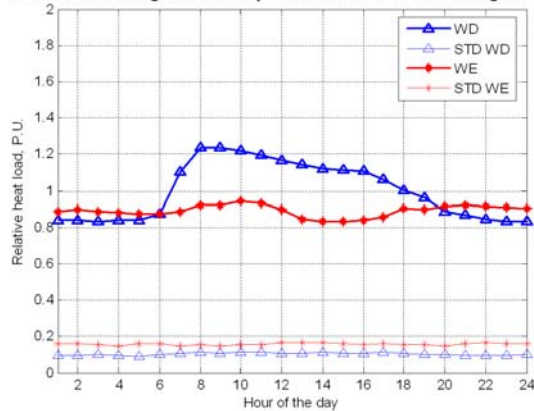
Vedlegg E. Lastprofiler produsert av L. Pedersen.

Generalised design heat load profiles WD and WE including STD SH and AB



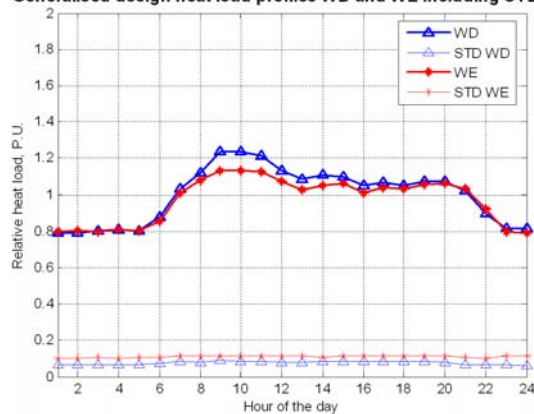
Generell varmelastprofil for eneboliger og leiligheter, ukedager og helg.

Generalised design heat load profiles WD and WE including STD OB



Generell varmelastprofil for kontorbygninger, ukedager og helg, basert på tidsstyring av ventilasjon.

Generalised design heat load profiles WD and WE including STD HB



Generell varmelastprofil for sykehusbygninger, hverdager og helg, inkludert standardavvik.

Vedlegg F. Effektsammenlagring

Tabell over relevante resultater fra prosjektoppgaven
for effektberegninger Klæbu sentrum ved bruk av HQ

Bygg	Kategori	Oppv. gulvareal	Maks. effekt		Energiforbruk		Brukstid
		m ²	kW	W/m ²	MWh	kWh/m ²	h/år
Rådhus	Kontor	4200	269	64	541	129	2010
Bank	Kontor	1900	141	74	271	143	1919
Prix	Handel (kontor)	900	87	97	167	186	1920
Selli	Helse	6000	409	68	924	154	2125
Sykehjem	Helse	565	38	67	76	135	2008
Omsorgsboliger	Helse	850	53	62	97	114	1811
Bolig YX	Bolig	10800	516	48	882	82	1710
Næring YX	Handel (kontor)	5400	266	49	353	65	1329

Helsebygg

Time	Relativ varmelast	Selli		Sykehjem		Omsorgsboliger	
		Maks. effekt pr time		Maks effekt pr time		Maks effekt per time	
		kW	W/m ²	kW	W/m ²	kW	W/m ²
1	0,8	327,2	54,4	30,4	53,6	42,4	49,6
2	0,8	327,2	54,4	30,4	53,6	42,4	49,6
3	0,8	327,2	54,4	30,4	53,6	42,4	49,6
4	0,81	331,29	55,08	30,78	54,27	42,93	50,22
5	0,81	331,29	55,08	30,78	54,27	42,93	50,22
6	0,87	355,83	59,16	33,06	58,29	46,11	53,94
7	1,04	425,36	70,72	39,52	69,68	55,12	64,48
8	1,1	449,9	74,8	41,8	73,7	58,3	68,2
9	1,23	503,07	83,64	46,74	82,41	65,19	76,26
10	1,23	503,07	83,64	46,74	82,41	65,19	76,26
11	1,21	494,89	82,28	45,98	81,07	64,13	75,02
12	1,15	470,35	78,2	43,7	77,05	60,95	71,3
13	1,09	445,81	74,12	41,42	73,03	57,77	67,58
14	1,1	449,9	74,8	41,8	73,7	58,3	68,2
15	1,1	449,9	74,8	41,8	73,7	58,3	68,2
16	1,05	429,45	71,4	39,9	70,35	55,65	65,1
17	1,06	433,54	72,08	40,28	71,02	56,18	65,72
18	1,05	429,45	71,4	39,9	70,35	55,65	65,1
19	1,07	437,63	72,76	40,66	71,69	56,71	66,34
20	1,08	441,72	73,44	41,04	72,36	57,24	66,96
21	1,03	421,27	70,04	39,14	69,01	54,59	63,86
22	0,9	368,1	61,2	34,2	60,3	47,7	55,8
23	0,8	327,2	54,4	30,4	53,6	42,4	49,6
24	0,8	327,2	54,4	30,4	53,6	42,4	49,6

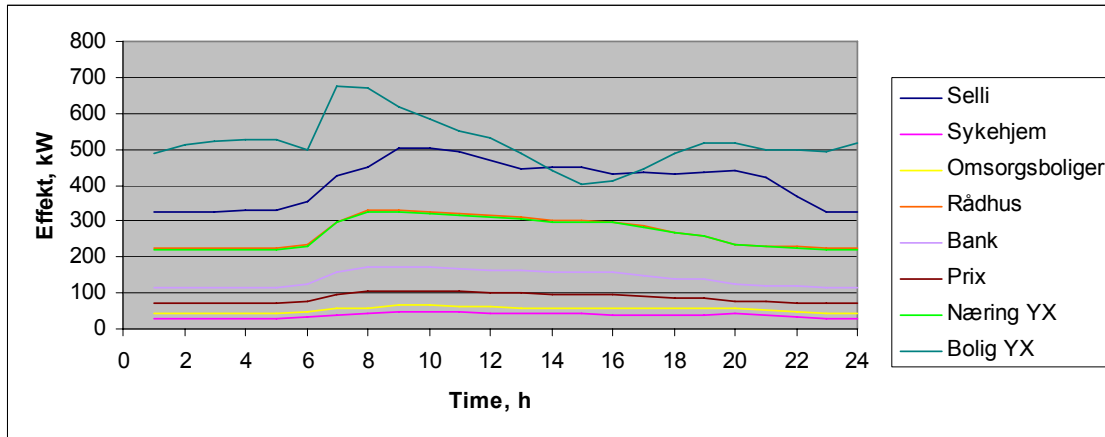
Kontor

Time	Relativ varmelast	Rådhus		Bank		Prix		Næring YX	
		Maks. effekt pr time		Maks effekt pr time		Maks effekt per time		Maks effekt per time	
		kW	W/m ²	kW	W/m ²	kW	W/m ²	kW	W/m ²
1	0,83	223,27	53,12	117,03	61,42	72,21	80,51	220,78	40,67
2	0,83	223,27	53,12	117,03	61,42	72,21	80,51	220,78	40,67
3	0,83	223,27	53,12	117,03	61,42	72,21	80,51	220,78	40,67
4	0,83	223,27	53,12	117,03	61,42	72,21	80,51	220,78	40,67
5	0,83	223,27	53,12	117,03	61,42	72,21	80,51	220,78	40,67
6	0,87	234,03	55,68	122,67	64,38	75,69	84,39	231,42	42,63
7	1,11	298,59	71,04	156,51	82,14	96,57	107,67	295,26	54,39
8	1,23	330,87	78,72	173,43	91,02	107,01	119,31	327,18	60,27
9	1,23	330,87	78,72	173,43	91,02	107,01	119,31	327,18	60,27
10	1,21	325,49	77,44	170,61	89,54	105,27	117,37	321,86	59,29
11	1,19	320,11	76,16	167,79	88,06	103,53	115,43	316,54	58,31
12	1,17	314,73	74,88	164,97	86,58	101,79	113,49	311,22	57,33
13	1,15	309,35	73,6	162,15	85,1	100,05	111,55	305,9	56,35
14	1,12	301,28	71,68	157,92	82,88	97,44	108,64	297,92	54,88
15	1,12	301,28	71,68	157,92	82,88	97,44	108,64	297,92	54,88
16	1,11	298,59	71,04	156,51	82,14	96,57	107,67	295,26	54,39
17	1,07	287,83	68,48	150,87	79,18	93,09	103,79	284,62	52,43
18	1	269	64	141	74	87	97	266	49
19	0,97	260,93	62,08	136,77	71,78	84,39	94,09	258,02	47,53
20	0,88	236,72	56,32	124,08	65,12	76,56	85,36	234,08	43,12
21	0,86	231,34	55,04	121,26	63,64	74,82	83,42	228,76	42,14
22	0,85	228,65	54,4	119,85	62,9	73,95	82,45	226,1	41,65
23	0,83	223,27	53,12	117,03	61,42	72,21	80,51	220,78	40,67
24	0,83	223,27	53,12	117,03	61,42	72,21	80,51	220,78	40,67

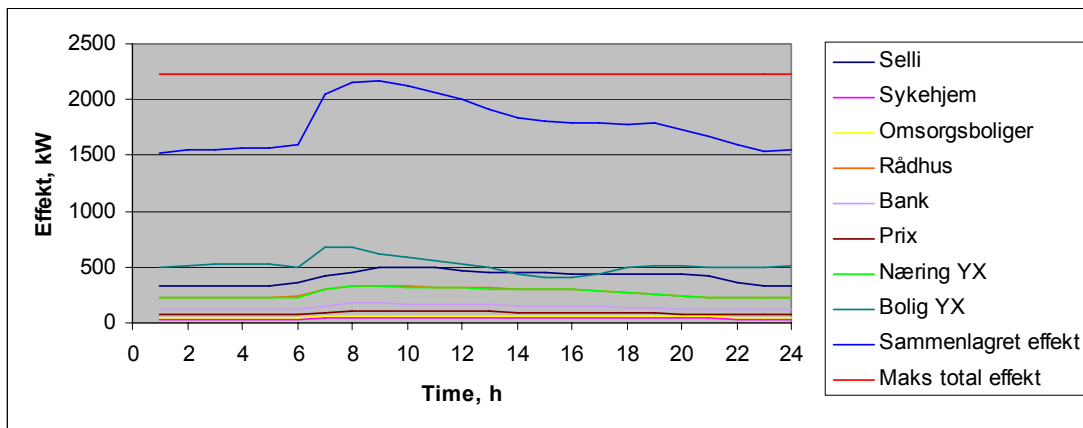
Bolig			
Time	Relativ varmelast	BoligYX	
		Maks. effekt pr time	
		kW	W/m2
1	0,95	490,2	45,6
2	0,99	510,84	47,52
3	1,01	521,16	48,48
4	1,02	526,32	48,96
5	1,025	528,9	49,2
6	0,97	500,52	46,56
7	1,31	675,96	62,88
8	1,3	670,8	62,4
9	1,2	619,2	57,6
10	1,13	583,08	54,24
11	1,07	552,12	51,36
12	1,03	531,48	49,44
13	0,95	490,2	45,6
14	0,85	438,6	40,8
15	0,78	402,48	37,44
16	0,8	412,8	38,4
17	0,86	443,76	41,28
18	0,95	490,2	45,6
19	1	516	48
20	1	516	48
21	0,97	500,52	46,56
22	0,97	500,52	46,56
23	0,96	495,36	46,08
24	1	516	48

Totaleffekt		
Time	Sammenlagret effekt	Alle bygg,
		total effekt
		kW
h		
1	1523,49	2224,29
2	1544,13	2224,29
3	1554,45	2224,29
4	1564,61	2224,29
5	1567,19	2224,29
6	1599,33	2224,29
7	2042,89	2224,29
8	2159,29	2224,29
9	2172,69	2224,29
10	2121,31	2224,29
11	2065,09	2224,29
12	1999,19	2224,29
13	1912,65	2224,29
14	1843,16	2224,29
15	1807,04	2224,29
16	1784,73	2224,29
17	1790,17	2224,29
18	1778,2	2224,29
19	1791,11	2224,29
20	1727,44	2224,29
21	1671,7	2224,29
22	1599,07	2224,29
23	1528,65	2224,29
24	1549,29	2224,29

Effektprofil for ulike bygninger



Effektsammenlagring



Vedlegg G. Samtidighetsfaktor

Samtidighetsfaktor

$$S_n = \frac{P_n(t_{MAKS})}{P_{n,maks}}$$

S_n

$P_n(t_{MAKS})$

$P_{n,maks}$

Samtidighetsfaktor hos abonnent n

Effektuttak hos abonnent n ved tidspunkt gruppens maksimale effektuttak forekommer

Maksmalt effektuttak hos abonnent n

Bygg	Abos. Effekt ved t maks	Abos. maks effekt	tidspkt abos. maks effekt	Samtidighetsfaktor
	kW	kW	kl	
Rådhus	331	331	8 og 9	1
Bank	173	173	8 og 9	1
Prix	107	107	8 og 9	1
Selli	503	503	9 og 10	1
Sykehjem	47	47	9 og 10	1
Omsorgsboliger	65	65	9 og 10	1
Bolig YX	619	676	7	0,92
Næring YX	327	327	8 og 9	1

Vedlegg H. Beregning av effekt- og energireduksjon

V_t	Varmetapstallet		[W/°C·m ²]
P_{bygg/m^2}	Effektbehov per m ² i bygning ved dimensjonerende forhold, beregnet i HQ		[kW]
T_{inne}	Temperatur inne kontor og handel	20	[°C]
T_{inne}	Temperatur inne bolig og omsorg	22	[°C]
T_{dim}	Dimensjonerende utetemperatur	-20	[°C]
$T_{balanse}$	Balansetemperatur for aktuell bygning		[°C]
$P_{tilskudd}$	internt effekttilskudd		[W/m ²]
$P_{reduksjon,\%}$	Effektreduksjon		[%]
$T_{balanse, idag}$	Balansetemperatur i bygninger per i dag		[°C]
$T_{balanse, 07}$	Balansetemperatur i bygninger ved TEK 07		[°C]
$T_{opp\ var\ min\ gsbehov}$	Temperaturområde hvor bygning har et oppvarmingsbehov		[°C]
$W_{endring,\%}$	Prosentvis endring i energibehov		[%]
GT_{idag}	Gradtimetall per i dag		[h]
GT_{TEK07}	Gradtimetall etter TEK 07		[h]

Varmetapstall:

$$V_t = \frac{P_{bygg/m^2}}{T_{inne} - T_{dim}}$$

Balansetemperatur:

$$T_{balanse} = T_{inne} - \frac{P_{tilskudd}}{V_t}$$

Effektreduksjon i %:

$$P_{reduksjon,\%} = \frac{T_{balanse, idag} - T_{balanse, 07}}{T_{opp\ var\ min\ gsbehov}}$$

$$T_{opp\ var\ min\ gsbehov} = -T_{dim} + T_{balanse, idag}$$

Energireduksjon i %:

$$W_{endring,\%} = \frac{GT_{idag} - GT_{TEK07}}{GT_{idag}}$$

Effektreduksjon

Bygg	Effektforbruk per i dag		Effektforbruk tek 07		Varmetapstall per i dag	Varmetapstall tek 07	Tilskudd	T bal., per i dag	T bal., tek 07	% effekt-reduksjon
	kW	W/m2	kW	W/m2	W/oC*m2	W/oC*m2	W/m2	oC	oC	
Rådhus	269	64	208	49	1,60	1,23	20	7,5	3,7	13,9
Bank	141	74	109	57	1,85	1,43	20	9,2	6,0	11,0
Prix	87	97	46	51	2,43	1,28	29	8,0	-2,7	38,5
Selli	409	68	308	52	1,62	1,24	9	16,4	14,7	4,7
Sykehjem	38	67	38	67	1,60	1,60	9	16,4	16,4	0,0
Omsorgsboliger	53	62	52	61	1,55	1,53	9	14,2	14,1	0,3
Bolig YX	516	48	516	48	1,14	1,14	7,1	15,8	15,8	0,0
Næring YX	266	49	266	49	1,23	1,23	26	-1,2	-1,2	0,0

Energireduksjon

Bygg	Effektforbruk per i dag		Effektforbruk TEK 07		Varmetapstall per i dag	Varmetapstall TEK 07	Tilskudd	T bal., per i dag	T bal., TEK 07	% effekt-reduksjon
	kW	W/m2	kW	W/m2	W/oC*m2	W/oC*m2	W/m2	oC	oC	
Rådhus	269	64	208	49	1,60	1,23	20	7,5	3,7	13,9
Bank	141	74	109	57	1,85	1,43	20	9,2	6,0	11,0
Prix	87	97	46	51	2,43	1,28	29	8,0	-2,7	38,5
Selli	409	68	308	52	1,62	1,24	9	16,4	14,7	4,7
Sykehjem	38	67	38	67	1,60	1,60	9	16,4	16,4	0,0
Omsorgsboliger	53	62	52	61	1,55	1,53	9	14,2	14,1	0,3
Bolig YX	516	48	516	48	1,14	1,14	7,1	15,8	15,8	0,0
Næring YX	266	49	266	49	1,23	1,23	26	-1,2	-1,2	0,0

Bygd etter 97

Bygd etter 97
Bygg eksisterer ikke i dag
Bygg eksisterer ikke i dag