



**1004501 UiO Livsvitenskapsbygget**  
***Konseptstudie – Design av energisentral***  
***Optimalisering av energisentral basert på energigjenvinning og energilagring***



02	Sluttrapport til Enova	15.10.16	RHL & HBA	IHB	IHB
01	Foreløpig	06.10.2016	RHL & HBA	IHB	IHB
Rev.	Beskrivelse	Rev. dato	Utarbeidet av:	Kontrollert av:	Godkjent av:
PGL	Ratio Arkitekter as		RIBr	Erichsen & Horgen as	
ARK	Ratio Arkitekter as / CUBO AS		RIBfy	Erichsen & Horgen as	
IARK	Ratio Arkitekter as		RIAKu	Brekke & Strand as	
RIB	MOE AS / Høyer Finseth as		RIG	MOE AS / Grunn Teknisk as	
RIV	Erichsen & Horgen as		RIEn	Erichsen & Horgen as	
RIE	Ing. Per Rasmussen as		Breeam AP	Erichsen & Horgen as	
LARK	Ark Kristine Jensens Tegnstue AS / B&L as		BIM	SWECO BIM-lab	

**INNHold**

<b>0</b>	<b>FORMÅL</b> .....	<b>3</b>
<b>1</b>	<b>BAKGRUNN</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>OPPSUMMERING</b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>SØKER</b> .....	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>KARTLEGGING AV EFFEKTBEHOV</b> .....	<b>5</b>
4.1	Sentrale begreper .....	6
4.2	Måling av brukerutstyrets varmeavgivelse .....	7
4.3	Info om brukerutstyret.....	8
4.4	Bidrag fra ventilasjonskjøling.....	11
4.5	Samtidighetsvurdering mellom brukerutstyr .....	11
4.6	Samtidighetsvurdering mellom rom.....	12
<b>5</b>	<b>NETTO ENERGI- OG EFFEKTBEHOV</b> .....	<b>13</b>
5.1	Plassering av romfunksjoner i soner i beregningsmodell.....	14
5.2	Beregning av netto energibehov for scenario 1 og 2 .....	14
<b>6</b>	<b>ANALYSE OG OPTIMALISERING AV KONSEPT</b> .....	<b>16</b>
6.1	Effektanalyse .....	16
6.2	Energifyt for døgn med ulik driftsmodus .....	26
6.3	Økonomisk analyse .....	28
<b>7</b>	<b>METODE OG VERKTØY</b> .....	<b>36</b>
<b>8</b>	<b>VIDERE ARBEID OG FORBEDRING AV MODELLEN</b> .....	<b>38</b>
8.1	Datainnsamling.....	38
8.2	Energi- og effektanalyse .....	38
8.3	Dimensjonering av energisentral .....	39
<b>9</b>	<b>LØSNINGENS-/TEKNOLOGIENS MARKEDSPOTENSIAL</b> .....	<b>39</b>
9.1	Beskrivelse av teknologiens nyhetsverdi.....	39
9.2	Beskrivelse av nytte/økt verdi fra innføring av løsningen/teknologien.....	39
9.3	Kort beskrivelse av markedspotensialet i Norge .....	39
9.4	Involvering av norske teknologimiljø og utdannings situasjoner .....	40
9.5	Risiko og risikodempende tiltak.....	40
<b>10</b>	<b>VEDLEGG</b> .....	<b>40</b>



## 0 FORMÅL

Energi- og kjølebehovet i Livsvitenskapsbygget påvirkes kraftig av brukerstyret. På bakgrunn av dette er det utarbeidet en egen studie som ser på brukerstyrets innvirkning på kjølebehovet i bygget. Formålet med studien er å utføre en grundig kartlegging for å danne et mer riktig grunnlag for dimensjonering av energisentralen.

Prosjektet har hatt til hensikt å undersøke ved hvilken balanse mellom varmeoverskudd og varmebehov brønnparker ikke lenger er nødvendig. Videre vil prosjektet belyse samspill mellom byggets netto varmeoverskudd og varmebehov, brønnpark og døgnlagertanker. Et viktig aspekt er å dokumentere nødvendig størrelse på lagertanker sett i forhold til byggets drift og mulig styring av bygget for å begrense effekt. Tankenes betydning for energiutnyttelsen er et annet viktig forhold som også må dokumenteres.

Prosjektet tar sikte på å utrede konseptalternativene i forhold til dette konkrete byggeprosjektet. I tillegg skal det gi underlag og metode av generell art som kan benyttes i andre prosjekter som Statsbygg og andre aktører har.

Konseptutredningen er oppdelt i analysedeler og en utviklingsdel:

- Kartlegging av effektbehov  
Det utføres en utredning av kjølebehov for utstyr og IKT, samt utredning av varmebehov til oppvarming og ventilasjonsvarme. Kartleggingen gjøres på bruk, varighet og samtidighet for å avdekke virkelig effektbehov og svingningene over døgnet.
- Analyse og optimalisering av konsept:  
Vurdere ulike størrelser på kjølemaskiner, lagertanker og brønnpark for ulike laster på varme og kjøling. Det vil bli sett på effekten av å øke utnyttelsen av lagertanker utover døgnsvingningene. Dette er for å kunne lade lagertankene når det er billig strøm tilgjengelig, noe som igjen kan få betydning for størrelse lagertanker.
- Utvikle metode og verktøy  
For videreføring til andre prosjekter vil det bli utviklet en metode og verktøy for optimalisering av drift av varmepumpe/kjølemaskiner i samspill med lagertanker. Videre vil det utvikles grunnlag for veiledning og kravspesifikasjon for Statsbygg.

## 1 BAKGRUNN

Brukerutstyr og annet teknisk utstyr påvirker energibehovet i et bygg, og for Livsvitenskapsbygget utgjør det en spesielt stor del, grunnet virksomheten og store laboratoriearealer. Utstyrets varmeavgivelse til bygget har stor påvirkning på kjølebehovet og står alene for drøyt 50 % av det totale kjølebehovet i bygget.

Etter forprosjektet for Livsvitenskapsbygget er det fremdeles store usikkerheter når det gjelder brukerstyrets påvirkning på bygget. Dette skyldes blant annet usikkerheter i type- og antall utstyr, plassering av utstyr, samtidighet og bruksmønster og utstyrets faktiske varmebidrag til bygget ved normal drift.

Kartleggingen er basert på artikkelinformasjon fra dRofus samt notater og målinger fra forprosjekt. Det er i tillegg gjort ytterligere målinger på enkeltutstyr i forbindelse med konseptstudien.

Artikkelinformasjon i dRofus er mangelfull fordi informasjon om utstyrs varmeavgivelse svært sjelden



oppgis av leverandør, hvilket tilsier at det etterspørres sjelden. Det benyttes derfor målte verdier for varmeavgivelse på utstyr hvor det er foretatt målinger. Informasjon benyttet i effektkartleggingen er basert på data fra følgende dokumenter/databaser:

- |  |            |
|--|------------|
| ○ Forutsetninger gitt i dette dokumentet                                   | 05.10.2017 |
| ○ <i>NO-RIEN-40-11-Grunnlagsdata for dimensjonering av tekniske anlegg</i> | 20.06.2017 |
| ○ dRofus   | 23.05.2017 |
| ○ <i>NO-RIEN-30-05-Brukerutstyrets påvirkning</i>                          | 12.02.2016 |
| ○ <i>NO-RIV-30-13-Dimensjonerende varme- og kjøleeffekter</i>              | 12.02.2016 |
| ○ <i>NO-RIV-30-06-Termisk energiforsyning</i>                              | 11.03.2016 |
| ○ <i>NO-RIEN-30-06-Solceller</i>   | 11.03.2016 |
| ○ <i>NO-RIEN-30-03-Netto- og levert energi</i>                             | 18.12.2015 |
| ○ <i>Andre notater fra revidert utsendelse av forprosjekt</i>              | 24.06.2016 |

En konvensjonell løsning i et slikt prosjekt er å benytte en brønnpark som energikilde og energilagring, og har vært basisløsningen for dette og de fleste lignende prosjekter. Energibrønner favoriseres også av miljøsertifiseringen BREEAM, da de baserer seg på retningslinjene fra NVE for beregning av systemvirkningsgradene. NVE godkjenner her en forbedring av virkningsgraden mha brønnpark, men ikke av overskuddsvarme. Ved en slik favorisering kan et valg av energibrønnpark gjøres til tross for at det finnes mer lønnsomme og energioptimale løsninger.

Valg av energiforsyningsløsning og kapasiteten på de ulike komponentene avhenger både av størrelsen på og balansen mellom varme- og kjølebehov over året, samt svingningene over døgnet. For å kompensere for de store døgnvariasjoner i effektbehovet, er det vurdert å benytte døgnlagertanker for kjøling og varme. Lagertankene vil gi økt energidekning med mindre varmpumpeinstallasjon. Videre vil de kunne benyttes til å kjøre anleggene når det er billig strøm tilgjengelig. Med tanke på mulig fremtidig differensiering av effekt-tariff natt/dag med installasjon av AMS-målere, vil man få en økt nytte av lagertanker. For kjøleproduksjon kan man da se for seg å senke isvannstemperaturen på natten, og lagre denne i tanker for å minimere driftskostnader.

Ved bruk av denne relativt nye teknologi med termisk lagring og effektutjevning, er det behov for å utvikle en metode for kartlegging av internlastenes bruk, varighet og samtidighet for å avdekke virkelig effektbehov og svingningene over døgnet. Denne informasjonen er kritisk og avgjørende for riktig dimensjonering av installasjoner på alle nivåer både for elektro og VVS. Dette vil gi mulighet for å redusere kapasiteter, og jevne ut effekten over døgnet mha lagringstankene. Det samme underlaget kan benyttes til lønnsom drift av installasjoner i samspill med energisentral.

## 2 OPPSUMMERING

Gjennom denne konseptstudien har vi systematisert informasjon om varmeavgivelsen fra teknisk utstyr og variasjoner i kjølebehov. Dette gir grunnlag for å danne et mer realistisk bilde av nødvendige størrelser på tekniske installasjoner og samspillet mellom disse. Modellen visualiserer samtidigheten mellom varme- og kjølebehov og utnytter dette sammen med energilagring for å redusere effektopper og behov for levert energi.

Gjennom LCC-beregninger er størrelser på tekniske installasjoner optimalisert. Tabell 2-1 viser beregnede størrelser på sentrale komponenter i energisentralen fra konseptstudien, sammenlignet med verdier fra forprosjektet.



	Verdi fra forprosjektrapport	Resultat av konseptstudie
Kjølemaskiner høytemperatur [kW]	1 540	1 550
Kjølemaskiner lavtemperatur [kW]	510	270
Tørrkjølere [kW]	2 660	2 360
Størrelse kuldager [kWh]	8 100	7 650
Størrelse varmelager [kWh]	9 000	2 700
Effekt fjernvarme [kW]	1 310	1 315
Installasjonskostnad [Mkr]	25,0	17,5

Tabell 2-1: Størrelser på tekniske installasjoner fra konseptstudien sammenlignet med forprosjekt

Konseptstudien har bidratt til en betydelig reduksjon i størrelse på lagertanker og en reduksjon i estimerte installasjonskostnader på ca. 7,5Mkr.

Sammenlignet med en konvensjonell sentral med fjernvarme og kjølemaskin med tørrkjølere blir de årlige energikostnadene mer enn halvert med den aktuelle energisentralen. Kostnadene reduseres fra 5,35 til 2,6 MKR. Kostnadene kan ytterligere reduseres ved optimalisert drift mhp balansering av uttak av lager og pådrag på effekt fra fjernvarme.

Verktøyet som er utviklet for å simulere drift av energisentralen kan overføres til andre prosjekter ettersom den tar utgangspunkt i timesverdier fra dynamiske energisimuleringer. Verktøyet gjør at vi får et bedre bilde over hvordan energisentralen driftes ved ulike lastscenarier og hvordan samspillet mellom produksjon og lagring fungerer. Den visualiserer også utnyttelsen av varme- og kuldager i lagertanker gjennom året og hvordan disse bidrar til reduserte størrelser på tekniske installasjoner.

### 3 SØKER

Statsbygg er en statlig forvaltningsbedrift under Kommunal- og moderniseringsdepartementet. Statsbygg iverksetter og gjennomfører Stortingets vedtatte politikk innen statlig bygge- og eiendomssektor og har som hovedoppgave å tilby kostnadseffektive og funksjonelle lokaler til statlige virksomheter. Nøkkeltall for statsbygg per 2016:

- Brutto forvaltningsareal: 2,8 mill. kvm.
- Verdi: 42,2 mrd.kr.
- Husleieinntekter: 4,3 mrd.kr
- Investeringer bygg: 5,4 mrd.kr
- Ferdigstilte byggeprosjekter: 18
- Ansatte: 929

Statsbyggs visjon er å være "Best på bygg med mening" og bedriften fokuserer på å gi kunden gode og fleksible lokaler, bidra med effektiv arealbruk i staten, ta klimaansvar og forme morgendagens bygge- og eiendomsnæring.

### 4 KARTLEGGING AV EFFEKTBEHOV

Brukerutstyr har stor påvirkning på byggets kjølebehov. For å vurdere nødvendig kjøleeffekt fra energisentralen som følge av brukerstyrets varmeavgivelse er det en rekke faktorer som må studeres nærmere. Total varmeavgivelse fra brukerstyr er avhengig av driftstider, bruksmønster, samtidighetsvurderinger på ulike nivå, med mer.



Studier utført i forprosjekt viste at det kan være store avvik mellom teoretisk varmeavgivelse og faktisk varmeavgivelse fra utstyr. Desto flere utstyrstyper det brukes reelle, målte verdier på, desto nærmere kommer vi til et realistisk bilde av byggets faktiske kjølebehov.

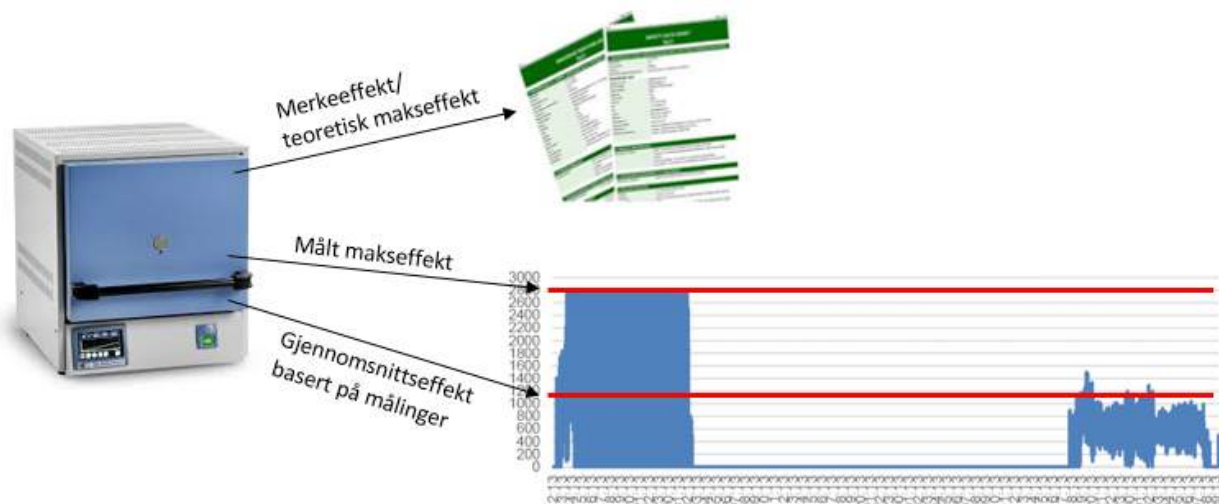
Det er viktig å skille mellom kjølebehov på romnivå og nødvendig installert kjøleeffekt på energisentralnivå. På romnivå dimensjoneres kjølebehovet for å dekke maksimal belastning per rom. Nødvendig kjøleeffekt fra energisentralen vil imidlertid ikke være lik summen av maksimal belastning per rom. I et bygg som Livsvitenskapsbygget med svært varierende driftsmønster og belastning er det lite sannsynlig at samtlige rom har 100 % belastning samtidig. Overdimensjonering av energisentralen er ikke bare ugunstig med tanke på økte investeringskostnader som følge av større installasjoner, men en oppnår også dårligere driftsforhold og reduserte virkningsgrader. Ut fra foreløpige møbleringsplaner i Livsvitenskapsbygget er det plass til betydelig flere personer enn antall personer bygget er planlagt for. Det må bety at enkelte rom er avhengig av hverandre, dvs. en gruppe studenter kan enten være i for eksempel et auditorium eller på en lab og ikke begge steder samtidig. I tillegg til avhengighet mellom rom kan det være avhengighet mellom ulikt utstyr, dvs. en person kan ikke nødvendigvis bruke flere typer utstyr samtidig. En annen viktig faktor som vil påvirke behovet for installert kjøleeffekt er hva slags driftsmodus de ulike utstyrene normalt driftes i.

#### 4.1 Sentrale begreper

##### Merkeeffekt, makseffekt og gjennomsnittlig effektavgivelse.

Merkeeffekt er ofte oppgitt på databladet til et utstyr. Merkeeffekten er den maksimale teoretiske effekten, eller den maksimale varmeavgivelsen fra utstyret. Merkeeffekten skal dermed i teorien være lik makseffekt, men det er ikke nødvendigvis tilfellet. Målinger viser at makseffekten til et utstyr ofte kan være lavere enn merkeeffekten. Når det er snakk om dimensjonering av energisentralen er vi interessert i å vite en gjennomsnittlig varmeavgivelse totalt sett fra utstyret til bygget ved normal drift, da det i virkeligheten er lite sannsynlig at det inntreffer at alt utstyr i bygget er i bruk til enhver tid.

Prinsippene er illustrert i figuren under for et brukerutstyr.



Figur 4-1: Begreper effekt/varmeavgivelse - eksempel muffelovn

##### Samtidighet

For å dimensjonere energisentralen mest mulig riktig, må vi vurdere samtidig bruk av bygget og dets funksjoner. Samtidighet kan vurderes på ulike nivå i et bygg og evalueres fra 0 til 100 %. 100 %

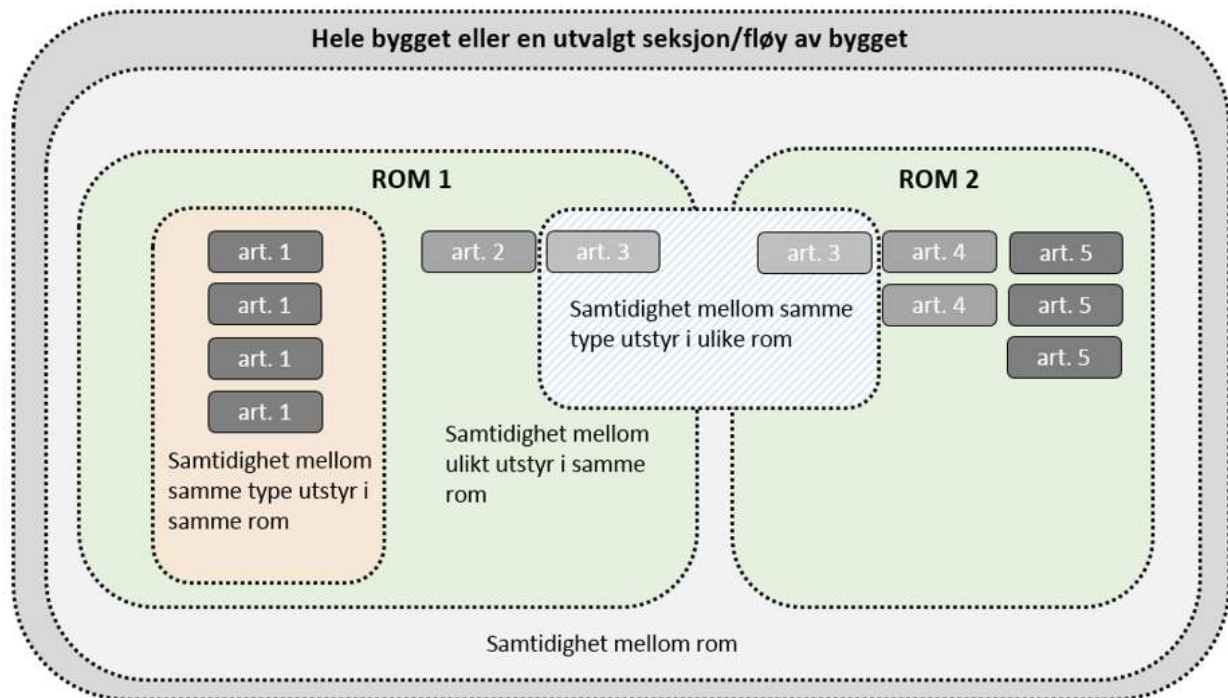
samtidighet vil si at alt er i bruk samtidig, altså at maks varmebelastning til bygget fra tekniske installasjoner er lik summen av maks belastning per enhet. Det er svært lite sannsynlig at en slik maks situasjon noensinne vil oppstå.

Eksempler på samtidighetsbetraktninger som er relevant for å vurdere faktisk varmeavgivelse til bygget ved en normal driftssituasjon inkluderer blant annet

- Samtidig bruk av utstyr
- Samtidig bruk av rom
- Samtidig bruk av funksjoner

Overdimensjonering av varme eller kjøling på romnivå betyr at det finnes kapasitet som gir mulighet for ulik belastning og bruk av rommet. Evt overkapasitet på det enkelte rom har lite å si for reguleringen dersom det er ivarettatt i aktuatoren og reguleringsenheten til det som skal reguleres og det medfører at en er mindre sårbar på turtemperatur når det går på dellast. Overdimensjonering på sentrale komponenter vil i midlertid bli mer og mer kostbart jo flere enkeltrom som har overkapasitet. Det vil også føre til dårlig regulering og høyt energibruk. Dette kan føre til valg av lite optimale løsninger. Det kan også føre til at investeringer som egentlig er lønnsomme vurderes som ulønnsomme og derfor velges bort.

Innsikt i type lokaler og bruksmønster i bygg er derfor svært viktig når en skal gjøre en vurdering av det faktiske samlede effektbehovet ved normal drift. Figuren under illustrerer samtidighetsvurdering på ulike nivå.



Figur 4-2: Samtidighetsbetraktninger

## 4.2 Måling av brukerutstyrets varmeavgivelse

I forprosjektet ble det satt i gang en kartleggingsprosess av brukerutstyret i bygget. Formålet med kartleggingen var å danne grunnlag for realistiske inneklimasimuleringer, energiberegninger, dimensjonering av energisentral, samt dimensjonering av kjølebehov i rom. Studien tok for seg



forutsetninger for de parametere som påvirker det totale effektbehovet til varme og kjøling, samtidighetsvurderinger, tilluftstemperaturer på ventilasjon, valg av dimensjonerende klima, utstyr og annen teknisk kjøling. Det resulterende effektbehovet til varme og kjøling ble benyttet videre som grunnlag for teknisk løsning og prinsipiell dimensjonering av den termiske energisentralen. For beskrivelser og resultater fra forprosjektstudier, se notater listet under kapittel 1.

Kartleggingsprosessen fra forprosjektet viste at det var store forskjeller på teoretiske og målte verdier og det var fremdeles store usikkerheter rundt brukerstyrets totale påvirkning på byggets kjølebehov. På bakgrunn av dette ble det bestemt å utvide kartleggingsprosessen som en del av konseptstudien. Kartleggingen er en utdypning av funn og usikkerheter som er beskrevet i notatene fra forprosjektet. Det utstyr som ble valgt til å gjøre målinger på i konseptstudien er utstyr med varmeavgivelse, og som påvirker romklimatiseringen og trenger lokalkjøling; deriblant utstyr med stor effekt, mindre effekt men stort antall, samt brukerstyr med lang driftstid. Utvalget av brukerstyr som kartlegges i konseptstudien ble gjort fra dRofus 11.09.2016 og er listet under:

- Ovner: høytemperatur, rørovner og muffelovner
- Analysatorer: MS-Orbitrap, MS-QQQ, LC samt vakuumpumper
- CO<sub>2</sub>-inkubator og risteinkubator
- Konfokalmikroskop

Analyse og resultater fra målingene er beskrevet i eget notat fra konseptstudien:

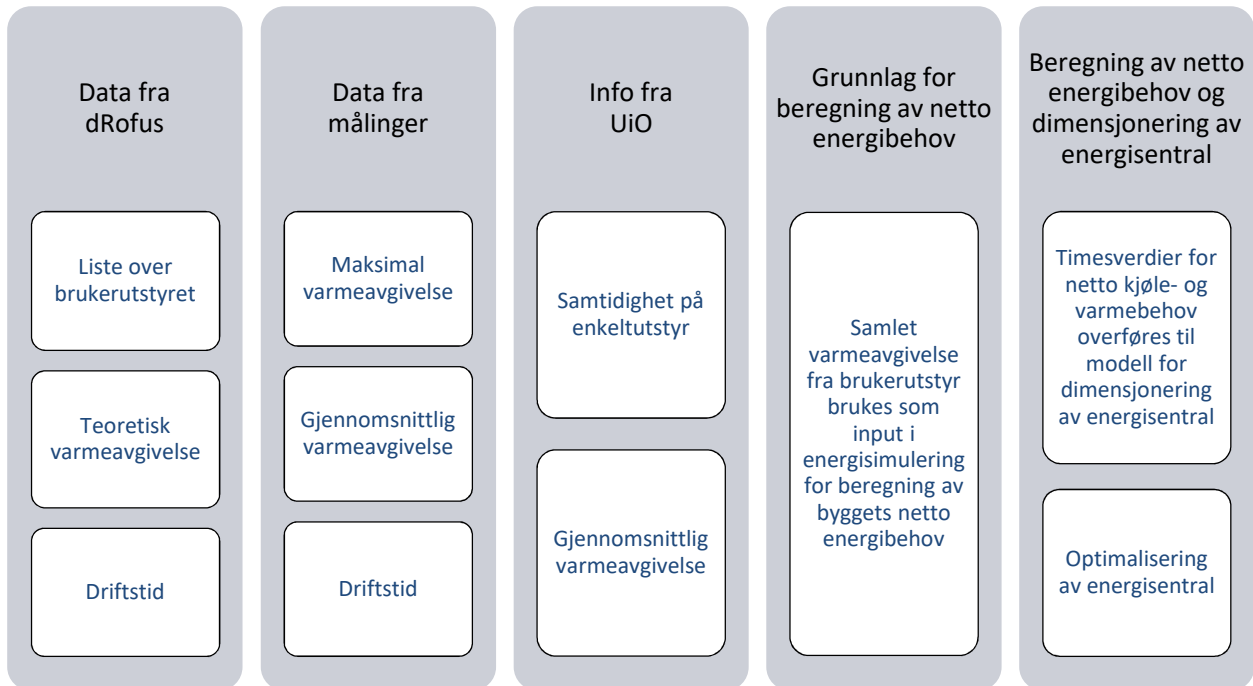
- *NO-RIEn-40-11-Grunnlagsdata for dimensjonering av tekniske anlegg* dato: 20.06.2017

Målingene viste at merkeeffekten er mellom 20 – 140 % høyere enn den gjennomsnittlige driftseffekten. Forskjellen mellom merkeeffekt og driftseffekt er størst for ovner og inkubatorer, og minst for analysatorer.

### 4.3 Info om brukerstyret

For å få et bilde av brukerstyrets totale varmebidrag til bygget må det innhentes informasjon om brukerstyret på flere nivå. Ved å slå opp i dRofus får vi en oversikt over hvilket utstyr som skal være i bygget. For hvert utstyr kan man hente ut tekniske spesifikasjoner som størrelser, effekter, driftstid etc. Tekniske spesifikasjoner fra dRofus er per dags dato i hovedsak teoretiske verdier. Dvs. varmeeffekt fra brukerstyret som er oppgitt i dRofus er ikke nødvendigvis lik den varmeeffekten utstyret faktisk avgir til bygget. De teoretiske verdiene er ofte et teoretisk maksimum som i virkeligheten kan hende at aldri inntreffer. Figuren under viser prinsipielt hvordan informasjon om brukerstyret er innhentet og hva slags type informasjon som er innhentet på de forskjellige nivåene. Maksverdier kan benyttes som grunnlag for dimensjonering på romnivå. Tradisjonelt sett er det denne verdien som etterstrebes angitt på utstyr.





Figur 4-3: Prosess datainnsamling

### dRofus

En liste over alt brukerutstyr registrert i dRofus per 23.05.2017 ble hentet ut. Totalt 6500 artikler var registrert med en teoretisk effekt. Hver artikkel var også merket med en tilhørende romfunksjon. På noe av utstyret var det oppgitt en driftstid i form av timer per døgn.

Informasjon om brukerutstyr i dRofus var per 23.05.2017 mangelfull. Dette fordi det svært sjelden oppgis informasjon om utstyrets varmeavgivelse fra leverandør. For noe utstyr var det oppgitt en teoretisk varmeavgivelse, men stort sett var det kun oppgitt en merkeeffekt eller en teoretisk makseffekt. Som nevnt tidligere viste målinger at de teoretiske verdiene som oftest er betydelig høyere enn målte verdier. Driftstider er et annet usikkerhetsmoment da mye utstyr har svært varierende bruk og ulike prosesser.

### Målinger

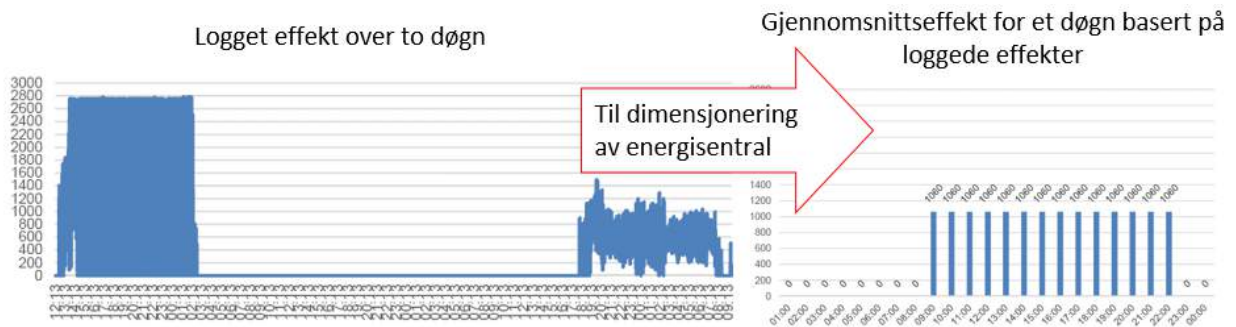
For dimensjonering av energisentralen er det ønskelig å benytte mest mulig reelle verdier for brukerutstyrets varmeavgivelse. På utstyr hvor det er utført målinger, enten i forprosjektet eller som del av konseptstudien, benyttes målte verdier istedenfor teoretiske verdier fra dRofus. Jo flere teoretiske verdier vi kan erstatte med målte verdier, jo mer realistisk bilde får vi.

I tillegg til spesifikt utstyr det er utført målinger på, erstattes teoretiske verdier også på annet utstyr det ikke er målt på men som er forventet å ha tilsvarende varmeavgivelse og driftstid som lignende utstyr hvor det foreligger måleresultater.

Som beskrevet tidligere er det i konseptstudien fokus på dimensjonering av energisentralen, ikke dimensjonering på romnivå og det benyttes derfor gjennomsnittlige verdier for varmeavgivelse for å få et mest mulig reelt bilde totalt sett. Figuren under viser et eksempel på resultater fra logging på et brukerutstyr. Loggingen foregikk over to døgn og utstyret ble satt til å kjøre to ulike prosesser. Til høyre i figuren er det vist en gjennomsnittlig effektavgivelse per døgn for de to prosessene. Den gjennomsnittlige effekten er betydelig lavere enn den maksimale effekten som inntreffer i løpet av måleperioden. For dimensjonering av nødvendig kjøleeffekt på romnivå er det den maksimale verdien



som er interessant (sett bort i fra en eventuell høy, kort oppstartseffekt), mens det for dimensjonering av energisentralen er den gjennomsnittlige verdien som benyttes.



Figur 4-4: Eksempel på effektavgivelse fra brukerutstyr for dimensjonering av energisentral

Etter kartleggingsprosessen med målinger er omtrent 70 % av total effektavgivelse enten målte verdier på det spesifikke utstyret eller basert på målte verdier fra et tilsvarende utstyr. De resterende 30 % utgjør i hovedsak mindre komponenter med relativt lav varmeavgivelse da det er det mest effektkrevende utstyret som er valgt å utføre målinger på.

Resultatet av kartleggingsprosessen gjort i forprosjekt og konseptstudie gir så langt en betydelig reduksjon i effektbehovet sett fra energisentralen. Fremdeles er det ikke sett på samtidig bruk av utstyr eller rom eller variasjoner i bruk, kun reduksjoner som følge av måleresultater.

#### Informasjon fra byggets brukere

Ettersom brukerutstyret utgjør en betydelig del av byggets kjølebehov er det spesielt viktig å involvere personer som kjenner til bygget og dets funksjoner og som faktisk skal bruke utstyret. Store deler av kjølebehovet til bygget skyldes menneskelige aktiviteter og bruksmønstre, og ikke eksterne forhold som vær og vind. Gjennom samtaler med ansatte ved UiO er det innhentet informasjon om sannsynlig bruksmønstre for ulike brukerutstyr. Selv for dem som arbeider i bygget er det vanskelig å oppgi noe "generelt" bruksmønstre for både utstyr og rom da dette kan være svært varierende. Stort sett er svaret vi får at det kan regnes med lite eller ingen samtidighet på utstyrsnivå da alt utstyr skal være tilgjengelig til bruk ved forskning til enhver tid. Det bør heller ikke legges opp til en mulig effektforskryvning i tid da det vil kunne påvirke forskningen dersom det blir avhengighet mellom bruk av utstyr. De bekrefter imidlertid at det er svært usannsynlig at alt utstyr går på maks effekt til enhver tid, og at en maksimalsituasjon for et utstyr normalt kun skjer ved oppstart av en prosess. Dette er hensyntatt ved at det benyttes gjennomsnittlig varmeavgivelse fra målinger som vist i Figur 4-4.

Et utdrag fra møte med UiO viser problemstillinger som ble diskutert.

Spørsmål	Svar
Er det sannsynlig at varmeavgivelsen til effektkrevende utstyr i de utvalgte laboratoriene er lavere enn oppgitt av utstyrsleverandører?	Typiske pådragsmønstre er at rom med flere enheter i snitt vil ha pådrag tilsvarende 1/3 av nominell effekt, mens maks pådrag i snitt for rommet kan være 2/3 av nominell effekt.
Er det mindre bruk i sommermånedene med medfølgende lavere varmeavgivelse fra utstyret?	Om sommeren kan det regnes med 50 % reduksjon. Dvs. at rom med flere enheter i snitt vil ha pådrag tilsvarende 1/6 av nominell effekt, mens maks pådrag i snitt for rommet kan være 1/3 av nominell effekt.



Kan det legges opp til effektforskyvning av laster i tid med tanke på brukerutstyr?	Det kan ikke legges opp til effektforskyvning av laster da alt utstyr skal kunne brukes til enhver tid for å hindre treghet i forskningsprosjekter.
I rom hvor det er mye effektkrevende utstyr, inntreffer det at alt er i bruk samtidig og går utstyret normalt sett med 100 % pådrag?	Det inntreffer ofte at alt utstyr er i bruk samtidig, men det inntreffer nesten aldri at alt utstyr går med 100 % pådrag.
Vil utstyr med 24h-drift ha varierende driftsmønster ila et døgn?	Utstyr med 24h-drift har sjeldent fullt pådrag.
Vil utstyr med variabel drift ha varierende driftsmønster ila driftstimene?	Utstyr som har variabel drift, for eksempel ovner, har typisk stort startpådrag, deretter moderat men økende pådrag, så konstant men ikke fullt pådrag, og deretter avtagende til null.
Er det avhengighet mellom rom, dvs. er det noen rom som ikke er i bruk når andre er i bruk?	Det er ingen generell avhengighet mellom rom.

### Annet teknisk utstyr – IKT- og VVS-teknisk utstyr og fjernfrysere

I tillegg til byggets brukerutstyr er det en del annet effektkrevende utstyr som skal inn i bygget som vil medføre et lokalt kjølebehov. IKT- og VVS-teknisk utstyr og fjernfrysere er sett på som en separat varmeavgivende post fra brukerutstyret. Dette fordi installasjonene som omfattes av denne type utstyr ofte er plassert i mindre rom med konstant kjølebehov og er således ikke brukeravhengige på samme måte som brukerutstyret.

#### 4.4 Bidrag fra ventilasjonskjøling

De 6500 artiklene som er varmeavgivende utstyr var registrert med tilhørende romfunksjoner. Utstyr ble "plassert" inn i romfunksjonene slik at varmeavgivelsen per time ble summert per romfunksjon. Etter en gjennomgang med RIV ble rom som ikke har lokalt kjølebehov fjernet fra oversikten og det gjensto ca. 200 romfunksjoner med et lokalt kjølebehov.

For de 200 romfunksjonene med det tilhørende brukerutstyret ble det kontrollert om ventilasjonsluften var av betydning for fjerning av overskuddsvarme fra brukerstyret. Programmerte luftmengder og tilluftstemperaturer for de ulike romfunksjonene, samt internlaste fra personer og belysning ble lagt til for å kalkulere eventuelle kjølebidrag fra ventilasjonsluften. Konklusjonen var at ventilasjonsluften ga minimalt eller ingen bidrag til fjerning av overskuddsvarme fra brukerstyret og dekket kun personbelastning og andre internlaste utenom brukerstyret. For beregning av det lokale kjølebehovet som følge av brukerstyrets varmeavgivelse ble det derfor sett bort fra eventuelle bidrag fra ventilasjonsluften.

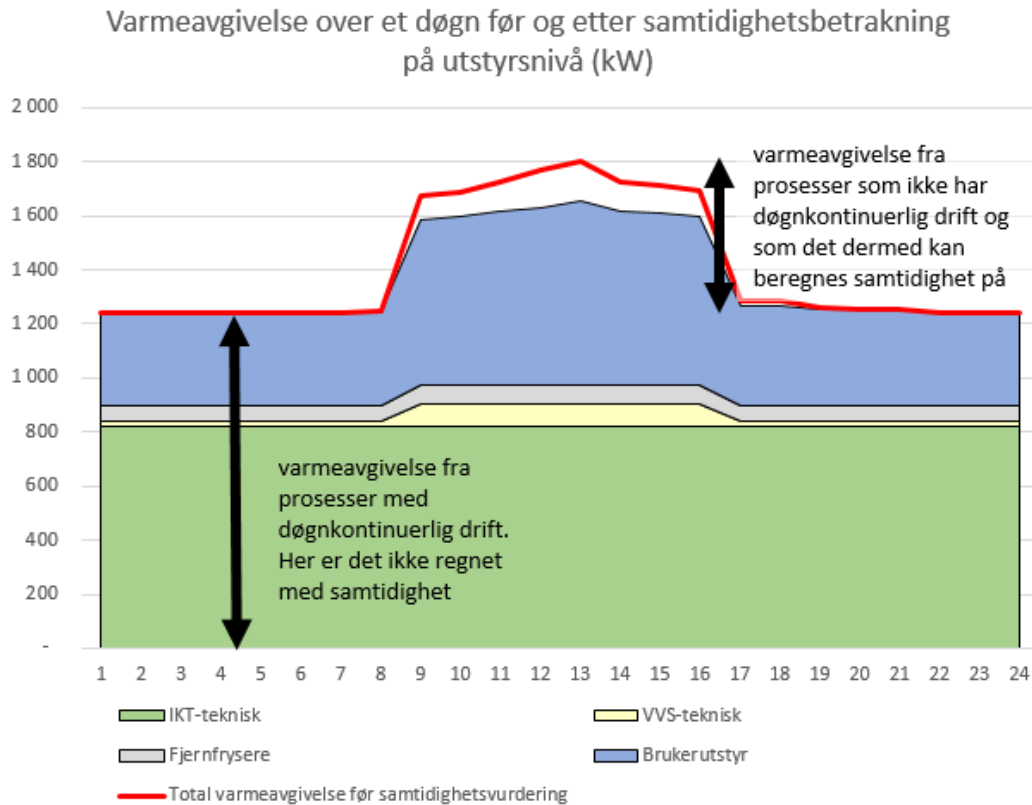
#### 4.5 Samtidighetsvurdering mellom brukerutstyr

Selv om det for brukere av bygget er vanskelig å oppgi noe tall for samtidig bruk av utstyret på de ulike laboratorier er det sannsynlig at det vil være noe samtidighet mellom utstyr når vi ser på laboratoriene totalt sett i bygget. Det ble i forprosjektet gjort en vurdering av samtidighet på utstyrsnivå, se vedlegg 1 og 2 i notat 1004501 *UiO Livsvitenskapsbygget Brukerutstyrets påvirkning*. Samtidighetsvurderinger fra studien benyttes videre i konseptstudien for å danne et mer realistisk bilde av forventet varmeavgivelse til bygget.

Varmeavgivelse fra IKT- og VVS-teknisk utstyr og fjernfrysere behandles separat og vil ligge inne som døgnkontinuerlige laster med liten variasjon etter opplysninger fra RIE og RIV. Figuren under viser varmeavgivelse fra brukerstyret, IKT- og VVS-teknisk utstyr samt fjernfrysere over et døgn. Brukerutstyrets varmeavgivelse består i hovedsak av de målte gjennomsnittlige verdiene som beskrevet



tidligere. Etter samtidighetsvurdering på utstyrsnivå iht. rapporten fra forprosjektet er maksimal varmeavgivelse redusert med nesten 200 kW.



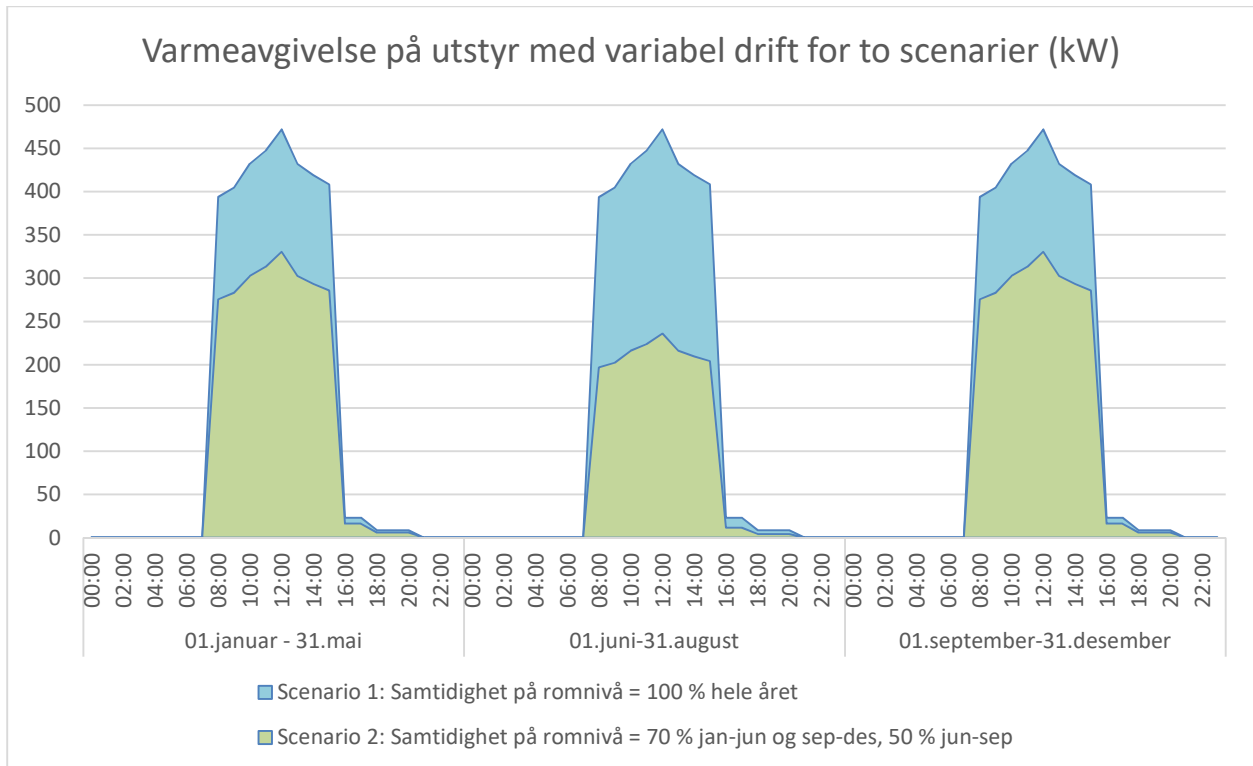
Figur 4-5: Varmeavgivelse teknisk utstyr

IKT utgjør en stor andel av varmeavgivelsen og har liten variasjon over døgnet. Halvparten av IKT-lasten skyldes en serversentral og vil derfor ikke være spredt utover bygget. RIE har opplyst om IKT-utstyret at reduserte laster på nattetid ikke understøttes av erfaringer eller målinger som er utført. Det vil derfor ligge inne en relativt kontinuerlig last på IKT-teknisk utstyr ut fra de opplysningene som foreligger. Ved gjennomføring av prosjektet anbefales det i et tidlig stadium å analysere mulige effektreduksjoner på IKT-utstyr.

#### 4.6 Samtidighetsvurdering mellom rom

Det er stor sannsynlighet for at det i virkeligheten vil være en del samtidighet mellom ulike deler av bygget. I tillegg er det sannsynlig at det vil være sesongvariasjoner og UiO anslo at det i sommermånedene kan regnes med 50 % samtidighet normalt sett for utstyret som har varierende bruk. For beregning av byggets netto energibehov er det sett på to scenarier når det gjelder brukerstyrets belastning totalt på bygget. Begge scenariene tar utgangspunkt i foreløpig beregnet varmeavgivelse fra brukerstyr inkludert samtidighetsvurdering på utstyrsnivå som presentert i avsnittet over, og det gjøres ikke samtidighetsvurdering på utstyr med døgnkontinuerlig drift.

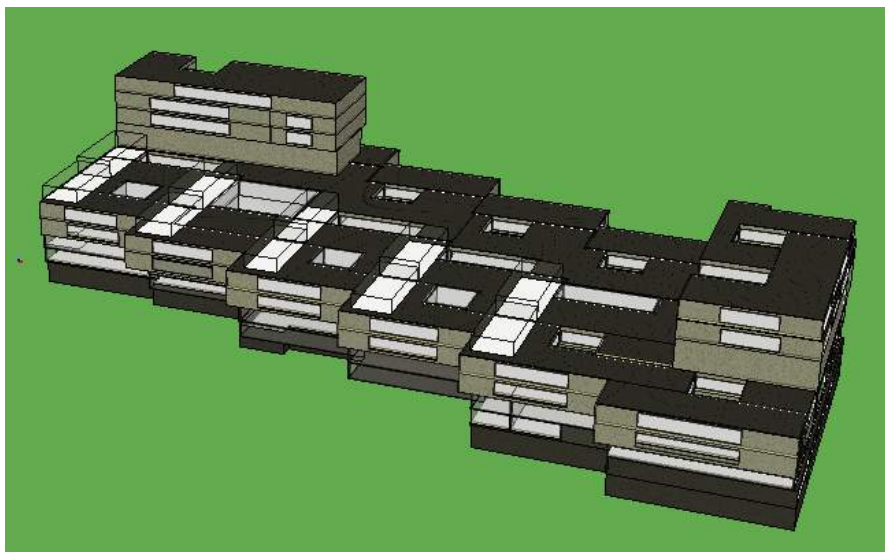
Scenario 1 er som vist i Figur 4-5, med samtidighetsvurdering på utstyrsnivå. I scenario 1 er det ikke lagt beregnet ytterligere samtidighet mellom rom. I scenario 2 er det benyttet 50 % samtidighet mellom rom med varmebelastning fra teknisk utstyr uten døgnkontinuerlig drift i sommermånedene og 70 % resten av året. Romprofilene for brukerstyr med variabel drift for scenario 1 og 2 (vist i Figur 4-6) legges til grunn som input sammen med de døgnkontinuerlige lastene for beregning av byggets netto energibehov.



**Figur 4-6: Varmeavgivelse for brukerutstyr med variabel drift for scenario 1 og 2**

## 5 NETTO ENERGI- OG EFFEKTBEHOV

Livsvitenskapsbygget ble i forprosjektet modellert i det dynamiske simuleringsprogrammet IDA ICE. Modellen består av 55 beregningssoner, hvorav 14 av de 55 sonene skal ha lokal kjøling. I virkeligheten består bygget av langt flere rom. I modellen er det vektlagt å skille ut de arealer som har et betydelig soltilskudd fra de som ikke har det. Videre er de arealer som betjenes av ulike typer tekniske anlegg forsøkt skilt ut der forskjellen på anleggene antas å ha stor innvirkning på energibehovet. Ulike funksjoner er også forsøkt skilt ut i egne soner så langt det har vært hensiktsmessig uten at antall soner blir så høyt at simuleringstiden blir uhenktsmessig lang.



**Figur 5-1: Skjerm bilde av simuleringsmodell fra IDE ICE**





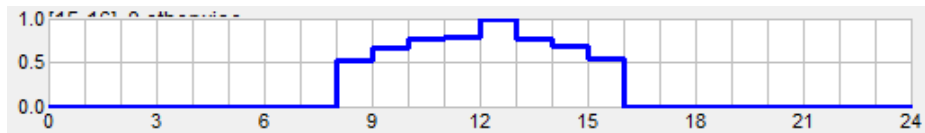
## 5.1 Plassering av romfunksjoner i soner i beregningsmodell

I kartleggingsprosessen kom vi frem til at ca. 200 romfunksjoner har et lokalt kjølebehov, mens beregningsmodellen kun har 14 soner med lokalt kjølebehov. Varmeavgivelsen fra brukerutstyr fra de 200 romfunksjonene integreres i modellen ved at det legges inn i de 14 sonene i beregningsmodellen, enten som en døgkontinuerlig last eller som en variabel last. Dette er en tilnærming for å sørge for at alt brukerutstyret totalt sett inngår i bygget selv om de ikke nødvendigvis får riktig plassering. Den faktiske plasseringen av brukerutstyret er heller ikke endelig på nåværende tidspunkt.

Brukerutstyrets varmeavgivelse legges inn i beregningsmodellen som internlaster i de 14 sonene med tilhørende driftsprofiler for det variable utstyret i scenario 1 og 2. Døgkontinuerlig utstyr har samme profil i scenario 1 og 2. Brukerutstyrets varmeavgivelse vil påvirke byggets varme- og kjølebehov. Kjølebehovet øker som følge av økt varmeavgivelse fra brukerutstyret, mens varmebehovet kan øke som følge av redusert varmeavgivelse fra brukerutstyr da brukerutstyret bidrar med "gratis" varme til bygget. Dette er også årsaken til at brukerutstyret integreres i beregningsmodellen for beregning av netto energibehov mens IKT-teknisk, VVS-teknisk og fjernfrysere holdes utenom fordi denne type utstyr vil i virkeligheten være plassert i egne rom. Ved å plassere denne typen utstyr i en stor beregningszone vil varmeavgivelsen "smøres" utover en større brukssone mens det i virkeligheten skal være konsentrert til et mindre teknisk rom og varmen skal fjernes direkte fra det rommet.

## 5.2 Beregning av netto energibehov for scenario 1 og 2

Døgnprofilene med døgkontinuerlig drift og variabel drift legges inn i energimodellen for hhv scenario 1 (100 % samtidighet på romnivå) og scenario 2 (reduisert samtidighet på romnivå). Figuren under viser et eksempel på en døgnprofil med varierende belastning. Belastningen varierer mellom 0 og 100 %.



Figur 5-2: Eksempel på døgnprofil med varierende varmeavgivelse

Hver av de 14 sonene har nå en døgkontinuerlig last og en varierende last som vil påvirke byggets netto energibehov. Øvrige forutsetninger i modellen er uendret fra forprosjektet og er beskrevet i detalj i notater fra forprosjekt.

Simuleringene gjøres på årsbasis med klimadata for Oslo. Beregnet netto energibehov for Livsvitenskapsbygget for de to scenariene vises i Tabell 5-1

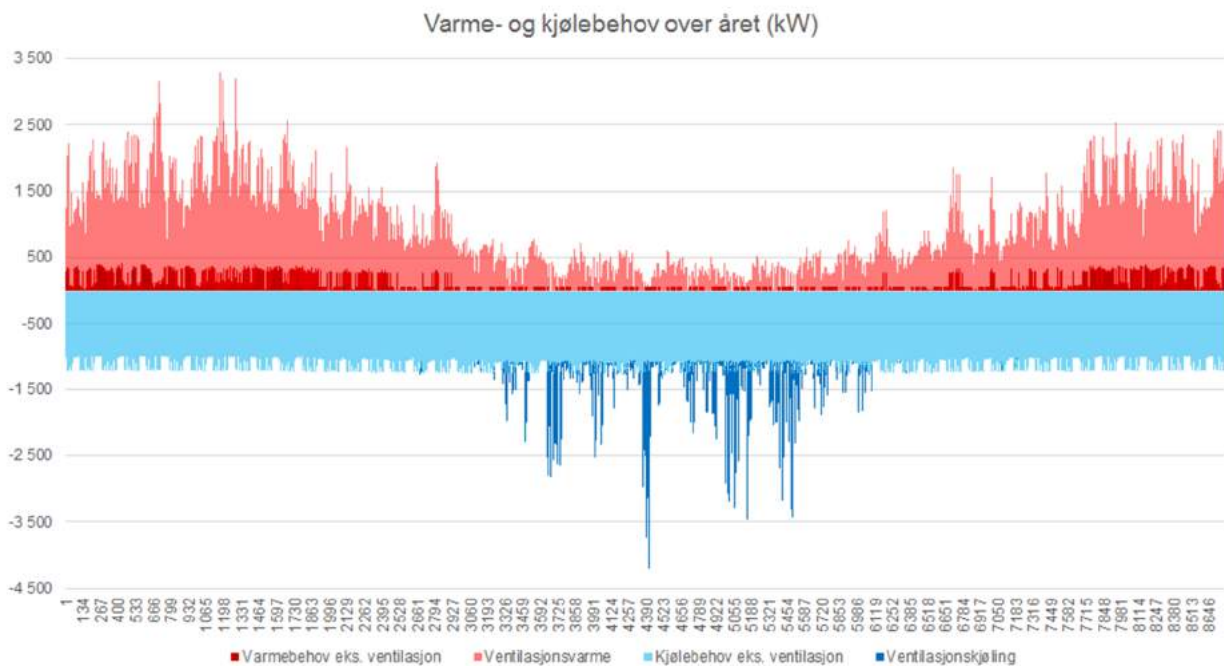


Energibehov	Scenario 1		Scenario 2		Differanse scenario 1 - scenario 2	
	[kWh/år]	[kWh/m <sup>2</sup> år]	[kWh/år]	[kWh/m <sup>2</sup> år]	[kWh/år]	[kWh/m <sup>2</sup> år]
Post						
Romoppvarming	137 565	2.1	146 079	2.2	- 8 514	- 0.1
Ventilasjonsvarme	6 370 708	98.0	6 337 867	97.5	32 841	0.5
Varmtvann	329 158	5.1	329 158	5.1	-	-
Vifter	2 257 801	34.7	2 171 070	33.4	86 731	1.3
Pumper	325 000	5.0	325 000	5.0	-	-
Belysning	989 071	15.2	989 045	15.2	26	0.0
Teknisk utstyr	5 822 079	89.6	5 446 997	83.8	375 082	5.8
Romkjøling	1 874 805	28.8	1 726 461	26.6	148 344	2.3
Ventilasjonskjøling	622 897	9.6	584 558	9.0	38 339	0.6
<b>Totalt netto energibehov</b>	<b>18 729 084</b>	<b>288.1</b>	<b>18 056 235</b>	<b>277.8</b>	<b>672 849</b>	<b>10.4</b>

Tabell 5-1: Netto energibehov scenario 1 og 2

Som forventet er totalt netto energibehov lavere i scenario 2 enn scenario 1 ettersom byggets kjølebehov er redusert som følge av mindre varmeavgivelse fra teknisk utstyr. Byggets behov for romkjøling er langt høyere enn byggets romoppvarmingsbehov på grunn av de høye internlastene og på grunn av et tett og godt isolert bygg. Romoppvarmingsbehovet øker i scenario 2 fordi vi har mindre varmeavgivelse fra teknisk utstyr ved redusert samtidighet. Totalt sett reduseres energibehovet med ca. 673 000 kWh/år, tilsvarende 10,4 kWh/m<sup>2</sup>år ved at det regnes med samtidighet mellom romfunksjoner som beskrevet over.

Timesverdier fra scenario 1 for byggets netto varme- og kjølebehov transporteres til excel for videre analyse av energisentralen. Kjøleeffektbehov til IKT- og VVS-teknisk utstyr og fjernfrysere legges til i excelmodellen. Figur 5-3 viser byggets netto energibehov fordelt på ventilasjonsvarme, ventilasjonskjøling og øvrig varme- og kjølebehov.



Figur 5-3: Netto varme- og kjølebehov



På varm side er det ventilasjonsvarmen som er dominerende mens romoppvarmingen utgjør en liten del i forhold til totalt varmebehov. Maks effektbehov for oppvarming totalt er på 3 300 kW og inntreffer i slutten av februar. På kald side ligger det en relativt jevn last som skal dekke kjølebehovet til det tekniske utstyret. Ventilasjonkjølingen har svært høye effekttopper om sommeren når det er varmt ute. Maks effekt kjøling er på 4 200 kW og inntreffer i starten av juli. Netto energibehov er beregnet på timesbasis med temperaturdata for Oslo. Ved dimensjonering av energisentraler er det normalt å bruke dimensjonerende utetemperaturer for sommer og vinter som basis og ikke maks- og minimumstemperaturer som inntreffer i løpet av et år. I energisimuleringen er makseffekt for kjøling beregnet ut fra en høyere utetemperatur enn hva det er normalt å dimensjonere ut fra. Tekniske anlegg dimensjoneres ikke for å dekke et fåtall timer over dimensjonerende utetemperatur da det fører til for store anlegg som er vanskelig å regulere.

Dimensjonerende utetemperatur (DUT) er høyeste (sommertemperatur) og laveste (vintertemperatur) middeltemperatur over tre døgn for en gitt periode. Oftest benyttes siste normalperiode for de 30 siste år. Dimensjonerende utetemperaturer for Oslo er:

- DUTsommer + 26 °C
- DUTvinter – 20 °C

I timen hvor maks varmebehov inntreffer er gjennomsnittlig utetemperatur for timen -22,2 °C, altså 2,2 °C lavere enn hva som er normalt å dimensjonere varmebehovet ut fra. I timen hvor maks kjølebehov inntreffer er gjennomsnittlig utetemperatur +29,8 °C i timen, 3,8 °C høyere enn hva som er vanlig å dimensjonere for. For dimensjonering av energisentralen hentes det ut timesverdier for typiske døgn hvor dimensjonerende uteforhold inntreffer. Mer om dimensjonerende effektbehov og dimensjonering av tekniske installasjoner beskrives nærmere i senere kapitler. De maksimale effektene som inntreffer utenom dimensjonerende forhold er vist i tabellen under. Gjennomsnittlig effekt for døgnet hvor maksimal effekt inntreffer er også vist. Det påpekes at verdiene i tabellen ikke er dimensjonerende effekter sett fra energisentralen. DUT brukes for dimensjonering av varme- og kjøleanlegg mhp komfort. Kritisk utstyr er tilknyttet lavtemperaturkurs med back-up.

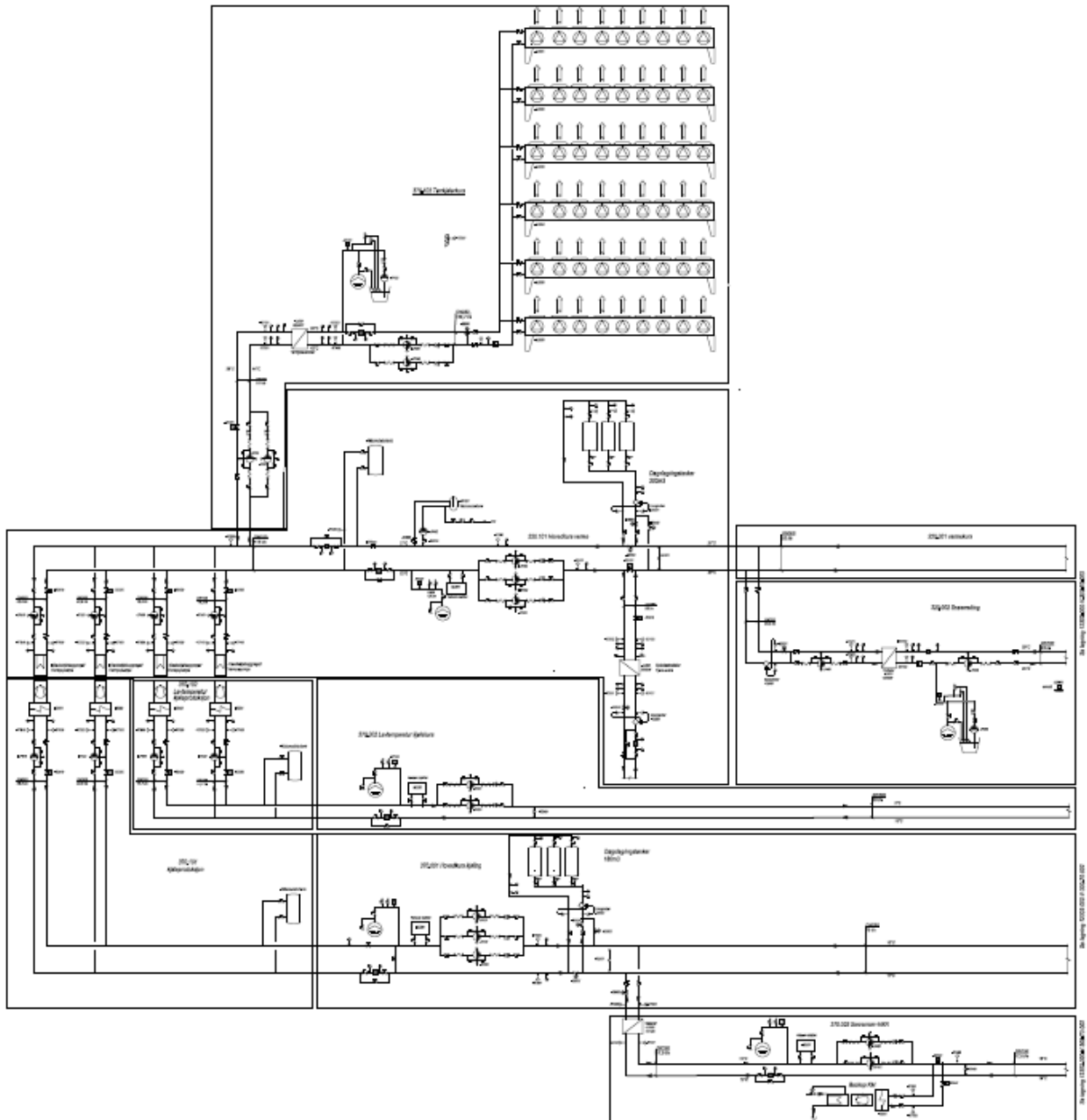
Effektpost	Varme	Kjøling	Kommentar
Maksimal effekt maksdøgn [kW]	3300	4200	Makseffekt inntreffer ved utetemperaturer utenfor dimensjonerende utetemperaturer og benyttes ikke som dimensjonerende effekt
Gjennomsnittlig effekt maksdøgn [kW]	2039	2305	Gjennomsnitteffekt for døgnet hvor makseffekt inntreffer

## 6 ANALYSE OG OPTIMALISERING AV KONSEPT

### 6.1 Effektanalyse

#### 6.1.1 Energisentral oppbygning

I forprosjektet kom vi frem til en oppbygning av termisk energisentral basert på kombinerte kjølemaskin/varmepumper, tørrkjølere, lagertanker for varme og kulde samt spisslast fjernvarme. Oppbygning kan sees i systemskjema under:



Figur 6-1: Systemskjema energisentral

Det produseres kjøling på 2 ulike temperaturnivåer. Lavtemperatur kjølekursen dekker spesielt intensive soner og utstyr som må ha backup. Høytemperatur kjølekursen dekker den resterende kjølingen, som er all ventilasjon, serverrom og ca 2/3 av teknisk kjøling til utstyr og IKT. Denne kursen er tilkoblet kuldager, slik at det er et mål å få høyest mulig andel av de variable kjølelastene over på høytemperatur-kjølekursen.

Det spesielle med denne sentralen er at det ikke er noen annen energikilde til varmepumpene enn byggets kjølebehov. Dette fordi vi ser at kjølebehovet i bygget er så stort gjennom hele året at det vil være minimalt behov for alternativ energikilde som f.eks brønnpark. Derfor er det ekstra viktig å ha visshet i hvor mye kjølebehov vi faktisk kan regne med på vinteren, slik at varmebehovet blir dekket ved alle forhold.



Ved avsluttet forprosjekt hadde vi kommet frem til følgende størrelser for hovedkomponenter i energisentralen:

- Kjølemaskin høytemperatur 1540 kW
- Kjølemaskin lavtemperatur 510 kW
- Tørrkjølere 2660 kW
- Størrelse kuldager 8100 kWh
- Størrelse varmelager 9000 kWh
- Effekt fjernvarme 1310 kW

### 6.1.2 Oppbygning av modell for simulering av energisentral

Byggets kjølebehov skal kunne dekkes av egenprodusert kjøling via lavtemperaturkjølekursen og høytemperaturkjølekursen med tilhørende kuldager. Videre skal byggets varmebehov dekkes av kondensatorvarme fra kjølemaskinene, varmelageret, samt fjernvarme ved behov. I perioder hvor kjølebehovet er dominerende og varmelageret er fullt, vil overskuddsvarme dumpes via tørrkjølere.

For å få til mest mulig optimalt samspill i energisentralen må størrelser på installasjoner vurderes nøye, samt at det må legges til grunn en robust styringsstrategi som sørger for god kommunikasjon mellom installasjonene. For å si noe om størrelser og driftsscenarioer hentes det ut timesverdier for effektbehov fra energisimuleringene for de to scenariene. Hva som er optimalt med tanke på komponentstørrelser og driftsstrategier vil avhenge av byggets totale energibehov og ved hvilke betingelser det er kjøle- eller varmebehovet som er dominerende.

Fordi det er kjølebehovet som på årsbasis er dominerende for Livsvitenskapsbygget grunnet høy varmeavgivelse fra brukerstyret vil det være naturlig å bygge opp en effektanalysemodell med hovedfokus på kjølebehovet. Ved for lite egenprodusert varme vil en på de kaldeste dagene kunne benytte fjernvarme for å sørge for at varmebehovet også dekkes til enhver tid.

Kuldageret er tilknyttet høytemperaturkjølekretsen. Lavtemperaturkretsen dimensjoneres for å dekke en jevn kjølelast og denne vil således bidra med et jevnt varmebidrag fra kondensatorvarme. Lavtemperaturkretsen er i modellen forutsatt å dekke en viss %-andel av det totale kjølebehovet og varmebidraget fra denne kretsen er en direkte konsekvens av kjølebehovet til enhver tid.

Høytemperaturkjølekretsen vil imidlertid kunne styres både med tanke på kjøle- og varmebehov avhengig av styringsstrategi og størrelse på kulde- og varmelager.

For å beregne nødvendig kjøleproduksjon per time fra høytemperaturkjølemaskinene er det laget en modell som baseres på ulike betingelser som gir ulike utfall. Modellen sørger for at en til enhver tid kan se energiflyten i systemet og for at kjøle- og varmebehovet dekkes per time. Produsert kjøling vil enten gå til å dekke kjølebehovet direkte, eller det vil kunne lagres i kuldageret hvis kjølebehovet allerede er dekket. Kondensatorvarmen forsyner varmebehovet og varmelageret. I perioder hvor varmelageret er tomt og varmeproduksjonen er begrenset av lavt kjølebehov og fullt kuldager vil fjernvarme dekke det resterende varmebehovet. Noen betingelser er begrenset av maskinkapasitet, lagerkapasitet etc, mens andre betingelser er satt basert på iterasjoner og optimalisering. Forutsetninger som er begrenset av størrelser på installasjoner:

- Kuldageret kan aldri bli mer enn fullt og kan ikke bli mindre enn tomt
- Varmelageret kan aldri bli mer enn fullt og kan ikke bli mindre enn tomt
- Høytemperaturkjølemaskinene kan ikke produsere mer enn installert effekt og det kan ikke produseres negativ effekt





I tillegg til de faste betingelsene som er begrenset av maskinkapasiteter er modellen optimalisert for å:

- begrense dumping av varme via tørrkjølere
- best mulig utnytte varme- og kuldelager
- mest mulig utnyttelse av kjølemaskinen og dermed minst mulig fjernvarmebehov

### 6.1.3 Driftsmodus høytemperaturkjølemaskiner

For å beregne nødvendig kjøleeffekt fra høytemperaturkjølemaskinene per time er det ulike betingelser som gjelder ved ulike utetemperaturforhold, om det er dominerende varme- eller kjølebehov i timen, om det er tilgjengelig kapasitet i lager etc. For å bestemme nødvendig kjøleeffekt per time må vi først sjekke hvilke forhold som gjelder per time. Det første som sjekkes er om det i gjeldende time er kjølebehovet (K) eller varmebehovet (V) som er dominerende. Videre sjekkes det i hver time gjennomsnittstemperatur for påfølgende døgn og det er definert tre temperaturintervaller som timene kan havne innenfor; sommer (S), vinter (V) og normal (N). De ulike temperaturintervallene er bestemt ut fra optimalisering av modellen og er som følger:

- Sommer:  $t \geq +16,5 \text{ }^\circ\text{C}$
- Vinter:  $t < -6 \text{ }^\circ\text{C}$
- Normal:  $-6 \leq t < +16,5 \text{ }^\circ\text{C}$

Betingelsene resulterer i seks mulige driftsmoduser per time illustrert i figuren under.

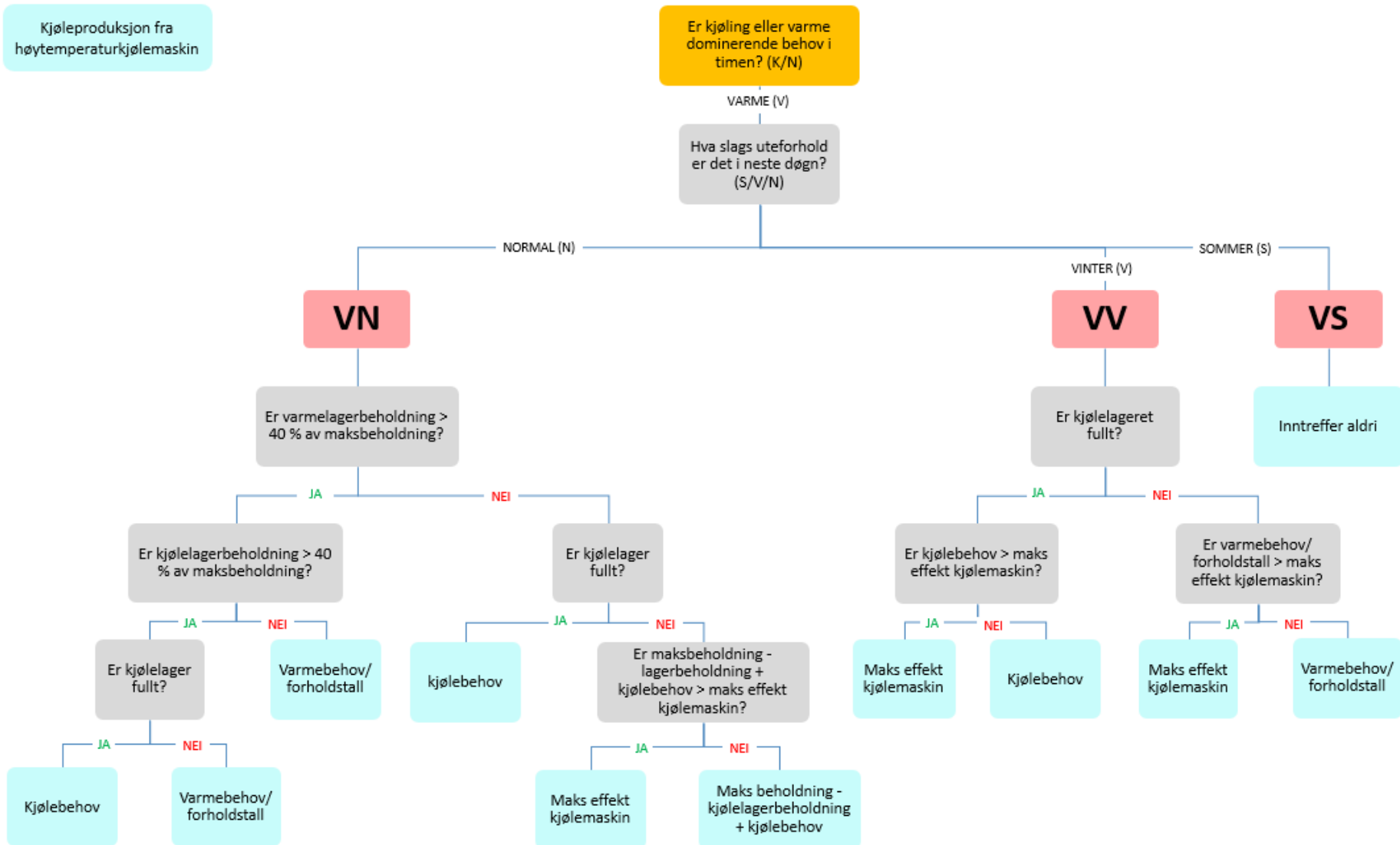


Figur 6-2: Driftsmodus for høytemperaturkjølemaskinene

Videre er det en rekke betingelser som sjekkes for de ulike driftsmodusene for å komme frem til nødvendig kjøleeffekt fra høytemperaturkjølemaskinene per time. Figur 6-3 og Figur 6-4 viser hvordan kjøleproduksjonen fra høytemperaturkjølemaskinene bestemmes for de ulike driftsmodusene. Driftsmodus KN inntreffer ofte og i logikkskjema for kjøling er temperaturintervallet til N (normal) delt inn i et øvre og et nedre temperaturintervall.



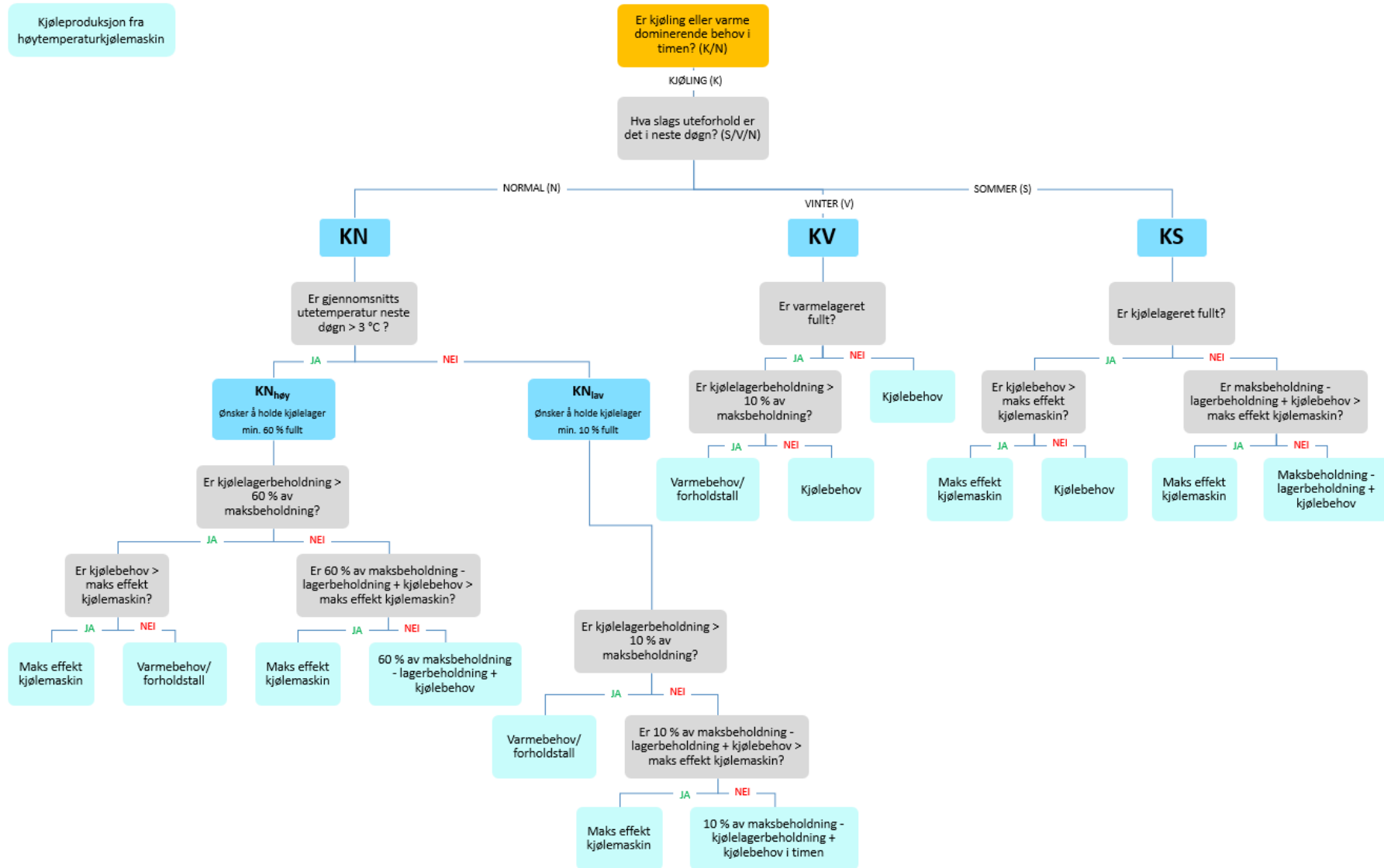
Kjøleproduksjon fra  
høytemperaturkjølemaskin



Figur 6-3: Logikkskjema for timer med dominerende varmebehov



Kjøleproduksjon fra  
høytemperaturkjølemaskin



Figur 6-4: Logikkskjema for timer med dominerende kjølebehov



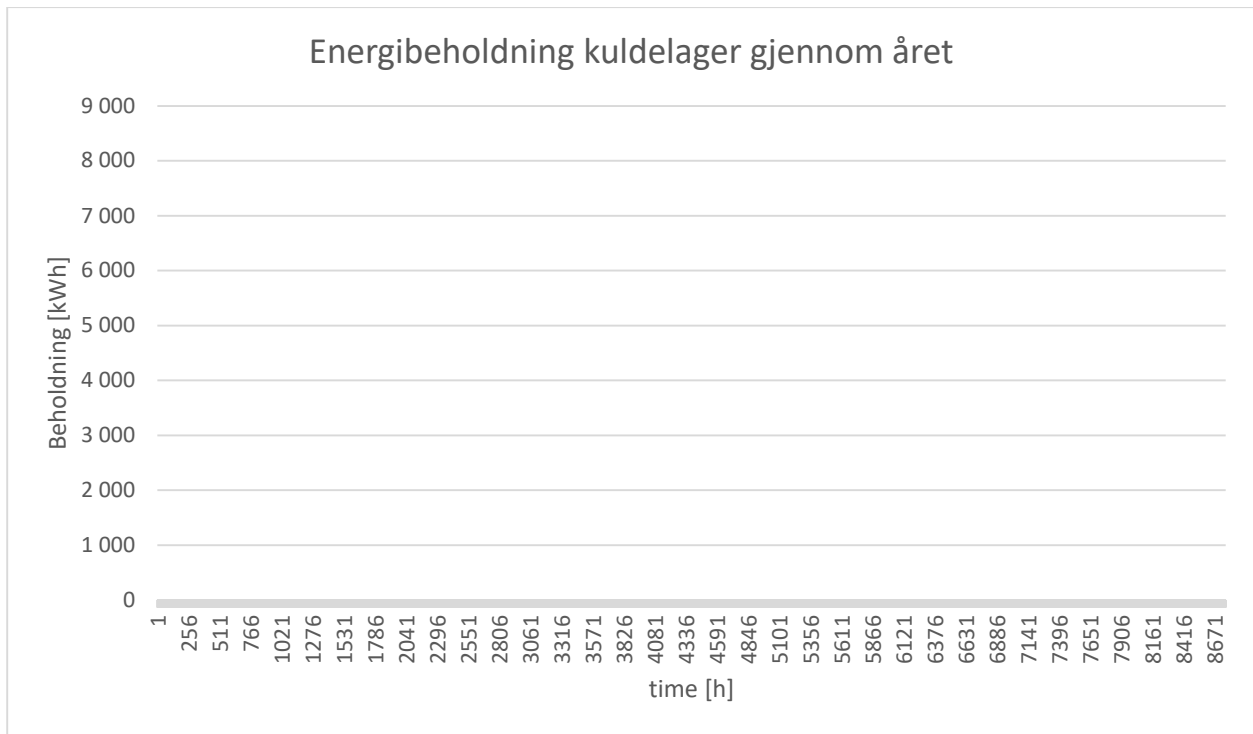
Grenseverdier for varme- og kuldagerbeholdninger i logikk-skjemaene er bestemt etter en rekke iterasjoner for å optimalisere modellen. Skjemaene er ikke nødvendigvis direkte overførbare til andre bygg da det kan være andre driftsbetingelser som er mer optimale avhengig av bygget. I oppsettet for Livsvitenskapsbygget er det i beregningsmodellen ønskelig at lagrene aldri blir helt utladet. Systemet jobber for å holde lagrene med minimums 10 % beholdning. Enkelte dager vil lagrene tømmes helt, men på dager hvor det er kapasitet til å holde minimumsgrensen vil dette opprettholdes. På denne måten unngår vi unødig høyt pådrag på kjølemaskinen ved plutselig økt energibehov. Tabell 6-1 viser hvor stor energibeholdning vi minimum jobber mot å holde i lagrene ved de ulike driftsmodusene.

	DRIFTSMODUS						
	<i>KN lav</i>	<i>KN høy</i>	<i>VN</i>	<i>KS</i>	<i>VS</i>	<i>KV</i>	<i>VV</i>
Ønsket min.beholdning i kjølelager (%)	10 %	60 %	40 %	100 %		10 %	10 %
Ønsket min.beholdning kjølelager (kWh)	765	4 590	3 060	7 650	-	765	765
Ønsket min beholdning varmelager (%)	10 %	10 %	40 %	10 %		10 %	98 %
Ønsket min beholdning varmelager (kWh)	540	540	2 160	540	-	540	5 292

Tabell 6-1: Ønskelig minimumsbeholdning i varme og kuldager ved ulike driftsmodus

#### 6.1.4 Dimensjonering av lagertanker

I forprosjektet ble lagertanker tatt ut i forhold til det døgnet med størst kjøle- og varmebehov, som typisk er det døgnet med mest ekstreme utetemperaturer. Vi har i dette studiet forholdt oss til det døgnet som tilsvarer dimensjonerende forhold. Det vil si 26 °C og 50 % relativ fukt for kjøling. Det gir lavere kjølemaskininstallasjon og en mindre lagertank enn hvis man dimensjonerer for maksimaldøgnet. Konsekvensen er at vi ikke klarer å levere nok kjøling de dagene det er over dimensjonerende forhold, og det vil bli for varmt i bygget i kortere perioder. Det vil være ca. 20 timer i året som vi ikke klarer å levere nok kjøling med kjølemaskin og kuldagerertank til sammen. For et kjølebehov ihht Scenario 1, i kapittel 5.2, blir lagertankstørrelsen da på 7650 kWh, som tilsvarer et volum på 170 m<sup>3</sup>. Figuren under viser beholdningen til kuldageret gjennom året, med driftsmodellen som gitt i kapittel 6.1.3:

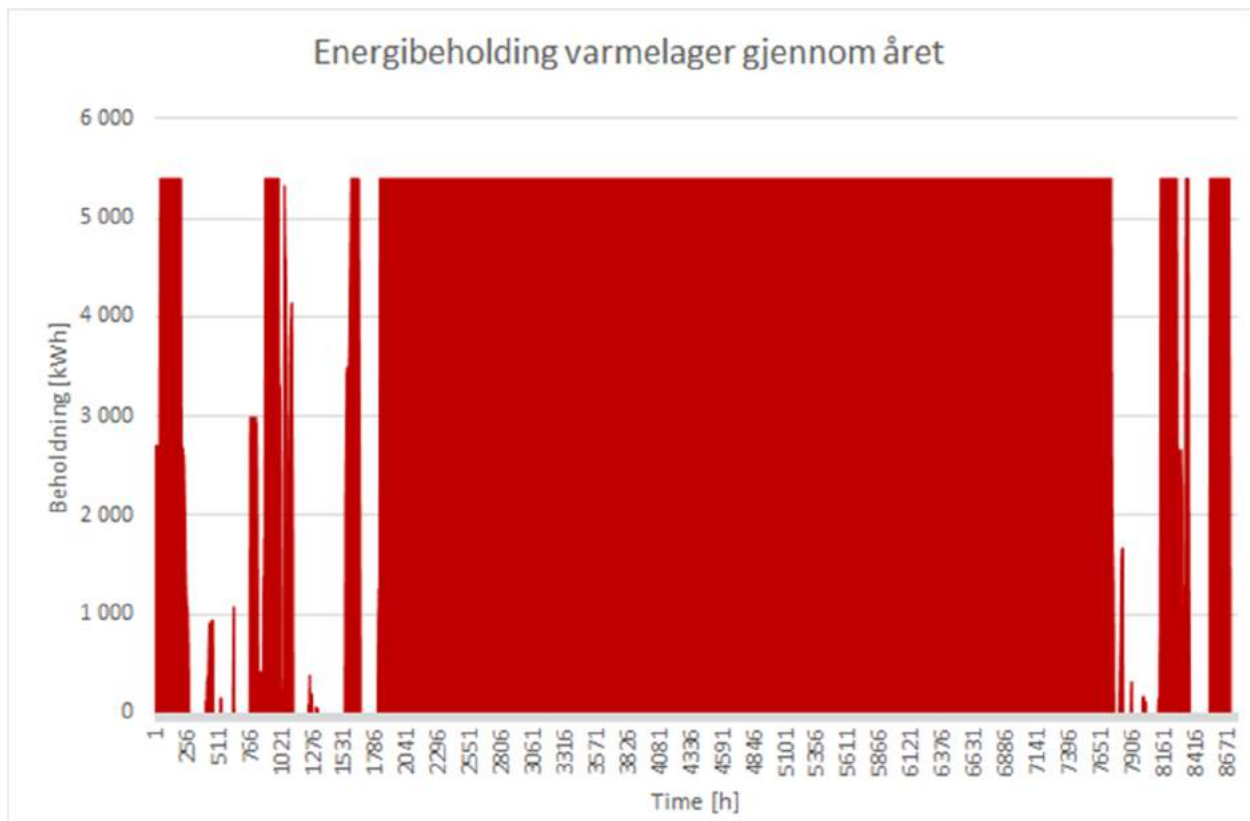


**Figur 6-5: Energibeholdning kuldager gjennom året**

Det er KN-høy og KS (ref. kapittel 6.1.3) som er de dominerende driftsmodusene for kjøling gjennom året. Store deler av året forsøkes kuldageret opprettholdt på enten 60% eller nær 100% fullt. Midt på sommeren er det en kort periode der lageret er helt tomt. Her klarer ikke sentralen å levere nok kjøling, men som nevnt er det kun ca 20 timer totalt. Dette er i tillegg i juli, hvor det sannsynligvis vil være lav aktivitet i bygget. De kritiske installasjonene er uansett tilknyttet lavtemperaturkursen med back-up.

For varmelageret er det benyttet døgnet med maksimalt varmebehov fra energisimuleringene, ettersom det ga en lavere makseffekt enn ved statiske effektberegninger for dimensjonerende forhold. Det har sammenheng med at internlaster ikke regnes med ved dimensjonering av effekt til romoppvarming og ventilasjon. Dette gir da et lager på 5400 kWh, som tilsvarer et volum på 120 m<sup>3</sup>. Figuren under viser beholdningen til varmelageret gjennom året, med driftsmodellen som gitt i kapittel 6.1.3:





Figur 6-6: Energibeholdning varmelager gjennom året

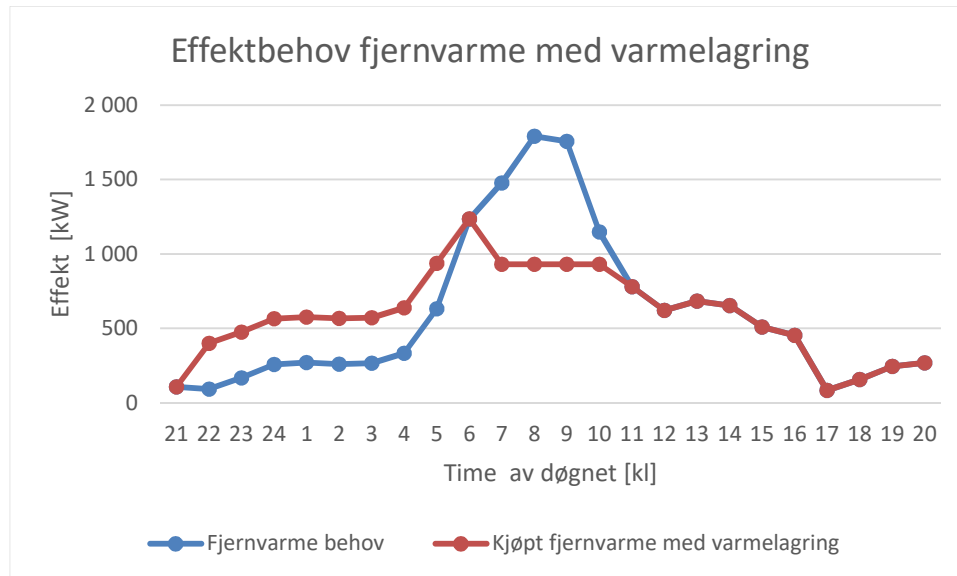
Som vist vil lagerbeholdningen variere mye i vinterperiodene, mens på sommeren er det fullt hele tiden.

Som utgangspunkt for videre simuleringer av energisentral er det benyttet de ovennevnte størrelser for lagertanker som et utgangspunkt. Den mest økonomiske størrelsen på lagertanker er undersøkt videre i LCC-beregninger, i avsnitt 6.3.

### 6.1.5 Reduksjon av fjernvarmeeffekt

For å redusere behovet for spisslast fjernvarme kan man benytte varmelagertanken til å lagre fjernvarme på natten eller når det er lavere varmebehov. Slik kan man bufre opp ekstra varme for å redusere effektpådraget fra fjernvarmeveksler neste dag. Dette vil da i virkeligheten kunne utføres ved hjelp av værvarsling; Hvis utetemperatur de neste døgn er meldt lavere enn en gitt temperatur startes lading av fjernvarme til varmelagertank. Alternativt kan effektbehovet for fjernvarme stipuleres vha. en ET-kurve dersom man har det tilgjengelig.

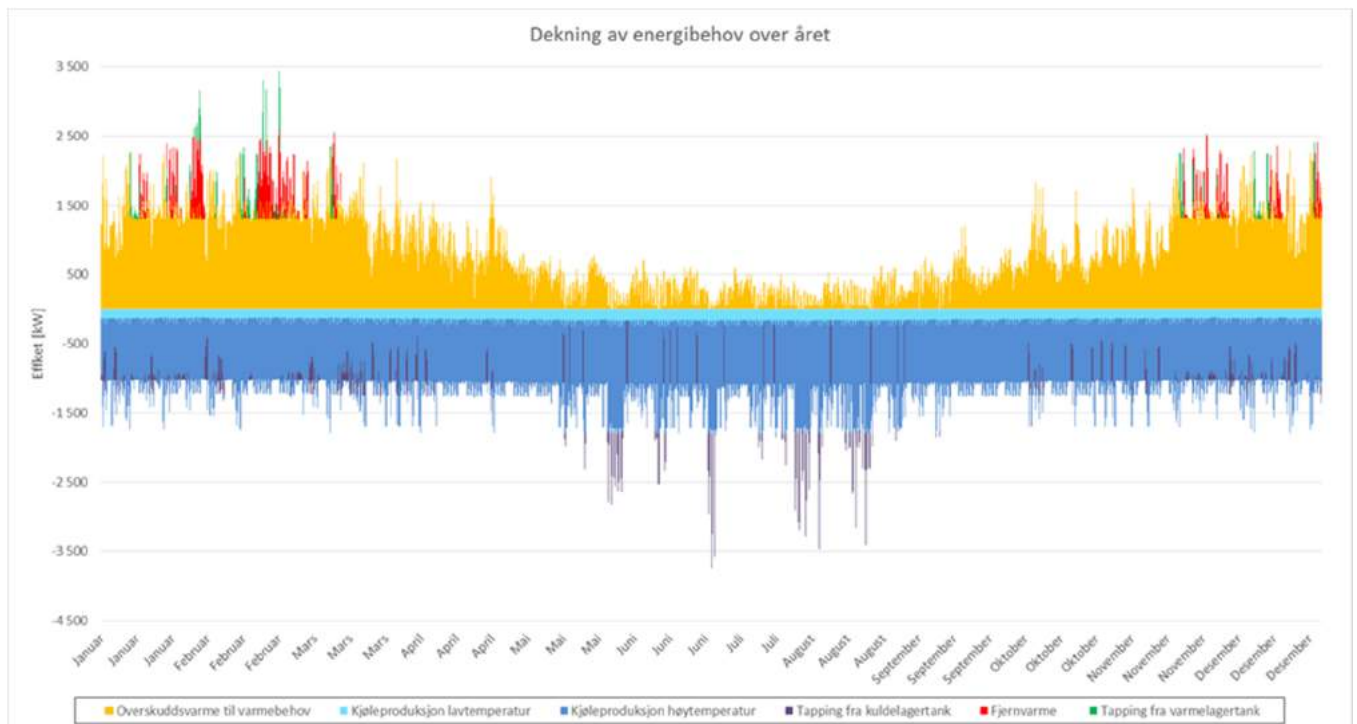
I vår simuleringmodell sjekkes det om effektbehovet til fjernvarme neste døgn er over en gitt makseffekt, og i tillegg om det er tilgjengelig kapasitet i lageret. Kjøpt fjernvarmeeffekt økes da på natten for å dekke opp den nødvendige fjernvarmeeffekten på dagtid, uten at den forhåndsbestemte makseffekt dagtid overskrides. Figur 6-7 viser hvordan makseffekt fra fjernvarmeveksler kan reduseres ved å trekke mer effekt på natten og lade varmelageret:



Figur 6-7: Nødvendig størrelse veksler med lagring av fjernvarme i varmelagertank

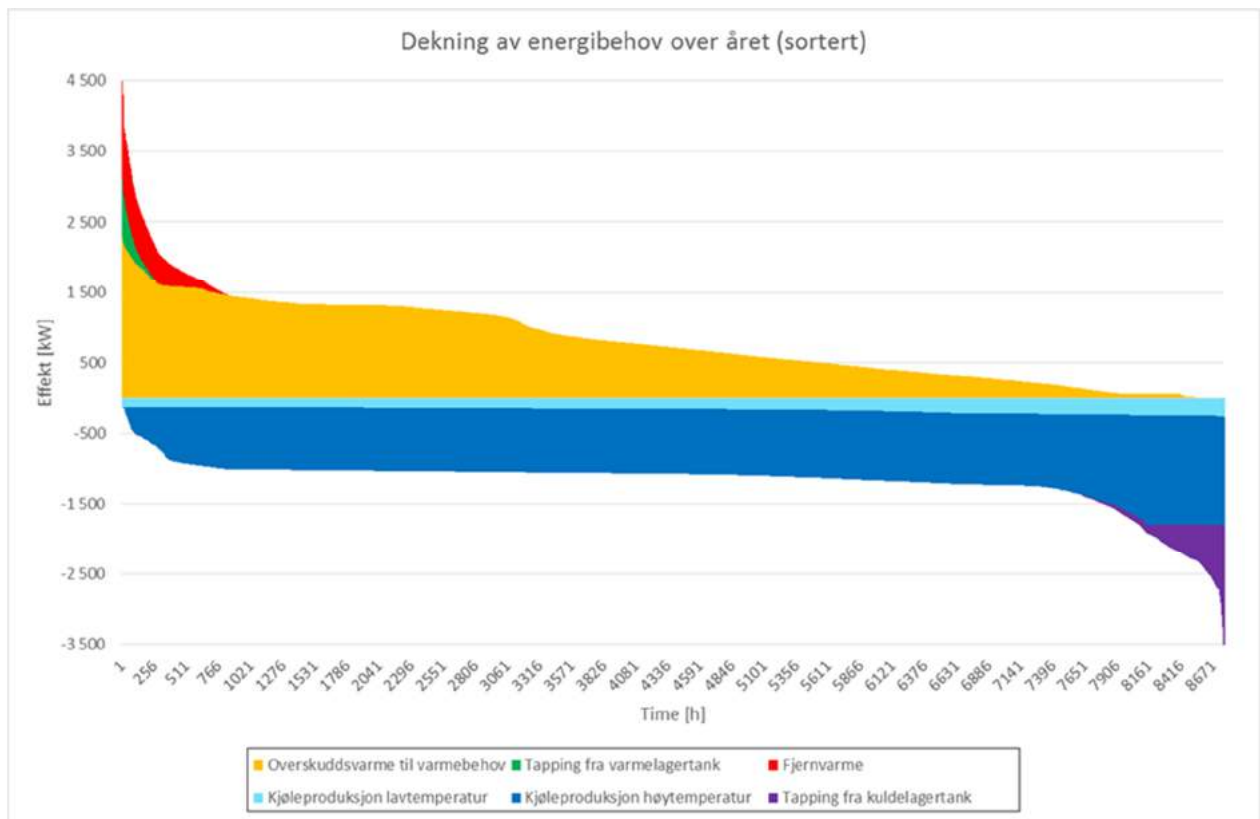
### 6.1.6 Dekning av byggets energibehov

Ved driftsmodellen som beskrevet i avsnitt 6.1.3 og 6.1.4 oppnås drift av energisentralen som vist i figuren under:



Figur 6-8: Dekning av energibehov over året

Størstedelen av varmebehovet dekkes av kondensatorvarme fra kjøleproduksjon. De høye effektoppene til ventilasjonskjøling dekkes av kjøling fra kuldageret, mens effektoppene til ventilasjonsvarme dekkes av varmelageret.



Figur 6-9: Dekning av energibehov over året, sortert etter maksverdier.

Som vist er det en liten del av varmebehovet som dekkes av varmelageret, men det bidrar til reduksjon av installert fjernvarmeeffekt.

## 6.2 Energiflyt for døgn med ulike driftsmodus

For å visualisere dynamikken i sentralen under ulike driftsforhold er det trukket ut noen typiske døgn gjennom året, hvor man ser samspillet mellom lagertanker, kjølemaskiner, fjernvarme og dumping til tørrkjølere. Grafene er vist i Figur 6-11. Figur 6-10 viser fargekodene som benyttes i grafene for kjøle- og varmebehov, samt for energiflyt til og fra de ulike energikildene.

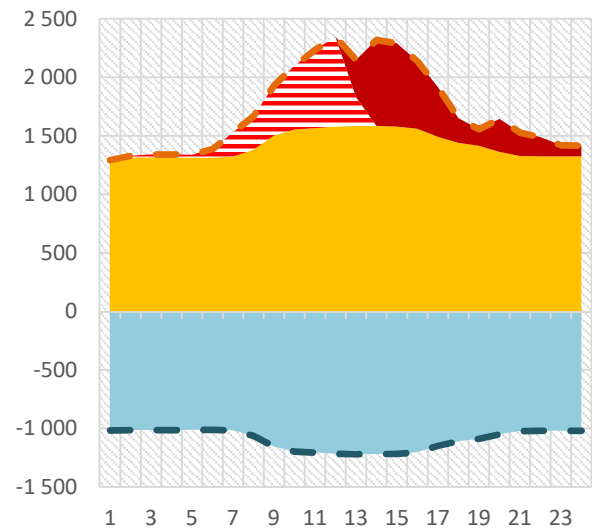


Figur 6-10: Fargekoder som benyttes i grafene under

**Døgn 43 – driftsmodus VN hele døgnet [kW]**

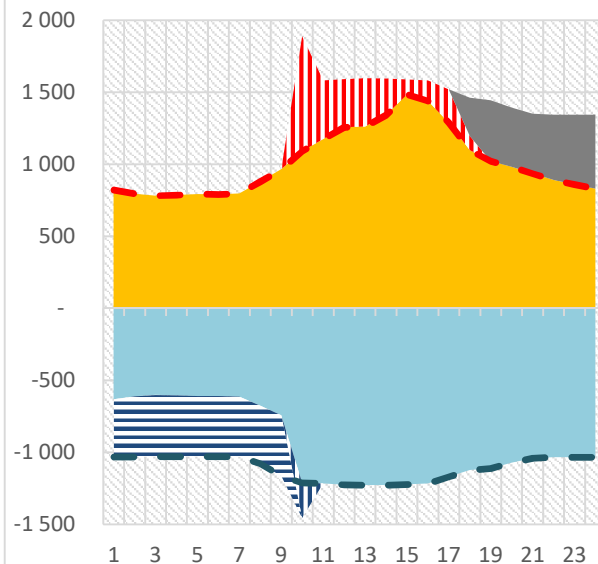
Alle timene i døgnet er definert med driftsmodus VN. Dvs. varme er dominerende behov i alle timene og temperaturforhold neste døgn er innenfor "normal".

Gjennom hele døgnet er kjøleproduksjonen begrenset av kjølebehovet selv om det er varmebehovet som er dominerende. Det betyr at kuldageret allerede er fullt og det er ikke mulig å produsere mer kjøling som igjen vil gitt økt varmeproduksjon. For å kompensere for det økte varmebehovet utover døgnet benyttes lagret energi fra varmelageret inntil lageret er tomt, før fjernvarme dekker det resterende behovet.

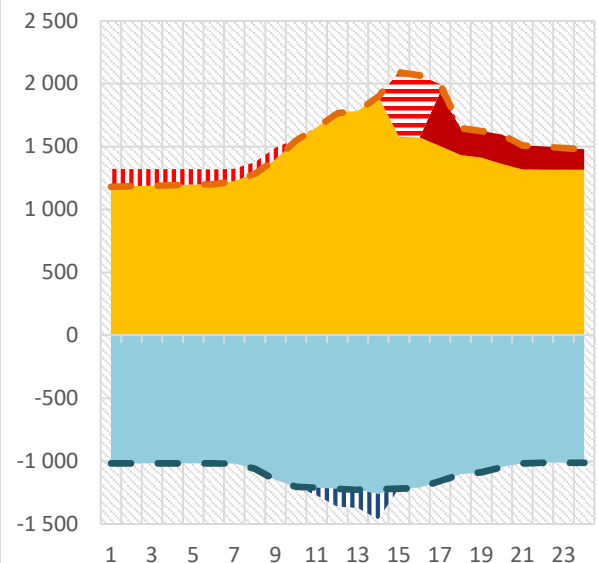
**Døgn 2 – driftsmodus KN hele døgnet [kW]**

Alle timene i døgnet er definert med driftsmodus KN. Dvs. kjøling er dominerende behov i alle timene og temperaturforhold neste døgn er innenfor "normal".

Dersom vi hadde produsert kjølebehovet gjennom hele døgnet ville vi endt opp med mye overskuddsvarme. Derfor produserer vi i starten av dagen nok kjøling til å dekke varmebehovet og resterende kjølebehov dekkes av kuldageret. Når lageret er tomt må vi gå over til å produsere kjølebehovet, og varmeproduksjon utover varmebehovet går med til å lade varmelageret. Når varmelageret er fullt må resterende overskuddsvarme dumpes via tørrkjølere på tak.

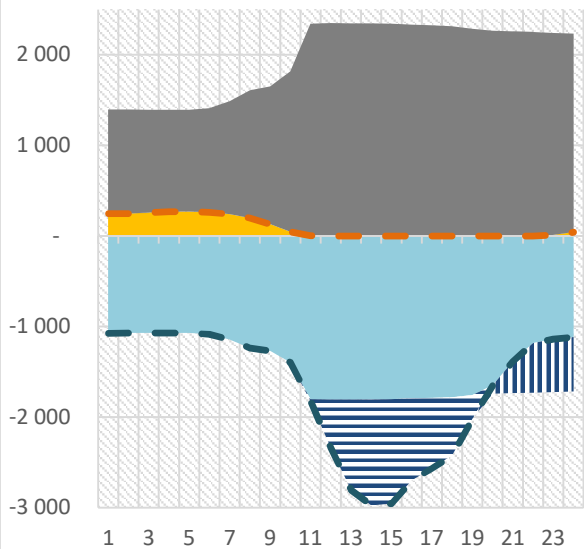
**Døgn 6 – driftsmodus KV på starten av døgnet og VV på slutten av døgnet [kW]**

På starten av dagen er kjøling dominerende behov før det etter hvert går over til dominerende varmebehov. På starten av dagen produseres kjølebehovet og overskuddsvarme går med til å lade varmelageret. Når det etter hvert blir varmebehovet som er dominerende produseres varmebehovet og overskuddskjøling går med til å lade kuldageret. Når kuldageret blir fullt (kl 14.00) må vi igjen produsere kjølebehovet. Da dekkes resterende varmebehov av varmelageret så langt det er beholdning i lageret før fjernvarmen dekker resterende behov på slutten av døgnet.



**Døgn 182 – driftsmodus KS hele døgnet [kW]**

Alle timene i døgnet er definert med driftsmodus KS. Dvs. kjøling er dominerende behov i alle timene og temperaturforhold neste døgnet er sommer. I sommermodus jobbes det for å fylle kuldelageret så langt det er mulig. På starten av dagen er kuldelageret fullt og vi produserer kjølebeholdning slik at lageret holder seg fullt. Senere på dagen øker kjølebeholdningen og når kjølebeholdningen er høyere enn hva kjølemaskinen maksimalt kan produsere henter vi energi fra kuldelageret for å dekke effekttoppen. Når kjølebeholdningen går ned mot slutten av dagen driftes kjølemaskinen for fullt for å fylle opp lageret igjen til neste døgnet. Varmebeholdningen dekkes av kjøleproduksjonen og resterende overskuddsvarme dumpes via tørrkjølere på tak.



Figur 6-11: Energiflyt for døgnet med ulike driftsmodus

### 6.3 Økonomisk analyse

Det er utført LCC-beregninger for å finne den mest optimale størrelsen på energisentralen over tid. De variantene som er vurdert er:

1. Lagertanker for dimensjonerende døgnet
2. Ikke varmelager
3. Ikke kuldelager
4. Ikke lagertanker
5. Halvering varmelager
6. Halvering kuldelager
7. 50% større kuldelager

I tillegg er disse sammenlignet med energisentralen som ble prosjektert i forprosjektet.

#### 6.3.1 Forutsetninger for LCC-beregninger

##### Investeringskostnader

For investeringskostnader er det tatt med det utstyret som vil endres ved de ulike alternativene. Det er da varme- og kuldelager, kjølemaskiner, tørrkjølere for høytemperatur kjøling og fjernvarmeveksler. Alt annet utstyr forutsettes undret og innlemmes ikke i analysen.

Følgende installasjonskostnader er benyttet:

- Kjølemaskiner: 2500 kr/kW
- Tørrkjølere: 1100 kr/kW
- Lagertanker: 1100 kr/kWh

For lagertanker inkluderer kostnad også kulvert under bakken, med spunting og øvrige bygningstekniske og geotekniske arbeider i forbindelse med det.



### Levetider og utskiftningskostnader

Det er forutsatt at kjølemaskiner har 20 års levetid, mens tørrkjølere har 15 års levetid. Videre forutsettes at lagertanker har levetid utover 60 år. For reinvestering er det satt lik kostnad som for initiell investering. Det er realistisk at investeringskostnader reduseres ettersom teknologi modnes, men ettersom vi ikke vet hvordan utviklingen blir, har vi gått ut i fra like kostnader.

### Drift- og servicekostnader

Ettersom det er få bevegelige deler i forbindelse med lagertankene, er det satt en lav service-kostnad på disse, på 5000 kr/år. For full oversikt over investerings og servicekostnader for de ulike alternativer se vedlegg 2.

### Energi- og effekttariffer

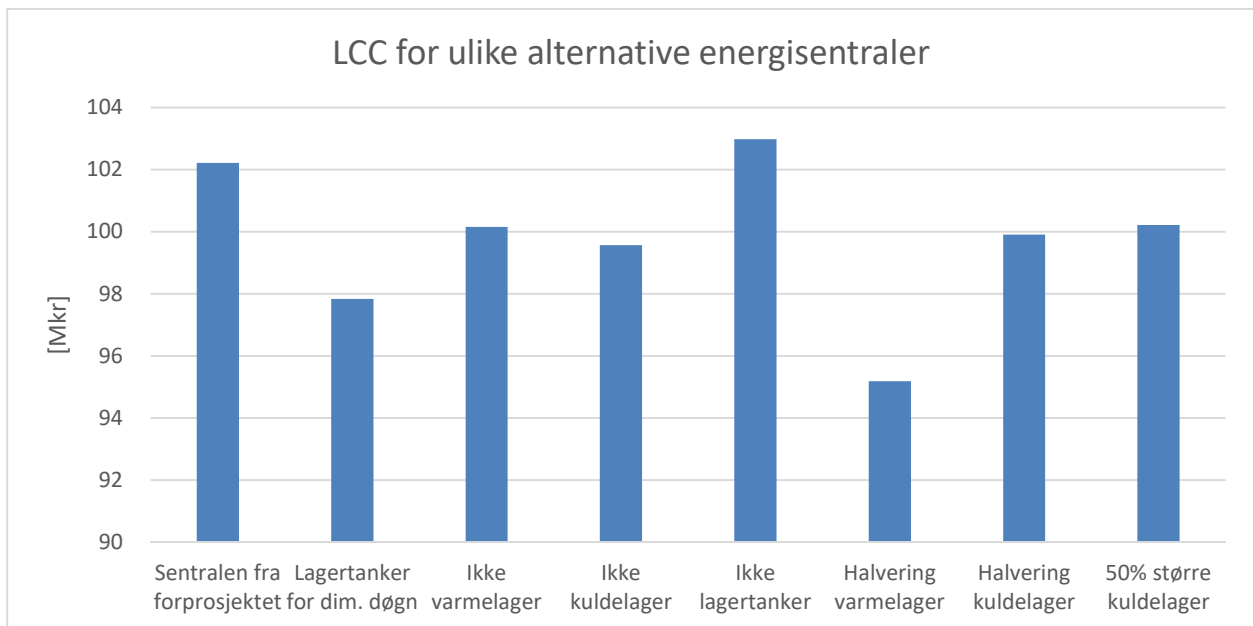
For å få mest mulig riktige kostnader for levert energi er det benyttet aktuelle tariffmodeller for strøm og fjernvarme. Strømtariff er bygd opp av et energiledd og et effektledd. For energiledd er det benyttet historiske verdier fra Nord Pool Spot med påslag. Effektleddet er ihht Hafslunds månedstariffer for maksimalt effektforbruk per måned.

For Fjernvarme er det noe annen oppbygning på tariffen, også ettersom det er spisslast. Da er effektleddet en fast kostnad per år på 575 kr/kW bestilt effekt. I tillegg kommer energipris som er en vektet månedspris basert på Norpools prishistorikk.

For mer detaljer rundt energikostnader se vedlegg 1.

### 6.3.2 Resultater LCC

Det ble utført LCC-beregninger for de ulike alternativene listet i avsnitt 6.3 for en periode på 60 år, og med kalkulasjonsrente på 3 %. Resultatene er vist i figuren under:

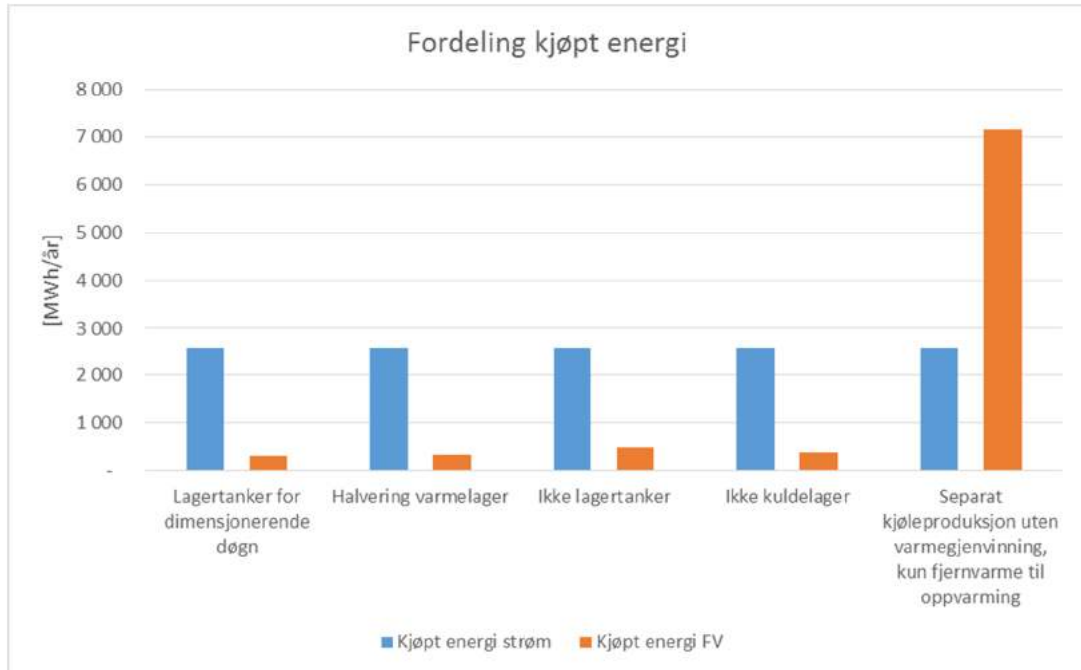


Figur 6-12: LCC for ulike alternative energisentraler

Det viser seg at den sentralen som gir lavest LCC er en sentral med redusert varmelager, men opprettholde størrelse på kuldager. I likhet med kjøling er det mer økonomisk å dimensjonere varmelageret etter et mer moderat døgnet, og ikke for makseffekt. Dette har igjen sammenheng med at



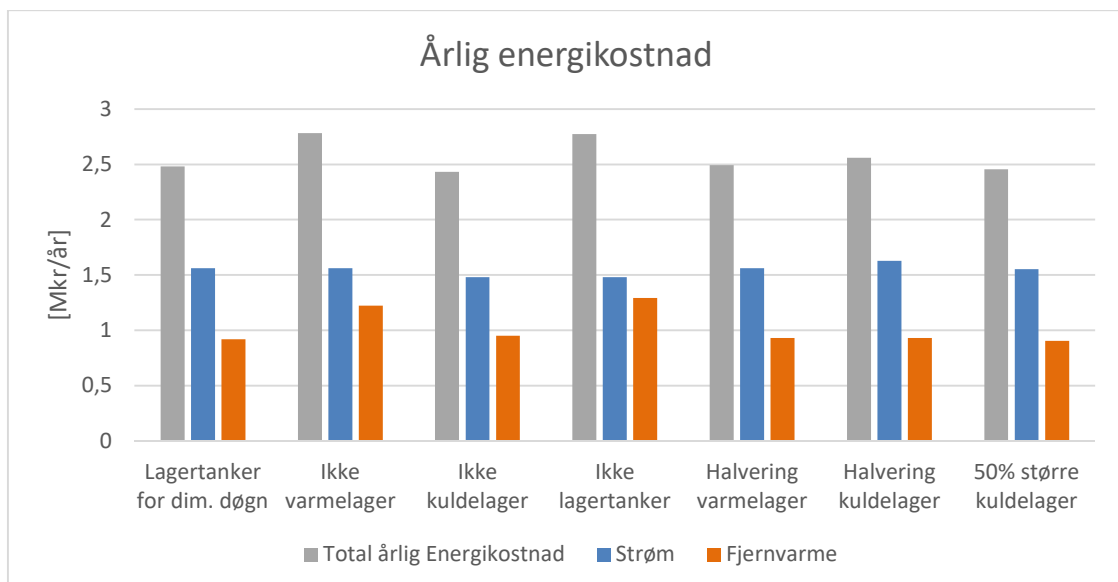
lagertanker har høy investeringskostnad. Driftsformen til sentralen med tanke på lading/tømming av lageret gjør at nødvendig installert fjernvarmeeffekt blir uendret. Årlige energikostnader øker dermed lite ettersom det er et lavt energibehov for fjernvarme i utgangspunktet. Dette er vist i figuren under, hvor behov for kjøpt energi er sammenlignet for et utvalg av alternativene fra LCC-beregningen. Disse er for referansens skyld sammenlignet med levert energi for en energisentral med separat kjøleproduksjon uten varmegjenvinning, og som kun benytter fjernvarme til oppvarming:



Figur 6-13: Forelding av kjøpt energi for utvalg alternative sentraler

Det er en veldig moderat økning i behov for kjøpt energi ved å redusere varmelageret. Det øker markant når begge lagere fjernes, og det er da behovet for kjøpt fjernvarme som øker. Denne økningen er liten sammenlignet med det siste alternativet, separat kjøle- og varmeproduksjon.

De årlige energikostnadene for alle de alternative energisentralene fra LCC-beregningen er vist i figuren under:

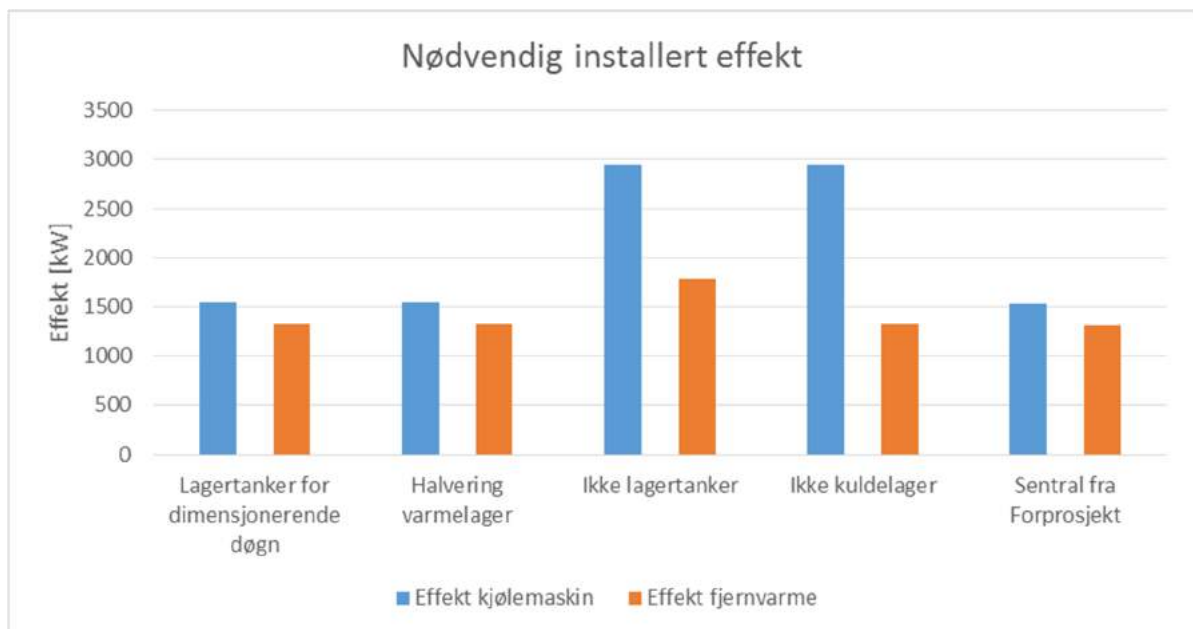


**Figur 6-14: Årlig energikostnad for de ulike alternative sentraler**

Den høyeste energikostnaden fås når varmelagertanken kuttes helt ut. Da må man øke installert effekt på fjernvarme tilsvarende, og man får et høyt effektledd på fjernvarmekostnaden. Totalt sett er det liten variasjon i kostnad for de ulike alternativer ettersom det er det samme energibehovet som skal dekkes. Det som gjør størst utslag på årlig energikostnad er nødvendig installert fjernvarmeeffekt.

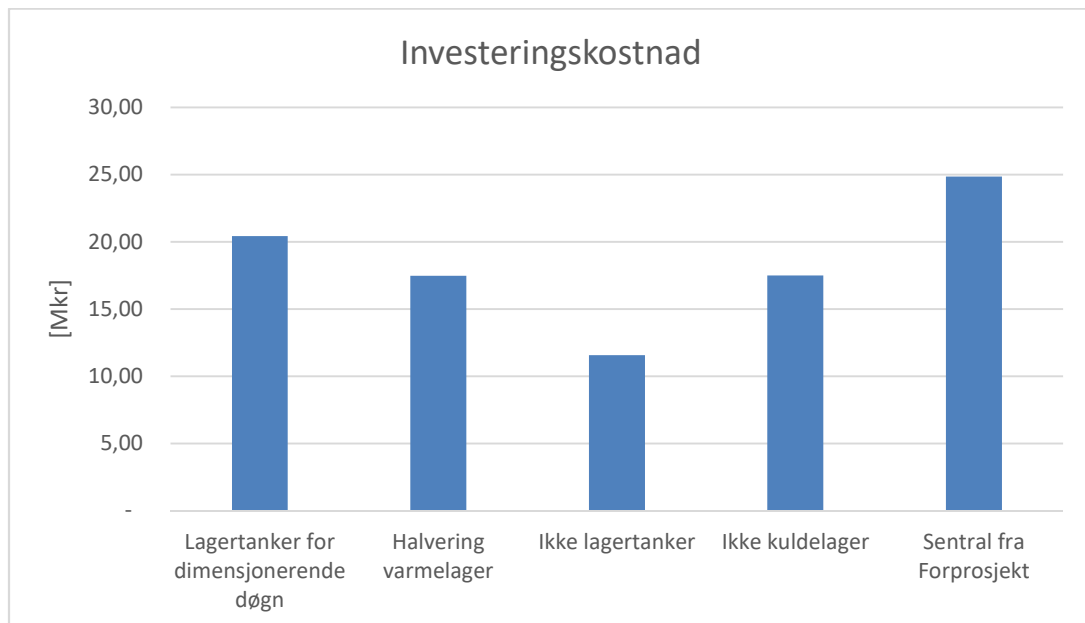
En tilsvarende konvensjonell sentral med fjernvarme og kjølemaskin med tørrkjølere hatt årlig energikostnad på 5,35 M Kr. Dette er i størrelsesordenen det dobbelte av alle de analyserte alternativene. Den store forskjellen i kostnader skyldes at man der ikke har noen intern varmegjenvinning, og må betale for all energi både til varme og kjøling selv om behovene oppstår samtidig.

For den totale LCC er det installasjonskostnad i kombinasjon med energikostnad som er de utslagsgivende faktorer. I Figur 6-15 er det vist nødvendig installert effekt for kjølemaskiner og fjernvarme for ulike sentraler.


**Figur 6-15: Installert effekt for fjernvarmeveksler og kjølemaskin/varmepumpe**

Ved å halvere størrelse på varmelager forblir størrelse på øvrig utstyr i sentral uendret. Til sammenligning vil nødvendig størrelse på kjølemaskin og tørrkjølere øke betydelig hvis kuldager fjernes. Når begge lagertanker tas vekk øker også nødvendig installert fjernvarmeeffekt i tillegg til kjølemaskiner.

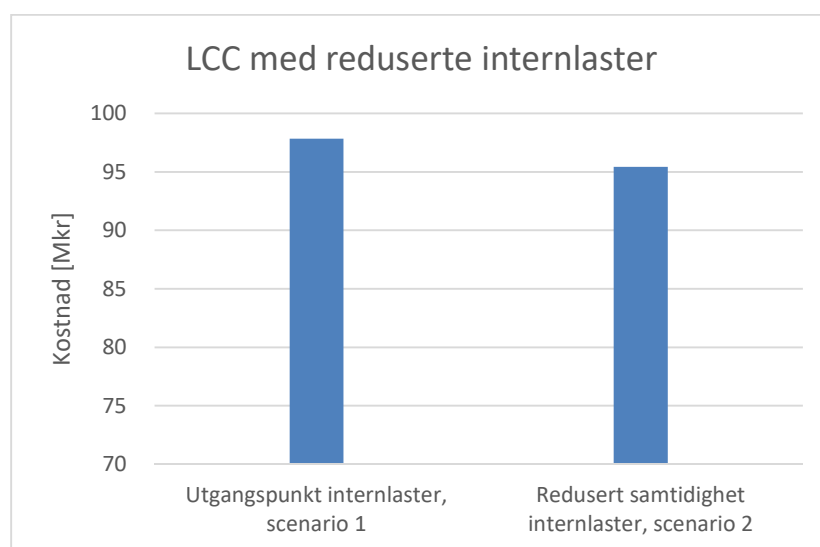
De resulterende investeringskostnader for de samme alternativer er vist i figuren under:



Figur 6-16: Investeringskostnader for ulike alternative energisentraler

Det er billigst å bygge sentralen helt uten lagertanker, ettersom kjølemaskiner og fjernvarme-effekt er rimeligere i investering enn lagertanker. Imidlertid blir de årlige energikostnadene da såpass mye høyere at det kommer dårligst ut med tanke på LCC. Alternativet uten kuldager, som har lavest årlig energikostnad av alle alternativene, har såpass mye høyere investeringskostnad at det totalt gir høyere LCC. Dette skyldes også økte utskiftingskostnader ved økt installert maskinkapasitet.

Det er også utført LCC for 60 år for bygget med reduserte internlaster; scenario 2 ihht kap 5.2. Dette er vist i figur under:



Figur 6-17: LCC for energisentral med kjølebehov ihht scenario 1 og 2

Reduserte internlaster gir kun en moderat reduksjon. Dette har sammenheng med at det kun er den variable tekniske kjølingen som er redusert, og det utgjør en relativt liten del av det totale kjølebehovet.

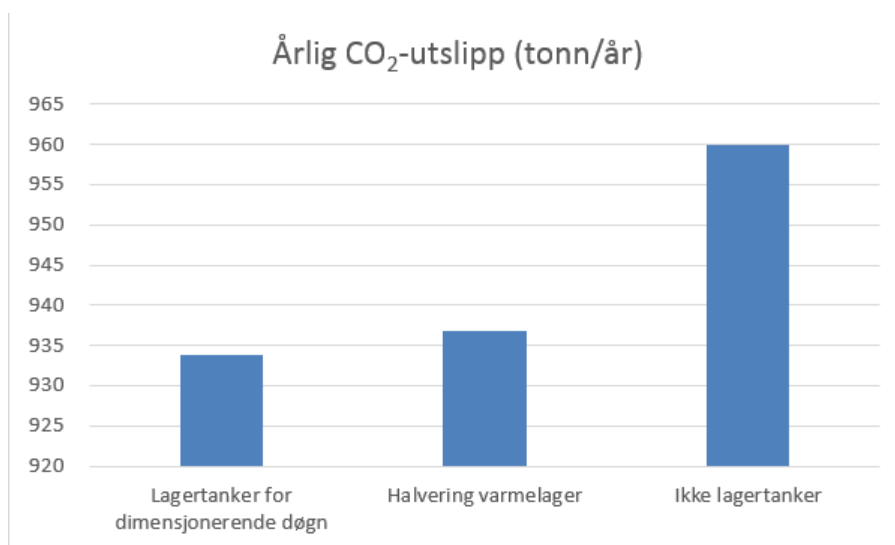


Det er grunn til å tro at effektledet for både strøm og fjernvarme vil øke i fremtiden. Det er derfor undersøkt hvilken betydning det vil ha for energikostnad og LCC. Det viser seg at det da blir mest lønnsomt å fjerne kuldageret. Årsaken er at vår modell er rigget for maksimal energigjenvinning, og prioriterer å øke effekt på kjølemaskin fremfor å benytte fjernvarme for å dekke varmebehovet. Det fører til at kjølemaskin oppnår maks effekt nesten hver måned. Effektledet for strømkostnad blir da høyere med lagertanker enn uten. Forskjellen i maksimal kompressoreffekt er vist i tabellen under:

	Maks effekt til kompressor med kuldager (kW/mnd)	Makseffekt til kompressor uten kuldager (kW/mnd]
Januar	465	299
Februar	457	300
Mars	465	303
April	465	310
Mai	465	465
Juni	465	465
Juli	465	465
August	465	465
September	465	465
Oktober	465	308
November	465	301
Desember	465	299

Tabell 6-2: Makseffekt for kjølemaskin per måned med og uten kuldager

Ved å doble den månedlige tariffen vil effekten av dette øke ytterligere. Det kan være en nyttig videreutvikling av modellen å optimalisere pådrag på kjølemaskiner opp mot fjernvarmetariffer. Imidlertid kan det også være andre ting å ta hensyn til, som total systemvirkningsgrad og CO<sub>2</sub>-regnskap, slik at det vil ikke alltid være energikostnad som er den viktigste parameteren å designe energisentralen etter. For å belyse dette har vi beregnet utslipp av tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter basert på et utvalg av de alternative energisentralene. Dette er vist i Figur 6-18 under. Verdiene som er benyttet for beregning av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter er hentet fra *Håndbok for Oslo kommunes Klima- og energifond – Del 2: Beregning av energibesparelse og reduksjon i klimagassutslipp, Januar 2016*. For elektrisitet benyttes 0,348 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter per kWh og for fjernvarme benyttes 40 % av elektrisitetsverdien, 0,139 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter per kWh:



**Figur 6-18: Årlig CO<sub>2</sub>-utslipp**

Som figuren viser kommer det foretrukne alternativet fra LCC-beregningene noe dårligere ut med tanke på årlig CO<sub>2</sub>-utslipp. Dette er grunnet at ved halvering av varmelageret øker fjernvarmebehovet noe, mens behovet for strøm er det samme som når lagertanker er tatt ut for dimensjonerende døgn. Ved å kutte ut lagertanker helt øker behovet for fjernvarme drastisk, og CO<sub>2</sub>-utslippet øker dermed også.

#### **Oppsummering av LCC-beregninger:**

Vi ser at LCC for de ulike energisentralene som er vurdert spriker lite med de forutsetninger som er gjort. Det vil si at en justering i en av parameterne for beregningen kan endre resultatet i annen favør. Bygget har i utgangspunktet et lavt energibehov, slik at årlige energikostnader varierer relativt lite for de ulike alternativene med lagertanker. Den optimale konfigurasjonen med tanke på LCC viser seg å være en reduksjon i forhold til maksimalt døgn, både for varme og kjøling. Dersom kostnad for lagertanker reduseres i fremtiden, vil det for eksempel bli mer lønnsomt å øke størrelse på lagertanker. Beregning av investeringskostnader er en forenklet modell, og vil variere avhengig av leverandør og bestykning på utstyr. Det er også usikkert hvordan energipriser og investeringskostnader utvikler seg de neste 60 årene. I tillegg vil det være andre hensyn som påvirker valg av energisentral enn kun LCC-resultatet, som driftssikkerhet og fleksibilitet.

Basert på resultatene fra LCC-beregningene får vi følgende oppsett for hovedkomponenter i energisentralen (halvering varmelager):

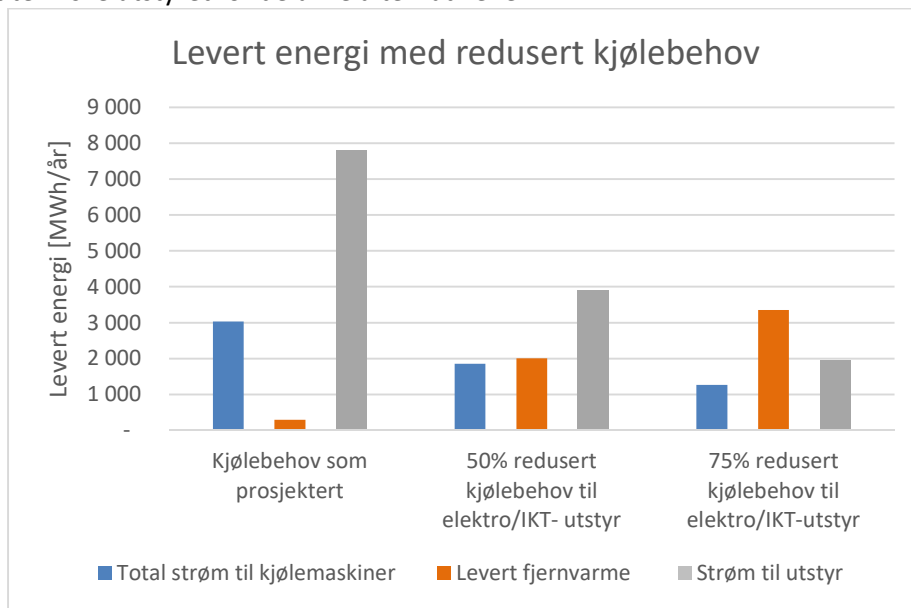
- Kjølemaskin høytemperatur 1550 kW
- Kjølemaskin lavtemperatur 270 kW
- Tørrkjølere 2360 kW
- Størrelse kuldager 7650 kWh
- Størrelse varmelager 2700 kWh
- Effekt fjernvarme 1315 kW

En bør ytterligere undersøke muligheter for reduserte kostnader gjennom drift av sentralen som senker maksimalt effektuttak til fjernvarme.



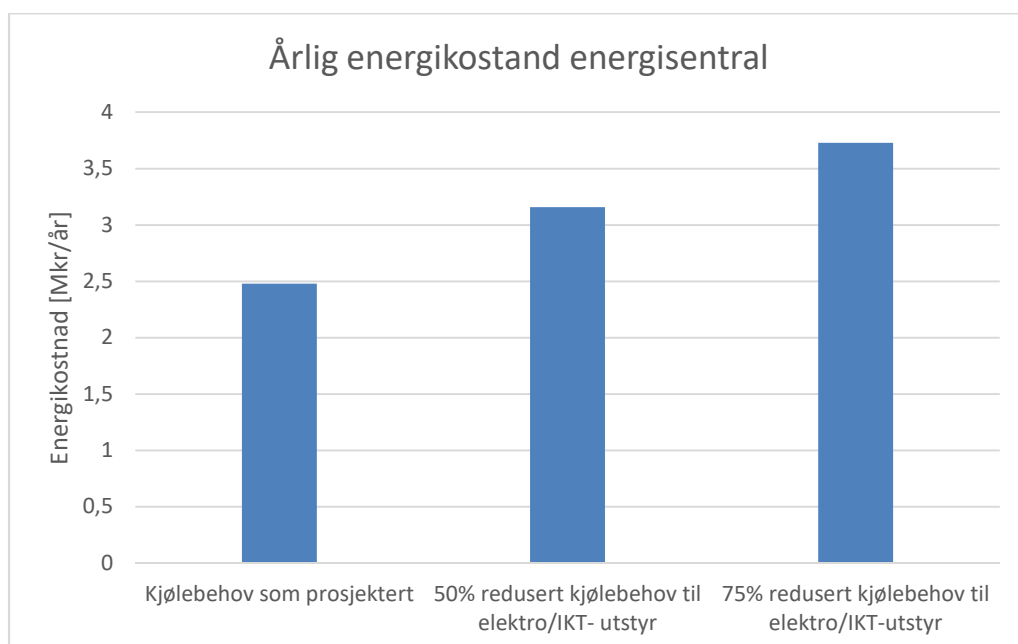
### 6.3.3 Brønnpark kontra energilager

Det er i denne konseptstudien sett nøye på kjølebehov til teknisk utstyr, og behovet for ventilasjonskjøling har vi relativt god oversikt over. Den minst sikre faktoren er på dette tidspunktet kjølebehovet til IKT og elektroutstyr. Med det kjølebehovet vi har oversikt per i dag er det ikke behov for brønnpark, men for å vurdere når brønnpark kan være lønnsomt å ta inn i prosjektet har vi sett på to ulike scenarier for kjølebehovet til IKT og elektro. Det første scenariet er at serversentralen tas ut av bygget, og dermed reduseres kjølebehovet til IKT/elektro med 50 %. Det andre scenariet er at elektroutstyr effektiviseres i tillegg til bortfall av serversentral, slik at behovet reduseres med 75 %. Det er beregnet levert energi til strøm og fjernvarme for alternativene, vist i Figur 6-19. her vises også strøm til drift av det tekniske utstyret for de ulike alternativene:



Figur 6-19: Levert energi for scenario med redusert kjølebehov til IKT og elektroutstyr

Strøm til kjølemaskiner reduseres med lavere kjølebehov, mens behovet for kjøpt fjernvarme øker. Den årlige energikostnaden øker også som følge av dette, vist i Figur 6-20.







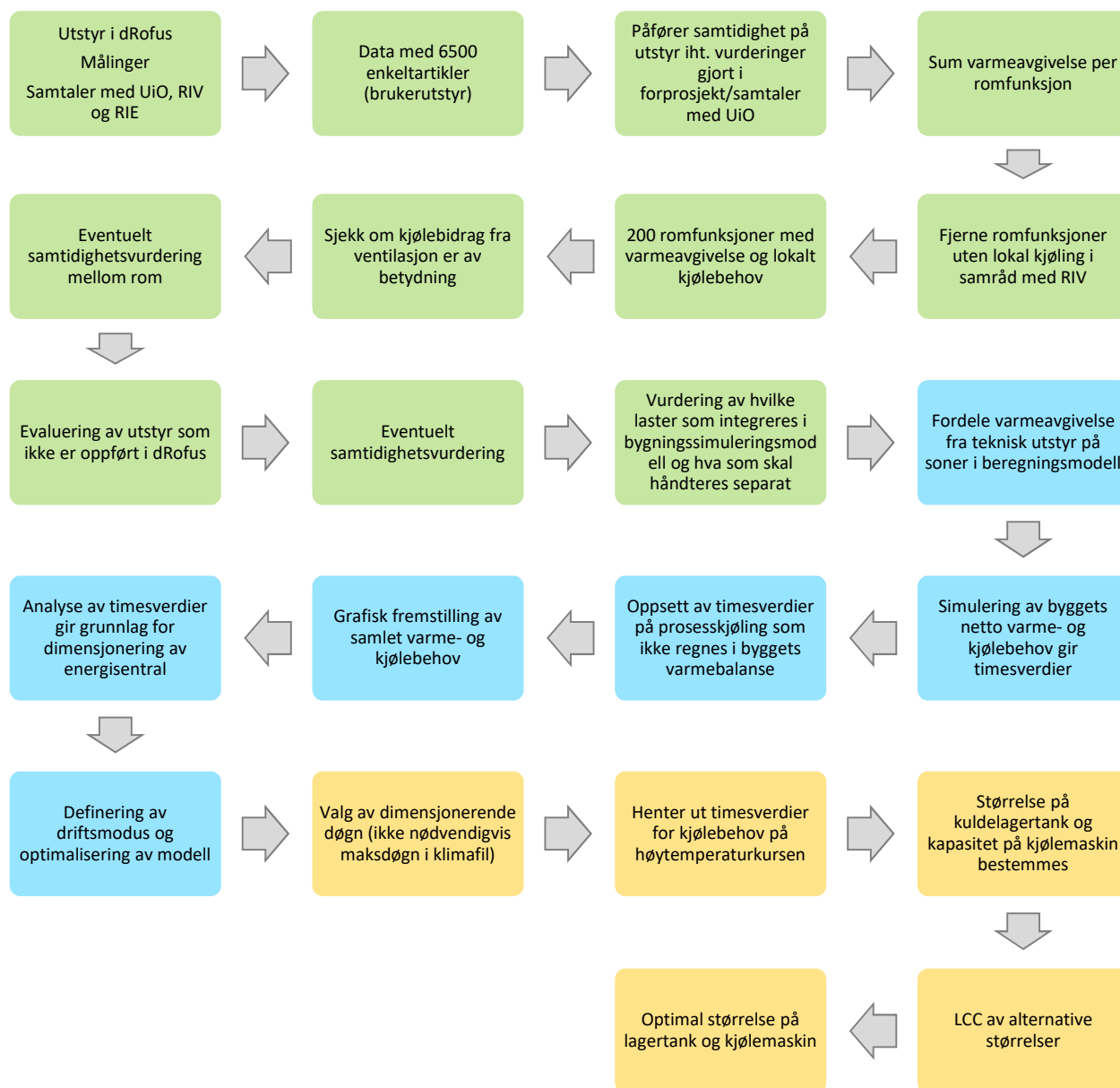
**Figur 6-20: Årlig energikostnad for scenario med redusert kjølebehov til IKT og elektroutstyr**

Den årlige energikostnaden for drift av energisentralen øker med ca 700 000 kr i året ved bortfall av serversentralen, og ca 1,2 millioner kroner ved scenario effektivisering av utstyr. Dette viser at vi kan, ved en betydelig reduksjon i kjølebehov, rettferdiggjøre installasjon av en brønnpark. Etersom volum til lagertanker er redusert gjennom denne studien vil vi kunne ta inn en brønnpark innenfor dagens budsjett. Dette vil imidlertid komplisere energisentralen, men kan gi større fleksibilitet hvis behovene skulle øke i fremtiden, også mtp sent tilkommet brukerstyr dersom innkjøp/budsjetter og en gradvis innflytting i bygget med overflyttet utstyr gjør at det er lenge før maksbelastninger er på plass.

## **7 METODE OG VERKTØY**

Metoden som er benyttet i denne studien er utviklet underveis. Metoden danner grunnlag for utarbeidelse av et verktøy som skal kunne brukes i lignende studier. Verktøyet er utarbeidet i Excel. Metoden er beskrevet underveis i rapporten og oppsummert i Figur 7-1. Det er delt inn i tre stadier:

1. Metode for innsamling av data
2. Metode for energi- og effektanalyse
3. Metode for dimensjonering av kuldagertanker



Figur 7-1: Flytdiagram metode

Verktøyet som er utarbeidet i konseptstudien simulerer drift av energisentralen over et år. Den tar utgangspunkt i timesverdier for varme- og kjølebehov fra energisimuleringsprogram som for eksempel SIMIEN eller IDA ICE. Verktøyet brukes for å analysere energi- og effektbehov samt for dimensjonering av sentrale komponenter i energisentralen. Det er lagt inn en beregningsmodell som beregner hvor mye effekt høytemperaturkjølemaskinene skal produsere per time basert på en rekke forutsetninger som beskrevet i avsnitt 6.1.2.

Kondensatorvarmen er et direkte resultat av kjøleproduksjonen som fordeler seg til å dekke byggets varmebehov, opplading av varmelageret eller dumping til tørrkjøler avhengig av behov. Det resterende fjernvarmebehovet er gitt av tilgjengelig kondensatorvarme og beholdning i varmelager. I tillegg legger modellen til rette for lading av varmelager ved fjernvarme for å redusere installert effekt til fjernvarme.



Verktøyet regner ut levert energi til kjølemaskiner og fjernvarme som danner grunnlag for beregning av LCC. Driftsmodellen er optimalisert ut fra behovene til dette konkrete bygget og systemløsningen fra forprosjektet. Ved overføring til andre prosjekter vil det måtte gjøres tilpasninger.

Verktøyet gjør at en får visualisert energiflyten i systemet til enhver tid og på den måten kan en gjøre mer bevisste designvalg og avdekke eventuelle utfordringer ved varierende driftsforhold.

## **8 VIDERE ARBEID OG FORBEDRING AV MODELLEN**

### **8.1 Datainnsamling**

For å få et mest mulig realistisk bilde av varmeavgivelsen fra teknisk utstyr og redusere feilkilder er det store forbedringspotensial med tanke på oppdatering av dRofus databasen. Det bør være informasjon tilgjengelig i dRofus som forteller om de oppgitte effektene er basert på målinger eller teoretiske spesifikasjoner. På utstyr hvor det foreligger måleresultater bør disse legges inn i dRofus for å sørge for at all informasjon er samlet på ett sted. Dersom det på senere tidspunkt er utstyr som skal fjernes og annet som skal legges til er det viktig at dette gjøres i dRofus.

IKT-teknisk utstyr bidrar med svært høy varmeavgivelse til bygget. I videre arbeid anbefales det å se nærmere på om varmeavgivelsen faktisk er så høy til enhver tid fra IKT-utstyret.

Ytterligere forbedringer mht. datainnsamling kan være å fortsette kartleggingsprosessen av utstyr, utføre målinger på flere utstyr, ha tettere dialog med byggets brukere, eventuelt overvåke bruk av utstyr i dagens bygg. Etter konseptstudie er det imidlertid utført målinger på en stor andel av brukerutstyret. Der hvor det sannsynligvis er størst potensiale for reduksjoner er ved å avdekke bruksmønster og driftsbetingelser for utstyret, et punkt som er svært usikkert per d.d.

### **8.2 Energi- og effektanalyse**

Energisimuleringsmodellen er bygget opp av større beregningssoner. Ulempen med dette er at varmeavgivelser fra utstyr plassert i mindre rom kan bli "smurt" utover større soner og således danne noe feil bilde av det faktiske kjølebehovet. For rom med spesielt store internlaste kan det være lurt å sette opp en egen simulering av de gjeldende rom for å få et mer realistisk bilde av kjølebehovet. Dette vil gjelde blant annet ovnsrom og tekniske rom for vakuumpumper. Dersom en skulle satt opp hele bygget i en simuleringsmodell med samme rominndeling som det faktiske bygget ville det vært en svært tidskrevende jobb og sannsynligvis umulig for simuleringsprogrammet å håndtere.

Ved beregning av byggets energi- og effektbehov er det i denne studien ikke gjort noen vurdering av alternative reguleringsstrategier for ventilasjonsanleggene. Mange av laboratoriene har strenge krav til temperatur og har i simuleringsmodellen konstant tilluftstemperatur. I arealer i bygget som ikke har like strenge temperaturkrav kan det være potensiale for å koble ut eller regulere ned luftmengder i perioder hvor belastningen ellers er stor. For eksempel i auditorium og felleslokaler kunne en på dager med spesielt høy belastning tillatt at inn klima sklir noe utover krav i mindre perioder.

Det kan også være mulighet for å skyve på oppvarmingslaste i bygget ved å etablere en strategi som kobler ut noen laste i mindre perioder når andre laste har stort behov. Laste som kan være aktuelle å effektstyre inkluderer blant annet varmtvannsbereidere, gulvvarmekurser, radiatorkurser og eventuelle elektriske varmekurser. Vannbårne kurser er termisk tregere enn elektriske varmekurser og vil være mindre merkbare ved utkobling enn elektriske varmekurser.



### 8.3 Dimensjonering av energisentral

Vi har kommet frem til en metode som fungerer mhp drift av lagertanker opp mot kjølemaskinproduksjon. Det er høyst sannsynlig muligheter for å optimalisere dette mer med tanke på fyllingsgrad i lagere og nødvendig maskinproduksjon.

Driften er lagt opp for å redusere andel kjøpt fjernvarme og minimere dumping mot tørrkjølere. Lading av lagertanker er ikke satt opp mot energipriser, da vi ikke har funnet noen tendens til fremtidig differensiering på energipriser på dag og natt f.eks. Det er i midlertid mulig å utvikle modellen til å også ta høyde for en optimal produksjon i forhold til svingende energipriser.

Verktøyet for dimensjonering av energisentralen er utarbeidet i Excel, som i utgangspunktet gir oss en stasjonær beregning. Ved å benytte et dynamisk simuleringsverktøy kan vi i større grad ta høyde for flere variabler, som for eksempel integrering av brønnpark og varierende energipriser i optimaliseringen. For mange variabler i Excel kan gjøre det utfordrende å gjøre endringer i driftsstrategien og avdekke mulige feil eller avvik.

Det er få leverandører av lagertanker og faseskiftmateriale, og installasjonskostnadene vi har fått for disse er høye. I tillegg kommer den bygningsmessige kostnaden ved å bygge en separat kulvert, som forverrer bildet ytterligere. Det kunne vært interessant å undersøke om det finnes alternative leverandører og se om det kan være en tendens til synkende priser med mulig økt kommersialisering i fremtiden.

De øvrige installasjonskostnadene som er benyttet er snitt for erfaringstall fra tidligere prosjekter. Disse er i tillegg skalert ut ifra en pris per kilowatt. Kostnad vil variere ut i fra bestykning og leverandør, og når man vet hvilke konkrete produkter og størrelser som er aktuelle å benytte i prosjektet kan man få et mer nøyaktig kostnadsbilde for LCC-vurdering.

De alternativene som er vurdert for LCC-beregning er et utvalg sannsynlige kombinasjoner. Det er mulig å se på andre alternativer, f.eks 25% reduksjon av tankstørrelse, for å optimalisere kostnadseffektivitet. Man kunne også sett på noen scenarioer for fremtidig reduksjon av installasjonskostnad for lagertanker og hvordan det slår ut i LCC.

## 9 LØSNINGENS-/TEKNOLOGIENS MARKEDSPOTENSIAL

### 9.1 Beskrivelse av teknologiens nyhetsverdi

Løsningen er ny ved at det er tatt i bruk en rekke metoder for å komme nærmere sannsynlig virkelig effektbehov i bygget. Dette har ført til redusert maksimalt effektbehov til kjøling og derved reduserte installasjoner og investeringer. Videre har analysemetoden for lagertanker redusert behovet for størrelse på lagertanker og ytterligere redusert investeringsbehovet. Det er også synliggjort når behov for brønnpark inntreffer og vist mulig potensiale for en kombinasjon av begge teknologier.

### 9.2 Beskrivelse av nytte/økt verdi fra innføring av løsningen/teknologien

Løsningen gir betydelig økt lønnsomhet i investeringen og gir økt potensiale for investeringer i slike energisentraler.

### 9.3 Kort beskrivelse av markedspotensialet i Norge

Potensialet for denne type løsning er stort i sykehus og laboratoriebygg. Det vil også kunne nyttes i komplekse kjøpesentre og bygg med store serverparker.



#### 9.4 Involvering av norske teknologimiljø og utdannings situasjoner

Arbeidet vil føres videre gjennom masteroppgaver og i undervisning ved energi og miljøstudiet på HIOA.

#### 9.5 Risiko og risikodempende tiltak

Den foreslåtte løsningen har en risiko dersom interne varmelaster i bygget faller drastisk. En bør vurdere å tilrettelegge for brønnboring og utnyttelse av grunnvarme på et senere tidspunkt. Alternativt vurdere utnyttelse av nabobyggets varmeoverskudd.

### 10 VEDLEGG

#### Vedlegg 1: Energitariffer som ligger til grunn for beregning av årlige energikostnader

##### Effektledd strøm

	Effektledd (kr/kW/mnd)
Januar	150
Februar	150
Mars	76
April	11
Mai	11
Juni	11
Juli	11
August	11
September	11
Oktober	11
November	76
Desember	150

##### Energiledd strøm

- Nord Pool Spot timespris
- Administrativt påslag
- Nettleie: vinter: 5,2 øre/kWh, sommer: 3,7 øre/kWh
- El-avgift 13,65 øre /kWh
- Grønne sertifikat: 1,12 øre/kWh

##### Effektledd fjernvarme

575 kr pr kW installert/år

##### Energiledd fjernvarme:

- Gjennomsnittlig månedspris fra Nord Pool med 5% rabatt
- Vektet profiltilllegg
- El-sertifikat
- Administrativt påslag
- Nettleie
- El-avgift



De ovennevnte elementer gir følgende energiledd på månedsbasis for siste år (kilde Fortum):

Måned	Energiledd [kr/kWh]
Januar	0,5433
Februar	0,5403
Mars	0,5404
April	0,5127
Mai	0,5112
Juni	0,4587
Juli	0,4774
August	0,4827
September	0,4528
Oktober	0,5356
November	0,6240
Desember	0,5562

## Vedlegg 2: Input til LCC-beregninger for de ulike alternative energisentraler

<b>1 Utgangspunkt: kjølelager og varmelager ift dimensjonerende døgnet</b>				
Makseffekt kjølemaskin høytemperatur[kW]	1550			
Størrelse kuldeler [kWh]	7650			
Størrelse varmelager [kWh]	5400			
Effekt fjernvarme [kW]	1315			
Input	Investeringskostnad	Vedlikehold+drift (pr år)	Levetid	Utskiftingskost
Alternativ 1				
Kjølemaskiner i sentral kW	kr 3 875 000	kr 50 000	20	kr 3 875 000
Tørrkjølere på tak kW	kr 2 216 500	kr 30 000	15	kr 2 216 500
Varmelager	kr 5 940 000	kr 5 000	60	-
Kjølelager	kr 8 415 000	kr 5 000	60	-



**2 kjølelager ift  
maksimaldøgn, fjerne  
varmelager**

Makseffekt kjølemaskin høytemperatur[kW]	1550
Størrelse kuldager [kWh]	7650
Størrelse varmelager [kWh]	
Effekt fjernvarme [kW]	1790

Input	Investeringskostnad	Vedlikehold+drift (pr år)	Levetid	Utsiftingskost
Alternativ 2				
Kjølemaskiner i sentral kW	kr 3 875 000	kr 50 000	20	kr 3 875 000
Tørrkjølere på tak kW	kr 2 216 500	kr 30 000	15	kr 2 216 500
Varmelager				
Kjølelager	kr 8 415 000	kr 5 000	60	-

**3: Fjerne varme og  
kjølelager**

Makseffekt kjølemaskin høytemperatur[kW]	2945
Størrelse kuldager [kWh]	0
Størrelse varmelager [kWh]	0
Effekt fjernvarme [kW]	1790

Input	Investeringskostnad	Vedlikehold+drift (pr år)	Levetid	Utsiftingskost
Alternativ 3				
Kjølemaskiner i sentral kW	kr 7 362 500	kr 50 000	20	kr 7 362 500
Tørrkjølere på tak kW	kr 4 211 350	kr 30 000	15	kr 4 211 350
Varmelager				
Kjølelager				-

**4 Halvering varmelager**

Makseffekt kjølemaskin høytemperatur[kW]	1550
Størrelse kuldager [kWh]	7650
Størrelse varmelager [kWh]	2700
Effekt fjernvarme [kW]	1315

Input	Investeringskostnad	Vedlikehold+drift (pr år)	Levetid	Utskiftingskost
Alternativ 4				
Kjølemaskiner i sentral kW	kr 3 875 000	kr 50 000	20	kr 3 875 000
Tørrkjølere på tak kW	kr 2 216 500	kr 30 000	15	kr 2 216 500
Varmelager	kr 2 970 000	kr 5 000	60	-
Kjølelager	kr 8 415 000	kr 5 000	60	-

**5 Halvering kjølelager**

Makseffekt kjølemaskin høytemperatur[kW]	2000
Størrelse kuldager [kWh]	3800
Størrelse varmelager [kWh]	5400
Effekt fjernvarme [kW]	1306

Input	Investeringskostnad	Vedlikehold+drift (pr år)	Levetid	Utskiftingskost
Alternativ 5				
Kjølemaskiner i sentral kW	kr 5 000 000	kr 60 000	20	kr 5 000 000
Tørrkjølere på tak kW	kr 2 860 000	kr 40 000	15	kr 2 860 000
Varmelager	kr 5 940 000	kr 5 000	60	-
Kjølelager	kr 4 180 000	kr 5 000	60	-

**7 Kjølelager 50% større**

Makseffekt kjølemaskin høytemperatur[kW]	1400
Størrelse kuldager [kWh]	11500
Størrelse varmelager [kWh]	5400
Effekt fjernvarme [kW]	1307

Input	Investeringskostnad	Vedlikehold+drift (pr år)	Levetid	Utskiftingskost
Alternativ 1				
Kjølemaskiner i sentral kW	kr 3 500 000	kr 50 000	20	kr 3 500 000
Tørrkjølere på tak kW	kr 2 002 000	kr 30 000	15	kr 2 002 000
Varmelager	kr 5 940 000	kr 5 000	60	-
Kjølelager	kr 12 650 000	kr 5 000	60	-



<b>8 Ikke kuldager</b>				
Makseffekt kjølemaskin høytemperatur[kW]	2945			
Størrelse kuldager [kWh]	0			
Størrelse varmelager [kWh]	5400			
Effekt fjernvarme [kW]	1245			
Input	Investeringskostnad	Vedlikehold+drift (pr år)	Levetid	Utsiftingskost
Alternativ 1				
Kjølemaskiner i sentral kW	kr 7 362 500	kr 60 000	20	kr 7 362 500
Tørrkjølere på tak kW	kr 4 211 350	kr 40 000	15	kr 4 211 350
Varmelager	kr 5 940 000	kr 5 000	60	-
Kjølelager	kr 0	kr 5 000	60	-

<b>Redusert samtidighet, scenario 2</b>				
Makseffekt kjølemaskin høytemperatur[kW]	1500			
Størrelse kuldager [kWh]	7150			
Størrelse varmelager [kWh]	4800			
Effekt fjernvarme [kW]	1300			
Input	Investeringskostnad	Vedlikehold+drift (pr år)	Levetid	Utsiftingskost
Alternativ 1				
Kjølemaskiner i sentral kW	kr 3 750 000	kr 50 000	20	kr 3 750 000
Tørrkjølere på tak kW	kr 2 145 000	kr 30 000	15	kr 2 145 000
Varmelager	kr 5 280 000	kr 5 000	60	-
Kjølelager	kr 7 865 000	kr 5 000	60	-



<b>Sentral fra forprosjekt</b>				
Makseffekt kjølemaskin høytemperatur[kW]		1540		
Størrelse kuldeler [kWh]		8100		
Størrelse varmelager [kWh]		9000		
Effekt fjernvarme [kW]		1310		
<b>Input</b>	<b>Investeringskostnad</b>	<b>Vedlikehold+drift (pr år)</b>	<b>Levetid</b>	<b>Utskiftingskost</b>
Alternativ 1				
Kjølemaskiner i sentral kW	kr 3 850 000	kr 60 000	20	kr 3 850 000
Tørkjølere på tak kW	kr 2 202 200	kr 40 000	15	kr 2 202 200
Varmelager	kr 9 900 000	kr 5 000	60	-
Kjølelager	kr 8 910 000	kr 5 000	60	-