



Ratio arkitekter as  
MOE A/S  
Erichsen & Horgen as  
Ing Per Rasmusen as  
Ark Kristine Jensens Tegnestue A/S

STATSBYGG

NOTAT 1004501  
LIVSVITENSKAPSBYGGET

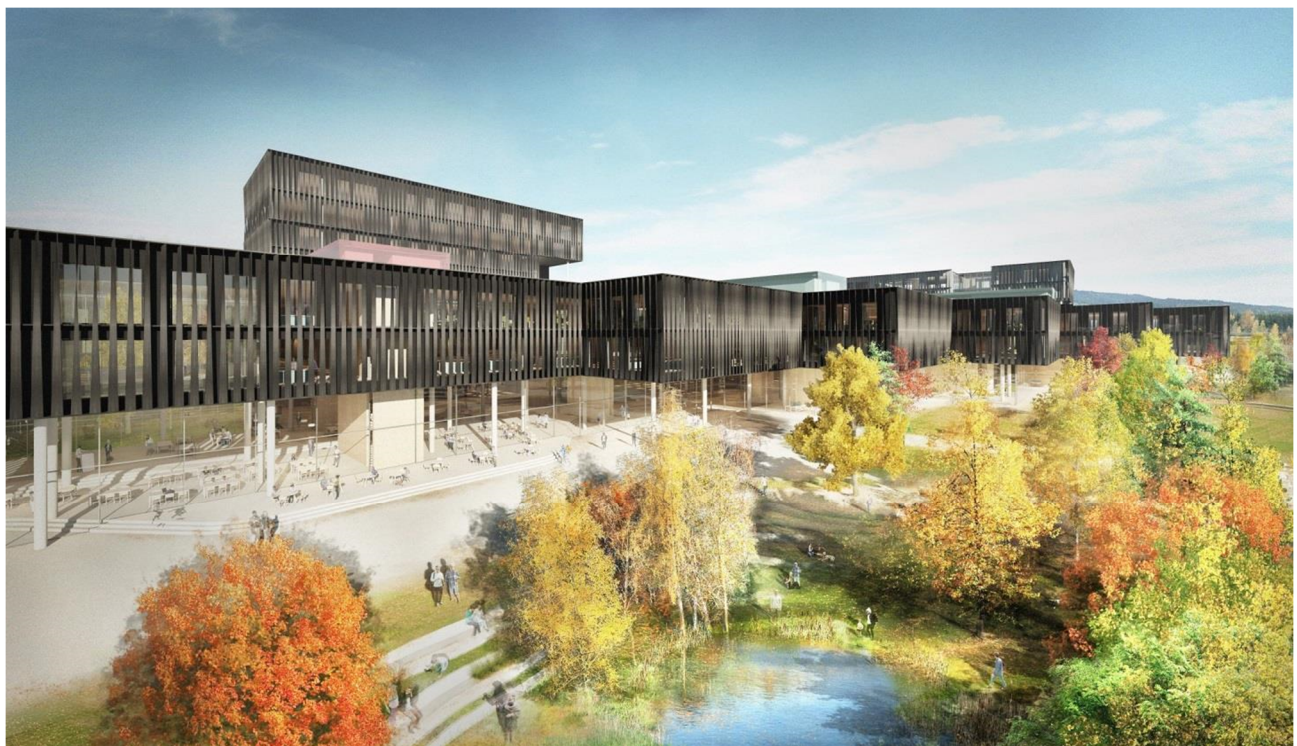
Forprosjekt

Dato: 12.02.2016

1004501 UiO Livsvitenskapsbygget H003  
DOK.NR. NO-RIV-30-13  
DIMENSJONERENDE VARME- OG  
KJØLEEFFEKTER.DOCX

Rev./status: 03

## 1004501 UiO Livsvitenskapsbygget *Dimensjonerende varme- og kjøleeffekter*



Rev.	Beskrivelse	Rev. dato	Utarbeidet av:	Kontrollert av.	Godkjent av:
03	Forprosjekt	24.06.2016	ANS/HBA	GUR	IHB
02	Forprosjekt	15.04.2016	ANS/HBA	GUR	IHB
01	Til TFK	11.03.2016	ANS/HBA	GUR	IHB
00	Foreløpig Statsbygg	12.02.2016	ANS/HBA		
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	
<b>RIV</b>	<b>Erichsen &amp; Horgen as</b>		RIEn	Erichsen & Horgen as	
RIE	Ing. Per Rasmusen as		Breem AP	Erichsen & Horgen as	
LARK	Ark Kristine Jensens Tegnestue AS Bjørbekk & Lindheim 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>KONKLUSJON</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>VARIASJON I FORUTSETNINGER</b> .....	<b>4</b>
3.1	Samtidighet på ventilasjon.....	4
3.1.1	Forutsetninger.....	5
3.1.2	Forutsetninger: Alternativ høy og lav samtidighet.....	6
3.1.3	Resultat av varmebehov og kjølebehov ved valgte samtidigheter .....	6
3.2	Tilluftstemperatur på ventilasjon .....	7
3.2.1	Kjøling.....	7
3.2.2	Oppvarming .....	8
3.3	Entalpi på luft.....	9
3.4	Utstyr.....	11
3.5	Teknisk kjøling VVS, IKT og EL.....	13
<b>4</b>	<b>TOTALT EFFEKTBEHOV KJØLING</b> .....	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>TOTALT EFFEKTBEHOV VARME</b> .....	<b>14</b>
<b>6</b>	<b>EFFEKTVARIGHET</b> .....	<b>15</b>
<b>7</b>	<b>TILTAK FOR REDUKSJON AV INSTALLERT EFFEKT</b> .....	<b>15</b>
7.1	Adiabatisk kjøling .....	15
7.1.1	Ulike systemløsninger.....	16
7.1.2	Sammenlikning av systemene .....	17
7.1.3	LCC-beregning for de ulike systemer .....	17
7.2	Døgnlagertanker for varme og kjøling .....	18
7.2.1	Kuldelagertanker.....	18
7.2.2	Varmelagertanker .....	20
7.2.3	LCC-beregning for alternativ kjøleproduksjon.....	21
	Vedlegg A -Inndata for LCC-beregning av ulike varianter av adiabatisk kjøling .....	23
	Vedlegg B-Inndata for LCC beregning av ulike alternativer for kjøleproduksjon.....	24



Forprosjekt

Rev./status: 03

Dato: 12.02.2016

## 0 FORMÅL

I dette notatet kartlegges og presenteres forutsetningene for de parametere som påvirker det totale effektbehovet til varme og kjøling. Parametere som omhandles i notatet er samtidighet og tilluftstemperatur på ventilasjon, valg av dimensjonerende klima, utstyr og annen teknisk kjøling. Det blir også gjort LCC-vurdering av ulike effekt-reduserende tiltak. Det resulterende effektbehovet til varme og kjøling benyttes videre som grunnlag for teknisk løsning og prinsipiell dimensjonering av den termiske energisentralen.

## 1 BAKGRUNN

De tekniske systemene og energisentralen skal klare ombygninger grunnet endringer i framtidens forskning og arbeidsmetoder. Bygget skal være fleksibelt men ikke i den forstand at det utformes med unødvendige overdimensjoneringer som leder til dårlige systemvirkningsgrader og høye investerings-, drift- og energikostnader. For å få en god og riktig dimensjonering av komponenter i energisentralen og distribusjonssystemet er det derfor viktig å ha oversikt over driftsmønster og internlaste som påvirker effektbehovet til bygget.

Store deler av effektbehovet for oppvarming og kjøling er knyttet til laboratorier og utstyr. Dette er en forutsetning for kjernevirksomheten for de institutter som skal inn i Livsvitenskapsbygget. Varmeavgivelse og bruken av utstyr og avtrekksinstallasjoner som avtrekksskap behøver dermed vurderes for å muliggjøre en god dimensjonering av energisentralen.

Energisentral for varme og kjøleproduksjon skal baseres på kjølemaskiner som benytter byggets internlaste som energikilde. Ref notat *RIV-NO-30-06 Termisk energisentral*. Det er derfor viktig å ha god oversikt over de ulike effektbehov samt variasjon over året.

## 2 KONKLUSJON

Det er p.t. fortsatt store usikkerheter i hvor mye utstyr og størrelse på serverrom som faktisk vil plasseres i bygget, og også da hvor mye grunnlast og varierende last det vil være.

Byggets totale dimensjonerende kjølebehov er beregnet til: **3 429 kW**

Valgte forutsetninger for varme- og kjølebehov gir denne fordeling på kjølebehovet:

- Ventilasjonskjøling 47 %
- Teknisk kjøling 29 %
- Elektro/IKT kjøling 24 %

der utstyr og EI/IKT, står for drøyt 50 %.

Byggets totale dimensjonerende varmebehov er beregnet til: **3 826 kW**

Fordelingen på varmebehovet er tatt utgangspunkt i ventilasjonsvarme i alle forskningsareal og gir dermed størst ventilasjonsvarmebehov. Det er også forutsatt at internlaste reduserer varmebehovet. Oppvarmingen får følgende fordeling av effekten.

- Romoppvarming 11 %
- Ventilasjonsvarme 89 %

Både døgnlagertanker for kulde og varme viser seg å være økonomisk lønnsomme. Dette er grunnet lang levetid, minimale vedlikeholdskostnader og høy alternativkost. Adiabatiske kjøling er



Forprosjekt

Rev./status: 03

Dato: 12.02.2016

ikke økonomisk lønnsomt grunnet høye drifts- og vedlikeholdskostnader, og utgår derfor fra prosjektet.

### 3 VARIASJON I FORUTSETNINGER

Dimensjoneringen av kjøle- og varmebehovet er avhengig av hvilket "nivå" i bygningen man opererer. Ved dimensjonering av enkelte rom eller aggregater (nivå 1 og 3), må man ha en større samtidighet på parameterne som påvirker varme- og kjølebehovet enn når man skal dimensjonere energisentralen (nivå 4). Dette notat og variasjoner i forutsetninger er grunnlag til Nivå 4, energisentralen.

Grunnet at fleksibilitet og generalitet i bygget skal ivaretas, vil forutsetningene under være dimensjonert etter ulike typer arealforutsetninger

- Ventilasjon: Generelle laboratorie kategori 2 er den avtrekkstunge kategorien, med programmert areal på 15%. 30% av arealet for generelle laboratorier er forutsatt som kategori 2 ved dimensjonering av varme- og kjøleeffekter til ventilasjon.
- Teknisk kjøling: Kjølebehovet for å håndtere varmeavgivelse fra utstyr i kategori 3 er større enn for både kategori 1 og 2. Kategori 3 er programmert til å utgjøre 30 % av totalt areal til generell lab. Også 30 % er forutsatt for dimensjonering av teknisk kjøling.

#### 3.1 Samtidighet på ventilasjon

Behovet for ventilering er avhengig av internlastene og prosessene i rommet. Med behovsstyrt ventilasjon kan luftmengden reduseres når det er lave internlaste og det ikke er behov for høye luftmengder for å ivareta en prosess. Samtidigheten er den sannsynlige andelen av maksimal luftmengde som brukes i et rom eller i en bygning. Samtidigheten for ventilasjonen gir grunnlaget for beregning av ventilasjonskjøling og ventilasjonsvarme.

Bruken av avtrekksskap har stor innvirkning på samtidigheten på ventilasjonen, spesielt på undervisningslab og forskningslab kategori 2. Grunnet dette ble det utført intervjuer og spørreskjema hos brukerne i kategori 1, 2 og undervisningslab, som utgjorde grunnlaget for vurderingen av samtidighet, se eget notat *Bruksmønster avtrekksskap*<sup>1</sup>. I notatet er det gjort en tydelig fordeling på andel avtrekksskap som er for brukerens forsøk og andelen avtrekksskap som er for utstyr. Dette er grunnet at bruken og åpningsgraden på disse er forskjellig, samt muligheten for å endre utstyrsavtrekksskap til et forenklet avtrekksskap med kun basis ventilasjonsmengde eller annen type avtrekksinstallasjon. Det er i dag generelt dårlig disiplin på å lukke skapene etter endt arbeidsøkt. Dette er noe som UiO bør jobbe for å bedre gjennom opplæring eller valg av funksjoner på nye skap, og som til en viss grad må kunne forutsettes i forbindelse med dimensjonering.

De forutsetninger som ligger til grunn for videre beregninger vises i tabell 3.1.a, begrunnelsen til valgte samtidigheter er forklart under.

---

<sup>1</sup> NO-RIEn-30-02-Bruksmønster avtrekksskap



Tabell 3.1.a Valgte samtidigheter i ulike arealer av Livsvitenskapsbygningen

	Samtidighet vinter dag [%]	Samtidighet vinter natt [%]	Samtidighet sommer dag [%]	Samtidighet sommer natt [%]
<b>Annet</b>	100	0	100	0
<b>Auditorium</b>	100	0	70	0
<b>Kontor</b>	50	0	50	0
<b>Varemottak</b>	100	30	100	30
<b>24h drift</b>	100	100	100	100
<b>Undervisningslab</b>	94	20	47	20
<b>Gen. lab kat. 2</b>	80	20	80	20
<b>Gen. lab kat. 1 &amp; 3</b>	36	20	36	20
<b>Totalt</b>	76	23	64	23

### 3.1.1 Forutsetninger

#### Undervisningslab

For undervisningslab tas det utgangspunkt i den samtidighetsanalyse som UiO har laget. Grunnet fleksibilitet forutsettes for dimensjonering av vinterforhold at alle forsøksavtrekksskapene er åpne samtidig samt 40 % av utstyrsavtrekksskapene. Dette gir en total samtidighet for ventilasjonen på 94 %. For sommerforhold er det i dagens samtidighetsanalyse fra UiO ikke lagt inn bruk av undervisningslabene. Grunnet fleksibilitet og mulighet for fremtidig sommerbruk anbefales en dimensjonering på 50% kapasitet av undervisningslabene under dimensjonerende sommerforhold.

#### Generelle lab kategori 2

Brukerne i kategori 2 er store deler av sin tid i laben og jobber da overveiende i avtrekksskap. Ved "normal" bruk, er frontluka på forsøksavtrekksskapet i arbeids- eller makshøyde, 78% av driftstiden for kategori 2. Ved en sannsynlighetsberegning for samtidighet er det forutsatt at forsøks- respektive utstyrsavtrekksskapene har maksimum åpning 78 % respektive 17 % av driftstiden, resterende av tiden står luka i minimum. Det gir en maksimal samtidighet for alle forsøks- og utstyrsavtrekksskap for kategori 2 på 90 %, hvilket betyr at andelen skap som sannsynligvis står på maksimum samtidig er 90 % av alle forsøksavtrekksskap i kategorien. For utstyrsavtrekksskapen er samtidigheten 40 %.

For dimensjonering av energisentral for vinterdrift og sommerdrift er det for kategori 2 anbefalt å bruke:

- Avtrekksskap fordelt på to kategorier: 70 % forsøk- og 30 % utstyrsavtrekksskap
- Maksimal samtidighet for maksimum åpning for forsøksavtrekksskapene er 90 %,
- Maksimal samtidighet for maksimum åpning for utstyrsavtrekksskapene er 40 %.

Dette gir en total samtidighet for luftmengden i kategori 2 på 80 %.

#### Generelle lab kategori 1 og 3

For kategori 1 er bruken av avtrekksskap betydelig mindre enn i kategori 2. Her trenger man færre avtrekksskap og bruken, med åpning i arbeidshøyde, er ca. 0,5-1 h per dag. En sannsynlighetsregning for samtidighet med forutsetningen at avtrekksskapene har maksimum åpning 13 % av driftstiden, gir en maksimal samtidighet for alle avtrekksskap for kategori 1 på



Rev./status: 03

Forprosjekt

Dato: 12.02.2016

20 %, hvilket betyr at andelen skap som står på maksimum samtidig er 20 %. De andre skapene står da på minimumposisjon. Dette grunnlag gir en total samtidighet for luftmengdene på 36 %. Grunnet at det er få avtrekksskap og lav samtidighet på dem vil avtrekksskapene sjelden være dimensjonerende for valg av luftmengden i rommet. Grunnet fortsatt store usikkerheter, spesielt i kategori 3, er det valgt å bruke 22 m<sup>3</sup>/h m<sup>2</sup> som utgangspunkt for dimensjonering i kategori 1 og 3.

### Kontor

I en typisk kontorbygning er personer tilstede i 20-60 % av rommene på et gitt tidspunkt. Avhengig av grunnventilasjonen gir dette en ventilasjonsmengde på 40-70 % av dimensjonerende luftmengde som et tilsvarende CAV-anlegg ville hatt.<sup>2</sup> Kontorene i Livsvitenskapsbygget brukes av forskere som har 2 primærarbeidsplasser; Ett vanlig kontor og en forskningslab. Med dette grunnlag er det forutsatt en samtidighet i kontorområde i Livsvitenskapsbygget på 50 %.

### Auditorium

For auditorium er det antatt 100 % samtidighet på vinteren når undervisningen er i full gang. På sommeren har vi antatt en redusert bruk, med antatt samtidighet på 70 %.

### Annet, 24 h drift og varemottak

Det er antatt 100 % samtidighet i rom som garderober, kjøkken, kantine og varemottak, men 50 % samtidighet i foajé. Det er også forskningsområder innen *Felles infrastruktur og forskning*, slik som In-vivo, MS, NMR, Nano og BSL3 som skal ha tilnærmet 100 % samtidighet hele døgnet.

### Døgnvariasjoner

Ventilasjonsbehovet varierer stort mellom natt og dag. Det er antatt at ventilasjonen på kontor, auditorium, kantine og kjøkken, slås av om natten eller bruker omluft.

For undervisningslab og forskningslab, er det en konstant grunnluftmengde på 20 % av dimensjonert, slik avtrekksskapene i rommene alltid har minimumluftmengde. Varemottaket er antatt å bruke 30 % av dim. luftmengde under nattestid. For laboratorier i *Felles infrastruktur og forskning*, slik som In-vivo, MS, NMR, Nano og BSL3 er det antatt 24h drift og dermed ingen reduksjon av luftmengdene.

#### 3.1.2 Forutsetninger: Alternativ høy og lav samtidighet

Det er ved vurdering av samtidighet laget en høy og en lav samtidighet som kan tilsvare det intervallet som samtidigheten kan variere. Den høye samtidigheten er satt til 100 % for hele bygningen. For den lave samtidighet har man antatt en reduksjon av samtidigheten i kontor og møterom til 30 %, grunnet at fordelingen av arbeid mellom kontor, møterom og forskningslab kan slå ut mer enn antatt. For undervisningslab og forskningslab. kategori 2 er det antatt at rotavaporer kun har basisluftmengder. Det er også lagt inn 70 % samtidighet for kantina, da en stor samtidighet i kantina bør antas med en samtidig reduksjon av samtidighet i de andre arealene. Videre er det antatt en redusert samtidighet i foajéen til 30 % for dimensjonering av energisentralen, men dette forutsetter vinduslufting under dimensjonerende forhold.

#### 3.1.3 Resultat av varmebehov og kjølebehov ved valgte samtidigheter

Ved dimensjonering av varme- og kjølebehov til energisentralen (nivå 4), er en 100 % samtidighet for hele bygningen ytterst usannsynlig. Det er derfor viktig å redusere samtidigheten til et sannsynlig utfall, slik beskrevet i tabell 3.1.a. Valgt samtidighet "Nivå 4 Middel" gir en

<sup>2</sup> Halvarsson, J. PhD Behovstyrt ventilasjon



reduksjon av varmebehovet til ventilasjonen på nærmere 0,9 MW om dagen og drygt 3,3 MW om natten. Kjølebehovet reduseres også med nærmere 1,0 MW om dagen og ned til omtrent 0 kW kjølebehov om natt.

Den største reduksjonen av kjølebehovet fra alternativ *Høy til Middell* skyldes samtidighetene på 50 % i kontorene, 47 % i undervisningslabene og 80 % i kategori 2-labene. Kontorene som har en tilluftstemperatur på 17 °C, reduserer kjølebehovet med nærmere 500 kW, mens undervisningslaben som har en høyere tilluftstemperatur på 22 °C og dermed ikke like stort behov for nedkjøling av utelufta, reduserer kjølebehovet med 170 kW. Til sammen reduseres kjølebehovet fra 2,6 MW til 1,6 MW. En mulig videre reduksjon til 1,4 MW vises i Nivå 4 Lav, men kan kun brukes ved nevnte premisser som vinduslufting i foajé.

Den største reduksjonen for oppvarming fra *Høy til Middell* skyldes de samme kategoriene som for kjøling, med 50 % samtidighet i kontorene og foaje, samt 80 % samtidighet i kategori 2-lab og 94 % samtidighet i undervisningslab. Samtidighetsreduksjonen på 6 % for undervisningslabene reduserer eksempelvis varmebehovet med 70 kW, med en tilluftstemperatur på 22 °C. Dette viser på hvor mye samtidigheten og dermed brukerdisciplinen kan påvirke effektbehovet og også dimensjoneringen av energisentralen. Til sammen reduseres varmebehovet fra 4,6 MW til 3,7 MW. En mulig videre reduksjon til 3,5 MW vises i Nivå 4 Lav, men kan kun brukes ved nevnte premisser i 3.1.2.

Den største reduksjonen i varme- og kjølebehov skjer nattetid, da kontoraggregatene slås av og undervisningslab og forskningslaboratorier går på minimumluftmengde. For sommersesongen brukes også frikjøling når utetemperaturen nattetid synker.

Tabell 3.1.b Effektbehov ved valgt samtidighet for luftmengde og tilluftstemperaturer tilsv. Alt 1. i kap. 3.2

	Varmebehov ventilasjon [kW]				Kjølebehov ventilasjon [kW]			
	Dag	Samt.	Natt	Samt.	Dag	Samt.	Natt	Samt.
Nivå 4 Høy	4 619	100 %	4 619	100 %	2 587	100 %	272	100 %
<b>Nivå 4 Middell</b>	<b>3 729</b>	<b>75 %</b>	<b>1 268</b>	<b>20 %</b>	<b>1 618</b>	<b>65 %</b>	<b>2</b>	<b>20 %</b>
Nivå 4 Lav	3 527	67 %	1 268	20 %	1 397	58 %	2	20 %

Valgt alternativ å gå videre med er Nivå 4 Middell.

## 3.2 Tilluftstemperatur på ventilasjon

### 3.2.1 Kjøling

Klimatiseringen i rommet sommerstid avhenger i stor grad på valgt tilluftstemperatur. Det var i en første vurdering, tatt utgangspunkt i en lav tilluftstemperatur på 17 °C under sommersesongen, grunnet risiko for overtemperaturer. I arealer som forskningsarealer og undervisningslab, der det er høye luftmengder grunnet avtrekksskap og utstyr, er dette gitt motsatt effekt med risiko for utilfredsstillende termisk komfort grunnet trekk og lav innetemperatur. Det er derfor valgt tre alternativer, som utgangspunkt for vurdering i forprosjektet

- Alternativ 0 med 17 °C som tilluftstemperatur i hele bygningen
- Alternativ 1 med 22 °C som tilluftstemperatur i alle forskningslaboratorier og undervisningslab, men 17 °C i alle andre arealer



Rev./status: 03

## Forprosjekt

Dato: 12.02.2016

- Alternativ 2 med 22 °C som tilluftstemperatur i alle forskningslaboratorier og undervisningslab, og en økt tilluftstemperatur på 20 °C for alle andre arealer.

Tabell 3.2.a Tilluftstemperaturer for alternativ 0-2. Valgt alternativ 1.

	Alt 0 [°C]	<b>Alt 1</b> [°C]	Alt 2 [°C]
U.lab & alle forskningslab	17	<b>22</b>	22
Andre arealer	17	<b>17</b>	20

*Alternativ 1* gir romkjølebehov på nærmere 0 kW, med et visst behov på møterom og grupperom. Ved en lavere tilluftstemperatur som i *Alt 0* øker ventilasjonskjølebehovet, men kan også gi en positiv effekt på enkelte rom der det ellers trengs teknisk kjøling på utstyr. Utstyrstunge støtterom, som instrumentrom og rom med frysere er slike type rom som i utgangspunktet trenger kjøling og dermed er i behov av mindre kjøling ved lavere tilluftstemperatur, se videre 3.4.

Ved å gå fra *alt 0 til alt 1* å øke tilluftstemperaturen i forskningslaboratoriene og undervisningslab reduseres det dimensjonerende kjølebehovet med nærmere 0,6 MW, fra 2,3 MW til 1,7 MW, inkludert påvirkningen på den tekniske kjølingen på utstyr.

Ved å øke tilluftstemperaturen også i resterende arealer i bygningen fra 17 ° til 20 °C, *Alt 1 til Alt 2* øker det totale kjølebehovet da behovet for romkjøling og teknisk kjøling øker tilsvarende. Den største gevinsten ved økning av tilluftstemperatur får vi dermed ved å kun øke tilluftstemperaturen i undervisningslab og forskningslaboratorier. Det er derfor valgt å bruke *Alternativ 1* som forutsetning for videre dimensjonering.

Tabell 3.2.b Kjølebehov ved valgte tilluftstemperaturer

	Alt 0 [kW]	<b>Alt 1</b> [kW]	Alt 2 [kW]
Romkjøling	-149*	<b>3</b>	496
Ventilasjonskjøling	2 410	<b>1 681</b>	1 307
Total	2 261	<b>1 684</b>	1 803

\*Teknisk kjøling til utstyr, se videre 3.4

Grunnet at det i forprosjektet har kommet kort på plassering av utstyr i rom, vil det være behov for en mer detaljert gjennomgang av valg av tilluftstemperatur på enkelte utstyrstunge rom, for valg av mest optimal løsning på kjøling.

Romkjølingen for dette kapittel er for dimensjonerende sommerforhold for dimensjonering av energisentralen (nivå 4). Ved dimensjonering på lavere nivåer, må man ta hensyn til at det kan være større romkjølebehov på enkelte rom, eksempelvis møterom, under resten av året, når tilluftstemperaturen til disse rommene er høyere, se også videre 3.2.2

### 3.2.2 Oppvarming

Det var ved første vurdering tatt utgangspunkt i vannbåren romoppvarming. For en slik romoppvarming er det fortsatt behov for en høy tilluftstemperatur for avtrekkstunge arealer som undervisningslab og forskningsarealer for kategori 2. Det er videre vurdert muligheter for å varme bygningen med kun ventilasjonsluften, der hele bygningen har en tilluftstemperatur på 22 °C.





Rev./status: 03

## Forprosjekt

Dato: 12.02.2016

- Alt 1 klimatiserer alle forskningsarealer og undervisningslab mha ventilasjonen, med en tilluftstemperatur på 22 °C. Alle andre arealer har romoppvarming og tilluftstemperatur på 20 °C.
- Alt 2 klimatiserer alle rom med en tilluftstemperatur på 22 °C, med noe behov for romoppvarming i enkelte rom.

Tabell 3.2.c Tilluftstemperaturer for alternativ 1 og 2. Valgt alternativ 1.

	Alt 1 [°C]	Alt 2 [°C]
U.lab & alle forskningslab	22	22
Andre arealer	20	22

Økningen av tilluftstemperaturen fra *Alt 1 til Alt 2* garanterer ikke den termiske komforten i alle rom i bygningen, hvilket innebærer behov for en ekstra varmekilde. Variasjoner i bruk av rommene på samme aggregat kan redusere fleksibiliteten ved ventilasjonsvarme og også øke romkjølingen med 0,5 MW, tilsvarende som på sommeren, se 3.2.1.

Det er derfor valgt å bruke *alternativ 1* som forutsetning for videre dimensjonering.

Tabell 3.2.d Varmebehov ved valgte tilluftstemperaturer

	Alt 1 [kW]	Alt 2 [kW]
Romoppvarming	718	479
Ventilasjonsvarme	3 729	3 894
Total	4 447	4 373

### 3.3 Entalpi på luft

De tekniske systemene og energisentralen skal klare ombygninger grunnet endringer i framtidens forskning og arbeidsmetoder. Utenom endringer innvendig bør bygget være bestandig mot eventuelle klimaendringer under dess levetid. Bygget skal være fleksibelt men ikke i den forstand at det utformes med unødvendige overdimensjoneringer som leder til dårlige systemvirkningsgrader og høye investerings-, drift- og energikostnader.

For kjøling gir kombinasjonen av høy temperatur og høy uteluftfuktighet svært stort utslag på effekten, dette uttrykkes ved luftens entalpi. Ofte stilles det krav til å dimensjonere inneklimate i bygg etter standarden med ekstremt uteklimate som vi har liten dokumentasjon på hvor hyppig opptrer. Et viktig spørsmål i forhold til dimensjonering er hvor ofte en utelufttilstand med kombinasjon av høy temperatur og luftfuktighet inntreffer. Krav i arbeidsmiljølov og byggeforskrifter angir at temperaturen inne kan overskride 26 °C, 50 timer i arbeidstiden. Det vil derfor være riktig å se på hvilken entalpi som overskrides i 50 timer av arbeidstiden og ta utgangspunkt i dette. På bakgrunn av eksisterende klimadata, kan diagram for entalpi som ikke overskrides et gitt antall timer i arbeidstiden beregnes og danne dimensjoneringsgrunnlag.

Ved dimensjonering er det vanlig å bruke 26 °C og RF 50 % eller 26,7 °C og RF 47 % ( $DUT_s$ ). En høyere entalpi, som medfører et høyere kjølebehov kan også forekomme, med utetemperatur på 27 °C og 50 eller 60 %.

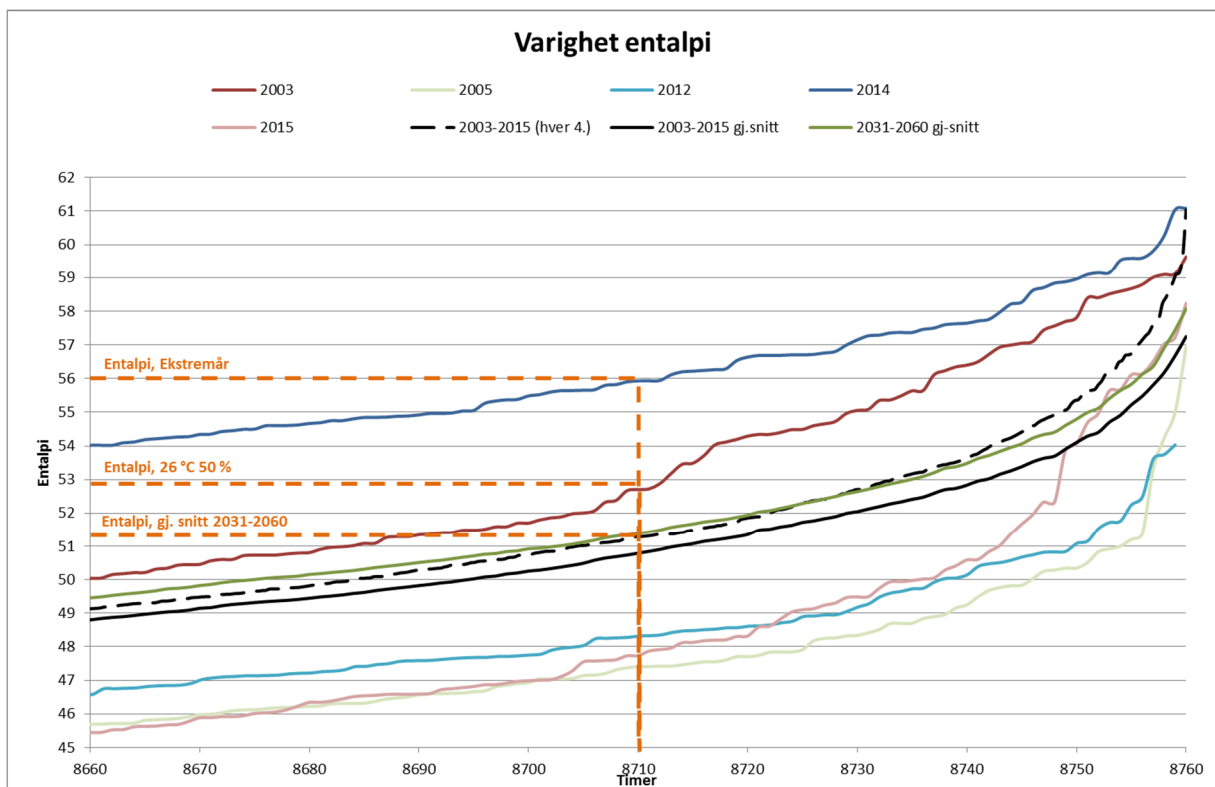


Ved vurdering av valg av dimensjonerende entalpi for dimensjonering av kjølebehovet for Livsvitenskapsbygget er dette lagt som grunnlag:

- Klimadata fra de 13 siste årene
- Vurdering av framskriving av klimadata, med utgangspunkt i Rapporten Klima 2100<sup>3</sup> og klimaendringer til 2031-2060.
- Overskridelse av 26 °C og RF 50 % i utelufta (totalt for året)
- Entalpi for alternativt DUT<sub>s</sub> 26 °C og 50 %

Figur 3.3.a viser den øverste delen av varighetskurver for ekstremårene mellom 2003-2015 og gjennomsnittskurve for de årene, samt gjennomsnittskurve for framskriving til 2031-2060. Figuren viser data fra alle timer i året, og vil dermed være konservativ, mtp kravet av overskridelse av 50 timer i arbeidstiden.

Ved dimensjonering med bruk av DUT<sub>s</sub> vil bygget klare klimakravet alle år unntatt et ekstremår som det var i 2014. For ekstremåret 2014 ville man trenge øke entalpien fra 53 til 56 kJ/kg. Hvis man heller skulle bruke gjennomsnittsverdier for 2031-2060 ville man senke entalpien til 51 kJ/kg.



Figur 3.3.a Varighetskurve entalpi med utvalgte ekstremår i perioden 2003-2015, samt gjennomsnitt 2003-2015 og framskrivingen 2031-2060

Effektbehovet er proporsjonalt med differensen mellom uteluftens entalpi og ønsket entalpi på tilluft. Konsekvensen av et tilsvarende valg av entalpi for effektbehovet er vist i Tabell 3.3.a.

<sup>3</sup> Klima i Norge 2100, NCCS Report no. 2/2015, Miljødirektoratet



Rev./status: 03

Forprosjekt

Dato: 12.02.2016

Hvis entalpien skulle velges etter ekstremår, ville kjøleeffekten øke med 32 % for Livsvitenskapsbygget. Tilsvarende skulle kjølebehovet reduseres med 12 % ved valg av en gjennomsnittsverdi 2031-2060.

Tabell 3.3.a Effektbehov kjøling ved ulike valg av entalpi

Alternativ	Kilde	Entalpi [kJ/kg]	Effekt [kW]
Entalpi Høy	2014	56	2220
<b>Entalpi Middel</b>	<b>26 °C, RF 50 %</b>	<b>53</b>	<b>1680</b>
Entalpi Lav	2031-2060 gjsnitt	51	1480

Vi vil velge å bruke standardverdi 26 °C/ RF 50 %, som vil klare dagens klima og også gjennomsnitt av fremtidens klima med god margin. Å velge *Entalpi Høy*, ville føre til en så stor overdimensjonering under et gjennomsnittlig år, at dette ikke vil være aktuelt.

### 3.4 Utstyr

Det er fortsatt store usikkerheter knyttet til hva som skal inn av utstyr i Livsvitenskapsbygningen og om alt utstyr fysisk får plass. Det er spesielt den utstyrstunge, generelle lab kategori 3, der det fortsatt er store usikkerheter, se videre notat NO-RIEn-30-05-Brukerutstyrets påvirkning.

Grunnlaget for vurdering av kjølebehov til utstyr er utdrag fra dRofus 24.02.16, uken etter utstyrssærmøter og de siste brukermøtene. Det er registrert 3619 artikler med registrert effekt inne i dRofus per 24.02.16, i sammenligning med 2403 stk registrerte artikler 27.01.16. Antall utstyr med registrert effekt har dermed økt med 50 % etter utstyrssærmøtene.

Effektbehovet for kjøling til utstyr inkluderer:

- Utstyr innlagt i dRofus 24.02.16
- Kopi/printere innlagt i dRofus

Effektbehovet for kjøling inkluderer ikke:

- Utstyr som ikke antas å ha behov for ekstra romkjøling grunnet lave internlaste i rommet og høyt luftskifte.
- Kjølerom og fryserom (se videre kap 13)
- Ev. Kjøkken-kjølebehov
- PC- og AV-utstyr, der det ikke er behov for romkjøling under dimensjonerende tilstand
- IKT- og EI-rom, blir omhandlet i kap 3.5
- VVS teknisk kjøling: Trykkluftskompressor, nitrogengenerator, blir omhandlet i kap 3.5
- Filter fan units (FFU) fro nanolaben, fortsatt stor usikkerhet gjør at dette ikke er inkludert i dimensjonerende kjølebehov i forprosjektet

Figur 3.4.a viser variasjonen av kjølebehov for brukerutstyr for ulike funksjoner i bygningen, der arealer for *Felles infrastruktur og forskning* har det største totale kjølebehovet, mens *Felles funksjoner lab* har det største spesifikke kjølebehovet. Den høye grunnlasten for den sistnevnte skyldes rom for fjernfrysere med frysebokser og-skap -80 ° og -150 °C. Den varierende lasten her skyldes først og fremst vaskerom med autoklaver, laboratorievaske maskiner og varmeskap. I *Felles infrastruktur og forskning* ligger NMR-laben som utgjør den største delen av grunnlasten sammen med kjøleskap og frysere. Den varierende lasten skyldes analysatorer og mikroskopierommene.



Rev./status: 03

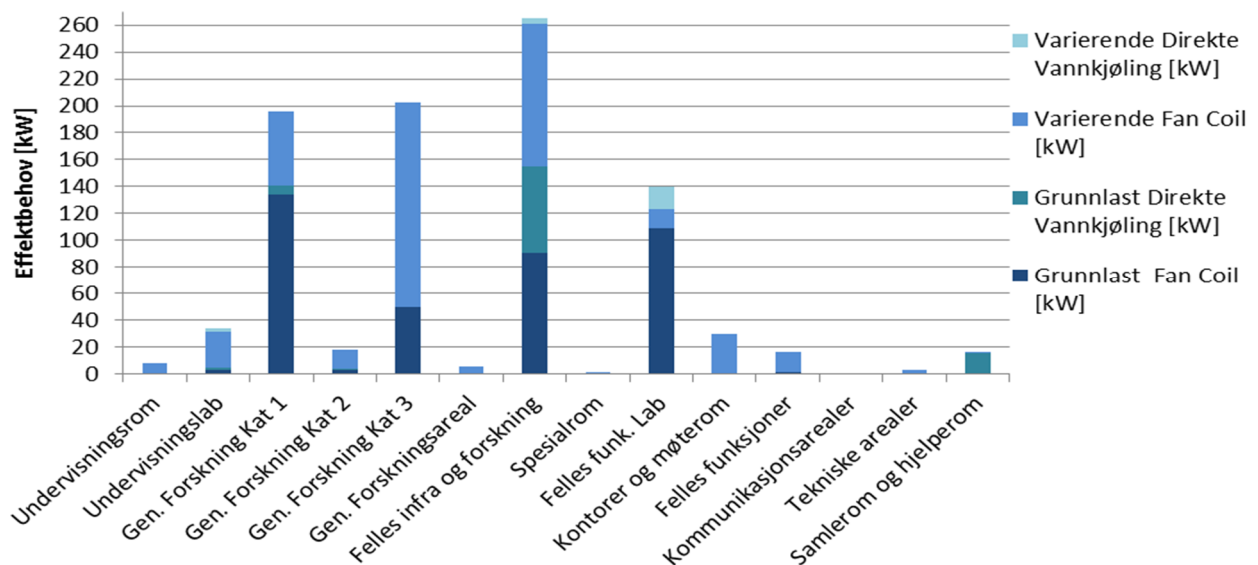
Forprosjekt

Dato: 12.02.2016

Av de generelle laboratoriene er det kategori 3 som er mest utstyrstung  $W/m^2$  (30 % av gen. forskningsareal), med analysatorer og frysebokser som grunnlast og høytemperaturovner sammen med andre analysatorer som varierende last. Kategori 1 har også et høyt kjølebehov, men spredt over et større areal (55 % av gen. forskningsareal). Grunnlasten skyldes først og fremst de 63 stk ultrafrysere som er plassert i arealene, samt inkubatorer og vanlige kjøleskap og frysere. Den varierende lasten i samme arealer skyldes analysatorer, cytometere, sentrifuger og sikkerhetskabinetter. Kategori 2 (18 % av gen. forskningsareal) er den avtrekkstunge kategorien og har dermed ikke store kjølebehov for utstyr.

I undervisningslab er det mest varierende laster som er avhengig av bruken av rommene og utstyret. Dette er eksempelvis sentrifuger, vakuumpumper til rotavaporer, laboratorievaske maskiner, autoklav, inkubatorer og varmeskap.

Det er utført en vurdering på bruk og samtidighet på noen av utstyrene der den informasjonen er gitt av brukerne.



Figur 3.4.a Kjølebehov for utstyr per funksjon

Det er programmert 8 stykk kjølerom i bygningen mellom 7,5 og 20,6  $m^2$  og 1stk fryserom  $-20^{\circ}C$  på 16  $m^2$ . Det er estimert et totalt effektbehov for kjøling av kondensatorer til disse rommene på 73 kW som inkluderes i kjølebehovet under.

Usikkerhetene for den brukerutstyrstunge generelle labkategori 3, arealkapasitet i forhold til plassbehov samt manglende informasjon om varmeavgivelse påvirker vurderingen av effektbehovet for kjøling for hele bygningen. Det totale effektbehovet gikk opp med 50 % fra 27.01.16 og 24.02.16, når utstyrslisterne ble mer spesifisert, spesielt for kategori 3.

*Alternativ Middell* er alt utstyr som ligger i dRofus i dag, med den vurdering av bruk og samtidighet på utstyr der informasjonen er gitt av bruker.

*Alternativ Høy* er densamme som *Middell* men innlagt den usikre informasjon vi har på testtriggene for kategori 3 Katalyse, antatte 50 st FFU-tak (Fan Filter Unit) til Nano, samt noe høyere samtidighet på enkelte utstyr.



*Alternativ Lav* er det utført en øvelse på en reduksjon av kategori 3 arealer til 15 % med fordel for utstyrslette kategori 2 som da får 30%. Ultrafrysere i fjernfryserom er satt på nitrogen. Varmeavgivelsen av konfokalmikroskopene hos funksjonen *Optisk spektroskopi* samt er redusert, grunnet sannsynlig utvikling av utstyret. For videre dimensjonering er *Alternativ Middell* valgt.

Tabell 3.4.a Kjølebehov for utstyr

	Høy [kW]	<b>Middell</b> [kW]	Lav [kW]
Brukerutstyr Varierende	464	<b>389</b>	301
Brukerutstyr Grunnlast	571	<b>445</b>	321
Kjøle/fryserom Grunnlast	73	<b>73</b>	73
Total	1108	<b>907</b>	695

Utstyr utgjør 25% av det totale kjølebehovet i bygningen.

### 3.5 Teknisk kjøling VVS, IKT og EL

Annen teknisk kjøling er oppdelt i VVS, IKT og EI.

Den VVS tekniske kjølingen er til trykkluftskompressorer og nitrogengeneratorer og har et kjølebehov på 80 kW.

Kjølebehov for teknisk kjøling for IKT og EI inkluderer:

- 1 stk Datarom
- 2 stk Hovedkoplingsrom
- 57 stk Telematikkrom
- 2 stk Hovedtavle
- 57 stk Elrom
- 4st UPS tavlerom
- Inverter til solceller i tårn

Det inkluderer ikke:

- GSM-rom (Ikke avklart og har. Liten effekt)
- Eventuell varmeavgivelse fra strømskinner i kulvert eller sjakt

Det totale dimensjonerende kjølebehovet for EI og IKT er 1160 kW. Forutsetningene for dimensjonering av energisentral, nivå 4, er en samtidighet på 70 % på telematikkrom og elrom samt 75 % på hovedtavle. Dette gir et kjølebehov på 820 kW.

For natt er det antatt en samtidighet i forhold til dagtid på: Datarom 66 %, Hovedkoplingsrom og hovedtavle EI 70 %, Telematikkrom og Elrom 50 %. Dette gir et kjølebehov på natten på 500 kW.

Tabell 3.5.a Forutsetninger for dim. kjølebehov for EI og IKT



	Total Kjølebehov [kW]	Total Kjølebehov Nivå 4 [kW] Dag	Total Kjølebehov Nivå 4 [kW] Natt
Datarom IKT høy	450	<b>450</b>	<b>300</b>
Hovedkoplingsrom (HKR)	60	<b>60</b>	<b>42</b>
Telematikkrom (etasjefordeler)	209 (313)	<b>126</b>	<b>57</b>
Hovedtavle Nett/UPS	30	<b>23</b>	<b>16</b>
Elkraft Underfordeling	285	<b>143</b>	<b>71</b>
UPS	0	<b>0</b>	<b>0</b>
UPS-tavlerom	17	<b>17</b>	<b>17</b>
Invertere til solceller i tårn	6	<b>3</b>	<b>0</b>
<b>Total</b>	<b>1160</b>	<b>821</b>	<b>502</b>

#### 4 TOTALT EFFEKTBEHOV KJØLING

For videre dimensjonering av energisentralen har vi lagt disse forutsetninger til grunn fra kap 3:

- **Samtidighet ventilasjon:** Samtidigheten vist i tabell 3.1.a Alternativ Middel.
- **Tilluftstemperatur ventilasjon:** Alternativ 1 med 22 °C som tilluftstemperatur i forskningslaboratorier og undervisningslab, men 17 °C i alle andre arealer.
- **Entalpi:** Dim. utetem. 26 °C, RF 50%
- **Utstyr og VVS:** Alternativ Middel, for dag og kun grunnlast for natt.
- **Elektro/IKT:** Alternativ Kjølebehov Nivå 4 dag og natt.

	Dag	Natt
Ventilasjonskjøling	1 618 kW	0 kW
Teknisk kjøling	990 kW	536 kW
Elektro/IKT kjøling	821 kW	502 kW
<b>Total</b>	<b>3 429 kW</b>	<b>1 038 kW</b>

#### 5 TOTALT EFFEKTBEHOV VARME

For videre dimensjonering av energisentralen har vi lagt disse forutsetninger til grunn fra kap 3:

- **Samtidighet ventilasjon:** Samtidigheten vist i tabell 3.1.a Alternativ Middel
- **Tilluftstemperatur ventilasjon:** Alt 1 klimatiserer forskningsarealer og undervisningslab mha ventilasjonen, og en tilluftstemperatur på 22 °C. Alle andre arealer har romoppvarming og tilluftstemperatur på 20 °C.
- **Internlaster:** Det er også tatt hensyn til varmetilskuddet fra internlaster på dagtid unntatt i undervisningslab og gen. lab kat. 2. Dette reduserer det totale varmebehovet.

	Dag	Natt
Romoppvarming	718 kW	718 kW
Ventilasjonsvarme	3 729 kW	1 268 kW
Internlaster	-620 kW	-65 kW
<b>Total</b>	<b>3 826 kW</b>	<b>1 921 kW</b>



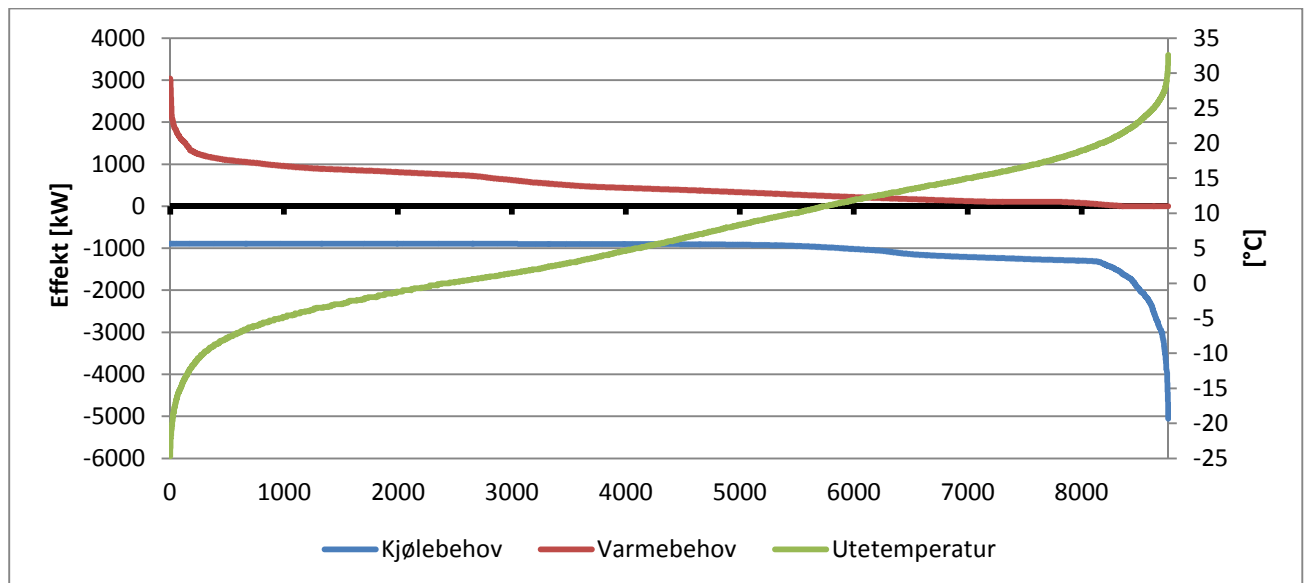
Forprosjekt

Rev./status: 03

Dato: 12.02.2016

## 6 EFFEKTVARIGHET

Med de valgte forutsetninger for varme- og kjølebehov samt døgnmiddeltemperatur for Blindern er det laget en effektvarighetskurve for bygget. Som utgangspunkt er det benyttet timesverdier fra års-simulering av bygget i IDA ICE. Videre er disse verdiene justert med tillegg for teknisk kjøling, snøsmelt og tappevann:



Figur 6.1. Effektvarighetskurve for varme og kjøling.

Blå kurve viser effektvarighet for kjøling. Her ligger det en gjennomsnittlig grunnlast for kjøling til IKT og teknisk utstyr på ca. 888 kW igjennom hele året. Dette er en middelværdi mellom effektbehov på dag og på natt. Ved å benytte overskuddsvarme fra kjøleproduksjon som varmekilde vil man få dekket over 90 % av energibehovet til oppvarming. Det resterende effekt- og energibehovet dekkes av fjernvarme.

I lange perioder av året er det et overskudd av varme som vi ikke får benyttet ettersom bygget har et lavt varmebehov. Denne overskuddsvarmen må fjernes via tørrkjølere på tak, og det er ønskelig å minimere denne installasjonen

## 7 TILTAK FOR REDUKSJON AV INSTALLERT EFFEKT

Som vist i effektvarighetsdiagrammet er det høye effekt-topper for både kjøling og varme. Disse krever kostbar installasjon som vil være i drift kun en kort periode i året. For å senke disse toppene er det sett på muligheten for at det kan installeres adiabatisk kjøling og/eller døgnlagertanker.

### 7.1 Adiabatisk kjøling

Adiabatisk kjøling går ut på at luft blir tilført fuktighet (vann), via fordamsting eller forstøvning. Noe av energien i luften går da med til å omdanne vannpartikler til damp, og temperaturen i luften faller. Avtrekksluften blir tilført vann via en befukter og kjøles dermed ned før den veksles mot tilluften i en gjenvinner.



Forprosjekt

Rev./status: 03

Dato: 12.02.2016

Adiabatisk kjøling av ventilasjonsluft vil redusere effekt-toppen for kjølebehov og dermed gi reduserte kjøleinstallasjoner i energisentral. Beregninger viser at effekttoppen kan reduseres med 1,4 MW. I tillegg kan dimensjoner reduseres for rørføringer og utstyr i distribusjonssystemet.

Utfordringer med adiabatisk kjøling er legionellafare, som medfører økt vedlikehold av aggregater for å håndtere dette. Bruk av adiabatisk kjøling fordrer også god gjenvinningsgrad på gjenvinner.

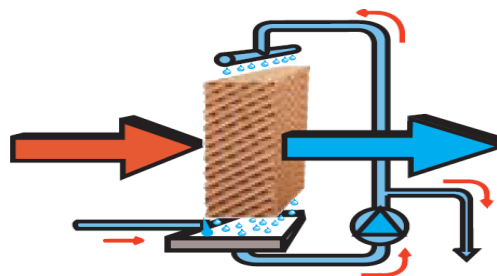
### 7.1.1 Ulike systemløsninger

Det finnes flere forskjellige prinsipper for adiabatisk kjøling av ventilasjonsluft. Det er to typer som er vurdert som aktuelle for ventilasjonsanlegget. Den ene er fordunstningsbefuktning og den andre er forstøvningsbefuktning.

#### *Evaporativ kjøling - fordunstningsbefuktning*

Prinsippet for systemet er at den varme avtrekksluften passerer gjennom en porøs fiberduk som blir overrislet med vann. Luften nedkjøles og tilføres fuktighet i form av vannmolekyler fra vannet som renner vertikalt ned gjennom fiberduken. Dette systemet kan være sirkulerende og ikke-sirkulerende.

I sirkulerende system pumpes vannet fra et oppsamlingskar opp til vannfordeleren og over fiberduken. Pumpen beforder mer vann enn det som fordeles over fiberduken, og det overskytende vannet (bleed-off) går ut av prosessen rett etter pumpen. Dette er vist i figur 7.1:



Figur 7.1: prinsipiell oppbygning av fordunstningsbefuktning med sirkulerende system

Ved kort driftstid eller ved dårlig vannkvalitet benyttes ikke-sirkulerende system, hvor vannet kun overrisles en gang gjennom fiberduken før det går til sluk. Vannet kommer da direkte fra vannforsyningen i bygget, og det er ikke nødvendig med pumping av vannet fra oppsamlingskaret opp til fordeler igjen. Dette kan redusere fare for legionella-vekst, men vannforbruket vil være ca. 4 ganger høyere enn for sirkulerende system, avhengig av bleed-off på det sirkulerende systemet.

#### *Høytrykks dyse-system – forstøvningsbefuktning*

Systemet baseres på at avkastluft passerer gjennom en vegg med vortex-moduler. I midten av hver vortex sitter det høytrykksdyser som produserer vanntåke/aerosoler som tas opp i luften slik at denne blir befuktet og nedkjølt. Vortex-modulene lager turbulens som forlenger luftstrømmen, slik at mer aerosoler fordampes i luften, som igjen bidrar til økt nedkjøling. Befukteren består i hovedsak av en Vortex vegg med dyser og slanger samt en to trinns aerosol separator, som vist på figur 7.2.

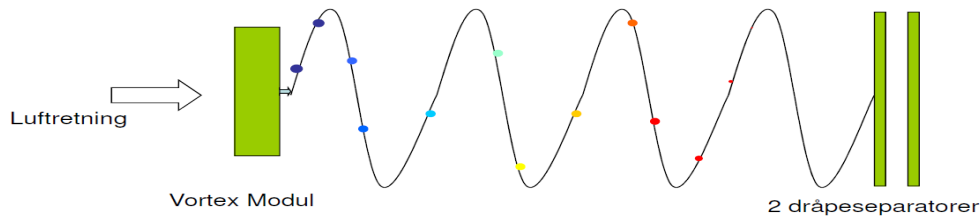




Rev./status: 03

Dato: 12.02.2016

Forprosjekt



Figur 7.2 prinsipp funksjon høytrykks dyse-system.

For at ikke dysene skal tettes av kalkavleiringer må vannet demineraliseres/avsaltet i et separat vannrenseanlegg.

### 7.1.2 Sammenlikning av systemene

Forstøvningsbefuktning har i utgangspunktet mye lavere vannforbruk per kW kjøling. Grunnet lav gjenvinningsgrad i vannbehandlingssystemet, blir det totale vannforbruket allikevel høyere for forstøvningsbefuktning.

Ved fordunstning ligger legionellasikringen i hovedsak i at vannmolekylene som tas opp i luften ikke er store nok til å frakte legioneller. For forstøvning er sikringen at eventuelle bakterier blir fjernet i vannrenseanlegget før det kommer inn i systemet. I tillegg har begge systemer funksjoner for å hindre at vann blir stående i anlegget.

Høytrykks dysesystem har mindre behov for jevnlig service, men tar det igjen ved at vannrenseanlegget krever en del tilsyn.

Evaporativ kjøling er mindre plasskrevende i ventilasjonsrommet enn høytrykks dyse-system. Det er kun befukterenheten i aggregatet som krever plass.

### 7.1.3 LCC-beregning for de ulike systemer

Det er gjort en LCC-beregning for de ulike systemene for adiabatisk kjøling. Disse er sammenlignet med den tilsvarende installerte kjøleeffekten som må til dersom man ikke benytter adiabatisk kjøling..

Følgende forutsetninger gjelder for beregning:

- Kalkulasjonsrente: 4 %
- Energipris strøm: 70 øre/kWh
- Beregningsperiode: 60 år
- Kostnad vann: 20 kr/m<sup>3</sup>
- Energipris strøm: 70 øre/kWh
- Driftstid adiabatisk kjøling: 150 timer per sesong

Se også vedlegg A for øvrige forutsetninger og inndata.



Tabell 7.1: Resultat LCC-beregning for ulike løsninger av adiabatisk kjøling:

Beregning LCC for 60 år	Kjølemaskin 1400 kW	Fordunstning sirkulerende	Fordunstning engangsvann	Forstøvning
Investeringskostnad	kr 5 980 000	kr 3 999 600	kr 3 999 600	kr 5 499 550
Driftskost( inkl vann forbruk, vifter, pumper og service )	kr 2 176 680	kr 4 860 042	kr 7 903 354	kr 5 188 535
Utskiftingskost	kr 4 375 234	kr 4 138 712	kr 4 138 712	kr 5 690 833
Levetidskostnad 60 år	<b>kr 12 531 914</b>	<b>kr 12 998 354</b>	<b>kr 16 041 666</b>	<b>kr 16 378 918</b>

Beregningene viser at det er i utgangspunktet ingen av de adiabatisk systemene som er lønnsomme kontra tilsvarende kjølemaskin-installasjon. Dette skyldes i hovedsak at det blir høye årlige utgifter til service med det antallet aggregater bygget skal ha. I tillegg blir utgifter til vannforbruk betydelig med den forutsatte driftsperioden. Den mest lønnsomme varianten er fordunstning med sirkulerende system. Forstøvning blir straffet av at det må installeres separat vannbehandlingssystem, samt at vannforbruket er relativt høyt grunnet dårlig gjenvinningsgrad i vannbehandlingssystemet.

Etter disse LCC-beregningene ble foretatt har behovet for ventilasjonskjøling blitt redusert. Reduksjon av kjølemaskin-installasjon ved å benytte adiabatisk kjøling er dermed også redusert og vil nå være lavere enn 1400 kW. Ved å redusere sparepotensialet vil adiabatisk kjøling komme enda dårligere ut i LCC-beregninger, og ettersom det i utgangspunktet ikke er lønnsomt sammenliknet med konvensjonell kjøling, har vi ikke oppdatert dette sparepotensialet.

## 7.2 Døgnlagertanker for varme og kjøling

### 7.2.1 Kuldelagertanker

Døgnlagertanker for kulde består av kjøle-elementer som inneholder et faseskiftemateriale med en valgt smelte/frysetemperatur. Denne temperaturen bør ligge midt i temperaturintervallet for kjølesystemet i bygget. Isvannet sirkulerer da gjennom tanken og henter/lagrer energi etter behov.

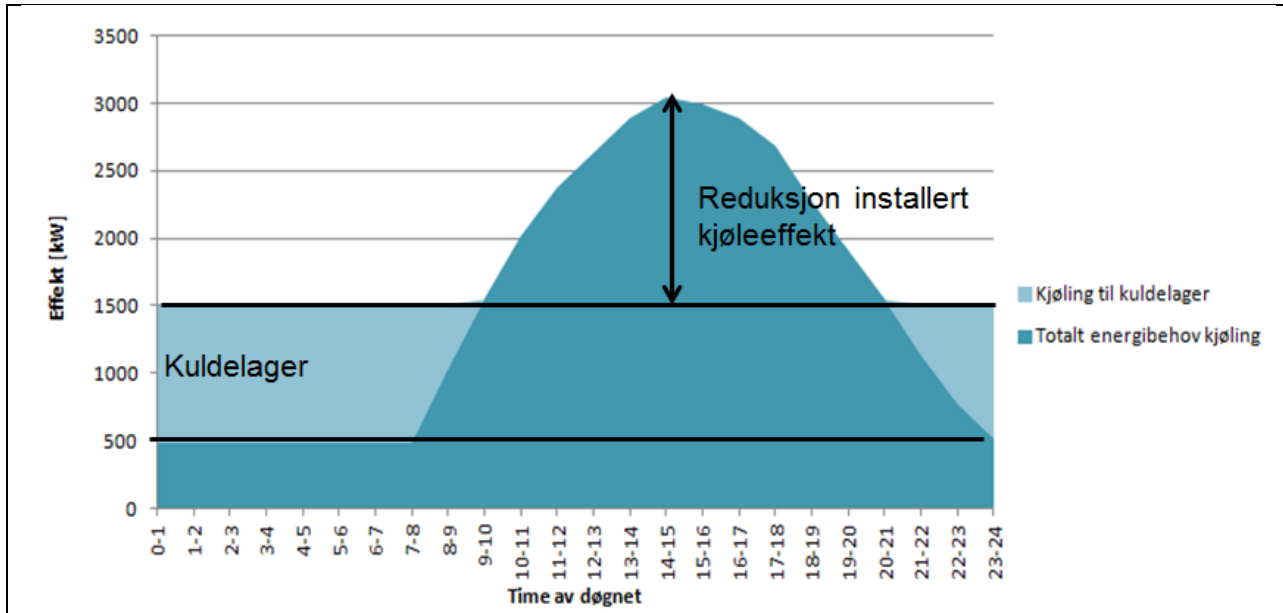
Nødvendig tankvolum dimensjoneres ut i fra et dimensjonerende døgn for kjølebehovet. En slik dimensjonering er vist i figur 7.3:



Forprosjekt

Rev./status: 03

Dato: 12.02.2016



Figur 7.3: Døgnvarighetskurve for kjøling

Det reelle kjølebehovet over døgnet vises av den mørkegrønne kurven. Det produseres en jevn kjøleeffekt i energisentralen hele døgnet, og på natt og kveld går den overskytende kjøleeffekten til lagertankene. Dette kan sees som arealet "kjøling til kuldager".

Hovedkurs for kjøling ligger på  $\Delta T$  10/17 °C, slik at smeltetemperatur på faseskiftematerialet bør være på 13 °C. Dette faseskiftematerialet beregnes å ha en lagringskapasitet på 45 kWh/m<sup>3</sup>. Nødvendig kuldagring er beregnet til 8 200 kWh, og tankvolumet blir da 180 m<sup>3</sup>. Dette kan fordeles på 2 tanker på 90 m<sup>3</sup>/h.

Ettersom kuldageret fungerer som en buffer for kjøleeffekten vil nødvendig installert kjøleeffekt bli redusert. Installert kjøle-effekt for Livsvitenskapsbygget kan reduseres med 1130 kW ved hjelp av lagertankene.

Bildet under viser installasjon av kuldagertank på høyskolen i Bergen:



Figur 7.4: Kuldagertank under installasjon på høyskolen i Bergen



Disse store volumene er med på å gjøre at lagertanker er relativt kostbare i installasjon i forhold til tilsvarende kjølemaskin-installasjon. Gevinsten kommer i form av lave vedlikeholds- og utskiftingskostnader, samt at antall tørrkjølere på tak kan reduseres. En kuldagringstank vil i tillegg være med på å øke robustheten til kjøleanlegget, ved at man får en jevnere kuldeproduksjon som gir bedre driftsforhold for kjølemaskinene i sentralen. Ved en eventuell drifts-stans på kjølemaskiner har man også et kjølelager å "tære" på i et begrenset tidsrom.

### 7.2.2 Varmelagertanker

Varmelagertanker fungerer på tilsvarende måte som kuldagertanker, og dimensjoneres på samme måte ut ifra et dimensjonerende døgn for varmebehov. Forskjellen er at det benyttes et saltstoff med smeltepunkt midt i temperaturintervallet for varmedistribusjon. Man kan altså ikke benytte samme tank for kjøle- og varmelager.

For varmelagring har egnet faseskiftestoff en smeltetemperatur på 32 °C. Det benyttes samme lagerkapasitet som kjøling; 45 kWh/m<sup>3</sup>. Med en beregnet lagring på 9 100 kWh for dimensjonerende døgn, blir nødvendig tankvolum på rundt 200 m<sup>3</sup>. Dette kan fordeles på 3 tanker på ca. 70 m<sup>3</sup> hver.

I prosjektet er det lagt opp til fjernvarme som spisslast. Ref. notat *RIV-NO-30-06 Termisk energisentral*. Utfordringen med dette er at Hafslund opererer med en veldig høy effekt-tariff på spisslast fjernvarme; 575 kr/installert kW. Det blir dermed en høy årlig kostnad for å ha denne effekten tilgjengelig, og behovet for spisslast bør derfor minimeres. For prosjektet er det potensiale for å redusere spisslast (jernvarme) med 1,14 MW ved bruk av døgnlagertanker for varme. Nødvendig effektinstallasjon blir da 2,68 MW.

Det er gjort LCC-beregning for en 60-års periode for en slik lagertankinstallasjon. Denne er sammenlignet med tilsvarende installasjon av spisslast fjernvarme. I installasjonskostnad for varmelager er det også medtatt kostnader for en utvendig kulvert på 10 000 kr/m<sup>2</sup>.

Følgende forutsetninger gjelder for LCC-beregningen:

- Kalkulasjonsrente: 4 %
- Effekt-tariff spisslast fjernvarme: 575 kr/kW
- Beregningsperiode: 60 år

Tabell 7.2: LCC-beregning for varmelagertanker

	Spisslast fjernvarme	Varmelagertanker
Investeringskostnad	kr 500 000	kr 10 000 000
Vedlikehold+drift	kr 14 910 577	kr 113 117
Utskiftingskostnader	kr 154 159	0
LCC 60 år	<b>kr 15 564 736</b>	<b>kr 10 113 117</b>

Varmelager viser seg å være meget lønnsomt for en 60-års horisont. Årsaken er i hovedsak den høye effekt-tariffen for spisslast fjernvarme. Dette tas derfor med i oppbygning av varmesystemet.



### 7.2.3 LCC-beregning for alternativ kjøleproduksjon

Med de valgte forutsetninger er kjøle-effekt for prosjektet på totalt 3429 kW. Av disse må 617 kW produseres som lavtemperatur kjøling med egne kjølemaskiner. I tillegg skal dataromskjøling på 510 kW skilles ut på egen kurs fra kjølesentralen. Det resterende kjølebehovet på 2302 kW kan dekkes på ulike måter. Disse kan oppsummeres i fire ulike alternativer:

1. Kjølemaskiner i energisentral á 2302 kW + tørrkjølere på tak
2. Adiabatisk kjøling + kjølemaskiner i energisentral á 902 kW + tørrkjølere på tak.
3. Kuldagertanker på 180 m<sup>3</sup> + kjølemaskiner i energisentral á 1130 kW + tørrkjølere på tak.
4. Adiabatisk kjøling og kuldagertanker på 60 m<sup>3</sup>

Det er gjort en LCC-beregning for å vurdere lønnsomheten av de fire ulike alternativene. For LCC-beregning av adiabatisk kjøling benyttes forundstning med sirkulerende system, som er det som kommer best ut av de ulike adiabatisk systemene. (ref. kap. 3.6.3).

Dersom dimensjonerende effekt endres vil sammenligningen i prinsippet fortsatt gjelde da endringen vil omfatte alle alternativer. Løsningene vil da skaleres ned eller opp til det aktuelle behovet.

Forutsetninger for LCC-beregninger:

- Kalkulasjonsrente: 4 %
- Energipris strøm: 70 øre/kWh
- Beregningsperiode: 60 år
- Kostnad vann: 20 kr/m<sup>3</sup>
- Driftstid luft/vann kjølemaskiner: 100 timer per sesong
- Driftstid adiabatisk kjøling: 150 timer per sesong

Øvrig inndata for de ulike alternativer er vist i vedlegg B.

Tabell 7.3: LCC beregning av ulike alternativer for dekning av kjølebehovet:

	Alternativ 1 Kjølemaskiner	Alternativ 2 Adiabatisk kjøling+ kjølemaskiner	Alternativ 3 Kuldagertanker+kjøle maskiner	Alternativ 4 Kuldagertanker og adiabatisk kjøling
Investeringskostnad	kr 10 606 860	kr 8 784 460	kr 15 002 000	kr 10 523 600
Planlagt vedlikehold og driftskost(årlig)	kr 3 781 328	kr 6 490 818	kr 1 829 675	kr 6 363 090
Utskiftingskostnader	kr 7 231 566	kr 7 806 868	kr 2 962 535	kr 5 804 807
LCC for 60 år	<b>kr 21 620 000</b>	<b>kr 23 082 000</b>	<b>kr 19 794 000</b>	<b>kr 22 691 000</b>

Resultatet viser at alternativ 3, kuldager og kjølemaskin er det mest lønnsomme alternativet. Her er ikke medtatt besparelse for reduksjon i trafo-kapasitet slik at det vil i praksis bli enda mer lønnsomt enn vist her. Det ligger imidlertid en del usikkerheter rundt blant annet driftstider for kjøling, som er med på å påvirke resultatet. Det er i tillegg store usikkerheter rundt de reelle vedlikeholdskostnadene for kjølemaskin/varmepumpe, da disse er mer utsatt for slitasje grunnet bevegelige deler. Kuldager er på den andre siden en helt statisk installasjon uten bevegelige deler, og har minimale drift- og vedlikeholdskostnader. Det skal derfor medtas kuldager i



## Forprosjekt

energisentralen, både fordi det er det mest økonomiske alternativet og fordi det bidrar til å øke robustheten til kjølesystemet.



Ratio arkitekter as  
MOE A/S

Ericksen & Horgen as  
Ing Per Rasmusen as

Ark Kristine Jensens Tegnestue A/S

STATSBYGG

NOTAT 1004501  
LIVSVITENSKAPSBYGGET

Forprosjekt

Dato: 12.02.2016

1004501 UiO Livsvitenskapsbygget H003  
DOK.NR. NO-RIV-30-13  
DIMENSJONERENDE VARME- OG  
KJØLEEFFEKTER.DOCX

Rev./status: 03

## Vedlegg A -Inndata for LCC-beregning av ulike varianter av adiabatisk kjøling

Forutsetninger adiabatisk kjøling				Forstøvning			
<b>Fordunstning</b>				<b>Kapasitet vannrenseanlegg</b>			
Dim. Vannforbruk sirkulerende vann [l/h] m konservativ Fb faktor	7160	215 l/h for aggregat 30 000m <sup>3</sup> /h		Renset vann til befukter [l/h]	3333	100 l/h for aggregat 30 000 m <sup>3</sup> /h	
Dim. Vannforbruk engangsvann [l/h]	52000	1560 l/h for aggregat 30 000 m <sup>3</sup> /h		Råvann inn på renseanl. [l/h]	8333	40% gjenvinning tilsier 250 l/h totalt for aggregat 30 000m <sup>3</sup> /h	
<b>Driftskostnader/år for 43 aggregater</b>				<b>Driftskostnader/år for 43 aggregater</b>			
Vannforbruk sirkulasjon [m <sup>3</sup> ]	1074	Forbruk m 150 timer på maks		Vannforbruk [m <sup>3</sup> ]	1250	Forbruk m 150 timer på maks	
Vannforbruk engangsvann [m <sup>3</sup> ]	7800	Forbruk m 150 timer på maks		Økt energi til vifter avtrekk [kWh]	55061	1652 kWh for aggregat 30 000m <sup>3</sup> /h	
Økt energi til vifter avtrekk[kWh]	55061	1652 kWh for aggregat 30 000m <sup>3</sup> /h					
<b>Service 43 befuktere</b>				<b>Service 43 befuktere</b>			
2x service/rengjøring per sesong 2-3 h /aggregat [kr]	86000	2,5 h, 2000kr/befukter, internt/eksternt driftspersonell		Årlig sjekk og service á 2-3 timer [kr]	86000	2,5 h, 2000kr/befukter, internt/eksternt driftspersonell	
Sporadisk sjekk/rengjøring v behov [kr]	68800	2 h m internt driftspersonell		Sporadisk sjekk/rengjøring v behov [kr]	68800	2 h m internt driftspersonell	
				<b>Vannrenseanlegg (ett stk sentralt anlegg)</b>			
Reduksjon kjøle-energi [kWh]	169516	5086 kWh reduksjon for aggregat 30 000m <sup>3</sup>		Hovedservice 2x per år 2-3 h [kr]	4000	2 h i tillegg for forberedelse og reisetid eksternt drift	
EER kjølemaskin [-]	3,5			Månedlig filter-rens [kr]	2000	Summert over året, internt personell	
Differanse pumpe-energi [kW]	22			Utskifting filterpatroner, membran etc. [kr]	5000	Kostnad deler	

Input	Investeringskostnad [kr/år]	Vedlikeholdskost [kr/år]	Økt strømforbruk (KM+ vifter+pumper)	Vannforbruk [kr/år]	Levetid [år]	Utskiftingskost
Kjølemaskin 1400 kW	kr 3 500 000	kr 40 000	kr 36 213	-	20	kr 3 500 000
Rør og pumper øker (fra DN 250 til DN 300 m ΔT=7 )	kr 500 000	-	-	-	-	kr 500 000
Tørrkjølere 1800 kW	kr 1 980 000	kr 20 000			15	kr 1 980 000
Fordunstningsbefukter sirkulerende	kr 3 999 600	kr 154 800	kr 38 543	kr 21 480	15	kr 3 999 600
Fordunstningsbefukter direkte	kr 3 999 600	kr 154 800	kr 38 543	kr 156 000	15	kr 3 999 600
Forstøvningsbefukter	kr 4 499 550	kr 154 800	kr 38 543	kr 25 000	15	kr 4 499 550
Vannrenseanlegg kapasitet 3,4 m <sup>3</sup> /h	kr 1 000 000	kr 11 000	-	-	15	kr 1 000 000



Forprosjekt

Rev./status: 03

Dato: 12.02.2016

**Vedlegg B-Inndata for LCC beregning av ulike alternativer for kjøleproduksjon**

Input	Investeringskostnad	Brukstid	Vedlikehold+drift (pr år)	Levetid	Utskiftingskost	Restverdi etter 60 år	Kalkulasjonsrente
Alternativ 1							
Kjølemaskiner i sentral 2302 kW	kr 5 755 000	60	kr 127 142	20	kr 5 755 000	-	4 %
Tørrkjølere på tak 2993 kW	kr 3 291 860	60	kr 40 000	15	kr 3 291 860	-	4 %
Rørføringer i kulvert: 400m á DN 300	kr 1 560 000	-	-	60	-	-	
Alternativ 2							
Adiabatisk kjøling (sirkulerende fordrunstningssyst.)	kr 3 999 600	60	kr 214 823	15	kr 3 999 600	-	4 %
KM 902 kW	kr 2 255 000	60	kr 52 083	20	kr 2 255 000	-	4 %
Tørrkjølere 1172 kW	kr 1 289 860	60	kr 20 000	15	kr 1 289 860	-	4 %
Rørføringer i kulvert: 400m á DN 250	kr 1 240 000	-	-	60	-	-	
Alternativ 3							
Kuldelager 180 m3-8200 kWh	kr 9 000 000	60	kr 5 000	60+	-	-	4 %
KM á 1130kW	kr 2 825 000	60	kr 55 875	20	kr 2 825 000	-	4 %
Tørrkjølere 1470 kW	kr 1 617 000	60	kr 20 000	15	kr 1 617 000	-	4 %
Rørføringer i kuvert: 400m á DN 300	kr 1 560 000	60	-	60	-	-	
Alternativ 4							
Kuldelager 60 m3 - 2400 kWh	kr 3 200 000	60	kr 5 000	60+	-	-	4 %
Adiabatisk kjøling (sirkulerende fordrunstningssyst.)	kr 3 999 600	60	kr 214 823	15	kr 3 999 600	-	4 %
Rørføringer i kuvert: 400m á DN 250	kr 1 240 000	-	-	60	-	-	-
Kjølemaskiner i sentral 530 kW	kr 1 325 000	60	kr 41 438	20	kr 1 325 000	-	4 %
Tørrkjølere 690 kW	kr 759 000	60	kr 20 000	15	kr 759 000	-	4 %