



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2022 30 stp
Fakultet for realfag og teknologi

Reduksjon av termiske effekttopper i fjernvarmenett – en casestudie av Veterinærhøgskolen på Ås

Reduction of thermal power peak in district heating
network – a case study of Faculty of Veterinary
Medicine at Ås

Ida Elise Råbøl Mæhlum
Miljøfysikk og fornybar energi

Forord

Med denne oppgava avslutter jeg studietiden min på NMBU. Det er rart hvor glad man kan bli i et sted som Ås, som verken har høye fjell eller et vann å bade i. Likevel blir det vemodig å reise fra dette stedet, som jeg personlig vil påstå er Norges fineste studiested. Takk til alle de fantastiske folkene jeg har vært så heldig å få bli kjent med i løpet av mine fem år her på Ås. Dere har gjort studiehverdagen til en sann glede.

Tusen takk til Heidi Samuelsen Nygård for gode samtaler underveis i masterprosessen. Takk for gode innspill og oppmuntrende ord da jeg trengte det. Jeg vil også takke Åshild Grøtan for gode og konstruktive tilbakemeldinger på oppgaven.

Takk til Eiendomsavdelingen på NMBU for at jeg fikk fordype meg i energibruken på veterinærbygget. Det har virkelig vært en lærerik og spennende prosess. Takk til Trond Langseth og Dag-Kjetil Buran for at dere alltid har vært tilgjengelige for spørsmål, og takk for tålmodigheten deres i alt jeg har lurt på.

Til gjengen i Bjørkestubben 7, dere har alltid vært der i oppturer og nedturer. Takk for all tid vi har hatt sammen her på Ås. Jeg kunne ikke drømt om et bedre kollektiv enn dere. Jeg vil også takke gjengen på mastersalen. Vi er vel alle glade for at samfunnet åpnet så vi fikk sitte sammen på skolen igjen. Takk for alle kaffepauser, samtaler, delte tanker og erfaringer i masterskrivingen. Og til slutt, takk kjære Edvard. Tusen takk for at du alltid er der, og for at du alltid heier på meg.

I studietiden på Ås har jeg fått møte engasjerte studenter og forelesere som brenner for det de tror på, og som virkelig ønsker å dele av sin kunnskap. Er det én ting jeg tar med meg fra masterprosessen så er det at ting blir utrolig mye enklere hvis man tør å spørre om hjelp. La oss derfor fortsette å hjelpe og heie på hverandre.

*du mener livet er en kamp
jeg er enig
men rett som det er
er det hjemmekamp
og vi topper laget
har sola i ryggen
medvind
alle heier på oss*

-Trygve Skaug

Ås, 15. mai 2022

Ida Elise Råbøl Mæhlum

Sammendrag

I dagens samfunn, der behovet for klimaomstilling og mer fornybar energi haster, er det viktig å bruke den tilgjengelige energien best mulig. I Norge står bygg for 40 % av energibruken i landet, og 79 % av strømforbruket i bygg går til oppvarming og varmtvann. Samtidig står samfunnet overfor en stor elektrifisering, der kraftnettet flere steder stadig nærmer seg sin begrensende kapasitet. Dersom bygg benytter termisk energi til oppvarming kan strømforbruket i bygg betraktelig reduseres. Fjernvarme er et godt alternativ til elektrisk oppvarming, og for å bruke fjernvarmenettet effektivt er det lurt å styre unna store effekttopper. Effekttopper oppstår når store termiske laster forbrukes samtidig, og denne masteroppgaven tar for seg hvordan effekttopper i fjernvarmeforsyningen til veterinærbygget på Ås kan reduseres. Oppgaven tar også for seg hvilke økonomiske besparelser NMBU kan oppnå ved en slik effekttoppreduksjon.

Første del av resultater fremstiller fjernvarmeforbruket på veterinærbygget fra 1. desember 2021 til 28. februar 2022. Deretter ble det laget en teoretisk simulering der enkelte laster ble redusert eller koblet ut i korte tidsperioder for å redusere de totale effekttoppene i fjernvarmeforsyningen. Tre forskjellige tiltak for å redusere effekttopper ble undersøkt, der tiltak 1 gikk ut på å redusere eller skru av romoppvarmingslastene, radiatorer og gulvvarme i to timer når effekttopper oppstår. I tiltak 2 ble utvalgte ventilasjonslaster som går til kontorer og grupperom skrudd av i én time. Snøsmelteanlegget utenfor veterinærbygningen er også koblet på samme fjernvarmeforsyning, og dette anlegget bidrar betydelig til termiske effekttopper. I tiltak 3 ble det derfor undersøkt hvordan en effektgrense for snøsmelteanlegget kan bidra til reduserte effekttopper totalt sett for bygget. Et sannsynlig driftsscenario vil også være en kombinasjon av tiltakene, og det ble derfor testet ut hvilken betydning en kombinasjon av disse tiltakene vil ha for effekttoppreduksjon. Det ble valgt nye effektgrenser for snøsmelteanlegget, og romoppvarming og ventilasjon ble skrudd av i henholdsvis én og to timer, ved lik effektgrense. Dette ga en effekttoppreduksjon på 464 kW i desember, 460 kW i januar og 485 kW i februar. Med denne reduksjonen var det mulig å spare 168 825 kr i fjernvarmekostnader til veterinærbygningen, som tilsvarer en kostnadsreduksjon for Eiendomsavdelingen i disse månedene på 1,6 %.

I alle tre tiltakene som har blitt undersøkt vil valget av effektgrense ha stor betydning for hvor mye effekttopper kan reduseres. Da effektgrensene ble valgt ble det undersøkt hvor lavt grensen kunne settes for å redusere de høyeste effekttoppene i fjernvarmenettet, og samtidig unngå å skru av laster som ikke bidrar til lavere effekttopp. Med de effektgrensene som ble valgt blir dermed kun de lastene som bidrar til effekttoppreduksjon totalt sett redusert. Denne metoden baserer seg på at man vet forbruket for en hel måned, men i en reell driftssituasjon må en effektgrense velges i forkant. Valg av effektgrenser i en reell driftssituasjon bør dermed benytte historisk data for å velge effektgrenser som er best tilpasset det forventede forbruket.

Gjeninnkoblingseffekten har ikke blitt tatt hensyn til. Siden de største effekttoppene i fjernvarmeforbruket har varighet på kun én time, vil gjeninnkoblingseffekten trolig ikke bidra til forsterkede effekttopper. Dersom effektgrensene senkes, slik at laster kobles ut oftere, er det mulig at gjeninnkoblingseffekten kan bidra til større effekttopper totalt sett. Dette bør i så fall testes ut. Oppgaven har heller ikke tatt for seg hvilke konsekvenser en utkobling vil ha for inneklimaet. For å opprettholde et godt inneklima er det først og fremst ønskelig å koble ut laster i rom der det ikke er folk. Ved å innføre en smart styring av bygget der brukerne selv kan gi tilbakemelding på inneklimaet, er det mulig å finne krysningpunkter for god inneklimaet. Sensorer og timeplaner over når ulike rom er i bruk, i kombinasjon med historisk data, vil kunne gi informasjon om fleksibilitetspotensialet til enhver tid, og på den måten kan laster reduseres uten at dette får negative konsekvenser for brukerne av bygget.

Snøsmelteanlegget hadde vinteren 2021/2022 et energiforbruk på 87 kWh/m², med effekttopper oppmot 2 000 kW. Anlegget har i dag ingen standby-drift på verken bakken eller fjernvarmevannet, og dette er en av årsakene til at store effekthopp oppstår når anlegget skrus på. Størrelsen på effekttoppene avhenger ikke av nedbørintensitet, men hvilken temperatur vannet i fjernvarmeanlegget har i forhold til settpunkt når anlegget skrus på. Dersom anlegget hadde blitt styrt opp mot en værtjeneste kunne temperaturen på fjernvarmevannet gravis økt til settpunkt de periodene det er meldt snø, og effekttoppene i anlegget kunne blitt redusert. I oppgaven har det ikke blitt testet, og det anbefales derfor å teste dette i praksis. Ved å redusere effekttopper i snøsmelteanlegget vil også de totale effekttoppene for veterinærbygget reduseres betraktelig.

Abstract

In today's society the need of more renewable energy is urgent, and it is important to use the available energy in the best possible way. In Norway, buildings accounts for 40 % of the energy consumption in the country, and 79 % of the electricity consumption in buildings goes to heating and hot water. At the same time, society is facing a major electrification, where the power grid in several places is constantly approaching its limiting capacity. If buildings use thermal energy for heating, the electricity consumption in buildings can be significantly reduced. District heating is a good alternative to electric heating, and in order to use the district heating network efficiently, it is a good idea to avoid large power peaks. Power peaks occur when large thermal loads are consumed at the same time, and this master's thesis deals with how power peaks in the district heating supply to the veterinary building at Ås can be reduced. The thesis also addresses the financial savings NMBU can achieve by such a power reduction.

The first part of the results shows the district heating consumption on the veterinary building from 1 December 2021 to 28 February 2022. Then a theoretical simulation was made where certain loads were reduced or switched off for short periods to reduce the total power peaks in the district heating supply. Three different measures to reduce power peaks were investigated, where measure 1 involved reducing or turning off the space heating loads, radiators and underfloor heating for two hours when power peaks occur. In measure 2, selected ventilation loads that goes to offices and group rooms were turned off for one hour. The snow melting plant outside the veterinary building is also connected to the same district heating supply, and this plant contributes significantly to thermal power peaks. In measure 3, it was therefore investigated how a power limit for the snow melting system can contribute to reduced power peaks overall for the building. A probable operating scenario will also be a combination of these measures, and it was therefore tested what significance a combination of these measures will have for effect reduction. New power limits were chosen for the snow melting system, and space heating and ventilation were switched off for one and two hours, respectively, at the same power limit. This resulted in a power reduction of 464 kW in December, 460 kW in January and 485 kW in February. With this reduction, it was possible to save NOK 168,825 in district heating costs for the veterinary building, which corresponds to a cost reduction for the department of Estates and Facilities in these months of 1,6 %.

In all three measures that have been examined, the choice of power limit will be of great importance how much power peaks can be reduced. When the power limits were chosen, it was investigated how low the limit could be set to reduce the highest power peaks in the district heating network, and at the same time avoid to turn off loads that do not contribute to lower power peaks. With the chosen power limits, only loads that contribute to power reduction in total was reduced. This method is based on knowing the consumption for a whole month, but in a real operating situation, a power limit must be chosen in advance. Choice of power limits in a real operating situation should thus use historical data to select the power limits that are best adapted to the expected consumption.

The rebound effect has not been taken into account. Since the largest power peaks in district heating consumption have a duration of only one hour, the rebound effect will probably not contribute to amplified power peaks. If the power limits are lowered, so that loads are disconnected more often, it is possible that the rebound effect can contribute to larger power peaks overall. In that case, this should be tested. The task has neither addressed the consequences of a disconnection for the indoor climate. In order to maintain a good indoor climate, it is first and foremost desirable to disconnect loads in rooms with no people. By introducing a smart control of the building where users themselves can give feedback on the indoor climate, it is possible to find crossing points for good indoor comfort. Sensors and timetables for when different rooms are in use, in combination with historical data, will be able to provide information about the flexibility potential at any given time, and in this way loads can be reduced without giving negative consequences for the users of the building.

In the winter of 2021/2022, the snow melting plant had an energy consumption of 87 kWh/m², with power peaks of up to 2 000 kW. The system currently has no standby operation on either the ground or the district heating water, and this is one of the reasons why large power jumps occur when the system is switched on. The size of the power peaks does not depend on precipitation intensity, but on the temperature of the water in the district heating system in relation to the set point when the system is switched on. If the plant had been steered towards a weather service, the temperature of the district heating water could have increased gravely to the set point during the periods when snow has been reported, and the power peaks in the plant could have been reduced. In the thesis, this has not been tested, and it is therefore recommended to test this in practice. By reducing power peaks in the snow melting plant, the total power peaks for the veterinary building will also be reduced considerably.

Innhold

1	Introduksjon	1
1.1	Bakgrunn og motivasjon	1
1.2	Problemstilling	2
1.3	Avgrensninger	3
2	Teori	4
2.1	Energisystemet i Norge	4
2.2	Termisk energi	5
2.3	Energioptimalisering i bygg	6
2.4	Fleksibilitet	8
2.5	Varmebehov og oppvarming av bygninger	9
2.6	Ventilasjon i bygninger	10
2.7	Fjernvarme	11
2.8	Vannbåren oppvarming	14
2.9	Prising av fjernvarme	18
3	Casestudie: fjernvarmeforbruk på Veterinærhøgskolen	20
3.1	Veterinærbygget	20
3.2	Energiforsyning	21
3.3	Fjernvarme i veterinærbygget	22
3.4	Snøsmelteanlegget tilknyttet veterinærbygget	24
3.5	Prising av fjernvarme til veterinærbygget	28
4	Metode	29
4.1	Forarbeid	29
4.2	Datainnhenting og korrigerings av energidata	30
4.3	Valg av tidsperiode	32
4.4	Analyse og simuleringer	33
4.4.1	Reduksjon av effekttopper	33
4.4.2	Valg av effektgrense	35
4.5	Snøsmelteanlegget	37
5	Resultat og diskusjon	39
5.1	Fjernvarmeforbruk på veterinærbygget	39
5.2	Snøsmelteanlegget	43
5.2.1	Diskusjon og forslag til forbedret styring	48
5.3	Laststyring og lastbegrensning	49
5.3.1	Generell diskusjon	56
5.4	Valg av data og tidsperiode for oppgaven	59
5.5	Betydningen av funnene for Campus Ås og BEFAB-prosjektet	60
6	Konklusjon og videre arbeid	61
6.1	Konklusjon	61
6.2	Videre arbeid	62

A	Grafisk fremstilling av fjernvarmeforbruk med laststyring	66
A.1	Utkobling av romoppvarmingslaster i desember 2021, januar 2022 og februar 2022	66
A.2	Utkobling av ventilasjonslaster i desember 2021, januar 2022 og februar 2022	68
A.3	Effektbegrensning for snøsmelteanlegget i desember 2021, januar 2022 og februar 2022	69
B	Beregning av økonomisk besparelse ved bruk av laststyring	71
C	Python-kode for simulering av effekttoppreduksjon	72

Figurer

2.3.1	Tiltak for energioptimalisering av bygg	7
2.3.2	Ulike måter å redusere effekttopper på	7
2.4.1	Illustrasjon av gjeninnkoblingseffekten	8
2.7.1	Illustrasjon av fjernvarmeanlegg	12
2.7.2	Fordeling av energikilder som ble benyttet i fjernvarmeanlegg i Norge i 2020	13
2.8.1	Bilde av radiator	15
2.8.2	Illustrasjon på hvordan ventilasjonsluft varmes opp i et vannbårent varmebatteri	15
2.8.3	Skisse av varmegjenvinner	16
3.1.1	Bilde av veterinærbygget på Ås	20
3.3.1	Forenklet figur av fjernvarmetilførselen i Veterinærbygget	22
3.4.1	Oversikt over hvor snøsmelteanlegget utenfor veterinærbygget ligger	24
3.4.2	Systemskjema for område 2 i snøsmelteanlegget	25
3.4.3	Illustrasjonsbilde av energimåler	25
3.4.4	Bilde av grosh-plate	26
4.1.1	Skjermbilde av SD-anlegget, Desigo CC	29
4.2.1	Skjermbilde av Energinet	30
4.2.2	Illustrasjon av sammenhengen mellom hovedmåler og undermåler i et fjernvarmeanlegg	31
4.2.3	Illustrasjon av hvordan energimålerne i veterinærbygget henger sammen	32
4.4.1	Flytskjema av metoden som ble benyttet for å studere mulighetene for effekttoppreduksjon på Veterinærhøgskolen	34
4.4.2	Valg av effektgrense, der ny effekttopp er lik P_{grense}	35
4.4.3	Valg av effektgrense, der ny effekttopp er høyere enn P_{grense}	36
5.1.1	Grafisk fremstilling av det totale fjernvarmeforbruket på veterinærhøgskolen	40
5.1.2	Kakediagram som viser fordeling av fjernvarmeforbruket på veterinærbygget	41
5.1.3	Fjernvarmeforbruk til ulike laster i desember 2021, januar 2022 og februar 2022	42
5.2.1	Samlet energiforbruk for snøsmelteanlegget i område 2 i januar og februar	43
5.2.2	Vanntemperaturen og settpunktstemperaturen ved måler RT4001, plottet mot energiforbruket til snøsmelteanlegget	44
5.2.3	Plassering av grosh-plate hesteinngang	45
5.2.4	Energiforbruket til snøsmelteanlegget plottet mot nysnø og nedbør	46

5.2.5	Energiforbruket til snøsmelteanlegget plottet mot fuktighet registrert på grosh-platene	47
5.2.6	Plot med sammenheng mellom energiforbruk til snøsmelteanlegget og ulike temperaturer i tilfeldig periode februar 2022	49
5.3.1	Valg av effektgrense for snøsmelteanlegget	51
5.3.2	Fargekart over effekttoppreduksjon i desember 2021 ved ulike effektgrenser	52
5.3.3	Fargekart over effekttoppreduksjon i januar 2022 ved ulike effektgrenser .	52
5.3.4	Fargekart over effekttoppreduksjon i februar 2022 ved ulike effektgrenser .	53
5.3.5	Fjernvarmeforbruk for desember 2021, januar 2022 og februar 2022 dersom de tre effektbegrensende tiltakene hadde blitt kombinert	54
5.3.6	Varighetskurve for opprinnelig og simulert forbruk	55
A.1.1	Energiforbruket ved utkobling av romoppvarmingslaster i desember 2021 .	66
A.1.2	Energiforbruket ved utkobling av romoppvarmingslaster i januar 2022 . .	67
A.1.3	Energiforbruket ved utkobling av romoppvarmingslaster i februar 2022 . .	67
A.2.1	Energiforbruket ved utkobling av ventilasjonslaster i desember 2021	68
A.2.2	Energiforbruket ved utkobling av ventilasjonslaster i januar 2022	68
A.2.3	Energiforbruket ved utkobling av ventilasjonslaster i februar 2022	69
A.3.1	Energiforbruket ved innføring av effektgrense for snøsmelteanlegget i desember 2021	69
A.3.2	Energiforbruket ved innføring av effektgrense for snøsmelteanlegget i januar 2022	70
A.3.3	Energiforbruket ved innføring av effektgrense for snøsmelteanlegget i februar 2022	70

Tabeller

2.8.1	Kostnader knyttet til ulike måter å fjerne snø på	17
2.9.1	Prising av fjernvarme Fortum Oslo	19
3.2.1	Virkningsgrad og produksjon til energikildene som benyttes i fjernvarme- anlegget på Ås	21
3.4.1	Beskrivelse av snøsmelteområdene utenfor veterinærbygget	27
4.4.1	Forklaring av lastkategoriene som benyttes i oppgaven	33
4.5.1	Nedbørstype som detekteres av nedbørsmåleren fra Thies	38
5.1.1	Energibruk for veterinærbygget i desember 2021, og januar og februar 2022	39
5.1.2	Dimensjonerende effekt og gjennomsnittseffekten for hovedkurs varme på Veterinærhøyskolen	40
5.3.1	Reduksjon av effekttopper ved styring av romoppvarmingslaster	50
5.3.2	Økonomisk gevinst av effekttoppreduksjon ved styring av romoppvar- mingslaster	50
5.3.3	Potensialet for effekttoppreduksjon ved utkobling av ventilasjonslaster . .	50
5.3.4	Potensialet for effekttoppreduksjon med effektgrense for snøsmelteanlegget	51
5.3.5	Effekttoppreduksjon og økonomiske besparelser ved kombinasjon av ef- fektreduserende tiltak	53

Kapittel 1

Introduksjon

1.1 Bakgrunn og motivasjon

I Norge utgjør bygg ca. 40 % av energibruken i landet, og det meste av forbruket kommer fra elektrisitet [1]. I et EU-prosjekt med over hundre norske husholdninger kom det fram at 64 % av strømforbruket går til oppvarming av bolig, og 15 % går til varmtvann [2]. Samtidig varsler FNs klimapanel i sin sjette hovedrapport at behovet for klimaomstilling aldri har vært mer kritisk [3]. I omstillingen av samfunnet der olje og gass må utfases, står samfunnet ovenfor en stor elektrifisering der stadig mer blir avhengig av strøm. Fossile biler, lastebiler og båter blir elektriske, i tillegg til at både petroliumsindustrien og annen industri elektrifiseres. Dette krever at kraftnettet må ha kapasitet til å håndtere denne sektoren. Når etterspørselen etter strøm øker, må kraftnettet bygges ut, og dette er svært kostbare investeringer. Ifølge Norges energi- og vassdragsdirektorat (NVE) vil nettinvesteringer utgjøre mellom 9 og 16 milliarder kroner, dersom det antas at kraftforbruket i Norge øker med 23 TWh mot 2040 [4]. Å bruke den tilgjengelige energien i samfunnet på en smartere måte blir dermed stadig mer aktuelt for å unngå unødvendig store kostnader knyttet til nettinvesteringer, og samtidig sikre nok energi i fremtiden.

En god måte å varme opp bygg på er å benytte fjernvarme. Fjernvarme er vannbåren varme, som i hovedsak benytter overskuddsvarme fra samfunnet [5]. Denne overskuddsvarmen kommer fra prosesser som uansett ville avgitt varme, som for eksempel forbrenning av avfall eller overskuddsvarme fra datasentre. Varmen kan også komme fra forbrenning av biomasse, eller utnytte omgivelsesvarme fra sjø eller berggrunnen ved hjelp av en varmpumpe. Dette er fornybar energi som ellers ikke ville blitt utnyttet, og det er dermed en lur måte å varme opp bygg på. Ved å benytte fjernvarme til oppvarming i bygg kan store deler av strømforbruket reduseres, og elektrisiteten kan benyttes der man ikke har andre alternativer, som for eksempel elbillading eller strøm til elektriske komponenter i bygget.

Fjernvarme kan også være økonomisk lønnsomt. Selve installasjonen i bygget kan være kostbar, men det vil kunne lønne seg på sikt ettersom fjernvarmeprisen er lovpålagt å aldri overskride strømprisen [6]. I dag er fjernvarme priset på samme måte som strøm, med et effektledd som bestemmes ut i fra høyeste effekttopp i en gitt periode. Jo høyere effekttopp forbrukeren har, desto dyrere blir regningen. Effekttopper oppstår når mange forbrukere bruker energi fra samme energibærer samtidig, og fjernvarmeanlegget må dermed levere høy effekt til forbrukerne på dette tidspunktet. Enkelte fjernvarmeanlegg som ikke klarer å produsere nok effekt med sin primære energikilde, må dermed ty til fossile energikilder for å dekke disse effekttoppene. Reduksjon av effekttopper i fjernvarmesektoren vil dermed gi lavere driftskostnader, og for enkelte anlegg vil det også redusere bruken av fossil energi.

Norges miljø- og biovitenskaplige universitet (NMBU) har i sine miljø- og bærekraftsmål et ønske om å redusere energiforbruket og effekttopper, samt utnytte arealene på NMBU bedre. I den sammenheng har det blitt satt i gang utredningsprosjekt fra Eiendomsavdelingen på NMBU under tittelen ”brukerorientert energi og fleksibilitetsstyring av bygg i nabolag” (BEFAB). Konseptet går ut på å betrakte campus Ås som et ”smart” nabolag, der byggene samarbeider for å redusere energiforbruket og effekttopper. For å holde energiforbruket til et minimum er det ønskelig opprettholde en balanse mellom forbrukernes behov og byggets nødvendige ytelse [7]. Dette krever en smart styring av byggene, med blant annet prediksjon av hvor mange som kommer til å være i et bygg eller et rom til enhver tid. Prosjektet er i startfasen, og Eiendomsavdelingen ønsker å kartlegge hvordan dagens energiforbruk på campus er, samt hvilke fleksibilitetsmuligheter ulike bygg har. I den sammenheng er det interessant å undersøke energiforbruket på Veterinærhøgskolen, som sto ferdig våren 2021 og som er det mest moderne bygget på Campus. Bygget benytter fjernvarme til oppvarming av rommene, samt til oppvarming av ventilasjonsluft og tappevann. I tillegg benyttes fjernvarme til å smelte snø og is utenfor bygget. Hensikten med denne masteroppgaven er å undersøke fjernvarmeforbruket på Veterinærhøgskolen og potensialet for å redusere effekttopper, og dermed også redusere NMBUs fjernvarmekostnader.

1.2 Problemstilling

Hovedproblemstillingen for masteroppgaven er hvordan effekttopper i fjernvarmetilførselen til Veterinærbygget kan reduseres. Dette er et ønske fra Eiendomsavdelingen på NMBU, da fjernvarmekostnadene avhenger av største effekttopp i hver måned. Å redusere effekttopper vil dermed gi lavere driftskostnader for NMBU.

Masteroppgaven kan generelt deles inn i tre deler, der følgende undersøkes

1. **Kartlegging av fjernvarmeforbruk på Veterinærhøgskolen.** I en utvalgt tidsperiode studeres fjernvarmeforbruket på bygget. Her presenteres hvilke laster som er store og som bidrar til å skape effekttopper.
2. **Studering av snøsmelteanlegget.** Her undersøkes driften av snøsmelteanlegget, og muligheter for å forbedre driften og redusere effekttopper for anlegget.
3. **Tiltak for å redusere effekttopper.** Basert på en tidsperiode vinteren 2021/2022 velges det ut tre ulike tiltak som kan redusere effekttopper i fjernvarmeforsyningen til veterinærbygget. Disse tre tiltakene er kun teoretiske simuleringer, der man vurderer hvordan energiforbruket i perioden kunne ha sett ut dersom tiltakene hadde vært innført. De tre tiltakene som undersøkes er
 - Reduksjon av romoppvarmingslaster. Dette innebærer at radiatorer og gulvvarme reduseres eller skrur helt av i to timer.
 - Utkobling av ventilasjon i én time. Det velges ut ventilasjonslaster som tillater at ventilasjonen ikke er på i et kort tidsperiode.
 - Effektbegrensning for snøsmelteanlegget. Det velges en øvre effektgrense som det totale effektforbruket til snøsmelteanlegget ikke kan overskride.

Til slutt kombineres tiltakene for å se hvilken effekt dette har på effekttoppene i fjernvarmetilførselen.

1.3 Avgrensninger

Veterinærbygget er et helt nytt bygg som ble ferdig i 2021, og det har derfor vært noen oppstartsutfordringer med energimålerne på bygget. Alle energimålerne har heller ikke registrert forbruk siden oppstarten av bygget, og dette har naturlignok påvirket den tilgjengelig datamengden. Mesteparten av dataen som blir benyttet i oppgaven er hentet fra 1. desember 2021 til 28.februar 2022, da det var tidsrommet der flest energimålere tilknyttet Veterinærhøgskolen registrerte forbruk.

I oppgaven blir det sett på teoretiske tilfeller der man antar at radiatorer, gulvvarme, ventilasjon er fleksible laster som kan styres. Med styring av laster menes at de enten kan skrus helt av eller driftes på lavere effekt en kort tidsperiode. Når lastene kobles inn igjen etter å ha vært redusert eller avskrudd en periode, vil energiforbruket øke for å opprettholde bestemte settpunker for godt inneklima, såkalt gjeninnkoblingseffekt. I de teoretiske simuleringene for effekttoppreduksjon blir denne effekten ikke tatt hensyn til, men dette vil bli diskutert mot slutten av oppgaven.

Kapittel 2

Teori

2.1 Energisystemet i Norge

Norsk kraftforsyning har den høyeste fornybarandelen i Europa [8], med en total netto kraftproduksjonen i 2021 på 157 TWh. Mesteparten av energiproduksjonen kommer fra vannkraft, som har en normalårsproduksjon på 153,2 TWh. De siste årene har det også blitt satset stort på både vindkraft og solkraft, der vindkraft i 2021 utgjorde 12 TWh av den totale produksjonen i landet [9], mens solkraft hadde en årlig produksjon på 150–160 GWh [10]. Produksjonen av både solenergi, vannkraft og vindkraft er svært væravhengig, og dette kan by på ustabil energiproduksjon. 2020 var et år med mye nedbør og overfylte magasiner, som førte til lave kraftpriser. I 2021 var situasjonen motsatt, og i andre halvdel av 2021 var det rekordhøye strømpriser i både Norge og ellers i Europa. En periode på høsten dette året ble til og med forsyningssikkerheten i Norge meldt til å være ”stram”, som en følge av lite vann i kraftmagasinene. Å benytte ulike energikilder vil dermed være et godt tiltak for å sikre kraftproduksjon i landet ved varierende klima.

Selv om mye av dagens energiproduksjon er knyttet til elektrisitet, finnes det også andre smarte energiløsninger som ikke er like væravhengig. Bioenergi er en viktig fornybar energikilde i Norge, og forbrenning av bioenergi er fortsatt den viktigste oppvarmingskilden i mange boliger [11]. Eksempelvis benyttes bioenergi både som drivstoff og til oppvarming av boliger, og denne oppvarmingen skjer som regel i form av tradisjonell vedfyring eller via fjernvarme. Varmetilførsel med fjernvarme går ut på å varme opp vann som sendes til bygninger for å avgi varmen der. Oppvarmingen av vann kan skje ved forbrenning av biobrensel eller avfall, eller ved annen overskuddsvarme i samfunnet [5]. Det oppvarmede vannet fraktes deretter ut på et fjernvarmenett som består av isolerte rør nedgravd i bakken. Siden 1992 har fjernvarmeforbruket i Norge jevnt over økt, og i 2020 lå levert energi på 5 369 GWh [12]. Fjernvarme er termisk energi, og ved å benytte denne energiformen til oppvarming av boliger kan elektrisitetsforbruket i bygg reduseres. Å benytte termisk energi i bygg har også flere fordeler knyttet til laststyring og fleksibilitet, som vil bli diskutert i oppgaven.

2.2 Termisk energi

I fysikken omtales ofte energi som det som får noe til å skje, altså evnen til utføre et arbeid [13]. For termisk energi er energien knyttet til bevegelsen til partiklene gjenstanden består av. Jo høyere kinetisk energi partiklene har, desto høyere er temperaturen i systemet. Denne energien omtales ofte som varmeenergi da energien alltid overføres fra et sted med høyere temperatur til et sted med lavere temperatur.

Termisk treghet

En egenskap ved termiske laster er at lastene har en såkalt termisk treghet. Termisk treghet kan forklares som evnen et materiale har til å holde på energi, og deretter gradvis frigjøre energien [14]. Hvor mye energi et stoff inneholder kan forklares med stoffets varmekapasitet. I følge Store Norske Leksikon kan varmekapasitet defineres som: ”et mål på hvor mye varme som må tilføres et stoff for å heve temperaturen i stoffet” [15]. Vann har spesifikk varmekapasitet på 4183 J/(K·kg), som er fire ganger så høyt som varmekapasiteten til luft. Den høye varmekapasiteten gjør at vann egner seg godt til energilagring da vannet inneholder mye energi ved en gitt temperatur.

Varmeoverføring

For å forstå hvordan materialer avgir energi, er det nødvendig å forstå hvordan varme forflytter seg. Varme går bare fra et sted med høyere temperatur til et sted med lavere temperatur. Dersom to ulike materialer har ulik temperatur, vil det da settes i gang en varmetransport som hovedsaklig skjer som en kombinasjon av tre transportformer [16]:

1. varmeledning
2. konveksjon
3. varmestråling

Varmeledningsevnen til et materiale er et mål på hvor godt et materiale transporterer varme fra høy temperatur til lavere temperatur, og omtales også som materialets termiske konduktivitet. En metallstav som føres inn i en flamme vil for eksempel fort bli varm, men dersom en fyrstikk blir tent vil treet i fyrstikken ikke bli merkbart varmt. Dette skyldes at metaller er bedre varmeledere enn tre.

Væsker og gasser er, i likhet med tre, også dårlige varmeledere. Varmeledningsevnen til vann ligger på 0,6 W/(K·m), som er relativt lavt sammenlignet med for eksempel kobber som har varmeledningsevne på 385 W/(K·m) [15]. For fluid skjer mye av energioverføringen dermed gjennom konveksjon. Konveksjon er varm væske eller gass som flytter seg eller strømmer. Naturlig konveksjon oppstår når varm fluid med høy tetthet stiger opp, og bytter plass med kaldere fluid med lavere tetthet. Varmeenergien går altså fra et sted med høy temperatur til et sted med lavere temperatur. Tvungen konveksjon er når arbeid tilføres slik at energien forflyttes. Eksempler på dette er radiatorsystemer der vann blir pumpet rundt for å varme opp et hus.

Varme kan også overføres via varmestråling, som er infrarød stråling. Alle overflater sender ut stråling, samtidig som de mottar stråling fra andre overflater. Den utstrålte effekten avhenger av temperaturen til overflaten, der høyere temperatur gir høyere utstrålt effekt.

Energikvalitet

Energikvalitet sier noe om hvor lett energi kan omdannes til andre energiformer [13], og det skiller mellom høyverdig og lavverdig energi. Høyverdig energi er energi som lett kan omformes til andre energityper, som for eksempel elektrisk energi som lett kan omformes til varmeenergi eller strålingsenergi. Energi som ikke like lett kan omformes til andre former, slik som termisk energi i varmt vann, kalles lavverdig energi. For å utnytte energien som er tilgjengelig best mulig er det viktig å utnytte både lavverdig og høyverdig energi. Siden lavverdig energi er vanskeligere å utnytte gjelder det å finne måter denne energien kan utnyttes på slik at den ikke går til spille. Å utnytte termisk energi til oppvarming av boliger og tappevann er en god måte å utnytte lavverdig energi på. I stedet for å bruke elektrisk energi til oppvarming, kan denne energien benyttes i apparater som krever elektrisitet, slik som elbiler eller kjøkkenapparater. På den måten utnyttes den tilgjengelige energien i samfunnet best mulig.

Effekttopper

Når mye energi brukes på samme tid oppstår såkalte effekttopper. Det kan oppstå effekttopper i både kraftnettet og fjernvarmenettet. I fjernvarmenettet oppstår effekttopper typisk på kalde dager når behovet for romoppvarming eller varmt tappevann er størst. Anlegg som bruker fjernvarme til snøsmelting, vil kunne oppleve store effekttopper når det er snøfall og anlegget skrus på. Det er ofte ønskelig å holde energiforbruket så jevnt som mulig for å unngå store effekttopper. Både kraftnettet og fjernvarmenettet må dimensjoneres for den største effekttoppen, og store effekttopper kan dermed føre til dyre investeringer i kraft- og fjernvarmesektoren.

I fjernvarmeanlegg som forsynes med dyr spisslast vil det også være ønskelig å redusere effekttopper. Spisslast er en tilleggslast som benyttes når grunnlasten, altså hovedoppvarmingskilden, ikke klarer å dekke oppvarmingsbehovet. Spisslasten er som regel enten dyrere eller mindre miljøvennlig enn grunnlasten, og det er derfor ønskelig å bruke denne minst mulig [17]. I fjernvarmeanlegg der spisslasten kommer fra en fossil energikilde, vil det være ekstra viktig å redusere effekttopper, slik at fjernvarmeanlegget kan driftes mest mulig fornybart. Fra et forbrukerperspektiv er det også ønskelig å redusere effekttopper, siden dagens prising av fjernvarme tar utgangspunkt i høyeste effekttopp i løpet av en periode. Å redusere effekttopper vil dermed også kunne redusere fjernvarmekostnader betraktelig.

2.3 Energioptimalisering i bygg

For å optimalisere energibruken i bygg kan man ta utgangspunkt i fire sentrale tiltak, som vist i figur 2.3.1. Det første tiltaket, på bunnen av pyramiden, legger grunnlag for hvordan et bygg skal planlegges og bygges. Byggteknisk forskrift (TEK) beskriver minimumsegenskaper et bygg skal ha for å ivareta hensynet til energi, miljø, helse og sikkerhet. Den nyeste forskriften fra 2017, TEK17, stiller blant annet strenge krav til hvordan et bygg skal bygges for å holde energibehovet lavt.

I eldre bygg vil det være et godt energitiltak å iverksette energieffektivisering av komponenter som kan bidra til et lavere energibruk. Det være seg utskiftning av effektkrevende komponenter, som for eksempel å bytte fra glødepærer til LED-pærer [18]. Elektriske apparater blir også stadig mer energieffektive da det stilles krav til apparatenes energiytelse. To virkemidler som skal hjelpe forbruker med å velge mest mulig energieffektive apparater er økodesigndirektivet og energimerkeordningen [19]. Økodesign setter et minstekrav for energiforbruk til produkter som skal selges på markedet til EU, mens energimerking rangerer produktet på en skala fra A til G, ettersom hvor energieffektivt produktet er. Mye

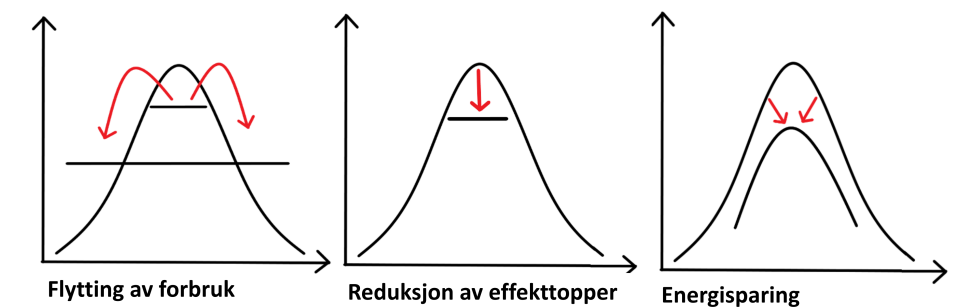
av energieffektiviseringen av bygg vil dermed skje naturlig ved innkjøp av nye produkter, da det er dette som selges på markedet.

Det vil også være et godt tiltak å skifte ut energibærere i et bygg, som punktet ”omlegging” tar for seg. Effektive tiltak kan være omlegging fra elektrisk oppvarming eller fyringsolje til fjernvarme, varmepumpe eller bioenergi [18]. Det er ikke entydig hva som vil være den miljømessig mest gunstige omleggingen eller effektiviseringstiltaket, da det vil være forskjellig fra bygg til bygg. Det bør likevel stilles som krav at omleggingen gir mindre energibehov eller er mer miljøvennlig.



Figur 2.3.1: Figuren viser ulike måter å energioptimalisere et bygg. Figuren er laget med inspirasjon fra artikkelen, 'Alternativer til nettinvesteringer' publisert av SINTEF Energiforskning AS [18].

På toppen av pyramiden i figur 2.3.1 finner man styring av laster. Styring av laster er et viktig tiltak for å unngå at store laster kjøres samtidig, slik at man unngår unødvendig store effekttopper i forsyningsnettet. Reduksjon av effekttopper kan generelt deles inn i tre ulike grupper av tiltak, som vist i figur 2.3.2. Flytting av forbruk innebærer å redusere effekttopper ved å flytte forbruket til et tidligere eller senere tidspunkt. Et eksempel på dette kan være å unngå å sette på klesvask eller oppvaskmaskin de gangene det er effekttopper, og heller sette de på på et annet tidspunkt. Reduksjon av effekttopper innebærer å kutte forbruk, uten å erstatte forbruket ved et annet tidspunkt. Eksempelvis kan dette være å unngå å dusje hver morgen, men heller redusere antall ganger man dusjer til annenhver dag. Den siste grafen, målrettet energisparing, omfatter effekttoppreduksjon ved at energiforbruket blir mindre. Det skjer typisk ved energieffektivisering eller omlegging, som diskutert tidligere.



Figur 2.3.2: Figuren viser ulike måter å redusere effekttopper på. Y-aksen viser effektforbruk, mens X-aksen er en tidsakse.

2.4 Fleksibilitet

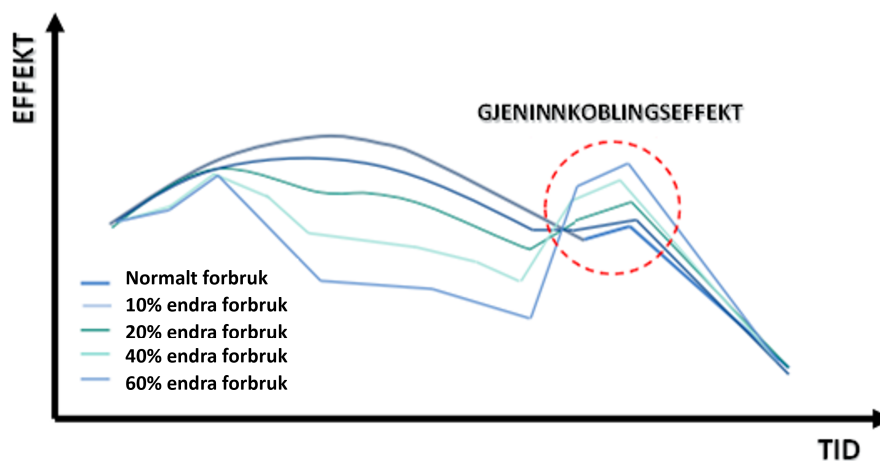
Dette kapitlet tar for seg hva som menes med fleksibilitet knyttet til energibruk. Fleksibilitet kan beskrives som noe som er lettforandelig [20], som for eksempel en produksjon eller et forbruk. Kapitlet tar i hovedsak for seg hvordan fleksibilitet kan være med å redusere effekttopper.

Fleksible laster

For at laster skal være mulig å styre er man avhengig av at lastene er fleksible. Fleksible laster kan i korte perioder enten reduseres, flyttes i tid eller skruses helt av, uten at det er til vesentlig ulempe for forbruker. Termiske laster er ofte fleksible da de regnes som termisk trege, noe som muliggjør utkobling av laster i korte perioder uten at forbruker merker det [21]. I et fjernvarmeanlegg holder vannet som sirkulerer i bygget på mye varme. Dersom vannet ikke får tilført varme i en periode, vil vannet holde på varmen en god stund før det langsomt avkjøles. Et godt isolert bygg med vannbåren oppvarming vil dermed også kunne holdes varmt i en periode selv om varmetilførselen i rommet reduseres.

Gjeninnkoblingseffekten

Når laster som har vært koblet ut eller redusert i en periode deretter kobles inn igjen samtidig, vil det kunne oppstå en høy effekttopp som kan være høyere enn den opprinnelige effekttoppen [22]. Dette kalles gjeninnkoblingseffekten. I termiske systemer der varmpådraget reduseres vil romtemperaturen kunne synke til under settpunkt. Når lasten, for eksempel en radiator, kobles inn igjen må lasten yte ekstra for å komme tilbake til settpunkt, og effekten øker. Figur 2.4.1 viser hvordan en gjeninnkoblingseffekt kan oppstå når ulik prosentandel av det normale forbruket endres. Dersom 60 % av forbruket kobles ut en periode, vil det kunne oppstå en ny effekttopp når lastene kobles inn igjen. Varigheten på utkoblingen, samt hvor store lastene som kobles ut er vil også ha betydning for forbruket når det skruses på igjen. Det er dermed viktig at utkobling og innkobling av laster planlegges og koordineres slik at man unngår nye effekttopper ved styring av laster.



Figur 2.4.1: Figuren illustrerer gjeninnkoblingseffekten som kan forekomme dersom ulik andel av normalforbruket kobles ut, og deretter inn igjen, samtidig. Illustrasjon er laget av Åsmund Breie [23].

Tidligere studier med utkobling av laster

I en studie gjort av forskningsprosjektet Sluttbrukermarked [22] har det blitt undersøkt hvordan yrkesbygg responderer på utkobling av ulike laster i korte perioder. I ulike kontorbygg med helelektrisk oppvarming ble rom- og ventilasjonsvarmen koblet i ut i både 45 og 90 minutter. Det ble foretatt en spørreundersøkelse blant dem som jobbet i byggene med følgende resultat:

- 14 % reagerte på redusert temperatur når romoppvarming var utkoblet i 45 og 90 minutter.
- 3,5 % reagerte på dårligere luftkvalitet når ventilasjon var utkoblet i 45 og 90 minutter.

Av dem som reagerte på kaldere temperatur hadde alle kontorplass mot vinduet, og i rapporten ble kuldetrekk fra vinduene antatt som en sannsynlig årsak til at personene reagerte på temperaturen. Det ble konkludert med at yrkesbygg vil tåle en utkobling av varmelaster i én time, ved -10 °C ute, uten at temperaturen synker til uakseptable verdier. Det ble påpekt at internvarmelaster, i hovedsak elektriske apparater som avgir varme, var en av grunnene til at utkoblingen var mulig. Et annet funn i rapporten var at ventilasjonsanlegg i mange tilfeller virker til å være overdimensjonert. En utkobling av ventilasjon på 90 minutter viste at CO_2 nivået var langt under grensen helsemyndighetene setter for CO_2 nivå. Dersom personbelastningen i rommet er liten, vil dermed en utkobling på 2 timer kunne være gjennomførbart.

I samme rapport ble også utkoblingsmuligheter i boliger undersøkt. Der kom det fram at boliger vil tåle utkobling i romoppvarmingslaster i korte perioder på ca. én time ved -10 °C ute, dersom en temperaturreduksjon på 2 °C tillates. Når lastene deretter kobles inn igjen vil 25 % av den utkoblede energien legge seg over det vanlige energiforbruket [22]. Dersom mange laster kobles ut samtidig vil det kunne skape en gjeninnkoblingseffekt som gir høyere effekttopper enn den opprinnelige effekttoppen. Dette understreker viktigheten av å ikke koble ut for mange laster samtidig.

2.5 Varmebehov og oppvarming av bygninger

God lufttemperatur er en viktig forutsetning for at det skal være behagelig å oppholde seg i et bygg. Hva som er komfortabel lufttemperatur vil variere fra person til person, og avhenger av blant annet av beklledning, aktivitetsnivå eller hvor fort man som person blir kald. Det kan dermed være krevende å finne en lufttemperatur som passer alle brukerne av et bygg. Det er likevel satt noen generelle anbefalinger for lufttemperatur, og i byggforsk for romoppvarming av boliger det anbefalt en romtemperatur på mellom 20 og 24 °C [24]. Det er viktig at romtemperaturen ikke blir for høy da det kan føre til redusert luftkvalitet som kan skape irritasjon i luftveiene. Hvordan mennesker opplever varme er ikke bare avhengig av lufttemperaturen, men også lufthastighet, luftfuktighet og termisk stråling [25]. En vårdag med kjølig utetemperatur kan for eksempel virke varm hvis sola skinner og det er vindstille. Med høy strålingsvarme kan temperaturen oppleves varm selvom lufttemperaturen er kjølig, og det er dermed viktig å ta hensyn til flere faktorer enn kun lufttemperatur når godt innklima skal dimensjoneres.

Installert varmeeffekt

Ethvert bygg har en installert varmeeffekt, som sier noe om byggets effektbehov. Dette er kompliserte beregninger, som man i dag benytter dataprogram til å beregne. Beregningene tar hensyn til blant annet byggets geometri, luftmengder og u-verdier, som sier noe om byggets varmeisolerende evne [17]. TEK 17 stiller ingen krav til hvordan energibehovet skal beregnes, men det står i § 13-4.1 at ”termisk inneklime i rom for varig opphold skal tilrettelegges ut fra hensynet til helse og tilfredsstillende komfort ved forutsatt bruk” [26]. Effektbehovet skal kompensere for varmetap slik at innnetemperaturen opprettholdes ved dimensjonerende utetemperatur [17]. Dimensjonerende utetemperatur beregnes ut i fra lokasjon, slik at hvert sted i Norge har en egen dimensjonerende utetemperatur. Brutto effektbehov tar ikke hensyn til internvarme, som er varme som tilføres bygget gjennom for eksempel sol, mennesker, lys eller elektrisk utstyr. I de fleste næringsbygg tas det kun hensyn til en andel av internvarmen når dimensjonerende effektbehov beregnes. Dette skyldes at det ikke er internvarme når bygget ikke er i bruk, og at energiforbruket reduseres. For å sørge for tilstrekkelig kapasitet i enkeltrom dimensjoneres det på romnivå varmeeffekt uten internvarme [17].

2.6 Ventilasjon i bygninger

Ventilasjon benyttes for å opprettholde godt inneklime i bygninger. Dette skjer ved at forurensa luft byttes ut med frisk uteluft. Den friske uteluften varmes eller avkjøles i et varme- eller kjølebatteri, avhengig av utetemperatur og hva bygget har behov for. En måte å vurdere luftkvaliteten på er å måle CO₂-konsentrasjonen i et rom. CO₂ dannes av stoffskiftet i kroppen, og tilføres rommet når mennesker puster ut [27]. Dersom mange mennesker befinner seg i samme rom vil dermed CO₂-nivået øke. Forskning viser at for høyt CO₂-nivå i et rom kan føre til hodepine, slimhinneirritasjon, nedsatt arbeidskapasitet og mistriivsel. Folkehelseinstituttet har derfor valgt et normkrav for CO₂-innhold i luften på 1000 ppm. CO₂-verdier over dette normkravet kan tyde på at luftkvaliteten i rommet er for dårlig, og at ventilasjonen må økes.

En alternativ måte å måle luftkvalitet på er VOC, som står for ”Volatile Organic compounds”, altså flyktige organiske forbindelser [28]. Dette er en samlebetegnelse for stoffer i omgivelsene som avgis naturlig fra mennesker, som acetan og metan, eller som kommer fra gjenstander og materialer i bygget. Typiske kilder til VOC er for eksempel røyk fra matlaging, parfyme, stearinlys eller nye møbler. Målinger av VOC tar dermed ikke bare hensyn til forurensning fra mennesker, men også til bygget og dets innhold. Det er ønskelig å unngå for høyt VOC-nivå da det blant annet kan føre til øye-, nese- og halssirritasjoner, eller mer alvorlige helsevirkninger som lever- og nyreskader eller kreft. En VOC-giver benyttes til å fange inn tusenvis av stoffer som befinner seg i luften. Basert på en innebygd algoritme klarer VOC-måleren å regne om VOC-nivået til CO₂-ekvivalente ppm-verdier [29]. En VOC-måler kan dermed være et mer nøyaktig instrument for å måle den faktiske forurensningen i luften, og kan på den måten bidra til at tilført luftmengde til rommet er enda bedre tilpasset det faktiske behovet.

Styring av ventilasjon

Ventilasjonen i et bygg kan styres på ulike måter. Tilførelsen av ventilasjonsluft kan være konstant, såkalt CAV-styring (Constant Air Volumes), eller den kan variere, såkalt VAV-styring (Variable Air Volume) [30]. Med behovsstyrt ventilasjon tilpasses luftmengden behovet i rommet, og på den måten minimaliseres luftmengden. Lufttilførselen varieres da etter hvor forurenset luften i rommet er, og dette reguleres ofte etter CO₂-innholdet i luften. En annen måte luftforurensning kan oppdages på er ved hjelp av bevegelsessensorer som kan undersøke om ulike rom er i bruk. For å vurdere ventilasjonsbehovet i et bygg er det tre faktorer man må ta hensyn til [31]:

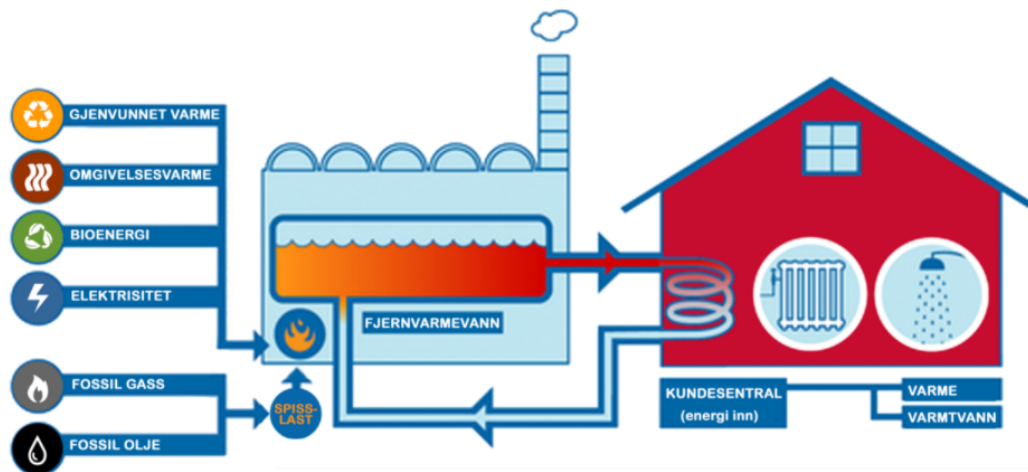
1. **Personbelastning:** Siden mennesker forurenser luften, må ventilasjonen tilpasses etter hvor mange personer som oppholder seg i ulike rom samtidig.
2. **Bygning, interiør og installasjoner:** Fra bygningsmaterialer vil det kunne forekomme avdamping som kan forurense lufta. Avdamping fra materialer er sterkest for nye materialer, og vil deretter avta med tiden. Ventilasjonsbehovet er dermed størst for nye bygg.
3. **Arbeid eller prosess:** Dette skyldes forurensende aktiviteter, og ventilasjonen må beregnes etter forurensningskonsentrasjonen. På veterinærbygget vil for eksempel dyreklinikker og labor ha spesielt behov for god og riktig styrt ventilasjon.

Det må alltid være en minimumsventilasjon i brukstiden til bygninger på mellom 0,7 og 2 l/(s·m²) [31]. Dette skyldes at bygget i seg selv vil avgi forurensning, som nevnt under punkt 2). Kapittel 13 i TEK17 stiller også krav til luftkvaliteten i bygg, blant annet ved at ”ventilasjonen er tilpasset rommenes utforming, forutsatte bruk, forurensnings- og fuktbelastning” og at ”luftkvaliteten i bygningen er tilfredsstillende med hensyn til lukt” [26].

2.7 Fjernvarme

Fjernvarmeanlegg

Et fjernvarmeanlegg leverer energi i form av varmtvann til et område. Denne energien kan benyttes til oppvarming innendørs, i form av romvarme eller tappevann, eller benyttes i snøsmelteanlegg utendørs eller i industriproduksjon. I forbrenningsanlegget benyttes ulike energikilder. Det kan være spillvarme fra industri eller avfallshåndtering, kloakkvarme eller varme fra forbrenning av bioenergi [5]. Figur 2.7.1 viser en enkel figur av et fjernvarmeanlegg, og helt til venstre i figuren vises ulike måter et fjernvarmeanlegg varmer opp vann på. Det oppvarmede vannet fraktes deretter til forbruker i isolerte rør under bakken. Rørene legges ofte i grøfter, og gjerne sammen med annen infrastruktur som strømkabler eller vannforsyningsrør.



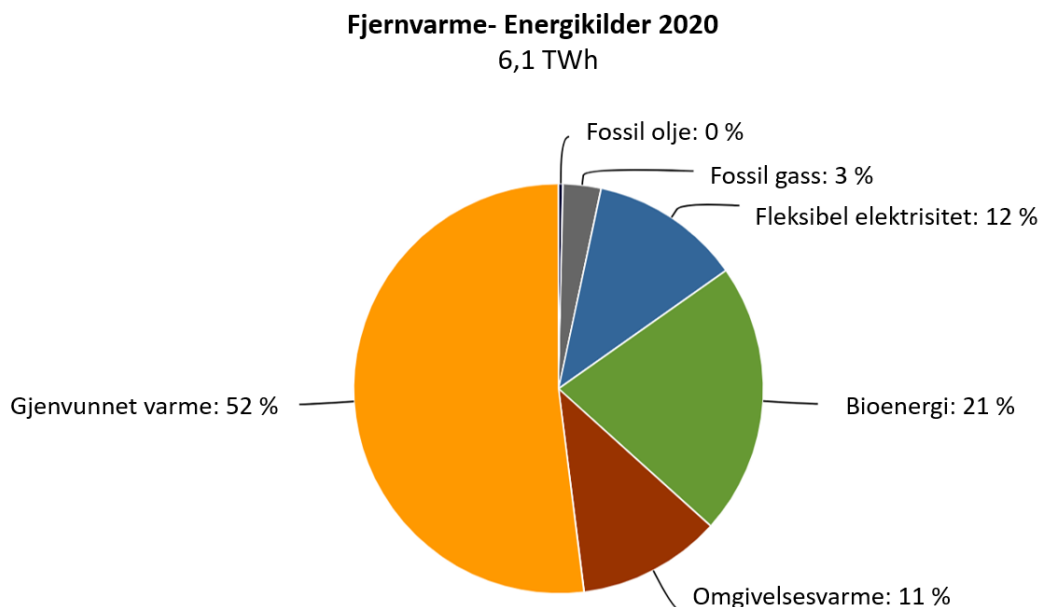
Figur 2.7.1: Figuren viser et typisk fjernvarmeanlegg. Til venstre i figuren illustreres ulike energikilder som brukes til å varme opp fjernvarmevann. Vannet fraktes deretter til kundesentralen i bygget som skal varmes opp. Figuren er hentet med tillatelse fra Norsk fjernvarme [5].

Fra fjernvarmeanlegget pumpes det oppvarmede vannet rundt et såkalt primærnett, og dette vannet har en temperatur på maksimalt 120°C , og minimum 60°C [5]. En varmeveksler overfører varmen i vannet i primærnettet til vannet på sekundærsiden, som er vannet som sirkulerer hos forbruker. Denne varmevekslingen skjer i kundesentralen, som er en teknisk sentral i bygningen varmen skal overføres til. Det er kundesentralen som sørger for varme-regulering av vannet slik at vannet holder ønsket temperatur. Hos forbruker registreres forbruket med energimålere, og forbruker kan selv regulere energitilførselen ved å justere oppvarmingen med termostater. Enhetene som overfører varme fra vannet til omgivelsene kalles varmeavgivere, som kan være radiatorer, gulvvarme eller et snøsmelteanlegg. Etter av varmen er avgitt i bygget fraktes det avkjølte vannet tilbake til fjernvarmeanlegget. Det er ønskelig at fjernvarmevannet har så lav returtemperatur som mulig, for å utnytte energien i vannet best mulig [32]. Med god utnyttelse av fjernvarmen kan flere kunder koble seg til nettet, uten å bygge ut leveringskapasiteten.

Frakt av fjernvarme har et gjennomsnittlig varmetap på 5 % [5]. Siden fjernvarme ofte utnytter energi som ellers ikke hadde blitt utnyttet, er dette en smart måte å utnytte ressurser på. Siden varme er lavverdig energi er det vanskelig å omforme denne energien, og fjernvarme egner seg derfor godt til oppvarming av bygninger.

Energikilder i fjernvarmeanlegg

Figur 2.7.2 viser en oversikt over hvilke energikilder som ble brukt i fjernvarmeanlegg i Norge i 2020. Gjenvunnet varme består av spillvarme fra avfallsforbrenning og industri, og den sto for hele 52 % av energikildene dette året. Dette er energi som ville gått til spille dersom den ikke hadde blitt utnyttet i et fjernvarmeanlegg.



Figur 2.7.2: Figuren viser fordelingen av ulike energikilder som ble benyttet i fjernvarmeanlegg i Norge i 2020. Figuren er gjengitt med tillatelse fra Norsk fjernvarme [5].

Bioenergi kommer fra både biobrensel og bioolje. Denne energikilden har økt den siste tiden da flere anlegg har erstattet fossil spisslast, som fossil olje, med fornybar bioolje. Biomaterialet som forbrennes kan være skogsavfall eller annet biologisk materiale som ellers ikke ville blitt utnyttet. Bioenergi regnes som CO₂-nøytralt, da CO₂-utslipp inngår i den naturlige karbonsyklusen til biomaterialet [33].

Elektrisitet kan også benyttes til å varme opp fjernvarmevann, ved å varme opp vann i el-kjeler. Kjelenes kan kobles ut når etterspørselen etter strøm er stor for å redusere effekt-topper i kraftnettet. Denne formen for oppvarming er meget fleksibel og brukes hovedsaklig ved lave strømpriser.

En annen energikilde er omgivelsesvarme, som kan være varme fra sjøvann eller ferskvann, kloakk, berggrunnen eller jord. Varmepumper egner seg godt for å unytte denne varmen og overføre den til et vannbårent system. En varmepumpe vil bruke noe elektrisitet, men elektrisitetsbehovet vil være betraktelig redusert. Omgivelsesvarme kan også være varme fra solfangere som kan utnyttes i et fjernvarmeanlegg. I dag finnes det kun ett stort anlegg i Norge som gjør det, men det jobbes med å kartlegge potensialet for solvarme i fjernvarmeanlegg [5].

Til slutt viser figuren at det fortsatt benyttes noe fossil energi til oppvarming i fjernvarmeanlegg. Tradisjonelt sett har fossil olje og gass vært brukt som spisslast, men de fleste anlegg har faset ut eller redusert disse energikildene. Noe fossil energi brukes allikevel fortsatt i dag da NVE har påbud om beredskapsenergi dersom normal grunn- og spisslast skulle falle ut [5].

Brennverdi og virkningsgrad

Brennverdi forteller hvor mye energi som frigjøres ved forbrenning av en viss mengde drivstoff, og det skilles mellom øvre, nedre og effektiv brennverdi [34]. Øvre brennverdi oppnås når tørr biomasse forbrennes. Hydrogenatomene i biomassen reagerer da med oksygenet i systemet, og det dannes vanndamp. Når vanndampen kondenserer avgis den latente varmen fra dampen. Hvis dette skjer inne i systemet, måles den øvre brennverdien, men dersom vanndampen går ut av systemet før den rekker å kondensere, måles den nedre brennverdien.

Effektiv brennverdi brukes i de fleste reelle tilfeller siden all biomasse inneholder en viss mengde fuktighet. Dette fører til at en del av energien som frigjøres under forbrenningen går til å fordampe vannet i den fuktige biomassen, og på den måten ”stjeler” energi som kunne gått til varme [34]. Siden det ofte ikke er ønskelig å inkludere varmen som går til kondensering av vann, defineres den effektive brennverdien som den nedre brennverdien fratrukket fordampningsvarmen til fuktigheten i brenselet.

Når virkningsgraden til fjernvarmeanlegg beregnes benyttes den effektive brennverdien [kJ/kg] til å finne innfyrt energi [kJ] for en masse brensel [kg] [35]. Den produserte energien begrenses av energien i det oppvarmede vannet, og leses av på energimåler. Ut i fra disse verdiene beregnes virkningsgraden til anlegget.

2.8 Vannbåren oppvarming

Når varmt fjernvarmevann ankommer varmesentralen i en bygning distribueres varmen ut i et vannbårent oppvarmingssystem i bygget. Å benytte vannbåren varme til oppvarming av boliger har flere fordeler. Før det første gir vannbåren varme høy varmekomfort, da vannet som sirkulerer holder en temperatur mellom 30 og 40 °C som gir behagelig innetemperatur. Norges Astma- og Allergiforbund anbefaler også vannbåren oppvarming da det fører til sunnere inneklima [36]. Siden gulvvarme og radiatorer har lav overflatetemperatur unngår man plager med støv som blir brent på elektriske panelovner og som forurenses luften. Når varmen kommer fra gulvet kan man i tillegg senke romtemperaturen med 1–2 °C uten at rommet føles kaldere [24]. Å benytte fjernvarme til oppvarming av bygg er dermed bra for inneklimaet, samtidig som det kan være energieffektiv løsning.

Romoppvarming

Gulvvarme gir behagelig innetemperatur da varmen kommer fra deler av eller hele rommets gulvoverflate. Et nettverk av rør støpes i gulvet med fast avstand til en lukket sløyfe, og varmemediet sirkulerer i sløyfen og avgir varme til omgivelsene [17]. Dette er et såkalt lavtemperert varmesystem, ettersom vanntemperaturen holder seg under 40 °C. Siden gulvvarme omfatter store areal egner det seg godt til energilagring [25]. På grunn av vannets høye varmekapasitet vil vannet holde på mye varme, og dersom varmetilførselen skrus av for en kort periode, vil vannet fortsatt kunne avgi varme til omgivelsene.

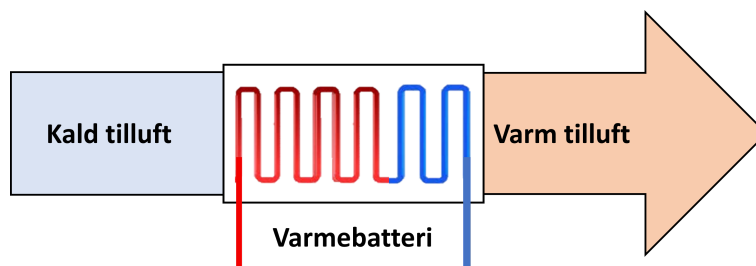
En annen varmeavgiver som benyttes til romoppvarming er radiatorer, vist i figur 2.8.1. En radiator består av stålplater som vannet sirkulerer mellom, og avgir varme til rommet i form av konveksjon og varmestråling. Overføring av konveksjonsvarme skjer ved at lufta nærmest radiatoren varmes opp. Når lufta blir varm reduseres tettheten til lufta, og det skapes luftstrømmer i rommet. Dette kalles naturlig konveksjon [24]. Radiatorer varmer opp rommet raskere enn gulvvarme, men varmen er mindre jevn, som merkes ved at det for eksempel blir kaldere ved gulvet.



Figur 2.8.1: Bilde av en radiator på veterinærbygget.

Oppvarming av ventilasjonsluft

For å sørge for at et bygg har god luftkvalitet tilføres bygget kontinuerlig frisk, uforurenset luft. Fjernvarme kan benyttes til å varme opp ventilasjonsluft i bygninger, ved at den kalde uteluften varmes opp i et varmebatteri. Varmt fjernvarmevann sirkulerer gjennom metallrillene i varmebatteriet og varmer opp rillene, som illustrert i figur 2.8.2 [37]. Når kald uteluft blåses gjennom metallrillene blir luften varmet opp, og luften fraktes videre til rommene i bygget. På dager hvor det er varmt ute, og det er behov for kjøling i bygget benyttes et kjølebatteri i stedet for et varmebatteri. Dette fungerer på samme måte, bare at vannet som tilføres batteriet er kaldt i stedet for varmt.



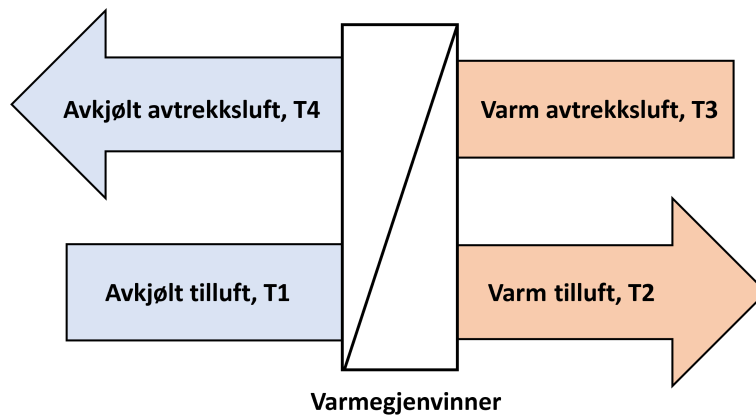
Figur 2.8.2: Illustrasjon på hvordan ventilasjonsluft varmes opp i et vannbårent varmebatteri. Laget basert på informasjon fra Eiendomsavdelingen [37].

Avtrekksluften fra bygget inneholder også en del varme, og det er derfor ønskelig å utnytte denne varmen. Dette gjøres ved hjelp av varmegjenvinnere som overfører varme fra avtrekkslufta til den kalde tilluften. Varvevekslerens temperaturvirkningsgrad, η , er definert ved ligning 2.1 [38],

$$\eta = \frac{L_t(T_2 - T_1)}{L_{\min}(T_3 - T_1)} \quad (2.1)$$

der:

- L_t er tilluftmengde [m^3/h]
- L_{\min} er den minste luftmengden av tilluftmengden og avtrekksluftmengden [m^3/h]
- T er tørr lufttemperatur [$^{\circ}\text{C}$] for luften før og etter varmeveksleren som illustrert i figur 2.8.3.



Figur 2.8.3: Forenklet skisse av en varmegjenvinner. De ulike temperatuere til luften benyttes i ligning 2.1 for å finne virkningsgraden til varmegjenvinneren. Figuren er laget med inspirasjon fra Byggforskserien [38].

Det finnes ulike typer varmegjenvinnere, og på veterinærbygget benyttes følgende varmegjenvinnere:

1. En roterende varmegjenvinner brukes typisk for luft som skal til kontorer eller møterom, der det ikke er fare for at luften inneholder smitte. I gjenvinneren strømmer luft i små luftkanaler av aluminium i et roterende hjul. I den ene halvdel av rotorhjulet varmes kanalene opp av avtrekkslufta, og siden hjulet roterer vil denne varmen avgis til den andre halvdel der kald ventilasjonsluft tilføres [38]. En roterende varmegjenvinner har en temperaturvirkningsgrad på mellom 70 og 80 %.
2. En batterivarmeveksler brukes for store luftmengder der det ikke ønskelig at til- og fraluften skal være i direkte kontakt med hverandre. På veterinærbygget gjelder dette typisk for lab eller områder der dyr oppholder seg, for å unngå at lukt eller potensiell smitte i avtrekksluften overføres til tilluften. Veksleren består av to væskebatterier, et for tilluften, og et for avtrekksluften, og væsken sirkulerer mellom disse batteriene. Væsken varmes opp av avtrekksluften, og pumpes til tillufts-batteriet, slik at tillufta varmes opp. Temperaturvirkningsgraden for dette anlegget er lavere enn for roterende varmeveksler, og ligger på mellom 50 og 65 % [38].

Vannbåren snøsmelting

Vannbåren varme kan også brukes utendørs for å holde områder is- og snøfrie. Et snøsmelteanlegg er en samlebetegnelse for alle anlegg med varmeelementer der hensikten er å smelte snø eller is, og omtales også som gatevarme. Ved å smelte snø og is med varmt vann i stedet for ved brøyting unngår man både støy og slitasje på underlag, og det kan også argumenteres med at det er mer miljøvennlig ettersom brøyting ofte skjer med traktorer som går på diesel [39].

Statkraft er Europas største produsent av fornybar energi, og har blant annet 24 fjernvarmeanlegg med en installert effekt på til sammen 648 MW [40]. I Statkraft sin egen veileder om snøsmelteanlegg kommer det frem at det å utnytte fjernvarme til gateoppvarming kan ha lavere driftskostnader enn å benytte strøm til oppvarming eller brøyting av området. Det er naturligvis stor usikkerhet om det vil gjelde for alle snøsmelteanlegg, da det er mange faktorer som vil påvirke prisen. For det første varierer både fjernvarme- og strømprisen, som kan bety at brøyting kan være et bedre alternativ når prisen på fjernvarme og strøm er høy. Det forutsetter også at fjernvarmeanlegget styres godt. Statkraft sin

veileder beskriver hvordan et godt styrt snøsmelteanlegg kan se ut [39], og det anbefales blant annet individuell styring av soner etter bakketemperatur og oppmot en værstasjon. Det er også usikkerhet knyttet til brøytekostnader. Tabell 2.8.1 viser beregna kostnad for ulike måter å fjerne snø på per kvadratmeter per år, samt en beskrivelse av forutsetningene og usikkerhetene rundt tallene.

Tabell 2.8.1: *Kostnader knyttet til ulike måter å fjerne snø fra uteområder på. Tallene og forutsetningene er hentet fra Statkraft sin veileder om snøsmelting [39].*

Fjernvarme 75 kr/kvm/år	Strøm 100-150 kr/kvm/år	Brøyting 100-400 kr/kvm/år
Forutsetter god styring av anlegg	Variabel energipris	Stor variasjon og usikkerhet i kostnad
Forutsetter returtemperatur på maksimalt 30 ° C	Pris vil variere etter effektbelastning på nettet	Reprasjon, rengjøring og personskader er ikke regna med

De totale utgiftene for et snøsmelteanlegg med fjernvarme vil uansett være mest avhengig av været. Dersom utetemperaturen er rundt null og fuktig vil det dannes mer is enn om temperaturen er stabil på -10 °C. Hvor mye snø som kommer i løpet av en vinter er avgjørende for hvor stor fjernvarmekostnaden for anlegget blir.

Regulering av varme i vannbårent system

Oppvarming av ulike rom i et bygg, samt oppvarming av ventilasjonsluft og vann til snøsmelting krever at temperaturen må tilpasses hvert enkelt formål. Det finnes ulike måter å regulere energitilførselen i et vannbårent system, og det skilles hovedsaklig mellom mengderegulering og temperaturregulering [17]. Mengderegulering går ut på å regulere mengden vann som sirkulerer, mens temperaturregulering går ut på å endre vanntemperaturen. Disse kan også brukes i kombinasjon. Når utetemperaturen synker er det ønskelig å ha høyere vanntemperatur slik at god innetemperatur opprettholdes. Dette gjøres ved hjelp av utekompensert turtemperatur i anlegget. En utekompenseringskurve benyttes for å justere temperaturen på fjernvarmevannet ved en gitt utetemperatur. Kurvene designes gjerne med ett eller flere knekkpunkt, slik at turtemperaturen holdes konstant til en viss utetemperatur, før den økes ved synkende utetemperatur.

For å sørge for at det vannbårne systemet opprettholder bestemte verdier for blant annet trykk, temperatur og volumstrøm kan en liten datamaskin, kalt PLS, benyttes. PLS står for programmerbar logisk styring, og brukes til å styre automatiske systemer [41]. Alle målerne i systemet sender data til PLS-en som behandler dataen. PLS-en er programmert med ulike kriterier, som for eksempel kan være hvilken temperatur ulike rom skal ha. PLS-en mottar hva den faktiske romtemperaturen er, og sender ut signal om å endre romtemperaturen dersom temperaturen ikke er lik settpunktstemperaturen. Dataen fra PLS-en blir så sendt videre til et SD-anlegg. SD-anlegg står for sentralt driftsanlegg, og er et system som brukes til styring og overvåking av automatiske anlegg. Et SD-anlegg har gjerne flere nyttige funksjoner for å få oversikt over forbruket, som for eksempel er å plote trender på ulike målere mot hverandre.

2.9 Prising av fjernvarme

Prising av fjernvarme er underlagt energiloven som lyder at ”prisen for fjernvarme skal ikke overstige prisen for elektrisk oppvarming i vedkommende forsyningsområde” [6]. Utover dette er det få regler for hvordan de ulike fjernvarmeselskapene bestemmer satsene sine [42]. Leddene under tar for seg prismodellen Statkraft opererer med [43], da det er Statkraft som leverer fjernvarme til veterinærbygget på Ås.

- **Energileddet** bestemmes ut fra totalt antall kilowattimer brukt i perioden. Fjernvarmekunder betaler ikke vanlig spotpris slik som strømkunder, men i stedet en gjennomsnittspris for hele måneden, som kalles månedsmiddel. Det betyr at kunden ikke blir belastet for høye timespriser når spotprisen er høy, men betaler en kostnad basert på at alle timene teller like mye.
- **Effektledet** baserer seg på det høyeste timesforbruket i perioden, og bestemmes av lokalt nettselskap. Leddet skal reflektere hvor mye kapasitet fjernvarmeanlegget må reservere til kunden på tidspunktet med høyest forbruk.
- **Volumleddet** bestemmes av hvor mye volum vann som renner gjennom anlegget, og leddet mulitpriseres med en volumpris [kr/m³]. Hensikten med volumleddet er best mulig utnyttelse av fjernvarmen som tilføres bygget, ved å stille krav til returtemperaturen på vannet. Dersom temperaturforskjellen på tur- og returvann til bygget er minst 45 °C, vil prisen på volumleddet bli null. Samtidig gir Statkraft fjernvarmeanlegget en rabatt per kilowattime, som fører til at volumleddet stort sett går i null eller i kundens favør.
- **Avgifter** til Enova, elavgift og merverdiavgift legges også til fjernvarmefakturaen.

Diskusjon rundt prising

Det er uenigheter rundt hvorvidt fjernvarmeprisen bør følge strømprisen. Høsten 2021 var strømprisen høy, noe som også resulterte i høy fjernvarmepris [42]. Tabell 2.9.1 viser hvordan fjernvarmeprisen til Fortum Oslo Varme ble beregnet i september 2021, samt økningen i kostnad fra 2020. Siden den eneste regelen for fastsetting av fjernvarmepris er at kWh-prisen for fjernvarme aldri skal overstige kWh-prisen for strøm, vil fortsatt de totale kostnadene bli høye når gebyrer og andre påslag legges til energiprisen. NVE mottok i løpet av én uke høsten 2021 40 henvendelser av folk som mente fjernvarmeprisen var for høy. Til sammenligning mottok de 10 henvendelser resten av året. De som mener at fjernvarmeprisen ikke bør følge strømprisen argumenterer med at fjernvarme ofte kommer fra avfallsforbrenningen eller overskuddsvarme, som ikke har noen direkte sammenheng med kraftnettet. Dessuten er man flere steder i landet pålagt å koble seg til fjernvarmenettet. Man må ikke nødvendigvis bruke fjernvarmen, men man må likevel betale tilknytningsavgift og årlige avgifter. Å sørge for at fjernvarmeprisen ikke blir for dyr er dermed spesielt viktig for dem med tilknytningsplikt. På den andre siden kan det by på utfordringer når spotprisen på strøm er lav, slik at fjernvarmeprisen også blir lav. Fjernvarmeanlegg er avhengig av å få dekket sine kostnader knyttet til varmeproduksjon og investeringer i rørnettet. Når det er kaldt og strømprisen er høy, må enkelte fjernvarmeanlegg i tillegg bruke dyr spisslast som strøm eller bioolje for å dekke energibehovet [42]. NVE er heller ikke enig i dagens prising av fjernvarme, og har sendt brev til Olje- og energidepartementet der de foreslår å utrede et forslag til hvordan fjernvarmen skal prises [44]. Den nye prismodellen med NVEs forslag vil da også innebære høyere priser i perioder, men de vil se på muligheten for om den skal være mindre tilknyttet strømprisen.

Tabell 2.9.1: *Oversikt over hvordan Fortum Oslo Varme beregnet sin fjernvarmepris i september 2021 [42]*

	September 2021	2020
Nordpools spot månedspris	135,46	
Administrativt påslag	5,00	
Nettleie	23,94	
El-avgift	20,86	
2 % rabatt	3,71	
Kostnad inkl.mva	181,55	65,34

Kapittel 3

Casestudie: fjernvarmeforbruk på Veterinærhøgskolen

3.1 Veterinærbygget

Veterinærbygget på Ås er det nyeste og mest moderne bygget på NMBU. I 2008 ble det vedtatt å flytte Veterinærhøgskolen fra Adamstuen i Oslo til Ås, og 13 år senere var bygget innflytningsklart. Byggingen av Veterinærhøgskolen tilhører samlokaliseringsprosjektet (SLP) Campus Ås, som også innebærer utbygging av senter for husdyrforsøk, barnehage, Veterinærinstituttet, og nytt fellesbygg for NMBU. Samlokaliseringsprosjektet har et brutto bygningsareal på 95 000 m², og en prislapp på 8,58 milliarder kroner [45]. Prosjektet utgjør med det Norges største samlede utbygging i universitet- og høyskolesektoren.



Figur 3.1.1: Veterinærbygget på Ås. Bygget omfatter Veterinærinstituttet til venstre i bildet, og Veterinærhøgskolen til høyre. Bygget med den hvite pipa er Statkrafts fjernvarmeanlegg, der varmen som forsyner veterinærbygget kommer fra. Bildet er tatt av Trond Isaksen, og brukt med tillatelse fra Statsbygg [46]

Det nye veterinærbygget består av både Veterinærhøgskolen, som tilhører NMBU, og Veterinærinstituttet, som er et selvstendig biomedisinsk forskningsinstitutt. Dette nybygget består av åtte sammenkoblede bygninger, med totalt 2400 rom og et brutto areal på 80 100 m² [45]. Veterinærhøgskolen tar for seg byggene 151, 152, 153, 154, 155 og 156,

mens Veterinærinstituttet innebærer bygg 142 og 143. Figur 3.4.1 viser byggenes plassering i forhold til hverandre. Med en kostnad på 7,92 mrd kr [46], utgjør byggingen av veterinærbygget hoveddelen av samlokaliseringsprosjektet. Her finnes alt fra laboratorium, dyresykehus og akvarium, til 3D-møller for hest og hund, samt mange andre spesialrom. Veterinærhøgskolen er Norges eneste institusjon for høyere utdanning innen veterinærmedisin og veterinær folkehelse, og her utdannes veterinærer og dyresykepleiere, i tillegg til at det forskes på veterinærmedisin og relaterte fagområder [47]. Dette bygget inneholder det siste innenfor utstyr til veterinærmedisinsk forskning og behandling av dyr, og det har strenge krav til smittevern. Veterinærbygget har derfor mange spesialapparater og avanserte tekniske installasjoner.

Veterinærbygget på Ås er også et passivhus, som betyr at det er bygget med passive tiltak for å redusere energibehovet. Det stilles blant annet krav til at yttervegger, tak, gulv og vinduer må være ekstra godt isolert, slik at luftlekkasjer minimeres. Den norske standarden for passivhus stiller også krav til varmetap, oppvarmingsbehov og energiforsyning [48].

3.2 Energiforsyning

Veterinærbygningen forsynes med varme fra Ås fjernvarme, som driftes og eies av Statkraft Varme AS (SVAS). Ås fjernvarme ligger på universitetsområdet og leverer varme til NMBUs bygninger, studentboliger og private bygninger i Ås sentrum. Anlegget har en installert effekt på 29 MW og en årlig produksjon på rundt 27 GWh [49]. I anlegget forbrennes flis, kvist og bark fra skogbruk og treforedlingsindustrien på temperaturer over 1000 °C, og varmer opp vann under høyt trykk [50]. Med en fornybarandel på 99,8 % utgjør fjernvarmeanlegget på Ås Norges grønneste fjernvarme. Tabell 3.2.1 viser en oversikt over produksjonen til Ås fjernvarme i 2021 [51]. Statkraft sin prognose for 2030 forteller at produksjon fra biobrensel vil øke opp mot 50,8 GWh, og at fyringsolje skal fases helt ut.

Tabell 3.2.1: Tabellen viser energikilder som benyttes i fjernvarmeanlegget på Ås, med tilhørende virkningsgrad. Kolonne tre og fire viser hvor mye energi man får ut av de ulike energikildene, altså produksjonen [GWh] og hvor mye energi som tilføres forbrenningsprosessen, altså innfyrt energi [GWh] [51].

Kilde	Virkningsgrad	Produksjon [GWh]	Innfyrt [GWh]
Biobrensel (fuktig)	113 %	38,54	34,11
Bioolje	90 %	2,97	3,30
Fyringsolje	90 %	0,25	0,28

Som vist i figur 3.2.1 har forbrenning av biomasse på Ås svært høy virkningsgrad. Fuktig biobrensel står oppgitt til å ha en virkningsgrad på over 100 %, som i teorien ikke skal være mulig. Årsaken til at Statkraft får en så høy virkningsgrad baserer seg på definisjonen av brennverdi som benyttes til å beregne innfyrt energi. I Europa benyttes i hovedsak den effektive brennverdien når forbrenningsvirkningsgrad beregnes. Siden fjernvarmeanlegget på Ås også utnytter kondenseringsvarmen fra gassen som kommer ut av fyringskjelene, får man en energi som er utelatt i den effektive brennverdien. Når den effektive brennverdien da benyttes til å beregne innfyrt energi kan virkningsgraden overskride 100 %.

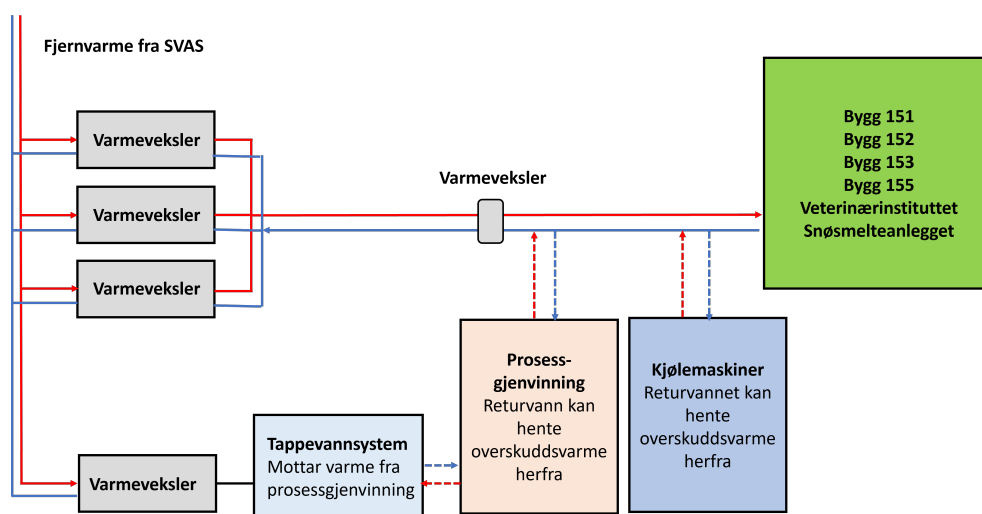
Spisslastene til anlegget er bioolje og oljefyr. Bioolje benyttes som reserve når anlegget er nede i forbindelse med kontroller eller vedlikehold, og en ekstra oljefyr er installert dersom det skulle oppstå tekniske problemer [50]. Oljefyren er svært sjelden i bruk, men det er lovpålagt å ha den som en sikkerhet.

3.3 Fjernvarme i veterinærbygget

For å forklare hvordan fjernvarmen benyttes i veterinærbygget er det tatt utgangspunkt i Funksjonsbeskrivelse for bygg 152 for samlokaliseringsprosjektet, Campus Ås [52]. Selvom funksjonsbeskrivelsen tar for seg løsningene for bygg 152, vil de fleste av disse løsningene også gjelde for hele veterinærbygget. For å bekrefte at informasjonen fra funksjonsbeskrivelsen stemmer med dagens tilstand, har deler av funksjonsbeskrivelsen blitt dobbeltsjekket med Eiendomsavdelingen.

Hovedkurs varme

I veterinærbygget benyttes fjernvarme til vann- og romoppvarming i form av tappevann, spyling, ventilasjonsvarme, gulvvarme og radiatorvarme. Mesteparten av energien som tilføres bygningen går til hovedkursen for varme, som vist i grønt i figur 3.3.1. Vannet fra fjernvarmeanlegget varmeveksles først i tre parallellkoblede varmevekslere, som hver har en installert effekt på 2 500 kW. Vannet går så videre til ulike undersentraler for oppvarming av rom, samt snøsmelteanlegget utendørs. Turtemperaturen for hovedkurs varme ligger mellom 47 og 62 °C, der nedre grense er satt for å tilfredsstille varmtvannstemperatur til spyling. Temperaturen på vannet er utekompensert, og for å opprettholde ønsket turtemperatur regulerer en motorstyrt ventil varmetilførselen fra hovedkursen. Det er også ønskelig med lavest mulig returtemperatur på vannet, da det gjør det mulig å utnytte overskuddsvarme fra kjølemaskinens kondensator. Når returtemperaturen i hovedkursen er lavere enn felles temperatur for kjølemaskinene, kan varmen fra kondensatorsiden av kjølemaskinene overføres til returen i hovedvarmeanlegget.



Figur 3.3.1: Forenklet figur av fjernvarmetilførselen i Veterinærbygget. Prosessgjenvinningsanlegget har også forbindelse til tørrkjøler og tilleggskjøling, selvom det ikke vises i figuren.

Returvannet i hovedkursen varmes ytterligere opp via prosessgjenvinningsanlegget. Veterinærhøgskolen består av store anlegg som har som formål å inaktivere smittefarlig avløpsvann og dyregjødsel. Disse anleggene kalles EDS-anlegg og TTD-anlegg/luthydrolyse-anlegg. Anleggene består av store kjeler som blant annet koker avløpsvann på over 120 °C, før vannet avkjøles til maksimalt 60 °C, og vannet slippes ut i avløpsnett. Overskuddsvarmen fra prosessanleggene går gjennom forskjellige undersystemer for gjenvinning av varme og tilleggskjøling. Varmtvann fra prosessanlegget går først til forvarming av tappevann, og deretter til varmeveksler for varmeanlegget som overfører varme til hovedkursen. Dersom vannet fortsatt har for høy temperatur går strømmen gjennom tørrkjøler, og dersom det fortsatt er behov for kjøling, videre til siste varmeveksler som er

tilleggskjøling med isvann. Tørrkjøler og isvann benyttes kun når det er stort varmeoverskudd, slik at man får kvittet seg med varmen.

For å utnytte kapasiteten i fjernvarmenettet best mulig er det, som tidligere forklart, ønskelig med lavest mulig temperatur på returvannet tilbake til fjernvarmeanlegget. Hovedsentralen for varme er designet slik at returvannet mottar varme fra både kjølemaskinene og prosessgjenvinning, og dermed øker temperaturen på returvannet. Dette vil føre til økte fjernvarmekostnader for NMBU, da volumleddet i fjernvarmeprisen bestemmes etter hvor stor ΔT det er på tur- og returvannet til fjernvarmeanlegget.

Romoppvarming

Varmetilførselen til radiatorer- og gulvvarmelaster på Veterinærhøgskolen styres av en motorstyrt ventil som regulerer varmepådraget oppmot en ønsket turtemperatur på vannet. Dette settpunktet er utekompensert, slik at pådraget til lastene er varmere når det er kaldere ute. Selvom alle rommene i bygget forsynes med fjernvarme med en gitt turtemperatur, har rommene en egen romstyring for å opprettholde bestemte innetemperaturer. Rommene reguleres da automatisk etter egne settpunktstemperaturer for rommet, og det er mulig å endre temperaturen i rommet med ± 1 °C. Tilførselen av varme til rommene reguleres av en ventil, som varierer mellom 0 og 100 % åpning. For best utnyttelse av varmen er det ønskelig at ventilen skal være rundt 80 % åpen [53].

Ventilasjon

Oppvarmingen av ventilasjonsluft foregår som forklart i delkapittel 2.8. Luftmengden som forlater varmebatteriet er styrt ut i fra settpunkt for trykk. Et sonespjeld fordeler deretter luftmengden etter hvor stort behov de ulike byggene har for ventilasjonsluft, og dette styres ved CAV og/eller VAV-styring [53]. Hvert rom har dermed et eget settpunkt for hvor stor luftmengde som skal tilføres rommet, og dette settpunktet kan endres dersom rommet ikke er i bruk. En pir detektor står for passiv infrarød detektor, og kan registrere om det er mennesker i et rom ved hjelp av et pyroelement som detekterer infrarød stråling [54]. Settpunktet kan også endres dersom CO₂-nivået overstiger en gitt grense, slik at det er behov for mer ventilasjonsluft. I veterinærbygget ligger settpunkt for CO₂ på mellom 300 og 800 ppm [53]. Dette er dermed godt innenfor det Forkehelseinstituttet har lagt som normkrav på 1000 ppm for CO₂-innhold i luften [27].

På veterinærbygget finnes det to typer ventilasjonsanlegg, et for kontorer og et for lab. Kontorventilasjonen kan endres mellom driftsfunksjonene, AV/PÅ/NATT/DAG, mens labventilasjonen har funksjonene, AV/PÅ/AUTO [53]. Områder med lab skal alltid stå i PÅ, og det er derfor lite fleksibilitetspotensiale for disse områdene. Det blir i oppgaven dermed fokusert på fleksibilitetsmuligheter for ventilasjon til kontorområder. Ventilasjonen til kontorer skrur aldri helt av, men det er lagt inn en nattmodus, der ventilasjonen reduseres. Dette skjer ved at trykket ved varmebatteriet reduseres med 25 %, slik at luftmengden også reduseres.

3.4 Snøsmelteanlegget tilknyttet veterinærbygget

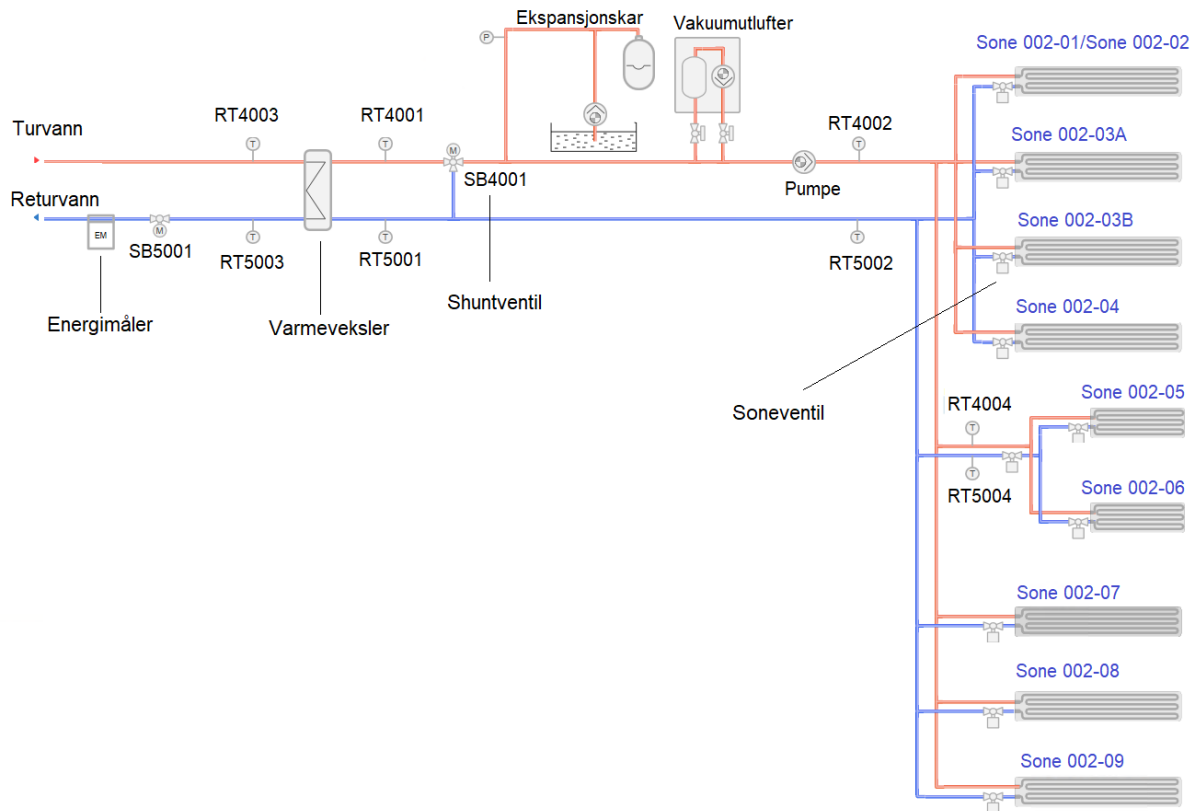
Snøsmelteanlegget tilknyttet Veterinærhøgskolen smelter snø og is for å holde ramper og inngangspartier tørre og sklisisikre. Anlegget består av tre områder, som totalt utgjør 6 831 m². Figur 3.4.1 viser områdene med snøsmelting tilknyttet veterinærbygget, der område 1 er markert i grønt, område 2 i rødt og område 3 er markert i blått.



Figur 3.4.1: Oversiktsbilde over veterinærbygget, med fargemarkerte områder for snøsmelteanlegget. Området markert i grønt er sone 1, området i rødt er sone 2 og området i blått er sone 3.

Figur 3.4.2 viser systemskjema for snøsmelteanlegget i område 2. Hvert område er utstyrt med en energimåler som gjør det mulig å se energiforbruket i hvert område, og hvert område består igjen av ulike soner med motorstyrte soneventiler. Det er dermed mulig å stenge av enkelte soner som ikke har behov for snøsmelting for å begrense energiforbruket. Soneventilene har to innstillinger, som er AV eller auto. Når soneventilene står i auto styres ventilene etter behov for snøsmelting, og soneventilene er enten helt åpne eller helt lukket.

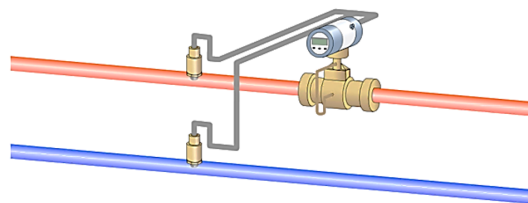
Snøsmelteanlegget består av en primærside og en sekundærside. På primærsiden sirkulerer vannet som kommer fra hovedkursen for varme, som har dimensjonerende temperatur på 45 °C for turvannet, og 35 °C for returvannet. Varmen overføres til vannet på sekundærsiden via en varmeveksler, med dimensjonerende temperatur på 35 °C på turvann, og 20 °C på returvann. Vannet på sekundærsiden er tilsatt 30 % etylenglykol som har frysepunkt ved - 14,6 °C for å unngå at vannet fryser når det blir minusgrader ute. Det er viktig at andelen glykol i vannet ikke er høyere enn nødvendig, da glykol reduserer varmekapasiteten til væsken [39].



Figur 3.4.2: *Systemskjema for område 2 i snøsmelteanlegget. Figuren viser hvordan turvannet (i rødt) varmeveksles, og deretter fordeles ut til de ulike sonene. Returvannet vises i blått. Figuren er hentet fra styringssystemet, DesigoCC.*

Tekniske komponenter i anlegget

- **Energimåler:** En energimåler består av vannmengdemåler, turtemperaturmåler, returtemperaturmåler og et regneverk. Den måler hvor mye vann som passerer til enhver tid, og temperaturdifferansen på tur- og returvann. Basert på dette kan avgitt energimengde i kWh beregnes, og verdien kan leses av på en avlesningsenhet.



Figur 3.4.3: *Illustrasjonsbilde av energimåler hentet fra SD-anlegget.*

- **Snøostat:** En snøostat detekterer snø, og bestemmer dermed når snøsmelting skal starte. I dette snøsmelteanlegget benyttes en grosh-plate som snøostat, som måler følgende:

Overflatetemperatur: Dersom temperaturen er under en bestemt grenseverdi skal varmeelementet i føleren være på og fuktighetsføleren være aktiv.

Bakketemperatur: Føler monteres ca. 3 cm under overflaten. Denne brukes ikke til styring, men det er muligheter for å gjøre det dersom det er hensiktsmessig [53].

Fuktføler: Ved snø eller is på platen, vil dette smeltes av varmeelementet, og fuktføleren registrerer nedbør i form av motstand i føleren.



Figur 3.4.4: Bilde av grosh-plate i snøsmelteanlegget.

- **Værstasjon tak:** På taket på veterinærbygget er det installert flere værstasjoner. Disse værstasjonene måler både temperatur, vindhastighet, lysforhold og nedbør. Snøsmelteanlegget benytter kun nedbørsfunksjonen, som sier om det er nedbør eller ikke. Den forteller altså ikke hvor mye nedbør som kommer.
- **Varmeveksler:** Hensikten med varmevekslere er å overføre varme fra et stoff til et annet, og kan brukes for både gasser og væsker. Disse stoffene kan være separert slik at de aldri veksles eller er i direkte kontakt. På veterinærbygget benyttes en plateveksler, der varme overføres ved å sende fjernvarmevannet gjennom tett pakka plater [55].
- **Ekspansjonskar:** Et ekspansjonskar installeres for å holde trykket i anlegget under kontroll. Når vannet i anlegget varmes opp vil vannet utvide seg. Det er dermed viktig å ha et kar som kan oppta dette volumet for å unngå skader på anlegget.
- **Shuntventil:** I fjernvarmeanlegget benyttes det en treveis shuntventil, som betyr at den enten kan stoppe væsken eller lede den i bestemte retninger. Ventilen jobber trinnløst, og kan på den måten tilpasse mengden varmtvann gradvis for å opprettholde forhåndsdefinerte temperaturer.
- **Soneventil:** Denne ventilen styrer varmetilførselen til de enkelte sonene i snøsmelteanlegget (se figur 3.4.2). Denne ventilen er enten helt åpen eller helt lukket.

Styring av anlegget

Generelt har anlegget tre hovedinnstillinger for styring:

AV: Pumper er av, og alle ventiler er stengt. Snøsmelting starter ikke ved deteksjon.

PÅ: Snøsmelting skrur på manuelt.

Auto: Snøsmelting starter ved deteksjon.

Snøsmelteanlegget er automatisk styrt ut i fra definerte grenseverdier, og står derfor i utgangspunktet i innstillingen, auto. Når det ikke er snøfall er ventiler lukket, og vannet står stille. Det tilføres da kun energi til snøsmelteanlegg når det snør. For at snøsmelting skal settes i gang må de overordnede startbetingelsene være oppfylt. Snøsmelteanlegget vil kun settes på mellom 1. oktober og 1. mai. Videre må én av følgende betingelser være oppfylt:

- Lufttemperaturen er lik eller under 1 °C, og værstasjon på tak detekterer nedbør, Når dette er oppfylt skrus alle soner i snøsmelteanlegget på.
- Overflatetemperaturen på bakken er lik eller under 2 °C, utetemperaturen er under 5 °C og grosh-platen detekterer nedbør. Kun sonene der grosh-platen registrerer nedbør skrus på.

Det er viktig å legge merke til at det er en forskjell på når grosh-platene aktiveres, og når snøsmelting skal starte. Grosh-platene skal spenningssettes når bakketemperaturen er under 2 °C og lufttemperaturen er under 5 °C slik at varmeelementet aktiveres. Når snø treffer platen vil dette smelte, og grosh-platen registrerer snøen som nedbør. Først når nedbør også registreres starter snøsmelting. Tabell 3.4.1 viser hvilke grosh-plater som tilhører de ulike områdene for snøsmelting, som vist i figur 3.4.1. Dersom kun én grosh-plate detekterer nedbør, aktiveres snøsmelt på de sonene som er tilknyttet platen.

Tabell 3.4.1: *Beskrivelse av de tre områdene for snøsmelting utenfor veterinærbygget. Områdenes plassering er vist i figur 3.4.1.*

	Område 1	Område 2	Område 3
Energimåler	153=320.101 OE0002	152=320.101 OE0002	155=320.101 OE0002
Aktiv grosh-plate	grosh rød varegård	grosh hesteinngang grosh grønn varegård	grosh inngangsparti B155
Aktivt areal [m²]	1367	4475	764

Når snøsmelting aktiveres endres shuntventil, SB4001, til å ha åpent løp mot varmeveksler, slik at væsken på sekundærside varmes opp (se figur 3.4.2). Shuntventilen har lang åpningstid slik at det varme vannet fra primærsiden sakte veksles med vannet på sekundærsiden, og man begrenser store og brå momentane effektuttak. Ved snøsmelting skal temperaturen ved temperaturgiver RT4001 være 35 °C, og temperaturen reguleres av ventil SB5001 på primærside. Snøsmelting avsluttes når snøsmeltesentral gir beskjed om at snøsmelting kan avsluttes. De ulike sonene har en bestemt utkoblingstid for å sikre at snøen på hele området, og ikke bare der sensorene er plassert, er smelta. Denne tidsperioden er valgt ut i testing, og snøsmelting står derfor på i to til fem timer, avhengig av sone, etter at det ikke er registrert nedbør på grosh-platene.

Det er også lagt inn en frostsikringsfunksjon i anlegget. Denne aktiveres når returtemperaturen på vannet på primærsiden av varmeveksleren (RT5003 i figur 3.4.2) er under 10 °C. Da går vannet på sekundærsiden over i full bypass ved reguleringsventil SB4001, helt til temperaturen ved RT5003 er over 20 °C. I bypass går vannet på sekundærsiden av varmeveksleren ikke via veksleren, men i en egen sløyfe direkte til shuntventil SB4001.

3.5 Prising av fjernvarme til veterinærbygget

Kostnadene for fjernvarme til NMBUs bygninger betales til Statkraft, og fjernvarmeprisen tar utgangspunkt i strømprisen det forrige året. Fjernvarmeprisen for 2022 blir dermed bestemt ut i fra hvor høy strømprisen i 2021 var. I 2020 var den gjennomsnittlige spotprisen på strøm hos Nord Pool 11,6 øre per kilowatttime, som er den laveste årsprisen som har vært registrert på børsen [56]. I 2021 ble derimot den høyeste årsprisen i historien registrert på 63,4 øre per kilowatttime. Følgelig vil fjernvarmeprisen i 2022 være mye høyere enn i 2021, som vil ha stor innvirkning på de totale fjernvarmekostnadene.

Når det gjelder energiprisen, altstå kostnad per kWh, har NMBU inngått en avtale med Statkraft som gir en forutsigbarhet på energiprisen. Disse prisene er konfidensielle, og vil ikke oppgis i masteroppgaven, men energiprisen for 2022 er vesentlig høyere enn i 2021. Effektleddet, derimot, følger prisstrukturen til netteier Eliva, og denne er derfor ikke konfidensiell. Effektleddet for fjernvarme var i desember 2021 150 kr per største kWh/h, mens den i januar og februar 2022 lå på 105 kr per største kWh/h i månedene. Disse kostnadene benyttes i resultater til å beregne økonomiske besparelser ved å redusere effekttopper på veterinærbygget.

Kapittel 4

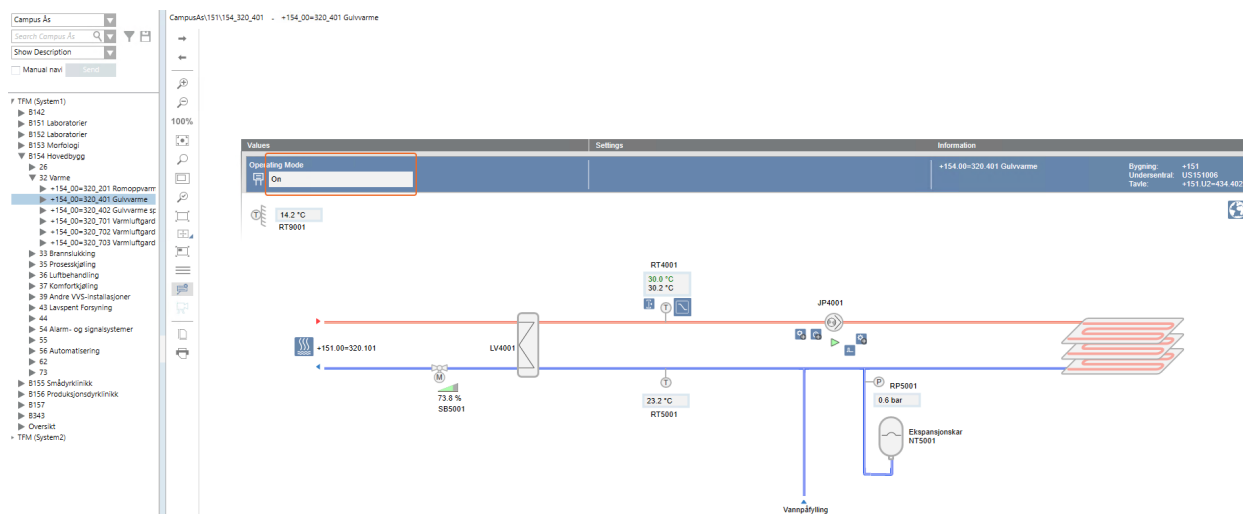
Metode

For å undersøke energiforbruket på Veterinærhøgskolen ble det hentet ut data fra energimålerne på bygget. Med utgangspunkt i disse dataene ble det laget en simulering med hensikt å redusere termiske effekttopper. Denne simuleringen er kun teoretisk, og har ikke blitt testet i virkeligheten. Det ble da sett på tre ulike måter å redusere effekttopper på, og helt til slutt ble disse tiltakene kombinert for å finne det maksimale potensiale for effekttoppredusjon basert på de tre tiltakene.

Siste delkapittel, 4.5, tar for seg snøsmelteanlegget for område 2 utenfor veterinærbygget. Metoden tar for seg datainnhenting av nedbørsdata, samt hvordan denne dataen blir fremstilt i sammenheng med energiforbruket til anlegget.

4.1 Forarbeid

Veterinærbygget på NMBU er, som tidligere nevnt, et stort bygg med mange spesiallagde løsninger. Et bygg av denne typen tar det naturligvis tid å forstå oppbygningen av, og starten av masterhalvåret gikk dermed til å lese funksjonsbeskrivelser for bygget i sammenheng med tilhørende systemskjema. I tillegg ble den integrerte byggautomasjon- og ledelseplattformen, Desigo CC, benyttet for å få en live-visning av energiforbruket på bygget. Et skjermbilde av Desigo CC vises i figur 4.1.1.

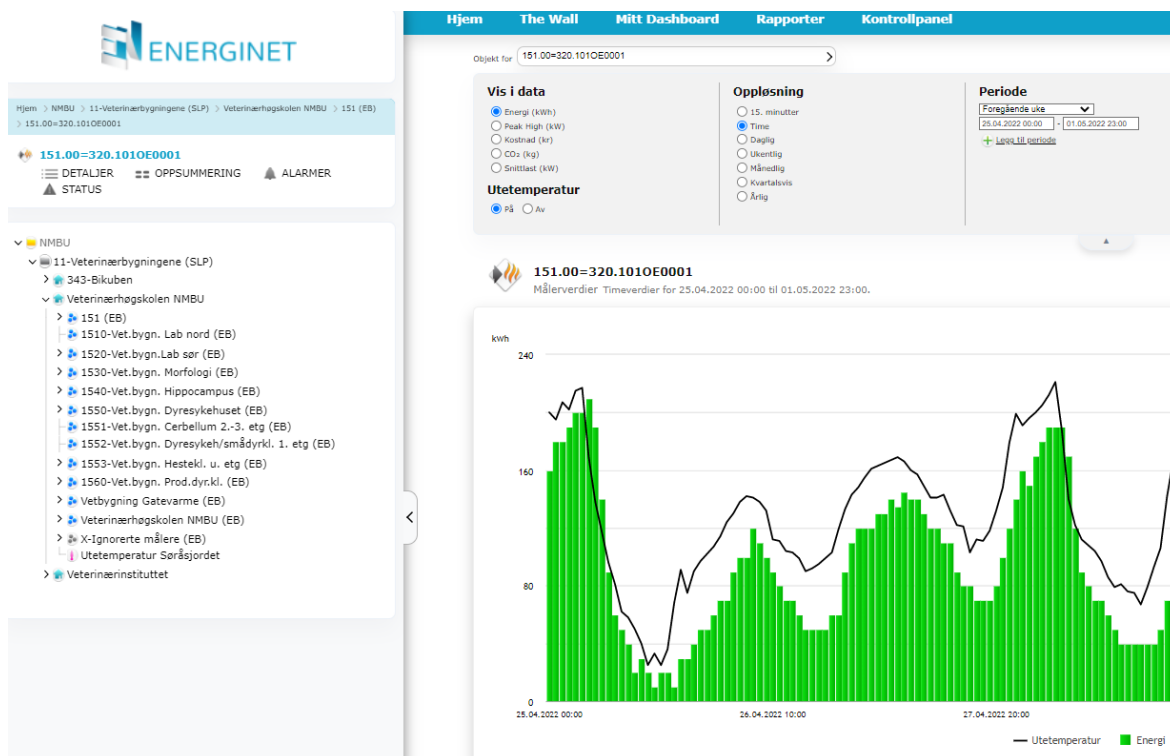


Figur 4.1.1: Skjermbilde av SD-anlegget, Desigo CC som er levert av Siemens. Bildet viser varmetilførsel til en tilfeldig gulvvarmelast.

Som det ofte er med nye bygg, fungerer ikke alt slik det er tenkt å fungere, og alt blir ikke installert slik det står at det skal installeres. Det har derfor vært nødvendig å ha jevnlig kommunikasjon med Eiendomsavdelingen på NMBU, samt med Siemens som har stått for automatiseringen av bygget, for å forstå hvordan bygget faktisk driftes. Denne kontakten har hovedsakelig foregått over e-post og Teams-samtaler, og gjennom befaringer på veterinærbygget.

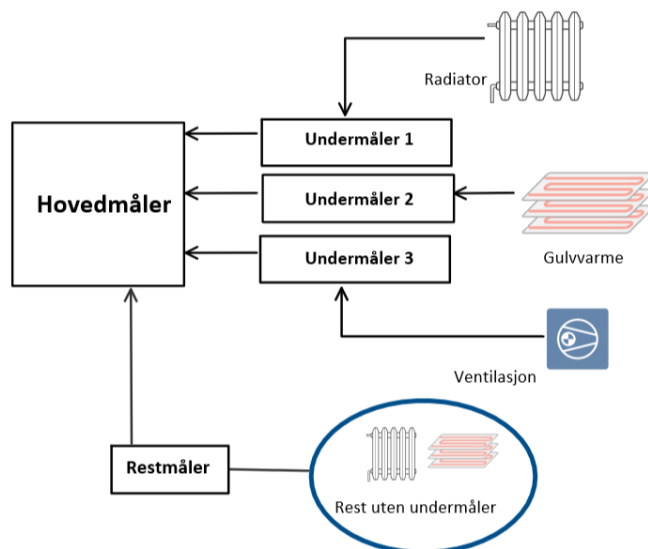
4.2 Datainnhenting og korrigering av energidata

Energidataen som er benyttet i masteroppgaven er lastet ned fra Energinet.no, og figur 4.2.1 viser et skjerm bilde av denne plattformen. Energinet er et energioppfølgingsystem for energi-, avfall og miljørapportering, som mottar data fra målere på bygget som blir sendt fra PLS-en. Fra Energinet kan data eksporteres som excel-filer eller csv-filer. Før datamengden kunne lastes ned til videre bearbeiding var det nødvendig å korrigere enkelte måleverdier slik at de hadde riktig målefaktor. Dette skyldtes at det var feil i energidataen som ble importert til Energinet, slik at energiforbruket som ble importert plutselig endret faktor med 100 eller 1000. Målerne som blir importert i Energinet registrerer energiforbruket fra et gitt starttidspunkt, slik at dataen blir importert som en tellerstand. Målerne registrerer data hvert 15. minutt, og energiforbruket blir automatisk regnet ut i Energinet ved å ta differansen mellom 15-minutters intervallene.



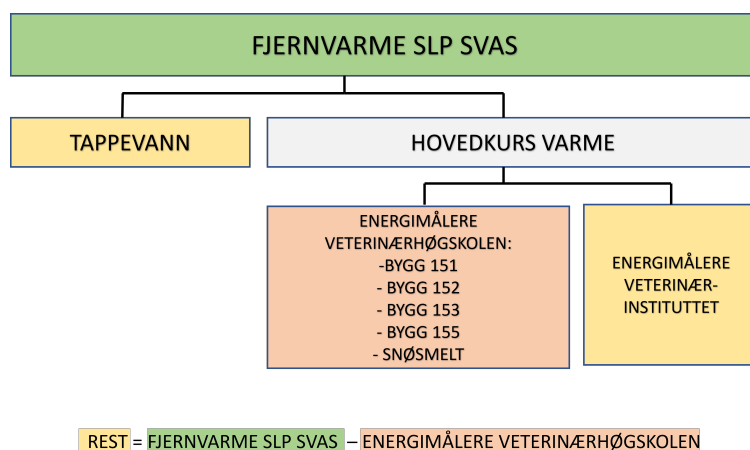
Figur 4.2.1: Skjerm bilde av Energinet. Til venstre i figuren velges energimålere man vil undersøke forbruket til. For hver energimåler legges det inn tidsperiode, oppløsning på dataen, og hva slags type data man vil hente frem. I masteroppgaven har det blitt sett på energiforbruk [kWh] med oppløsning på en time [h].

I fjernvarmeanlegget deles energimålerne inn i hovedmålere og undermålere. En hovedmåler har flere undermålere under seg, mens undermålerne direkte måler energiforbruket til bestemte laster. Mange av de termiske lastene i bygget er utstyrt med egen undermåler, og man kan enkelt finne energiforbruket til lasten. For å finne energiforbruket til laster som ikke er utstyrt med egen undermåler, kan man ta differansen mellom hovedmåler og undermålerne, som illustrert i figur 4.2.2. Energinet regner automatisk ut denne restmåleren.



Figur 4.2.2: Illustrasjon av sammenhengen mellom hovedmåler og undermålere i et fjernvarmeanlegg. Undermålerne måler forbruket til enkelte laster, mens en hovedmåler måler forbruket til en større mengde laster. En restmåler beregner forbruket til laster som ikke har egen undermåler ved å ta differansen mellom hovedmåleren og alle tilhørende undermålere.

Før energiforbruket på Veterinærhøgskolen kunne undersøkes ble alle termiske energimålere tilknyttet bygget lastet ned fra Energinet i form av excel-filer. Disse energimålerne er undermålere eller restmålere, og gir dermed det mest nøyaktige innblikket i energiforbruket til de ulike lastene. I tillegg ble energiforbruket til hovedmåleren, ”fjernvarme SLP SVAS”, lastet ned. Denne måleren viser det totale energiforbruket for bygget, og bestemmer dermed også de totale fjernvarmekostnadene for veterinærbygget. Energiforbruket til hovedmåleren tar da også med energi som går til tappevann og til Veterinærinstituttet, som ikke blir undersøkt i masteroppgaven. Det ble derfor regnet ut en ”rest” som er totalt fjernvarmeforbruk minus fjernvarmelaster for Veterinærhøgskolen, som vist i figur 4.2.3. Dette restforbruket studeres ikke i oppgaven, men er viktig å ta hensyn til i simuleringene ved beregning av totalt energiforbruk på bygget.



Figur 4.2.3: Illustrasjon av hvordan energimålerne i veterinærbygget henger sammen. I oppgaven er energimålerne tilhørende Veterinærhøgskolen undersøkt, som er markert i rosa. Rest-forbruket, markert i gult, blir ikke undersøkt i masteroppgaven.

I oppgaven er energidataen lastet ned per time. Grunnen til at det ikke er valgt 15-minutters intervaller skyldes at hovedmåleren, ”fjernvarme SLP SVAS”, kun hadde timesoppløsning, og det var hensiktsmessig å benytte data med lik tidsforskjell mellom målingene for alle energiverdiene. Før datamengden kunne studeres har utliggeren i størrelsesorden på to til tre ganger gjennomsnittsforbruket blitt erstattet med det gjennomsnittlige energiforbruket til måleren i den valgte tidsperioden. I perioder der energimåleren skulle ha registrert forbruk, men forbruket ikke er registrert, har de gjennomsnittlige energiverdiene for målerne blitt satt inn for å unngå at måleren viser null i forbruk. Dette gjelder radiatorer, gulvvarme og ventilasjon som skal være på hele døgnet på vinterstid.

4.3 Valg av tidsperiode

Datamengden tilknyttet veterinærbygget har vært av varierende kvalitet. Mye av dette skyldes at bygget fortsatt er i oppstartsfasen, slik at datamengden av og til inneholder ”hull” der det ikke er registrert forbruk. Årsaker til dette er blant annet utskiftning av tekniske komponenter i anlegget som ikke har fungert som forventet. Enkelte målere har heller ikke så lang historikk, da de ikke har blitt satt på ”trending” før i 2022. Når fjernvarmeforbruket i bygningen undersøkes er det ønskelig å ha data på så mange som mulig av målerne. Det var også ønskelig å se på energiforbruket på vinteren når oppvarmingsbehovet på Veterinærhøgskolen er størst, og snøsmelteanlegget også er i drift. Tidsperioden er derfor valgt ut i fra hvilken periode flest målere registrerer forbruk på vinterhalvåret. Siden fjernvarmeprisen bestemmes av største effekttopp per måned, var det også ønskelig å se på hele kalendermåned. Ved studering av fjernvarmeforbruket på Veterinærhøgskolen er tidsperioden valgt fra 1. desember 2021 til 28. februar 2022, og samme tidsperiode har også blitt benyttet i simuleringen av effekttoppreduksjon.

4.4 Analyse og simuleringer

Databehandlingen har foregått i Python via programmeringsverktøyet, Jupiter Notebook, versjon 6.3.0. Excel-filer ble lastet ned fra Energinet.no, og lastet inn i Python. Første del av databehandlingen gikk ut på å visualisere forbruket i valgt tidsperiode. Dette ble fremstilt via effektkurver og kakediagram. Deretter ble alle energimålerne sortert etter hvilken lastkategori de tilhørte, som forklart i tabell 4.4.1.

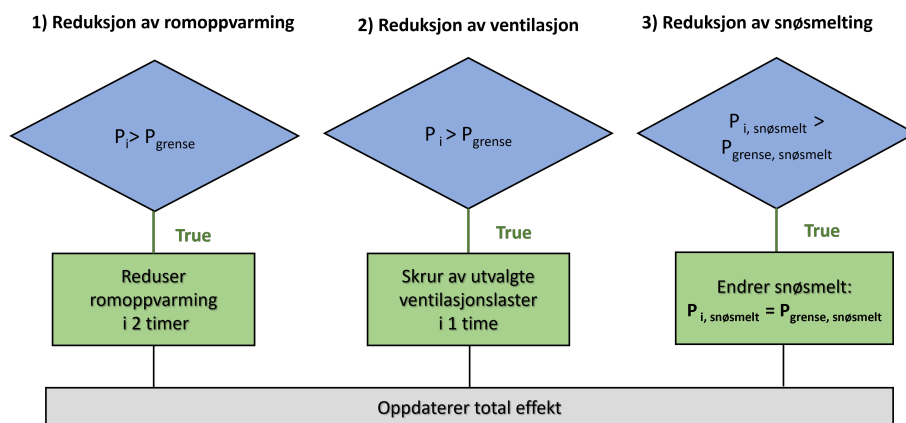
Tabell 4.4.1: *Forklaring av lastkategoriene som benyttes i oppgaven.*

Ventilasjon	All fjernvarme som går til oppvarming av ventilasjonsluft
Romoppvarming	Dette innebærer både gulvvarme og radiatorer
Spyling	Innebærer varmtvann til spyling
Snøsmelteanlegget	Omfatter hele snøsmelteanlegget (alle tre sonene)
Blanding	Blanding av fjernvarmelaster da energimåleren måler ulike laster i samme måler
Total energi	Total energi tilført veterinærbygget
Restmåler	Energi som ikke tas hensyn til i oppgaven. Hovedsaklig tappevann og energi til Veterinærinstituttet.

Dimensjonerende effekt for de ulike lastkategoriene ble funnet i systemskjemaene som ble brukt i prosjektering av bygget. Denne effekten ble deretter sammenlignet med hva den gjennomsnittlige effekten i den utvalgte tidsperioden var, samt hva den maksimalt målte verdien for hver lastkategori var. I videre studering av energiforbruket ble det fokusert på lastene ventilasjon, romoppvarming og snøsmelting, da disse lastene antas å ha størst fleksibilitetspotensiale.

4.4.1 Reduksjon av effekttopper

For å undersøke hvilke laster som bidrar mest til effekttopper, ble ventilasjon, romoppvarming og snøsmelting plottet sammen med total effekt for hver måned. Deretter ble det undersøkt hvordan de totale effekttoppene kunne reduseres ved å styre effektforbruket til disse lastene. Det ble dermed laget tre ulike simuleringer som tar for seg hver sin lasttype, og alle simuleringene ble kjørt månedvis for desember 2021, januar 2022 og februar 2022. Figur 4.4.1 viser en forenklet oppbygning av koden som ble laget, mens selve Python-koden er lagt ved i vedlegg C.



Figur 4.4.1: Flytskjema av de ulike tiltakene som ble undersøkt for å redusere effekttopper på Veterinærhøgskolen. P_i går gjennom hver effekt-verdi i hele datasettet, og sjekker om verdien overstiger effektgrensen, P_{grense} . Merk at P_{grense} er en effektgrense for den totale fjernvarmeforsyningen til veterinærbygget, mens $P_{grense, snøsmelt}$ er en effektgrense som gjelder for kun snøsmelteanlegget. Når iterasjonen er ferdig blir det totale fjernvarmeforbruket oppdatert med nye verdier for de fleksible lastene.

Tiltak 1. Reduksjon av romoppvarming:

Denne metoden går ut på å redusere alle romoppvarmingslaster dersom det totale energiforbruket for Veterinærhøgskolen overstiger en bestemt effektgrense, P_{grense} . En python-løkke gikk gjennom alle energiverdiene i den valgte tidsperioden og sjekket om det totale fjernvarmeforbruket i den gitte timen var over P_{grense} . Dersom grensen ble oversteget ble romoppvarmingslaster i denne og den neste timen redusert med 30 %, 50 %, 80 %, og til slutt 100 %, som betyr at lastene er avskrudd. For å unngå at lastene reduseres i mer enn to timer av gangen, velges det at forbruket skal være likt det opprinnelige forbruket i to timer etter at lastene er redusert. Lastene for romoppvarming kan dermed ikke reduseres de to påfølgende timene etter at forbruket allerede har blitt redusert.

Tiltak 2. Reduksjon av ventilasjon:

Dette tiltaket benytter den samme metoden som for tiltak 1, bare at ventilasjonslaster skal reduseres i stedet for romoppvarmingslaster. Dersom det totale energiforbruket til veterinærhøgskolen overstiger effektgrensen, P_{grense} , blir ventilasjonslastene tilhørende energimåler 151.00=320.101OE0003 Ventilasjon, skrudd helt av. Ventilasjonslastene skrur kun av i én time, og for å overholde dette sørger koden for at forbruket i timen etter reduksjon går som "normalt". Det tillates dermed at det kun må være normalt forbruk i én time mellom lastreduksjonene.

Tiltak 3. Reduksjon av snøsmelting:

Her går for-løkken gjennom alle energiverdiene for snøsmelteanlegget og sjekker om forbruket $P_{i, snøsmelt}$, overstiger en valgt effektgrense for anlegget, $P_{grense, snøsmelt}$. Dersom $P_{i, snøsmelt}$ er større enn $P_{grense, snøsmelt}$, skal $P_{i, snøsmelt}$ endres til verdien effektgrensen har. En liste ble til slutt laget med de simulerte energiverdiene for snøsmelteanlegget.

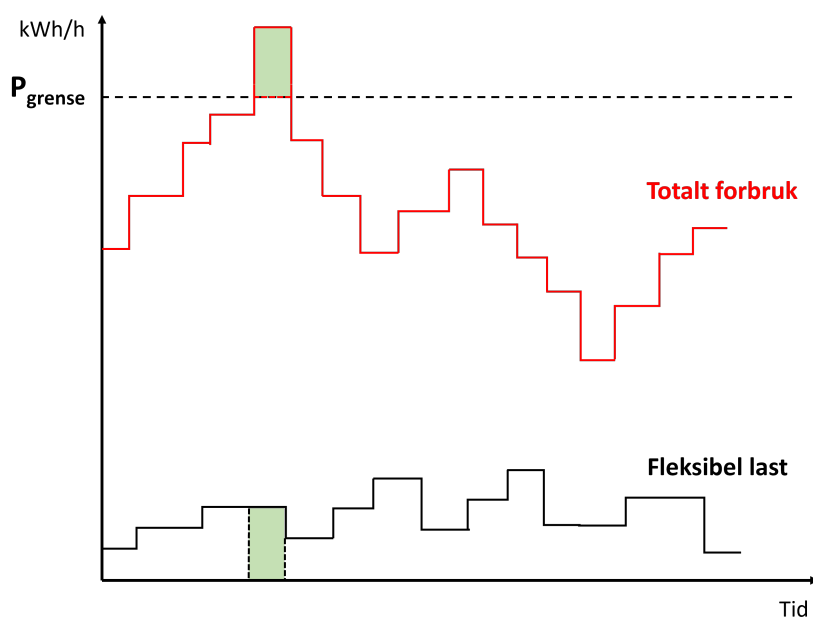
Da itereringen i hver av tiltakene over var ferdig, har forbruket til romoppvarming, ventilasjon og snøsmelting blitt oppdatert med nye, simulerte verdier. Disse nye effektverdiene ble hver for seg benyttet til å beregne et nytt, simulert fjernvarmeforbruk for veterinærbygget. Deretter ble effekttopper i det simulerte forbruket sammenlignet med det opprinnelige forbruket, og økonomiske besparelser knyttet til effekttoppreduksjon ble beregnet. Effektleddet i fjernvarmeprisene ble tilsendt fra Eiendomsavdelingen.

Oppgaven tok til slutt for seg potensialet for effekttoppreduksjon dersom tiltak 1, 2 og 3 kombineres. Det vil si at romoppvarming, ventilasjon og snøsmelting reduseres på likt. Her måtte effektgrensen endres, og det ble laget et fargekart for hver måned for å finne den effektgrensen som ga en betydelig reduksjon av effekttopper uten å sette effektgrensene for lavt. Med de valgte effektgrensene for hver måned ble økonomiske besparelser tilknyttet effekttoppreduksjon beregnet, og det nye, teoretiske forbruket ble visualisert i linjediagram.

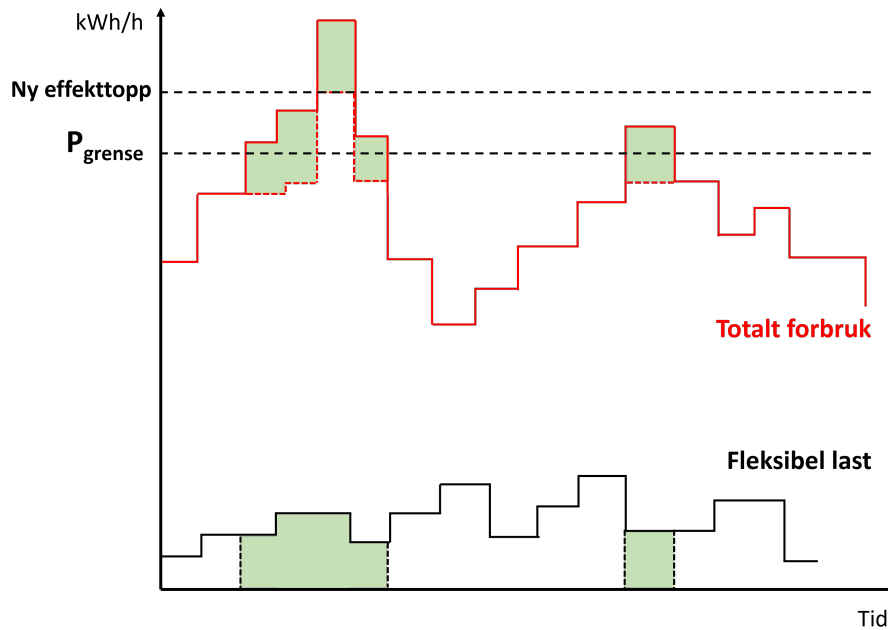
I simuleringene har gjeninnkoblingseffekten ikke blitt tatt hensyn til. Årsaken til dette er at man ikke vet hvor stor denne effekten vil bli, eller hvor lang tid den vil vare. Det var dermed lite hensiktsmessig å legge inn denne effekten i simuleringen når det var såpass stor usikkerhet knyttet til den. Gjeninnkoblingseffekten blir i stedet diskutert senere i oppgaven.

4.4.2 Valg av effektgrense

I oppgaven ble det valgt ulike effektgrenser for de forskjellige tiltakene. I simuleringen ble romoppvarming- og ventilasjonslaster redusert eller koblet ut når det totale fjernvarme-forbruket til veterinærbygget oversteg en valgt effektgrense, som vist i figur 4.4.2. Dersom effektgrensa settes høyt vil få laster bidra til effekttoppreduksjon. På den andre siden er det viktig at effektgrensa heller ikke settes for lavt. Da vil laster som ikke fører til en lavere effekttopp kobles ut, som vist i figur 4.4.3, og dersom mange laster kobles ut i løpet av kort tid kan dette gi redusert inneklime i bygget. Siden de fleksible lastene har begrenset kapasitet, blir den nye effekttoppen i dette tilfellet høyere enn P_{grense} .



Figur 4.4.2: Utkobling av fleksibel last (f.eks romoppvarming) når det totale forbruket overstiger en valgt effektgrense P_{grense} . Ny effekttopp er her lik P_{grense} .



Figur 4.4.3: Dersom en lav effektgrense velges, vil laster som ikke bidrar til lavere effekttopp totalt sett kobles ut eller reduseres. Da blir den nye effekttoppen høyere enn P_{grense} .

Effektgrensene som er benyttet i simuleringen for tiltak 1 og 2 er valgt slik at laster som kun bidrar til en lavere effekttopp for måneden totalt sett reduseres, og dette oppnås når P_{grense} er lik den nye effekttoppen. Når færre laster kobles ut vil være lettere å opprettholde godt inn klima i veterinærbygget, samtidig om sannsynligheten for forsterkede effekttopper som følge av gjeninnkoblingseffekten reduseres. Det var dermed ønskelig å ikke koble ut eller redusere laster som ikke bidro til en effekttoppreduksjon i det totale fjernvarmeforbruket. Effektgrensene for de ulike månedene ble funnet ved å først kjøre simuleringen med en lav effektgrense og sjekke hva den nye effekttoppen for måneden ble, og deretter justere P_{grense} til denne verdien.

For snøsmelteanlegget ble effektgrensene funnet ved å teste hvilken effekttoppreduksjon ulike effektgrenser gir. Et linjediagram ble laget ved å variere effektgrensen og sjekke hvor stor effekttoppreduksjon i det totale fjernvarmeforbruket man kan oppnå ved forskjellig effektgrense, og ut i fra dette ble effektgrensen valgt. Effektgrensen ble valgt ved et knekkpunkt der man oppnådde en betydelig reduksjon av effekttopper, samtidig som effektgrensen ble redusert minst mulig.

4.5 Snøsmelteanlegget

Snøsmelteanlegget tilknyttet Veterinærhøgskolen består av tre områder, og det har blitt valgt ut ett område for videre studering. Det ble da valgt å se på område 2 som er tilknyttet bygg 152. Dette området er det største snøsmelteområdet med 4 582 m² installert smelteareal, og det har dermed også det største energiforbruket. For å få et innblikk i sesongforbruket til snøsmelteanlegget vinteren 2021/2022 har tidsperioden 1. november 2021 til 31. mars 2022 blitt benyttet, men ved grundigere analyser av effekttopper er det valgt å se på januar og februar i 2022.

Innhenting av data for sensorer i snøsmelteanlegget

Data for snøsmelteanlegget for område 2 ble tilsendt fra Eiendomsavdelingen som en excel-fil. I disse filene ble følgende målere importert:

- Energiforbruk som tellerstand
- RT4001, temperatur på turvann, sekundærside
- RT9001, overflatetemperatur på bakken ved grosh-plate hesteinngang
- RT9002, overflatetemperatur på bakken ved grosh-plate grønn varegård

Siden energidataen importeres som en tellerstand må differansen mellom timesverdiene beregnes for å få forbruket i den gitte timen. Før dataen kunne benyttes til plotting ble rader uten registrerte verdier fjernet.

For å studere energiforbruket til snøsmelteanlegget var det hensiktsmessig å se på mindre tidsperioder for å lettere se sammenhenger mellom variablene som ble undersøkt. Det ble dermed delt inn i tre mindre tidsperioder der periode 1 var fra 1. til 10. januar, periode 2 fra 26. januar til 5. februar og periode 3 fra 18. til 26. februar. Grunnen til at enkelte dager er utelatt skyldes at det ikke var energiforbruk i dette tidsrommet, og det er dermed ikke like interessant å undersøke. For å undersøke styringen av snøsmelteanlegget og hva som bidrar til effekttopper ble turtemperatur på vannet ved måler RT4001 plottet mot energiforbruket.

Siden snøsmelteanlegget i praksis registrerer fuktighet og ikke snø, ble nedbøren som faller under en gitt temperaturgrense undersøkt. Lufttemperatur [°C] og nedbør [mm] ble lastet ned som timesverdier fra Seklima.no for målestasjon SN17850, som er værstasjonen på Ås. Denne værstasjonen ligger ca. 1 km fra veterinærbygget, og det antas at værforholdene vil være like ved disse områdene. Siden snøsmelteanlegget skrues på når det enten detekteres nedbør av værstasjonen på taket av bygningen, men også av grosh-plate, ble nedbørsdata plottet på 3 forskjellige måter:

1. **Værstasjon på tak:** Nedbør registreres når lufttemperatur er mindre eller lik 1 °C.
2. **Grosh-plate hesteinngang:** Nedbør registreres når bakketemperatur ved temperaturmåler RT9001 er mindre eller lik 2 °C.
3. **Grosh-plate grønn varegård:** Nedbør registreres når bakketemperatur ved temperaturmåler RT9002 er mindre eller lik 2 °C.

Innhenting av nedbørsdata

Det ble videre undersøkt hvordan nysnø påvirker energiforbruket til anlegget. For å undersøke om nedbøren faller som snø ble en nedbørsmåler som gjenkjenner snøtyper benyttet. Nedbørsmåleren er fra Thies, og heter "Laser Precipitation monitor 5.4110.10". Instrumentet returnerer nedbørstype i form av et tall for hvert 10. minutt, og dersom tallet er over 70 faller nedbøren som snø. Nedbørsmåleren registrerer også nedbørsmengde [mm], og ved å sjekke om nedbøren faller samtidig som nedbørsføleren gir tegn til at det er snø, kan nysnømengde for hvert 10. minutt beregnes. Denne nysnømengden ble deretter plottet mot energiforbruket til snøsmelteanlegget.

Tabell 4.5.1 viser et utklipp av hvilke nedbørstyper måleren detekterer. Merk at grensen for snøfall settes på 70, og sludd vil dermed ikke regnes med som snø.

Tabell 4.5.1: Tabellen viser hva slags nedbørstype som detekteres av nedbørsmåleren fra Thies, og er hentet fra instruksjonsheftet til nedbørsmåleren [57].

Nr	Beskrivelse av nedbør
67	Lett regn/ sludd
68	Moderat/tungt regn og/eller sludd
71	Lett snøfall
72, 73	Moderat/tungt snøfall
74, 75, 76	Lett hagl/ iskorn
77	Iskorn
89	Hagl

Kapittel 5

Resultat og diskusjon

5.1 Fjernvarmeforbruk på veterinærbygget

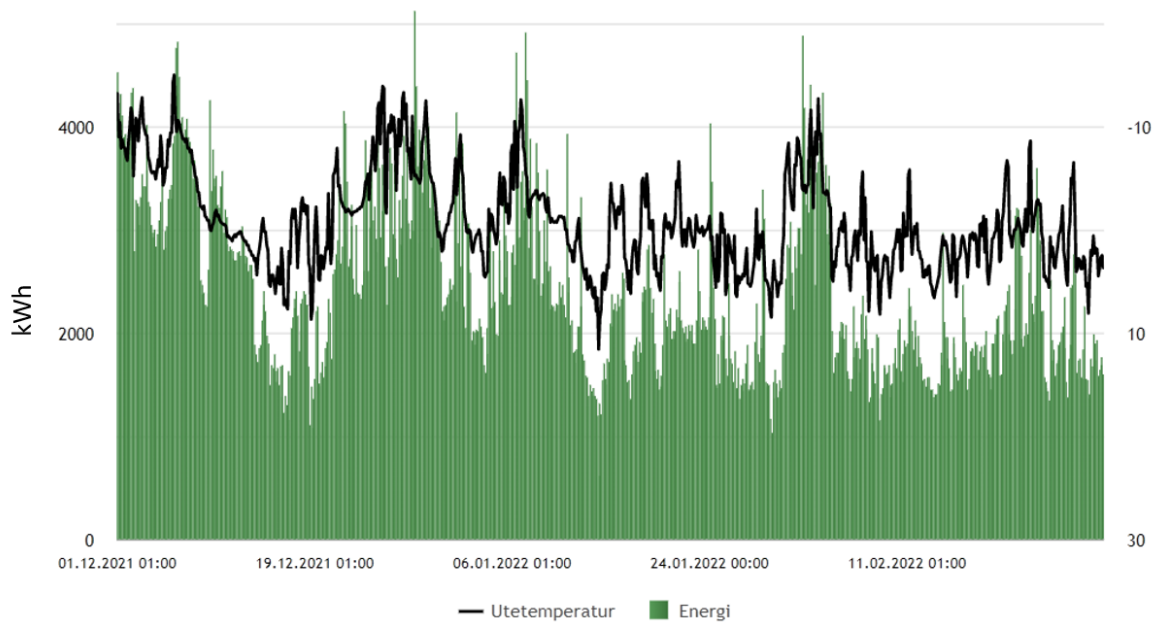
I tabell 5.1.1 og figur 5.1.1 fremstilles det totale fjernvarmeforbruket for veterinærbygget i desember 2021, og januar og februar 2022. Dette forbruket måles av hovedmåleren SLP SVAS (se figur 4.2.3), og det er dermed dette forbruket som kostnadene for fjernvarmen til Veterinærhøgskolen baseres på. Denne måleren tar også med forbruket til Veterinærinstituttet, selvom dette ikke undersøkes i masteroppgaven.

Veterinærbygget har vinteren 2021/2022 hatt et høyt fjernvarmeforbruk, og i desember var det termiske energiforbruket på hele 2,15 GWh. Dette forbruket, i kun desember, tilsvarer strømforbruket til 134 husholdninger i ett år, basert på gjennomsnittsförbruket til husholdninger i 2021 [58].

Tabell 5.1.1: *Energiforbruk [kWh] og største effekttopp [kW] for det totale fjernvarmeforbruket for veterinærbygget i desember 2021, januar 2022 og februar 2022.*

Måned	Total energi [kWh]	Effekttopp [kW]
Desember	2 153 287	5 141
Januar	1 619 721	4 918
Februar	1 380 556	4 899

Det totale forbruket er også fremstilt grafisk i figur 5.1.1, og av figuren kommer det frem at effekttoppene har kort varighet. Dersom forbruk over 4000 kWh/h undersøkes, ligger varigheten på disse effekttoppene på mellom to og fire timer, og i kun tre tilfeller er varigheten lengre. Figuren viser også at forbruket er sterkt korrelert med utetemperaturen, som var et forventet resultat.



Figur 5.1.1: Totalt fjernvarmeforbruk, for veterinærbygget i perioden 1. desember 2021 til 28. februar 2022. Forbruket er plottet i kWh/h og vises i grønt, mens utetemperaturen [°C] vises i svart. Grafen er hentet fra Energinet for måler Fjernvarme SLP SVAS.

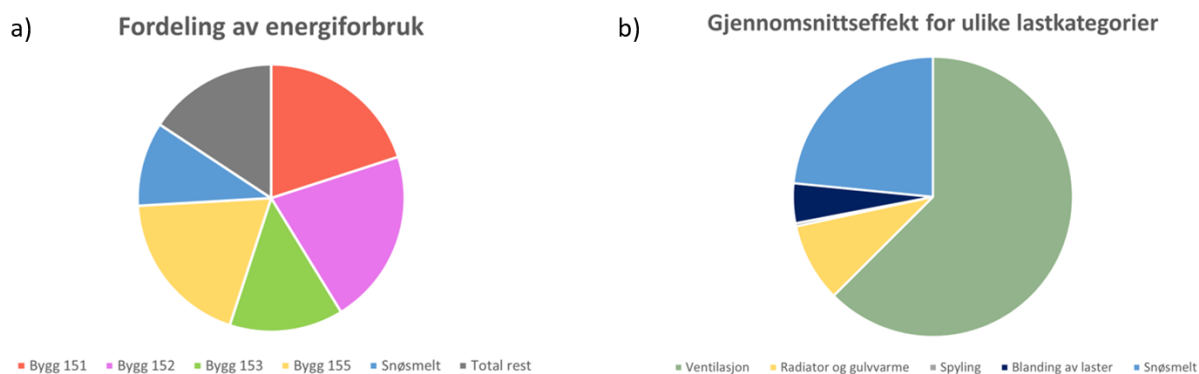
De ulike lastene på Veterinærhøgskolen har blitt delt inn i fem kategorier, som vist i tabell 5.1.2. Ventilasjon har både størst dimensjonerende effekt og også størst gjennomsnittseffekt i perioden som har blitt undersøkt. Deretter utgjør snøsmelleanlegget en stor andel av energiforbruket, og har en maksimal effekt rett oppunder den dimensjonerende effekten. Generelt er gjennomsnittseffekten for lastene godt innenfor den dimensjonerende effekten. For romoppvarming overstiger den maksimale effekten den dimensjonerte effekten. Ved å undersøke hvilke energimålere som bidrar mest til dette resultatet ble det funnet ut at dette hovedsaklig forårsakes av rest-målere. Rest-målerne er ikke faktiske energimålere, men en differanse mellom hovedmåler og undermålere. En av forklaringene til hvorfor dette kan oppstå er at hovedmålere som regel har lavere teoretisk effekt enn summen av alle underenheter. Dette skyldes at lastene dimensjoneres med en samtidighetsfaktor, som tar hensyn til sannsynligheten for at alle lastene har maksimalt forbruk samtidig [59]. Den dimensjonerende effekten til hovedmålere vil dermed ikke være lik summen av dimensjonerende effekt for undermålerne. Beregningen av den dimensjonerte effekten for romoppvarming vil nødvendigvis ikke være riktig, og dette gjør at den maksimale effekten overskrider den dimensjonerte effekten.

Tabell 5.1.2: Tabellen viser dimensjonerende effekt, samt gjennomsnittseffekten for hovedkurs varme på Veterinærhøgskolen. Blanding av laster skyldes energimålere som måler gulvvarme, radiatorer og ventilasjon samlet.

Lastkategori	Dimensjonerende effekt [kW]	Gjennomsnittseffekt [kW]	Maksimal effekt [kW]
Ventilasjon	4560	1310	2243
Romoppvarming	405	190	458
Spyling	535	7,5	90
Blanding av laster	480	96	272
Snøsmelt	2110	491	2010

Kakediagrammet i figur 5.1.2a) viser fordelingen av fjernvarmeforbruket mellom de ulike byggene og snøsmelteanlegget. Diagrammet viser også hvor stor andel rest-forbruket utgjør av det totale forbruket. Denne restmåleren utgjør 15,7 % av det totale forbruket, som betyr at masteroppgaven undersøker 84,3 % av det totale forbruket på veterinærbygget.

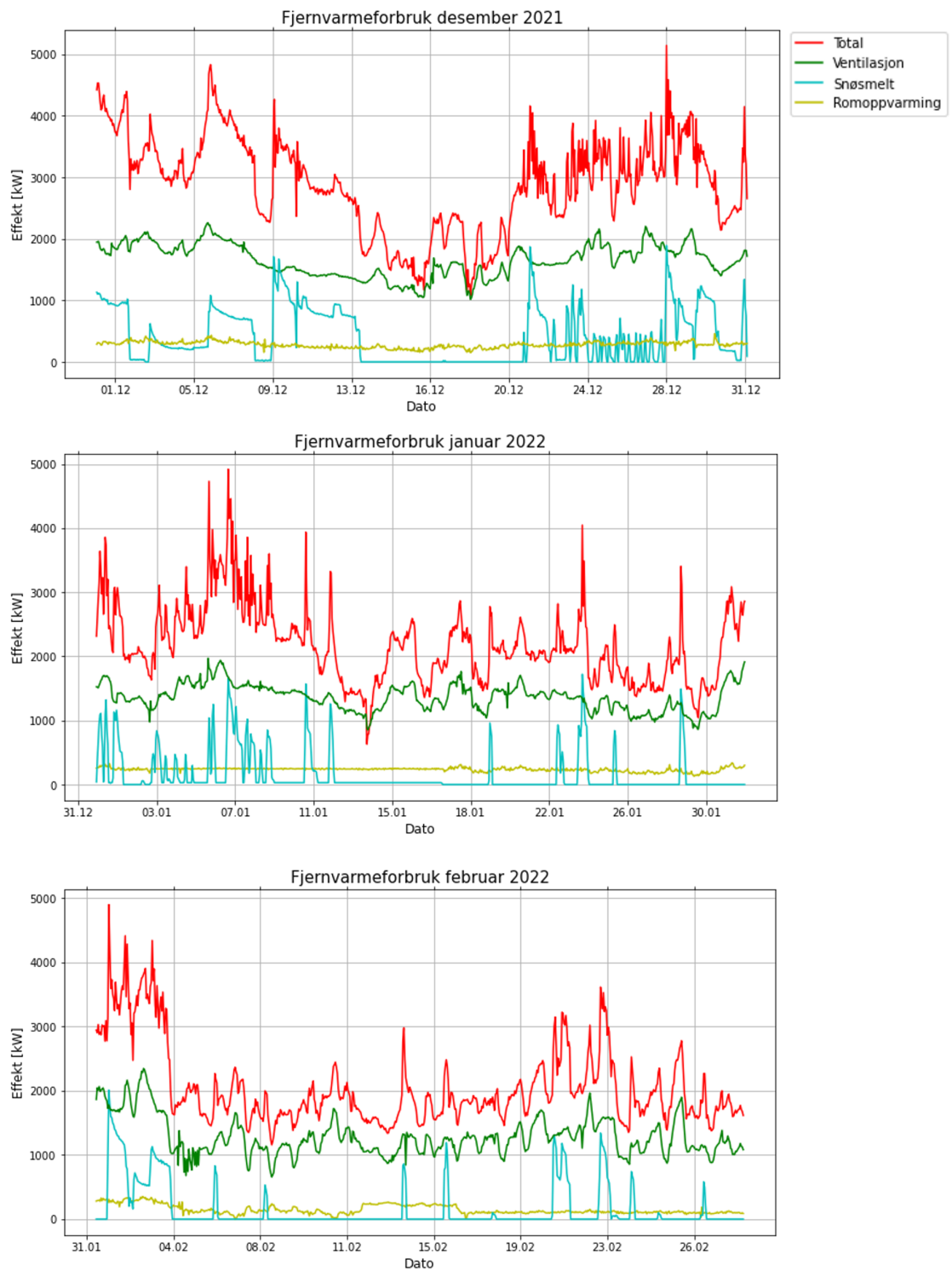
Kakediagrammet i figur 5.1.2b) viser hvordan gjennomsnittseffekten for de ulike lastkategoriene fordeler seg. Ventilasjon utgjør den største andelen, med en gjennomsnittseffekt på 1 310 kW. Deretter følger snøsmelteanlegget med gjennomsnittseffekt på 491 kW, basert på de timene snøsmelteanlegget har stått på.



Figur 5.1.2: Kakediagram a) viser hvordan energiforbruket fordeler seg mellom de ulike byggene tilhørende Veterinærhøgskolen, samt snøsmelteanlegget utenfor. Den grå delen viser hvor stor rest-forbruket er, som er forbruk som ikke undersøkes i oppgaven. Kakediagram b) viser gjennomsnittseffekten for ulike lastkategorier for hovedkurs varme. Gjennomsnittseffekten er regnet ut basert på de timene lastene har trukket effekt.

Basert på hvilke laster som har høyt energiforbruk har det videre blitt fokusert på lastene for romoppvarming, ventilasjon og snøsmelting. Figur 5.1.3 viser forbruket for lastene i desember 2021, januar 2022 og februar 2022, samt det totale forbruket. Linjediagrammene viser tydelig at ventilasjon er en stor last, og at ventilasjonen følger svingningene i det totale forbruket. Variasjonene i ventilasjonsforbruket vil dermed bidra til effekttopper i det totale forbruket. Romoppvarming, som består av radiatorer og gulvvarme, har et relativt jevnt forbruk. Denne lasten er betydelig lavere enn ventilasjon med gjennomsnittsforbruk på 190 kW, og lasten bidrar ikke betydelig til økte effekttopper.

Snøsmelteanlegget, derimot, bidrar i stor grad til effekttoppene i det totale forbruket. Anlegget har store svingninger i forbruk, og har sitt høyeste forbruk når anlegget skrus på etter å vært avskrudd en periode. For å forstå hvordan effekttoppene i snøsmelteanlegget oppstår, har det blitt foretatt en grundigere analyse av snøsmelteanlegget.



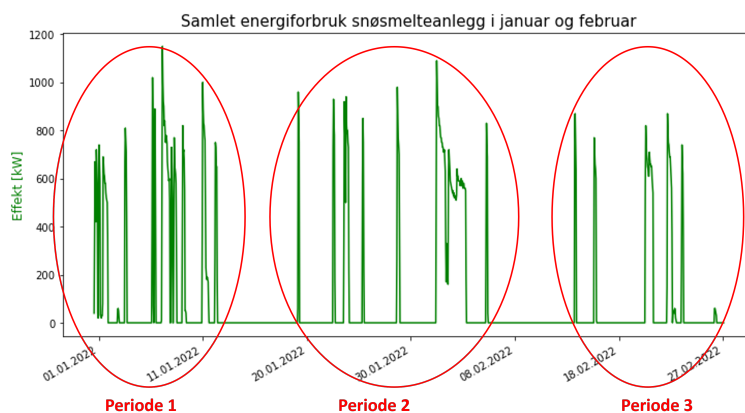
Figur 5.1.3: Fjernvarmeforbruk til ulike laster i desember 2021, januar 2022 og februar 2022.

5.2 Snøsmelteanlegget

Siden snøsmelteanlegget utenfor veterinærbygget bidrar til store effekttopper har det blitt foretatt en grundigere analyse av snøsmelteanlegget tilknyttet område 2. Område 2 er det største snøsmelteområdet med et areal på 4 582 m², men grunnet at enkelte soner har vært avskrudd i tidperioden som har blitt undersøkt blir det aktive arealet 4 475 m². Vinteren 2021/2022 ble energiforbruket på dette snøsmelteanlegget målt til å være 388 830 kWh, som gir et forbruk på 87 kWh/m². Dette forbruket er basert på energidata fra 1. november 2021 til 31. mars 2022, som er den tidsperioden snøsmelteanlegget var aktivt denne sesongen. Sammenlignet med sesongforbruk på andre snøsmelteanlegg ligger dette forbruket innenfor et akseptabelt nivå. Vinteren 2011/2012 hadde snøsmelteanlegget i Storgata i Gjøvik et energiforbruk på 95,5 kWh/m² [60]. I følge leverandøren av snøsmelteanlegget på Gjøvik ligger dette forbruket innenfor hva man kan forvente av et optimalisert snøsmelteanlegg i et normalår. Det er samtidig viktig å huske at energiforbruket til snøsmelteanlegg i stor grad avhenger av været. Gjøvik ligger i Innlandet og har som regel kaldere vintre enn det områder nærmere kysten har. Vinteren 2021/2022 var det svært lite snø på Ås, og gjennomsnittstemperaturen fra november til mars lå i følge Yr.no på rundt 0 °C. I år med mer snø forventes det dermed et høyere energiforbruk.

Studering av anlegget i januar og februar 2022

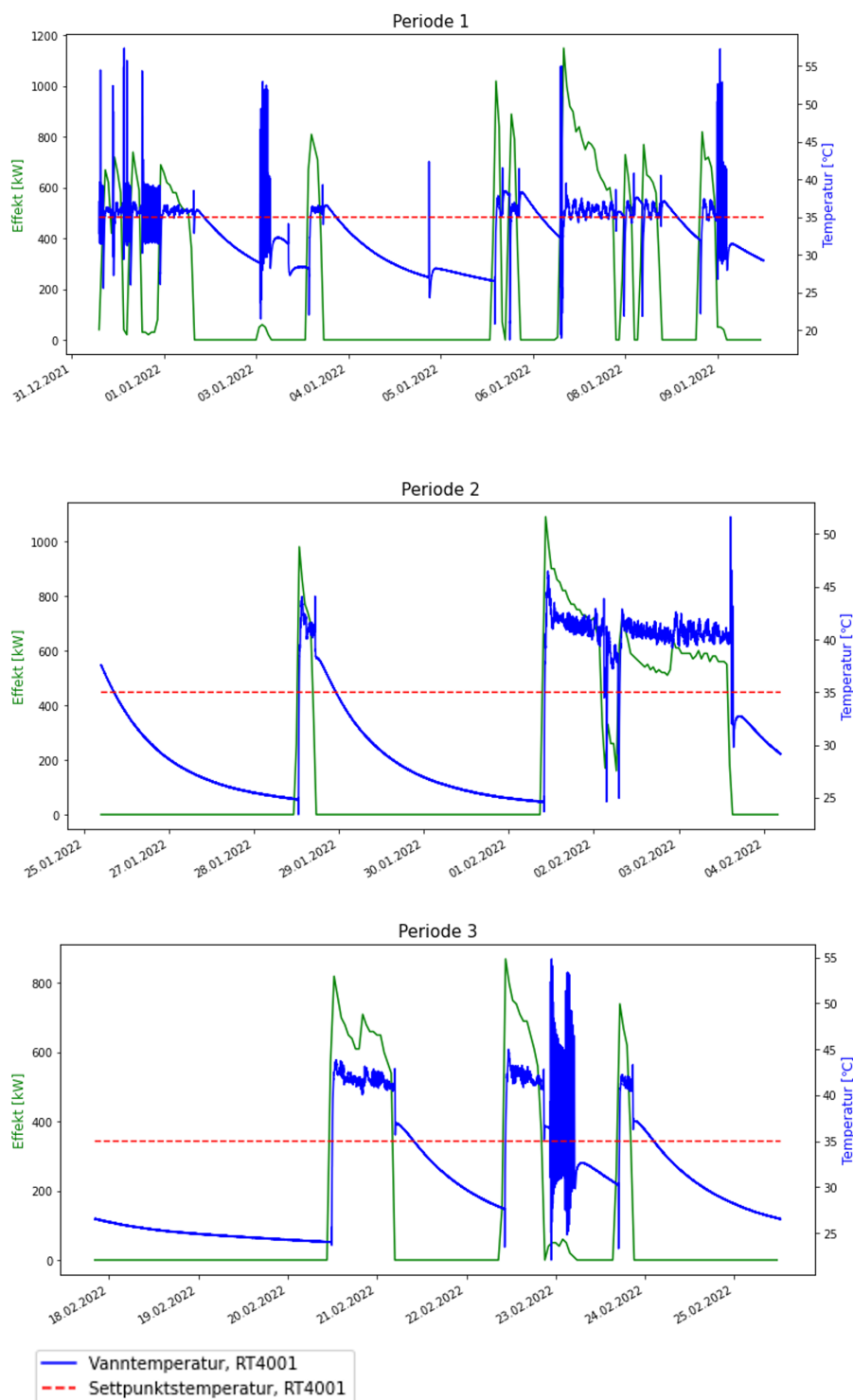
For å studere energiforbruket til snøsmelteanlegget har forbruket i januar og februar blitt delt opp i tre perioder, som vist i figur 5.2.1. Gjennomsnittseffekten mens anlegget er i smeltemodus i januar og februar blir beregnet til 551 kW. Dermed blir forbruket per aktive areal i samme periode 123 W/m².



Figur 5.2.1: Figuren viser samlet energiforbruk for snøsmelteanlegget i område 2 i januar og februar. Forbruket kan deles opp i tre perioder, for å studere forbruket i mindre tidsperioder.

Når snøsmelteanlegget får signal om å skrus på åpnes ventil SB5001 gradvis slik at varmt vann begynner å sirkulere på primærsiden, og dermed overfører varme til sekundærsiden (se figur 3.4.2). Denne ventilen regulerer varmpådraget slik at turvannet på sekundærsiden, ved temperaturmåler RT4001, er ved settpunkt på 35 °C. Figur 5.2.2 viser hvordan vanntemperaturen ved måler RT4001 endres når snøsmelteanlegget skrus på. Den grønne grafen viser effektforbruket til snøsmelteanlegget, og indikerer dermed også når anlegget skrus på, mens den røde stipla linja viser settpunktstemperaturen til temperaturmåler RT4001. Av figuren ser man at vanntemperaturen raskt øker fra rundt 20-25 °C til rundt 45-55 °C når anlegget skrus på. Denne store temperaturøkningen fører til de største effekttoppene for snøsmelteanlegget. Deretter reduseres vanntemperaturen tilnærmet eks-

ponentielt. Dersom snøsmelteanlegget skrus på igjen i løpet av en kort tidsperiode på 12 timer eller mindre, slik periode 1 viser mellom 8. og 9. januar, har ikke vanntemperaturen rukket å synke like mye som den ville gjort ved lengre oppholdsperioder. Effekttoppene blir dermed mindre når anlegget skrus på med korte mellomrom, enn når anlegget skrus på igjen etter en lengre periode på over en dag.



Figur 5.2.2: Figuren viser vanntemperaturen [°C] ved måler RT4001 i blått, mot settpunktstemperaturen [°C] for måleren i rød stiple linje. Den grønne grafen viser forbruket [kW] for snøsmelteanlegget.

Figur 5.2.4 og 5.2.5 viser sammenhengen mellom når anlegget skrus på og når det registreres nedbør. Figur 5.2.4 plottes energiforbruket til snøsmelteanlegget sammen med nysnømengde, og nedbør der lufttemperaturen er lik eller under 1 °C. For å sammenligne nedbøren er begge grafene plottet i cm. I figur 5.2.5 plottes nedbør i mm dersom temperaturen ved to ulike bakkefølere (tilhørende hver sin grosh-plate), RT9001 og RT9002, er under eller lik 2 °C. Temperaturgrensene skal tilsvare temperaturgrensene for når snøsmelteanlegget blir aktivt.

Generelt registrerer grafene i figur 5.2.4 og 5.2.5 nedbør ved de samme tidspunktene. Værstasjonen på taket som registrerer nysnø ved temperatur under eller lik 1 °C samsvarer godt med når nedbørsføleren fra Thies registrerer nysnø. Nedbørsføleren fra Thies bestemmer nedbørstypen ut i fra fallhastigheten til nedbøren [57], og sensoren skal være ganske nøyaktig på å skille mellom nedbør i fast eller flytende form [61]. Basert på den utvalgte tidsperioden viser dette at grosh-platene, samt værtstasjonen på taket, egner seg godt til å detektere nysnø.

Likevel ser det ikke ut til at snøsmelteanlegget fungerer optimalt. I periode 1 viser grafene at det ble registrert forbruk rundt 3. januar og 6. januar uten at det ble registrert nedbør. Det er vanskelig å forklare årsaken til dette energiforbruket, men én forklaring kan være at det har blitt liggende nedbør på grosh-plata i perioder uten nedbør, slik at anlegget har blitt skrudd på.

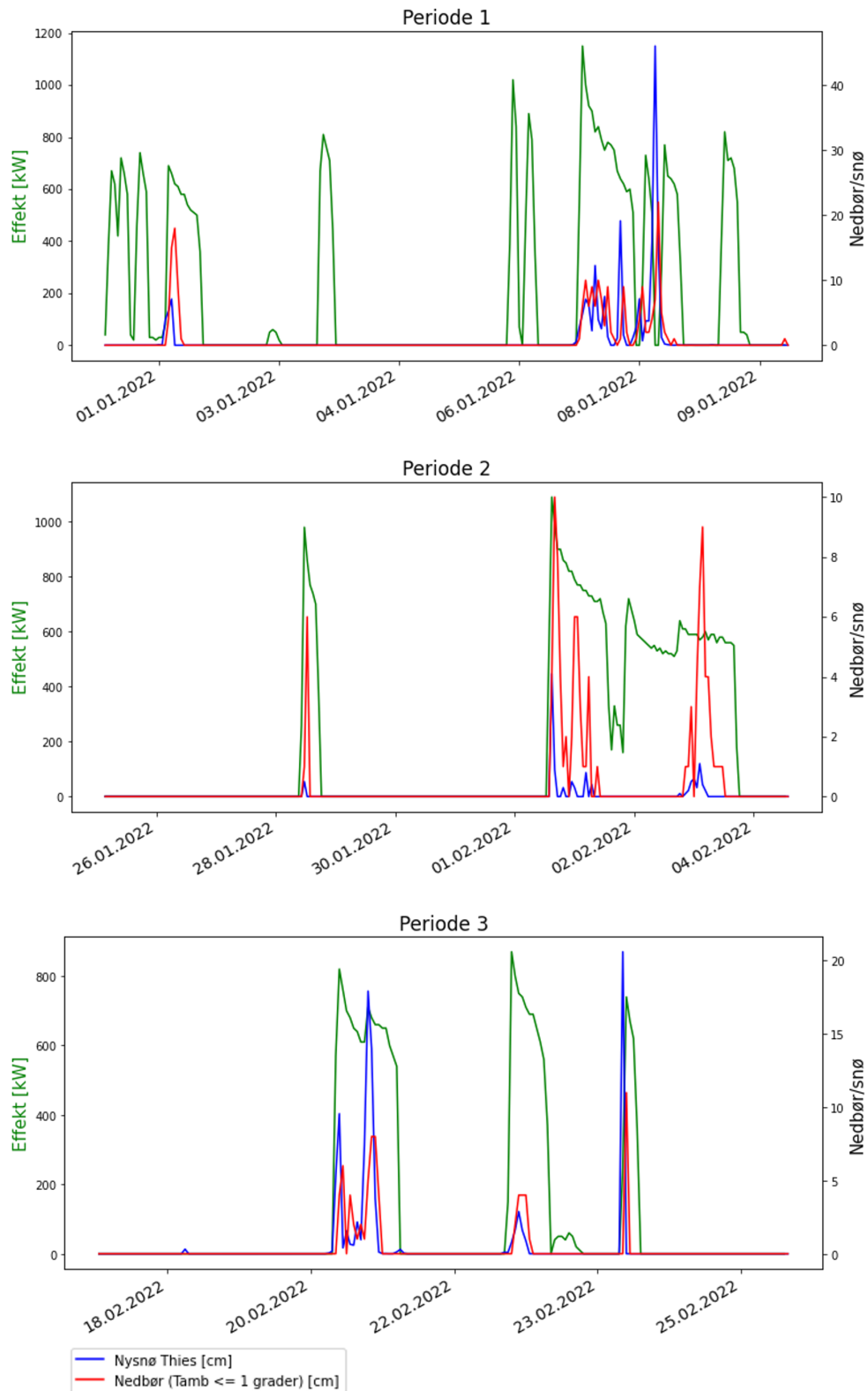
Et annet interessant funn er at nedbøren av og til registreres ulikt ved de to grosh-platene. Dette vises i figur 5.2.5 rundt 1. januar og etter 23. februar, der nedbøren kun blir registrert av grosh-plata i grønn varegård. Grunnen til at det ikke har blitt registrert nedbør på grosh-plata ved hesteinngang kan være at nedbøren har vært veldig lokal, eller at grosh-plata har blitt dekket til. Figur 5.2.3 viser plasseringen til grosh-plata ved hesteinngangen, og det er ikke usannsynlig at plata kan ha vært dekket til med et kjøretøy eller annet utstyr. At plata har vært dekket vil være det mest sannsynlige alternativet da det både blir registrert nedbør av nedbørsføleren fra Thies, og nedbørsføleren på taket av veterinærbygningen ved disse tidspunktene. For å sikre at snøen blir smeltet når den skal, er det dermed viktig at grosh-platene ikke blir tildekket.



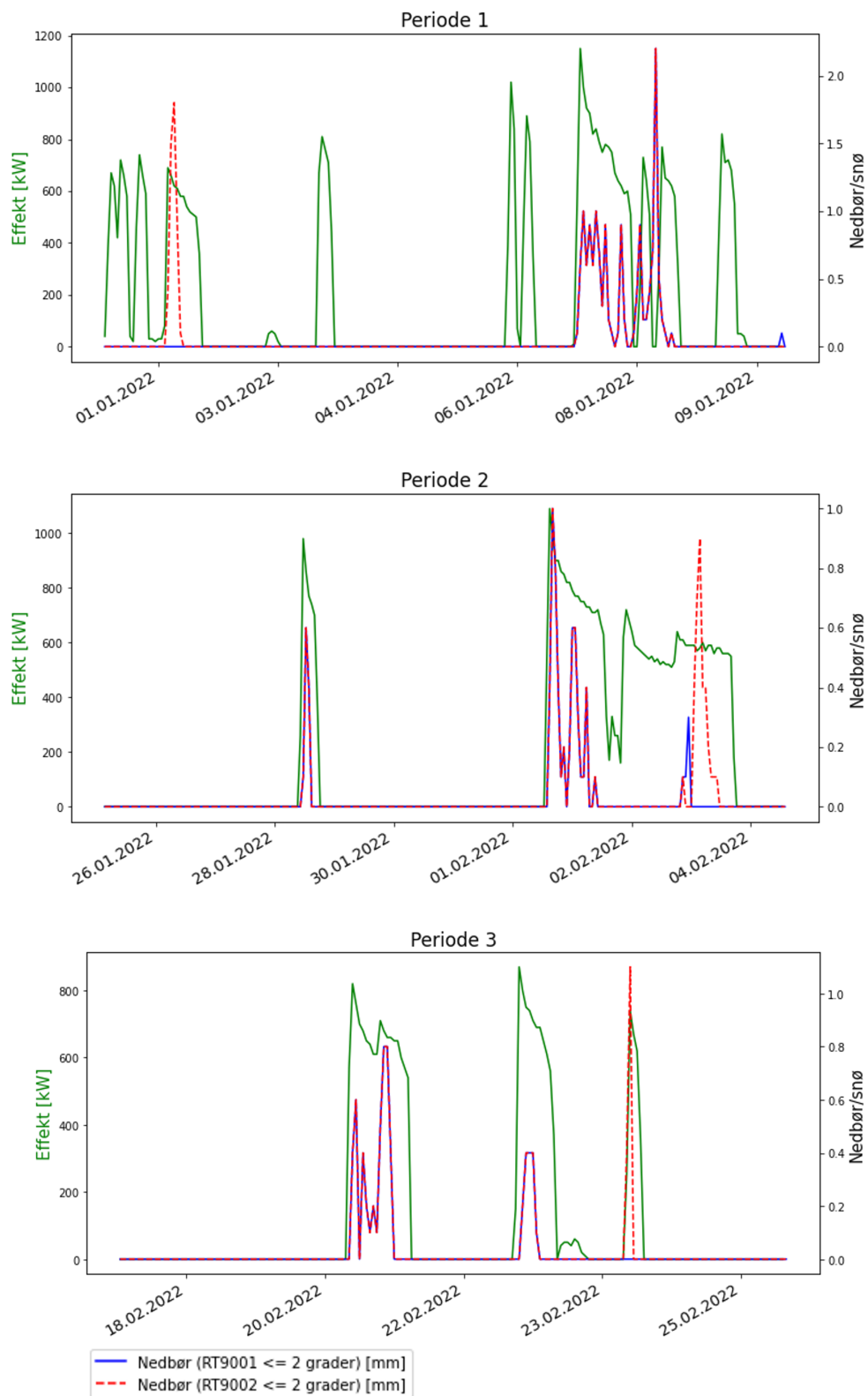
Figur 5.2.3: Plassering av grosh-plate hesteinngang.

Ut i fra figur 5.2.4 og 5.2.5 er det ingen åpenbar sammenheng mellom nedbørsmengde og effekt. Den største effekttoppen i januar som oppstår rundt 7. januar samsvarer ikke med største nedbørsmengde i perioden. Dette var et forventet resultat da snøsmelteanlegget ikke regulerer effekten etter nedbørsmengde, men kun etter om det detekteres nedbør på enten grosh-platene eller på værtstasjonen. Ved denne effekttoppen ble det registrert

nedbør på både måler RT9001 og RT9002. Siden begge grøsh-platene registrerte nedbør betyr dette at hele snøsmelteanlegget for område 2 må ha vært skrudd på, og at det har skapt en stor effekttopp da hele anlegget ble skrudd på.



Figur 5.2.4: Energiforbruket til snøsmelteanlegget plottet mot nedbør [cm]. Nysnø er plottet i blått, og nedbør dersom lufttemperaturen er under eller lik 1 °C er plottet i rødt.



Figur 5.2.5: Energiforbruket til snøsmelteanlegget plottet mot nedbør. Figuren plottes nedbør dersom temperaturen ved grosh-platene er lik eller under 2°C , som er kravet for at grosh-platen skal aktiveres.

5.2.1 Diskusjon og forslag til forbedret styring

Som nevnt oppstår de største effekttoppene etter at anlegget ikke har vært aktivt i en periode. En av årsakene til dette skyldes lav temperatur på vannet ved måler RT4001 (se figur 3.4.2), som vist i figur 5.2.2. Dette skyldes blant annet at det ikke er standby-drift som sikrer en beredskapstemperatur på bakken eller vannet i anlegget. Når anlegget ikke er i smeltemodus kan dermed vanntemperaturen synke til temperaturer ned mot 20 °C, og mulig lavere. En frostsikringsfunksjon sikrer riktignok at temperaturen aldri synker under 10 °C.

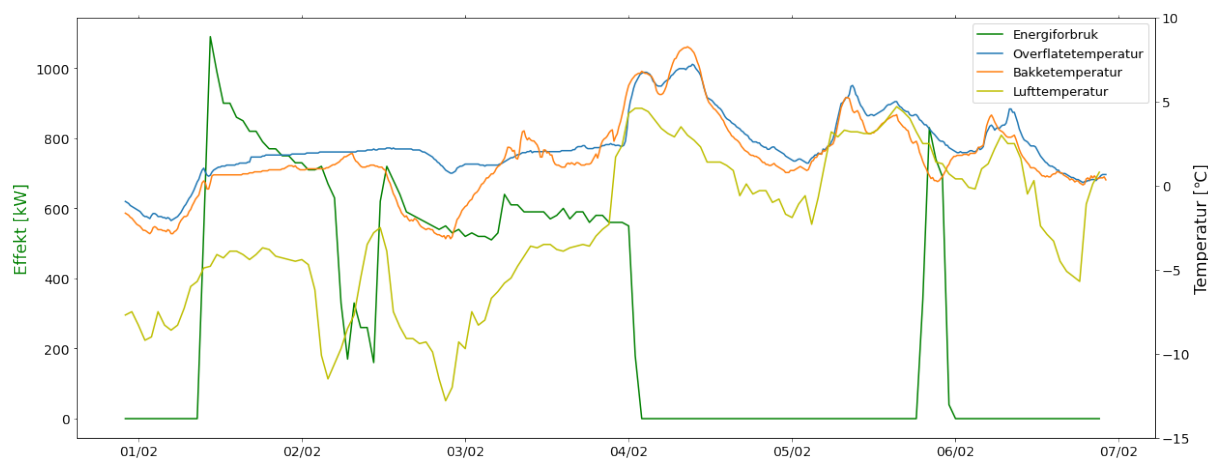
Soneventilene har også kun AV/PÅ-regulering. Dersom man hadde lagt inn en standby-temperatur på vannet på primær eller sekundærside av varmeveksleren, vil det fortsatt kunne oppstå effekttopper når vannet slippes ut til de enkelte sonene da de ikke har noen foroppvarming eller mulighet for gradvis tilføring av varmtvann. Det varme vannet vil da raskt avkjøles i de enkelte sonene, og effekttopper vil kunne oppstå. Med denne typen standby-drift risikerer man også å ha et stort energiforbruk uten å få redusert effekttoppene betraktelig. I masteroppgaven ”Bruk av værprognoser for optimal styring av snøsmelteanlegg” fra NTNU 2014, ble det funnet at energiforbruket til snøsmelteanlegg i standby-drift utgjør rundt 70 % av anleggets totale energiforbruk [62]. Standby-drift bør dermed ikke benyttes i kalde og tørre perioder, men kun i sammenheng med nedbør.

Et annet forslag til styring kan være å åpne soneventilene, og gradvis varme opp vannet på sekundærsiden. Det kan da tenkes at settpunkt på sekundærsiden gravis økes til 35 °C, i stedet for å holdes konstant. Dersom anlegget også hadde blitt koblet opp mot Yr eller lignende værtjeneste, kunne anlegget blitt gradvis oppvarma i de periodene det er meldt snø. Oppvarming kunne eksempelvis vært lagt inn med lav effekt i 3 til 6 timer før anlegget skal skrus på, og høyere effekt i tidspunktet nærmere snøfall. Ved snøfall er da bakken allerede varm, og smeltingen vil kunne skje raskt. Hvor lenge før oppvarmingen skal starte bør undersøkes i sammenheng med ute- og bakketemperatur, vanntemperatur i snøsmelteanlegget, meldt nedbørsmengde, samt andre relevante forhold.

I dag reguleres snøsmelteanlegget etter settpunkt for vanntemperaturen på sekundærsiden av varmeveksleren. Det er også en mulighet å styre bakkens minimumstemperatur ved å sette en øvre og nedre grenseverdi på bakketemperatur. Figur 5.2.6 viser sammenhengen mellom effekt, og overflate-, bakke- og lufttemperaturer i en tilfeldig uke i februar. Det er vanskelig å se en klar sammenheng mellom energiforbruket, og overflate- og bakketemperaturene. Dette skyldes at bakketemperaturer i stor grad også er avhengig av lufttemperaturen, og dermed blir det vanskelig å se hvor mye bakketemperatur faktisk påvirkes av selve snøsmeltingen. Om styring basert på bakketemperatur er en bedre måte å styre anlegget på er usikkert, men det kan være spennende å teste det ut for å se om det kan bidra til reduserte effekttopper.

Snøsmelteanlegget har som kjent hatt høye effekttopper vinteren 2021/2022, med verdier oppimot 1150 kW. Ved å sette en grense for maksimalt varmepådrag vil disse effekttoppene unngås, men man risikerer at smeltingen skjer langsommere. Forslag til måter effektbegrensning kan gjennomføres på i et snøsmelteanlegg er inspirert av masteroppgaven om snøsmelteanlegg, som nevnt over i kapitlet [62], og kan være følgende:

- definere en begrensning på ΔT før og etter varmeveksleren på sekundærsiden.
- definere en begrensning på ΔT før og etter varmeveksleren på primærsiden.
- definere en nedre temperaturgrense for enten lufttemperatur eller bakketemperatur for når anlegget ikke skal skrus på. Ved lave temperaturer kan man risikere at anlegget ikke klarer å smelte snøen, og det er dermed bedre å skru det helt av enn at det bruker mye unødvendig energi.



Figur 5.2.6: Sammenhengen mellom effekt [kW] og ulike temperaturer [°C] i en tilfeldig periode i februar 2022. Temperaturene som måles er overflatetemperaturen på bakken, bakketemperaturen ca. 3 cm under overflaten, samt lufttemperaturen .

Når effektgrensen for snøsmelteanlegget skal fastsettes er det viktig å ikke sette denne for lavt. Dersom anlegget driftes ved for lav effekt risikerer man at man ikke har tilstrekkelig energi til å smelte snøen. Snøen kan dermed bli liggende i lang tid, og følgelig vil snøsmelteanlegget ha et unødvendig forbruk i denne perioden. Dette vil dessuten kunne føre til et stort energiforbruk. Det vil da være bedre at anlegget driftes på høyere effekt over kortere tid, slik at snøen faktisk blir smeltet. Valg av effektgrense er dermed svært viktig for et godt regulert snøsmelteanlegg.

5.3 Laststyring og lastbegrensning

For å redusere effekttopper i fjernvarmenettet har ulike teoretiske tiltak blitt undersøkt. De to første tiltakene går ut på å redusere eller koble ut romoppvarmingslaster og ventilasjonen i korte perioder når det totale fjernvarmeforbruket overstiger en valgt effektgrense. Det tredje tiltaket går ut på å sette en effektgrense for snøsmelteanlegget for å unngå store effekttopper i anlegget. I tiltak 1 og 2 er effektgrenser valgt slik at effektgrensen er lik den nye effekttoppen i måneden, for forklart i kapittel 4.4.2.

Tiltak 1: Styring av romoppvarming

Dette tiltaket undersøker hvilken påvirkning en reduksjon og utkobling av romoppvarmingslaster vil ha på effekttoppene. Reduksjonen/utkoblingen er satt til to timer, og for de ulike månedene ble det valgt ulik effektgrense for når romoppvarmingslastene skal skrues av. I desember ble grensen satt til 4 823 kW, i januar 4 671 kW og i februar 4 590 kW. Tabell 5.3.1 viser hvor mye de totale effekttoppene for fjernvarmeanlegget kan reduseres i kW når ulik prosent av romoppvarmingslastene reduseres, og tabell 5.3.2 viser de økonomiske besparelsene en slik effekttoppreduksjon hadde gitt. En grafisk fremstilling for styring av romoppvarming er lagt ved i vedlegg A.1.

Tabell 5.3.1: Reduksjon av effekttopper [kW] per mnd ved styring av romoppvarmingslaster.

Reduksjon av last	Desember	Januar	Februar
30 %	95,5	74,1	92,6
50 %	159,2	123,5	154,3
80 %	254,6	197,7	246,9
100 %	318,3	247,1	308,6

Tabell 5.3.2: Økonomisk gevinst av effekttoppreduksjon [NOK] per mnd ved styring av romoppvarmingslaster.

Reduksjon av last	Desember	Januar	Februar	Total
30 %	14 324	7 784	9 721	31 829
50 %	23 873	12 973	16 201	53 047
80 %	38 197	20 756	25 922	84 875
100 %	47 747	25 945	32 403	106 095

Tiltak 2: Styring av ventilasjon

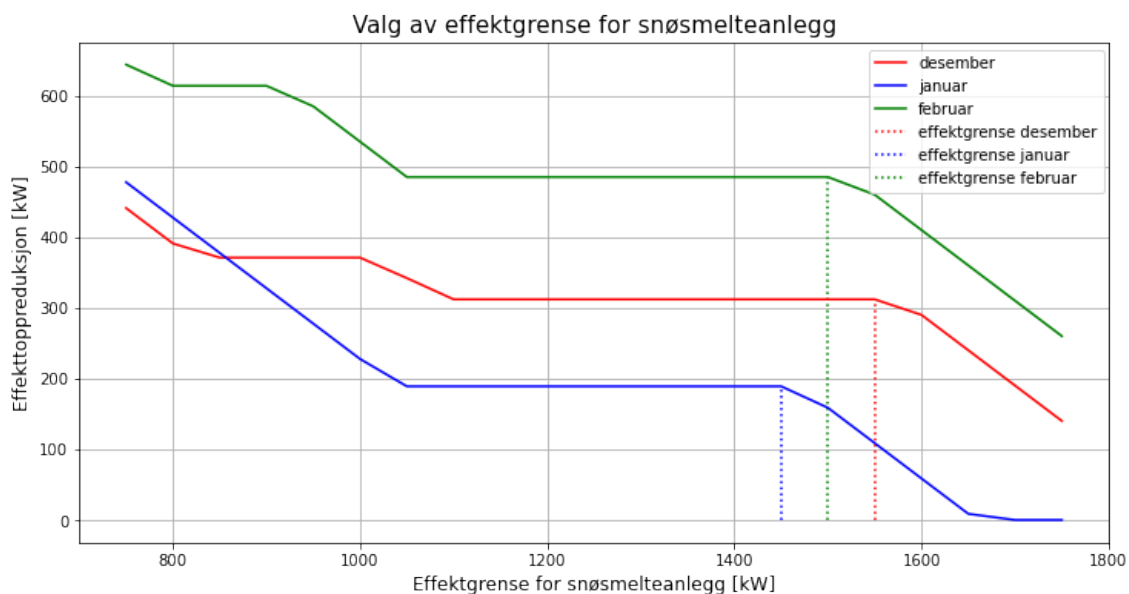
Tabell 5.3.3 viser potensialet for effekttoppreduksjon dersom ventilasjonslastene tilhørende energimåler ”151.00=320.101OE0003 Ventilasjon” skrues av i én time. Effektgrensen for når ventilasjonslastene skal skrues av er i desember på 5 039 kW, i januar 4 818 kW, og februar 4 809 kW. I alle månedene viste det seg å være nok å skru av ventilasjonen kun én gang med én times varighet for å oppnå effekttoppreduksjonen som tabell 5.3.3 viser. Vedlegg A.2 fremstiller det endrede forbruket grafisk dersom tiltak 2 hadde vært innført.

Tabell 5.3.3: Tabellen viser potensialet for å redusere effekttopper når enkelte ventilasjonslaster kobles ut i én time, samt hvilke kostnadsbesparelser dette medfører.

Måned	Effekttoppreduksjon [kW]	Økonomisk besparelse [NOK]
Desember	102	15 300
Januar	100	10 500
Februar	90	9 450
Sum		35 250

Tiltak 3: Effektgrense for snøsmelt

For å unngå å skru av laster som ikke vil ha påvirkning på effekttoppreduksjon, ble det laget et plot for å undersøke hva den mest hensiktsmessige effektgrensen for snøsmelteanlegget vil være. Figur 5.3.1 viser hvor stor effekttoppreduksjon man kunne fått ved å sette ulike effektgrenser for snøsmelteanlegget vinteren 2021/2022. De stipla linjene viser hvilke grenser som blir brukt i analysen, som i desember var 1550 kW, januar 1450 kW og i februar på 1500 kW. Det var ønskelig å ikke sette effektgrensene for lavt for å sikre at det er tilstrekkelig energi til å smelte snøen.



Figur 5.3.1: Valg av effektgrense vil påvirke hvor mye det er mulig å redusere effekttopper. Figuren viser sammenhengen mellom effektgrense for snøsmelteanlegget, og mulig effekttoppredusjon i det totale fjernvarmeforbruket til veterinærbygget. De stipla linjene viser effektgrensene som benyttes i oppgaven.

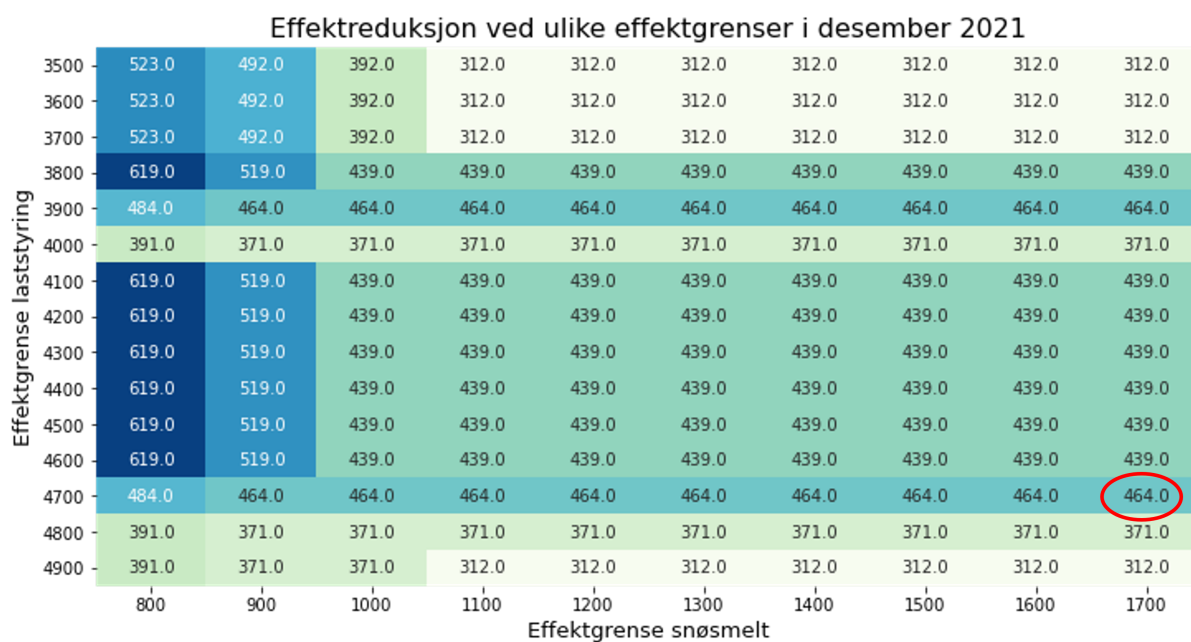
Tabell 5.3.4 viser potensialet for effekttoppredusjon og økonomiske besparelser dersom effektgrensene fra figur 5.3.1 benyttes. I vedlegg A.3 er det lagt ved linjediagram av det endrede forbruket dersom tiltak 3 hadde vært innført i desember 2021, og januar og februar 2022.

Tabell 5.3.4: Tabellen viser potensialet for å redusere effekttopper ved å legge inn en effektbegrensning for hver måned i snøsmelteanlegget. Figuren viser også hvilke økonomiske besparelser dette vil gi.

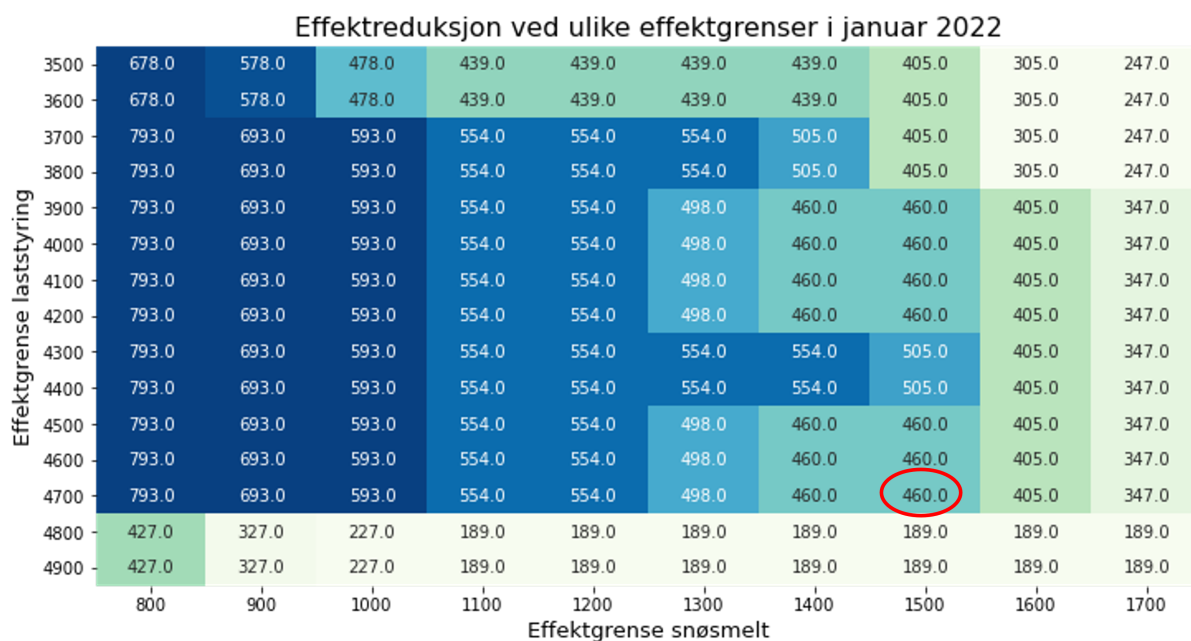
Måned	Effekttoppredusjon [kW]	Økonomisk besparelse [NOK]
Desember	312	46 800
Januar	189	19 845
Februar	485	50 925
Sum		117 570

Kombinasjon av tiltak

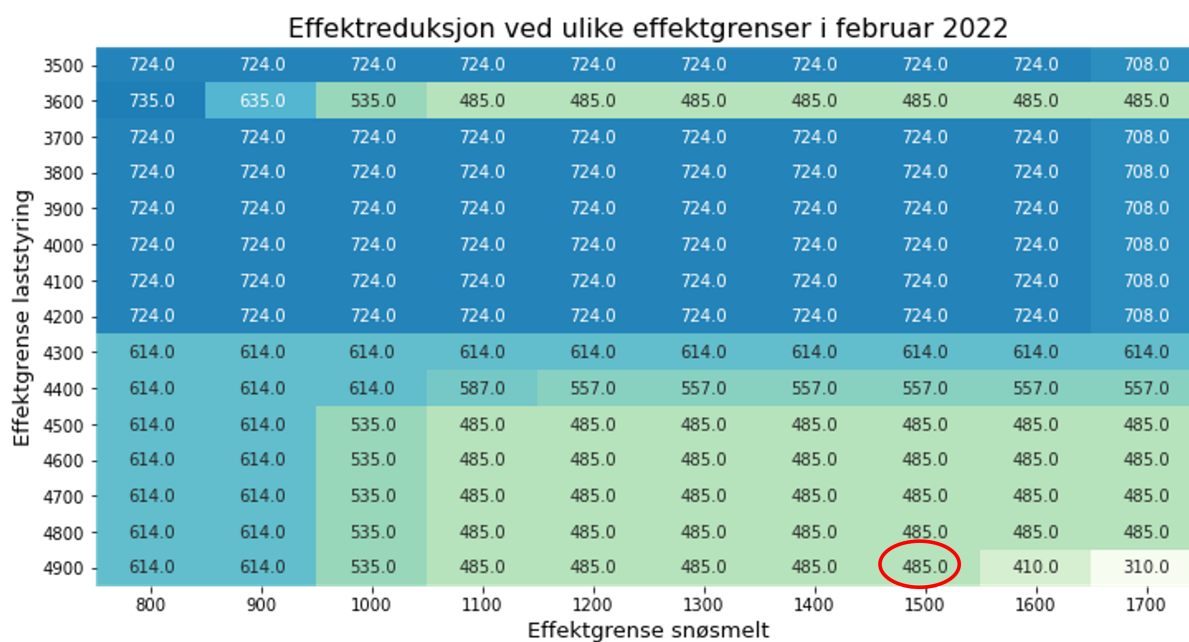
Når tiltakene over kombineres vil det være hensiktsmessig å endre effektgrensene. For å finne hvilken effektgrense som egner seg best når tiltakene kombineres ble det laget et fargekart for hver måned som viser hvor mye lastreduksjon man kan oppnå ved ulike effektgrenser. Dette vises i figur 5.3.2, 5.3.3 og 5.3.4. Det blir valgt at romoppvarming og ventilasjon skal skrus av i henholdsvis én og to timer når total effekt overskrider samme effektgrense. I fargekartene varierer denne effektgrensen mellom 3500 kW og 4900 kW, mens effektgrensen for snøsmelt varierer mellom 800 kW og 1700 kW.



Figur 5.3.2: Fargekart over effekttoppreduksjon [kW] i desember 2021 ved ulike effektgrenser [kW]. Lastreduksjon av romoppvarming og ventilasjon har samme effektgrense, og er plottet langs y-aksen. Langs X-aksen er effektgrensen for det totale snøsmelteanlegget plottet.



Figur 5.3.3: Fargekart over effekttoppreduksjon [kW] i januar 2022 ved ulike effektgrenser [kW]. Lastreduksjon av romoppvarming og ventilasjon har samme effektgrense, og er plottet langs y-aksen. Langs X-aksen er effektgrensen for det totale snøsmelteanlegget plottet.



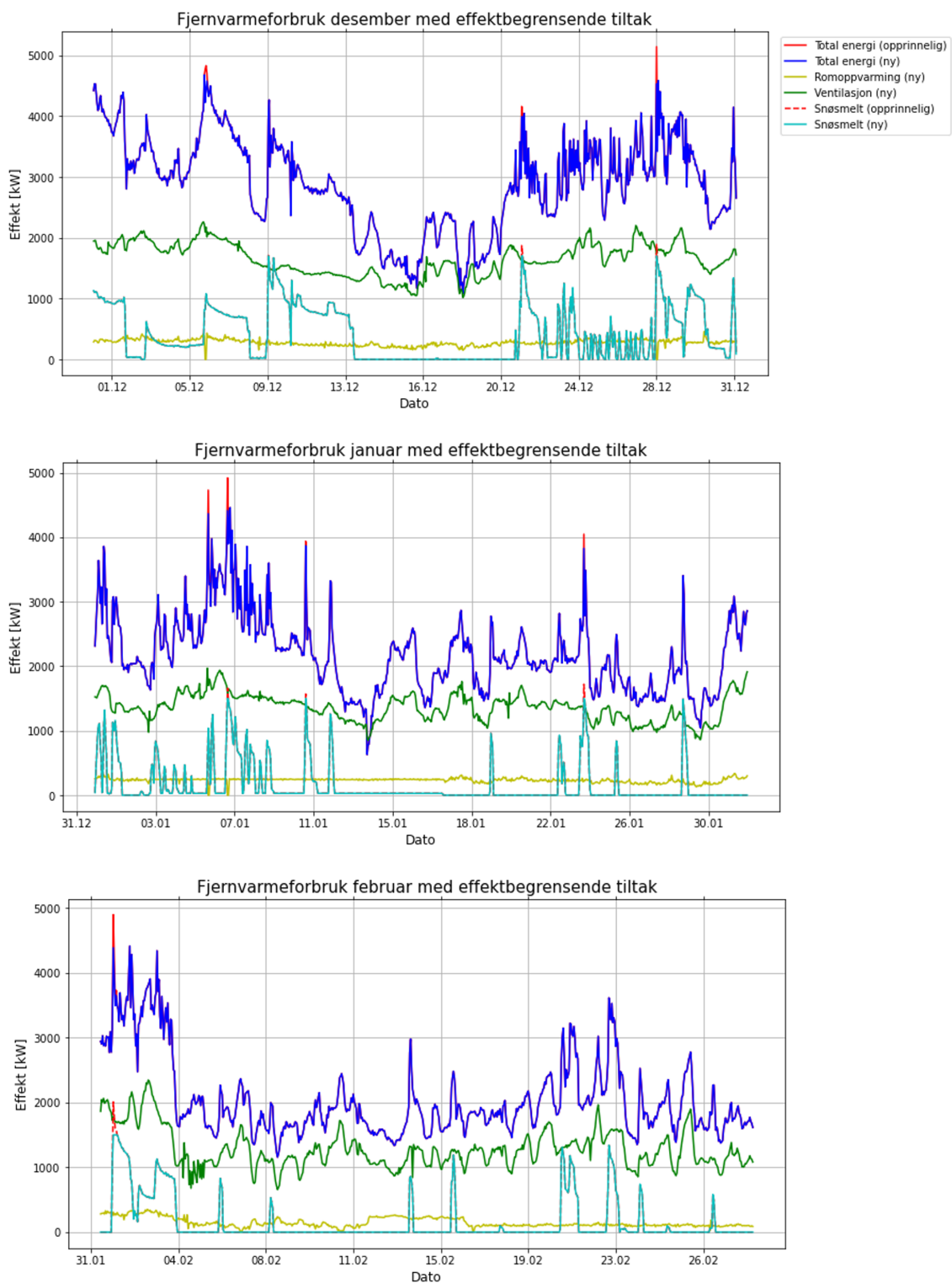
Figur 5.3.4: Fargekart over effekttoppreduksjon [kW] i februar 2022 ved ulike effektgrenser [kW]. Lastreduksjon av romoppvarming og ventilasjon har samme effektgrense, og er plottet langs y-aksen. Langs X-aksen er effektgrensen for det totale snøsmelteanlegget plottet.

De røde ringene i fargekartene markerer hvilke effektgrenser som er valgt for simuleringen. Effektgrensene er valgt på bakgrunn av at lastene skal ha en høyest mulig effektgrense, som samtidig reduserer effekttopper betydelig. Effektgrensen for snøsmelteanlegget velges til 1700 kW desember, og 1500 kW i januar og februar, mens effektgrensen for styring av de resterende lastene velges til 4700 kW i desember og januar, og 4900 kW i februar.

Tabell 5.3.5: Tabellen viser potensialet for å redusere effekttopper dersom de tre tiltakene over kombineres. Tabellen viser også hvilke økonomiske besparelser dette vil gi.

Måned	Effekttoppreduksjon [kW]	Økonomisk besparelse [NOK]
Desember	464	69 600
Januar	460	48 300
Februar	485	50 925
		168 825

Figur 5.3.5 viser hvordan effekttoppene reduseres når de valgte effektgrensene benyttes. For romoppvarming og ventilasjon er kun grafene for det nye, simulerte forbruket plottet. Dette skyldes at de to forbrukene er såpass like og at man ikke hadde klart å skille det nye forbruket fra det opprinnelige i figuren. Reduksjon av romoppvarming kan likevel ses i figuren ved at det oppstår en slags ”dupp” i forbruket.

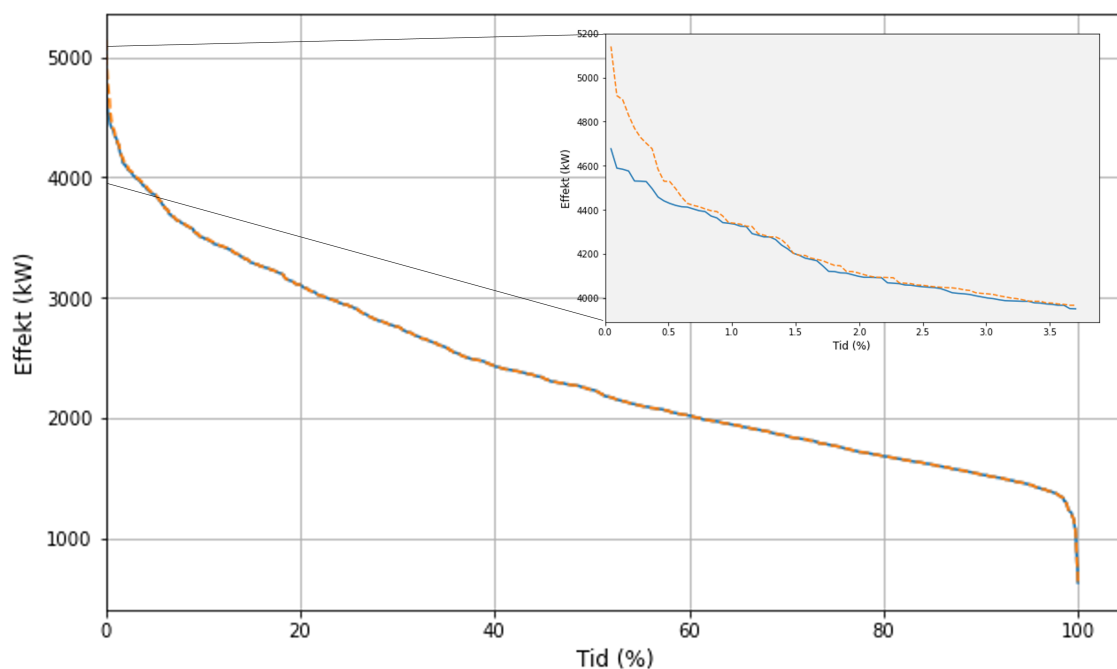


Figur 5.3.5: Fjernvarmeforbruk for desember 2021, januar 2022 og februar 2022 dersom de tre effektbegrensende tiltakene hadde blitt kombinert.

Figur 5.3.5 viser at også laster som ikke fører til at den totale effekttoppen blir redusert, vil skrus av eller reduseres når de effektbegrensende tiltakene blir kombinert. Med det menes at man med effektbegrensning vil risikere å skru av laster som ikke nødvendigvis bidrar til økonomiske besparelser. Eksempelvis oppstår dette rett etter den 20. desember. Der reduseres effekttoppen for snøsmelt, men denne reduksjonen vil ikke utgjøre noen forskjell på den største effekttoppen i måneden. Dette er et naturlig resultat da man ikke vet hvilket energiforbruk fremtiden vil bringe, og derfor ikke kan vite hva den største effekttoppen

i måneden blir på forhånd. Valg av effektgrense vil dermed være viktig dersom styring av laster blir innført. Velges en lav effektgrense risikerer man at laster som ikke påvirker høyeste effekttopp i måneden skrur av unødvendig. Velges derimot en høy effektgrense kan man risikere å ikke redusere den opprinnelige høyeste effekttoppen i det hele tatt. Siden forbruket varierer fra måned til måned vil også valget av effektgrense variere fra måned til måned. Effektgrensen blir også påvirket av hvor mange laster som skrur av samtidig, som nevnt tidligere. Valg av effektgrense bør dermed baseres på historikk av totalt forbruk, samt de fleksible lastene som skal reduseres, for å finne den optimale grensen.

En varighetskurve viser hvor lang tid ulik effekt forbrukes. Figur 5.3.6 viser varighetskurven for det opprinnelige forbruket (i oransje) og for det nye forbruket (i blått) når effekttopper er redusert ved kombinasjonen av tiltak som vist over. Lastkurven blir noe slakere med effektbegrensende tiltak, men dette er minimalt. Lastkurven endres kun merkbart på forbruk høyere enn 4600 kW. Det opprinnelige forbruket hadde åtte timer med forbruk over 4600, mens det med effektbegrensende tiltak kun oppsto én gang. Dette er som forventet da effektgrensene ble satt relativt høyt på 4700 kW og 4900 kW i de ulike månedene. Dersom effektgrensene hadde blitt satt lavere ville det gitt større utslag på varighetskurven.



Figur 5.3.6: Varighetskurve for det totale fjernvarmeforbruket på Veterinærhøgskolen, som viser hvor lang i tid i prosent ulike effekt forbrukes. Det opprinnelige forbruket vises i oransje stiptet linje, mens den blå kurven viser hvordan varighetskurven endrer seg når man kombinerer de effektbegrensende tiltakene.

5.3.1 Generell diskusjon

På Veterinærhøgskolen er det mye som kunne vært studert med tanke på energiforbruk, og det har i denne oppgaven blitt valgt å fokusere på fjernvarmetilførselen og hvordan termiske effekttopper kan reduseres. Masteroppgaven kan betraktes som en innledende studie der teoretiske tiltak for å redusere effekttopper har blitt undersøkt. Disse tiltakene har ikke blitt testet i virkeligheten, og anbefales derfor at de ulike tiltakene testes i korte tidsperioder før det eventuelt legges inn i den normale driften av bygget. Diskusjonsdelen tar videre for seg vurderingen om hvorvidt tiltakene teoretisk sett er gjennomførbare.

Utkoblingstid

Valg av tidsperiode for utkobling av romvarme og ventilasjon er hovedsakelig basert på rapporten fra forskningsprosjektet Sluttbrukermarked, der utkobling av forskjellige laster ble testet i ulike tidsrom [22]. Denne rapporten ble publisert i år 2000, og den vil dermed ikke være direkte sammenlignbar med veterinærbygget som ble ferdigstilt i 2021. Likevel vil rapporten gi en pekepinn på hvilke utkoblingslengder som er realistiske. I rapporten ble elektriske laster undersøkt, og det påpekes at utkoblingspotensialet antageligvis vil være større for laster som ikke er elektriske. Det er dermed grunn til å tro at termiske laster vil kunne kobles ut i minst samme tidsperiode som i forsøket, og mulig lenger. Siden radiatorer og gulvvarme er termisk trege laster, vil de kunne avgi varme til rommet selv når de ikke tilføres varme. I forsøket som rapporten tar for seg kom det fram at de fleste av personene som reagerte på redusert lufttemperatur hadde arbeidsplass ved vinduet, og dette trolig skyldtes kundetrek fra vinduet. Veterinærhøgskolen er et godt isolert bygg, som vil ha lite varmetap gjennom vegger og vinduer. Det vil sannsynligvis ikke oppstå samme problem med kuldetrek fra vinduer for dette bygget, og det kan dermed tenkes at romoppvarming kan skrus av i 2 timer uten at det går på bekostning av brukernes komfort.

Siden datasettet inneholdt timesverdier var det hensiktsmessig å se på tiltak der laster ble redusert i hele timer. Det var også praktisk siden effektleddet for fjernvarme baserer seg på høyeste effekttopp per time, og man kunne dermed lage en simulering som enkelt reduserte kostnader for fjernvarme. Det er likevel ikke sikkert at en utkobling på de valgte tidsperiodene er det mest hensiktsmessige for bygget, men de har blitt valgt ut som et case for å se hvordan dette vil påvirke effekttoppene i fjernvarmenettet.

Gjeninnkoblingseffekten

Ved utkobling av rom- og ventilasjonslaster har gjeninnkoblingseffekten ikke blitt tatt hensyn til. Det bør dermed regnes med at energiforbruket er høyere enn normalt når disse lastene skrus på igjen. Fra forskningsprosjektet som har blitt brukt som referanse i masteroppgaven [22], ble det ut i fra forsøk med utkobling av romvarme i boliger funnet ut at 25 % av energien som er koblet ut vil legge seg over det normale energiforbruket ved gjeninnkobling. Figur 5.1.3 viser at effekttoppene i hver måned har kort varighet. I desember 2021, januar 2022 og februar 2022 varer den høyeste effekttoppen i kun én time, der effekttoppene i dette tilfellet var minst 700 kW større enn de påfølgende effektverdiene. Dersom kun den største effekttoppen i hver måned blir redusert, vil gjeninnkoblingseffekten mest sannsynlig ikke bidra til at en ny effekttopp blir større enn den opprinnelige effekttoppen.

I den siste simuleringen, der de ulike tiltakene ble kombinert, ble effekttopper i desember og januar redusert flere ganger i løpet av månedene. Figur 5.3.5 viser at det rett etter 5. desember oppstår en effekttopp som er mindre spiss enn resten av effekttoppene i januar og februar. Her er det mulig at gjeninnkoblingseffekten vil gi en høyere effekttopp enn den opprinnelige effekttoppen denne dagen. Februar måned derimot hadde kun én tydelig effekttopp på 4899 kW som har blitt betraktelig redusert i de teoretiske simuleringene.

gene. For å redusere denne effekttoppen var det kun nødvendig å begrense snøsmelting til 1500 kW, uten at romoppvarming eller ventilasjon ble redusert. Dette vises i figur 5.3.4 der effektgrensen for laststyring av romoppvarming og ventilasjon ble valg til 4900 kW, som er høyere enn opprinnelig effekttopp. Siden snøsmelleanlegget legges inn med en øvre effektgrense vil ikke gjeninnkoblingseffekten oppstå på samme måte som for utkobling av rom- og ventilasjonslaster. Det som i stedet kan være tilfellet er at snøsmelleanlegget drif-tes på en effekt oppmot effektgrensen over lengre tid, siden det vil bruke lengre tid på smelting ved lavere effekt. Dette vil ikke føre til økte effekttopper, men heller et større energiforbruk totalt sett.

Tillatt tid mellom utkobling av laster

I simuleringen av lastreduksjon ble det lagt inn en "pause" mellom hver gang lastene ble redusert. Dette var for å unngå at lastene ble redusert i flere perioder rett etter hverandre, slik at lastreduksjonen varte lengre enn det som var satt som utgangspunkt. Etter hver utkobling/reduksjon ble det lagt inn at lastene skulle ha normalt forbruk i minst den tiden lastene var redusert. For romoppvarming betyr det at lastene måtte ha normalt forbruk i minst to timer etter at lastene ble koblet ut, før man kunne tillate en ny utkobling. Tilsvarende ble lagt inn med én time for ventilasjon. Resultatene viste imidlertid at når lastene ble koblet ut, i tiltak 1, 2 og 3, samt kombinasjonen av disse, var det ingen tilfeller der det var kort tid mellom utkoblingene. Den korteste tidsperioden mellom utkobling oppstår rundt 7. januar (se figur 5.3.5), der tidsperioden mellom utkobling var 22 timer. Dette antas å være lang nok tid for å opprettholde tilstrekkelig innetemperatur og luftkvalitet mellom utkoblingene.

Romoppvarming

I den teoretiske simuleringen har romoppvarmingslastene, radiatorer og gulvarme, blitt redusert med ulik prosent, samt blitt skrudd helt av. For at det skal kunne være mulig å redusere denne typen laster må det sørges for at romtemperaturen ikke synker til lave temperaturer som skaper dårlig inn klima. Utkoblingstiden for lastene baserer seg blant annet på at vannbåren oppvarming har termisk treghet, og at derfor veterinærbygget, som er et godt isolert bygg, vil bevare mye av varmen i rommet i løpet av utkoblingstiden. Samtidig vil oppvarmingsbehovet avhenge av utetemperaturen, og det er dermed viktig å ta hensyn denne temperaturen ved reduksjon eller stans av romoppvarmingslaster. Personer avgir også varme, og rom med flere personer vil dermed ha lavere varmebehov. Dersom rommene ikke er i bruk vil en utkobling av varmen ha liten betydning for brukernes komfort, så lenge varmen settes på igjen i god tid før rommet skal brukes. I den siste simuleringen i resultater, der ventilasjon kobles ut samtidig som romoppvarming, antas det at det fortsatt vil være mulig å opprettholde tilstrekkelig innetemperatur. Dette skyldes at ventilasjon tilfører luft som er kaldere enn settpunktstemperaturen til rommet. Det kan dermed være hensiktsmessig å stoppe ventilasjonen når romoppvarmingslastene reduseres eller skrur av.

I tiltaket for romoppvarming ble det valgt at alle romoppvarmingslastene på Veterinærhøgskolen kobles ut på likt i to timer. Hele Veterinærhøgskolen vil da stå uten oppvarming i to timer, og innetemperaturen kan da synke merkbart dersom utetemperaturen er lav. I virkeligheten vil det kunne være mer hensiktsmessig å koble ut færre laster i ulike tidsperioder, og da gjerne med kortere utkoblingstid. Når færre laster reduseres samtidig, vil reduksjon av effekttopper bli lavere enn det tabell 5.3.1 viser. Det er følgelig også usikkert om de økonomiske besparelsene knyttet til reduksjon av romoppvarmingslaster i tabell 5.3.2 er mulige å oppnå.

Ventilasjon

Hvorvidt reduksjon eller pausing av ventilasjonslaster i faktisk er gjennomførbart i virkeligheten er usikkert. Veterinærbygget er et avansert bygg som blant annet stiller strenge krav til styring av ventilasjonsluft. Bygget består av over 2000 rom med minst 400 romtyper, og alle romtypene vil ha hver sin løsning for å opprettholde tilstrekkelig luftkvalitet [53]. Det må blant annet tas hensyn til antall vinduer i rommet, radiatorvarme, romtype, størrelsen på rommet, og hvor mange personer som befinner seg i rommet til ulike tidspunkt. I denne oppgaven har det kun blitt sett på hypotetisk tilfeller der ventilasjonslaster tilhørende kontorer og grupperom har blitt skrudd av i en hel time. I praksis kan kortere tidsperioder være mer aktuelt for å opprettholde god luftkvalitet.

Reguleringen av ventilasjonsluft på Veterinærhøgskolen er som nevnt behovsstyrt, og lufttilførselen er lavere i rom som ikke er i bruk. Rommene har alltid noe lufttilførsel, da ventilasjonsaggregatene aldri skrur helt av. De fleste grupperom og kontorer styres etter CO₂-nivå og om det er bevegelse i rommet [53], som gjør at ventilasjonen i utgangspunktet er godt regulert. Likevel vil det kunne være mulig å skru av ventilasjonen i korte tidsperioder uten at luftkvaliteten synker til uakseptable nivåer. Siden de fleste grupperom og kontorer er utstyrt med enten CO₂-måler og/eller bevegelsessensor, vil det være et potensiale for å skru av ventilasjonen i rom med lave CO₂-verdier, eller rom som ikke er i bruk. Rom med få personer vil naturlig nok være mer aktuelt å skru av enn rom med flere personer. Per april 2022 er den øverste tillatte CO₂-verdien i rommene på bygget på 800 ppm, og det kan diskuteres om denne kan heves til 1000 ppm, som er normkravet fra Folkehelseinstituttet for god luftkvalitet. Det vil i så fall føre til større fleksibilitetsmuligheter for ventilasjonsstyring. Dersom rom i tillegg blir utstyrt med VOC-målere kan man oppnå et mer nøyaktig og riktig inntrykk av hva den faktiske luftkvaliteten er. Da kan luftmengder lettere tilpasses det faktiske behovet i hvert rom, og man kan se på muligheter for å redusere eller skru ventilasjon helt av der luftkvaliteten er god. Ved å benytte både romtemperatur, CO₂- og VOC-verdier, kan man gjøre forsøk for å finne krysningspunkter for god inneklima, og dermed finne ut hvor lenge ventilasjonen i ulike rom kan skrur av.

En utfordring som kan oppstå dersom mange ventilasjonslaster skrur av samtidig er at det vil kunne oppstå trykkforskjeller i bygget. Dette kan føre til problemer med alarmer, samt åpning av dører i bygget [53]. I følge Eiendomsavdelingen på NMBU vil man, med de tiltakene som er forelått i oppgaven, kunne kjenne på trykkforskjeller mellom bygg 155 og 154, samt 152 og 154, og dette bør i så fall testes ut [59]. Dersom en utkobling på én time ikke er gjennomførbart, bør det testes med kortere stans av ventilasjon. Siden det er usikkert hvordan trykket i bygget blir når ventilasjonslaster skrur av, er dette viktig å undersøke i forkant av en eventuell innføring av tiltaket.

I den teoretiske simuleringen i oppgaven har det kun blitt sett på hvordan ventilasjonslastene tilhørende energimåler, 151.00=320.101OE0003 kan bidra til reduserte effekttopper. Disse lastene har i perioden som har blitt undersøkt i masteroppgaven hatt et gjennomsnittsforkbruk på 64,7 kW, som utgjør 4,9 % av den totale gjennomsnittsforkbruket for ventilasjonslastene på bygget. Det er dermed et stort potensial for å redusere effekttopper ytterligere dersom flere ventilasjonslaster kan styres. Det er likevel lite sannsynlig at et stort antall ventilasjonslaster vil kunne kobles ut, da store deler av bygget inneholder rom som stiller strenge krav til ventilasjonsluft, og dermed ikke er fleksible.

Valg av effektgrense

Simuleringen som har blitt foretatt i denne masteroppgaven baserer seg på at man vet forbruket i en hel måned på forhånd. Det har dermed vært mulig å velge effektgrenser som kun reduserer de lastene som bidrar til redusert effekttopp totalt sett i månedene. I en reell driftssituasjon må effektgrenser velges i forkant. Dersom effektgrensa velges lavt,

slik at flere laster skrur av med kortere mellomrom kan det ikke utelukkes at gjeninnkoblingseffekten vil bidra forsterkede effekttopper i enkelte situasjoner. Når flere laster kobles ut vil det kunne få negative konsekvenser for innklimaet, ved at ventilasjonsluft eller innetemperaturen ikke rekker å nå settpunkt før en ny utkobling skjer. Valg av effektgrense bør dermed baseres på prediksjoner av når effekttopper oppstår, og størrelsen på disse effekttoppene. En slik prediksjon krever historisk data, og i oppstartsfasen av bygget vil det dermed kunne være vanskelig å velge en egnet effektgrense. En trygg løsning kan da være å sette effektgrensen høyt slik at få laster kobles ut, og reduksjon av effekttoppene blir mindre. Når man begynner å kjenne forbruksmønsteret på veterinærbygget kan denne grensen etterhvert senkes, og tilpasses forbruket.

Økonomiske gevinster av effekttoppreduksjon

Fra det økonomiske perspektivet har masteroppgaven kun tatt for seg kostnadsbesparelser tilknyttet effektledet i fjernvarmekostnadene. Resultatene viser at besparelser i effektledet blir størst dersom de effektreduserende tiltakene blir kombinert. Med disse tiltakene ble de samlede økonomiske besparelsene i desember 2021, og januar og februar 2022 beregnet til 168 825 kroner. NMBU har en energipris som er konfidensiell, men dersom man tar utgangspunkt i Oslo Fortum sin energipris i disse månedene, vil kostnader kun tilknyttet energiledet i fjernvarmekostnadene utgjøre 8,72 millioner kroner basert på det totale energiforbruket i disse månedene på 5,15 MWh [63]. Utregningen er lagt ved i vedlegg B. Det nye effektledet vil med effekttoppreduksjon utgjøre 1 633 110 kroner, som gir en total energiregning på 10,3 millioner kroner disse tre månedene. De forslåtte effektreduserende tiltakene vil dermed gi en kostnadsreduksjon på 1,6 % av opprinnelig fjernvarmekostnad.

Effektledet per kWh varierer i løpet av året, og dette vil påvirke hvor store besparelser man kan oppnå økonomisk ved effekttoppreduksjon. For NMBU er effektledet på sommeren lavere enn på vinteren. I tillegg vil effekttoppene være mindre på sommeren når oppvarmingsbehovet er mindre, og når snøsmelteanlegget ikke er i drift. Det er dermed ikke sikkert at effekttoppreduksjon vil gi vesentlige besparelser på sommerhalvåret, men dette bør det i så fall gjøres en vurdering av. Det er også stor usikkerhet rundt hvordan prising av fjernvarme vil se ut i fremtiden. Dersom effektledet fjernes eller reduseres kan laststyring på veterinærbygget være lite aktuelt økonomisk sett. Størrelsen på effektledet bør dermed benyttes som utgangspunkt for om laststyring skal innføres.

Hvilke konsekvenser en effekttoppreduksjon kan ha for energiledet i fjernvarmekostnadene har ikke blitt undersøkt. Som diskutert tidligere er det mulig at en effekttoppreduksjon vil føre til et større samlet energiforbruk, men dette er svært usikkert. Dersom det skulle vise seg at det totale energiforbruket øker så mye at økningen i energiledet blir høyere enn det man hadde spart i effektledet, vil tiltakene være lite hensiktsmessige. Ved innføring av effektreduserende tiltak må energiforbruk og effekttopper undersøkes i sammenheng for å finne den mest lønnsomme driften av veterinærbygget.

5.4 Valg av data og tidsperiode for oppgaven

I oppgaven har fjernvarmeforbruket for Veterinærhøgskolen blitt undersøkt i tre måneder på vinterstid. Energiforbruket vil variere med utetemperaturer, og fjernvarmeforbruket vil være størst når det er kaldest ute. Det er dermed naturlig at forbruket som har blitt undersøkt i oppgaven er et av de største forbrukene bygget har i løpet av et år, da disse månedene som regel har lavest utetemperatur. Resultatene må dermed ses på ut i fra tidsperioden som er undersøkt, og ikke forveksles med energiforbruket bygget har på generell basis.

I en oppgave som studerer energibruken til et bygg er det ønskelig å studere større datamengder da det vil være mer generaliserbart. Datasett over flere år vil gi en større forståelse av hva som er normalt forbruk, slik at utliggerne, eller andre feil i dataen, lettere kan oppdages. En av utfordringene i masteroppgaven har vært at man ikke har visst hva normalt forbruk skal være, slik at det ikke har vært data å sammenligne forbruket med. Dette skyldes at veterinærbygget sto ferdig i 2021, og ikke har vært i drift så lenge. Ved fjerning av utliggerne har verdier som har blitt sett på som ”usannsynlig høye” dermed blitt fjernet. Ved korreksjon av målefaktor har målefaktoren blitt korrigert til en verdi som er sannsynlig for lasten, og det har blitt sjekket at forbruket ligger innenfor dimensjonerende effekt. Det vil likevel være en feilkilde om alle lastene har riktig målefaktor i dag, da mye av denne korrigeringen av data har foregått uten en fasit for hva som er riktig.

I enkelte tidsperioder var det ikke registrert forbruk av energimålerne, og det ble her satt inn et gjennomsnittsforkbruk for lasten. Det ble dermed antatt at lasten hadde forbruk i denne perioden, men at måleren ikke registrerte det. Dette ble antatt å være en god erstatning for den manglende dataen, da disse lastene normalt sett burde vært på i denne perioden. Med det menes at dersom lastene faktisk var av, så ville det skjedd ved en feil. At det ikke er det målte forbruket ikke blir tatt med i enkelte perioder vil likevel være en feilkilde.

Selv om det i oppgaven ikke har blitt inkludert store datamengder, har det vært hensiktsmessig å studere et utvalg av forbruket. I oppstarten av nye bygg fungerer ikke alltid ting som planlagt. Målere og tekniske komponenter kan være installert feil, eller det automatiske systemet kan være stilt inn med feil settpunktverdier eller betingelser. Dette kan føre til at bygget får et unødvendig høyt energiforbruk, som det er hensiktsmessig å oppdage tidlig. Dersom styringen av bygget kan optimaliseres, slik at energiforbruket kan reduseres ytterligere, er dette også ønskelig å oppdage så tidlig som mulig.

5.5 Betydningen av funnene for Campus Ås og BEFAB-prosjektet

Masteroppgaven har hovedsaklig tatt for seg hvilke muligheter som finnes for å redusere effekttopper knyttet til termisk energi, samt hvilke økonomiske besparelser det vil gi. Det masteroppgaven derimot ikke har fokusert på, er hvordan effekttoppreduksjonen kan gjennomføres rent praktisk på bygget. En av de største utfordringene knyttet til reduksjon av effektforbruk på Veterinærhøgskolen er å opprettholde tilfredsstillende inn klima for brukerne av bygget. For å sørge for at dette opprettholdes bør bygget styres på en smart måte. BEFAB-prosjektet, som introdusert innledningsvis i oppgaven, handler om nettopp det å gjøre byggene på campus smartere og betrakter hele campus som et smart nabolag. Med smartere bygg kan brukerne selv gi tilbakemelding på inn klimaet, eksempelvis via en app, slik at bygget oppfyller brukernes behov. Det er også tenkt at bygget skal kunne gjenkjenne forbruksmønstre, og dermed regulere ventilasjonen og romoppvarmingen ut i fra om ulike rom er i bruk. Når effekttopper da oppstår, kan bygget selv finne hvilke rom som er best egnet for effektreduksjon og automatisk skru av eller redusere effektpådraget i disse rommene. Bygget skal også på sikt kunne predikere fremtidig tilstand basert på signaler fra brukere og historikk. Når bygget hele tiden ”ligger i forkant”, vil bygget justere energibruken på en smart måte, slik at det kun bruker energi der det er nødvendig. Ved å benytte maskinlæring og kunstig intelligens til styring av veterinærbygget vil både effekttoppreduksjon og energireduksjon være oppnåelig uten at det går på bekostning av brukernes komfort.

Kapittel 6

Konklusjon og videre arbeid

6.1 Konklusjon

I oppgaven har det blitt undersøkt hvordan fleksible, termiske laster kan bidra til reduserte effekttopper i fjernvarmeforsyningen til veterinærbygget på Ås. Det ble lagd simuleringer som undersøkte hvordan det totale energiforbruket hadde sett ut dersom fleksible laster ble redusert eller koblet ut i korte tidsperioder. Lastene som bidro mest til de største effekttoppene var snøsmelteanlegget og ventilasjonslaster, og det ble derfor sett på tilfeller der disse ble redusert. I tillegg ble romoppvarmingslaster redusert, og deretter koblet ut, for å redusere effekttopper ytterligere. Resultatene viser hvordan en effekttoppreduksjon kan se ut dersom disse tiltakene hadde vært innført på Veterinærhøgskolen i desember 2021, og januar og februar 2022. Ut i fra de valgte forutsetningene vil en effektgrense for snøsmelteanlegget være det tiltaket som reduserer effekttopper mest. Dersom det blir lagt inn en effektgrense for snøsmelteanlegget på 1550 kW i desember, 1450 kW i januar og 1500 kW i februar kan dette gi en reduksjon i driftskostnader på 117 570 kr. Potensialet for effekttoppreduksjon vil øke dersom tiltakene blir kombinert. Det ble dermed laget en simulering der romoppvarmingslaster og ventilasjon ble koblet ut i henholdsvis én og to timer når effekttopper oppstår. I tillegg ble det valgt en effektgrense for snøsmelteanlegget som anlegget begrenses til i hver måned. Dette ga en besparelse på 168 825 kr, som utgjør 1,6 % av de totale driftskostnadene for fjernvarmetilførselen til bygget.

I en reell driftssituasjon er det stor usikkerhet knyttet til hvorvidt de valgte tiltakene som har blitt undersøkt i oppgaven er gjennomførbare. En forutsetning for et lastreduksjons-system må være at inneklimatet til brukerne av bygget til enhver tid opprettholdes. Generelt vil en innføring av de presenterte tiltakene fra oppgaven måtte testes i praksis før de innføres, og dette bør gjøres når det er minst folk i bygget. De teoretiske simuleringene viste at det var god tid mellom utkobling av laster, og den korteste tiden mellom to utkoblinger var 22 timer. Siden de opprinnelige effekttoppene i hver måned var såpass mye høyere enn de neste effektverdiene, vil gjeninnkoblingseffekten lite trolig bidra til forsterkede effekttopper. For utkobling av rom- og ventilasjonslaster har det blitt valgt forskjellige effektgrenser for hver måned. Effektgrensene tar utgangspunkt i det totale fjernvarmeforbruket til bygget, og reduserer disse lastene når det totale forbruket overstiger en bestemt grense. De valgte effektgrensene er dermed avgjørende for hvor mye effekttopper kan reduseres, og hva som er den mest hensiktsmessige effektgrensen vil variere med forventet forbruk i den spesifikke måneden.

Siden snøsmelteanlegget bidro til store effekttopper i fjernvarmenettet vinteren 2021/2022, med verdier oppmot 1150 kW, var det ønskelig å undersøke driften av anlegget. Snøsmelteanlegget består av tre områder, der ett ble valgt ut for studering. Anlegget har ingen standby-drift som sikrer beredskapstemperatur på bakken eller fjernvarmevannet, og dette fører til store effekttopper når anlegget skrur på. En prediksjon mot Yr, samt en gradvis oppvarming av fjernvarmevannet i snøsmelteanlegget foreslås som tiltak for å forbedre styringen av anlegget. Med en forbedret styring av snøsmelteanlegget forventes det mindre effekttopper, men det bør likevel vurderes om en effektgrense kan være hensiktsmessig for å redusere effekttopper ytterligere. Dersom en effektgrense innføres bør grensen ikke velges for lavt, da for lav effektgrense kan føre til at snøen ikke blir smeltet. Når anlegget trekker lav effekt over lang tid kan det gi høyere energiforbruk totalt sett.

Oppsummert har resultatene vist at det er potensiale for å redusere effekttopper i fjernvarmenettet dersom snøsmelting og romoppvarming- og ventilasjonslaster reduseres når effekttopper er ventet. Det antas at effekttoppreduskjon er mest aktuelt på vinterhalvåret, da effekttopper i snøsmelteanlegget utgjør en stor andel av de totale effekttoppene for bygget. Ved å innføre en smartere styring av bygget vil lastreduksjon kunne gjennomføres uten av det går på bekostning av brukernes innekjønt. Gitt at prising av fjernvarme fortsetter å inkludere et effektledd, vil laststyring på Veterinærhøgskolen føre til betydelige besparelser i driftskostnader for NMBU.

6.2 Videre arbeid

Denne oppgaven studerer fjernvarmeforbruket til veterinærbygget med tilhørende snøsmelteanlegg vinteren 2021/2022. Det har blitt foretatt teoretiske simuleringer av effekttoppreduskjon, og basert på dette resultatet har det blitt foreslått tiltak til hvordan effekttopper kan reduseres. Tiltakene som foreslås i oppgaven har ikke blitt testet i virkeligheten, og det anbefales at dette gjøres i korte tidsperioder før tiltakene innføres som en del av driften på bygget. For videre arbeid foreslås det dermed:

- Testing av hvilken påvirkning en utkobling av romoppvarming- og ventilasjonslaster vil ha på inneklimaet. Det bør undersøkes hvor lenge enkelte laster kan reduseres eller kobles ut, uten at det går på bekostning av innekjønt. For å få et bedre inntrykk av hva det faktiske behovet for ventilasjonsluft i de ulike rommene på veterinærbygget er bør det vurderes om VOC-målere skal installeres. Det bør i tillegg undersøkes hvordan en utkobling av ventilasjonslaster vil påvirke trykket i bygget.
- Det bør også testes om gjeninnkoblingseffekten vil bidra til forsterkede effekttopper ved en utkobling av romoppvarming- og ventilasjonslaster. Energiforbruket til romoppvarming- og ventilasjonslaster ved ulike utkoblingsperioder bør undersøkes, samt hvor mange laster som kan kobles ut på likt.
- Det anbefales å undersøke løsninger for å forbedre styringen til snøsmelteanlegget. Eksempelvis kan det være å styre anlegget mot en værtjeneste, slik at fjernvarmevannet gradvis kan varmes opp når det er meldt snø. Hvordan dette vil påvirke effekttoppene i snøsmelteanlegget vil være spennende å undersøke.
- Simuleringen av effekttoppreduskjon som er foretatt i oppgaven tar utgangspunkt i en kort tidsperiode på tre måneder. For å få et bedre og mer generaliserende inntrykk av hvilke laster som bidrar til effekttopper burde oppgaven benyttet en større datamengde over en lengre tidsperiode. Det foreslås dermed at forbruket til Veterinærhøgskolen bør undersøkes når det er mer data tilgjengelig fra målerne.

Litteratur

- [1] Energifakta Norge. *Bærekraftige bygg*. <https://energifaktanorge.no/et-baerekraftig-og-sikkert-energisystem/baerekraftige-bygg/>. Hentet: 08.03.2022. 2019.
- [2] Hanne Sæle og Marianne Aasen. «Ny nettleiemodell for norske husholdninger». I: *FLEXEFFEKT-prosjektet 1.0* (des. 2021).
- [3] Inga Kristine Wegger og Hulda Havstam. *Dette må du vite om FNs klimapanelers nye rapport*. <https://www.fn.no/nyheter/dette-maa-du-vite-om-fns-klimapanelers-nye-rapport>. Hentet: 08.04.2022. 2022.
- [4] Ingrid Endresen Haukeli mfl. «Elektrifiseringstiltak i Norge. Hva er konsekvensene for kraftsystemet?» I: *NVE Rapport nr. 36/2020* (2020).
- [5] Norsk Fjernvarme. *Fjernvarme*. <https://www.fjernvarme.no/fakta/fjernvarme>. Hentet: 07.03.2022.
- [6] *Lov om produksjon, omforming, overføring, omsetning, fordeling og bruk av energi m.m. (energiloven)*. https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1990-06-29-50/KAPITTEL_5. Hentet: 09.03.2022.
- [7] *BEFAB: Brukerorientert energi og fleksibilitetsstyring av bygg i naboskap*. Søknad tilsendt via epost. Saksnummer/prosjektsnummer Enova: 21/2578.
- [8] Energifakta Norge. *KRAFTPRODUKSJON*. <https://energifaktanorge.no/norsk-energiforsyning/kraftforsyningen/>. Hentet: 27.04.2022. Nov. 2021.
- [9] Statnett. *Det eksepsjonelle kraftåret 2021*. <https://www.statnett.no/om-statnett/nyheter-og-pressemeldinger/nyhetsarkiv-2022/det-eksepsjonelle-kraftaret-2021/>. Hentet: 27.04.2022. Jan. 2022.
- [10] NVE. *Kapasiteten på solkraftproduksjonen økte jevnt i 2021*. <https://kommunikasjon.ntb.no/pressemelding/kapasiteten-pa-solkraftproduksjonen-okte-jevnt-i-2021?publisherId=89280&releaseId=17930596>. Hentet 27.04.2022. Apr. 2020.
- [11] Knut Hofstad og Knut Rosvold. *energi i Norge*. https://snl.no/energi_i_Norge. Hentet: 27.04.2022. Aug. 2021.
- [12] SSB. *Fjernvarme og fjernkjøling*. <https://www.ssb.no/energi-og-industri/energi/statistikk/fjernvarme-og-fjernkjoling>. Hentet: 27.04.2022. Mai 2022.
- [13] Maria Vetlesete Bøe. *Energi*. <https://snl.no/energi>. Hentet: 24.01.2022.
- [14] *Termisk treghet*. <https://www.renovablesverdes.com/no/inercia-termica/>. Hentet: 04.03.2022.
- [15] Bjørn Pedersen. *varmekapasitet*. <https://snl.no/varmekapasitet>. Hentet: 12.04.2022.
- [16] Arne Auen Grimenes, Per Jerstad og Bjørn Sletbak. *Grunnleggende fysikk for universitet og høyskole*. Cappelen Damm, 2011, s. 302–359.
- [17] Norconsult. *Enklere, billigere, vannbårne løsninger for bygg*. Oppdragsgiver ENOVA SF. Jun. 2020.
- [18] Ole Lislebø mfl. *Nettplan Stor-Oslo: Alternativer til nettinvesteringer*. Jan. 2012.
- [19] NVE. *Om økodesign og energimerking av produkter*. <https://www.nve.no/energi/virkemidler/okodesign-og-energimerking-av-produkter/om-okodesign-og-energimerking-av-produkter/>. Hentet: 18.04.2022.

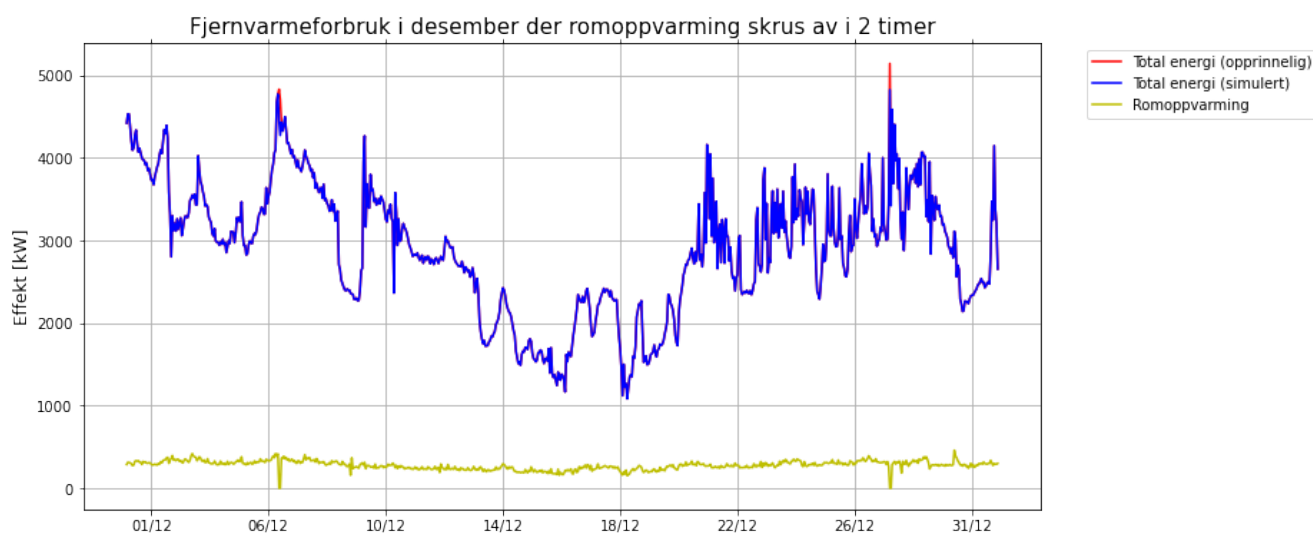
- [20] Carina Nilstun. *Fleksibel*. <https://snl.no/fleksibel>. Hentet: 26.04.2022.
- [21] Thea Ulrikke Øverli mfl. *STORSKALA LASTSTYRING I ET KRAFTSYSTEM*. rapport om hovedfunnene i en bacheloroppgave skrevet av studenter ved NTNU våren 2016 med Statnett som oppdragsgiver. 2016.
- [22] Per Hveem og Roy A Hanssen. *Utkoblingspotensiale i boliger og yrkesbygg*. Entro Energi AS, 2000, s. 55–111.
- [23] Åsmund Breie. Breies figur. Mar. 2022.
- [24] Byggforskeren. *552.102 Romoppvarming av boliger. Prinsipper og systemer*. SINTEF. Apr. 2010.
- [25] *Veiledning for vannbåren gulvvarme i boliger og næringsbygg*. NS-EN 1264, del 1 til 5. Standard norge. Feb. 2020.
- [26] *Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift)*. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-06-19-840>. Hentet: 15.03.2022.
- [27] FHI. *Karbondioksid (CO2) og inneklime*. <https://www.fhi.no/ml/miljo/inneklime/artikler-inneklime-og-helseplager/karbondioksid-co2-og-inneklime/>. Hentet: 25.04.2022. Apr. 2015.
- [28] Airthings. *Hva er VOCs*. <https://www.airthings.com/no/hva-er-voc>. Hentet: 25.04.2022.
- [29] Airthings. *Du får hva du måler. VOC-regulering i Swegons WISE-system*. https://www.swegon.com/siteassets/_product-documents/flow-control/wise-gen.2/_no/wise_voc.pdf. Hentet: 25.04.2022.
- [30] Tekna. *Behovsstyrt ventilasjon*. <https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/behovsstyrt-ventilasjon/>. Hentet: 25.04.2022. Jan. 2021.
- [31] Arbeidstilsynet. *Ventilasjon på arbeidsplassen*. <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/inneklime/ventilasjon/>. Hentet 25.04.2022.
- [32] Statkraft Varme. *Returtemperatur og volum*. Hentet: 08.05.2022. URL: <https://www.statkraftvarme.no/kundeservice/priser/returtemperatur-og-volum/>.
- [33] Norsk Bioenergiforening et al. *Kompetansekompedium for varmeanlegg 2011*. 2011.
- [34] Knut Hofstad. *brennverdi*. <https://snl.no/brennverdi>. Hentet: 04.03.2022. 2018.
- [35] Bio Norden Lars Lindskog. *Chef Teknik og Utveckling*. Privat kommunikasjon via epost. Apr. 2022.
- [36] ENOVA. *Kjøpsveileder Vannbåren varme*. Hentet: 12.05.2022. URL: https://www.enova.no/download?objectPath=upload_images/9265475F428F42ADA29001FB42C13899.pdf.
- [37] Energirådgiver ved eiendomsavdelingen NMBU Trond Langseth. Privat samtale og kommunikasjon via epost. Mai 2022.
- [38] Byggforskeren. *552.340 Varmegjenvinnere i ventilasjonsanlegg*. SINTEF. 2002.
- [39] Statkraft Varme AS. *Snøsmelteanlegg*. 2000. URL: <https://www.statkraftvarme.no/globalassets/0/statkraft-varme/utbygging/veiledere/snosmelt-v1.0.pdf>.
- [40] Statkraft. *Norge*. <https://www.statkraft.no/om-statkraft/hvor-vi-har-virksomhet/norge/>. Hentet: 28.04.2022.
- [41] John H. Vijzelaar og Magnar Lynglund. *PLS: Hva er det, og hvordan er det oppbygd?* <https://ndla.no/subject:1:8c5a9fdd-4fa4-456b-9afe-34e7e776b4e7/topic:ce841519-de73-4349-870f-2240e5276bc0/resource:3eca6f64-0408-46bc-aa3c-827c7ead3352>. Hentet: 25.03.2022. 2020.
- [42] Ellen Synnøve Viseth. *Hvorfor følger fjernvarmeprisen strømprisen?* <https://www.tu.no/artikler/hvorfor-folger-fjernvarmeprisen-stromprisen/514367>. Hentet: 09.03.2022. 2021.
- [43] Statkraft. *Prismodell*. <https://www.statkraftvarme.no/kundeservice/priser/prismodell/>. Hentet: 09.03.2022.

- [44] Hans M. Jordheim. *NVE vil ha ny pris for alle fjernvarmekunder*. <https://e24.no/privatoekonomi/i/eEkrLg/nve-vil-ha-ny-pris-for-alle-fjernvarmekunder>. Hentet: 09.03.2022. 2021.
- [45] Statsbygg. *CAMPUS ÅS*. <https://www.statsbygg.no/prosjekter-og-eiendommer/campus-aas>. Hentet: 18.04.2022.
- [46] Kommunikasjonsleder Campus Ås Eva Kvandal. Privat kommunikasjon via epost. Apr. 2022.
- [47] NMBU. *Om NMBU Veterinærhøgskolen*. <https://www.nmbu.no/fakultet/vet/om>. Hentet: 18.04.2022.
- [48] Tekna. *Hva er kravene til passivhus?* <https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/krav-til-passivhus/>. Hentet: 18.04.2022. 2021.
- [49] Statkraft. *Ås fjernvarme*. <https://www.statkraft.no/om-statkraft/hvor-vi-har-virksomhet/norge/as-fjernvarme/>. Hentet: 08.03.2022.
- [50] Statkraft. *Her produseres Norges grønneste fjernvarme*. Hentet: 09.03.2022. URL: <https://statkraft.reportasje.no/norges-grønneste-fjernvarme/>.
- [51] Statkraft. *Breeam nøkkeltall for Ås*. <https://www.statkraftvarme.no/globalassets/0/statkraft-varme/om-fjernvarme2/klima-og-miljo/breeam-dokumentasjon/2021/breeam-nokkeltall-as.pdf>. Hentet: 09.03.2022.
- [52] *Automatiseringsanlegg Bygg 152- Funksjonsbeskrivelse RIV*. Revisjon 04. Prosjekt Campus Ås, Samlokaliseringsprosjektet. Jun. 2021.
- [53] Prosjektteknikker Siemens Lars Kristian Trøan. Privat samtale og kommunikasjon via epost. Mar. 2022.
- [54] *Pir detektor*. <https://www.nortronic.no/leverandorer/extronic/detektor-pir>. Hentet: 26.04.2022.
- [55] Alfa Laval. *How gasketed plate heat exchangers work*. URL: <https://www.alfalaval.no/microsites/platevarmevekslere-med-pakning/verktoy/slik-fungerer-en-platevarmevekslere-med-pakning/>.
- [56] Energi Norge. *Derfor er strømprisen høyere i år enn i fjor*. <https://www.energinorge.no/fagomrader/strommarked/derfor-er-stromprisen-hoyere-i-ar-enn-i-fjor/>. Hentet: 12.04.2022. 2020.
- [57] Thies clima. *Laser Precipitation Monitor*. Instruksjonshefte 021341/07/11.
- [58] Statnett. *Vi brukte mer strøm i 2021*. <https://kommunikasjon.ntb.no/pressemelding/vi-brukte-mer-strom-i-2021?publisherId=89853&releaseId=17924322>. Hentet: 18.04.2022. 2022.
- [59] senioringeniør ved Eiendomsavdelingen NMBU Dag-Kjetil Buran. Privat samtale og kommunikasjon via epost. Mai 2022.
- [60] Entro Energi AS. «Energiforbruk på 95,5 kWh per m² i første driftssesong». I: *Energirapporten* 10.1 (2013), s. 2–3.
- [61] førsteamanuensis NMBU og forsker ved Meteorologisk institutt Mareile Astrid Wolff. Privat samtale og kommunikasjon via epost. Apr. 2022.
- [62] Kristin Bøgeberg Jonsson. «Bruk av værprognoser for optimal styring». Masteroppg. NTNU, jan. 2014.
- [63] Fortum. *Priser og vilkår*. URL: <https://www.fortum.no/fjernvarme-0/priser-og-vilkar?vtab=accordion-item-5886>.

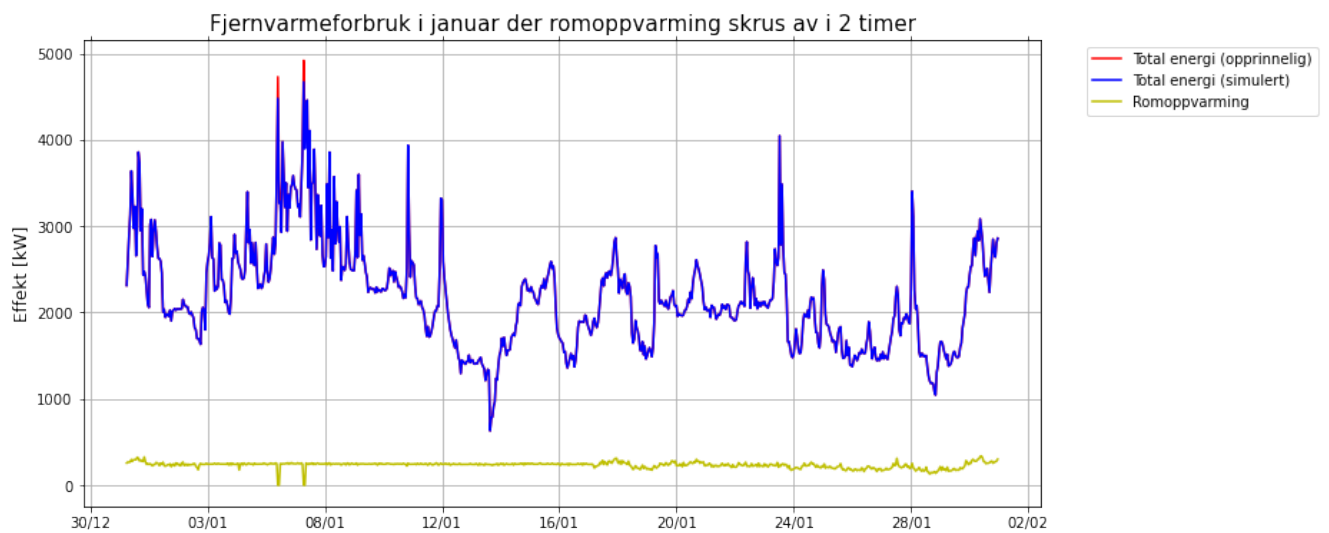
Vedlegg A

Grafisk fremstilling av fjernvarmeforbruk med laststyring

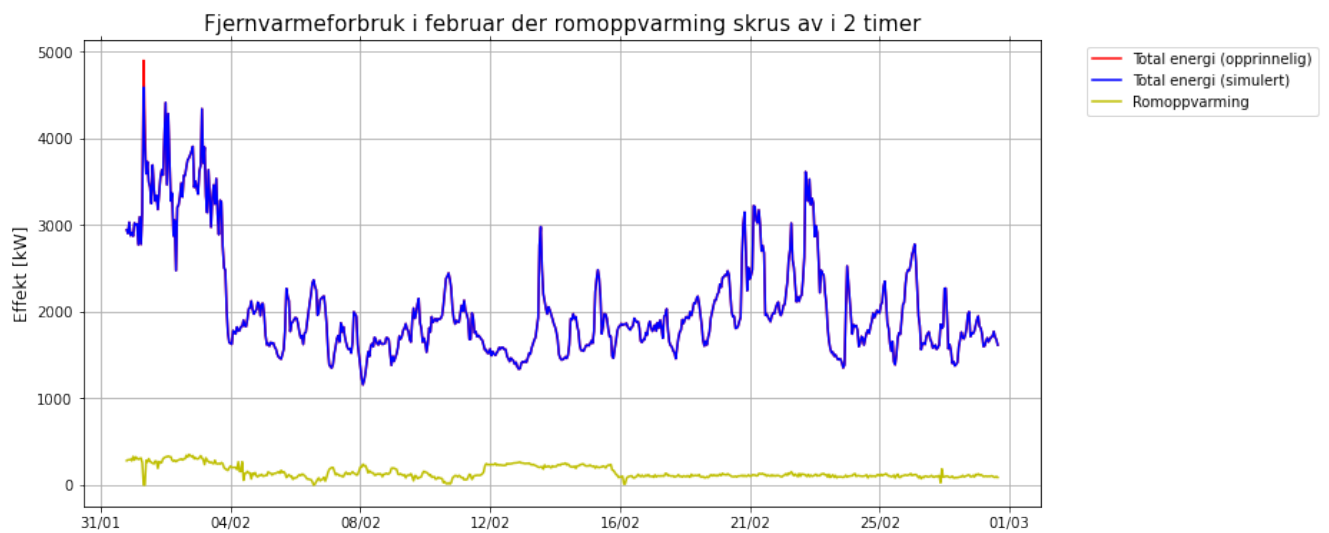
A.1 Utkobling av romoppvarmingslaster i desember 2021, januar 2022 og februar 2022



Figur A.1.1: Den blå grafen viser energiforbruket dersom romoppvarmingslaster i desember skrus helt av. Den røde grafen viser det opprinnelige forbruket, og illustrerer dermed hvordan effekttopper blir redusert. Den gule grafen viser energiforbruket til romoppvarming, og har et 'dupp' i forbruk når effekttopper reduseres.



Figur A.1.2: Den blå grafen viser energiforbruket dersom romoppvarmingslaster i januar skrus helt av. Den røde grafen viser det opprinnelige forbruket, mens den gule grafen viser energiforbruket til romoppvarming.



Figur A.1.3: Den blå grafen viser energiforbruket dersom romoppvarmingslaster i februar skrus helt av. Den røde grafen viser det opprinnelige forbruket, mens den gule grafen viser energiforbruket til romoppvarming.

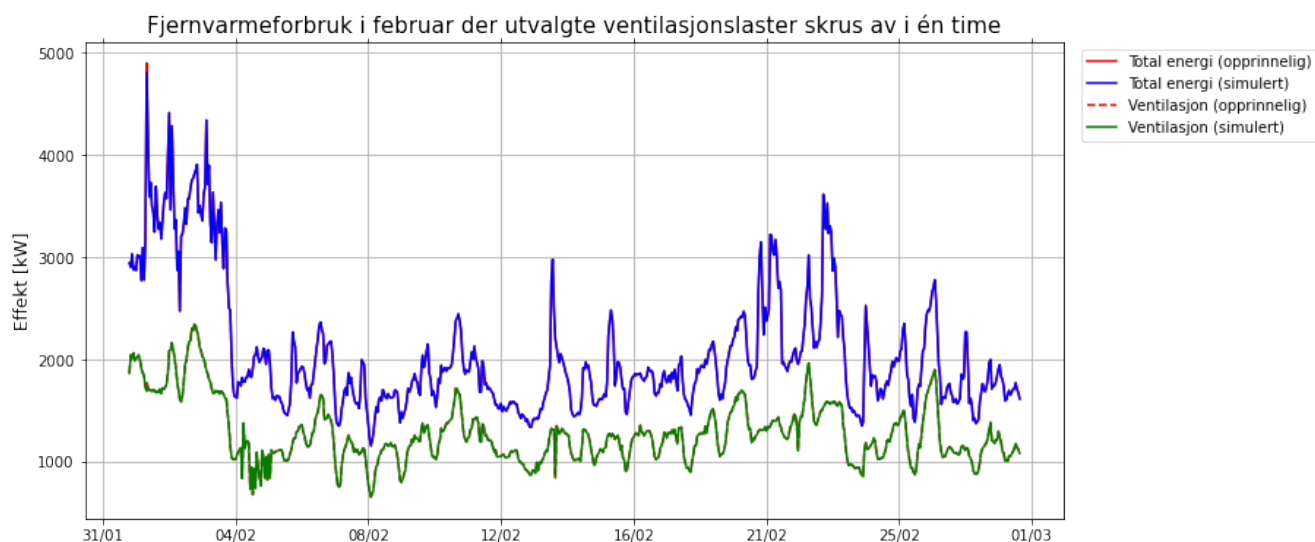
A.2 Utkobling av ventilasjonslaster i desember 2021, januar 2022 og februar 2022



Figur A.2.1: Den blå grafen viser energiforbruket dersom utvalgte ventilasjonslaster i desember skrus helt av. De røde grafene viser det opprinnelige forbruket, og illustrerer dermed hvordan effekttopper blir redusert. Den grønne grafen viser det nye energiforbruket til ventilasjonen når den reduseres ved effekttopper.

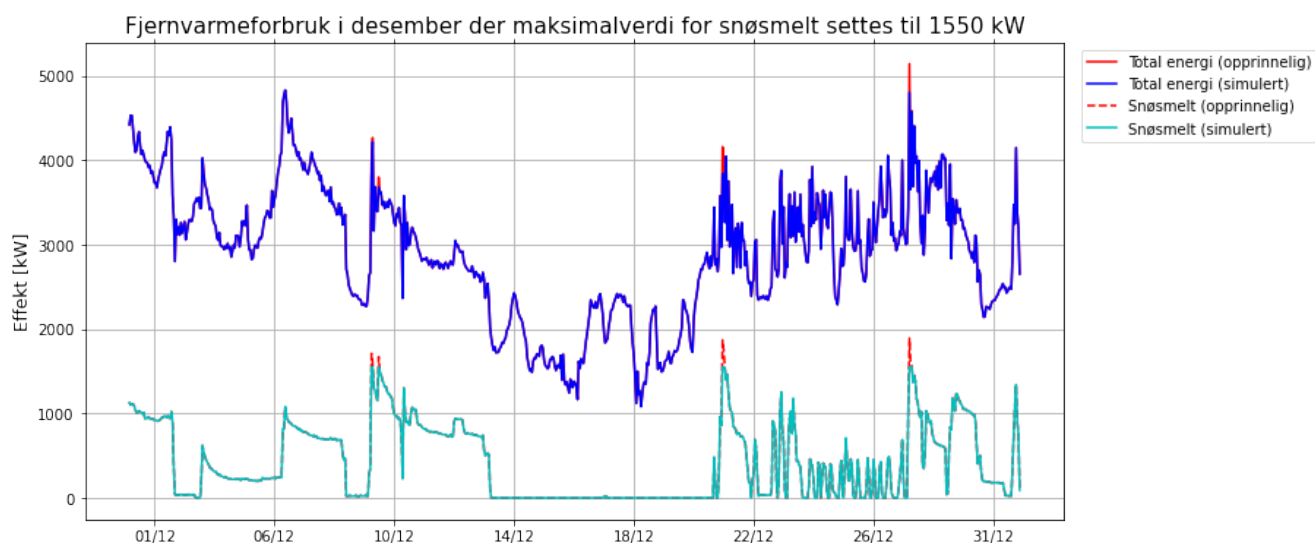


Figur A.2.2: Den blå grafen viser energiforbruket dersom ventilasjonslaster i januar skrus helt av. De røde grafene viser det opprinnelige forbruket, og den grønne grafen viser det nye energiforbruket til ventilasjonen når den reduseres ved effekttopper.

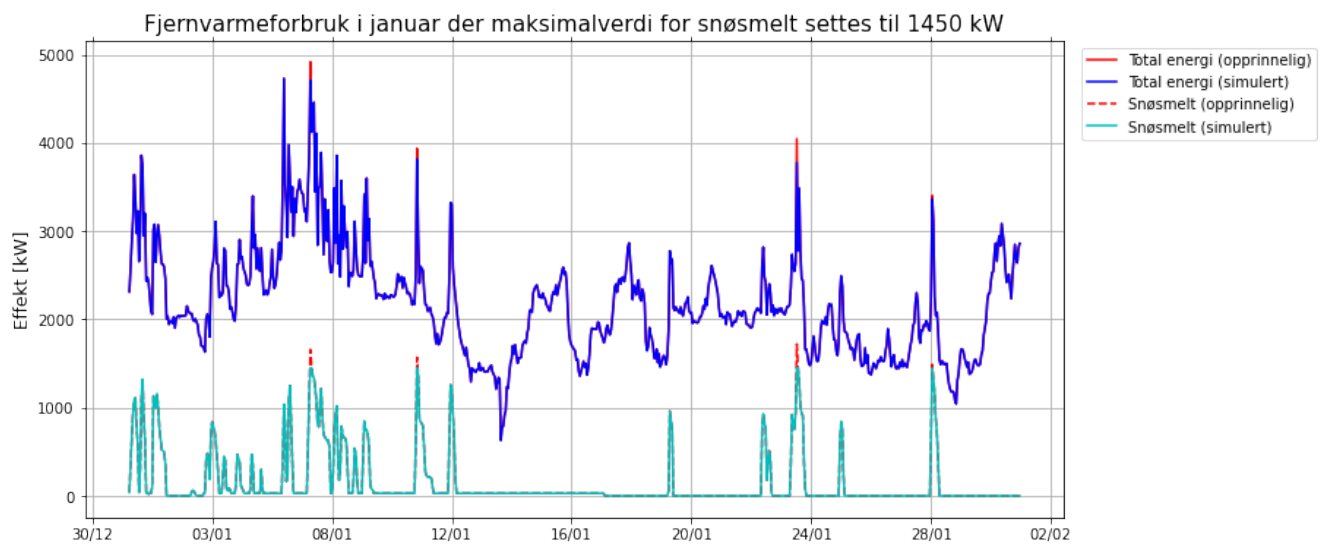


Figur A.2.3: Den blå grafen viser energiforbruket dersom ventilasjonslaster i februar skrur helt av. De røde grafene viser det opprinnelige forbruket, og den grønne grafen viser det nye energiforbruket til ventilasjonen når den reduseres ved effektopper.

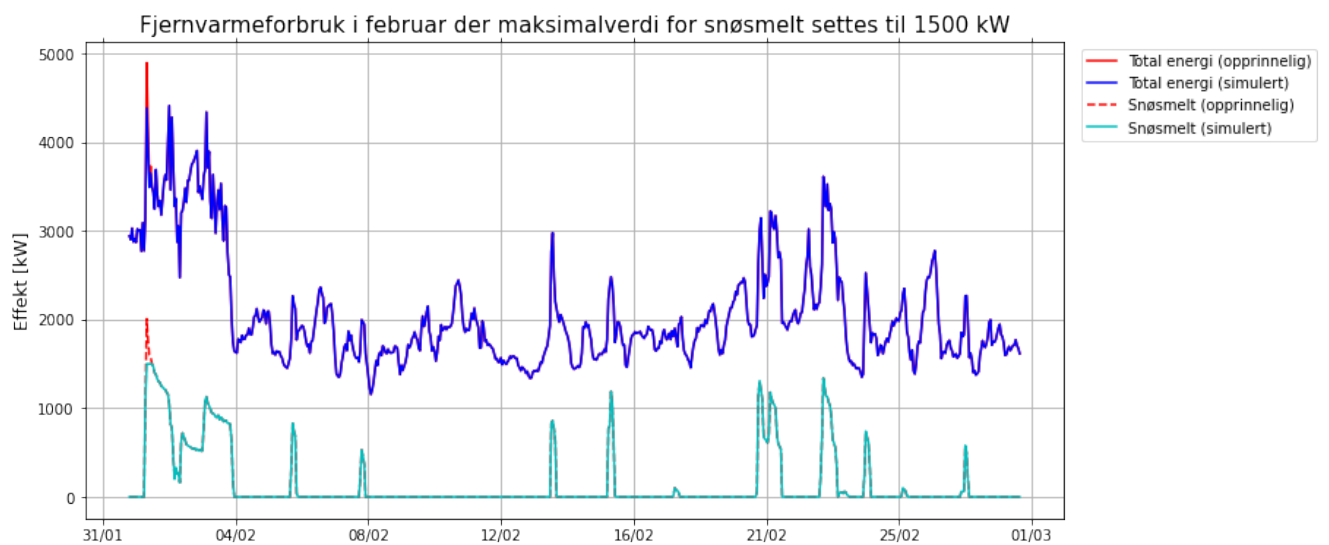
A.3 Effektbegrensning for snøsmelteanlegget i desember 2021, januar 2022 og februar 2022



Figur A.3.1: Den blå grafen viser energiforbruket dersom snøsmelteanlegget effektbegrenses til 1550 kW i desember, og den røde grafen viser det opprinnelige forbruket. Den lyseblå grafen viser forbruket til snøsmelteanlegget med effektbegrensning, mens den røde stipla linja viser det opprinnelige forbruket for snøsmelteanlegget.



Figur A.3.2: Den blå grafen viser energiforbruket dersom snøsmelteanlegget effektbegrenses til 1450 kW i januar, og den røde grafen viser det opprinnelige forbruket. Den lyseblå grafen viser forbruket til snøsmelteanlegget med effektbegrensning, mens den røde stipla linja viser det opprinnelige forbruket for snøsmelteanlegget.



Figur A.3.3: Den blå grafen viser energiforbruket dersom snøsmelteanlegget effektbegrenses til 1500 kW i februar, og den røde grafen viser det opprinnelige forbruket. Den lyseblå grafen viser forbruket til snøsmelteanlegget med effektbegrensning, mens den røde stipla linja viser det opprinnelige forbruket for snøsmelteanlegget.

Vedlegg B

Beregning av økonomisk besparelse ved bruk av laststyring

Benytter Fortum varme sin energipris for 2021/2022 ¹

		Energipris [øre/kWh]	Energi	
Desember	2021	199,14	2 153 287	4 288 056
Januar	2022	157,33	1 619 721	2 548 307
Februar	2022	136,41	1 380 556	1 883 216
Total				8 719 579

		Effektledd [kr/kWh]	Effekttopp	
Desember	2021	150	4 677	701 550
Januar	2022	105	4 458	468 090
Februar	2022	105	4 414	463 470
Total				1 633 110

Total fjernvarmekostnad	10 352 689
-------------------------	-------------------

Total fjernvarmekostnad (opprinnelig)	10 521 514
Besparelse ved bruk av laststyring	168 825
Reduksjon i prosent sammenlignet med opprinnelig fjernvarmekostnad	1,6 %

¹ Fortum. Priser og vilkår. url: <https://www.fortum.no/fjernvarme-0/priser-og-vilkar?vtab=accordion-item-5886>.

Vedlegg C

Python-kode for simulering av effektoppreduksjon

Laster inn nødvendige pakker

```
In [2]: import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

from scipy.stats import zscore
import seaborn as sns

from sklearn.metrics import confusion_matrix
import matplotlib.dates as mdates
from matplotlib.dates import DateFormatter
```

Laster inn data

```
In [3]: df_155 = pd.read_excel ('Energiforbruk_155_ny.xls', skiprows=4)
df_153 = pd.read_excel ('Energiforbruk_153_ny.xls', skiprows=4)
df_152 = pd.read_excel ('Energiforbruk_152_ny.xls', skiprows=4)
df_151 = pd.read_excel ('Energiforbruk_151_ny.xls', skiprows=4)
df_142 = pd.read_excel ('142_radiator_ny.xls', skiprows=4)
df_snøsmelt = pd.read_excel ('Snøsmelt.xls', skiprows=4)
df_hovedkurs = pd.read_excel ('Fjernvarme_SLP_SVAS.xls', skiprows=4)

# Endrer tiden til tidsverdier som python forstår
df_155['Tid'] = pd.to_datetime(df_155['Tid'])
df_153['Tid'] = pd.to_datetime(df_153['Tid'])
df_152['Tid'] = pd.to_datetime(df_152['Tid'])
df_151['Tid'] = pd.to_datetime(df_151['Tid'])
df_142['Tid'] = pd.to_datetime(df_142['Tid'])
df_snøsmelt['Tid'] = pd.to_datetime(df_snøsmelt['Tid'])
df_hovedkurs['Tid'] = pd.to_datetime(df_hovedkurs['Tid'])
```

Avgrenser tidsperioden

```
In [4]: def avgrenser_tidsperiode(df, start_date, end_date):
    mask = (df['Tid'] >= start_date) & (df['Tid'] < end_date)
    df_masked = df.loc[mask]

    #reseter index
    df_masked = df_masked.reset_index(drop=True)
    return (df_masked)
```

```
In [11]: #velger start og slutt data for datasettene
start_date = '2021-12-01'
end_date = '2022-02-28 23:59:59'

#avgrenser dataframes for de ulike områdene/byggene
df_155 = avgrenser_tidsperiode(df_155, start_date, end_date)
df_153 = avgrenser_tidsperiode(df_153, start_date, end_date)
df_152 = avgrenser_tidsperiode(df_152, start_date, end_date)
df_151 = avgrenser_tidsperiode(df_151, start_date, end_date)
df_142 = avgrenser_tidsperiode(df_142, start_date, end_date)
df_snøsmelt = avgrenser_tidsperiode(df_snøsmelt, start_date, end_date)
df_hovedkurs = avgrenser_tidsperiode(df_hovedkurs, start_date, end_date)

df_hovedkurs.head(5)
```

Out[11]:

	Tid	Tid (Time)	Fjernvarme SLP SVAS
0	2021-12-01 00:00:00	01.12.2021 00:00 - 01:00	4420
1	2021-12-01 01:00:00	01.12.2021 01:00 - 02:00	4530
2	2021-12-01 02:00:00	01.12.2021 02:00 - 03:00	4528
3	2021-12-01 03:00:00	01.12.2021 03:00 - 04:00	4372
4	2021-12-01 04:00:00	01.12.2021 04:00 - 05:00	4203

Summerer målerne etter lasttype

Summerer målerne for å få finne forbruket til hver enkelt lasttype. En rest blir regnet ut som differansen mellom det totale fjernvarmeforbruket for veterinærbygget og lastene som blir undersøkt i masteren.

```
In [7]: def sum_lasttype(df_151, df_152, df_153, df_155, df_142, df_snøsmelt, df_hovedkurs):

#VENTILASJON
df_vent= df_155['155.00=320.1030E0001 Ventilasjon']\
+df_155['155.00=320.1020E0001 Ventilasjon']\
+df_155['155.00=320.1010E0003 Ventilasjon']\
+df_153['153.00=320.1010E0003 Ventilasjon']\
+df_152['152.00=320.1010E0004 Ventilasjon']\
+df_152['152.00=320.1010E0006 Ventilasjon']\
+df_152['152.00=320.1020E0003 Ventilasjon']\
+df_151['151.00=320.1010E0003 Ventilasjon']\
+df_151['151.00=320.1010E0002 Ventilasjon']\
+df_151['151.00=320.1010E0004 Ventilasjon']\
+df_151['151.00=320.1020E0002 Ventilasjon']

#RADIATOR + GULVVARME
df_rad = df_155['155.00=320.1010E0001-rest']\
+df_152['152.00=320.1010E0008 Gulvvarme']\
+df_152['152.00=320.1010E0003 Radiator']\
+df_152['152.00=320.1010E0005 Radiator']\
+df_152['152.00=320.2010E0002 Radiator']\
+df_151['151.00=320.1020E0001-rest ']\
+df_142['142.00=320.201-0E0001 Radiatorer']

#VARMT VANN
df_vann= df_155['155.00=320.6010E0001 Varmt vann Spyling']\
+df_153['153.00=320.1010E0004-Varmtvann spylin']\
+df_152['152.00=320.1010E0001 Spylevann oppvarming']

#BLANDING
df_blanding= df_152['152.00=320.1010E0007 ']\
+df_151['151.00=320.1010E0001-rest']\
+df_153['153.00=320.1010E0001-rest']

#SNØSMELT
df_snøsmelt_tot= df_snøsmelt['152.00=320.1010E0002 Gatevarme']\
+df_snøsmelt['153.00=320.1010E0002 Gatevarme']\
+df_snøsmelt['155.00=320.1010E0002 Gatevarme']

#REST
df_rest= df_hovedkurs['Fjernvarme SLP SVAS']- df_vent - df_rad - df_vann - df_blanding - df_snøsmelt_tot

laster = {'Dato':df_151['Tid'],
          'Ventilasjon': df_vent,
          'Rad+gulv': df_rad,
          'Varmt vann': df_vann,
          'Blanding': df_blanding,
          'Snøsmelt': df_snøsmelt_tot,
          'Rest': df_rest,
          'Total': df_hovedkurs['Fjernvarme SLP SVAS']}]

# Lager DataFrame
df_lasttype = pd.DataFrame(laster)

return df_lasttype
```

In [12]: #sorterer alle målerne i de ulike byggene til ulike lastkategorier, pluss en rest og totalt forbruk

```
df_lasttype = sum_lasttype(df_151, df_152, df_153, df_155, df_142, df_snøsmelt, df_hovedkurs)
df_lasttype.head(3)
```

Out[12]:

	Dato	Ventilasjon	Rad+gulv	Varmt vann	Blanding	Snøsmelt	Rest	Total
0	2021-12-01 00:00:00	1943.84064	286.13344	4.01668	107.51	1130.0	948.49924	4420
1	2021-12-01 01:00:00	1951.84064	312.13344	4.01668	123.67	1100.0	1038.33924	4530
2	2021-12-01 02:00:00	1956.84064	309.13344	5.01668	112.55	1110.0	1034.45924	4528

Avgrenser dataen etter måned

```
In [16]: # Desember
start_date = '2021-12-01'
end_date = '2021-12-31 23:59:59'

#avgrenser dataframe til tidsperiode
df_151_des = avgrenser_tidsperiode(df_151, start_date, end_date)
df_152_des = avgrenser_tidsperiode(df_152, start_date, end_date)
df_153_des = avgrenser_tidsperiode(df_153, start_date, end_date)
df_155_des = avgrenser_tidsperiode(df_155, start_date, end_date)
df_142_des = avgrenser_tidsperiode(df_142, start_date, end_date)
df_snøsmelt_des = avgrenser_tidsperiode(df_snøsmelt, start_date, end_date)
df_hovedkurs_des = avgrenser_tidsperiode(df_hovedkurs, start_date, end_date)

# Lager en dataframe med Lastkategoriene for desember
df_lasttype_des = sum_lasttype(df_151_des, df_152_des, df_153_des, df_155_des,\
                               df_142_des, df_snøsmelt_des, df_hovedkurs_des)

df_lasttype_des.head(2)
```

```
Out[16]:
```

	Dato	Ventilasjon	Rad+gulv	Varmt vann	Blanding	Snøsmelt	Rest	Total
0	2021-12-01 00:00:00	1943.84064	286.13344	4.01668	107.51	1130.0	948.49924	4420
1	2021-12-01 01:00:00	1951.84064	312.13344	4.01668	123.67	1100.0	1038.33924	4530

```
In [17]: # Januar
start_date = '2022-01-01'
end_date = '2022-01-31 23:59:59'

#avgrenser dataframe til tidsperiode
df_151_jan = avgrenser_tidsperiode(df_151, start_date, end_date)
df_152_jan = avgrenser_tidsperiode(df_152, start_date, end_date)
df_153_jan = avgrenser_tidsperiode(df_153, start_date, end_date)
df_155_jan = avgrenser_tidsperiode(df_155, start_date, end_date)
df_142_jan = avgrenser_tidsperiode(df_142, start_date, end_date)
df_snøsmelt_jan = avgrenser_tidsperiode(df_snøsmelt, start_date, end_date)
df_hovedkurs_jan = avgrenser_tidsperiode(df_hovedkurs, start_date, end_date)

# Lager en dataframe med Lastkategoriene for januar
df_lasttype_jan = sum_lasttype(df_151_jan, df_152_jan, df_153_jan, df_155_jan,\
                               df_142_jan, df_snøsmelt_jan, df_hovedkurs_jan)

df_lasttype_jan.head(2)
```

```
Out[17]:
```

	Dato	Ventilasjon	Rad+gulv	Varmt vann	Blanding	Snøsmelt	Rest	Total
0	2022-01-01 00:00:00	1525.122813	255.974162	4.798104	92.93148	40.0	394.173441	2313
1	2022-01-01 01:00:00	1516.124480	266.974162	3.798104	90.97028	380.0	350.132974	2608

```
In [18]: # Februar
start_date = '2022-02-01'
end_date = '2022-02-28 23:59:59'

#avgrenser dataframe til tidsperiode
df_151_feb = avgrenser_tidsperiode(df_151, start_date, end_date)
df_152_feb = avgrenser_tidsperiode(df_152, start_date, end_date)
df_153_feb = avgrenser_tidsperiode(df_153, start_date, end_date)
df_155_feb = avgrenser_tidsperiode(df_155, start_date, end_date)
df_142_feb = avgrenser_tidsperiode(df_142, start_date, end_date)
df_snøsmelt_feb = avgrenser_tidsperiode(df_snøsmelt, start_date, end_date)
df_hovedkurs_feb = avgrenser_tidsperiode(df_hovedkurs, start_date, end_date)

#Lager en dataframe med Lastkategoriene for februar
df_lasttype_feb = sum_lasttype(df_151_feb, df_152_feb, df_153_feb, df_155_feb,\
                               df_142_feb, df_snøsmelt_feb, df_hovedkurs_feb)

df_lasttype_feb.head(2)
```

```
Out[18]:
```

	Dato	Ventilasjon	Rad+gulv	Varmt vann	Blanding	Snøsmelt	Rest	Total
0	2022-02-01 00:00:00	1865.08	280.46308	8.0	113.176	0.0	676.28092	2943
1	2022-02-01 01:00:00	2045.08	290.46308	9.0	115.900	0.0	442.55692	2903

Styring av laster

1) Romoppvarming

```
In [24]: def laststyring_romoppvarming_2t(effektgrense, prosent, df_lasttype):

    fleks_last=list(df_lasttype['Rad+gulv'])           #Lager en liste av verdiene som skal endres
    i=0                                               #start-verdi for i

    while i < (len(df_lasttype)-4):

        # Lager en effektliste som tar for seg de fire kommende timene.
        effektliste=list([df_lasttype['Total'][i], df_lasttype['Total'][i+1], df_lasttype['Total'][i+2],\
                          df_lasttype['Total'][i+3]])
        teller = 0                                     #teller går gjennom verdiene i effektlista,
                                                       #og benytter på null for hver ny i

        while teller < len(effektliste):              #går gjennom alle verdier i effektlista
                                                       #så lenge teller < 4
                                                       #finder index til verdien som skal endres

            idx= teller + i                            #sjekker om noen av verdiene er større
                                                       #enn effektgrensen:
                                                       #reduserer første time
                                                       #reduserer andre time
                                                       #resuserer ikke de neste to timene!

            fleks_last[idx]= fleks_last[idx]*prosent
            fleks_last[idx+1]= fleks_last[idx+1]*prosent
            fleks_last[idx+2]= fleks_last[idx+2]
            fleks_last[idx+3]= fleks_last[idx+3]

            teller = 4                                  #når lastene er redusert skal while-løkke stoppes,
                                                       #Legger derfor inn for høy teller
                                                       #øker i med fire timer siden de
                                                       #kommende fire timene nå er endret

        else:
            teller = teller + 1                         #går videre til neste time for å sjekke om den er
                                                       #lavere enn grensen
                                                       #dersom ingen verdier er endret, dvs. teller lik 4,
                                                       #skal i øke med fire

            i=i+4

    df_lasttype['Fleksible laster romoppvarming'] = fleks_last           #Legger last til i dataframe
    return df_lasttype
```


In [25]: #når romoppvarmingslasten er endret, må de ulike lastene summeres på nytt for å finne hvordan det #totale fjernvarmeforbruket ser ut med endret last

```
def sum_lasttype_rom(df_151, df_152, df_153, df_155, df_snøsmelt, df_laststyring_rom):

    #VENTILASJON
    df_vent= df_155['155.00=320.1030E0001 Ventilasjon']\
    +df_155['155.00=320.1020E0001 Ventilasjon']\
    +df_155['155.00=320.1010E0003 Ventilasjon']\
    +df_153['153.00=320.1010E0003 Ventilasjon']\
    +df_152['152.00=320.1010E0004 Ventilasjon']\
    +df_152['152.00=320.1010E0006 Ventilasjon']\
    +df_152['152.00=320.1020E0003 Ventilasjon']\
    +df_151['151.00=320.1010E0003 Ventilasjon']\
    +df_151['151.00=320.1010E0002 Ventilasjon']\
    +df_151['151.00=320.1010E0004 Ventilasjon']\
    +df_151['151.00=320.1020E0002 Ventilasjon']

    #VARMT VANN
    df_vann= df_155['155.00=320.6010E0001 Varmt vann Spyling']\
    +df_153['153.00=320.1010E0004-Varmtvann spylin']\
    +df_152['152.00=320.1010E0001 Spylevann oppvarming']

    #BLANDING
    df_blanding= df_152['152.00=320.1010E0007 ']\
    +df_151['151.00=320.1010E0001-rest']\
    +df_153['153.00=320.1010E0001-rest']

    #SNØSMELT
    df_snøsmelt_tot= df_snøsmelt['152.00=320.1010E0002 Gatevarme']\
    +df_snøsmelt['153.00=320.1010E0002 Gatevarme']\
    +df_snøsmelt['155.00=320.1010E0002 Gatevarme']

    #summerer Lastkategoriene
    df_total= df_vent + df_laststyring_rom['Fleksible laster romoppvarming']\
    + df_vann + df_blanding + df_snøsmelt_tot + df_laststyring_rom['Rest']

    laster = {'Dato':df_151['Tid'],
              'Ventilasjon': df_vent,
              'Rad+gulv_ny': df_laststyring_rom['Fleksible laster romoppvarming'],
              'Varmt vann': df_vann,
              'Blanding': df_blanding,
              'Snøsmelt': df_snøsmelt_tot,
              'Total': df_total}

    # Laget DataFrame
    df_lasttype_red = pd.DataFrame(laster)

    return df_lasttype_red
```

In [27]: #Styrer romoppvarmingslastene i desember, januar og februar med en valgt effektgrense og prosent reduksjon.

```
#Desember: velger effektgrense, P= 4823, og prosent = 0.0
df_lasttype_rom_des = laststyring_romoppvarming_2t(4823, 0.0, df_lasttype_des)
df_laststyring_1_des = sum_lasttype_rom(df_151_des, df_152_des, df_153_des, df_155_des,\
                                       df_snøsmelt_des, df_lasttype_rom_des)

print('-----DESEMBER-----')
print('Effekttopp uten pausing av romoppvarming [kW]:', df_lasttype_des['Total'].max())
print('Effekttopp med pausing av romoppvarming [kW]:', df_laststyring_1_des['Total'].max())
print('Effekttoppreduksjon [kW]:', df_lasttype_des['Total'].max()-df_laststyring_1_des['Total'].max())
print('Økonomisk besparelse [nok]:', (df_lasttype_des['Total'].max()-df_laststyring_1_des['Total'].max())*150)
print('')

#Januar: velger effektgrense, P=4671, og prosent = 0.0
df_lasttype_rom_jan = laststyring_romoppvarming_2t(4671, 0.0, df_lasttype_jan)
df_laststyring_1_jan = sum_lasttype_rom(df_151_jan, df_152_jan, df_153_jan, df_155_jan,\
                                       df_snøsmelt_jan, df_lasttype_rom_jan)

print('-----JANUAR-----')
print('Effekttopp uten pausing av romoppvarming [kW]:', df_lasttype_jan['Total'].max())
print('Effekttopp med pausing av romoppvarming [kW]:', df_laststyring_1_jan['Total'].max())
print('Effekttoppreduksjon [kW]:', df_lasttype_jan['Total'].max()-df_laststyring_1_jan['Total'].max())
print('Økonomisk besparelse [nok]:', (df_lasttype_jan['Total'].max()-df_laststyring_1_jan['Total'].max())*105)
print('')

#Februar: velger effektgrense, P=4590, og prosent = 0.0
df_lasttype_rom_feb = laststyring_romoppvarming_2t(4590, 0.0, df_lasttype_feb)
df_laststyring_1_feb = sum_lasttype_rom(df_151_feb, df_152_feb, df_153_feb, df_155_feb,\
                                       df_snøsmelt_feb, df_lasttype_rom_feb)

print('-----FEBRUAR-----')
print('Effekttopp uten pausing av romoppvarming [kW]:', df_lasttype_feb['Total'].max())
print('Effekttopp med pausing av romoppvarming [kW]:', df_laststyring_1_feb['Total'].max())
print('Effekttoppreduksjon [kW]:', df_lasttype_feb['Total'].max()-df_laststyring_1_feb['Total'].max())
print('Økonomisk besparelse [nok]:', (df_lasttype_feb['Total'].max()-df_laststyring_1_feb['Total'].max())*105)
print('')
```

```
-----DESEMBER-----
Effekttopp uten pausing av romoppvarming [kW]: 5141
Effekttopp med pausing av romoppvarming [kW]: 4822.689679999995
Effekttoppreduksjon [kW]: 318.3103200000005
Økonomisk besparelse [nok]: 47746.548000000075

-----JANUAR-----
Effekttopp uten pausing av romoppvarming [kW]: 4918
Effekttopp med pausing av romoppvarming [kW]: 4670.90128
Effekttoppreduksjon [kW]: 247.09871999999996
Økonomisk besparelse [nok]: 25945.365599999997

-----FEBRUAR-----
Effekttopp uten pausing av romoppvarming [kW]: 4899
Effekttopp med pausing av romoppvarming [kW]: 4590.4036
Effekttoppreduksjon [kW]: 308.59640000000036
Økonomisk besparelse [nok]: 32402.62200000004
```

2) Ventilasjon

```
In [14]: def laststyring_ventilasjon(effektgrense, df_lasttype, df_151):

    fleks_last=list(df_151['151.00=320.1010E0003 Ventilasjon']) #Lager en liste av verdiene som skal endres
    i=0 #startkriterie for i

    while i < (len(df_151)-2):

        # Lager en effektliste som tar for seg de to kommende timene.
        effektliste=list([df_lasttype['Total'][i], df_lasttype['Total'][i+1]])
        teller = 0 #for hver iterasjon,i, skal teller begynne på 0

        while teller < len(effektliste):

            #går gjennom alle verdier i effektlista
            #så lenge teller < 2
            #finder index til verdien som skal endres

            idx= teller + i

            if effektliste[teller] > effektgrense:

                #sjekker om noen av verdiene er større
                #enn effektgrensen
                #stopper ventilasjon i en time
                #endrer ikke neste time
                #når lastene er redusert skal while-løkke stoppes,
                #legger inn for høy teller.
                #øker i med to timer siden de kommende
                #to timene nå er endret.

                fleks_last[idx]=0
                fleks_last[idx+1]=fleks_last[idx+1]
                teller=2

                i = idx+2

            else:

                #går videre til neste effektverdi for å sjekke om den
                #er høyere enn effektgrensen

                teller = teller + 1

                if teller == 2:

                    #dersom ingen av de to lastene som undersøkes er over
                    #effektgrense
                    #da er teller lik 2, og i skal økes med 2.

                    i=i+2

    #bruker opprinnelig df_lasttype og legger til en kolonne for fleksibel last (ny last)
    df_lasttype['Fleksible laster ventilasjon'] = fleks_last
    return df_lasttype
```

In [15]: #når ventilasjonslastene er endret, må de ulike lastene summeres på nytt for å finne hvordan det #totale fjernvarmeforbruket ser ut med endret last

```
def sum_laststyring_vent(df_151, df_152, df_153, df_155, df_142, df_snøsmelt, df_ventilasjon):

    #VENTILASJON
    df_vent_ny= df_155['155.00=320.1030E0001 Ventilasjon']\
    +df_155['155.00=320.1020E0001 Ventilasjon']\
    +df_155['155.00=320.1010E0003 Ventilasjon']\
    +df_153['153.00=320.1010E0003 Ventilasjon']\
    +df_152['152.00=320.1010E0004 Ventilasjon']\
    +df_152['152.00=320.1010E0006 Ventilasjon']\
    +df_152['152.00=320.1020E0003 Ventilasjon']\
    +df_151['151.00=320.1010E0002 Ventilasjon']\
    +df_151['151.00=320.1010E0004 Ventilasjon']\
    +df_151['151.00=320.1020E0002 Ventilasjon']\
    +df_ventilasjon['Fleksible laster ventilasjon']

    #RADIATOR + GULVVARME
    df_rad = df_155['155.00=320.1010E0001-rest']\
    +df_152['152.00=320.1010E0008 Gulvvarme']\
    +df_152['152.00=320.1010E0003 Radiator']\
    +df_152['152.00=320.1010E0005 Radiator']\
    +df_152['152.00=320.2010E0002 Radiator']\
    +df_151['151.00=320.1020E0001-rest ']\
    +df_142['142.00=320.201-0E0001 Radiatorer']

    #VARMT VANN
    df_vann= df_155['155.00=320.6010E0001 Varmt vann Spyling']\
    +df_153['153.00=320.1010E0004-Varmtvann spylin']\
    +df_152['152.00=320.1010E0001 Spylevann oppvarming']

    #BLANDING
    df_blanding= df_152['152.00=320.1010E0007 ']\
    +df_151['151.00=320.1010E0001-rest']\
    +df_153['153.00=320.1010E0001-rest']

    #SNØSMELT
    df_snøsmelt_tot= df_snøsmelt['152.00=320.1010E0002 Gatevarme']\
    +df_snøsmelt['153.00=320.1010E0002 Gatevarme']\
    +df_snøsmelt['155.00=320.1010E0002 Gatevarme']

    #summerer lastkategoriene
    df_total= df_vent_ny + df_rad + df_vann + df_blanding + df_snøsmelt_tot + df_ventilasjon['Rest']

    laster = {'Dato':df_151['Tid'],
              'Ventilasjon_ny': df_vent_ny,
              'Rad+gulv': df_rad,
              'Varmt vann': df_vann,
              'Blanding': df_blanding,
              'Snøsmelt': df_snøsmelt_tot,
              'Total': df_total}

    # Laget DataFrame
    df_lasttype_red_2 = pd.DataFrame(laster)

    return df_lasttype_red_2
```

In [34]: #Styrer ventilasjonslaster i desember, januar og februar med en valgt effektgrense.

```
#Desember: velger effekgrense, P= 5030
df_laststyring_ventilasjon_des= laststyring_ventilasjon(5039, df_lasttype_des, df_151_des)
df_laststyring_2_des = sum_laststyring_vent(df_151_des, df_152_des, df_153_des, df_155_des, df_142_des, \
                                           df_snøsmelt_des, df_laststyring_ventilasjon_des)

print('-----DESEMBER-----')
print('Effekttopp uten pausing av romoppvarming [kW]:', df_lasttype_des['Total'].max())
print('Effekttopp med pausing av romoppvarming [kW]:', df_laststyring_2_des['Total'].max())
print('Effekttoppproduksjon [kW]:', df_lasttype_des['Total'].max()-df_laststyring_2_des['Total'].max())
print('Økonomisk besparelse [nok]:', (df_lasttype_des['Total'].max()-df_laststyring_2_des['Total'].max())*150)
print('')

#Januar: velger effekgrense, P= 4818
df_laststyring_ventilasjon_jan= laststyring_ventilasjon(4818, df_lasttype_jan, df_151_jan)
df_laststyring_2_jan = sum_laststyring_vent(df_151_jan, df_152_jan, df_153_jan, df_155_jan, df_142_jan,\
                                           df_snøsmelt_jan, df_laststyring_ventilasjon_jan)

print('-----JANUAR-----')
print('Effekttopp uten pausing av romoppvarming [kW]:', df_lasttype_jan['Total'].max())
print('Effekttopp med pausing av romoppvarming [kW]:', df_laststyring_2_jan['Total'].max())
print('Effekttoppproduksjon [kW]:', df_lasttype_jan['Total'].max()-df_laststyring_2_jan['Total'].max())
print('Økonomisk besparelse [nok]:', (df_lasttype_jan['Total'].max()-df_laststyring_2_jan['Total'].max())*105)
print('')

#Februar: velger effekgrense, P= 4809
df_laststyring_ventilasjon_feb= laststyring_ventilasjon(4809, df_lasttype_feb, df_151_feb)
df_laststyring_2_feb = sum_laststyring_vent(df_151_feb, df_152_feb, df_153_feb, df_155_feb, df_142_feb, \
                                           df_snøsmelt_feb, df_laststyring_ventilasjon_feb)

print('-----FEBRUAR-----')
print('Effekttopp uten pausing av romoppvarming [kW]:', df_lasttype_feb['Total'].max())
print('Effekttopp med pausing av romoppvarming [kW]:', df_laststyring_2_feb['Total'].max())
print('Effekttoppproduksjon [kW]:', df_lasttype_feb['Total'].max()-df_laststyring_2_feb['Total'].max())
print('Økonomisk besparelse [nok]:', (df_lasttype_feb['Total'].max()-df_laststyring_2_feb['Total'].max())*105)
print('')
```

```
-----DESEMBER-----
Effekttopp uten pausing av romoppvarming [kW]: 5141
Effekttopp med pausing av romoppvarming [kW]: 5039.0
Effekttoppproduksjon [kW]: 102.0
Økonomisk besparelse [nok]: 15300.0

-----JANUAR-----
Effekttopp uten pausing av romoppvarming [kW]: 4918
Effekttopp med pausing av romoppvarming [kW]: 4818.0
Effekttoppproduksjon [kW]: 100.0
Økonomisk besparelse [nok]: 10500.0

-----FEBRUAR-----
Effekttopp uten pausing av romoppvarming [kW]: 4899
Effekttopp med pausing av romoppvarming [kW]: 4809.0
Effekttoppproduksjon [kW]: 90.0
Økonomisk besparelse [nok]: 9450.0
```

3) Snøsmelleanlegg

In [17]: #Kode for effektbegrensning i snøsmelleanlegget

```
def effektbegrensning_snøsmelt(effektgrense_snøsmelt, df_lasttype):

    snøsmelt_last=list(df_lasttype['Snøsmelt'])           #Lager en liste med de eksisterende
                                                         #verdiene som skal endres

    for i in range(0, len(df_lasttype)):                 #går gjennom alle energiverdiene i
                                                         #en valgt periode

        if df_lasttype['Snøsmelt'][i] > effektgrense_snøsmelt: #hvis eksisterende verdi er større
                                                         #enn effektgrensen:
            snøsmelt_last[i]= effektgrense_snøsmelt      #da endres verdien til effekgrensen

    df_lasttype['Snøsmelt_ny'] = snøsmelt_last           #Legger til de endrede verdiene til dataframe
    return df_lasttype
```

In [18]: #når lastene i snøsmelteanlegget er endret, må de ulike lastene summeres på nytt for å finne hvordan det #totale fjernvarmeforbruket ser ut med endret last

```
def sum_effektred_snøsmelt(df_151, df_152, df_153, df_155, df_142, df_effektred_snøsmelt):

    #VENTILASJON
    df_vent= df_155['155.00=320.1030E0001 Ventilasjon']\
+df_155['155.00=320.1020E0001 Ventilasjon']\
+df_155['155.00=320.1010E0003 Ventilasjon']\
+df_153['153.00=320.1010E0003 Ventilasjon']\
+df_152['152.00=320.1010E0004 Ventilasjon']\
+df_152['152.00=320.1010E0006 Ventilasjon']\
+df_152['152.00=320.1020E0003 Ventilasjon']\
+df_151['151.00=320.1010E0003 Ventilasjon']\
+df_151['151.00=320.1010E0002 Ventilasjon']\
+df_151['151.00=320.1010E0004 Ventilasjon']\
+df_151['151.00=320.1020E0002 Ventilasjon']

    #RADIATOR + GULVVARME
    df_rad = df_155['155.00=320.1010E0001-rest']\
+df_152['152.00=320.1010E0008 Gulvvarme']\
+df_152['152.00=320.1010E0003 Radiator']\
+df_152['152.00=320.1010E0005 Radiator']\
+df_152['152.00=320.2010E0002 Radiator']\
+df_151['151.00=320.1020E0001-rest ']\
+df_142['142.00=320.201-0E0001 Radiatorer']

    #VARMT VANN
    df_vann= df_155['155.00=320.6010E0001 Varmt vann Spyling']\
+df_153['153.00=320.1010E0004-Varmtvann spylin']\
+df_152['152.00=320.1010E0001 Spylevann oppvarming']

    #BLANDING
    df_blanding= df_152['152.00=320.1010E0007 ']\
+df_151['151.00=320.1010E0001-rest']\
+df_153['153.00=320.1010E0001-rest']

    df_total= df_vent + df_rad + df_vann + df_blanding + df_effektred_snøsmelt['Snøsmelt_ny']\
+ df_effektred_snøsmelt['Rest']

    laster = {'Dato':df_151['Tid'],
              'Ventilasjon': df_vent,
              'Rad+gulv': df_rad,
              'Varmt vann': df_vann,
              'Blanding': df_blanding,
              'Snøsmelt_ny': df_effektred_snøsmelt['Snøsmelt_ny'],
              'Rest': df_effektred_snøsmelt['Rest'],
              'Total': df_total}

    # Create DataFrame
    df_lasttype = pd.DataFrame(laster)

    return df_lasttype
```

```

In [35]: # Finner mest optimal effektgrense for snøsmelt
effektgrense_liste=[]
effekttoppred_liste_des=[]
effekttoppred_liste_jan=[]
effekttoppred_liste_feb=[]
for i in range(750, 1800, 50):

    # Desember
    df_effekttred_snøsmelt_des = effektbegrensning_snøsmelt(i, df_lasttype_des)
    df_effekttred_snøsmelt_2_des = sum_effekttred_snøsmelt(df_151_des, df_152_des, df_153_des, df_155_des,\
    df_142_des, df_effekttred_snøsmelt_des)
    effekttoppred_liste_des.append(df_lasttype_des['Total'].max()-df_effekttred_snøsmelt_2_des['Total'].max())

    # Januar
    df_effekttred_snøsmelt_jan = effektbegrensning_snøsmelt(i, df_lasttype_jan)
    df_effekttred_snøsmelt_2_jan = sum_effekttred_snøsmelt(df_151_jan, df_152_jan, df_153_jan, df_155_jan,\
    df_142_jan, df_effekttred_snøsmelt_jan)
    effekttoppred_liste_jan.append(df_lasttype_jan['Total'].max()-df_effekttred_snøsmelt_2_jan['Total'].max())

    # Februar
    df_effekttred_snøsmelt_feb = effektbegrensning_snøsmelt(i, df_lasttype_feb)
    df_effekttred_snøsmelt_2_feb = sum_effekttred_snøsmelt(df_151_feb, df_152_feb, df_153_feb, df_155_feb,\
    df_142_feb, df_effekttred_snøsmelt_feb)
    effekttoppred_liste_feb.append(df_lasttype_feb['Total'].max()-df_effekttred_snøsmelt_2_feb['Total'].max())
    effektgrense_liste.append(i)

plt.rcParams['figure.figsize'] = [12, 6]

fig,ax = plt.subplots()
ax.plot(effektgrense_liste, effekttoppred_liste_des, 'r', label='desember')
plt.vlines(x=1550, ymin=0, ymax=312, color='r', ls=':',label='effektgrense desember')

ax.plot(effektgrense_liste, effekttoppred_liste_jan, 'b', label='januar')
plt.vlines(x=1450, ymin=0, ymax=189, color='b', ls=':',label='effektgrense januar')

ax.plot(effektgrense_liste, effekttoppred_liste_feb, 'g', label='februar')
plt.vlines(x=1500, ymin=0, ymax=485, color='g', ls=':',label='effektgrense februar')

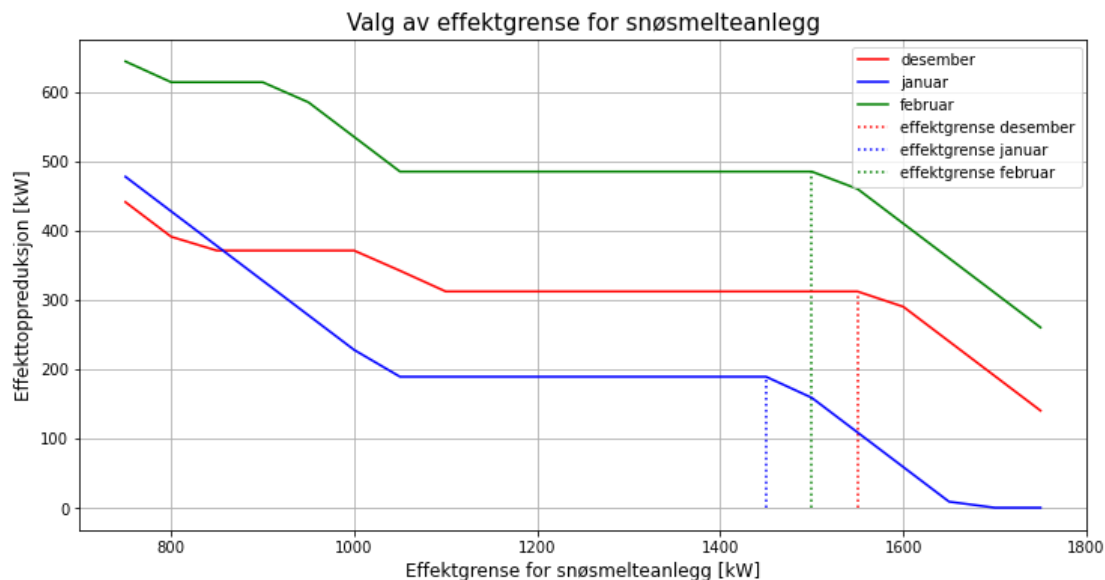
lines, labels = ax.get_legend_handles_labels()
ax.legend(bbox_to_anchor=(0.76,1), loc="upper left")

ax.set_ylabel('Effekttoppreduksjon [kW]',fontsize=12)
ax.set_xlabel('Effektgrense for snøsmelteanlegg [kW]',fontsize=12)
plt.title('Valg av effektgrense for snøsmelteanlegg', fontsize=15)
plt.grid()

print('Grense for desember:', effektgrense_liste[len(effektgrense_liste)-5])
print('Grense for januar:', effektgrense_liste[len(effektgrense_liste)-7])
print('Grense for februar:', effektgrense_liste[len(effektgrense_liste)-6])

```

Grense for desember: 1550
Grense for januar: 1450
Grense for februar: 1500



In [39]: #Effektgrense for snøsmelteanlegget i desember, januar og februar.

```
#Desember: velger effekgrense, P= 1550
df_effektred_snøsmelt_des = effektbegrensning_snøsmelt(1550, df_lasttype_des)
df_effektred_snøsmelt_2_des = sum_effektred_snøsmelt(df_151_des, df_152_des, df_153_des, df_155_des, df_142_des,\
df_effektred_snøsmelt_des)

print('-----DESEMBER-----')
print('Effekttopp uten pausing av romoppvarming [kW]:', df_lasttype_des['Total'].max())
print('Effekttopp med pausing av romoppvarming [kW]:', df_effektred_snøsmelt_2_des['Total'].max())
print('Effekttoppproduksjon [kW]:', df_lasttype_des['Total'].max()-df_effektred_snøsmelt_2_des['Total'].max())
print('Økonomisk besparelse [nok]:',\
(df_lasttype_des['Total'].max()-df_effektred_snøsmelt_2_des['Total'].max())*150)
print('')

#Januar: velger effekgrense, P= 1450
df_effektred_snøsmelt_jan = effektbegrensning_snøsmelt(1450, df_lasttype_jan)
df_effektred_snøsmelt_2_jan = sum_effektred_snøsmelt(df_151_jan, df_152_jan, df_153_jan, df_155_jan, df_142_jan,\
df_effektred_snøsmelt_jan)

print('-----JANUAR-----')
print('Effekttopp uten pausing av romoppvarming [kW]:', df_lasttype_jan['Total'].max())
print('Effekttopp med pausing av romoppvarming [kW]:', df_effektred_snøsmelt_2_jan['Total'].max())
print('Effekttoppproduksjon [kW]:', df_lasttype_jan['Total'].max()-df_effektred_snøsmelt_2_jan['Total'].max())
print('Økonomisk besparelse [nok]:',\
(df_lasttype_jan['Total'].max()-df_effektred_snøsmelt_2_jan['Total'].max())*105)
print('')

#Februar: velger effekgrense, P= 1500
df_effektred_snøsmelt_feb = effektbegrensning_snøsmelt(1500, df_lasttype_feb)
df_effektred_snøsmelt_2_feb = sum_effektred_snøsmelt(df_151_feb, df_152_feb, df_153_feb, df_155_feb, df_142_feb,\
df_effektred_snøsmelt_feb)

print('-----FEBRUAR-----')
print('Effekttopp uten pausing av romoppvarming [kW]:', df_lasttype_feb['Total'].max())
print('Effekttopp med pausing av romoppvarming [kW]:', df_effektred_snøsmelt_2_feb['Total'].max())
print('Effekttoppproduksjon [kW]:', df_lasttype_feb['Total'].max()-df_effektred_snøsmelt_2_feb['Total'].max())
print('Økonomisk besparelse [nok]:',\
(df_lasttype_feb['Total'].max()-df_effektred_snøsmelt_2_feb['Total'].max())*105)
print('')
```

```
-----DESEMBER-----
Effekttopp uten pausing av romoppvarming [kW]: 5141
Effekttopp med pausing av romoppvarming [kW]: 4829.0
Effekttoppproduksjon [kW]: 312.0
Økonomisk besparelse [nok]: 46800.0
```

```
-----JANUAR-----
Effekttopp uten pausing av romoppvarming [kW]: 4918
Effekttopp med pausing av romoppvarming [kW]: 4729.0
Effekttoppproduksjon [kW]: 189.0
Økonomisk besparelse [nok]: 19845.0
```

```
-----FEBRUAR-----
Effekttopp uten pausing av romoppvarming [kW]: 4899
Effekttopp med pausing av romoppvarming [kW]: 4414.0
Effekttoppproduksjon [kW]: 485.0
Økonomisk besparelse [nok]: 50925.0
```


Kombinasjon av tiltak

In [36]: #Utgreining av hvordan totalt forbruk blir dersom tiltak 1, 2 og 3 kombineres

```
def sum_laststyring_kombinert(df_151, df_152, df_153, df_155, df_142, df_snøsmelt,\
                             df_laststyring_ventilasjon, df_effektred_snøsmelt):

    #VENTILASJON
    df_vent_ny= df_155['155.00=320.1030E0001 Ventilasjon']\
    +df_155['155.00=320.1020E0001 Ventilasjon']\
    +df_155['155.00=320.1010E0003 Ventilasjon']\
    +df_153['153.00=320.1010E0003 Ventilasjon']\
    +df_152['152.00=320.1010E0004 Ventilasjon']\
    +df_152['152.00=320.1010E0006 Ventilasjon']\
    +df_152['152.00=320.1020E0003 Ventilasjon']\
    +df_151['151.00=320.1010E0002 Ventilasjon']\
    +df_151['151.00=320.1010E0004 Ventilasjon']\
    +df_151['151.00=320.1020E0002 Ventilasjon']\
    +df_laststyring_ventilasjon['Fleksible laster ventilasjon']

    #VARMT VANN
    df_vann= df_155['155.00=320.6010E0001 Varmt vann Spyling']\
    +df_153['153.00=320.1010E0004-Varmtvann spylin']\
    +df_152['152.00=320.1010E0001 Spylevann oppvarming']

    #BLANDING
    df_blanding= df_152['152.00=320.1010E0007 ']\
    +df_151['151.00=320.1010E0001-rest']\
    +df_153['153.00=320.1010E0001-rest']

    #REGNER UT NY TOTAL
    df_total= df_vent_ny + df_laststyring_ventilasjon['Fleksible laster romoppvarming'] + df_vann\
    + df_blanding + df_effektred_snøsmelt['Snøsmelt_ny'] + df_laststyring_ventilasjon['Rest']

    laster = {'Dato':df_151['Tid'],
              'Ventilasjon_ny': df_vent_ny,
              'Rad+gulv_ny': df_laststyring_ventilasjon['Fleksible laster romoppvarming'],
              'Varmt vann': df_vann,
              'Blanding': df_blanding,
              'Snøsmelt_ny': df_effektred_snøsmelt['Snøsmelt_ny'],
              'Total': df_total}

    #LAGER DATAFRAME
    df_lasttype_kombi = pd.DataFrame(laster)

    return df_lasttype_kombi
```

```
In [37]: # DESEMBER
```

```
# Velger samme effektgrense for romoppvarming og ventilasjon og egen effektgrense for snøsmelteanlegget,
# og sjekker hvilken kombinasjon som gir mest reduksjon av høyeste effekttopp i måneden.

arr = np.zeros((15,10))
i_liste=[]
j_liste=[]

# varierer effektgrensa for ventilasjon og romoppvarming mellom 3500 og 5000
for i in range(3500,5000,100):
    n=int((i-3500)/100)
    i_liste.append(i)

    df_laststype_rom_des = laststyring_romoppvarming_2t(i, 0.0, df_lasttype_des)
    df_laststyring_1_des = sum_laststype_rom(df_151_des, df_152_des, df_153_des, df_155_des,\
        df_snøsmelt_des, df_laststype_rom_des)
    df_laststyring_ventilasjon_des= laststyring_ventilasjon(i, df_lasttype_des, df_151_des)

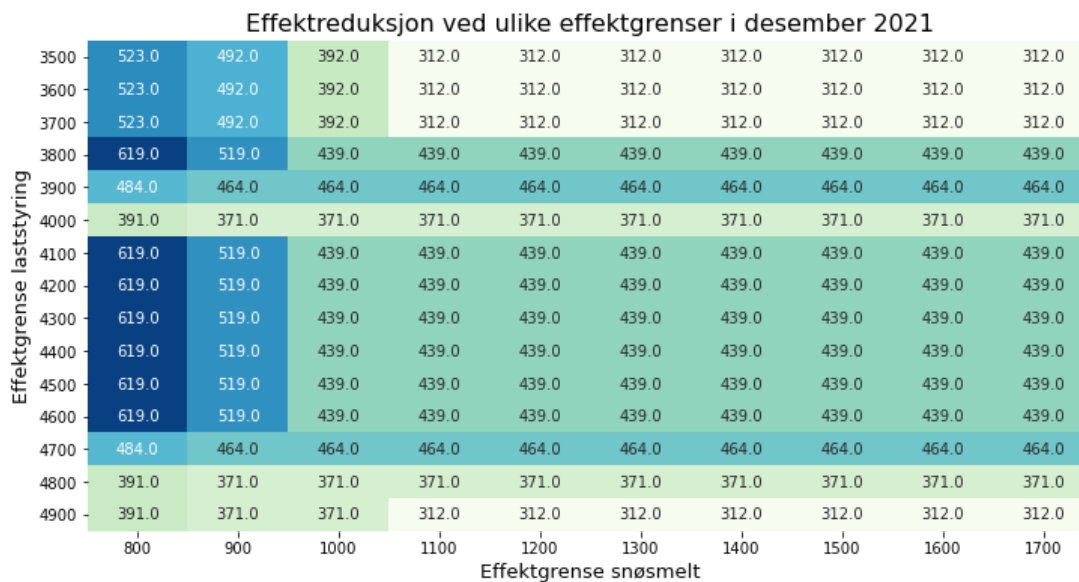
# varierer effektgrensa for snøsmelteanlegget mellom 800 og 1800 kW
for j in range(800,1800,100):
    m=int((j-800)/100)
    j_liste.append(j)

    df_effektrede_snøsmelt_des = effektbegrensning_snøsmelt(j, df_lasttype_des)
    df_effektrede_snøsmelt_2_des = sum_effektrede_snøsmelt(df_151_des, df_152_des, df_153_des, df_155_des,\
        df_142_des, df_effektrede_snøsmelt_des)

    df_laststyring_kombi_des = sum_laststyring_kombinert(df_151_des, df_152_des, df_153_des, df_155_des,\
        df_142_des, df_snøsmelt_des,\
        df_laststyring_ventilasjon_des,\
        df_effektrede_snøsmelt_des)

    reduksjon=int(df_lasttype_des['Total'].max()-df_laststyring_kombi_des['Total'].max())
    arr[n,m]=reduksjon

# Plotter fargekart
heatmap_des = pd.DataFrame(arr, index=i_liste, columns=j_liste[0:10])
ax = sns.heatmap(heatmap_des, annot=True, fmt='.1f', cmap="GnBu",cbar=False, vmin=320, vmax=592)
plt.title('Effektreduksjon ved ulike effektgrenser i desember 2021', fontsize = 16)
plt.ylabel('Effektgrense laststyring', fontsize = 13)
plt.xlabel('Effektgrense snøsmelt', fontsize = 13)
plt.show()
```



```
In [23]: # Velger effektgrensener og plotter hvordan forbruket endres
```

```
df_lasttype_rom_des = laststyring_romoppvarming_2t(4700, 0.0, df_lasttype_des)
df_laststyring_ventilasjon_des = laststyring_ventilasjon(4700, df_lasttype_des, df_151_des)
df_effektred_snøsmelt_des = effektbegrensning_snøsmelt(1700, df_lasttype_des)

df_laststyring_kombi_des = sum_laststyring_kombinert(df_151_des, df_152_des, df_153_des, df_155_des, \
                                                    df_142_des, df_snøsmelt_des, \
                                                    df_laststyring_ventilasjon_des, \
                                                    df_effektred_snøsmelt_des)

#Plotter energidata
fig,ax = plt.subplots()

ax.plot(df_lasttype_des['Dato'], df_lasttype_des['Total'], 'r', label='Total energi (opprinnelig)')
ax.plot(df_laststyring_kombi_des['Dato'], df_laststyring_kombi_des['Total'], 'b', label='Total energi (ny)')

#ax.plot(df_lasttype_des['Dato'], df_lasttype_des['Rad+gulv'], 'r', label='Romoppvarming (opprinnelig)')
ax.plot(df_laststyring_kombi_des['Dato'], df_laststyring_kombi_des['Rad+gulv_ny'], 'y', label='Romoppvarming (ny)')

#ax.plot(df_lasttype_des['Dato'], df_lasttype_des['Ventilasjon'], 'r', label='Ventilasjon (opprinnelig)')
ax.plot(df_laststyring_kombi_des['Dato'], df_laststyring_kombi_des['Ventilasjon_ny'], 'g', label='Ventilasjon (ny)')

ax.plot(df_effektred_snøsmelt_2_des['Dato'], df_lasttype_des['Snøsmelt'], '--r', label='Snøsmelt (opprinnelig)')
ax.plot(df_laststyring_kombi_des['Dato'], df_laststyring_kombi_des['Snøsmelt_ny'], 'c', label='Snøsmelt (ny)')

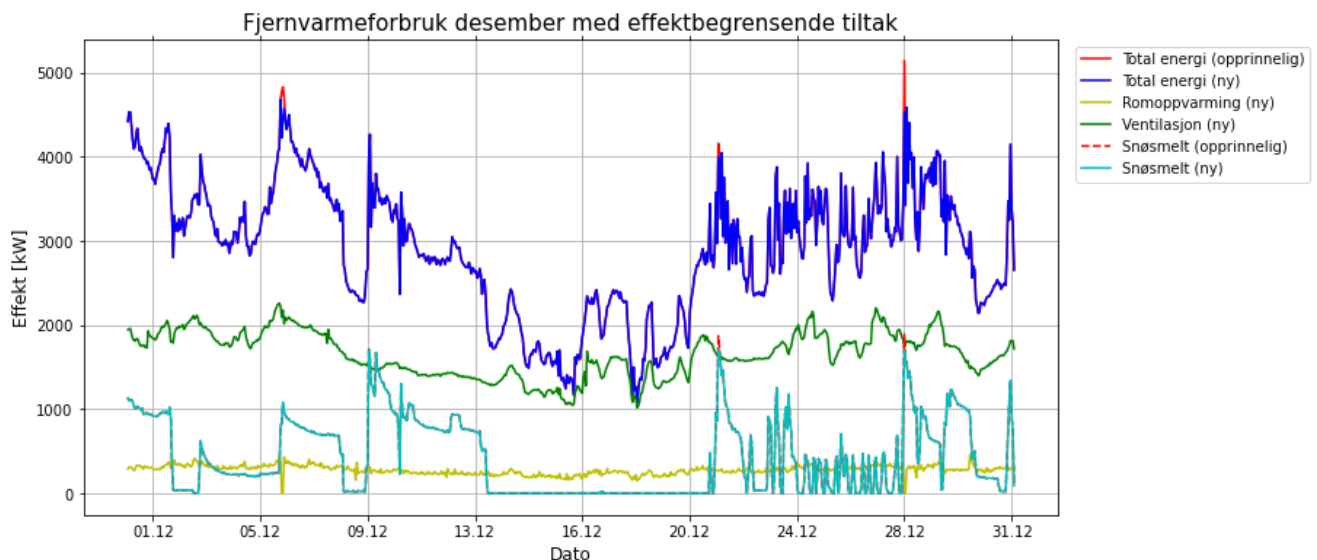
ax.xaxis.set_tick_params(reset=True)
ax.xaxis.set_major_locator(mdates.HourLocator(interval=90))
ax.xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%d.%m'))

# Bestemmer navn på grafene
ax.set_xlabel("Dato", fontsize=12)
ax.set_ylabel('Effekt [kW]', fontsize=12)

# Legger til beskrivelse av grafer
lines, labels = ax.get_legend_handles_labels()
ax.legend(bbox_to_anchor=(1.01,1), loc="upper left")

plt.title('Fjernvarmeforbruk desember med effektbegrensende tiltak', fontsize=15)
plt.grid()
plt.show()

print('Effekttopp uten pausing av romoppvarming [kW]:', df_lasttype_des['Total'].max())
print('Effekttopp med pausing av romoppvarming [kW]:', df_laststyring_kombi_des['Total'].max())
print('Effekttoppreduksjon [kW]:', df_lasttype_des['Total'].max()-df_laststyring_kombi_des['Total'].max())
print('Økonomisk besparelse [nok]:', (df_lasttype_des['Total'].max()-df_laststyring_kombi_des['Total'].max())*150)
```



Effekttopp uten pausing av romoppvarming [kW]: 5141
 Effekttopp med pausing av romoppvarming [kW]: 4677.0
 Effekttoppproduksjon [kW]: 464.0
 Økonomisk besparelse [nok]: 69600.0

```
In [25]: # JANUAR

# Velger samme effektgrense for romoppvarming og ventilasjon og egen effektgrense for snøsmelteanlegget,
# og sjekker hvilken kombinasjon som gir mest reduksjon av høyeste effekttopp i måneden.

arr_jan = np.zeros((15,10))
i_liste=[]
j_liste=[]

for i in range(3500,5000,100):
    n=int((i-3500)/100)
    i_liste.append(i)

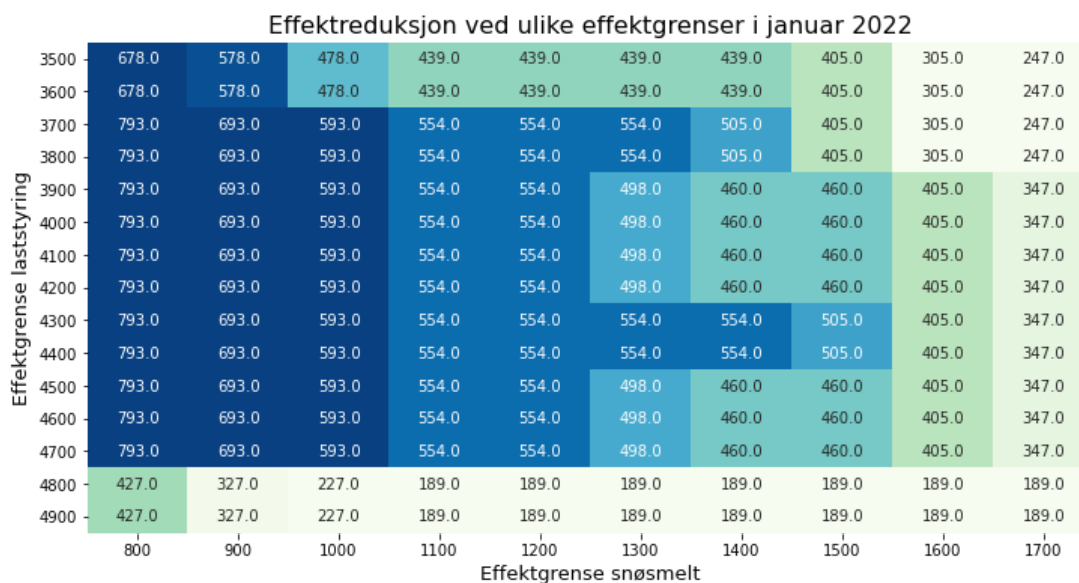
    df_laststype_rom_jan = laststyring_romoppvarming_2t(i, 0.0, df_lasttype_jan)
    df_laststyring_1_jan = sum_laststype_rom(df_151_jan, df_152_jan, df_153_jan, df_155_jan, df_snøsmelt_jan,\
    df_lasttype_rom_jan)
    df_laststyring_ventilasjon_jan= laststyring_ventilasjon(i, df_lasttype_jan, df_151_jan)

    for j in range(800,1800,100):
        m=int((j-800)/100)
        j_liste.append(j)

        df_effektred_snøsmelt_jan = effektbegrensning_snøsmelt(j, df_lasttype_jan)
        df_effektred_snøsmelt_2_jan = sum_effektred_snøsmelt(df_151_jan, df_152_jan, df_153_jan, df_155_jan,\
        df_142_jan, df_effektred_snøsmelt_jan)
        df_laststyring_kombi_jan = sum_laststyring_kombinert(df_151_jan, df_152_jan, df_153_jan, df_155_jan,\
        df_142_jan, df_snøsmelt_jan,\
        df_laststyring_ventilasjon_jan,\
        df_effektred_snøsmelt_jan)

        reduksjon=int(df_lasttype_jan['Total'].max()-df_laststyring_kombi_jan['Total'].max())
        arr_jan[n,m]=reduksjon

heatmap_jan = pd.DataFrame(arr_jan, index=i_liste, columns=j_liste[0:10])
ax = sns.heatmap(heatmap_jan, annot=True, fmt='.1f', cmap="GnBu", cbar=False, vmin=320, vmax=592)
plt.title('Effektreduksjon ved ulike effektgrenser i januar 2022', fontsize = 16)
plt.ylabel('Effektgrense laststyring', fontsize = 13)
plt.xlabel('Effektgrense snøsmelt', fontsize = 13)
plt.show()
```



In [26]: # Velger effektgrensener og plotter hvordan forbruket endres

```
df_lasttype_rom_jan = laststyring_romoppvarming_2t(4700, 0.0, df_lasttype_jan)
df_laststyring_1_jan = sum_lasttype_rom(df_151_jan, df_152_jan, df_153_jan, df_155_jan, df_snøsmelt_jan,\
                                       df_lasttype_rom_jan)
df_laststyring_ventilasjon_jan= laststyring_ventilasjon(4700, df_lasttype_jan, df_151_jan)
df_effektred_snøsmelt_jan = effektbegrensning_snøsmelt(1500, df_lasttype_jan)

df_laststyring_kombi_jan = sum_laststyring_kombinert(df_151_jan, df_152_jan, df_153_jan, df_155_jan,\
                                                  df_142_jan, df_snøsmelt_jan,\
                                                  df_laststyring_ventilasjon_jan,\
                                                  df_effektred_snøsmelt_jan)

# Plotter energidata
fig,ax = plt.subplots()

ax.plot(df_lasttype_jan['Dato'], df_lasttype_jan['Total'], 'r', label='Total energi (opprinnelig)')
ax.plot(df_laststyring_kombi_jan['Dato'], df_laststyring_kombi_jan['Total'], 'b', label='Total energi (ny)')

ax.plot(df_laststyring_kombi_jan['Dato'], df_laststyring_kombi_jan['Rad+gulv_ny'],'y', label='Romoppvarming (ny)')

ax.plot(df_laststyring_kombi_jan['Dato'], df_laststyring_kombi_jan['Ventilasjon_ny'],'g', label='Ventilasjon (ny)')

ax.plot(df_effektred_snøsmelt_2_jan['Dato'], df_lasttype_jan['Snøsmelt'], '--r', label='Snøsmelt (opprinnelig)')
ax.plot(df_laststyring_kombi_jan['Dato'], df_laststyring_kombi_jan['Snøsmelt_ny'],'c', label='Snøsmelt (ny)')

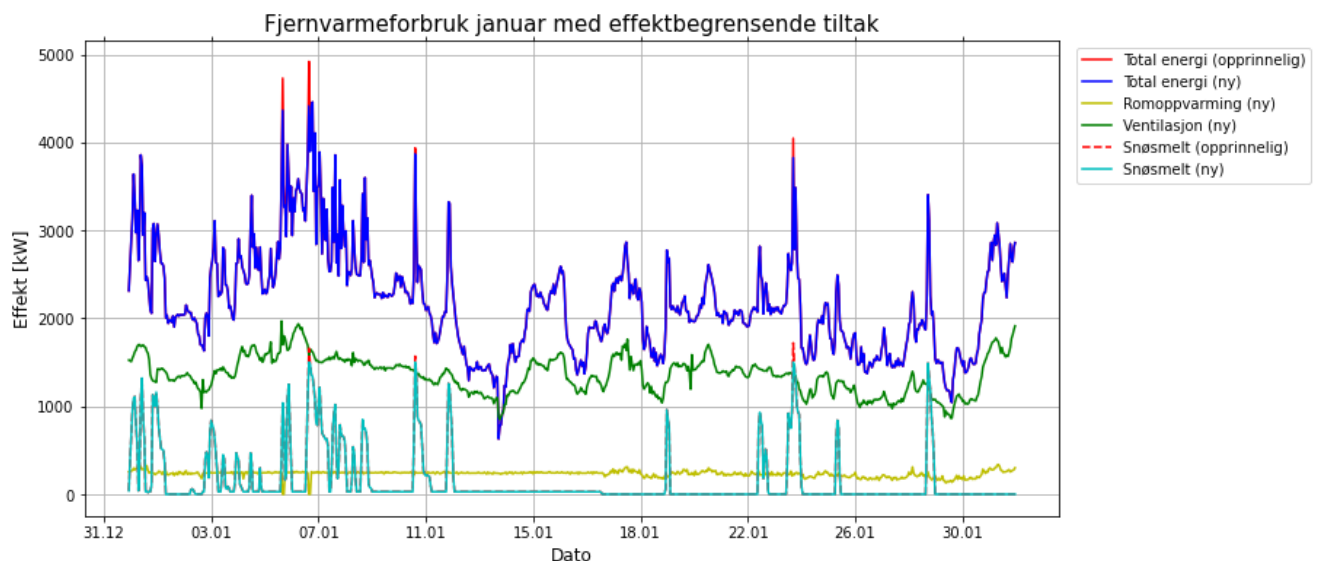
ax.xaxis.set_tick_params(reset=True)
ax.xaxis.set_major_locator(mdates.HourLocator(interval=90))
ax.xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%d.%m'))

# Bestemmer navn på grafene
ax.set_xlabel("Dato", fontsize=12)
ax.set_ylabel('Effekt [kW]', fontsize=12)

# Legger til beskrivelse av grafer
lines, labels = ax.get_legend_handles_labels()
ax.legend(bbox_to_anchor=(1.01,1), loc="upper left")

plt.title('Fjernvarmeforbruk januar med effektbegrensende tiltak', fontsize=15)
plt.grid()
plt.show()

print('Effekttopp uten pausing av romoppvarming [kW]:', df_lasttype_jan['Total'].max())
print('Effekttopp med pausing av romoppvarming [kW]:', df_laststyring_kombi_jan['Total'].max())
print('Effekttoppproduksjon [kW]:', df_lasttype_jan['Total'].max()-df_laststyring_kombi_jan['Total'].max())
print('Økonomisk besparelse [nok]:', (df_lasttype_jan['Total'].max()-df_laststyring_kombi_jan['Total'].max())*105)
```



Effekttopp uten pausing av romoppvarming [kW]: 4918
Effekttopp med pausing av romoppvarming [kW]: 4458.0
Effekttoppproduksjon [kW]: 460.0
Økonomisk besparelse [nok]: 48300.0

```

In [27]: # FEBRUAR

# Velger samme effektgrense for romoppvarming og ventilasjon og egen effektgrense for snøsmelteanlegget,
# og sjekker hvilken kombinasjon som gir mest reduksjon av høyeste effektopp i måneden.

arr_feb = np.zeros((15,10))
i_liste=[]
j_liste=[]

for i in range(3500,5000,100):
    n=int((i-3500)/100)
    i_liste.append(i)

    df_lasttype_rom_feb = laststyring_romoppvarming_2t(i, 0.0, df_lasttype_feb)
    df_laststyring_1_feb = sum_lasttype_rom(df_151_feb, df_152_feb, df_153_feb, df_155_feb,\
                                         df_snøsmelt_feb, df_lasttype_rom_feb)
    df_laststyring_ventilasjon_feb= laststyring_ventilasjon(i, df_lasttype_feb, df_151_feb)

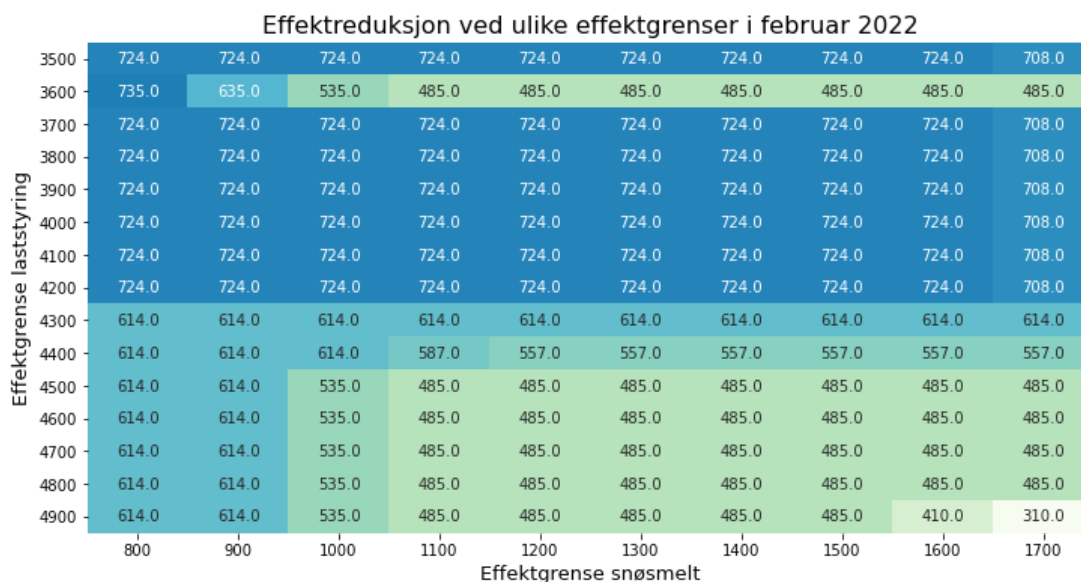
    for j in range(800,1800,100):
        m=int((j-800)/100)
        j_liste.append(j)

        df_effektred_snøsmelt_feb = effektbegrensning_snøsmelt(j, df_lasttype_feb)
        df_effektred_snøsmelt_2_feb = sum_effektred_snøsmelt(df_151_feb, df_152_feb, df_153_feb, df_155_feb,\
                                                           df_142_feb, df_effektred_snøsmelt_feb)
        df_laststyring_kombi_feb = sum_laststyring_kombinert(df_151_feb, df_152_feb, df_153_feb, df_155_feb,\
                                                           df_142_feb, df_snøsmelt_feb,\
                                                           df_laststyring_ventilasjon_feb,\
                                                           df_effektred_snøsmelt_feb)

        reduksjon=int(df_lasttype_feb['Total'].max()-df_laststyring_kombi_feb['Total'].max())
        arr_feb[n,m]=reduksjon

# Plotter fargekart
heatmap_feb = pd.DataFrame(arr_feb, index=i_liste, columns=j_liste[0:10])
ax = sns.heatmap(heatmap_feb, annot=True, fmt='.1f', cmap="GnBu",cbar=False, vmin=310, vmax=845)
plt.title('Effektreduksjon ved ulike effektgrenser i februar 2022', fontsize = 16)
plt.ylabel('Effektgrense laststyring', fontsize = 13)
plt.xlabel('Effektgrense snøsmelt', fontsize = 13)
plt.show()

```



In [28]: # Velger effektgrenser og plotter hvordan forbruket endres

```
df_lasttype_rom_feb = laststyring_romoppvarming_2t(4900, 0.0, df_lasttype_feb)
df_laststyring_1_feb = sum_lasttype_rom(df_151_feb, df_152_feb, df_153_feb, df_155_feb, df_snøsmelt_feb,\
                                       df_lasttype_rom_feb)
df_laststyring_ventilasjon_feb= laststyring_ventilasjon(4900, df_lasttype_feb, df_151_feb)
df_effektred_snøsmelt_feb = effektbegrensning_snøsmelt(1500, df_lasttype_feb)

df_laststyring_kombi_feb = sum_laststyring_kombinert(df_151_feb, df_152_feb, df_153_feb, df_155_feb,\
                                                  df_142_feb, df_snøsmelt_feb,\
                                                  df_laststyring_ventilasjon_feb,\
                                                  df_effektred_snøsmelt_feb)

# Plotter energidata
fig,ax = plt.subplots()

ax.plot(df_lasttype_feb['Dato'], df_lasttype_feb['Total'], 'r', label='Total energi (opprinnelig)')
ax.plot(df_laststyring_kombi_feb['Dato'], df_laststyring_kombi_feb['Total'], 'b', label='Total energi (ny)')

ax.plot(df_laststyring_kombi_feb['Dato'], df_laststyring_kombi_feb['Rad+gulv_ny'],'y', label='Romoppvarming (ny)')

ax.plot(df_laststyring_kombi_feb['Dato'], df_laststyring_kombi_feb['Ventilasjon_ny'],'g', label='Ventilasjon (ny)')

ax.plot(df_effektred_snøsmelt_2_feb['Dato'], df_lasttype_feb['Snøsmelt'], '--r', label='Snøsmelt (opprinnelig)')
ax.plot(df_laststyring_kombi_feb['Dato'], df_laststyring_kombi_feb['Snøsmelt_ny'],'c', label='Snøsmelt (ny)')

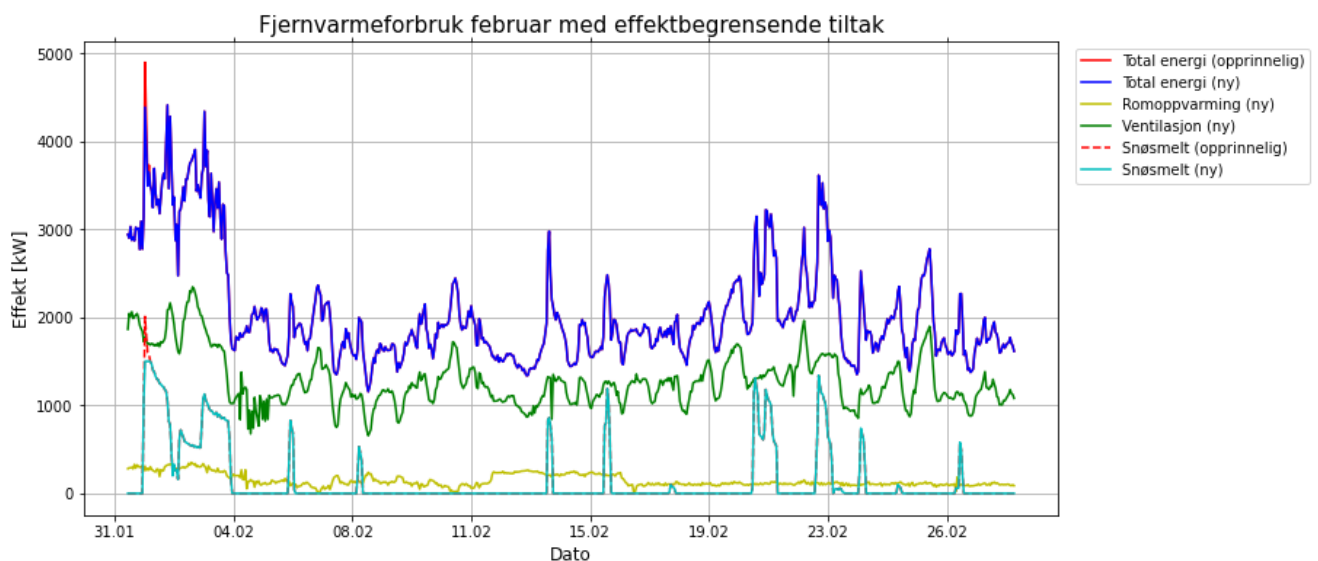
ax.xaxis.set_tick_params(reset=True)
ax.xaxis.set_major_locator(mdates.HourLocator(interval=90))
ax.xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%d.%m'))

# Bestemmer navn på grafene
ax.set_xlabel("Dato", fontsize=12)
ax.set_ylabel('Effekt [kW]', fontsize=12)

# Legger til beskrivelse av grafer
lines, labels = ax.get_legend_handles_labels()
ax.legend(bbox_to_anchor=(1.01,1), loc="upper left")

plt.title('Fjernvarmeforbruk februar med effektbegrensende tiltak', fontsize=15)
plt.grid()
plt.show()

print('Effekttopp uten pausing av romoppvarming [kW]:', df_lasttype_feb['Total'].max())
print('Effekttopp med pausing av romoppvarming [kW]:', df_laststyring_kombi_feb['Total'].max())
print('Effekttoppproduksjon [kW]:', df_lasttype_feb['Total'].max()-df_laststyring_kombi_feb['Total'].max())
print('Økonomisk besparelse [nok]:', (df_lasttype_feb['Total'].max()-df_laststyring_kombi_feb['Total'].max())*105)
```



Effekttopp uten pausing av romoppvarming [kW]: 4899
Effekttopp med pausing av romoppvarming [kW]: 4414.0
Effekttoppproduksjon [kW]: 485.0
Økonomisk besparelse [nok]: 50925.0

Varighetskurve

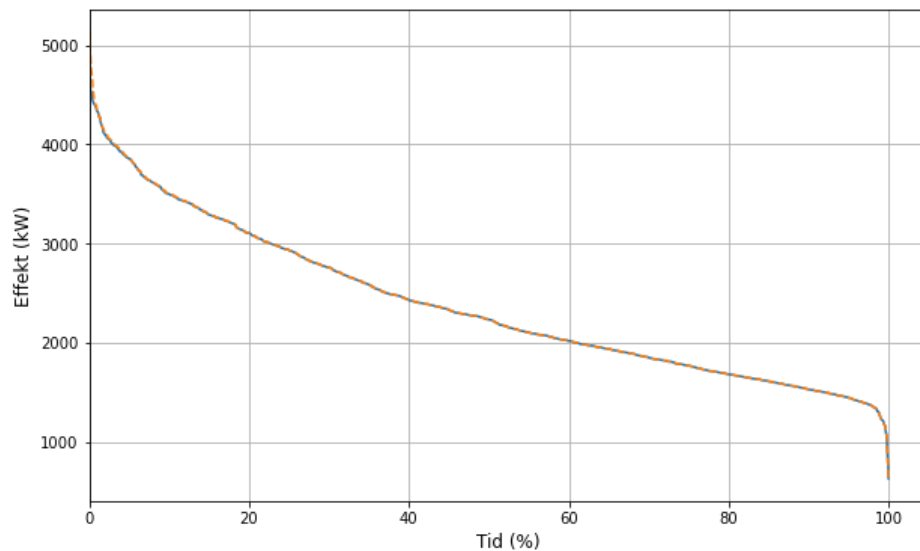
```
In [29]: # Legger sammen data for endret forbruk i desember, januar og februar
df_laststyring_janfeb = df_laststyring_kombi_des.append(df_laststyring_kombi_jan)
df_laststyring_kombi = df_laststyring_janfeb.append(df_laststyring_kombi_feb)

#Plotter varighetskurve

#Opprinnelige varighetskuve
df_lasttype['interval'] = 1
df_sorted = df_lasttype.sort_values(by=['Total'], ascending = False)
df_sorted['varighet'] = df_sorted['interval'].cumsum()
df_sorted['prosent'] = df_sorted['varighet'] * 100 / len(df_sorted)

#Ny varighetskruve
df_laststyring_kombi['interval'] = 1
df_sorted_ny = df_laststyring_kombi.sort_values(by=['Total'], ascending = False)
df_sorted_ny['varighet'] = df_sorted_ny['interval'].cumsum()
df_sorted_ny['prosent'] = df_sorted_ny['varighet'] * 100 / len(df_sorted_ny)

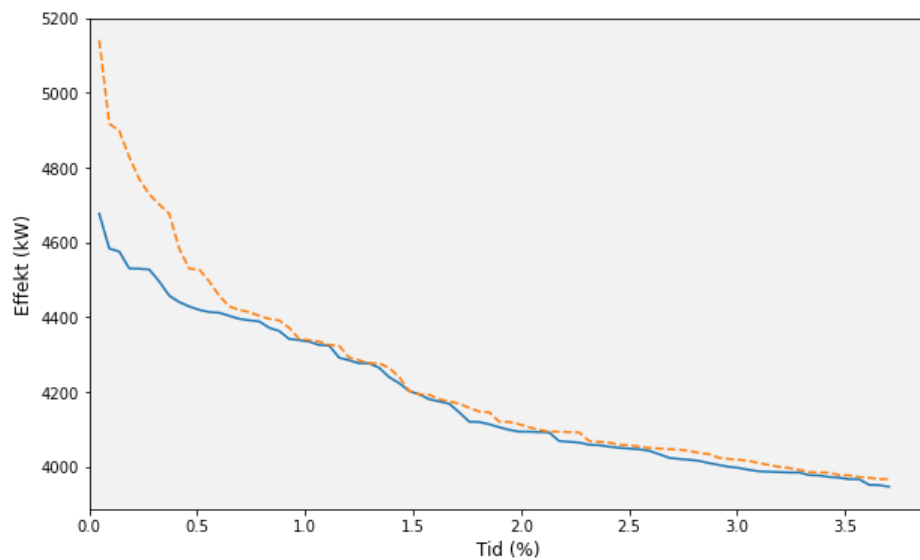
plt.rcParams['figure.figsize'] = [10, 6]
p = sns.lineplot(x = 'prosent', y = 'Total', data = df_sorted_ny)
p = sns.lineplot(x = 'prosent', y = 'Total', data = df_sorted, linestyle='--')
plt.xlim(0, None)
p.set_xlabel("Tid (%)", fontsize = 12)
p.set_ylabel("Effekt (kW)", fontsize = 12)
plt.grid()
plt.show()
```




```
In [30]: # Zoomer inn på varighetskurven
```

```
plt.rcParams['figure.figsize'] = [10, 6]
p = sns.lineplot(x = 'prosent', y = 'Total', data = df_sorted_ny[0:80])
p = sns.lineplot(x = 'prosent', y = 'Total', data = df_sorted[0:80], linestyle='--')
plt.xlim(0, None)

p.set_facecolor('0.95')
p.set_xlabel("Tid (%)", fontsize = 12)
p.set_ylabel("Effekt (kW)", fontsize = 12)
plt.show()
```





Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway