

# Analyse av energiytelse og økonomi for kontorbygning med energigivnlige systemløsninger

Haakon Halla

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



### Oppgavetekst

1. Redegjøre kort for relevante hovedpunkter i bygningsenergidirektivet, nye CEN-standarder og ny TEK
2. Beregne maksimale effektbehov og årlige energibehov for alle energiforbrukende installasjoner i nybygget og sammenligne med tilsvarende størrelser i eksisterende bygning.
3. Beregne teoretiske totale energikostnader for nybygget med valgt energisystem og sammenligne med kostnader for tradisjonell løsning for kjøling og med varmforsyning fra fjernvarme.
4. Beregne indikatorer for energiytelse for den totale bygningsmasse i samsvar med CEN-standarder. Indikatorer sammenlignes med beregnede indikatorer ved varmforsyning fra fjernvarme og tradisjonell løsning for kjøling.

Oppgaven gitt: 15. januar 2007  
Hovedveileder: Rolf Ulseth, EPT



## FORORD

Denne rapporten er utarbeidet for Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) som en avslutning på studiet Energi og Miljø våren 2007. Arbeidet er utført hos og i samarbeid med Rambøll AS i Oslo.

Jeg har fått tips og hjelp fra flere personer under arbeidet med denne oppgaven. Spesielt må min veileder ved NTNU Rolf Ulseth takkes, som alltid har gitt meg raske og greie svar på ting jeg har spurt om. Også hos Rambøll i Oslo sitter det mange ressurspersoner som har stilt opp med sin kunnskap. Her fortjener spesielt Morten Walmsness og Olav Rådstoga en stor takk.

Trondheim 8. juni 2007

---

Haakon Halla

## SAMMENDRAG

Med bakgrunn i nye regelverk vedrørende bygningers energieffektivitet, er denne oppgavens hensikt å beregne ulike mål for energiytelse for det miljøvennlige kontorbygget Miljøforskningssenteret (MFS) på cirka 15.000 m<sup>2</sup> (BTA) i Oslo.

MFS ble ferdig bygd i oktober 2006, og ble da en del av Forskningsparken med eksisterende bygningsmasse på cirka 28.000 m<sup>2</sup> (BTA). Med sin miljøvennlige profil har MFS hatt fokus på energieffektivitet også når det gjelder systemløsninger. Grunnvann brukes som energireservoar for varmepumpe og naturlig kjøling, ventilasjon og lys er behovsstyrt, solavskjermingen er automatisk og solenergi skal utnyttes til forvarming av tappevann i fremtiden. I tillegg er bygget energifleksibelt, med fjernvarme og oljekjel som spisslaster på varmesiden.

Krav om bygningers energiytelse ble, som følge av bygningsenergidirektivet, revidert i teknisk forskrift til Plan- og bygningsloven (TEK) i februar 2007. I den reviderte forskriften fremkommer et krav om at nye og rehabiliterte kontorbygg skal ha et årlig teoretisk 'netto energibehov' på maksimalt 165 kWh/m<sup>2</sup>. Simuleringene i denne oppgaven, som er utført i programmet Energi i Bygninger 3.5, viser at MFS oppfyller dette kravet med klar margin, med sitt teoretiske behov på 145 ± 10 kWh/m<sup>2</sup> per år.

Det er imidlertid behov for 'levert (kjøpt) energi' som ofte er mest interessant for byggherre, da det er denne energien som har de direkte energikostnadene knyttet til seg. På forhånd var det egendefinerte målet på 120 kWh/m<sup>2</sup> per år 'levert energi'. Dette ble også overholdt, med et beregnet behov på 100 ± 10 kWh/m<sup>2</sup> per år. De årlige energikostnadene er sammenlignet med et tilsvarende (fiktivt) bygg med fjernvarme som eneste varmforsyning og kjølemaskin som eneste kjøleforsyning. De årlige energikostnadene ble cirka 20 prosent lavere for MFS, men med den relativt store merinvesteringen systemene i MFS krever, tyder nåverdiberegninger på at prisnivået på energi i fremtiden må være høyt for at MFS sine løsninger skal lønne seg økonomisk.

Bygget er ut fra beregningene relativt avhengig av elektrisitet, med en el-andel på 94 prosent av årlig 'levert energi'. At bygget om ønskelig kan bruke mer fjernvarme eller olje i stedet for elektrisitet gjør imidlertid denne avhengigheten mindre alvorlig.

I henhold til nye CEN-standarder er også indikatorer for energiytelse ('levert energi' vektet for primærenergi eller CO<sub>2</sub>-utslipp) beregnet for MFS. Forslag til klassifisering i CEN-standardene er også fulgt, og MFS havnet i energiklasse B (på en skal fra A til G, der A er best), både når primærenergi og CO<sub>2</sub>-utslipp ble brukt som veieparametre. Sammenligningsbygget havnet i samme energiklasse, til tross for et betydelig høyere behov for 'levert energi'. Årsaken til dette er at sammenligningsbyggets teoretisk 'leverte energi' består av en høy andel fjernvarme, og fjernvarme vektet mildere enn elektrisitet ved beregning av indikatorer

for energiytelse.

Energiytelsen til MFS konkluderes altså til å være god. Teoretiske energibehov og dermed årlige energikostnader er svært lave, men de tekniske løsningene er noe dyre.

Største usikkerhet i beregningene finnes der anslag er gjort på grunn av at erfaringsverdier ennå ikke er tilgjengelige (grunnet byggets lave alder). Disse er imidlertid forsøkt gjort konservative, slik at resultatene blir mer troverdige. For å få helt korrekte og sikre resultater i henhold til nye regelverk, anbefales det at nye simuleringer blir utført når beregningsprogram oppdatert i henhold til nye regelverk (og med nye klimadata) og bekreftede erfaringsverdier blir tilgjengelige.

## ABSTRACT

The purpose of this assignment is to calculate different measurements of energy performance in the environmentally friendly office building Miljøforskningssenteret (MFS) in Oslo, viewed in a light of new rules and regulations in this field.

MFS is a new office building with an area of 15.000 m<sup>2</sup> (BTA), and it has become a part of the large agglomeration of buildings called Forskningsparken with an existing area of 28.000 m<sup>2</sup> (BTA). With its environmentally friendly profile, MFS has focused on energy efficiency when it comes to technical solutions. Ground water is used as energy reservoir for a heat pump and natural cooling, ventilation and lighting is controlled by demand, sun shielding is automatic and sun energy is in the future planned to be used for preheating of spring water. In addition to this, the building is energy flexible with its district heating and oil as peak load in the heating system.

Demands regarding energy performance of buildings were, as a consequence of the energy directive of buildings, revised in the Norwegian technical stipulations (TEK) in February 2007. This stipulation demands that new and rehabilitated buildings are to have a maximum annual 'net energy need' of 165 kWh/m<sup>2</sup> per year. The simulations in this assignment, which are rendered in the program "Energi i Bygninger 3.5", shows that MFS fulfils this demand by a clear margin, with its theoretical need of 145 ± 10 kWh/m<sup>2</sup> per year.

However, it is the need of 'supplied (bought) energy' that often is the most interesting energy measure for building owners, because it is this kind of measurement that is associated with the direct energy costs. On beforehand, the defined milestone of MFS was 120 kWh/m<sup>2</sup> per year 'supplied energy'. This was also complied by the building in the theoretical simulations, with a calculated need of 100 ± 10 kWh/m<sup>2</sup> per year. The annual energy costs are compared with a corresponding (fictive) building with district heating as its only heat supply and a refrigerating machine as its only cooling supply. The annual costs became approximately 20 percent lower for MFS, but if the costs of investments in technical systems are taken into account, the future price level of energy must be high if the systems in MFS shall be economically profitable in a present value perspective.

The building looks to be relatively dependent of electricity, with an electricity share of 94 percent of annual 'supplied energy'. However, the possibility of using more district heating and oil makes this dependency less serious.

According to new CEN-standards, indicators of energy performance ('supplied energy' weighted for primary energy or CO<sub>2</sub> emissions) are also calculated for MFS. The proposition of classification in the standards is also followed, and MFS ended up in energy class B (in a scale from A to G, where A is the best), both when primary energy and CO<sub>2</sub> emissions were



used as weighting parameters. The fictive building of comparison ended up in the same energy class, despite a clearly higher need of annual ‘supplied energy’. This is because of its high share of district heating, and district heating is weighted milder than electricity.

The conclusion is that MFS has a good energy performance. The theoretical needs of energy and hence the annual energy costs are very low, but the technical solutions in MFS are relatively expensive.

The largest elements of uncertainty in the simulations are the estimations made because of the few empirical values obtained regarding the buildings technical systems and its end use. This is because of the buildings low age. About a year after all technical systems are put in use and working properly, these empirical values may be obtained. To get completely reliable results according to new regulations, new simulations are recommended when these empirical values are gathered and simulation programs are updated according to the new set of standards (and with updated climatic data).

# SYMBOL- OG ORDFORKLARINGER (ALFABETISK)

## FORKLARINGER AV SYMBOL OG FORKORTELSER

**BOA** = Boligareal. Dvs. størrelsen på boligen målt innenfor ytterveggene inklusiv innervegger. Eksklusiv kott, boder, garasjer, åpne arealer.

**BRA** = Bruksareal. Dvs. Størrelse på bolig målt innenfor yttervegger. Inklusiv inklusive innervegger, innskutte etasjer, kjellerrom og loft, men eksklusive åpne arealer. Kanaler med areal over 0,5 m<sup>2</sup> samt alle kanaler med tilslutning til omsluttende vegg medregnes ikke.

**BTA** = Bruttoareal. Dvs. Sum av alle etasjers arealer, målt fra utside av yttervegger. Arealet er inklusiv innervegger, innskutte etasjer, kjellerrom og loft, men eksklusive åpne arealer.

**CEN** = European Committee for Standardization.

**MFS** = Miljøforskningssenteret.

**NTA** = Nettoareal. Dvs. innvendig areal inklusive bod og kott og redusert med innervegger, dør- og vindusåpninger.

**R<sub>r</sub>** = Referanseverdi for energiytelse til nye bygg av en gitt type.

**R<sub>s</sub>** = Referanseverdi for energiytelse til eksisterende bygg av en gitt type (median).

**SD** = Sentral driftskontroll.

**TEK** = Teknisk forskrift til Plan- og bygningsloven

**VF<sub>CO2</sub>** = Veiefaktor for CO<sub>2</sub>-produksjon.

**VF<sub>pe</sub>** = Veiefaktor for primærenergi.

## ORDFORKLARINGER

**Aritmetisk gjennomsnitt** = En sum av tall dividert på antall tall.

**Brutto effekt** = Effekt levert av en teknisk installasjon. Installasjonens virkningsgrad tas hensyn til.

**Energiklassifisering** = (engelsk: energy rating) Evaluering av byggets energiytelse basert på sum av alle vektete energibærere.

**Energiytelse** = Energiklassifisering til en bygning ved normal bruk. Klassifiseringen gjenspeiles i en eller flere tallindikatorer der det tas hensyn til ulike energi- og miljøvennlige løsninger.

**Gjenopprettelige termiske systemtap** = Del av termisk systemtap som har nytteverdi enten til oppvarming eller kjøling.

**Indikator for energiytelse** = Energiytelse dividert på klimatisert areal.

**Klimaanlegg** = Alle luftbehandlingskomponenter som kreves for regulering av tilluftstemperatur og eventuelt regulering av luftmengde, luftens fuktighet og renhet.

**Klimatisert areal** = (Eng: conditioned area). Gulvareal i klimatiserte rom i alle etasjer unntatt ubemannede kjellere. Både innvendige og utvendige mål kan brukes.

**Kraft-varmeanlegg** = Utnytting av forbrenningens spillvarme ved elektrisitetsproduksjon.

**Leverert energi** = (kjøp energi) Bygningens energibehov når systemvirkningsgrader er tatt hensyn til.

**Mandatert standard** = Standarder som CEN på oppdrag fra EU-kommisjonen har fått i oppdrag å utarbeide i henhold til bygningsenergidirektivet.

**Median** = Den midterste verdien i rekke med stigende tall.

**Netto effekt** = Effekt levert til en teknisk installasjon. Installasjonens virkningsgrad tas ikke hensyn til (settes lik 1).

**Netto energibehov** = Bygningens årlige energibehov, når systemvirkningsgrader ikke er tatt hensyn til (satt lik 1).

**Netto levert energi** = Leverert energi minus eksportert energi (tilsvarer levert energi når bygningen ikke produserer energi for salg).

**Nominell nytteeffekt** = Største varmeeffekt som kan leveres ved kontinuerlig drift, samtidig som oppgitt driftsvirkningsgrad opprettholdes.

**Oppvarmet areal** = Det arealet som har en lufttemperatur som er minst 15 °C. Arealet skal måles fra ytterveggen utside.

**Primærenergi** = Energi som ikke har gått gjennom noen prosess for konvertering eller transformering. For bygninger er dette energien som trengs for å produsere energien levert til bygget. Til dette kan konverteringsfaktorer brukes.

**Primær ressursfaktor** = Samme som 'total primærenergifaktor', bortsett fra at fornybar primærenergi ikke er tatt med i beregningen.

**Termiske systemtap** = Termisk tap fra teknisk installasjon som ikke har en nytteverdi.

**Total primærenergifaktor** = Ikke fornybar og fornybar primærenergi, dividert med 'levert energi'. Primærenergien inkluderer da utvinning, produksjon, lagring, transport, transformering, distribusjon og alle andre operasjoner nødvendig for å levere energi til bygningen.

**Varmetapstall** = Tall som karakteriserer bygningskroppens godhet i forhold til varmetap ved transmisjon, ventilasjon og infiltrasjon

# INNHOLDSFORTEGNELSE

<b>1</b>	<b>INNLEDNING</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ENERGIBRUK I KONTORBYGG – NYE REGELVERK OG STANDARDER</b> .....	<b>4</b>
2.1	Bygningsenergidirektivet [5] .....	4
2.2	Reviderte tekniske forskrifter til Plan- og bygningsloven [2] .....	6
2.2.1	Regulering av energibehov .....	6
2.2.2	Regulering av energiforsyning .....	10
2.3	Nye CEN-standarder .....	11
2.3.1	PrEN 15603 Energy performance of buildings – overall energy use, CO <sub>2</sub> emissions and definition of energy ratings [4].....	11
2.3.2	PrEN 15217 Energy performance of buildings – Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings [3].....	13
2.4	Status for norsk regelverk og fremtidig energisertifisering av norske bygg per mai 2007	15
2.4.1	Status for norske regelverk til oppfølging av bygningsenergidirektivet.....	15
2.4.2	Fremtidig energisertifisering i Norge .....	15
<b>3</b>	<b>BESKRIVELSE AV BYGNINGSMASSEN I FORSKNINGSPARKEN</b> .....	<b>17</b>
3.1	Gammel bygningsmasse og løsninger .....	17
3.1.1	Varmeisolering .....	18
3.1.2	Oppvarming .....	18
3.1.3	Kjøling .....	18
3.1.4	Luftbehandling.....	18
3.1.5	Solavskjerming .....	19
3.1.6	Styring .....	19
3.1.7	Fremtidig energieffektivisering .....	19
3.2	Ny bygningsmasse og løsninger.....	20
3.2.1	Varmeisolering .....	20
3.2.2	Energisentral .....	20
3.2.3	Oppvarming .....	21
3.2.4	Kjøling .....	21
3.2.5	Luftbehandling.....	22
3.2.6	Solavskjerming .....	22
3.2.7	Styring .....	22
3.2.8	Andre miljøløsninger .....	22
3.3	Miljømål.....	23
<b>4</b>	<b>METODE FOR VURDERING AV TEORETISK ENERGIYTTELSE OG ENERGIKOSTNADER</b> .....	<b>24</b>
4.1	Energi og effektberegninger.....	24
4.1.1	Valg av beregningsmetode .....	24
4.1.2	Forutsetninger .....	24
4.1.3	Inndata for beregning av 'levert energi' .....	26

4.1.4	Inndata for beregning av 'netto energibehov' .....	37
4.1.5	Data for sammenligning med eksisterende bygningsmasse.....	38
4.1.6	Inndata til energiberegninger for sammenligningsbygg .....	39
4.1.7	Teoretisk maksimale effektbehov .....	39
4.2	Energikostnader .....	40
4.2.1	Energipriser.....	40
4.3	Indikatorer for energiytelse .....	41
4.3.1	Forutsetninger .....	42
4.3.2	Fremgangsmåte.....	42
4.3.3	Veiefaktorer .....	43
4.3.4	Sammenligning med referanseverdier .....	46
<b>5</b>	<b>RESULTATER.....</b>	<b>51</b>
5.1	Energi og effektberegninger.....	51
5.1.1	Levert energi.....	51
5.1.2	Netto energibehov.....	52
5.1.3	Teoretiske maksimale effekter.....	54
5.2	Energikostnader .....	57
5.3	Indikatorer for energiytelse .....	58
5.3.1	Energiytelse for MFS, gammel bygningsmasse og sammenligningsbygget.....	58
<b>6</b>	<b>DISKUSJON.....</b>	<b>59</b>
6.1	Energi og effektbehov .....	59
6.1.2	Levert energi.....	69
6.1.3	Netto energibehov.....	71
6.1.4	Teoretisk maksimale effekter.....	75
6.2	Energikostnader .....	77
6.3	Indikatorer for energiytelse .....	79
6.3.1	Vurdering av resultater .....	79
6.3.2	Usikkerheter i beregningene .....	81
6.4	Oppdaterte erfaringsverdier per juni 2007 .....	85
<b>7</b>	<b>VIKTIGE RESULTATER OG KONKLUSJONER.....</b>	<b>87</b>
<b>8</b>	<b>VIDERE ARBEID .....</b>	<b>89</b>
	<b>REFERANSELISTE.....</b>	<b>90</b>
	<b>VEDLEGG 1 – INNDATA EIB.....</b>	<b>I</b>
	<b>VEDLEGG 2 – AREALER.....</b>	<b>XVII</b>
	<b>VEDLEGG 3 – ENERGISENTRAL.....</b>	<b>XXI</b>
	<b>VEDLEGG 4 – PUMPER.....</b>	<b>XXIII</b>
	<b>VEDLEGG 5 – SFP-FAKTOR.....</b>	<b>XXIV</b>
	<b>VEDLEGG 6 – RESULTATER FRA EIB.....</b>	<b>XXIX</b>

## FIGURLISTE

figur 1 Forskjell mellom 'netto energibehov', 'tilført energi' og 'vektet tilført energi' .....	3
figur 2 Rammekrav for ulike bygningskategorier ([9], side 5).....	8
figur 3 Energitiltak krevd i energitiltaksmodell ([9], side 4).....	9
figur 4 Oversiktsbilde Forskningsparken .....	18
figur 5 Veiefaktorer for beregning av energiytelse .....	43
figur 6 Fjernvarmeproduksjonens fordeling energislag 2005.....	47
figur 7 Levert energi for ny bygningsmasse og sammenligningsbygg, fordelt på energislag .	52
figur 8 Netto energibehov fordelt på energislag .....	53
figur 9 Sammenligning netto energibehov ny og gammel bygningsmasse med rammekrav i TEK .....	54
figur 10 Maksimale 'leverte effekter' dimensjonerende vinterdøgn, fordelt på energislag .....	55
figur 11 Sammenligning netto effekter gammel og ny bygningsmasse .....	56
figur 12 Temperaturforløp dimensjonerende sommerdøgn .....	63
figur 13 Temperatur dimensjonerende sommerdøgn ved høyere internlaster .....	63
figur 14 Fordeling av 'levert energi' til naturlig kjøling og kjølemaskin ved strengere temperaturkrav .....	66
figur 15 Temperaturforløp dimensjonerende sommerdøgn ved strengere temperaturkrav .....	66

## TABELLISTE

tabell 1 Minstekrav til U-verdier og lufttetthet som ikke skal overskrides ([9], side 5).....	7
tabell 2 Fordeler og ulemper ved modeller for regulering av energibehov ([6], side 8 og 9)..	10
tabell 3 Internlaster i nye beregninger .....	29
tabell 4 Luftmengder og tilstedeværelsesfaktorer .....	34
tabell 5 Resultater SFP-måling .....	36
tabell 6 Sammenligning MFS med minstekrav til bygningskropp i nye TEK.....	37
tabell 7 Energipriser .....	41
tabell 8 Fordeling på energislag hos Viken Fjernvarme AS.....	44
tabell 9 Ny fordeling på energislag ved varmepumpe som elektrisitet .....	45
tabell 10 Veiefaktorer for MFS og sammenligningsbygget sine energikilder.....	46
tabell 11 Gjennomsnittlig spesifikk energibruk i norske kontorbygg i 2005 .....	47
tabell 12 Fjernvarmens fordeling på energislag ved varmepumpe som elektrisitet .....	48
tabell 13 Veiefaktorer ulike energislag for gjennomsnittlig fjernvarmeproduksjon.....	48
tabell 14 Klasseinndeling for MFS og sammenligningsbygget.....	50
tabell 15 Sammenligning levert energi ny og gammel bygningsmasse.....	51
tabell 16 Netto energibehov fordelt på energislag.....	52
tabell 17 Netto energibehov fordelt på energiposter for gammel og ny bygningsmasse i forhold til rammekrav .....	53
tabell 18 Sammenligning maksimale brutto effekter for de ulike energislag i gammel og ny bygningsmasse.....	54
tabell 19 Sammenligning netto effektbudsjett gammel og ny bygningsmasse.....	55
tabell 20 Sammenligning teoretisk maksimale effekter MFS med Enøk normtall.....	56
tabell 21 Årlige energikostnader .....	57
tabell 22 Resulterende indikatorer for energiytelse for hele Forskningsparken samt sammenligningsbygget .....	58
tabell 23 Virkninger av feil antagelser i "verste tilfelle" .....	61
tabell 24 Energi til kjøling ved strengere temperaturkrav .....	65
tabell 25 Nåverdi til sparte energikostnader ved MFS sitt tekniske system fremfor sammenligningsbygget sitt tekniske system .....	78
tabell 26 "Verste tilfellers" innvirkning på energiytelsen til MFS og sammenligningsbygget	81
tabell 27 Resulterende energiytelse ved europeiske veiefaktorer for elektrisitet .....	83
tabell 28 Inndeling energiklasser ved europeiske veiefaktorer for elektrisitet .....	84

# 1 Innledning

## Bakgrunn for oppgave og problemstilling

Bygninger utgjør i Norge 40 prosent av total energibruk, og som i andre land foreligger det i Norge et betydelig potensial for energieffektivisering av bygg. I denne sammenheng ble bygningsenergidirektivet laget for EU og EØS i 2002. I Norge er det først og fremst teknisk forskrift til Plan- og bygningsloven (TEK) som regulerer krav til energiytelse i bygg, men nye mandaterte CEN-standarder til oppfølging av direktivet vil også bli gjeldende i Norge. Revidert TEK til oppfølging av direktivet kom ut 1. februar 2007 (gammel versjon kan brukes fram til 1. august 2009), mens flere av de nye CEN-standardene per juni 2007 ikke har kommet ut i endelige utgaver.

Som følge av det nye regelverket for krav til energieffektivitet i bygninger, vil det i Norge dukke opp et behov for klassifisering av bygninger med tanke på energiytelse. For å overholde forskriftskrav må bygninger oppfylle kriterier stilt i nye TEK. Det vil også fremkomme krav om sertifisering av bygninger, det vil si en slags karaktersetting ut fra energiytelse. Det eksisterer imidlertid flere måter å uttrykke energiytelse på, og det hersker fortsatt usikkerhet rundt hvilke mål for energiytelse som skal benyttes i sertifisering av norske bygninger [14].

I denne oppgaven skal ulike mål for energiytelse beregnes for det energivennlige kontorbygget Miljøforskningssenteret (MFS) på cirka 15.000 m<sup>2</sup> (BTA) i Oslo.

MFS henter mesteparten av energien til oppvarming av rom, luft og vann fra en varmpumpe med grunnvann som energireservoar. Grunnvannet benyttes også til naturlig kjøling i kjølesesongen. Ellers har bygget sensorstyrt behovstilpasning av lys og ventilasjon, automatisk solavskjerming, effektiv varmegjenvinning av ventilasjonsluft og fremtidige planer om utnyttning av solenergi til oppvarming av tappevann. MFS ble ferdigstilt i 2006, og ble da en del av Forskningsparken, som fra før var et bygningskompleks på cirka 28.000 m<sup>2</sup> (BTA). Energiytelsen til den eksisterende bygningsmassen på Forskningsparken skal også undersøkes, men tilgjengelige data fra denne bygningsmassen er begrensede. Et fiktivt bygg som er helt tilsvarende til MFS, men med kun fjernvarme som varmforsyning og konvensjonell løsning for kjøling, skal brukes som sammenligningsbygg, og energikostnader og indikatorer for energiytelse skal sammenlignes med MFS. En slik sammenligning utføres for å se hvordan energiytelsen til et bygg med MFS sine systemløsninger er i forhold til et mer konvensjonelt kontorbygg.



### **Disposisjon**

Første del av oppgaven vil gi en introduksjon av relevant regelverk opp mot energibruk i bygninger, etterfulgt av en presentasjon av gammel og ny bygningsmasse i Forskningsparken. Deretter følger alle beregninger og simuleringer av de forskjellige målene for energiytelse og energikostnader for bygningskomplekset. De teoretisk utregnede energi- og effektbehovene til den nye bygningsmassen skal sammenlignes med målte verdier fra den eksisterende bygningsmassen. Teoretiske energikostnader og indikatorer for energiytelse skal sammenlignes med simulerte verdier for et tilsvarende kontorbygg med mer tradisjonelle løsninger for oppvarming og kjøling (senere kalt ”sammenligningsbygget”).

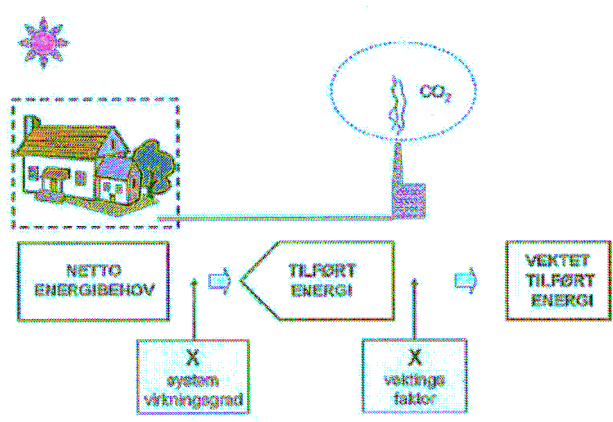
### **Viktige forutsetninger og begrensninger**

Det foreligger en del forutsetninger og begrensninger til simuleringene i denne oppgaven. De viktigste av disse, er:

- Alle tekniske systemer i MFS er per mai 2007 ikke er kommet i drift. Dette medfører at viktige erfaringsverdier fra disse systemene ennå ikke er tilgjengelige. I visse tilfeller bygger derfor inndataene til simuleringene på antagelser. Disse er imidlertid forsøkt gjort konservative, slik at en eventuell usikkerhet vil ha en sikkerhetsmargin knyttet til seg.
- Alle energi- og effektresultater er i denne oppgaven hentet fra simuleringer i programmet Energi i Bygninger 3.5 (EiB). Spesielle beregningsprosedyrer skal egentlig følges i det nye regelverket, men i og med at slike prosedyrer per mai 2007 ikke foreligger i komplette versjoner, anses EiB for å være et godt nok beregningsverktøy.
- I prosjekteringsfasen av MFS ble det også utført energi- og effektberegninger i EiB 3.5 (senere omtalt som ”eksisterende beregninger”). Mange av inndataene som da ble brukt viste seg å bli annerledes i virkeligheten, men inndataene til selve bygningskroppen (data om vegger, gulv, tak og vinduer) antas å stemme, og er brukt uten modifikasjoner i denne oppgaven.

### **Sentrale energibegreper**

Som nevnt, er denne oppgavens hovedfokus rettet mot energiytelsen til et nytt kontorbygg i Oslo. Begrep som benyttes som mål for energiytelse er imidlertid ikke entydige. Tre sentrale mål for energiytelse, som alle skal beregnes for MFS i denne oppgaven, er ’tilført energi’, ’netto energibehov’ og ’vektet levert energi’. En illustrasjon av forskjellen mellom disse begrepene finnes i figur 1 (hentet fra en Sintef-rapport om energimerking [1]).



*figur 1 Forskjell mellom 'netto energibehov', 'tilført energi' og 'vektet tilført energi'*

'Netto energibehov' er altså byggets reelle energibehov for å dekke behov i forhold til innetemperatur, belysning, bruk av teknisk utstyr osv. Virkningsgrader på energikrevende installasjoner, for eksempel oppvarmings- og kjølesystem, er da ikke tatt med (satt lik 1). I ny teknisk forskrift til Plan- og bygningsloven (TEK) [2] er rammekravene oppgitt som 'netto energibehov', men der er det også krav om at de bruksavhengige dataene i bygget er låste.

'Tilført energi' er den "kjøpte" energien som bygget har behov for (omtales som 'levert energi' i denne oppgaven). Nevnte systemvirkningsgrader må da tas med. Har en for eksempel en gammel oljekjel med lav virkningsgrad (under 1), blir den 'leverte energien' til oljekjelen høyere enn 'netto energibehov' som oljekjelen er satt til å dekke. Har en imidlertid en varmepumpe med høy virkningsgrad (over 1), blir den 'leverte energien' lavere enn det 'netto energibehovet' pumpen er satt til å dekke.

Den 'leverte energien' kan også vektet for parametre som forteller noe om godheten til byggets energikilder med tanke på den valgte veieparameter, hele veien fra energi-produksjon sentralt til energibruk lokalt. Når den 'leverte energien' per klimatisert areal (se ordforklaring i begynnelse av oppgave) vektet for en slik parameter, kalles resultatet i følge nye CEN-standarder 'indikator for energiytelse' [3]. Når en snakker om 'vektet levert energi' er det primærenergi den 'leverte energien' vektet for. Ved å vekte den 'leverte energien' mot primærenergi, får en tatt hensyn til hvor effektivt energien produseres, transformeres, lagres og transporteres [4]. Andre parametre som 'levert energi' i følge CEN-standardene [3] også kan vektet for, er CO<sub>2</sub>-utslipp eller andre parametre bestemt av nasjonale myndigheter.

## 2 Energibruk i kontorbygg – nye regelverk og standarder

### 2.1 Bygningsenergidirektivet [5]

Europaparlaments- og Rådsdirektiv om bygningers energiytelse, kalt bygningsenergidirektivet, kom ut 16. desember 2002. Bakgrunnen for direktivet var hovedsakelig den store andelen av total energibruk i Europa bygninger bidro til, og sparepotensialet, både med tanke på CO<sub>2</sub>-utslipp og den globale energisituasjons bærekraft, dette utgjorde.

Norge må, som medlem av EØS, innlemme bestemmelsene i direktivet i norske lover, forskrifter og standarder, om enn med tilpasninger til norske forhold. Innen 4. januar 2006 skulle lover og forskrifter som dekket direktivet settes i kraft, men inntil tre års utsettelse kunne innvilges.

Hovedinnhold i direktivet kan sammenfattes i følgende hovedpunkter:

- Krav til energiytelse i nye bygg og i store rehabiliterte bygg
- En rammemetode til utregning av bygningers energiytelse
- Krav til energisertifisering
- Krav om kontroll av kjel- og klimaanlegg

Denne oppgaven dreier seg som sagt om et nytt kontorbygg sin energiytelse og energikostnader, og direktivets relevante artikler i denne sammenheng er beskrevet under.

#### Artikkel 3 – Vedtakelse av en metode

Denne artikkelen henviser til et vedlegg, der generelle rammer for beregning av bygningers energiytelse ligger. Rammen utgjør et utgangspunkt for alle medlemsstaters metode for vurdering av bygningers energiytelse, og revidert teknisk forskrift til plan og bygningsloven (TEK) samt nye CEN-standarder må ha denne som et utgangspunkt.

Rammemetoden har følgende sentrale innhold:

- Beregninger av energiytelse skal omfatte byggets varmeegenskaper, lufttetthet, varmeanlegg, varmtvannsforsyning, klimaanlegg, ventilasjonsanlegg, lysanlegg, byggets plassering, uteklima, passive solenergisystemer, solbeskyttelse, naturlig ventilasjon og inneklime.
- Det skal tas hensyn til positive virkninger av elektrisitet fra kraft-varmeanlegg, fjern- eller nærvarme for oppvarming eller kjøling, naturlig lys, aktive solenergisystemer og andre fornybare energikilder.
- Bygg deles inn i kategorier for å differensiere krav om energibruk, hvorav

kontorbygg er en av disse.

Denne rammen for beregning av bygningers energiytelse skal ifølge artikkel 13 i direktivet gjennomgås minst hvert annet år.

#### **Artikkel 4 – Fastsettelse av krav til energiytelse**

Her står det at medlemsstatene selv skal fastsette krav til energibruk i ulike typer bygg på grunnlag av rammen beskrevet i artikkel 3. Krav til bygningers energiytelse kan skilles mellom nye og eksisterende bygninger, og disse kravene bør gås gjennom minimum hvert femte år på grunn av byggebransjens teknologiske utvikling. Artikkelen presiserer imidlertid at alle typer bygg må ha alminnelig gode forhold når det gjelder inn klima og ventilasjon, og det må tas hensyn til lokale forhold og byggets alder og tilsiktede bruk. Artikkel 4 gir også medlemsstatene adgang til å gi noen typer bygg (verneverdige, religiøse, lite brukte og små bygg samt midlertidige boliger) dispensasjon til ikke å følge kravene til energiytelse.

#### **Artikkel 5 – Nye bygninger**

Alle nye bygg skal tilfredsstillere krav i artikkel 4. Nye bygg som har større bruksareal enn 1000 m<sup>2</sup> er i tillegg pliktig å vurdere energivennlige tiltak som desentraliserte energiforsyningssystemer basert på fornybar energi, henting av energi fra kraft-varmeanlegg, fjern- eller nærvarmeanlegg for oppvarming eller kjøling samt varmepumper.

Tilsvarende bygg som MFS vil komme inn under denne kategorien, og må vurdere de nevnte tiltak.

#### **Artikkel 6 – Eksisterende bygninger**

For eksisterende bygg over 1000 m<sup>2</sup> bruksareal som skal renoveres, slår artikkel 6 fast at energiytelsen, dersom det er teknisk, funksjonelt og økonomisk gjennomførbart, skal oppgraderes i henhold til minstekrav for aktuell bygningskategori. Medlemsstatene skal selv bestemme disse kravene, ut fra rammen i artikkel 3.

Denne artikkelen vil bli aktuell for den gamle delen av Forskningsparken når det der skal foretas en rehabilitering (beskrivelse av hele bygningsmassen i Forskningsparken finnes i kapittel 3).

#### **Artikkel 7 – Energisertifikat**

Energisertifikater må fremlegges for bygg som oppføres, leies ut eller selges. Sertifikatet skal inneholde data som gir mulighet for vurdering av byggets energiytelse. Energi-effektiviteten beregnes etter en standardisert metode, og resultatet fremlegges som en slags karakter som er enkel å tolke. I tillegg skal det vedlegges forslag til kostnadseffektive forbedringer av energisystemet (tiltaksliste).

Hele Forskningsparken leies ut til ulike institusjoner, til kontor- og laboratorievirk-  
somhet. Bygningsmassen må altså skaffe til veie et energisertifikat når regelverk i  
henhold til direktivet blir gjeldende i Norge.

#### **Artikkel 8 og 9 – Kontroll av kjeler og klimaanlegg**

Disse artiklene krever at alle kjeler med nominell nytteeffekt over 100 kW skal kon-  
trolleres minst hvert annet år, og klimaanlegg med nominell nytteeffekt over 12 kW  
skal kontrolleres regelmessig med hensyn til effektivitet og dimensjon i forhold til  
kjølebehov.

MFS har en oljekjel på 1100 kW, og varme- og kuldeytelse til varmepumpen ligger  
henholdsvis på 600 og 440 kW. Regler for kontroll av anlegg vil altså gjelde for MFS.

#### **Artikkel 10 – Uavhengige sakkyndige**

Det stadfestes i denne artikkelen at all sertifisering, kontroll og anbefalinger skal  
gjennomføres av uavhengige og kvalifiserte sakkyndige.

## **2.2 Reviderte tekniske forskrifter til Plan- og bygningsloven [2]**

Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk (TEK) av 1997 regulerer blant  
annet krav til nye og rehabiliterte bygningers energibruk og miljøbelastning. Utgaven  
fra 1997 trengte revisjon, hovedsakelig på grunn av at denne ikke satte strenge nok krav  
til energivennlige løsninger i forhold til bygningsenergidirektivet og Kyotoavtalen. Et  
utkast [6] ble sendt på høring i juni 2006, og denne versjonen ble, med enkelte endring-  
er, gjeldende fra 1. februar 2007. Overgangsbestemmelser gjelder imidlertid i to og et  
halvt år fra denne dato [7], noe som tilsier at gamle TEK kan brukes fram til 1. august  
2009.

Det er et mål at de nye kravene til energibruk skal redusere energibehovet i nybygg  
med cirka 25 prosent [8]. I de følgende avsnittene skal de relevante endringene i TEK  
som skal føre til denne reduksjonen redegjøres for. Informasjon er hentet fra det nevnte  
høringsforslaget [6] og forskrift om endringer i TEK [9].

### **2.2.1 Regulering av energibehov**

I forrige versjon av TEK kunne en velge mellom tre alternative metoder for doku-  
mentasjon av energikrav; energirammemetoden, varmeisoleringsmetoden eller  
varmetapsrammemetoden. Disse metodene har ifølge høringsforslaget [6] en del  
svakheter:

- Det blir ikke regulert energikrav annet enn til oppvarming.
- Kravene gjelder 'levert energi', noe som kan føre til at for eksempel høye

systemvirkningsgrader dekker opp for dårlig varmeisolering.

- Elektrisitet blir favorisert på grunn av høy virkningsgrad.
- Metodene gir uheldige manipuleringsmuligheter for prosjekterende på grunn av frihet til å anslå bruksavhengige data.

Nye modeller for regulering av energibehov er derfor laget; ”rammekravsmodellen” og ”energitiltaksmodellen”. Disse modellene er likeverdige, det vil si at en står fritt til å velge modell ut fra ønske og/eller behov. Kompensering for dårlig energieffektivitet i ett tiltak med bedre energieffektivitet i et annet vil fortsatt være mulig, men i nye TEK vil angitte minstekrav i tabell 1 gjelde uansett bygningstype eller valg av modell.

	U-verdi yttervegg, W/ m <sup>2</sup> K	U-verdi tak, W/ m <sup>2</sup> K	U-verdi gulv på grunn og mot det fri, W/ m <sup>2</sup> K	U-verdi vindu, W/ m <sup>2</sup> K	Lufttetthet, luftvekslinger pr. time ved 50 Pa trykkforskjell.
Bygning	0,22	0,18	0,18	1,6	3,0

*tabell 1 Minstekrav til U-verdier og lufttetthet som ikke skal overskrides ([9], side 5)*

#### **Rammekravsmodellen**

I rammekravsmodellen skal netto energibehov regnes ut for det aktuelle bygg, og resultatet skal sammenlignes med en øvre ramme for gjeldende bygningskategori (se figur 2). Hvilke energitiltak som benyttes for å dekke kravet spiller her ingen rolle, det er kun resulterende energibehov som er interessant. Det er delt inn i 13 bygningskategorier, hvorav kontorbygg er en av disse. Som en ser av figur 2, er kravet for kontorbygg 165 kWh/m<sup>2</sup> per år. Rammekravene er utregnet ved bruk av referansebygg med velprøvde og lønnsomme energitiltak. Energitiltakene er vist i figur 3. For å unngå manipulering av bruksavhengige data, er disse verdiene låst til normaliserte driftsbetingelser oppgitt i tabeller. Disse dataene innebærer driftstider, innetemperaturer, energibehov til varmt tappevann og energibehov til og varmetilskudd fra lys og utstyr. Hvordan energibehovet skal utregnes, vil fremkomme av revidert NS 3031 [10]. Inntil disse metodene foreligger i endelig versjoner, vil dagens metoder (blant annet metode i eksisterende NS 3031 [30] og validerte beregningsprogrammer som Energi i Bygninger) være akseptable. Fordeler og ulemper med rammekravsmodellen finnes i tabell 2.

Rammekravet gis for ’netto energibehov’, det vil si byggets reelle energibehov til varme, kjøling, ventilasjon, varmtvann, belysning og utstyr. Systemvirkningsgrader eller utnytting av solvarme vil da ikke ha noe å si. Eksempelvis vil det ikke være den lave andelen tilført elektrisitet til en varmpumpe som skal oppgis, men den store andelen varmeenergi som avgis fra pumpen. Det er imidlertid foreslått tilleggskrav om krav til bruk av fornybare energikilder (se kapittel 2.2.2).

Samlet netto energibehov for bygningen skal ikke være større enn:

Bygningskategori	Rammekrav kWh / m <sup>2</sup> oppvarmet BRA år
Småhus	125 + 1600/ oppvarmet BRA
Boligblokk	120
Barnehager	150
Kontorbygg	165
Skolebygg	135
Universitet/høyskole	180
Sykehus	325
Sykehjem	235
Hoteller	240
Idrettsbygg	185
Forretningsbygg	235
Kulturbygg	180
Lett industri, verksteder	185

*figur 2 Rammekrav for ulike bygningskategorier ([9], side 5)*

### **Energiltaksmodellen**

I energiltaksmodellen er det ikke oppgitt tallverdier for energibruk som den enkelte bygningskategori må oppfylle. I stedet er det stilt krav om gjennomføring av enkelte energiltak. Disse tiltakene er de samme som har blitt brukt under utregning av rammekrav til ulike bygningskategorier, og er gjengitt i figur 3. Som en kan lese av figuren, kan enkelte energiltak fravikes såfremt det dokumenteres at kompenserende tiltak er til stede. Fordeler og ulemper med energiltaksmodellen er gjengitt i tabell 2.

Energiltak i bygning skal tilfredsstillende følgende nivå:

- Samlet glass-, vindus- og dørareal: maksimalt 20 % av bygningens oppvarmede bruksareal (BRA)
- U-verdi yttervegg: 0,18 W/m<sup>2</sup>K
- U-verdi tak: 0,13 W/m<sup>2</sup>K
- U-verdi gulv på grunn og mot det fri: 0,15 W/m<sup>2</sup>K
- U-verdi glass/vinduer/dører: 1,2 W/m<sup>2</sup>K som gjennomsnittsverdi inkludert karm/ramme
- Normalisert kuldebroverdi skal ikke overstige 0,03 W/m<sup>2</sup>K for småhus og 0,06 W/m<sup>2</sup>K for øvrige bygg, der m<sup>2</sup> angis i oppvarmet BRA.
- Lufttetthet: 1,5 luftvekslinger pr. time ved 50 Pa trykkforskjell. For småhus gjelder 2,5 luftvekslinger pr. time ved 50 Pa trykkforskjell.
- Årsmidlere temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner i ventilasjonsanlegg: 70 %.
- Spesifikk vifteeffekt i ventilasjonsanlegg, SFP-faktor (specific fan power):
  - næringsbygg 2/1 kW/m<sup>3</sup>s (dag/natt)
  - bolig 2,5 kW/m<sup>3</sup>s (hele døgnet)
- Automatisk utvendig solskjermingsutstyr eller andre tiltak for å oppfylle krav til termisk komfort uten bruk av lokalkjøling
- Natt- og helgesenking av innetemperatur til 19 °C for de bygningstyper der det kan skilles mellom natt, dag og helgedrift. Idrettsbygg skal ha natt- og helgesenking av innetemperatur til 17 °C.

Det er tillatt å fravike et eller flere av energiltakene, dersom kompenserende tiltak gjør at bygningens energibehov ikke økes.

*figur 3 Energiltak krevd i energiltaksmodell ([9], side 4)*



RAMMEKRAVSMODELLEN	ENERGITILTAKSMODELLEN
<p><b>Fordeler:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Rammekrav gir arkitektonisk frihet. En fasade som er ugunstig energimessig kan veies opp ved andre energiltak.</li> <li>➤ En står fritt i valg av energiltak. Ideelle tilpasninger til det enkelte bygg kan dermed gjøres. Dette stimulerer til utvikling av nye og bedre energiltak enn de vi har i dag.</li> <li>➤ Hvordan ulike energiltak påvirker hverandre har betydning i denne modellen. Dette begrenses imidlertid litt av låste bruksavhengige data.</li> <li>➤ Ved at det enkelt og greit er en tallverdi som karakteriserer bygget, vil denne metoden være et godt utgangspunkt for fremtidig energisertifisering.</li> </ul> <p><b>Ulemper:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Modellen krever relativt avanserte beregningsprogrammer.</li> <li>➤ Modellen kan virke uheldig på bygg som ikke faller inn under noen av de 13 kategoriene.</li> <li>➤ Bruksavhengige data påvirker samlet energibehov, og disse verdiene har ingen betydning for byggets energikvaliteter når de er låste.</li> </ul>	<p><b>Fordeler:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ En enkel modell, i den forstand at kravene er oppfylt så lenge en utfører tiltakene i figur 3. Utrekninger og energibudsjettering trengs ikke.</li> <li>➤ Fokus rettes mot tydelig energieffektive tiltak.</li> <li>➤ Unngår problematikk dersom bygning ikke faller innenfor en av kategoriene i rammekravsmodellen.</li> <li>➤ Mål om arealeffektivitet motarbeides ikke (i rammekravsmodellen kan mål om en lav (kWh/m<sup>2</sup> per år)-verdi føre til et øket areal for å oppfylle krav).</li> <li>➤ Slipper diskusjon om hvilken energibenevning som skal brukes ('netto energibehov' versus 'levert energi').</li> <li>➤ Låste verdier for bruksavhengige data unngås. F.eks. lysstyring ut fra tilstedeværelse vil da gi lavere energibehov.</li> </ul> <p><b>Ulemper:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Begrenset arkitektonisk frihet pga. spesifikke krav om energieffektivisering.</li> <li>➤ Mindre fokus på integrerte energiløsninger og hvilke energiposter som bør prioriteres da energibudsjett ikke er påkrevd.</li> <li>➤ Det gis ingen kreditt for energigunstig bygningsform.</li> </ul>

tabell 2 Fordeler og ulemper ved modeller for regulering av energibehov ([6], side 8 og 9)

### 2.2.2 Regulering av energiforsyning

Det kreves i den reviderte forskriften at minst 40 % av beregnet netto energibehov til romoppvarming og varmt vann, i alle bygninger forskriften gjelder, skal dekkes av andre energiløsninger enn elektrisitet og/eller fossile brensel [11]. Godkjente løsninger for å tilfredsstille kravet er blant annet varmepumper, fjern- eller nærvarme, solfangere,

pelletskaminer og biokjel. Dersom totalt energiforbruk i bygget ligger under 17.000 kWh/år (mest aktuelt for små boliger), eller det kan dokumenteres at investering i energivennlige varmeløsninger gir negativ nåverdi over byggets livsløp, sammenlignet med elektrisitet og/eller fossile brensel, kan kravene forbigås dersom bygget har skorstein og lukket ildsted for bruk av biobrensel.

## 2.3 Nye CEN-standarder

For at bygningsenergidirektivet skal kunne implementeres i EU og EØS, trengs detaljerte standarder for dokumentering av bygningers energiytelse. EU har derfor gitt European Committee for Standardization (CEN) i oppdrag å utarbeide slike standarder. Disse standardene vil fungere som rammeverk for energiberegninger, energimerking og inspeksjonsordninger. De vil imidlertid være for omfattende som sluttbrukerverktøy for de fleste arkitekter, rådgivende ingeniører og entreprenører. Det er derfor planlagt at mer brukervennlige beregningsprogram som følger standardenes retningslinjer vil bli konstruert [12].

Standard Norge koordinerer arbeidet mot CEN, og de mandaterte CEN-standardene til oppfølging av direktivet vil også bli gjeldende i Norge.

CEN har laget en rekke standarder til oppfølging av bygningsenergidirektivet som tar for seg detaljer rundt ulike aspekter ved vurdering av bygningers energiytelse. Mange av disse inneholder hovedsakelig beregningsmetoder som det ikke er hensiktsmessig å beskrive her. To av standardene er imidlertid av en mer overordnet art, og beskrives under.

### 2.3.1 PrEN 15603 Energy performance of buildings – overall energy use, CO<sub>2</sub> emissions and definition of energy ratings [4]

Denne foreløpige (preliminære) standarden beskriver et generelt rammeverk som ulike nasjoner kan benytte for bedømming av bygningers energibruk. Standarden inneholder en metode for klassifisering av bygg med tanke på primærenergi, CO<sub>2</sub>-utslipp og parametre definert av nasjonal energipolitikk. For å benytte denne metoden behøves data om den aktuelle bygningens energibehov til ulike formål samt eventuell lokal energiproduksjon og gjenopprettelige termiske systemtap i bygget. Disse dataene er forutsatt beregnet ut fra prosedyrer i andre CEN-standarder. PrEN 15603 blir altså en slags samlestandard, der data fra andre standarder systematiseres slik at en overordnet klassifisering av bygg blir mulig.

I tillegg til det ovennevnte, gir standarden en fremgangsmåte for hvordan en kan styrke troverdigheten til beregnet energiklassifisering ved å sammenligne med målte verdier.

Den gir også en metode for vurdering av energieffektivitet til mulige forbedringer på bygget. Denne oppgaven dreier seg imidlertid hovedsakelig om et nytt bygg som det ikke kan utføres noen særlig grad av representative målinger på, så delen av standarden som omhandler målt energibruk vil ikke bli beskrevet her.

### **Typer energiklassifiseringer<sup>1</sup>**

Energiklassifisering defineres i denne standarden som 'evaluering av energiytelsen til en bygning basert på en veid sum av målt eller beregnet bruk av energibærere'. Energiklassifiseringen skal innbefatte energibruk til oppvarming, kjøling, varmt vann, ventilasjon og lys. Andre energiposter er det valgfritt for de enkelte land å ta med. Det deles inn i to hovedformer for energiklassifisering; beregnet energiklassifisering og målt energiklassifisering. Som nevnt er det kun den beregnede energiklassifiseringen som omtales i denne oppgaven.

En kan utføre klassifiseringen enten ut fra standardiserte nasjonale verdier for klima, omgivelser og bruksavhengige data, eller ut fra skreddersydde verdier for disse dataene. Standardiserte verdier for dataene kan brukes både under prosjektering av bygg for å få byggetillatelse eller energisertifikat (energiklassifiseringen kalles da "designklassifisering") og til klassifisering av et eksisterende bygg for å vurdere energiytelse opp mot gjeldende forskrift. Skreddersydde data egner seg best dersom en for eksempel ønsker å optimalisere energiytelsen til eksisterende bygg ved rehabilitering.

### **Beregningsgang**

Beregningsgangen for å energiklassifisere et bygg går fra behov til kilde, det vil si fra byggets energibehov til primærenergi nødvendig for å dekke behovet. El-spesifikke og termiske energibehov behandles separat, det samme gjelder lokalt produsert og eksternt levert energi. Ut fra detaljeringsbehov kan en velge å regne med årlige gjennomsnittsverdier for innparametere eller dele inn i kortere beregningssteg på måneds- eller timebasis. For å ta hensyn til utnyttelse av gjenopprettelige termiske systemtap (hovedsakelig varmetap fra installasjoner som dras nytte av ellers i bygget) og varmegevinster (hovedsakelig fra sol og personer), kan en bruke to metoder; den nøyaktige, iterative "helhetlige metode" eller den litt mindre nøyaktige "forenklete metode". Etter at de gjenopprettelige termiske tapene er funnet, trekkes disse fra de totale termiske tapene. Faktorer en kan multiplisere totale termiske tap med for å få gjenopprettelige termiske tap skal i følge standarden gis på nasjonalt nivå.

### **Sammenfatning i tabeller**

Etter å ha utført de nødvendige beregninger i punktene over, benyttes andre CEN-

---

<sup>1</sup> "Energy rating" er i denne oppgaven oversatt til "energiklassifisering"

standarder for å beregne ulike energiparametre. Disse legges inn i tabeller for å gi en bedre oversikt.

Varmetilskudd til bygget, varmeovergang i bygget og varme- og kjølebehov til bygget sammenfattes først i en tabell for bygningens termiske behov. Deretter skal energi til byggets tekniske systemer registreres, og elektrisk energi til oppvarming, kjøling, varmt vann, ventilasjon og lys sammenfattes i en tabell, sammen med systemenes termiske systemtap og gjenopprettelige termiske systemtap. En egen tabell skal også fylles ut for systemer som produserer enten termisk eller elektrisk energi i bygget. 'Levert energi' til bygget, produsert energi i bygget, termiske systemtap og gjenopprettelige termiske systemtap er parametre som skal med her (varmepumper og systemer for utnyttning av solenergi inngår også).

#### **Veiefaktorer og slutttabell**

Til slutt skal vektete energiklassifiseringer dannes, og til det trengs faktorer for vektning. Ut fra lokale forhold velges en av følgende typer veiefaktorer; gjennomsnittlig faktor (baseres på årlig forbrukt primærenergi, det er slike faktorer som er foreslått i en tabell i annex E i standarden), marginal faktor (tar kun hensyn til produksjonsenheter som blir påvirket av endret energibehov eller – produksjon i bygget) eller sluttbrukerfaktor (forskjellige behovsvektede faktorer brukes for forskjellig bruk av energi). Veiefaktorer for primærenergi, CO<sub>2</sub>-utslipp og politisk bestemte parametre skal oppgis i nasjonale tabeller.

Uansett om energiklassifisering gjøres med hensyn til primærenergi, CO<sub>2</sub>-utslipp eller politisk bestemte parametre, er formelen for utregning av vektet energiklasse den samme. En summerer 'levert energi' fra alle energibærere, multiplisert med sine respektive veiefaktorer. Fra denne summen trekkes summen av eksportert energi fra alle energibærere, multiplisert med sine respektive veiefaktorer. Resultatet som da fremkommer er en vektet energiklassifisering som kan sammenlignes med referansetall i nasjonale tabeller.

Alle sentrale data nevnt over sammenfattes til slutt i en overordnet tabell. Der får en et sammendrag av byggets termiske energibehov, de tekniske systemers energibehov, hvor mye og hvilken type energi som blir levert til og eksportert fra bygget. Til slutt angis den endelige vektete energiklassifiseringen av bygget.

### **2.3.2 PrEN 15217 Energy performance of buildings – Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings [3]**

Denne foreløpige standarden er ikke ferdig bearbeidet av CEN per februar 2007, så det tas forbehold om at endelig innhold vil kunne avvike noe fra referert innhold i denne

oppgaven.

Standardens formål er å gi metoder for å uttrykke bygningers energiytelse slik at reguleringer i forhold til energiytelse blir mulig. I tillegg har den som hensikt å oppfordre eiere, brukere, designere og driftspersonell av bygg til å gjøre sitt for å bedre energiytelsen. I tillegg til å gi metoder for å uttrykke energiytelse gir standarden også forslag til prosedyrer for definering av referanseverdier for sammenligning med lignende bygg samt prosedyrer for utarbeidelse av energisertifikater til bygninger. Den forslåtte prosedyren for energisertifisering i standarden behandles ikke i denne oppgaven.

### **Indikator for energiytelse**

Energiytelsen til en bygning uttrykkes ved en generell indikator, EP. Denne indikatoren for energiytelse tilsvarer den vektete energiklassifiseringen i sluttabelen i prEN 15603, dividert med byggets klimatiserte areal. Indikatorer for energiytelse kan representere enten primærenergi, CO<sub>2</sub>-utslipp eller 'netto levert energi' (levert energi minus eksportert energi) vektet for en nasjonal bestemt parameter. Eksempler på slike nasjonalt bestemte parametere kan i følge standarden være 'levert energi' eller energikostnader.

### **Energikrav**

Krav om grenseverdier (EP<sub>r</sub>) kan i følge standarden settes ut fra spesifikke krav (til ett bestemt formål eller til grupper av formål – mest aktuelt ved renovasjon av deler av bygg) eller generelle krav for hele bygningsmassen (mest aktuelt ved nybygg eller totalrenovering). En slik grenseverdi representerer altså en øvre grense for hva som er akseptabelt for en bygnings indikator for energiytelse, altså  $EP \leq EP_r$ . Disse kravene vil modifieres av en del faktorer som klima, bygningsfunksjon, energibærere, bygningens størrelse og form, ventilasjonsmengde og lysnivå.

### **Referanseverdier**

For å sammenligne energiytelsen til et bygg med lignende bygg, benyttes referanseverdier. Disse standardiseres og tabuleres for ulike bygningstyper i de enkelte land/regioner. Det gis i standarden mulighet for bruk av to ulike referanseverdier. Den ene, R<sub>r</sub>, gir typisk ytelse til en ny bygning av samme type. Den andre, R<sub>s</sub>, gir ytelsen oppnådd av cirka 50 % av eksisterende bygningsmasse med samme formål i landet/regionen. I tillegg til å oppgi type bygg og type referanseverdi som er brukt, må hvilke energistrømmer som er med i vurderingen, antagelser i forbindelse med klima og bruksmønster samt måten referanseverdien er bearbeidet på være med i dokumentasjonen av referanseverdien. Slike verdier representerer altså ikke direkte krav til bygningers energiytelse, men de gir mulighet til sammenligning og vurdering opp mot lignende bygg.

### **Prosedyre for klassifisering av energiytelse**

I annex B til standarden er en prosedyre for klassifisering av energiytelse foreslått. En må først angi bygningstype, referanseverdier for energiytelse (både  $R_r$  og  $R_s$ ) og bygningens energiytelse (EP). Deretter settes det opp en skala over ulike klasser, der beste energiytelse er klasse A og den dårligste er klasse G. Hvor stor EP er i forhold til  $R_r$  og  $R_s$ , avgjør hvor på skalaen aktuelt bygg havner. I tillegg til å bruke denne skalaen for å vurdere hvor god energiytelse bygget har, åpnes det i standarden også for å komplimentere med andre veieparametre, for eksempel bygningskroppens termiske ytelse.

## **2.4 Status for norsk regelverk og fremtidig energisertifisering av norske bygg per mai 2007**

### **2.4.1 Status for norske regelverk til oppfølging av bygningsenergidirektivet**

Bygningsenergidirektivet er kun delvis implementert i norske regelverk. Revidert teknisk forskrift, som ble gjeldende fra 1. februar 2007, dekker en del av direktivet (nye krav i denne forskriften blir imidlertid ikke gjort bindende før 1. august 2009), men standarder og energiberegningsprogrammer til oppfølging av forskriften er ennå ikke kommet ut. En revidert versjon av NS 3031 [10] vil imidlertid gi metoder for beregning av energiytelse etter bygningsenergidirektivet og CEN sine retningslinjer, og en versjon av denne var på høring fram til 16. mai 2007. Den reviderte NS 3031 vil dekke mye av det som står i de nye CEN-standardene, men disse standardene vil likevel bli å forstå som forskrifter i Norge [13] når de kommer ut i sine endelige versjoner.

### **2.4.2 Fremtidig energisertifisering i Norge**

Bygningsenergidirektivet krever, som nevnt i kapittel 2.1, at det skal innføres energisertifisering av nye bygg, bygg som selges og bygg som leies ut. Det er et krav at energiytelsen til bygget skal komme klart fram av sertifikatet, og det skal legges ved en tiltaksliste der anbefalinger til tiltak for økt energieffektivitet står.

I Norge diskuteres det fortsatt rundt innholdet i et slikt energisertifikat. Hvorvidt det skal være 'levert energi', 'netto energibehov', 'vektet tilført energi', 'varmetapstall' eller en kombinasjon av disse parameterne som skal fungere som mål for bygningens energieffektivitet, er enda uklart [14].

Som nevnt, er 'netto energibehov' brukt som krav til energibruk i nye TEK. For å unngå forvirring rundt begreper, skulle en tro at samme parameter burde brukes som utgangspunkt i energisertifiseringen i Norge. I bygningsenergidirektivet baseres imidlertid energisertifiseringen seg på bygningers energiytelse, som igjen baseres på

behov for 'levert energi'. Å benytte begrepet 'netto energibehov' i energisertifikatet, vil i så henseende være i strid med bygningsenergidirektivet. 'Indikatorer for energiytelse' (i første rekke 'vektet levert energi', men også 'levert energi' vektet for CO<sub>2</sub>-produksjon er aktuelt) er også en aktuell parameter i energisertifikatet, da 'levert energi' og 'netto energibehov' i seg selv ikke sier noe om miljøpåvirkningene til energien som blir benyttet (bruk av primærenergi, utslipp av CO<sub>2</sub>, virkningsgrad ved energiproduksjon, tap ved lagring og i transport av energi og så videre).

Utover i denne oppgaven skal både årlig 'levert energi', 'netto energibehov' og 'indikatorer for energiytelse' kartlegges for Miljøforskningssenteret.

### 3 Beskrivelse av bygningsmassen i Forskningsparken

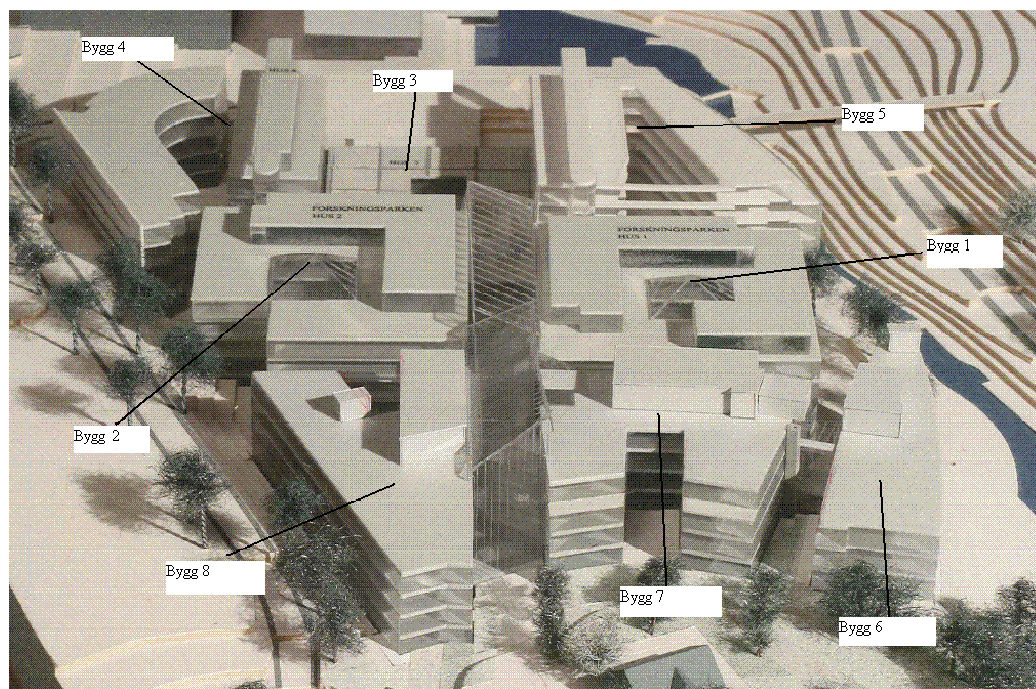
Forskningsparken AS er et stort bygningskompleks som har lokalisering Gaustadalldøen 21 i Oslo. Parken er en ledende arena innen forskning, innovasjon og utvikling i Norge, og dens leietakere består av over 100 bedrifter, institutter og forskningsgrupper innen forskjellige fagdisipliner [15].

Inntil 2006 bestod bygningskomplekset av cirka 28.000 m<sup>2</sup> (BTA) kontorer og laboratorier, med tradisjonelle løsninger innen oppvarming, kjøling og styring av ventilasjon og lys. 9. november 2006 ble imidlertid Miljøforskningssenteret (MFS) åpnet, et tilbygg med et bruttoareal på 15.127 m<sup>2</sup> (se vedlegg 2 for arealoversikt). Senteret skal brukes til tverr- og flerfaglig forskning innen miljø og samfunn, og det skal ha en miljøvennlig profil [16]. Energimessig er det overordnede målet for MFS et forbruk ned mot 120 kWh/m<sup>2</sup> per år 'levert (kjøpt) energi'. Dette målet skal hovedsakelig nås ved utnytting av geoenergi fra grunnvannet til oppvarming og kjøling samt sensorstyring av ventilasjon og lys. I tillegg utnyttes spillvarme fra kjøle- og fryseinstallasjoner, solavskjerming er sensorstyrt og det dras nytte av noe solenergi til blant annet forvarming av varmt tappevann.

#### 3.1 Gammel bygningsmasse og løsninger

Informasjon i dette delkapittelet er hentet fra "Enøk-rapport for Gaustadalldøen 21 Forskningsparken" [17]. Et oversiktsbilde over ny og gammel bygningsmasse finnes i figur 4. Bygg 5 på figuren er ennå ikke satt opp, og vil ikke bli behandlet i denne oppgaven. Den gamle bygningsmassen består av fire bygninger som er oppført i to byggetrinn, det første ca. i 1988 (bygg 1 og 2) og det andre ca. i 2000 (bygg 3 og 4). I byggene finnes kontorer, laboratorier og noe produksjonsvirksomhet. Totalt bruttoareal ligger på 28.000 m<sup>2</sup> (BTA) for den gamle bygningsmassen.





*figur 4 Oversiktsbilde Forskningsparken*

### 3.1.1 Varmeisolering

Fasadene er kledd med fasadeplater, og er isolert med 15 cm mineralull. U-verdi: 0,28 W/m<sup>2</sup>K. Vinduene har 3-lags isolerglass og en U-verdi på 2,6 W/m<sup>2</sup>K (inkludert karm-/ramme, snitt av kontorvinduer og glassfasader). Byggene har flate betongtak med 20 cm mineralull som isolasjon. U-verdi: 0,18 W/m<sup>2</sup>K.

### 3.1.2 Oppvarming

Romoppvarming skjer utelukkende ved bruk av elektriske panelovner. Oppvarming av tappevann besørger av tre stk. elektriske varmtvannsberedere.

### 3.1.3 Kjøling

Byggene har til sammen seks kjølemaskiner og 14 tørrkjølere som leverer isvann til kjølebatterier i ventilasjonsaggregater og til kjøletak. Ved bruk av kjøletak er lokal regulering av kjøling mulig, og noen leietakere har selv bekostet slike.

### 3.1.4 Luftbehandling

19 ventilasjonsaggregater forsyner bygningsmassen med luft, 13 av disse er fra 1988 (bygg 1 og 2), seks fra 2000 (bygg 3 og 4). 14 av aggregatene har varmegjenvinning, hvorav seks er roterende (de fra 2000) og åtte er av typen vann/glykol. Fire av de resterende aggregatene har system med omluft, da de kun betjener glasshaller og lysgårder. Omluftsaggregatene har kun varmebatteri som komponent. Alle aggregater

til kontorventilasjon i bygg 1 og 2 har elektriske varmebatterier, og alle unntatt ett har kjølebatterier. Aggregater som betjener andre områder har kun varmebatterier. Aggregater i bygg 3 og 4 har varmepumper med avtrekksluft som energikilde til oppvarming vintertid og kjøling sommertid. Det er benyttet filter av typen EU7 i alle aggregater. Samlet luftmengde for komplekset utgjør 384.000 m<sup>3</sup>/h, det vil si 13,7 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> (BTA) ved full luftmengde.

### **3.1.5 Solavskjerming**

Det benyttes forskjellige typer solavskjerming i den gamle bygningsmassen. De øvre etasjer benytter utstående lameller over vinduene, lenger ned benyttes persiener og gardiner etter behov.

### **3.1.6 Styring**

All styring av lys foregår manuelt.

I den eldste delen (1988, bygg 1 og 2) kjøres aggregater til lysgårder, glasshaller, garasje og hovedtavlerom (totalt 34.000 m<sup>3</sup>/h) manuelt ved behov. Kontorventilasjon (223.000 m<sup>3</sup>/h) reduseres mellom 21.00 og 08.00, og går for fullt ellers. Øvrige aggregater i den eldste delen (20.000 m<sup>3</sup>/h) går til laboratorieventilasjon, og disse behovstyes med automatisk trykkstyring. I delen fra 2000 (bygg 3 og 4) kjøres alle aggregater (107.000 m<sup>3</sup>/h) 24 timer i døgnet, men med redusert luftmengde mellom 21.00 og 08.00.

De elektriske panelovnene styres etter termostat, med individuelt regulert settpunkt. Det er ingen nattsinking i den gamle bygningsmassen.

Kjøling styres manuelt, etter erfaringsverdier. De fleste kontorer er tilknyttet sentral kjøling, og tilluftstemperaturen reduseres samtidig for alle kontorer ved behov. For kontorer med kjøletak er sonevis regulering mulig, ved at mengde sirkulert isvann justeres via en ventil.

### **3.1.7 Fremtidig energieffektivisering**

Den gamle bygningsmassen skal effektiviseres med tanke på energibruk. Først og fremst er det planlagt at varme- og kjølebatterier i ventilasjonsaggregatene sommer/høst 2007 [18] skal kobles opp mot energisentralen som ligger i nybygget. Elektrisitet til oppvarming av ventilasjonsluft vil da bli effektivisert ved henting av varme fra grunnen via en varmepumpe som primærenergikilde. En stor del av kjølebehovet i den gamle bygningsmassen vil også bli dekket av naturlig kjøling fra grunnvannet. En nærmere beskrivelse av energisentralen i nybygget finnes i kapittel 3.2.2.

I tillegg til tilkobling mot ny varme- og kjølesentral er det i den nevnte enøk-rapporten [17] også anbefalt andre tiltak for energieffektivisering av bygningsmassen. Tiltakene som er anbefalt, er:

- Energioppfølgingsystem (EOS),
- Drift- og vedlikeholdsinstruks (DV)
- Frekvensstyrt ventilasjon med overtidstyring,
- Automatisk styring av lys i møterom,
- Pumpestyring av sirkulasjonspumper i kjøleanlegg.

Tidsperspektiv for påbegynnelse av disse tiltakene er mot slutten av 2007 [19].

## 3.2 Ny bygningsmasse og løsninger

Miljøforskningssenteret er byggetrinn tre i Forskningsparken. Nybyggene finnes som bygg 6, 7 og 8 i figur 4. I disse byggene er det hovedsakelig kontorer, men et laboratorium og et auditorium finnes også. De nye byggene har et bruttoareal på 15.127 m<sup>2</sup> (se arealoversikt i vedlegg 2).

Dersom ikke annet er anvist, er beskrivelse av tekniske systemer hentet fra totalentreprise for MFS [20] og gjennom samtaler med prosjektleder VVS ved MFS, Morten Walmsness hos Rambøll AS i Oslo.

### 3.2.1 Varmeisolering

Fasadene på nybyggene består hovedsakelig av tre, glass og tegl. Ytterveggene, vinduene, glassfasadene, gulv mot grunn og tak har henholdsvis U-verdiene 0.22, 1.25, 1.6, 0.25 og 0.15 W/m<sup>2</sup>K [21].

### 3.2.2 Energisentral

All varme og kjøling i nybyggene skal produseres i energisentralen, plassert i 1.etasje i bygg 6. Oppvarming av rom og varmt tappevann skal skje via varmpumper, fjernvarme (tilknytningsplikt Viken Fjernvarme) og oljekjel. Kjøling skjer via geoenergi og kjølemaskin. Et systemskjema som beskriver energisentralen finnes i vedlegg 3 [22]. Per juni 2007 er energisentralen ennå ikke i full drift. Varmepumpen og den naturlige kjølingen er ikke koblet til varmestokken, men pumpekretsen mot brønnene er testkjørt med hell, og en regner med full drift i løpet av sommer/høst 2007.

Nederst til venstre i systemskjemaet i vedlegget ser en vannreservoaret. Fra dette pumpes grunnvann opp til energisentralen, der det brukes til oppvarming og/eller kjøling. I systemskjemaet er varmpumpen merket "KM01", fjernvarmesentralen er merket JA01, oljekjelen er merket "TF43", og varmevekslere til henholdsvis dumping-

krets for varme og naturlig kjøling er merket ”JA02” og ”JA03”.

### 3.2.3 Oppvarming

Hovedstokker for varmeanlegg går fra varmepumpen (KM01) og horisontalt bortover til høyre i systemskjemaet i vedlegget. Energikilder til oppvarmingsformål er varmepumpe (KM01, 600 kW), fjernvarmesentral (JA01, 750 kW) og oljekjel (TF43, 1100 kW). Som nevnt skal energisentralen kobles opp mot eksisterende bygningsmasse i framtiden, så kun deler av den dimensjonerende effekten til de ulike oppvarmingskildene er tiltenkt Miljøforskningssenteret. Når kapasiteten på varmepumpen blir for lav, kobles først fjernvarmen (første topplast), og deretter oljekjelen (andre topplast) inn. Varmepumpen tar i all hovedsak opp varme fra grunnvannet, som ligger på 8-10 °C i snitt over året. Spillvarme fra kjølekretsen utnyttes imidlertid også, og størst effekt fra denne fås vår og høst når det forekommer et samtidig varme- og kjølebehov. Varmevexler JA03 stenges da ofte av, og returvann fra kjølekrets går direkte inn på varmepumpens fordampere.

Vannbåren varme med radiatorer er satt til å dekke oppvarmingsbehovet i kontorene, kantinen og laboratoriene. I glassgården er det installert vannbåren gulvvarme i tillegg til radiatorer under vinduene samt konvektorer oppe under glasstaket. I alle rom er termostattertemperaturen satt til 20 °C, med mulighet for lokal regulering  $\pm 3$  °C. Beredning av varmt vann til Miljøforskningssenteret dekkes også av den vannbårne varmestokken (solenergi skal bidra til denne beredningen i fremtiden).

### 3.2.4 Kjøling

Hovedstokker for kjøling går fra varmevexler JA03 og vertikalt oppover i systemskjemaet i vedlegget. Isvann forsynes herfra til alle kjøleinstallasjoner i bygg 6, 7 og 8. Dersom kjølebehovet er større enn hva direkte varmevexling med grunnvannet kan gi, kobles varmepumpen (KM01) inn som kjølemaskin. Varmevexler JA02 fungerer da som endepunkt for dumpingkrets av varme.

Bygget har følgende kjøleinstallasjoner, som alle er koblet til kjølestokken:

- Kjøle- og fryserom kantine
- 5 klimarom i forbindelse med NIVA laboratorium
- Fancoil i 15 stk. datasentraler (en i hver etasje, hver trekker ca. 2 kW)
- Kjølebatteri i ventilasjonsaggregat

### 3.2.5 Luftbehandling

De tre byggene har til sammen fem ventilasjonsaggregater, ett i bygg 6, to i bygg 7 og to i bygg 8. Hvert av byggene har ett aggregat til kontorventilasjon, de øvrige ventilerer laboratorium, kjøkken, auditorium, kantine og glassgård. Glassgården ventileres imidlertid naturlig sommertid, ved åpning av brannluker. Aggregatene til kontor, auditorium og glassgård har roterende varmegjennvinnere med 75 % temperaturvirkningsgrad ved  $-20\text{ °C}$  ute. Aggregat til laboratorieventilasjon har plategjennvinner med temperaturvirkningsgrad på 55 %. Fra kjøkken og garasje går avtrekksluften ut i friluft (ingen varmegjenvinning). Alle aggregater har varme- og kjølebatteri som benytter vann fra henholdsvis varme- og kjølestokken. Tilluftstemperatur er  $19\text{ °C}$  vintertid og  $17\text{ °C}$  sommertid. Filter i alle aggregater er av typen EU7. Maksimal kapasitet på aggregatene er  $175.000\text{ m}^3/\text{h}$ , som utgjør  $12\text{ m}^3/\text{hm}^2$ .

### 3.2.6 Solavskjerming

For å redusere kjølebehovet, er alle kontorvinduer utstyrt med automatisk styrte, utvendige persiener, i tillegg til innvendige gardiner. I glassgården forekommer ingen solavskjerming, men glassene har her en lav total solenergitransmisjon (soltransmisjonsfaktor på 0,55) slik at varmebelastningen reduseres.

### 3.2.7 Styring

Driftstiden for bygget er satt fra 06.30 til 17.00. Utenom driftstiden er ventilasjon og lys skrudd av, med mindre overtidsbryter er slått på etasjevis (manuell overstyring av lys og ventilasjon utenom driftstid). I driftstiden styres lys og ventilasjon av bevegelsessensorer i kontorene. Dersom det ikke befinner seg noen i kontorene, skrur lys av og tilført luftmengde halveres (VAV-ventilasjon). I møterom og auditorium styres lys manuelt og ventilasjon styres etter temperatur- og  $\text{CO}_2$ -sensorer. I kantine, korridorer, åpne kontorlandskap (noe innslag av dette i bygg 6), samlingsområder og kopirom kjøres ventilasjonen med konstant luftmengde (CAV-ventilasjon) i driftstiden (avskrudd ellers).

Alle rom er tilknyttet sentral kjøling, og kjølebatteriene kobles manuelt inn og senker tilluftstemperaturen ved behov. Dersom temperaturen overstiger  $25\text{ °C}$  i kontorene, slippes full luftmengde gjennom, uavhengig av personbelastning.

### 3.2.8 Andre miljøløsninger

Miljøforskningscenteret skal også utnytte solenergi til elektrisitetsproduksjon og forvarming av varmt tappevann. På taket av gammel bygningsmasse er Norges største solkraftverk installert, et forskningsprosjekt utført og driftet av Norsk solkraft AS (en

av leietakerne i Forskningsparken). Dette solkraftverket vil etter hvert bli koblet på nettet, og levere cirka 18.000 kWh/år (tilsvarende årlig forbruk i en liten enebolig).

På taket av bygg 6 skal solfangere installeres til forvarming av varmt tappevann. Solvarmen overføres til vann som pumpes ned til energisentralen. Der forvarmes tappevannet og pumpes inn i bereder. Beregninger viser at solfangerne vil dekke cirka 40 % av årlig energibehov til oppvarming av tappevann i Miljøforskningssenteret (bygg 6, 7 og 8).

### 3.3 Miljømål

Med bakgrunn i Miljøforskningssenterets miljøprofil, er det utarbeidet en rapport der miljømål for prosjektet er utredet [23]. Hovedmålet for rapporten er at belastning på miljøet gjennom energibruk, utslipp til vann og luft blir minst mulig gjennom bygningsmassens levetid samt at byggeprosessen skal skje på en miljøvennlig måte. Rapporten er praktisk rettet, slik at entreprenør har et konkret rammeverk å forholde seg til.

Miljømålene er sammenfattet til følgende punkter ([23], side 9):

1. Lav **energibruk**
2. **Avfall** skal minimaliseres og kildesorteres for gjenvinning
3. Det skal være et sunt **innemiljø**
4. Det skal være fleksibel og effektiv **arealbruk**
5. Lave **utslipp** av forurensende stoffer fra materialer og væsker til luft og vann samt lavt vann- og ressursbruk i alle byggets livsfaser.
6. Økt **miljøbevissthet** gjennom materialvalg, ivaretagelse av eksisterende vegetasjon, utføre miljøtiltak som er synlige for brukere og som stimulerer til videre miljøhandlinger.

## 4 Metode for vurdering av teoretisk energiytelse og energikostnader

### 4.1 Energi og effektberegninger

#### 4.1.1 Valg av beregningsmetode

De eksisterende beregningene ble gjort i programmet Energi i Bygninger 3.5 (EiB). Det er i denne oppgaven valgt å fortsette bruken av dette programmet, både på grunn av at dette er et anerkjent og brukervennlig program, samt at filen med inndata fra de eksisterende beregningene da kan brukes som et utgangspunkt for nye beregninger.

EiB er et program som hovedsakelig er egnet for energi-, effekt- og enøkanalyser. Programmet utfører beregninger med timesintervaller ved beregning av dimensjonerende døgn (sommer og vinter) og månedsintervaller ved beregning av energibehov [24]. Thor Endre Lexow i Standard Norge [12] klassifiserer programmet til middels/høy detaljeringsgrad. EiB er, i likhet med alle andre av dagens programmer til samme formål, ikke oppdatert i henhold til nye CEN-standarder med krav om dokumentasjon av bygningers energiytelse. Slike programmer foreligger ikke i det norske markedet ennå, så EiB anses å være godt nok til energi- og effektberegninger i denne oppgaven.

I vedlegg 1 er alle inndata for energi- og effektberegningene til Miljøforskningssenteret listet opp. I denne oppgaven skal både 'netto energibehov', 'levert energi' og maksimale effektbehov regnes ut. Inndata for 'levert energi' og 'netto energibehov' er henholdsvis listet opp i kolonne tre og fire i tabellen i vedlegget. De maksimale effektbehovene er regnet ut med utgangspunkt i de samme inndataene som for 'levert energi' (maksimalt effektbehov blir urealistisk stort når en setter systemvirkningsgrader til 1 i beregninger av 'netto energibehov'). Når det står "ans" i tabellen i vedlegg 1, betyr det at samme inndata som for eksisterende beregninger er brukt.

#### 4.1.2 Forutsetninger

Det foreligger en del forutsetninger og begrensninger til beregningene i denne oppgaven:

- De fleste inndata som beskriver selve bygningskroppen (gulv, tak, vegger og vinduer) er i nye beregninger de samme som i eksisterende beregninger. Dette er fordi det er disse parameterne bygningsmassen er prosjektert med, og noen kontrollmålinger av disse er ikke ansett som nødvendig.
- Bygget har nylig blitt tatt i bruk, så få erfaringsverdier er hittil tilgjengelige. Noen

viktige erfaringsverdier i MFS vil være kapasitet på geoenergi fra grunnen, energi- bruk til pumper for naturlig kjøling og gjennomsnittlig tilstedeværelse i kontorer. I tilfeller hvor anslag i inndataene til energiberegningene er nødvendig (tilstedeværelse utenom driftstid, varmt vann, gjennomsnittlig pumpeeffekt osv.), er det forsøkt å gjøre disse noe konservative (noe høyere enn det som er antatt å være normalen).

- Bygget inneholder en seksjon med laboratorier (cirka 600 m<sup>2</sup>), og rom til laboratorieformål har i følge NS 3032 [25] større energibehov enn rom til kontorformål. I og med at laboratedelen er såpass liten i forhold til total bygningsmasse, i tillegg til at det i denne oppgaven skal regnes konservativt, regnes hele bygget som kontorbygg i energi- og effektberegningene (sammenligner utregnet 'netto energibehov' kun med rammekrav som gjelder kontorbygg).
- I og med at gjennomsnittstemperaturen over året for oppumpet grunnvann er såpass usikker, tas det ikke med positive virkninger fra spillvarme fra kjøle- og fryseinstallasjoner i beregningene (også dette en konservativ antagelse).
- Det er i denne oppgaven ikke tatt hensyn til fremtidige planer om utnyttning av solenergi til oppvarming av tappevann da disse planene forekommer lite konkrete, og det ikke er greid å skaffe til veie detaljert informasjon rundt planene (uansett vil bidraget fra en eventuell utnyttelse av solenergi være lite).
- Klimadata i EiB 3.5 er hentet fra NBI's håndbok fra 1979 [24]. Med de siste tiårs økte gjennomsnittstemperaturer, vil energibehov til oppvarming blir noe lavere og energibehov til kjøling noe høyere enn resultatene i EiB. Norske undersøkelser på dette området er blitt utført ved hjelp av graddagsmetoden av sivilingeniør Eiliv Sandberg [26]. Han har analysert målinger fra 1961 til 2006 på 11 steder rundt om i Norge, og funnet at oppvarmingsbehovet de fem mildeste vintrene i Osloområdet gjennomsnittlig ble redusert med cirka 20 prosent i forhold til normalåret. På alle målestedene i Norge forekom fire eller alle fem av de mildeste vintrene fra perioden 1984 til 2006 (en eller ingen i perioden 1961 til 1983). Det tyder altså på at klimadata fra 1979 ikke er representable for dagens situasjon, men hvor mye oppvarmingsbehovet reduseres og kjølebehovet øker for MFS i forhold til NBI's håndbok er imidlertid vanskelig å fastslå. Nye klimadata for VVS-bransjen (klimadataprogrammet M21) forventes å komme ut i løpet av 2007 [26] (disse kom altså ikke ut tidsnok til å bli tatt hensyn til i denne oppgaven).
- Det er benyttet ferdig definert 'driftsstrategi for kontorbygg' i EiB i alle simuleringer, noe som innebærer at tre uker i juli samt helligdager ikke er medregnet i driftstiden til bygget i de opprinnelige beregningene. I diskusjonen (kapittel 6.1.3) er imidlertid beregninger utført hvor ferie og helligdager medregnet i driftstid (i



henhold til låste bruksavhengige data i nye TEK).

- For sammenligningsbygget skal kjølebehov dekkes av ”tradisjonell løsning for kjøling”, og dette tolkes som at all kjølekapasitet hentes fra kjølemaskiner, og kapasiteten på disse settes stor nok til å dekke behovet.
- Teoretisk maksimal effekt er i denne oppgaven tolket som det tidspunktet hvor summen av effektbelastningene i MFS er høyest, altså dimensjonerende vinterdøgn. De ulike energislag kan enkeltvis ha høyere effektbelastning på andre tider av året, og disse er for MFS sammenlignet med normtall i kapittel 5.1.3.
- Energi- og effektdata fra eksisterende bygningsmasse baserer seg på målte verdier. Fordeling mellom energiposter er gjort på bakgrunn av vurderinger opp mot normtall, og må derfor kun ses på som veiledende. Dataene er hentet fra et notat laget av Rambøll Oslo i februar 2006 [27].
- I presentasjon av resultater er ’levert energi’ ikke fordelt på energiposter da resultater fra EiB ikke viser en slik fordeling. Kun ’netto energibehov’ er fordelt på energiposter (netto energibudsjett).
- I denne oppgaven er ikke resultatfilene fra EiB brukt direkte på grunn av at enkelte energi- og effektposter må legges til resultatfilene fra EiB da programmet ikke har innparametre for alle forhold i MFS (forklares i kommende kapittel). De direkte resultatene fra EiB som er brukt som utgangspunkt for resultatene i kapittel 5 er derfor lagt i vedlegg 6.

I de følgende delkapitlene beskrives viktige parametre for simulering av ulike energi- og effektbehov.

#### 4.1.3 Inndata for beregning av ’levert energi’

##### Oppvarmet bruksareal

I de eksisterende beregningene er totalt oppvarmet areal satt til 14.700 m<sup>2</sup>. I følge bygningsmassens oppdaterte arealoversikt (vedlegg 2) er totalt bruttoareal (BTA) 15.127 m<sup>2</sup>. Det er ikke lyktes å finne ut hvordan tallet 14.700 m<sup>2</sup> er fremkommet, men denne oppgaven forholder seg til nevnte oppdaterte arealoversikt.

Som nevnt i kapittel 2, er to mye brukte mål for hvordan en bygnings energibehov skal presenteres ’netto energibehov’ og ’levert energi’. Begge disse målene skal i denne oppgaven beregnes for MFS. ’Levert energi’ skal sammenlignes med MFS sitt forhåndsdefinerte mål på 120 kWh/m<sup>2</sup> og ’netto energibehov’ skal sammenlignes med nye TEKs rammekrav (figur 2) for kontorbygg på 165 kWh/m<sup>2</sup>.

En ser at begge sammenligningsverdiene har enhet kWh per areal. Hvilken arealtype

som skal brukes i denne benevnningen forekommer det ulik praksis rundt. I ny TEK benyttes arealtypen 'oppvarmet bruksareal', mens det i programmet Energi i Bygninger står at det kun skal testes inn 'oppvarmet areal'. I nye CEN-standarder er det 'klimatisert areal' som benyttes i beregninger av indikatorer for energiytelse (mer om dette i kapittel 4.3). Det er i denne oppgaven valgt å følge nye TEKs begrep (dette begrepet brukes også i prNS 3031 [10]). I følge definisjonen i prNS 3031 [10], omfatter 'oppvarmet bruksareal' alle bruksarealer som mottar varme fra bygningens oppvarmings-system. Trappeoppganger og innvendige boder skal medregnes i 'oppvarmet bruksareal'. Bruksareal (BRA) skal i følge NS 3940 [28] måles fra innsiden av ytterveggene, og byggets omsluttende konstruksjonsareal er eneste forskjell mellom BTA og BRA (bortsett fra kanaler over en viss størrelse, dette ses det bort fra på grunn av svært få slike kanaler i MFS). Alle rom som er tatt med i oversikten over byggets BTA vil motta varme fra byggets oppvarmingssystem, så 'oppvarmet bruksareal' blir her ensbetydende med bruksareal (BRA).

For å finne byggets BRA, må en altså trekke omsluttende konstruksjonsareal fra oppgitt total BTA på  $15.127 \text{ m}^2$ . Areal inne i omsluttende konstruksjonsareal er regnet ut til  $613,4 \text{ m}^2$ . Det er da antatt en gjennomsnittlig veggtykkelse på 25 cm (veid snitt mellom vegger og glassfasader). Trekker en dette fra totalt BTA, får en et 'oppvarmet bruksareal' på  $14.514 \text{ m}^2$  (altså ikke så langt fra areal brukt i eksisterende beregninger på  $14.700 \text{ m}^2$ ).

### **Internlaster**

Internlaster vil reduseres når kontor blir brukt mindre, noe som fører til et økt oppvarmingsbehov når det er kaldt ute (ofte må det være svært kaldt før moderne kontorbygg får et betydelig oppvarmingsbehov) og et redusert kjølebehov når det er mildere ute (som oftest er kjølebehov langt mer betydelig enn oppvarmingsbehov for kontorbygg).

For de eksisterende beregninger gjelder følgende: Internlastene er inndelt i to kategorier; kontor og fellesareal. Dette for å kunne redusere internlaster i kontorer på grunn av redusert tilstedeværelse. Maksimal last i et kontor er 100 Watt avgitt fra én person ( $10 \text{ W/m}^2$ ),  $8 \text{ W/m}^2$  fra belysning (fire lysrør à 20 Watt i et  $10 \text{ m}^2$  stort kontor) og én PC på 100 Watt ( $10 \text{ W/m}^2$ ). Totalt finnes det 584 kontorer i MFS, hvert med et areal på  $10 \text{ m}^2$ . Driftstiden for internlaster i kontorene er satt fra kl. 8 til 16, og i driftstiden er belastning av kontorene fra personer, lys og utstyr henholdsvis 75, 70 og 80 prosent av maksimal last (på grunn av redusert tilstedeværelse). Utenom driftstiden er belastningene satt til henholdsvis 3,5, 10 og 20 prosent av maksimal last. Driftstiden

for fellesarealet er satt fra kl. 7 til 17. Fellesarealet er simulert med konstant belastning i driftstiden fra 20 personer à 100 Watt, 8 W/m<sup>2</sup> fra belysning og 4 W/m<sup>2</sup> fra utstyr i driftstiden. Utenom driftstid er fellesarealet simulert uten internlaster. Gjennomsnittlig effekt til oppvarming av varmt tappevann er i de eksisterende beregninger satt til 1,5 W/m<sup>2</sup>, med et varmetilskudd på 10 %.

I denne oppgaven er forutsetningene for internlaster noe endret. Logging av tilstedeværelse er ikke utført på grunn av innkjøringsproblemer med tilstedeværelsessensorer og SD-anlegg, men i høringsforslag til ny NS 3031 [10] er det foreslått en gjennomsnittlig tilstedeværelsesfaktor i kontorbygg på 65 prosent i driftstiden. Ut fra dette er det i denne oppgaven simulert med 65, 70 og 80 prosent av maksimal internlast fra henholdsvis personer, lys og utstyr i driftstiden. Belastning fra lys er satt litt høyere enn fra personer på grunn av tidsforsinkelse i lys- og ventilasjonssensorer. Belastning fra utstyr er satt enda litt høyere på grunn av at pc gjerne står på hele dagen selv om personen er fraværende deler av dagen. Utenom driftstid er belastningen anslått til 5, 10 og 20 prosent fra henholdsvis personer, lys og utstyr. Internlast fra personer utenom driftstid er altså øket noe fra de eksisterende beregninger på grunn av at det i et bygg med ulike forskningsinstitusjoner gjerne jobbes mer overtid enn i andre kontorbygg. I fellesområdene vil det være belysning og bruk av teknisk utstyr når det jobbes overtid utenom driftstid (noe teknisk utstyr står dessuten på, eller i ”standby”, hele døgnet). I nye simuleringer er gjennomsnittlig bruk av disse postene satt til henholdsvis 15 og 10 prosent. Internlast fra personer i fellesområdene utenfor driftstid er antatt lik null.

Når det gjelder dimensjonerende (maksimale) belastninger i kontorer og fellesareal, er disse stort sett satt like som i de eksisterende beregningene. Eneste forskjell er utstyr i kontorer, der effekten til en gjennomsnitts PC er justert opp til 150 Watt [29]. Utstyr i fellesarealene vil stort sett være de samme som i andre moderne kontorbygg (datarom, heis, kopimaskiner, printere, projektorer, kaffemaskiner og diverse installasjoner i kjøkken/kantine), så NS 3031 sitt normtall [30] på gjennomsnittlig 4 W/m<sup>2</sup> brukes her. Driftstider i kontorer og fellesareal er uforandret fra eksisterende beregninger (henholdsvis kl. 08-16 og 07-17).

Effekt fra internlaster endres også noe med endret totalt oppvarmet bruksareal i nye beregninger (når en multipliserer opp W/m<sup>2</sup> med m<sup>2</sup>). Totalt kontorareal settes likt som i eksisterende beregninger (584 kontorer à 10 m<sup>2</sup>), så endringen består i et litt mindre fellesareal. Fellesarealet finnes ved å subtrahere kontorareal (5840 m<sup>2</sup>) fra totalt areal (14 514 m<sup>2</sup>). Fellesarealet i de nye beregningene blir da på 8674 m<sup>2</sup>.

En oppsummering av de nye beregningers internlaster finnes i tabell 3.

	<b>Kontor (driftstid 08-16)</b>			<b>Fellesareal (driftstid 07-17)</b>		
	<b>Personer</b>	<b>Lys</b>	<b>Utstyr</b>	<b>Personer</b>	<b>Lys</b>	<b>Utstyr</b>
Maksimal last [W]	58400	46720	87600	2000	69400	34700
Maksimal last [W/m <sup>2</sup> ]	10	8	15	0,23	8	4
<b>I driftstid</b>						
% av maksimum last	65 %	70 %	80 %	100 %	100 %	100 %
Gjennomsnittlig belastning [W]	37960	32704	70080	2000	69400	34700
Gjennomsnittlig belastning [W/m <sup>2</sup> ]	6,5	5,9	12	0,23	8	4
<b>Utenom driftstid</b>						
% av maksimum last	5 %	10 %	20 %	0 %	15 %	10 %
Gjennomsnittlig belastning [W]	2920	4672	17520	0	10410	3470
Gjennomsnittlig belastning [W/m <sup>2</sup> ]	0,5	0,8	3	0	1,2	0,4

*tabell 3 Internlaster i nye beregninger*

### Varmt tappevann

I eksisterende beregninger er gjennomsnittlig belastning til oppvarming av tappevann på driftsdager satt til 1,5 W/m<sup>2</sup>. PrNS3031 [10] foreslår et gjennomsnittlig forbruk i driftstiden til kontorbygg på 1,6 W/m<sup>2</sup>. Det er imidlertid stor forskjell på "driftstid" og "driftsdager", så 1,5 W/m<sup>2</sup> i snitt gjennom hele arbeidsuken vil være et altfor stort anslag i forhold til anbefalingen i standarden. Det er her valgt å følge standardens anbefaling på 1,6 W/m<sup>2</sup> i driftstid, noe som tilsier cirka 0,75 W/m<sup>2</sup> i snitt på driftsdager. Det er også valgt å følge prNS 3031 sitt forslag om at varmetilskudd til bygget fra varmt tappevann er lik null.

### Energikilder

Eneste energikilde de eksisterende beregninger har med i inndataene er fjernvarme, med maksimal effekt på 1,5 MW. Dette stemmer ikke med Miljøforskningssenterets virkelige energikilder. Som nevnt under beskrivelsen av bygget, vil oppvarmingsbehovet i bygningsmassen dekkes av tre energikilder. Varmepumpen, som trekker ut varme fra grunnvannet, vil fungere som grunnlast, noe som vil føre til store energibesparelser i forhold til eksisterende beregninger på grunn av pumpens høye årsvirkningsgrad på 4,62. Fjernvarme og oljekjel vil som nevnt fungere som henholdsvis første og andre topplast.

Kun noe av effektkildenes maksimale kapasitet er beregnet brukt på MFS da varmestokken ut fra energisentralen også skal tilkobles varmebatterier i ventilasjonsaggregat i gammel bygningsmasse. I følge innreguleringsplan for varmebehov [31] er maksimalt oppvarmingsbehov i MFS 895 kW, fordelt på varmebatterier i ventilasjonsaggregater, radiatorer og gulvvarme. Total kapasitet på varmestokken er 2450 kW (600 kW hos varmpumpe, 750 kW hos fjernvarme og 1100 kW hos oljekjel), noe som betyr at MFS

utgjør en andel på 36,5 prosent av energisentralens totale varmekapasitet. Denne andelen settes lik hos alle energikilder, så maksimal effekt til MFS fra varmpumpe, fjernvarme og oljekjel settes henholdsvis til 219 kW, 274 kW og 402 kW i EiB.

Alle energikildene leverer varme via et distribusjonssystem (varmestokken) til radiatorer og ventilasjon. Varmepumpen tar seg av bereding av varmt tappevann. I distribusjonssystemet sirkulerer vannet ved hjelp av pumper. Varmepumpen bruker grunnvann som varmekilde, og til å pumpe opp dette vannet kreves også pumpekraft. Energi til pumper er behandlet i delkapittelet ”pumper” under. Overføringsvirkningsgraden til distribusjonssystemet er satt til 0,98 (uforandret fra eksisterende beregninger). Varmefaktor (COP) på varmpumpa er ifølge dens tekniske datablad [32] på 4,62. Leverandør av varmpumpen har bekreftet per e-post [33] at denne høye varmfaktoren kan brukes som årsvarmfaktor på grunn av stabilt varmereservoar. Gjennomsnittstemperatur på grunnvannet som brukes som varmekilde, er i utregningen av COP satt til 8 °C. Gjennomsnittlig temperatur på oppumpet grunnvann er en usikker antagelse, så det tas pga. konservativ regning ikke med positive virkninger av utnyttelse av varmt spillvann fra kjølekrets høst og vår (dette bidrar til å heve gjennomsnittstemperaturen i energireservoaret, noe som bidrar til høyere varmfaktor). Priser på elektrisitet, fjernvarme og olje er behandlet i kapittel 4.2.

### **Kjøling**

Det er i de eksisterende beregningene antatt at all energi til kjøling hentes fra kjølemaskiner. Dette medfører heller ikke riktighet da ”grunnlasten” til kjølebehovet dekkes av naturlig kjøling, det vil si direkte varmeveksling med grunnvannet. Denne ”grunnlasten” til kjøling trekker kun kjøpt (levert) energi til å pumpe grunnvann opp til varmeveksler, samt pumpeenergi til å sirkulere vann i kjølestokken. Beregninger i prosjekteringen av energisentralen tilsier at maksimal kjøleeffekt fra den naturlige kjølingen ligger på 1250 kW. Det er da regnet med en maksimal sirkulert grunnvannsmengde på 60 l/s, og en temperaturdifferanse mellom tur og returvann på 5 °C (10/15 °C). Temperaturtap i pumper og varmeveksling er da tatt høyde for. I og med at anlegget ikke enda er kjørt i gang, er disse dataene noe usikre. Hvor mye vann det er mulig å pumpe opp fra grunnen, og hvor høy middeltemperatur dette vannet vil holde over året vil avhenge blant annet av hastighet på gjennomstrømmet vann i grunnen. Mer nøyaktige erfaringsverdier for dette vil bli tilgjengelige når anlegget har vært i drift cirka en sesong.

Kjølingen fra energisentralen skal også dekke luftkjøling i gammel del av Forskningsparken. I følge innreguleringsplan for kjølebehov [34] er maksimalt kjølebehov i MFS

cirka 1090 kW (870 kW til kjøling via ventilasjon, 20 kW til kjølerom i laboratorium og 200 kW tilgjengelig tilleggskjøling til IKT-rom, møterom o.l.). Til kjøling av den eksisterende bygningsmassen er behovet regnet ut til cirka 1000 kW. 52 prosent av kjølekapasiteten til energisentralen regnes altså til MFS.

Legger en sammen de maksimale kjølebehovene i gammel og ny del av Forskningsparken, får en et totalt maksimalt behov på 2090 kW. Kjølemaskinen har en kapasitet som er regnet ut til 430 kW (kjølefaktor på 3,41 i henhold til teknisk datablad for varmepumpen [32]), og naturlig kjøling kan som nevnt dekke opptil cirka 1250 kW. Sommert gir dette en kapasitet på 1680 kW, noe som faktisk ikke er nok til å dekke det maksimale prosjekterte behov. Det er imidlertid iberegnet en del reservekapasitet i beregningene for kjølebehov, og samtidighet er en sentral faktor her. Maksimalt kjølebehov for ulike deler av bygget vil ikke skje samtidig da det for eksempel ikke forekommer maksimal belastning fra sol på alle fasader samtidig, og internlast fra personer, lys og utstyr vil reduseres på grunn av redusert tilstedeværelse. Kapasiteten på 1680 kW for hele Forskningsparken anses dermed som tilstrekkelig. I og med at 1680 kW er beregnet til maksimal kjølekapasitet for hele Forskningsparken, antas det videre at MFS sitt maksimale effektuttak til kjøling er 52 prosent av dette, altså 874 kW (de første 650 kW fra naturlig kjøling, de siste 224 kW fra kjølemaskin).

I programmet Energi i Bygninger 3.5 (EiB) er det ingen funksjon som dekker naturlig kjøling. Eneste mulighet for å få med energi til kjøling via ventilasjonsanlegget i dette programmet er gjennom å skrive inn maksimal kjøleeffekt og kjølefaktor til en kjølemaskin. Å skrive inn hele kjølekapasiteten til MFS som maksimal effekt til kjølemaskinene, vil i dette tilfellet bli feil når en skal regne ut 'levert energi', da en ikke trenger være "innom" kjølemaskinen for å dekke mesteparten av det prosjekterte kjølebehovet. For å få tatt hensyn til den energisparende effekten av naturlig kjøling i EiB, må en altså foreta noen ukonvensjonelle grep. En må finne ut hvor mye kjøleenergi den naturlige kjølingen kan gi, for deretter å trekke denne energien fra totalt energibehov til kjøling. En legger da inn maksimal effekt for naturlig kjøling (650 kW) i kolonnen 'maksimal levert effekt fra kjølebatteri', og resultatfilen vil vise den energien som naturlig kjøling dekker. Deretter legges maksimalt effektuttak for kjøling for MFS (naturlig kjøling og kjølemaskin – 874 kW) inn. Fra det totale energibehovet til kjøling som da fremkommer i resultatfilen, trekkes energien som ble dekket av naturlig kjøling. En sitter da igjen med energien som kjølemaskinen forbruker i løpet av et år. For å få total energibruk til kjøling, må det legges til et bidrag fra brønnpumper og sirkulasjonspumper i distribusjonssystemet. Dette beskrives i delkapitlet "pumper" under. I tillegg til kjølingen nevnt over, har kjøkkenet kjølerom med lokale kjøle-

maskiner som i snitt yter cirka 2 kW året gjennom, med en gjennomsnittlig kjølefaktor på cirka 2 [35]. Dette blir et årlig energibehov på 8760 kWh, som må legges til resulterende 'levert energi' fra EiB. Totalt energibehov til kjøling i MFS blir altså:

$$W_{kjøl} = W_{avlest,874kW} - W_{avlest,650kW} + W_{kjølepumper} + W_{kjøl,kjøkken} \quad (1)$$

### **Pumper**

I de eksisterende beregninger er eneste registrerte pumpeeffekt 2000 Watt til distribusjon av varmt vann. Dette er eneste sted i EiB hvor effekt til pumper kan skrives inn. I MFS brukes imidlertid pumper i langt større grad, både i varmestokk (radiatorer, varmebatteri og gulvvarme), kjølestokk (ventilasjon og kjølfryserom) og til å pumpe opp vann fra grunnen. Alle disse pumpene er frekvensstyrt, så de har varierende belastning ved varierende behov for varme og kjøling. Hvor stor effekt de til sammen trekker i snitt over året, vil dermed bli vanskelig å vurdere da det ikke eksisterer erfaringsverdier på grunn av byggets lave alder. En verdi som er langt nærmere realiteten enn i de eksisterende beregningene vil imidlertid være mulig å anslå.

I vedlegg 4 er et anslag over total gjennomsnittlig pumpeeffekt over året hos MFS lagt fram. Pumpeeffektene er lest ut fra pumpediagram i datablader på produsentene Wilo [36] og Grundfos [37] sine nettsider, ut fra løftehøyde og dimensjonerende vannmengde. Løftehøyden til pumpene er ikke regnet ut nøyaktig, men er gjennomsnittlig anslått til 5 meter vannsøyle [38]. Dimensjonerende vannmengde er lest ut fra eksisterende pumpeoversikt til MFS [39]. Alle pumpene er frekvensstyrte, og hvor stor gjennomsnittlig belastning de har gjennom sesongen (gjennomsnittlig vannmengde i prosent av dimensjonerende vannmengde) er anslått i tabellen i vedlegget. Tilhørende effekter til anslått belastning er lest ut fra de ulike pumper sine pumpediagram. Dersom anslått belastning avviker noe fra realiteten, vil ikke dette ha mye å si for effektnivået til pumpene, da effektkurvene deres er relativt flate i forhold til gjennomstrømmet vannmengde. Lengden på sesongene for pumpene er anslått til 200 og 180 dager i henholdsvis varmestokken og kjølestokken (litt overlappende kjøle- og oppvarmingssesong). Utenom sesongen er pumpene antatt avslått. Pumpene i grunnvannsbrønnene og hovedpumpene i kjøle- og varmestokken skal betjene hele Forskningsparken. Andelen av effekten til hovedpumpene i kjøle- og varmestokken som er tiltenkt MFS, blir da de samme som utregnet i kapittel 4.1.3 (36,5 og 52 prosent). Andelen av effekten til grunnvannspumpene som går til MFS, er anslått til 40 prosent.

Nederst i tabellen i vedlegget står også andelen pumpeeffekt som betjener henholdsvis varme- og kjølestokken. Dette er også noe overslagsmessig da pumper i grunnvannsbrønnene både betjener oppvarming og kjøling. Det er her antatt lik fordeling mellom

oppvarming og kjøling for disse pumpene. Grunnen til at det bør skilles mellom pumper som betjener varme og kjøling er temperaturstigningen i vannet som pumpen medfører. En temperaturstigning i vann som har oppvarming som formål vil være positivt, mens det vil være negativt i vann som har kjøling som formål. Dersom en hadde tastet inn total pumpeeffekt i kolonne for ”pumpeeffekt til distribusjonssystem for oppvarming” i EiB, ville gevinsten ved denne tilleggsoppvarmingen av vannet blitt større enn i realiteten. I denne kolonnen testes altså kun andelen pumpeeffekt som betjener oppvarming inn. Den totale pumpeeffekten (6,75 kW) som går til oppvarming, må fordeles på de tre energikildene i EiB. Nøyaktig hvordan denne fordelingen gjøres er ikke sentralt, så en anslagsmessig fordeling på varmepumpe, fjernvarme og oljekjel er henholdsvis 4 kW, 2,5 kW og 0,25 kW.

Andelen pumpeeffekt som betjener kjøling (14,85 kW), kan ikke testes inn noe sted i EiB, så energien som går til disse pumpene må manuelt legges til sluttresultatet fra EiB. Resultatene oppsummeres i kapittel 5.

### **Ventilasjon**

Ut fra innreguleringsprotokoller for ventilasjon i MFS [40] viser det seg at dimensjonerende luftmengder fra de ulike aggregatene har endret seg betydelig fra de prosjekterte etter at anleggene har blitt kjørt i gang. Dette gir selvsagt utslag i energibruken da endrede luftmengder medfører endret behov for viftekraft og oppvarming og kjøling av tilluften. Dimensjonerende luftmengder i gamle og nye beregninger, samt gjennomsnittlige luftmengder i driftstiden for de ulike aggregater vises i tabell 4. En ser at total dimensjonerende luftmengde er nede i 135.800 m<sup>3</sup>/h (aggregatene er dimensjonert til å greie større luftmengder, men denne reservekapasiteten tas ikke med i beregningene her), noe som tilsier 9,4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h, mot 12 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h som MFS var prosjektert med. Dette vil spare energibruk til viftedrift og oppvarming av tilluft, som jo er positivt. Samtidig kan det imidlertid dukke opp andre problemer knyttet til dette, som redusert kjølekapasitet og dårlig inneklime. Om kjølekapasiteten er stor nok diskuteres i kapittel 6.1, men problematikken rundt inneklime vil det ikke bli gått inn på her.



<b>Gamle beregninger</b>					
<b>Aggregat</b>	<b>Dimensjonerende luftmengde [m3/h]</b>	<b>Gjennomsnittlig luftmengde i driftstid [%]</b>	<b>Gjennomsnittlig luftmengde i driftstid [m3/h]</b>	<b>Gjennomsnittlig luftmengde utenom driftstid [%]</b>	<b>Gjennomsnittlig luftmengde utenom driftstid [m3/h]</b>
Bygg 6, kontor	30.000	82	24600	0	0
Bygg 7, kontor	50.000	85	42500	0	0
Bygg 8, kontor	60.000	84	50400	0	0
Bygg 7, lab	16.000	100	16000	0	0
Bygg 8, kantine + aud.	16.000	100	16000	0	0
<b>Nye beregninger</b>					
<b>Aggregat</b>	<b>Dimensjonerende luftmengde [m3/h]</b>	<b>Gjennomsnittlig luftmengde i driftstid [%]</b>	<b>Gjennomsnittlig luftmengde i driftstid [m3/h]</b>	<b>Gjennomsnittlig luftmengde utenom driftstid [%]</b>	<b>Gjennomsnittlig luftmengde utenom driftstid [m3/h]</b>
Bygg 6, kontor	25000	85 %	21250	10 %	2500
Bygg 7, kontor	40037	85 %	34031	10 %	4003,7
Bygg 8, kontor	38900	85 %	33065	10 %	3890
Bygg 7, lab	20000	100 %	20000	50 %	10000
Bygg 8, kantine + aud.	10850	75 %	8137,5	5 %	542,5

**tabell 4 Luftmengder og tilstedeværelsesfaktorer**

Som en ser av tabellen over, er gjennomsnittlig luftmengde i og utenom driftstid endret mye i de nye beregningene. All ventilasjon er også antatt skrudd av utenom driftstid i gamle beregninger, noe som ikke medfører riktighet (på grunn av laboratorievirksomhet samt mulighet for å skru på ventilasjon i kontorer utenom driftstid ved å benytte overtidsbryter).

EiB har ingen funksjon for VAV-ventilasjon med tilstedeværelse som styringskriterium (kun temperatur). Det er derfor simulert med CAV-ventilasjon i alle aggregater, med gjennomsnittlig luftmengde i og utenom driftstid som innparametre i EiB. Virkelig driftstid for all ventilasjon er fra kl. 06.30 til 17.00, men i og med at EiB har hele timer som tidssteg, beholdes driftstid fra gamle beregninger fra kl. 07.00 til 17.00. I eksisterende beregninger er det regnet med en tilluftstemperatur på henholdsvis 19 °C og 17 °C for vinter og sommer, og temperaturvirkningsgrad til gjenvinnere er på 75 % for aggregater som betjener kontor, auditorium og kantine og 55 % for aggregat som betjener laboratorium. Dette stemmer med virkeligheten, så ingen endringer er gjort.

For kontorventilasjonen følges, som nevnt i avsnittet ”internlaster”, forslag i prNS 3031 [10] om en gjennomsnittlig tilstedeværelse i kontorer i driftstiden på 65 prosent. Grunnet tidsforsinkelse i sensorene, vil full luftmengde gå en viss tid (tidsforsinkelse på 20 minutter) etter at personer har forlatt rommene. Det er derfor antatt full luftmengde gjennomsnittlig 70 prosent av driftstiden i kontorene. I driftstiden kjører altså anleggene med full luftmengde så lenge noen er i kontorene og halv luftmengde ellers. Utenom driftstid er ventilasjon avstengt så lenge overtidsbryter ikke er slått på etasjevis. Dersom denne er slått på, ventileres etasjen som i driftstiden. Regnestykket for

gjennomsnittlig andel av full luftmengde i kontorer i driftstiden blir da:

$$q_{m,d} = 0,5 * 30\% + 1,0 * 70\% = 85\% \quad (2)$$

$q_{m,d}$  = Luftmengde midlet over driftstid i prosent av full luftmengde [%]

Utenom driftstid er det i denne oppgaven anslått en tilstedeværelse i kontorene på 5 prosent (i gamle beregninger er det simulert med null ventilasjon utenfor driftstiden), og gjennomsnittlig ventilasjonsrate utenfor driftstid er satt til 10 prosent av dimensjonerende luftmengde (litt høyere på grunn av at grunnventilasjon skrur på i hele etasjer når det jobbes overtid). Tilstedeværelse utenom driftstid for kontorbygg er det ikke lykkes å finne normtall for, så slike verdier blir kun erfaringsmessige anslag i denne oppgaven. Utenom driftstid tilnærmes gjennomsnittlig luftmengde i kontorene til:

$$q_{m,ud} = 1,0 * 10\% + 0,0 * 90\% = 10\% \quad (3)$$

$q_{m,ud}$  = Luftmengde midlet utenom driftstid i prosent av full luftmengde [%]

Aggregater som betjener kantine, auditorium og laboratorium har litt spesielle driftsforhold. Kantine (inkludert glassgård og kjøkken) har CAV-ventilasjon i driftstid og helt avskrudd ventilasjon utenom driftstid. Auditorium har VAV-ventilasjon, med en grunnventilasjon som går kontinuerlig i driftstid, og kun dersom CO<sub>2</sub>-føler gir utslag, vil ventilasjon i auditorium gå for fullt. I laboratorium er det også VAV-ventilasjon, der det er tre trinn på ventilasjonen. Hvilket trinn ventilasjonen går på avhenger her av hvor mange laboratorieplasser som er i bruk. Både i auditorium og i laboratorium kan altså ventilasjonen variere mye fra time til time og fra dag til dag i driftstiden. En må likevel anslå en gjennomsnittlig luftmengde, og etter diskusjon med Morten Walmsness [41] er det kommet fram til følgende:

- Laboratorium har 32 avtrekkshetter med kapasitet på 1000 m<sup>3</sup>/h hver, og 16 av disse er i snitt forventet brukt i driftstiden. I tillegg er det et renrom i tilknytning laboratoriet, med CAV-ventilasjon på 4000 m<sup>3</sup>/h i driftstid. Til sammen er det altså forventet at aggregatet som betjener laboratoriet i snitt går med 20.000 m<sup>3</sup>/h i driftstid.
- Utenom driftstid går aggregatet som betjener laboratoriet gjennomsnittlig med 50 prosent av dimensjonerende luftmengde (stenges aldri av, som de andre aggregatene).
- Dimensjonerende luftmengde for aggregat som betjener kantine og auditorium ligger på 10.850 m<sup>3</sup>/h (5400 til auditorium, 2350 til glassgård, 2000 til kantine og 1100 til kjøkken). Luft som går til kjøkken, kantine og glassgård er konstant (CAV) i driftstid og avskrudd utenom driftstid. I auditoriet er det anslått en gjennomsnittlig

bruk på 50 prosent i driftstid og 10 prosent utenom driftstid. Altså blir gjennomsnittlig belastning av aggregatet 75 prosent i driftstid og 5 prosent utenom driftstid.

Garasjen har i virkeligheten kun avtrekksventilasjon, med tilluft via ventiler i yttervegg. Avtrekkslufta varmegjenvinnes ikke, men brukes til å holde kryprom med vannrør og lignende frostfritt. Lufta behandles ikke på noen måte i garasjen, så eneste energibruk til ventilasjonen er via vifter i avtrekket. I eksisterende beregninger er det brukt balansert ventilasjon med varmebatteri og varmegjenvinner, noe som er endret i de oppdaterte inndataene i vedlegg 1.

### SFP-faktor

Energi til vifter i ventilasjonsanlegg er tradisjonelt en stor post på energiregnskapet til kontorbygg. SFP-faktoren (specific fan power) er et mål på hvor stor motstand luften møter gjennom aggregatet og kanalene, og i energitiltaksmodellen i nye TEK [2] er kravet til SFP-faktor for næringsbygg på 2 og 1 kW/m<sup>3</sup>s for henholdsvis dag og natt.

I eksisterende beregninger er SFP-faktoren satt til henholdsvis 2,5 og 1,5 kW/m<sup>3</sup>s gjennomsnittlig henholdsvis i og utenfor driftstid. Disse tallene er basert på rene antagelser, da anleggene ikke var bygd da beregningene ble foretatt. I og med at energi til vifter er en stor post på energiregnskapet til kontorbygg, vil unøyaktige antagelser om SFP-faktor komme til å få mye å si for totalt beregnet årlig energibruk. Det er derfor til denne oppgaven foretatt målinger av SFP-faktoren i aggregatene til kontorventilasjon i Miljøforskningssenteret. Alle retningslinjer for nøyaktig måling av SFP-faktor er imidlertid ikke fulgt, så resultatene fra målingene må kun ses på som indikatorer. Prosedyre og forutsetninger for målinger finnes i vedlegg 5. Resultatene fra målingene er slått sammen i tabell 5.

Hus	Strøm[A]		Spj[V]		Luftmengde[% på dag]		Luftmengde, V[m <sup>3</sup> /s]		Cos(phi)	P <sub>tot</sub> [kW]	SFP=P <sub>tot</sub> /Q[kW/m <sup>3</sup> s]
	Tilluft	Avtrekk	Tilluft	Avtrekk	Tilluft	Avtrekk	Tilluft	Avtrekk			
6	7,9	8,9	398	398	91%	90%	6,57	6,53	0,9	10,42	1,59
7	17	18	387	387	77%	77%	9,49	9,49	0,9	21,11	2,22
8	11	8,5	390	390	72%	72%	9,00	9,00	0,9	11,86	1,32

tabell 5 Resultater SFP-måling

Som nevnt kan ikke målingene ses på som helt representative, men målingene tyder på at antagelsen i de eksisterende beregninger om SFP-faktorer på henholdsvis 2,5 og 1,5 kW/m<sup>3</sup>s i og utenom driftstid for aggregatene i Miljøforskningssenteret vil være for dårlig. Det skal imidlertid utføres konservative antagelser i denne oppgaven dersom inndataene er usikre, så selv om snittet av SFP-faktorene fra målingene ligger på 1,71 W/m<sup>3</sup>s i driftstid, settes faktoren til henholdsvis 2 og 1 kW/m<sup>3</sup>s i og utenom driftstid.

### Termostattertemperatur og nattsenkning

De gamle beregningene bruker 21 °C som termostattertemperatur, og senker temperaturen i helger og netter mellom klokken 22.00 og 05.00. Dette avviker noe fra virkeligheten da termostattertemperaturen er satt til 20 °C (brukere kan individuelt regulere temperatur  $\pm 3$  °C) i brukstiden (mellom 06.30 og 17.00 på hverdager). Utenom driftstid senkes termostattertemperaturen ned til 19 °C (nattsenkning settes mellom 17 og 06 i EiB på grunn av hele timer som maksimalt tidssprang).

#### 4.1.4 Inndata for beregning av 'netto energibehov'

For beregning av 'netto energibehov', må det gjøres noen endringer i inndataene i forhold til beregning av 'levert energi'.

Først og fremst er det systemvirkningsgradene som må settes lik 1 i beregning av 'netto energibehov'. Dette vil i virkeligheten medføre at varmepumpen får langt lavere kapasitet både som kjøle- og varmemaskin (varme- og kjølefaktor settes henholdsvis ned fra 4,62 og 3,41 til 1, og virkningsgrad til kjøleflater settes opp fra 0,6 til 1). Ved utregning av 'netto energibehov' må en imidlertid sette maksimal levert kjøle- og varmeeffekt til varmepumpen like stor som om virkningsgradene hadde vært uforandret, da det ellers antagelig ikke ville vært nok installert effekt til å dekke toppene på kjøle- og varmesiden i MFS. Utslaget dette gir er at teoretisk elektrisitetsforbruk vil øke en del.

'Netto energibehov' skal sammenlignes med rammekravet i ny TEK på 165 kWh/m<sup>2</sup> per år, så forutsetningene for rammekravene må samsvare med beregningene her. Først og fremst må minstekravene til bygningskroppen i nye TEK overholdes. Disse minstekravene, sammenlignet med gjeldende verdier for MFS er gjengitt i tabell 6.

Bygg	U-verdi yttervegg [W/m <sup>2</sup> K]	U-verdi tak [W/m <sup>2</sup> K]	U-verdi gulv på grunn og mot det fri [W/m <sup>2</sup> K]	U-verdi vindu [W/m <sup>2</sup> K]	Lufttetthet, luftvekslinger per time ved 50 Pa trykkforskjell
MFS	0,22	0,15	0,1 <sup>2</sup>	1,25	2,14 <sup>3</sup>
Minstekrav	0,22	0,18	0,18	1,6	3,0

tabell 6 Sammenligning MFS med minstekrav til bygningskropp i nye TEK

Det heter i TEK at 'det skal benyttes faste og standardiserte bruksavhengige data, samt gjennomsnittlige klimadata for hele landet' ([9], side 5). Klimadataene som er brukt i simuleringene i EiB er Oslo klima, noe som er i henhold til forslag til ny REN (vei-

<sup>2</sup> Snitt av gulv på grunn i bygg 6, 7 og 8

<sup>3</sup> Regnet ut fra ligning side 18 i prNS3031 [10]

ledning til teknisk forskrift) [42]. Standardiserte data er funnet i prNS 3031 [10]. Endringer av bruksavhengige data i forhold til inndata for utregning av 'levert energi', blir:

- Innetemperaturer på 21/19 °C i/utenfor driftstid.
- Driftstid på tolv timer daglig, fem dager i uken, 49 uker i året, minus offentlige helligdager (setter dette som driftstid både for ventilasjon og internlaster).
- Internt varmetilskudd fra personer på 3,8 W/m<sup>2</sup> i driftstid, ingenting utenom driftstid.
- Belysning settes til 8 W/m<sup>2</sup> i driftstid, ingenting utenom.
- Teknisk utstyr settes til 10,9 W/m<sup>2</sup> i driftstid, ingenting utenom.
- Gjennomsnittlig effekt til pumper i distribusjonssystem for oppvarming reduseres fra 6756 Watt til 1656 Watt grunnet fravær av brønnpumper når kun fjernvarme benyttes som varmekilde.
- Hele det maksimale prosjekterte kjølebehovet til MFS på 874 kW settes som maksimal levert effekt til sammen fra kjølebatteriene i de ulike ventilasjonsaggregater (som i beregning av 'netto energibehov' henter all kjøling fra en kjølemaskin med virkningsgrad lik 1).

Driftstid for ventilasjon er endret i henhold til krav om låste bruksavhengige data. Luftmengder i og utenom driftstid er foreslått i tabell B1 i prNS 3031 ([10], side 33), men disse verdiene er kun veiledende. I og med at MFS har behovsstyrt ventilasjon, regnes det i denne oppgaven med reduserte gjennomsnittlige luftmengder som følge av dette i beregning av 'netto energibehov'.

Alle forutsetninger for beregning av 'netto energibehov' i følge ny TEK er altså fulgt, bortsett fra at helligdager og fellesferie trekkes fra driftstid. Det er utvilsomt at energibruken til bygget reduseres når personale ikke er til stede pga. ferie eller helligdager, så et slikt avvik fra TEK anses å være forsvarlig. Resulterende 'netto energibehov' regnes imidlertid ut også med driftstider i henhold til krav i TEK i kapittel 6.1.3 (det er denne utregnede verdien som direkte kan sammenlignes med rammekrav i TEK).

En må legge til en gjennomsnittlig effekt gjennom året på 2 kW for lokal kjøler i kjøkken til resultatet i EiB (kjølefaktor på denne settes lik 1 i beregning en 'netto energibehov'). Dette tilsvarer en årlig energimengde på 17.520 kWh.

#### 4.1.5 Data for sammenligning med eksisterende bygningsmasse

Som nevnt i forutsetningene, er data for energi- og effektbehov i den eksisterende bygningsmassen basert på målinger, og fordeling på energiposter er kun anslått ut fra normtall (og noen lokale målinger) [43]. Det totale målte energibehovet tilsvarer altså den eksisterende bygningsmassens årlige 'leverte energi' (kjøpte energi). En kan

dermed sammenligne det målte energibehovet per kvadratmeter til den eksisterende bygningsmassen med beregnet årlig 'levert energi' per kvadratmeter til MFS. Dette er gjort i kapittel 5 (vanlige avvik mellom målt og beregnet energibehov er diskutert i kapittel 6.1).

Det er ikke beregnet 'netto energibehov' i henhold til nye TEK's retningslinjer for den eksisterende bygningsmassen (låste bruksavhengige data). Til tross for dette benyttes den anslåtte fordelingen på energiposter som et veiledende sammenligningsgrunnlag for MFS sitt netto energibudsjett. Dette kan gjøres fordi alle oppvarmingskilder til den eksisterende bygningsmasse har virkningsgrad lik 1 (oppvarming av rom skjer via elektriske panelovner, ventilasjonsanleggene har elektriske varmebatterier og tappevannet varmes opp av elkolber), og kjølemaskinene kan anslås å ha en årsvirkningsgrad på cirka 2,5 [43]. Eneste justering av den målte 'leverte energien' som er nødvendig for å få 'netto energibehov' blir da å multiplisere den anslåtte energien til kjølebatterier med 2,5. Sammenligning av poster på energibudsjettet mellom MFS, eksisterende bygningsmasse og rammekrav i ny REN [42] er gjort i kapittel 5.1.2.

#### **4.1.6 Inndata til energiberegninger for sammenligningsbygg**

Energikostnadene og indikatorene for energiytelse til MFS skal sammenlignes med tilsvarende bygg med kun fjernvarme som varmforsyning og tradisjonell løsning for kjøling. Disse størrelsene er beregnet ut fra 'levert energi', og endringene i inndata blir:

- Sletter varmpumpe og oljekjel som energikilder, og setter maksimal effekt til fjernvarme så stor at topplast vil bli dekket. Gjennomsnittlig effekt til distribusjonspumper i oppvarmingssystemet settes til 2,5 kW.
- Setter opp kapasiteten til kjølemaskinen slik at hele kjølebehovet til MFS kan dekkes av denne. Antar samme kjølefaktor for kjølemaskinen som i MFS.
- Pumpeeffekt til distribusjon av vann i kjølestokken settes gjennomsnittlig til 9 kW (trekt fra pumpeenergi til brønnpumper fra MFS sine beregninger). Total årlig energi til pumper i kjølestokken blir da  $9 \text{ kW} * 8760 \text{ h} = 78.840 \text{ kWh}$ . Denne energien må legges til resulterende 'leverte energi' fra EiB til sammenligningsbygget.

#### **4.1.7 Teoretisk maksimale effektbehov**

Teoretisk maksimale effektbehov hentes fra resultatene av simulert 'levert energi' i EiB. Det maksimale effektbehovet forekommer på det tidspunkt hvor den samlede belastningen av alle energikrevende installasjoner er høyest.

Som nevnt i forutsetningene, vil dette effektbehovet forekomme på dimensjonerende

vinterdøgn. Effektbehovet til oppvarming er da maksimalt, og brønnpumpene og distribusjonspumpene i varmekretsen vil gå tilnærmet for fullt. Den gjennomsnittlige effekten på 6,8 kW, som ble lagt inn for disse i inndataene i EiB, vil da bli for liten. Til maksimal brutto effekt for elektrisitet legges det derfor til 5 kW (4 kW til brønnpumpene og 1 kW til distribusjonspumpene) til dette formålet.

I tillegg legges det ytterligere 2,5 kW til elektrisitet pga. at lokal kjøler i kjøkken (maksimal levert effekt på 5 kW, med kjølefaktor på 2) ikke kan plasseres i inndataene i EiB. Pumper til distribusjon av vann for naturlig kjøling tas ikke med, da det maksimale effektbehovet forekommer vinterstid.

Den maksimale samtidige leverte effekten (bruttoeffekten) vil ikke være den samme som de maksimale effektene til ulike formål sommert. De enkelte effekttoppene forekommer ikke samtidig i det dimensjonerende vinterdøgnet (EiB registrerer effektene hver time), så en samtidighetsfaktor må multipliseres med de enkelte effekttoppene for å få reell samtidig maksimal effekt. Denne faktoren regnes ut i EiB, og maksimal samtidig effekt vises i tabeller i resultatfilen.

I netto effektbudsjett er systemvirkningsgradene satt lik 1. Data fra eksisterende bygningsmasse baserer seg som nevnt på målt 'levert effekt', men i og med at maksimal effekt forekommer vinterstid, og alle varmekilder til gammel bygningsmasse har virkningsgrad lik 1, kan netto effektbudsjett til MFS sammenlignes med målt effektbudsjett for eksisterende bygningsmasse. Fordelingen på effektposter for den eksisterende bygningsmassen må imidlertid kun ses på som veiledende, da den er basert på fordeling ut fra normtall (kun samlet maksimal samtidig effekt som er målt).

I resultatene sammenlignes også de maksimale netto effektene over året til de enkelte effektposter med normtall fra Enova [44]. Disse effektene forekommer ikke samtidig, så noen summering av disse til en samtidig effekt vil ikke bli riktig.

## 4.2 Energikostnader

I denne oppgaven skal årlige energikostnader til MFS regnes ut og sammenlignes med kostnader til et tilsvarende bygg med kun fjernvarme som energikilde og tradisjonell løsning for kjøling ("sammenligningsbygget").

### 4.2.1 Energi priser

Det defineres her tre prisnivåer; lavt, middels og høyt. Det lave og midterste prisnivået er anslått ut fra historiske priser hos de forskjellige energikildene, og det høye er anslått ut fra en allmenn mistanke om at prisen på kjøpt energi i framtiden vil øke relativt mye. Det er antatt at prisene på de ulike energikildene følger hverandre noenlunde likt.

	<i>Elektrisitet</i> [kr/kWh]	<i>Fjernvarme</i> [kr/kWh]	<i>Olje</i> [kr/kWh]
Lav	0,5	0,4	0,5
Middels	1,0	0,8	1,0
Høy	1,5	1,3	1,5

*tabell 7 Energi priser*

Oljeprisene er vurdert ut fra historiske priser på Statoil sine nettsider [45], og det er brukt en omregningsfaktor på 9,87 kWh/liter olje. Elektrisitets- og fjernvarmepriser er vurdert ut fra historiske priser på henholdsvis Statistisk Sentralbyrå [46] og Viken Fjernvarme [47] sine nettsider.

Ut fra disse vurderingene, ser en av tabell 7 at pris på elektrisitet og olje følger hverandre, mens pris på fjernvarme ligger ett hakk under. Prisene er inkludert eventuell fastpris per effektledd, nettleie, forbruksavgift, transportavgift, kvantumstillegg og mva.

### 4.3 Indikatorer for energiytelse

De senere år har ”energiytelse” oppstått som et begrep for å beskrive hvordan bygningers energibruk påvirker miljøet. ’Netto energibehov’ eller ’levert energi’ er parametere som ikke alene gir en fullverdig innsikt i en bygning sin miljøpåvirkning som følge av dens energibruk. En kan ikke bare ta hensyn til hvor mye årlig energi bygget har behov for, en må også tenke på hvilke forurensninger produksjon av energien medfører, og hvor effektivt den blir produsert og transportert.

Uttrykket ’indikator for energiytelse’ stammer fra det engelske ”energy performance indicator” (EP), og kan i følge prEN 15217 [3] representere ytelsen til bygg med hensyn til følgende parametre:

- a) Primærenergi,  $E_p$
- b) CO<sub>2</sub>-utslipp,  $m_{CO_2}$
- c) Netto levert energi vektet for en annen parameter bestemt av nasjonal energipolitikk.

Ulike veiefaktorer (VF) benyttes for de ulike parameterne, og ’indikator for energiytelse’ fremkommer ved å multiplisere ’levert energi’ fra en energikilde med energikildens veiefaktor. Det er de to første parameterne, primærenergi og CO<sub>2</sub>-produksjon, som skal beregnes for ny og gammel bygningsmasse i Forskningsparken og sammenligningsbygget i denne oppgaven.



Begrepet 'vektet levert energi' brukes for å beskrive energiytelsen til bygg med primærenergi som veieparameter.

#### 4.3.1 Forutsetninger

- Oppvarmet bruksareal brukes som klimatisert areal for MFS i denne oppgaven (definisjon av klimatisert areal i prEN15217 er så vid at den også omfatter også oppvarmet bruksareal, se symbol- og ordforklaringer helt i begynnelsen av oppgaven). For gammel bygningsmasse brukes det omtrentlige oppgitte arealet på 28.000 m<sup>2</sup> som klimatisert areal.
- Energibehov til MFS regnes ikke ut i henhold til CEN-standardene sine prosedyrer (blant annet er en i prosedyrene i CEN-standardene avhengig av data fra nasjonale tabeller, og alle disse tabellene er per mai 2007 ikke laget for Norge). I stedet benyttes utregnede energibehov ('levert energi') fra EiB-simuleringer i kapittel 5.1.1. For gammel bygningsmasse benyttes målt årlig 'levert energi' som utgangspunkt.
- I og med at datagrunnlaget for beregninger av gammel bygningsmasse i Forskningsparken er såpass tynt, må resultater for denne bygningsmassen kun ses på som veiledende.
- I og med at data rundt produsert elektrisk og termisk energi fra solceller og solfangere i Miljøforskningssenteret er såpass usikre, unnlates det å ta hensyn til dette i beregningene. 'Netto levert energi' ('levert energi' minus produsert energi), som er parameteren som skal benyttes ved beregning av indikatorer for energiytelse, blir da lik 'levert energi' (beregnet i kapittel 5.1.1).

#### 4.3.2 Fremgangsmåte

Som nevnt i kapittel 2.3, finnes bygningers indikatorer for energiytelse ved å dividere energiklassifiseringen ('netto levert energi' vektet for ønsket parameter) med klimatisert areal:

$$EP = \frac{E_{\text{levert}} * VF_{\text{tot}}}{A_c} \quad (4)$$

$EP$  : Indikator for energiytelse [kWh/m<sup>2</sup> per år]  
 $E_{\text{levert}}$  : Total årlig 'netto levert energi' til bygget [kWh/år]  
 $VF_{\text{tot}}$  : Total veiefaktor for alle energislag  
 $A_c$  : Klimatisert areal [m<sup>2</sup>]

'Levert energi' til MFS og sammenligningsbygget er som nevnt regnet ut i kapittel 5.1.1, og til gammel del av Forskningsparken benyttes målte verdier for 'levert energi'.

For å finne energiytelsen til MFS, gammel bygningsmasse og sammenligningsbygget med primærenergi og CO<sub>2</sub>-produksjon som veieparametre, gjenstår det da bare å finne riktige veiefaktorer å multiplisere med.

### 4.3.3 Veiefaktorer

Faktorene for vektning av energibruken mot primærenergi og CO<sub>2</sub>-utslipp skal det, i følge prEN 15603 [4], utarbeides nasjonale tabeller for. Noen slike tabeller har ennå ikke utkommet i Norge (per mai 2007), så faktorene foreslått i annex E i prEN 15603 benyttes her. Tabellen er gjengitt i figur 5.

	Primary energy factors $f_p$		CO <sub>2</sub> production coefficient $K$ [kg/MWh]
	Non-renewable	Total	
Fuel oil	1.35	1.35	330
Gas	1.36	1.36	277
Anthracite	1.19	1.19	394
Lignite	1.40	1.40	433
Coke	1.53	1.53	467
Wood shavings	0.06	1.06	4
Log	0.09	1.09	14
Beech log	0.07	1.07	13
Fir log	0.10	1.10	20
Electricity from hydraulic power plant	0.50	1.50	7
Electricity from nuclear power plant	2.80	2.80	16
Electricity from coal power plant	4.05	4.05	1340
Electricity Mix UCPTÉ	3.14	3.31	617

figur 5 Veiefaktorer for beregning av energiytelse

Aktuelle energikilder for Forskningsparken og sammenligningsbygget er elektrisitet, fjernvarme og olje. Når en skal regne ut total veiefaktor ut i fra gitte andeler av forskjellige energislag, benyttes følgende ligning:

$$VF_{tot} = \sum (VF_i * x_i) \quad (5)$$

$VF_{tot}$  : Total veiefaktor

$VF_i$  : Veiefaktor for energislag  $i$

$x_i$  : Andel av energislag  $i$ , i forhold til total 'levert energi'

#### Elektrisitet

Som kjent, produseres mesteparten av norsk elektrisitet i vannkraftverk ("hydraulic powerplant" i figur 5). Produksjon av elektrisk kraft i Norge varierer fra år til år med nedbørsmengden. Med de siste års økende forbruk av energi i Norge, går imidlertid tendensen mot stadig mer nettoimport av elektrisk energi over året. I denne oppgaven anslås det at dette importoverskuddet tilsvarer 10 prosent av total forbrukt elektrisitet, og at den importerte elektriske kraften kommer fra europeisk kullkraftproduksjon. En

ser av historisk statistikk på Statistisk Sentralbyrås nettsider [48] at dette er et nokså konservativt anslag, men antagelsen er altså at forbrukt elektrisk energi i fremtiden vil basere seg mer på forurensende produksjon enn den har gjort de senere år (enten ved større import eller ved større innenlands produksjon i f.eks. gasskraftverk uten CO<sub>2</sub>-rensing). I følge veiefaktorene i figur 5, blir da total veiefaktor for elektrisk primær-energi i Norge:

$$VF_{pe,el} = 0,9 * 1,50 + 0,1 * 4,05 = \underline{1,76}$$

Veiefaktor for CO<sub>2</sub>-utslipp fra elektrisitet forbrukt i Norge, blir:

$$VF_{CO_2,el} = 0,9 * 7 \text{ kg CO}_2/\text{MWh} + 0,1 * 1340 \text{ kg CO}_2/\text{MWh} = \underline{140 \text{ g CO}_2/\text{kWh}}$$

### Fjernvarme

Total veiefaktor for fjernvarme avhenger av hvilke energikilder som ligger til grunn for produksjon av fjernvarmen. MFS er kunde hos Viken Fjernvarme AS, og selskapet har oppgitt følgende fordeling på energikilder i 2006 [49]:

#### Energiproduksjon Viken Fjernvarme AS 2006

Energibærer	MWh	%
Avfallsenergi	405 328	40 %
Biobrensel	113 311	11 %
Varmepumpe	69 240	7 %
Fyringsolje	105 568	10 %
Elektrisitet	321 442	32 %
<b>SUM</b>	<b>1 014 888</b>	<b>100 %</b>

tabell 8 Fordeling på energislag hos Viken Fjernvarme AS

Dette blir i denne oppgaven brukt som fordeling på energislag ved produksjon av fjernvarme, selv om fordelingen vil variere fra år til år (avhengig av etterspørsel etter energi samt tilgjengelighet og pris på ulike energikilder).

Faktorer for vektning av energibruken mot primærenergi og CO<sub>2</sub>-utslipp finnes ikke i figur 5 for energi fra avfallsforbrenning og varmepumper. Euroheat & Power (Internasjonal forening for fjernvarme, fjernkjøling og kombinert utnyttelse av kraft og varme (CHP)) har imidlertid initiert et internasjonalt prosjekt, kalt 'Ecoheatcool' [50], som blant annet tar for seg primærenergieffektivitet til fjernvarme- og fjernkjølesystemer. I en delrapport [51] foreslår prosjektgruppen en primær ressursfaktor for avfallsforbrenning på 0,05. Faktoren er som en ser svært lav. Dette er fordi primær ressursfaktor, til forskjell fra primærenergifaktor, ikke har med den fornybare delen av energien hos energikilden. I denne oppgaven skal den fornybare delen tas med ("total primærenergifaktor" i figur 5), så i stedet følges forslaget i en forløper av prEN 15603,

på 1,05 som total primærenergifaktor for avfallsforbrenning [52]. Faktor for CO<sub>2</sub>-produksjon fra avfallsforbrenning er, i følge 'ecoheatcool'-rapporten [50], 20 g/kWh (avfall inneholder plaststoffer og lignende som avgir CO<sub>2</sub> ved forbrenning).

'Ecoheatcool' foreslår også veiefaktorer for varmepumper, men der er det forutsatt at elektrisitet blir produsert på en langt mindre miljøvennlig måte enn det som er forutsatt i denne oppgaven. Faktorene for varmepumper blir da langt dårligere enn dersom en regner produsert elektrisitet som i denne oppgaven. Levert varmeeffekt fra varmepumpen regnes derfor om til levert elektrisk energi levert til pumpen, og veiefaktorer for elektrisitet, som ble regnet ut tidligere, benyttes så for det samlede elektrisitetsforbruket. For varmepumpen antas det en årsvirkningsgrad på 4, slik at levert elektrisk energi til varmepumpen hos Viken Fjernvarme blir 17.310 kWh. Sommert levert elektrisitet blir da 338.752 kWh, og ny fordeling på energibærere, blir:

<b>Energibærer</b>	<b>MWh</b>	<b>%</b>
Avfallsenergi	405 328	42 %
Biobrensel	113 311	12 %
Fyringsolje	105 568	11 %
Elektrisitet	338 752	35 %
<b>SUM</b>	<b>962 959</b>	<b>100 %</b>

*tabell 9 Ny fordeling på energislag ved varmepumpe som elektrisitet*

Som veiefaktor for biobrensel brukes i denne oppgaven et snitt av "wood shaving", "log", "beech log" og "fir log" i figur 5. Primærenergifaktoren for biobrensel blir da 1,08, og faktor for CO<sub>2</sub>-produksjon blir 13 g CO<sub>2</sub>/kWh.

Faktorene for fyringsolje hentes direkte fra figur 5 ("fuel oil"), og for elektrisitet brukes faktorer regnet ut i forrige avsnitt. For fjernvarmen produsert hos Viken Fjernvarme AS blir da samlet primærenergifaktor:

$$VF_{pe,viken\_fv} = 0,42 * 1,05 + 0,12 * 1,08 + 0,11 * 1,35 + 0,35 * 1,78 = \underline{1,34}$$

Vektet CO<sub>2</sub>-produksjon fra fjernvarme produsert hos Viken fjernvarme, blir:

$$VF_{CO_2,viken\_fv} = 0,42 * 20 \text{ g CO}_2/\text{kWh} + 0,12 * 13 \text{ g CO}_2/\text{kWh} + 0,11 * 330 \text{ g CO}_2/\text{kWh} + 0,35 * 140 \text{ g CO}_2/\text{kWh} = \underline{95 \text{ g CO}_2/\text{kWh}}$$

Oppsummert, finnes veiefaktorene for energikilder brukt til fjernvarme i tabell 13.

#### **Veiefaktorer for MFS og sammenligningsbygget, oppsummert**

Veiefaktorene for energislagene MFS og sammenligningsbygget benytter seg av oppsummeres i tabell 10.

<i>Energikilde</i>	<i>Veiefaktor primærenergi, <math>VF_{pe}</math></i> <i>[-]</i>	<i>Veiefaktor <math>CO_2</math>-produksjon,</i> <i><math>VF_{CO_2}</math></i> <i>[g <math>CO_2/kWh</math>]</i>
Elektrisitet	1,76	140
Fjernvarme	1,34	95
Olje	1,35	330

*tabell 10 Veiefaktorer for MFS og sammenligningsbygget sine energikilder*

#### 4.3.4 Sammenligning med referanseverdier

Alene vil indikatorene for energiytelse kun være tallverdier som folk flest ikke vil ha noe intuitivt forhold til. En bør derfor sette disse tallverdiene i en sammenheng, slik at en kan sammenligne energiytelsen med relevante referansebygg. En slik sammenligning, med inndeling i klasser etter hvor godt bygget er i forhold til referansen, vil antagelig bli fremgangsmåten for fremtidig sertifisering av bygninger i Norge (om det skal være 'levert energi', 'netto energibruk' eller ulike 'indikatorer for energiytelse' som skal være målet for energi i en slik sertifisering er imidlertid ennå ikke klart [14]).

PrEN15217 [3] foreslår en slik sammenligning med referanseverdier (klassifisering) i annex B. Det er dette forslaget til klassifisering som blir fulgt i denne oppgaven, når energiytelsen til Forskningsparken og sammenligningsbygget skal vurderes. Som nevnt i kapittel 2.3.2, er det referanseverdiene  $R_s$  (energiytelse oppnådd av cirka halvparten av eksisterende bygg av samme type) og  $R_r$  (typisk energiytelse til nye bygninger av samme type) som danner utgangspunkt for skalaen.

##### **$R_s$ – referanseverdi for snitt av norske kontorbygg**

$R_s$  skal som sagt representere energiytelsen oppnådd av cirka halvparten av eksisterende bygg av samme type som MFS (median-verdi). Akkurat denne typen statistikk er det ikke lyktes å finne, men gjennomsnittlig (aritmetisk) årlig energibruk ('levert energi') for norske kontorer, hentet fra Bygningsnettverkets energistatistikk 2005 [53], anses å være representativt. Av tabell 3.1 i energistatistikken, kan en lese følgende om kontorbygg:

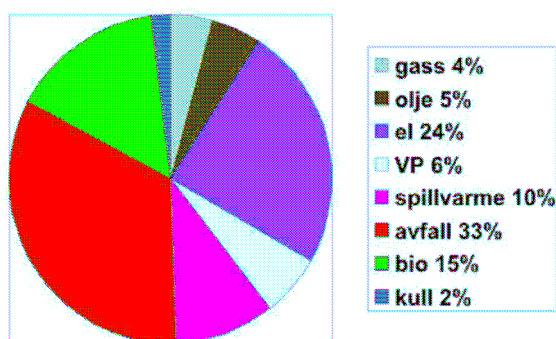
<i>Fordeling av virkelig spesifikk energibruk på energibærere for norske kontorbygg i 2005 [%]</i>						
Gjennomsnittlig temperatur- og stedskorrigert årlig spesifikk energibruk [kWh/m <sup>2</sup> ]	Elektrisitet	Flytende (olje/parafin) vannbåren/direkte	Fjernvarme	Gass	Biologisk	Annet
247	82,2 %	3,8 %	14,0 %	0 %	0 %	0,1 %

**tabell 11 Gjennomsnittlig spesifikk energibruk i norske kontorbygg i 2005**

I Enovas statistikk er 'levert energi' dividert på 'oppvarmet bruttoareal', mens det i denne oppgaven benyttes 'oppvarmet bruksareal'. Korrigert for dette, blir gjennomsnittlig temperatur- og stedskorrigert spesifikk energibruk lik 257 kWh/m<sup>2</sup> (oppvarmet BRA) per år (antar da lik andel omsluttende konstruksjonsareal som i MFS).

For å finne  $R_{ss}$ , må gjennomsnittlig energibruk i norske kontorbygg vektet for primær-energi og CO<sub>2</sub>-utslipp. Veiefaktorene for elektrisitet (posten "annet" i tabell 11 legges til elektrisitet da andelen er såpass liten) og olje/parafin (denne posten settes lik "fuel oil" i figur 5 ), er de samme som utregnet i tabell 10.

Veiefaktor for fjernvarme blir imidlertid litt annerledes, da det for  $R_s$  må benyttes landsgjennomsnitt i fordelingen på energislag ved produksjon av fjernvarme. Et slikt gjennomsnitt for 2005 finnes på Norsk Fjernvarme sine nettsider [54]:



**figur 6 Fjernvarmeproduksjonens fordeling energislag 2005**

Samme argumenteringen rundt varmpumper som i avsnittet "fjernvarme" gjelder også her, så varmpumpene antas å ha en årsvirkningsgrad lik 4. Antar en et totalt årlig fjernvarmeforbruk i norske kontorbygg på 36 kWh/m<sup>2</sup> (14 prosent av totalt 'levert energi' til norske kontorbygg), blir fordelingen på energislag som følger, når en regner om varmpumpenes energibruk til levert elektrisitet:

Gass	4 %
Olje	5 %
Elektrisitet	27 %
Spillvarme	10 %
Avfallsforbrenning	36 %
Bio	16 %
Kull	2 %

*tabell 12 Fjernvarens fordeling på energislag ved varmepumpe som elektrisitet*

Veiefaktorer for de ulike energislagene er oppsummert i tabell 13.

<i>Energislag</i>	<i>VF<sub>pe</sub> [-]</i>	<i>VF<sub>CO2</sub> [kg CO<sub>2</sub>/MWh]</i>	<i>Kommentar</i>
Gass	1,36	277	
Olje	1,35	330	
Elektrisitet	1,76	140	
Spillvarme	0,05	0	Antar at eneste primærenergi som går med ved produksjon av fjernvarme ved utnyttelse av spillvarme, er pumpeenergi til distribusjon av fjernvarmen. Følger derfor 'ecoheatcool' sitt forslag, og setter primærenergifaktor lik primær ressursfaktor. Antar CO <sub>2</sub> -faktor tilnærmet lik null ved utnyttelse av spillvarme.
Avfallsforbrenning	1,05	20	
Bio	1,08	13	Snitt av "wood shavings", "log", "beech log" og "fir log" i figur 5 brukes her
Kull	1,37	431	Snitt av "anthracite", "lignite" og "coce" i figur 5 brukes her

*tabell 13 Veiefaktorer ulike energislag for gjennomsnittlig fjernvarmeproduksjon*

Med del-veiefaktorer vist i tabell 13, blir gjennomsnittlige veiefaktorer for norsk fjernvarme:

$$VF_{pe, norsk\_fv} = 0,04 * 1,36 + 0,05 * 1,35 + 0,27 * 1,76 + 0,10 * 0,05 + 0,36 * 1,05 + 0,16 * 1,08 + 0,02 * 1,37 = \underline{1,18}$$

$$VF_{CO2, norsk\_fv} = 0,04 * 277 \text{ g CO}_2/\text{kWh} + 0,05 * 330 \text{ g CO}_2/\text{kWh} + 0,27 * 140 \text{ g CO}_2/\text{kWh} + 0,10 * 0 \text{ g CO}_2/\text{kWh} + 0,36 * 20 \text{ g CO}_2/\text{kWh} + 0,16 * 13 \text{ g CO}_2/\text{kWh} +$$

$$0,02 * 431 \text{ g CO}_2/\text{kWh} = \underline{83 \text{ g CO}_2/\text{kWh}}$$

Ut fra veiefaktorene som nå er regnet ut, kan en finne endelige vektete referanseverdier for et snitt av norske kontorbygg:

$$\mathbf{R_{s,pe}} = (0,823 * 1,76 + 0,038 * 1,35 + 0,14 * 1,18) * 257 \text{ kWh/m}^2 \text{ per år} = \underline{\mathbf{428 \text{ kWh/m}^2 \text{ per år}}}$$

$$\mathbf{R_{s,CO_2}} = (0,823 * 140 \text{ g CO}_2/\text{kWh} + 0,038 * 330 \text{ g CO}_2/\text{kWh} + 0,14 * 83 \text{ g CO}_2/\text{kWh}) * 257 \text{ kWh/m}^2 \text{ per år} = \underline{\mathbf{35,8 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2 \text{ per år}}}$$

#### **R<sub>r</sub> – Referanseverdi for nye kontorbygg**

Som referanseverdi for nye bygninger av samme type som MFS, finnes det i Norge ennå ikke tabulerte anbefalinger eller krav. Eneste gyldige krav til energibruk i norske bygninger, er per mai 2007 rammekravene i nye TEK [2]. Disse representerer som kjent maksimalt 'netto energibehov', og kan ikke uten videre brukes som utgangspunkt for referanseverdien til nye kontorbygg, R<sub>r</sub>, da denne referansen baseres på 'levert energi' og ikke 'netto energibehov'. Målet til MFS om maksimalt årlig 'levert energi' på 120 kWh/m<sup>2</sup>, vil imidlertid være et bedre utgangspunkt for utregning av R<sub>r</sub>. Det antas altså her at denne mengden 'levert energi' er typisk for lignende nye bygninger (antagelig har de fleste nye bygninger et noe større teoretisk behov for 'levert energi', men et konservativt anslag gjøres også her). For å regne R<sub>r</sub> ut fra denne 'leverte energien', må en først finne typisk fordeling på energislag for denne typen bygg. Fordelingen til eksisterende norske kontorbygg, vist i tabell 11, brukes også til nye kontorbygg i denne oppgaven. Av de 120 kWh/m<sup>2</sup> per år, antas det altså at 82,3 prosent (98,7 kWh/m<sup>2</sup> per år) kommer fra elektrisitet, 3,8 prosent (4,5 kWh/m<sup>2</sup> per år) kommer fra olje/parafin og 14 prosent (16,8 kWh/m<sup>2</sup> per år) kommer fra fjernvarme. R<sub>r</sub> vektet for henholdsvis primærenergi ('vektet levert energi') og CO<sub>2</sub>-utslipp blir da som følger:

$$\mathbf{R_{r,pe}} = 98,7 \text{ kWh/m}^2 \text{ per år} * 1,76 + 4,5 \text{ kWh/m}^2 \text{ per år} * 1,35 + 16,8 \text{ kWh/m}^2 \text{ per år} * 1,18 = \underline{\mathbf{200 \text{ kWh/m}^2 \text{ per år}}}$$

$$\mathbf{R_{r,CO_2}} = 98,7 \text{ kWh/m}^2 \text{ per år} * 140 \text{ g CO}_2/\text{kWh} + 4,5 \text{ kWh/m}^2 \text{ per år} * 330 \text{ g CO}_2/\text{kWh} + 16,8 \text{ kWh/m}^2 \text{ per år} * 83 \text{ g CO}_2/\text{kWh} = \underline{\mathbf{16,7 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2 \text{ per år}}}$$



**Endelig klasseinndeling for norske kontorbygg**

Når  $R_s$  og  $R_r$  er regnet ut, kan kriteriene for å havne i de ulike klassene i henhold til annex B i prEN 15217 [3] settes opp:

<b>ENERGI-KLASSE</b>	<b>KLASSEINNDELING I FØLGE prEN 15217</b>	<b>KLASSEINNDELING PRIMÆRENERGI FORSKNINGSPARKEN OG SAMMENLIGNINGSBYGG</b>	<b>KLASSEINNDELING CO<sub>2</sub>-UTSLIPP FORSKNINGSPARKEN OG SAMMENLIGNINGSBYGG</b>
Klasse A	$EP < 0,5 R_r$	$EP < 100 \text{ kWh/m}^2 \text{ per år}$	$EP < 8,4 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2 \text{ per år}$
Klasse B	$0,5 R_r \leq EP < R_r$	$100 \text{ kWh/m}^2 \text{ per år} \leq EP < 200 \text{ kWh/m}^2 \text{ per år}$	$8,4 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2 \text{ per år} \leq EP < 16,7 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2 \text{ per år}$
Klasse C	$R_r \leq EP < 0,5(R_r+R_s)$	$200 \text{ kWh/m}^2 \text{ per år} \leq EP < 314 \text{ kWh/m}^2 \text{ per år}$	$16,7 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2 \text{ per år} \leq EP < 26,3 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2 \text{ per år}$
Klasse D	$0,5(R_r+R_s) \leq EP < R_s$	$314 \text{ kWh/m}^2 \text{ per år} \leq EP < 428 \text{ kWh/m}^2 \text{ per år}$	$26,3 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2 \text{ per år} \leq EP < 35,8 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2 \text{ per år}$
Klasse E	$R_s \leq EP < 1,25 R_s$	$428 \text{ kWh/m}^2 \text{ per år} \leq EP < 535 \text{ kWh/m}^2 \text{ per år}$	$35,8 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2 \text{ per år} \leq EP < 44,8 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2 \text{ per år}$
Klasse F	$1,25 R_s \leq EP < 1,5 R_s$	$535 \text{ kWh/m}^2 \text{ per år} \leq EP < 642 \text{ kWh/m}^2 \text{ per år}$	$44,8 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2 \text{ per år} \leq EP < 53,7 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2 \text{ per år}$
Klasse G	$1,5 R_s \leq EP$	$642 \text{ kWh/m}^2 \text{ per år} \leq EP$	$53,7 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2 \text{ per år} \leq EP$

*tabell 14 Klasseinndeling for MFS og sammenligningsbygget*

## 5 Resultater

### 5.1 Energi og effektberegninger

#### 5.1.1 Levert energi

Som nevnt i kapittel 4.1.3, må en simulere 'levert energi' til kjølebatterier to ganger for å få med hvor mye av kjølebehovet som blir dekket av naturlig kjøling. Resultatene av simuleringene viste imidlertid at alt kjølebehovet i Miljøforskningssenteret ble dekket av kapasiteten til naturlig kjøling, da det ikke var noen forskjell på energi til kjøling når kapasitet på kjølebatterier var satt til 650 kW mot for 874 kW. En ser imidlertid av diskusjonen i kapittel 6.1 at maksimal netto effekt til kjøling ligger på 690 kW dimensjonerende sommerdøgn. Altså vil kjølemaskinen så vidt slå inn på de varmeste dagene, men bidraget fra denne er tydeligvis ikke stort nok til å gi nevneverdig utslag på årlig 'levert energi'. Eneste 'leverte energi' til kjøling blir dermed pumpeenergien til naturlig kjøling utregnet i kapittel 4.1.3 samt energi til lokale kjølemaskiner på kjøkken. Netto energi til kjølebatterier er i følge netto energibudsjett i resultatfil i EiB (se vedlegg 6, tabell VII) 29.541 kWh. For å få 'levert energi' til kjølebatteriene, må en dele på virkningsgraden som er  $3,41 \cdot 0,6 = 2,05$  (kjølefaktor på 3,41 og virkningsgrad til kjøleflater på 0,6). 'Levert energi' til kjølebatterier blir i følge EiB da 14.438 kWh. Den virkelige årlige 'leverte energien' til kjøling for MFS blir altså (ifølge ligning 1):

$$14.438 \text{ kWh} - 14.438 \text{ kWh} + 14,85 \text{ kW} \cdot 8760 \text{ h} + 1 \text{ kW} \cdot 8760 \text{ h} = 138.846 \text{ kWh}.$$

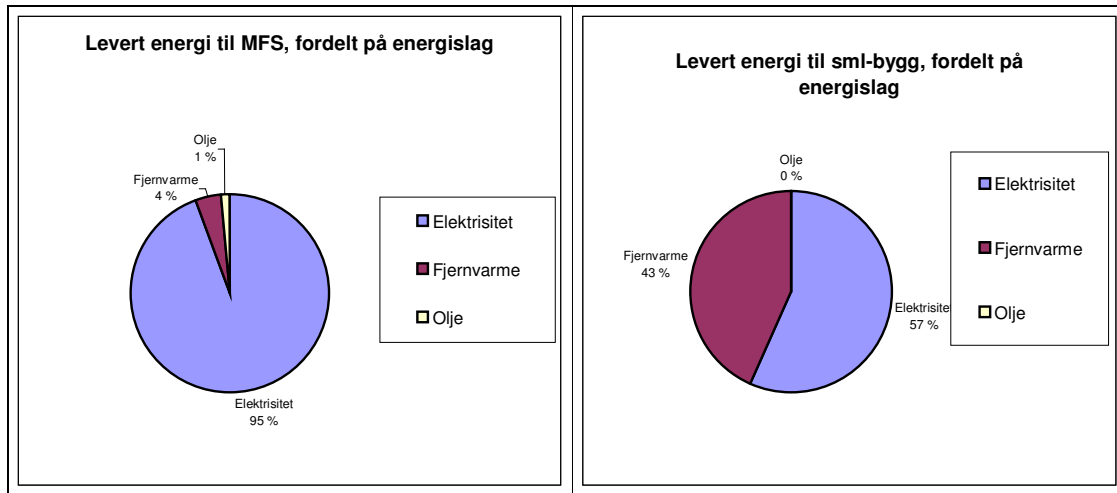
For resulterende levert elektrisitet i EiB (basert på tabell VI i vedlegg 6), må en altså trekke fra 14.438 kWh og legge til 138.846 kWh. Endelig levert energi, fordelt på energislag, finnes da i tabell 15, både for ny og eksisterende bygningsmasse. Fordeling på energislag er også vist for sammenligningsbygget (basert på tabell VIII i vedlegg 6), da en trenger denne fordelingen til beregning av MFS og sammenligningsbyggets energiytelse i kapittel 5.3.1.

Levert energi fordelt på energislag						
	Ny bygningsmasse		Gammel bygningsmasse		Sammenligningsbygg	
	[kWh]	[%]	[kWh]	[%]	[kWh]	[%]
Elektrisitet	1 232 431	94,4 %	7 750 000	100 %	1 002 003	57 %
Fjernvarme	56 735	4,3 %	0	0 %	766 484	43 %
Olje	16 890	1,3 %	0	0 %	0	
<b>Sum</b>	<b>1 306 056</b>		<b>7 750 000</b>		<b>1 768 487</b>	
<b>Levert energi per m<sup>2</sup></b>	<b>90</b>		<b>277</b>		<b>122</b>	

tabell 15 Sammenligning levert energi ny og gammel bygningsmasse

For den nye bygningsmassen og sammenligningsbygget, kan fordelingen på energislag

visualiseres som i figur 7 (for gammel bygningsmasse vil en slik fordeling være hensiktsmessig grunnet elektrisitet som eneste energislag).



figur 7 Levert energi for ny bygningsmasse og sammenligningsbygg, fordelt på energislag

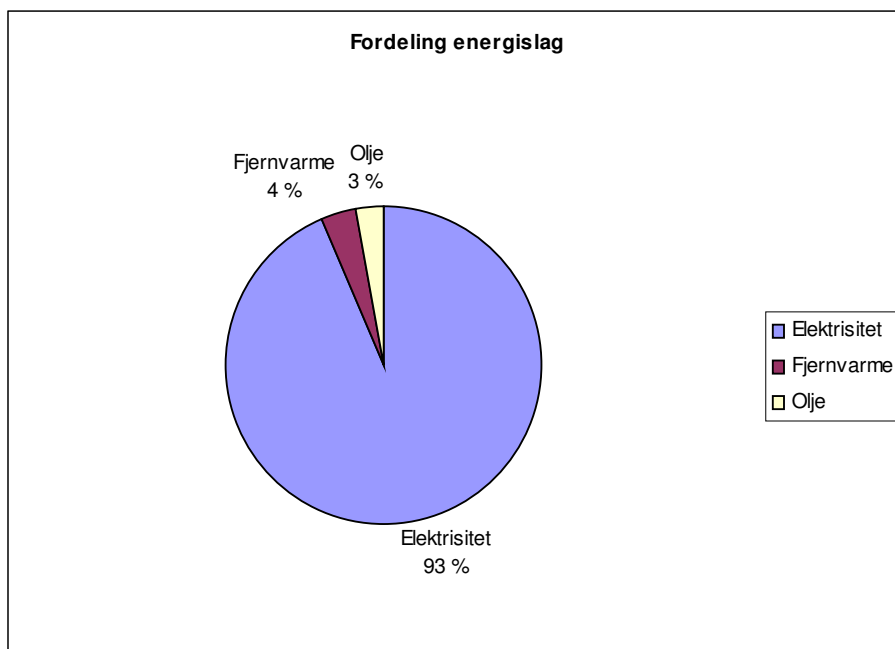
### 5.1.2 Netto energibehov

Teoretisk netto energibehov fordelt på energislag blir som vist i tabell 16 for ny og gammel bygningsmasse. Det er for ny bygningsmasse tatt utgangspunkt i resultater fra EiB vist i tabell IX i vedlegg 6, og lagt til energi til lokal kjøler i kjøkken (settes inn som ”romkjøling” i energibudsjettet).

Netto energibehov fordelt på energislag				
	Ny bygningsmasse		Gammel bygningsmasse	
	[kWh]	[%]	[kWh]	[%]
Elektrisitet	1 789 552	93,5 %	8 288 000	100 %
Fjernvarme	69 595	3,6 %	0	0 %
Olje	54 184	2,8 %	0	0 %
<b>Sum</b>	<b>1 913 331</b>		<b>8 288 000</b>	
<b>Netto energibehov per m<sup>2</sup></b>	<b>132</b>		<b>296</b>	

tabell 16 Netto energibehov fordelt på energislag

For Miljøforskningssenteret kan fordelingen visualiseres som i figur 8 (ingen hensikt med en slik visualisering av gammel bygningsmasse).

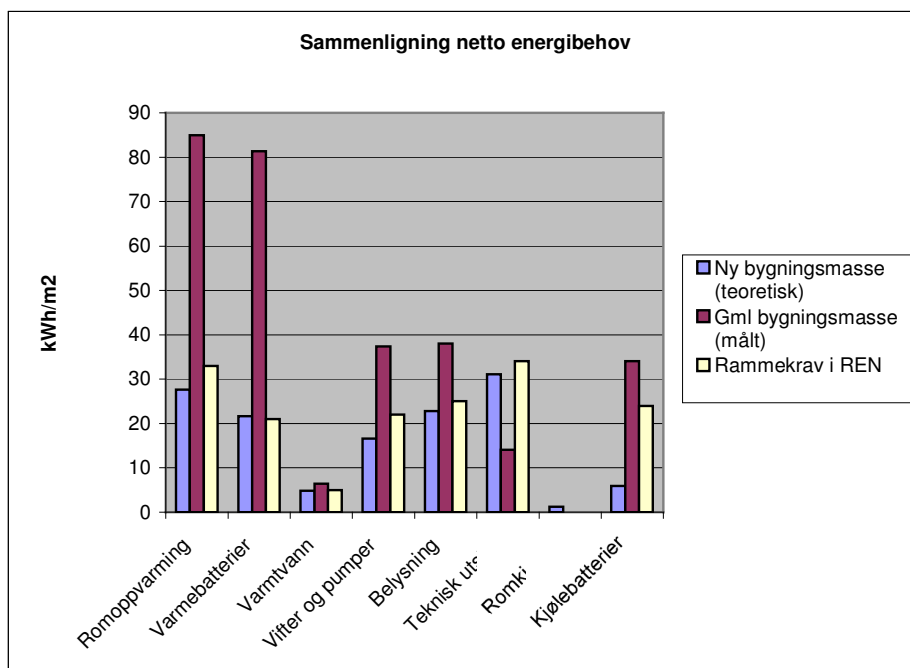


*figur 8 Netto energibehov fordelt på energislag*

Sammenlignet med eksisterende bygningsmasse og rammekrav i ny REN [42], finnes netto energibehov fordelt på energiposter i tabell 17 og figur 9.

<b>Årlig energibudsjett, gammel og ny bygningsmasse</b>			
	<b>Ny bygningsmasse</b>	<b>Gml bygningsmasse</b>	<b>Rammekrav i REN</b>
	<b>[kWh/m<sup>2</sup>]</b>	<b>[kWh/m<sup>2</sup>]</b>	<b>[kWh/m<sup>2</sup>]</b>
Romoppvarming	28	85	33
Varmebatterier	22	81	21
Varmtvann	5	6	5
Vifter og pumper	17	37	22
Belysning	23	38	25
Teknisk utstyr	31	14	34
Romkjøling	1	0	0
Kjølebatterier	6	34	24
<b>Totalt netto energibehov</b>	<b>132</b>	<b>296</b>	<b>164</b>

*tabell 17 Netto energibehov fordelt på energiposter for gammel og ny bygningsmasse i forhold til rammekrav*



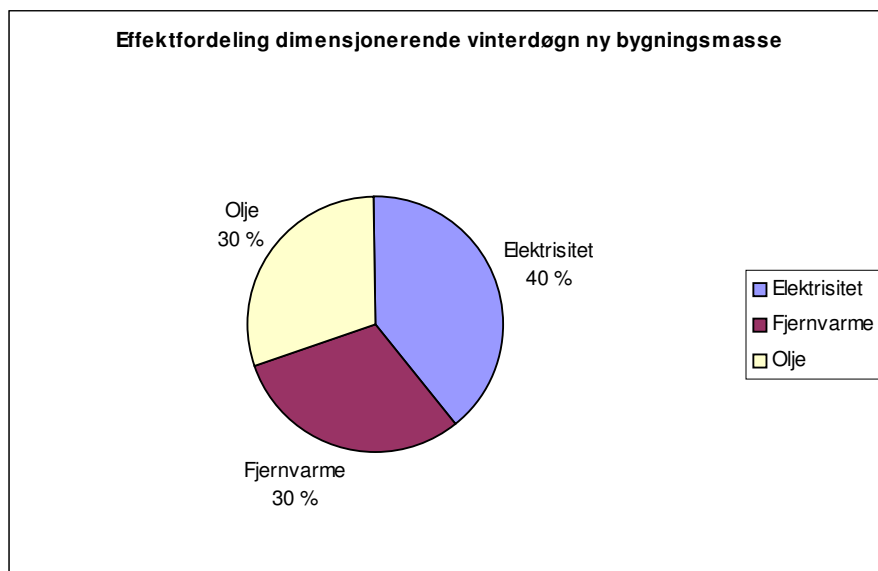
figur 9 Sammenligning netto energibehov ny og gammel bygningsmasse med rammekrav i TEK

### 5.1.3 Teoretiske maksimale effekter

Fordelt på energislag, ser de teoretiske maksimale effekter i MFS ut som i figur 10 (det er her tatt utgangspunkt i resultater fra EiB vist i tabell XI i vedlegg 6). Maksimal samtidig effekt er beregnet i EiB, og tilsvarer 94 prosent av summen av enkeltteffektene. Sammenligning av maksimale effektuttak mellom ny og gammel bygningsmasse vises i tabell 18.

Maksimal brutto effekt dimensjonerende vinterdøgn				
Energislag	Ny bygningsmasse		Gammel bygningsmasse	
	Effekt [kW]	Effekt per gulvareal [W/m²]	Effekt [kW]	Effekt per gulvareal [W/m²]
Elektrisitet	359,5	24,8	2038	72,8
Fjernvarme	277,6	19,1		
Olje	279,6	19,3		
Maksimal effekt summert	916,7	63,2	2038	72,8
<b>Maksimal samtidig effekt</b>	<b>861,7</b>	<b>59,4</b>	<b>2038</b>	<b>72,8</b>

tabell 18 Sammenligning maksimale brutto effekter for de ulike energislag i gammel og ny bygningsmasse



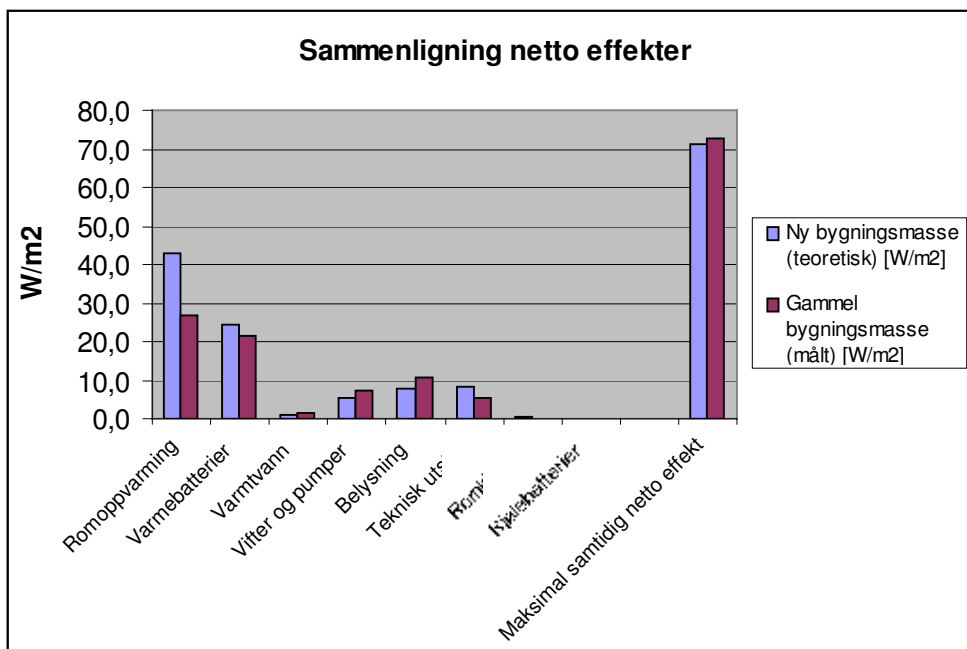
figur 10 Maksimale 'leverte effekter' dimensjonerende vinterdøgn, fordelt på energislag

Netto maksimalt effektbudsjett for ny og gammel bygningsmasse i tabell 19 viser de ulike energiposter sine maksimale effektbehov dimensjonerende vinterdøgn (det er her tatt utgangspunkt i resultater fra EiB vist i tabell XII i vedlegg 6). Systemvirkningsgrader er da satt lik 1. Ekstra effekt til pumper (5 kW) er tillagt post for vifter og pumper og lokal kjøling kjøkken (5 kW, kjølefaktor lik 1) er tillagt post for romkjøling.

<b>Netto effektbudsjett, gammel og ny bygningsmasse</b>				
	<b>Ny bygningsm.</b>	<b>Ny bygningsm.</b>	<b>Gml bygningsm.</b>	<b>Gml bygningsm.</b>
	<b>[kW]</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>]</b>	<b>[kW]</b>	<b>[W/m<sup>2</sup>]</b>
Romoppvarming	621,5	42,8	751	26,8
Varmebatterier	354,5	24,4	600	21,4
Varmtvann	11,1	0,8	36	1,3
Vifter og pumper	78,7	5,4	201	7,2
Belysning	116,1	8,0	300	10,7
Teknisk utstyr	122,3	8,4	150	5,4
Romkjøling	5	0,3	0	0,0
Kjølebatterier	0	0,0	0	0,0
<b>Summert enkelteffekter</b>	<b>1309,2</b>	<b>90,2</b>	<b>2038</b>	<b>72,8</b>
<b>Maksimal samtidig netto effekt</b>	<b>988,4</b>	<b>68,1</b>	<b>2038</b>	<b>72,8</b>

tabell 19 Sammenligning netto effektbudsjett gammel og ny bygningsmasse

Sammenligning mellom ny og gammel bygningsmasse visualiseres i et stolpediagram i figur 11.



figur 11 Sammenligning netto effekter gammel og ny bygningsmasse

Enova sine "enøk normtall" [44] viser en oversikt over maksimale effekter for ulike effektposter over året. Denne oversikten tar altså ikke hensyn til samtidighet, så en kan ikke summere effektbehovene til ett samlet behov. En kan sette opp en tilsvarende tabell også for MFS, da med maksimal netto effekt til kjøling hentet fra simulering av dimensjonerende sommerdøgn (basert på resultat fra EiB i tabell XIII i vedlegg 6). De øvrige effektpostene hentes fra simulering av dimensjonerende vinterdøgn i EiB. En sammenligning mellom MFS sine teoretiske maksimale netto effektbehov over året og normtallene fra Enova vises i tabell 20.

Netto maksimale effekter over året		
	MFS [W/m2]	Enøk normtall [W/m2]
Romoppvarming	42,8	31,0
Varmebatterier	24,4	33,0
Varmtvann	0,8	6,0
Vifter og pumper	5,4	6,0
Belysning	8,0	13,0
Teknisk utstyr	8,4	14,0
Romkjøling	0,3	0,0
Kjølebatterier	14,0	15,0

tabell 20 Sammenligning teoretisk maksimale effekter MFS med Enøk normtall

## 5.2 Energikostnader

Totale kostnader til 'levert energi' er simulert for Miljøforskningssenteret og sammenligningsbygget for tre kostnadsnivå, og resultatene finnes i tabell 21 (det er her tatt utgangspunkt i resultater fra EiB vist i tabell XV til XX i vedlegg 6). I forhold til direkte resultater fra EiB, er energi til kjølebatterier for MFS, som nevnt i kapittel 5.1.1, erstattet med energi til pumpedrift ved naturlig kjøling og lokal kjøler på kjøkken (naturlig kjøling dekker hele kjølebehov i MFS). Energi til pumper i kjølestokkens distribusjonssystem er lagt til for sammenligningsbygget.

<b>ÅRLIGE ENERGIKOSTNADER</b>						
	<b>Lavt prisnivå</b>		<b>Middels prisnivå</b>		<b>Høyt prisnivå</b>	
	<b>MFS</b>	<b>Sammenlig- ningsbygg</b>	<b>MFS</b>	<b>Sammenlig- ningsbygg</b>	<b>MFS</b>	<b>Sammenlig- ningsbygg</b>
Elektrisitet	kr 616 215	kr 501 002	kr 1 232 431	kr 1 002 003	kr 1 848 645	kr 1 503 005
Olje	kr 8 445	-	kr 16 890	-	kr 25 335	-
Fjernvarme	kr 22 694	kr 306 593	kr 45 388	kr 613 187	kr 73 755	kr 996 428
<b>Sum</b>	<b>kr 647 354</b>	<b>kr 807 595</b>	<b>kr 1 294 709</b>	<b>kr 1 615 190</b>	<b>kr 1 947 735</b>	<b>kr 2 499 433</b>

*tabell 21 Årlige energikostnader*



## 5.3 Indikatorer for energiytelse

### 5.3.1 Energiytelse for MFS, gammel bygningsmasse og sammenligningsbygget

Energiytelsen til Miljøforskningssenteret, sammenlignet med gammel bygningsmasse og sammenligningsbygget, vises i tabell 22. Primærenergi og CO<sub>2</sub>-utslipp er brukt som veieparametre. Andelene 'levert energi' fra hver energikilde til MFS, gammel bygningsmasse og sammenligningsbygget er hentet fra tabell 15 i kapittel 5.1.1. Veiefaktorer er hentet fra tabell 10 i kapittel 4.3.3, og samlet energiytelse er regnet ut i henhold til ligning 4.

		<i>MFS</i>	<i>Gammel bygningsmasse</i>	<i>Forskningsparken samlet</i>	<i>Sammenligningsbygget</i>
Årlig behov for levert energi [kWh/m <sup>2</sup> per år]		90	277	213	122
Andel av 'levert energi'	Elektrisitet	94,4 %	100 %	99,2 %	53 %
	Fjernvarme	4,3 %	0 %	0,6 %	47 %
	Olje	1,3 %	0 %	0,2 %	-
Samlet energiytelse	'Vektet levert energi', EP <sub>pe</sub> [kWh/m <sup>2</sup> per år]	<b>156</b>	<b>488</b>	<b>374</b>	<b>191</b>
	Vektet CO <sub>2</sub> -utslipp, EP <sub>CO2</sub> [kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> per år]	<b>12,6</b>	<b>38,8</b>	<b>29,8</b>	<b>14,5</b>

*tabell 22 Resulterende indikatorer for energiytelse for hele Forskningsparken samt sammenligningsbygget*

En ser av tabell 14 i kapittel 4.3.4, at MFS og sammenligningsbygget begge havner i energiklasse B, både for parameterne primærenergi og CO<sub>2</sub>-utslipp. Gammel bygningsmasse på Forskningsparken havner i energiklasse E for begge veieparametrene.

Regner en hele bygningsmassen på Forskningsparken sammenslått, ser en at energiytelsen for begge veieparametrene tilsvarener energiklasse D.

## 6 Diskusjon

### 6.1 Energi og effektbehov

En ser av resultatene i kapittel 5.1 at MFS kommer godt ut både når det gjelder behov for 'levert energi' og 'netto energibehov'. Målene på henholdsvis 120 kWh/m<sup>2</sup> per år og 165 kWh/m<sup>2</sup> per år oppfylles med klar margin. Årsaker til dette og ulike interessante momenter rundt resultatene skal diskuteres i det følgende. Først noen momenter som er felles for alle resulterende energi- og effektbehov.

#### **Teoretiske energibehov; ofte lavere enn de virkelige**

Ved beregning av teoretiske energibehov forutsettes det at alle tekniske innretninger fungerer som de skal, og at drift og vedlikehold av disse utføres på en slik måte at deres ytelse holdes på samme nivå gjennom hele byggets levetid. Dette vil være vanskelig å overholde i praksis, så den praktiske energibruken vil som regel være høyere enn den teoretisk beregnede. Noen sentrale årsaker til dette ved MFS kan være:

- Mange aktører i prosjekterings- og byggingen, i tillegg til høyt tidspress i byggebransjen vil kunne forårsake misforståelser og kommunikasjonsproblemer, som i sin tur kan føre til feil og mangler ved bygningskroppen og dens installasjoner. Et utall slike feil og mangler kan nevnes, men noen eksempler på dette kan være kuldebroer, feil plassering av sensorer og problemer med automatikk i forhold til styring av lys, ventilasjon, varme og solavskjerming.
- Dersom driftspersonalet er lite motiverte og/eller dårlig opplært vil dette kunne få store konsekvenser for energibruken til MFS. Spesielt viktig er det at driftspersonalet har kunnskap om SD-anleggets viktighet og funksjon da det er dette som overvåker og styrer all ventilasjon, varme og kjøling (og til dels lys).
- Dersom kapasiteten til geoenergien ikke blir som forutsatt vil det få store konsekvenser for energibehovet. Det er her to parametre som er avgjørende: Maksimal mengde oppumpet vann og temperaturen på dette vannet over året. Maksimal effekt fra varmpumpen og den naturlige kjølingen vil gå ned dersom kapasiteten på geoenergien går ned, og belastning av fjernvarme, oljekjel og kjølemaskin vil gå opp tilsvarende. Dette vil føre til høyere energibruk da virkningsgradene på alternativene til varmpumpen er langt lavere (hvorvidt redusert kapasitet på naturlig kjøling fører til økt energibruk diskuteres i avsnittet "Energimessig gevinst eller tap ved naturlig kjøling kontra konvensjonell kjøling?").
- Et annet element som ofte bidrar til høyere energibruk i kontorbygg er at brukerne

av bygget ikke tenker miljøvennlig. For MFS vil ikke forglemmelser når det gjelder lys og solavskjerming bli noe problem da dette styres automatisk, men å skru av PC når de går for dagen og vinduslufte fremfor å skru ned termostaten på radiatoren vil kunne forekomme her.

- Forsømming av regelmessig filterbytte i ventilasjonsaggregatene vil kunne føre til økt trykkfall i anleggene og dermed forhøyede SFP-faktorer og energibruk.

#### Mulige feilkilder i nye beregninger

Det finnes en del usikkerheter i inndataene til simuleringene i denne oppgaven. Akkurat hvor store de ulike usikkerhetene er vil være vanskelig å fastslå da det for mange av inndataene ikke finnes noe fasitsvar på hvordan de skal være (vil avhenge blant annet av byggets bruksmønster, som vil variere ut fra virksomhetene i de enkelte kontorbygg). Under er det likevel forsøkt å peke på de største usikkerhetene. Det er foreslått et ”verste tilfelle” for hver av usikkerhetene, og angitt hvor stor betydning disse vil få for energibruken. Resultatene i tabellen under bygger på tabellene XXI til XXVI i vedlegg 6, med tillegg for energi til naturlig kjøling og lokal kjøler i kjøkken.

Tilfelle	Utslag energibehov	
	Levert energi	Netto energibehov
<p>Større internlast i fellesareal i driftstid:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Fra 20 til 100 personer gjennomsnittlig i fellesareal pga. mange besøkende til MFS</li> <li>○ Fra 4 til 10 W/m<sup>2</sup> og fra 0,4 til 4 W/m<sup>2</sup> gjennomsnittlig fra teknisk utstyr i fellesareal hhv. i og utenom driftstid pga. større belastning fra bl.a. datarom enn opprinnelig antatt.</li> </ul>	+ 19 kWh/m <sup>2</sup> per år	Ingen effekt pga. låste bruksavhengige data
Årsvarmefaktor for varmpumpe synker til 3,5 som følge av mindre gunstige snittemperaturer på grunnvannet enn antatt. Maksimal varmeeffekt fra varmpumpen synker til 166 kW som følge av dette.	+ 7 kWh/m <sup>2</sup> per år	Ingen effekt pga. systemvirkningsgrader lik 1
Gjennomsnittlig pumpeeffekt økes med 5 kW (ny simulering ikke foretatt her, effekten kun multiplisert med 8760 timer/år).	+ 3 kWh/m <sup>2</sup> per år	+ 3 kWh/m <sup>2</sup> per år

<p>Økte luftmengder og SFP-faktorer:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Gjennomsnittlige luftmengder i/utenom driftstid økes til hhv. 90 og 30 % av dimensjonerende luftmengder for kontorventilasjon</li> <li>○ Luftmengder utenom driftstid økes til hhv. 70 og 20 % for aggregater til laboratorium og kantine/auditorium</li> <li>○ SFP-faktorer settes opp til 2,5 og 1,5 kW/m<sup>3</sup>s i og utenom driftstid.</li> </ul>	+ 13 kWh/m <sup>2</sup> per år	+ 26 kWh/m <sup>2</sup> per år
Innføring av normalisert kuldebroverdi foreslått i energitiltaksmodell i nye TEK [2] på 0,06 W/K per m <sup>2</sup> BRA.	+ 2 kWh/m <sup>2</sup> per år	+ 5 kWh/m <sup>2</sup> per år

**tabell 23 Virkninger av feil antagelser i "verste tilfelle"**

Av de "verste tilfellene", ser en at de hver for seg ikke vil føre til at målene om 120 kWh/m<sup>2</sup> per år 'levert energi' eller 165 kWh/m<sup>2</sup> per år 'netto energibehov' overstiges. Kombineres de, vil målene derimot kunne overstiges (utslag på energibehov i tabell 23 vil imidlertid ikke kunne summeres direkte da synergieffekter vil oppstå dersom tilfellene kombineres). For eksempel vil mer bruk av bygget i og utenom driftstid enn det som er forutsatt i simuleringene føre til større internlaster og gjennomsnittlig høyere luftmengder. Gjennomsnittlige SFP-faktorer til vifter vil også økes som følge av dette, og det årlige totale energibehovet vil økes relativt betydelig.

Det bør imidlertid gjentas at antagelsene i inndataene til simuleringene er forsøkt gjort konservative, noe som reduserer sannsynligheten for at de teoretisk utregnede energibehovene er for lave.

#### **Lav internlast fra teknisk utstyr og personer**

Internlast fra teknisk utstyr i fellesareal er satt ganske lav i de opprinnelige simuleringene (4 W/m<sup>2</sup>). Denne internlasten er i henhold til tabell 4b i "Gamle" NS 3031 [30], og gjelder for hele kontorbygg (både kontorer og fellesareal) med driftstid 9 timer per dag og fem dager per uke. Internlast fra utstyr for hele MFS er altså større i denne oppgavens simuleringer enn i standarden, da internlaster fra utstyr i kontorene er satt til 15 W/m<sup>2</sup> i driftstid.

I virkeligheten vil likevel den benyttede gjennomsnittlige internlasten fra utstyr i fellesareal kunne bli noe lav. Dette på grunn av at det i hver etasje i bygg 6, 7 og 8 er

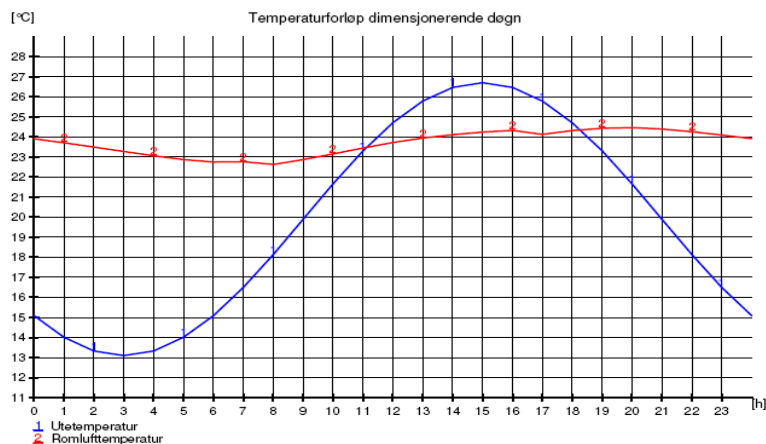
plassert datasentraler, hver med cirka 2 kW tilført effekt konstant over døgnet. Alene utgjør belastningen fra disse rommene cirka  $3,5 \text{ W/m}^2$  for fellesarealet. Legger en på  $4 \text{ W/m}^2$  i tillegg til dette, for å dekke internlast fra annet utstyr, kommer en opp i  $7,5 \text{ W/m}^2$ . I delkapittelet "mulige feilkilder i nye beregninger" er det simulert med  $10 \text{ W/m}^2$  fra utstyr i fellesareal i driftstid og  $4 \text{ W/m}^2$  utenom driftstid, i tillegg til en økt internlast fra personer i fellesarealet. Med denne konservative beregningen ble totalt behov for 'levert energi', som en ser av tabell 23, økt med  $19 \text{ kWh/m}^2$  per år. Som nevnt er dette "verste tilfelle", og en så stor økning i forhold til det opprinnelige resultatet er neppe trolig.

#### **Lavt energibehov til kjøling**

Som en ser av resulterende energibudsjett i kapittel 5.1.2, ble årlig 'netto kjølebehov' i MFS kun  $7 \text{ kWh/m}^2$  mot for  $24 \text{ kWh/m}^2$  i REN sitt beregningseksempel (grunnlag for rammekrav) ([42], side 3). Uten låste bruksavhengige data (inndata som i beregning av 'levert energi', men med systemvirkningsgrader lik 1) ble årlig 'netto kjølebehov' kun  $3,2 \text{ kWh/m}^2$  (utgangspunkt i tabell VII i vedlegg 6, men med tillegg for lokal kjøling i kjøkken). Også maksimal teoretisk effekt til kjøling er noe lav i forhold til det prosjekterte. I tabell XIV i vedlegg 6 er maksimal kjøleeffekt dimensjonerende døgn vist. En ser der at maksimal fjernet følbart og latent varme (henholdsvis de effektene som trengs for å senke temperaturen til ønsket nivå og for å fjerne fuktighet i luften) ligger på 691 kW. Dette er 79 prosent av hva kjølekapasiteten til MFS er dimensjonert for (874 kW, 650 fra naturlig kjøling og 224 fra kjølemaskin).

Spesielt energibehovet til kjøling er altså mistenkelig lavt, så en diskusjon rundt mulige årsaker til dette er på sin plass.

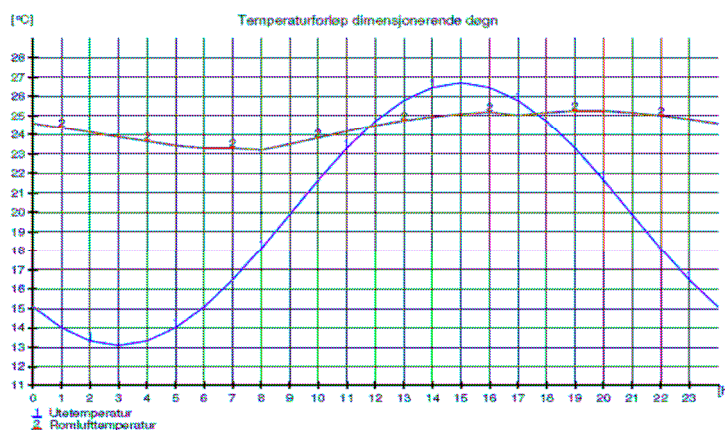
At dimensjonerende luftmengder er lavere i virkeligheten enn i prosjekteringsfasen vil bety at maksimal kjølekapasitet (full luftmengde med temperatur på  $17 \text{ }^\circ\text{C}$ ) via ventilasjonsanlegget vil bli svekket (dette kan unngås ved større undertemperatur på tilluften, men  $17 \text{ }^\circ\text{C}$  er brukt i virkeligheten). Maksimalt kjølebehov på de varmeste dagene kan da risikere ikke å bli dekket, og selv om dette ikke er ønskelig, vil selvsagt energi- og effektbehovet gå ned. For å finne ut om maksimalt kjølebehov faktisk blir dekket eller ei, kan kurven for innetemperaturen i MFS hentes for dimensjonerende sommerdøgn i EiB. Denne er gjengitt i figur 12.



*figur 12 Temperaturforløp dimensjonerende sommerdøgn*

En ser imidlertid at temperaturen kun såvidt overstiger 24 °C i løpet av normal arbeidstid, og i og med at faglige normer for inneklima [55] anser operative inne-temperaturer mellom 23 og 26 °C sommertid som akseptable, ser det ut til at kjølekapasiteten med de reduserte luftmengdene vil være tilstrekkelig.

Som nevnt i avsnittet ”lav internlast fra teknisk utstyr og personer’, ble det i opprinnelige simuleringer operert med noe lave internlast. Med større internlast vil kjølebehovet gå opp. Dersom kjølekapasiteten ikke er stor nok til å dekke denne økningen, vil energibruken bli lavere enn den egentlig bør være, og innnetemperaturen vil stige over det akseptable. Om dette er tilfellet her ser en av figur 13.



*figur 13 Temperatur dimensjonerende sommerdøgn ved høyere internlast*

Temperaturen inne overstiger som en ser kun så vidt 25 °C i løpet av arbeidsdagen, så selv med økte internlast ser kjølekapasiteten ut til å være tilstrekkelig. Selv om operative innnetemperaturer opp til 26 °C anses som akseptable i følge faglige normer for inneklima, vil nok noen synes at innnetemperaturer rundt 25 °C, som en av figurene ser vil forekomme i MFS, er for høye. Hvor mye energibehovet til kjøling øker dersom en

har strengere krav til innetemperaturer er simulert i avsnittet ”kjølebehov ved strengere krav til innetemperaturer” under.

Kjølekapasiteten i MFS ser altså ut til å være tilstrekkelig. Årsaken til det lave kjølebehovet må altså ligge i bygget og dets tekniske installasjoner. Faktorer som bidrar til å redusere kjølebehovet betraktelig i MFS, vil være:

- Den automatiske solavskjermingen i kontorene vil hindre mye varme i å trenge inn i bygget. Dette skjer ved at lyse persienner på utsiden av vinduet automatisk senkes ned når bestrålingen blir for stor. Slike persienner er montert på alle vinduer, bortsett fra i glassgården. Der er det imidlertid montert glass som slipper inn minst mulig solstråler (transmisjonsfaktor på 0,55). I tillegg vil det i glassgården åpnes luker i taket for naturlig ventilasjon sommertid (dette er det imidlertid ikke simulert med her).
- De relativt tunge materialene som er brukt i bygget vil bidra til å holde temperaturen stabil over døgnet. Det er med vilje bygd en del eksponert betong og tegl mot ulike oppholdssoner (i EiB er dette virkeliggjort ved å ha middels tunge skillekonstruksjoner og ha eksponert betong i tak mot det fri og gulv mot grunn), og dette bidrar til at en del varme fra inneluften absorberes på varme dager og avgis til inneluften på kjølige netter (effekt av dette vil økes når ventilasjon står på natterstid (nattkjøling)).
- De relativt små internlastene MFS er simulert med vil redusere intern varmebelastning på varme dager. I prNS 3031 [10] er det foreslått gjennomsnittlig varme-tilskudd i driftstiden fra belysning, utstyr og personer på henholdsvis  $8 \text{ W/m}^2$ ,  $10,9 \text{ W/m}^2$  og  $3,8 \text{ W/m}^2$ . I beregningene av ’levert energi’ er det i denne oppgaven brukt  $8 \text{ W/m}^2$  som gjennomsnittlig last fra belysning både i kontorer og fellesareal,  $15$  og  $4 \text{ W/m}^2$  som gjennomsnittlig last fra utstyr i henholdsvis kontorer og fellesareal og  $10$  og  $0,23 \text{ W/m}^2$  som maksimal last fra personer i henholdsvis kontorer og fellesareal (bakgrunn for valg av disse internlastene finnes i kapittel 4.1.3). Med reduksjon i internlastene som følge av redusert tilstedeværelse, ble gjennomsnittlig internlast fra belysning, utstyr og personer i denne oppgaven henholdsvis  $7$ ,  $7,2$  og  $2,8 \text{ W/m}^2$ . Denne reduksjonen i internlastene i forhold til tabulerte verdier vil innebære en relativt stor reduksjon i kjølebehov. Men, som en ser av figur 13, vil kjølekapasiteten være tilstrekkelig selv med økte internlastene.
- Med klimadata fra 1979 vil teoretisk behov for kjøling bli lavere enn det reelle da gjennomsnittstemperaturen over året har steget siden den tid. De nevnte analyser utført av Eiliv Sandberg [26] går kun på redusert oppvarmingsbehov grunnet økte gjennomsnittstemperaturer (analyse av kjølebehov er langt mer dynamisk enn

analyse av oppvarmingsbehov, og simulering må skje på timebasis), men det sier seg selv at kjølebehovet over året samtidig vil øke for kontorbygg. Hvor mye større kjølebehovet i realiteten vil bli for MFS er imidlertid vanskelig å fastslå før oppdaterte klimadata foreligger.

I diskusjonen rundt 'netto energibehov' til kjøling i kapittel 6.1.3, er MFS simulert med dårligere solavskjeming og lettere overflatematerialer, for å se om forklaringen til det lave 'netto energibehovet' til kjøling ligger der.

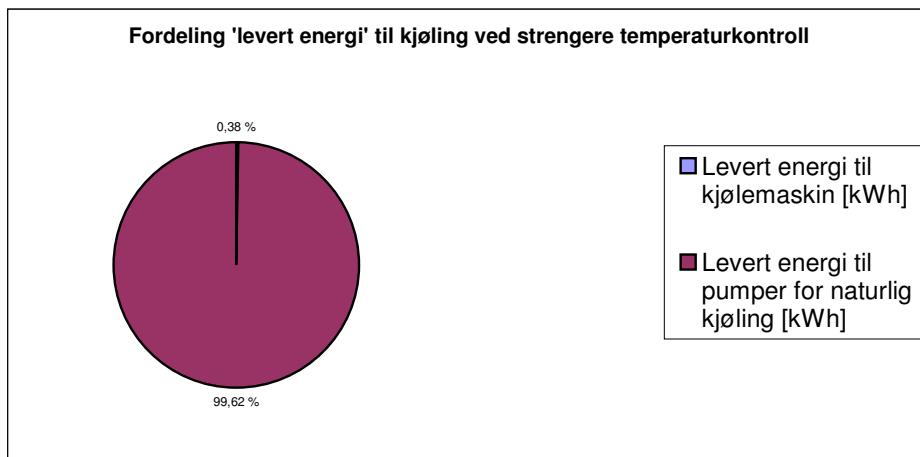
#### **Kjølebehov ved strengere krav til innnetemperaturer**

Dersom en setter maksimal lufttemperatur innendørs i MFS til å være 23 °C, vil en få et større behov for energi til kjøling enn behovet i de opprinnelige simuleringene i denne oppgaven. Hvorvidt kjølekapasiteten som er avsatt til MFS vil være stor nok om et slikt krav innføres, ble undersøkt ved nye simuleringer der det var satt krav om at lufttemperatur i avtrekksluften ikke skulle overstige 23 °C. To simuleringer ble foretatt, med maksimale kapasiteter til kjøling på henholdsvis 874 kW (total kjølekapasitet for MFS) og 650 kW (kjølekapasitet for naturlig kjøling). 'Netto energibehov' som må dekkes av kjølemaskinen blir differansen mellom kjølebehovene i de to simuleringene, og den 'leverte energien' til kjølemaskinen blir 'netto energibehov' fra kjølemaskinen dividert på total virkningsgrad (kjøle faktoren på 3,41 multiplisert med virkningsgrad til kjøleflater på 0,6). Resultatene vises i tabell 24 og figur 14 (basert på resultater i tabell XXVII og XXVIII i vedlegg 6).

Netto energibehov til kjøling ved 874 kW kapasitet [kWh]	48 851
Netto energibehov til kjøling ved 650 kW kapasitet [kWh]	47 837
Netto energibehov som må dekkes av kjølemaskin [kWh]	1 014
Levert energi til kjølemaskin [kWh]	496
Levert energi til pumper for naturlig kjøling [kWh]	130 086

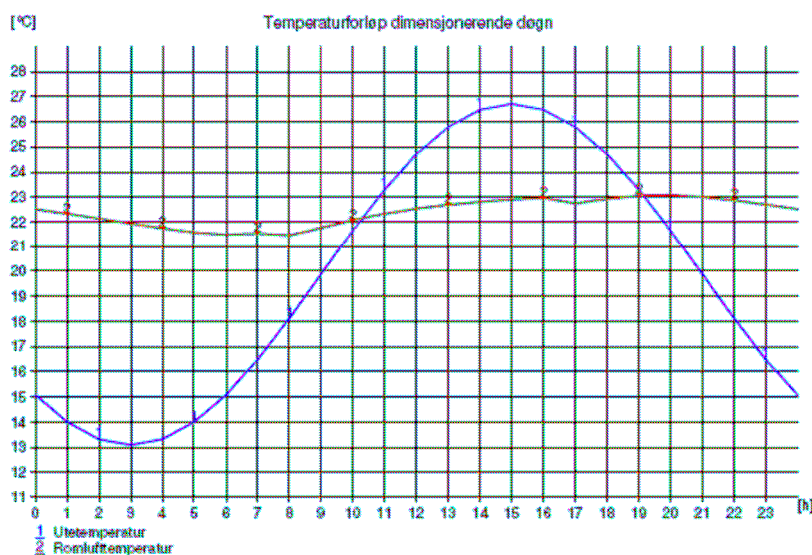
*tabell 24 Energi til kjøling ved strengere temperaturkrav*





figur 14 Fordeling av 'levert energi' til naturlig kjøling og kjølemaskin ved strengere temperaturkrav

En ser at det fortsatt kun er et minimalt behov for energi fra kjølemaskinen. Ved dimensjonerende sommerdøgn ble maksimalt behov for fjernet varme 843 kW (se tabell XXIX i vedlegg 6), så det er imidlertid tydelig at det er behov for kjølemaskinen de varmeste dagene. Hvorvidt kjølesystemet greier å overholde kravet på maksimalt 23 °C i lufttemperatur, kan leses av temperaturforløp dimensjonerende sommerdøgn i figur 15.



figur 15 Temperaturforløp dimensjonerende sommerdøgn ved strengere temperaturkrav

Temperaturen overstiger som en ser ikke 23 °C i løpet av døgnet, så kjølekapasiteten er tydeligvis tilstrekkelig også ved skjerpede temperaturkrav.

Det må her legges til at hensikten med denne tilleggssimuleringen var å undersøke hvorvidt kjølekapasiteten i MFS er stor nok ved skjerpede temperaturkrav, og hvor stor

andel av kjølebehovet som må dekkes opp av kjølemaskinen. Med strengere temperaturkrav vil imidlertid gjennomsnittlig belastning av brønnpumper og distribusjonspumper i kjølekrets bli høyere, men dette er det ikke tatt hensyn til her.

#### **Energimessig gevinst eller tap ved naturlig kjøling kontra konvensjonell kjøling?**

I utgangspunktet ble årlig 'netto energibehov' til kjøling til MFS meget lavt. Årlig 'netto energibehov' til kjøling uten låste bruksavhengige data (med inndata som i beregning av 'levert energi', men med systemvirkningsgrader lik 1) ble som sagt på kun 3,2 kWh/m<sup>2</sup> per år (dette kan imidlertid ikke sammenlignes med 'netto kjølebehov' i bakgrunn for rammekrav i ny TEK på 24 kWh/m<sup>2</sup> per år da bruksavhengige data ikke er låste i beregning av 'levert energi'). De bruksavhengige dataene som spesifikt er tilpasset MFS anses som mer reelle enn de låste bruksavhengige dataene i beregning av 'netto energibehov'. Det regnes derfor med resulterende energibehov i henhold til de tilpassede bruksavhengige dataene når naturlig kjøling skal sammenlignes med konvensjonell kjøling.

For sammenligningsbygget må all kjøling leveres fra kjølemaskiner. Med et årlig 'netto energibehov' på 29.541 kWh, en virkningsgrad på kjøleflater på 0,6 og en årsvirkningsgrad på kjølemaskinen på 3,41, blir årlig 'levert energi' til kjølemaskinen 14.438 kWh. En må imidlertid også her legge til 'levert energi' til distribusjonspumper i kjølestokken, i tillegg til lokal kjøler i kjøkken. Gjennomsnittlige leverte effekter til disse installasjonene er som sagt anslått til henholdsvis 9 kW og 1 kW, så årlig energimengde utgjør 87.600 kWh. Summert blir da teoretisk årlig behov for 'levert energi' til kjøling i sammenligningsbygget 102.038 kWh.

I følge de opprinnelige beregningene viste det seg at hele kjølebehovet ble dekket av naturlig kjøling. Pumpekraften som trengtes til dette ble anslagsmessig beregnet til gjennomsnittlig 14,85 kW gjennom året (se vedlegg 4), noe som fører til et årlig teoretisk behov for 'levert energi' til kjøling i MFS på 138.846 kWh.

En ser altså at behov for årlig 'levert energi' til kjøling ble beregnet til 27 prosent lavere ved konvensjonell løsning for kjøling enn ved løsning med naturlig kjøling. Grunnen til at en energimessig kommer godt ut med kun kjølemaskin som løsning for kjøling, er den høye årsvirkningsgraden til kjølemaskinen. Denne årsvirkningsgraden vil imidlertid falle med økende temperatur i energireservoaret. Det er i denne oppgaven ikke tatt stilling til hvilket energireservoar kjølemaskinene til sammenligningsbygget har, det er kun antatt at de har en årsvirkningsgrad på 3,41. I virkeligheten må en antagelig ha en vann/vann varmepumpe med brønn(er) eller sjøvann som reservoar for å oppnå en så høy årsvirkningsgrad, og noe pumpekraft til sirkulasjon av kjølemediet

må påregnes, i tillegg til pumpekraften til distribusjon i kjølestokken. Kun den sistnevnte pumpekraften er medregnet i denne oppgaven, noe som fører til at sammenligningsbygget i virkeligheten vil ligge litt høyere i behov for 'levert energi' til kjøling.

For å komme opp til den naturlige kjølingen sitt behov for årlig 'levert energi', må gjennomsnittlig pumpeeffekt til å sirkulere kjølemedium til kjølemaskinen ligge på 9,5 kW i kjølesesongen (200 dager i året). En så høy gjennomsnittlig effekt til dette formålet er lite sannsynlig, så en kan med rimelig sikkerhet fastslå at en, med de forutsetninger som ligger til grunn i dette tilfellet, energimessig kommer dårligere ut med en løsning med naturlig kjøling kontra løsning med kjølemaskin.

Investeringskostnader til de ulike systemene må imidlertid tas med i betraktningen når systemene skal vurderes opp mot hverandre. For MFS sin del skulle en uansett bore opp brønner til energireservoar for varmepumpen. Når slike brønner allerede finnes, vil merinvesteringen for et system med naturlig kjøling bli relativt lav. Kun kostnader til rør, reguleringsventiler og automatikk vil da påløpe. Skulle imidlertid hele kjølebehovet i MFS bli dekket av kjølemaskin(er), måtte det investeres i maskin(er) med langt større kjølekapasitet enn det den nåværende kjølemaskinen i MFS har. Slike kjølemaskiner er dyre, og for MFS sin del ville det antageligvis ikke lønt seg økonomisk å velge konvensjonell løsning for kjøling fremfor løsning med naturlig kjøling. Noen eksakte beregninger til å underbygge dette er ikke foretatt her.

Det skal legges til at antagelsene som ligger til grunn for beregninger av kjølebehov i denne oppgaven er noe usikre. For eksempel er gjennomsnittlig pumpeeffekt i brønn- og distribusjonspumper vanskelig å anslå, så resultatene må kun ses på som veiledende.

#### **Data for sammenligning med eksisterende bygningsmasse**

Som nevnt baserer tilgjengelige energi- og effektdata fra eksisterende bygningsmasse seg på målte verdier. Forskjellen på teoretisk beregnede og virkelig målte verdier for energibruk er allerede diskutert, og gjelder også her.

I tillegg til denne forskjellen, får en ved sammenligning post for post på netto energibudsjett også med usikkerheten rundt at postene kun er anslått ut fra tabulert fordeling i standarder. Forutsetningen for sammenligning med rammekrav i REN er også at bruksavhengige data skal være låste til tabulerte verdier i NS 3031. Ved måling av energibehov vil en slik forutsetning ikke være oppfylt.

Som en skjønner er grunnlaget for sammenligning av beregnet energibruk i MFS med målt energibruk i eksisterende bygningsmasse ganske usikkert. For å få et sikrere sammenligningsgrunnlag vil tilsvarende teoretiske beregninger som er utført på MFS også være tilrådelig for eksisterende bygningsmasse. Dette er en omfattende jobb, så

slike beregninger er ikke gjort i denne oppgaven. De målte dataene som eksisterer er derfor brukt som en grov indikasjon på hvor MFS ligger i forhold til eksisterende bygningsmasse.

Det er ut fra det tynne datagrunnlaget ikke mulig å fastslå i detalj hvorfor eksisterende bygningsmasse ligger så høyt i energibruk både i forhold til MFS og ny TEK. I grove trekk er imidlertid årsakene innlysende:

- All romoppvarming foregår ved elektriske panelovner, tappevann blir varmet opp av elektriske kolber og ventilasjonsluft blir varmet opp av elektriske varmebatterier. Disse installasjonene har virkningsgrad lik 1, og kan ikke konkurrere med MFS sin varmepumpe som dekker cirka 90 prosent av varmebehovet med årsvirkningsgrad på 4,62.
- Kjøling foregår utelukkende via kjølemaskiner, og med en såpass lav årsvirkningsgrad som 2,5, kommer disse antageligvis energimessig dårligere ut enn MFS sin naturlige kjøling (se betraktninger rundt dette i avsnittet "Energimessig gevinst eller tap ved naturlig kjøling kontra konvensjonell kjøling?"). I tillegg har den eksisterende bygningsmassen kun manuelt styrt solavskjerming, noe som vil føre til større varmebelastning fra sol i rom som ikke blir brukt.
- Kontorene ventileres med CAV-ventilasjon i driftstid, og belysning styres manuelt. En får en langt høyere energibruk til ventilasjon og belysning når det ikke er tatt hensyn til redusert tilstedeværelse.
- Ingen nattsinking av innnetemperaturen.

Det er imidlertid planlagt tiltak for å få ned energibruken i eksisterende bygningsmasse. Som nevnt i kapittel 3.1.7, er det laget en enøk-rapport [17] som beskriver ulike kostnadseffektive tiltak som vil redusere energibruken betydelig. Den mest konkrete planen er at ventilasjonsaggregatene skal kobles opp mot energisentralen i MFS, slik at energien til oppvarming og kjøling av ventilasjonsluft blir vannbåren, hovedsakelig via energisentralens varmepumpe og naturlige kjøling. I tillegg til å redusere årlig energiforbruk til eksisterende bygningsmasse, vil disse tiltakene bidra til å redusere effekttoppene på dimensjonerende vinter- og sommerdøgn.

### 6.1.2 Levert energi

Av resultatene i kapittel 5.1.1 ser en at beregnet 'levert energi' til MFS kun ble på 90 kWh/m<sup>2</sup> per år, som er langt lavere enn det uttalte målet på 120 kWh/m<sup>2</sup> per år. Eksisterende bygningsmasse har målt årlig 'levert energi' til å være hele 277 kWh/m<sup>2</sup> per år, og de viktigste årsaker til dette høye forbruket er forklart i foregående avsnitt.

### **Høy andel elektrisitet**

Eksisterende bygningsmasse henter all sin energi fra elektrisitet, mens MFS også benytter noe fjernvarme (4,3 %) og olje (1,3 %). Grunnen til at årlig andel av 'levert energi' fra olje og fjernvarme er så lav, er at disse energikildene kun er topplaster til bygningsmassens oppvarmingsbehov (romoppvarming, varmebatterier og varmt tappevann). Alt av behov for effekt til oppvarming inntil 219 kW blir dekket av varmepumpen, og all energi til vifter og pumper, belysning, teknisk utstyr og kjøling kommer jo fra elektrisitet. Selv om teoretisk maksimal netto effekt til oppvarming ligger på nesten 1000 kW (summert effekter til romoppvarming, varmebatterier og varmt vann i tabell 19), vil altså summert tid med effekter over 219 kW være relativt beskjeden i forhold til summert tid med effekter inntil 219 kW.

Med en el-andel på 94,4 prosent er det nærliggende å si at denne avhengigheten av elektrisitet er en svakhet for MFS. Men det faktum at MFS om ønskelig kan hente ut større kapasitet fra fjernvarme og olje på bekostning av elektrisitet gjør denne avhengigheten mindre (MFS er relativt energifleksibelt).

Mer alvorlig er det imidlertid for gammel bygningsmasse, som kun har elektrisitet som energikilde. Dette vil føre til at bygningsmassen får vanskeligheter ved eventuelle problemer med forsyningen av elektrisitet, i tillegg til at bygget er sårbart dersom prisen på elektrisitet skulle skyte i været. Hvis vektet levert energi vil bli parameteren på fremtidig energisertifisering av bygg, og elektrisitet da blir vektet som ellers i Europa (vektes strengt der pga. at stor del av elektrisitetsproduksjonen kommer fra lite miljøvennlig produksjon, se mer om dette i kapittel 6.3.2), vil også bygg kun med elektrisitet som energikilde komme dårlig ut.

### **Hvorfor så mye lavere behov for 'levert energi' i nye beregninger?**

Målet om årlig 'levert energi' på 120 kWh/m<sup>2</sup> baserte seg delvis på beregningene utført i prosjekteringsfasen. Beregningene i denne oppgaven tok utgangspunkt i disse beregningene, og inndata ble revidert i henhold til slik bygget virkelig ble. At ny beregnet 'levert energi' ble såpass mye lavere enn i de eksisterende beregninger, skyldes hovedsakelig:

- All varmeenergi ble i de eksisterende beregninger hentet fra fjernvarme med varmfaktor på 0,98, mens varmeenergien i virkeligheten hovedsakelig hentes fra en varmepumpe med en årsvirkningsgrad på 4,62.
- All kjøling ble i de eksisterende beregninger hentet fra en kjølemaskin med kjølefaktor på 2, mens det i nye beregninger viste seg at tilnærmet alt kjølebehovet ble dekket av naturlig kjøling, hvor energi kun går med til pumpekraft. I delkapitlet

”Energimessig gevinst eller tap ved naturlig kjøling kontra konvensjonell kjøling?” ble det slått fast at naturlig kjøling kom dårligere ut energimessig enn en kjøle-maskin med årsvirkningsgrad på 3,41. Med årsvirkningsgrad på 2 vil imidlertid naturlig kjøling sannsynligvis komme bedre ut.

- Luftmengdene i de eksisterende beregningene er langt høyere enn de virkelig innregulerte luftmengdene. Dette medfører mindre energi til vifter og oppvarming og kjøling av tilluft.
- Gjennomsnittlig effekt til oppvarming av tappevann på driftsdager er halvert i nye beregninger (i henhold til prNS 3031).

### 6.1.3 Netto energibehov

En ser av resultatene i kapittel 5.1.2 at MFS med sitt ’netto energibehov’ på 132 kWh/m<sup>2</sup> per år tilsynelatende oppfyller rammekravet for kontorbygg i nye TEK på 165 kWh/m<sup>2</sup> med klar margin. Eneste forutsetning for utregning av ’netto energibehov’ som ikke er i henhold til TEK sine anbefalinger, er driftstiden til bygget. I de låste og standardiserte bruksavhengige dataene i prNS 3031 skal ferier og helligdager inkluderes i beregningene, mens de i denne oppgaven er ekskludert. Å sammenligne ’netto energibehov’ med rammekravet når alle forutsetninger for sammenligning ikke er oppfylt blir galt, så en virkelig sammenligning med alle forutsetninger oppfylt er foretatt i delkapitlet ”Driftstid i henhold til ’låste bruksavhengige data’”.

Tilleggskravet i nye TEK om at minst 40 prosent av beregnet ’netto energibehov’ til oppvarming av rom, ventilasjonsluft og varmt tappevann skal dekkes av andre energikilder enn ren elektrisitet eller fossile kilder, er også oppfylt med klar margin for MFS. Både fjernvarme og varmepumpe er ”godkjente løsninger” i dette tilleggskravet, og disse står for over 90 prosent av beregnet årlig ’netto energibehov’ til de nevnte energipostene.

#### **Driftstid i henhold til ’låste bruksavhengige data’**

Driftstiden hører egentlig med til de låste bruksavhengige dataene i TEK, så en bør følge forslaget til driftstid i prNS 3031 for å kunne sammenligne ’netto energibehov’ med rammekravet. En ny simulering er foretatt med ferier og helligdager inkludert i driftstiden, og nytt årlig ’netto energibehov’ steg da til 140 kWh/m<sup>2</sup> per år (basert på resultater i tabell XXXI i vedlegg 6, med tillegg for lokal kjøler i kjøkken). Rammekravet på 165 kWh/m<sup>2</sup> per år, overholdes altså fortsatt med klar margin.

I den videre diskusjonen rundt teoretisk ’netto energibehov’ baseres det på de opprinnelige beregningene med ferier og helligdager trukket fra driftstiden.

### **Forskjell 'netto energibehov' og 'levert energi'**

I tabell 16 er 'netto energibehov' fordelt på energislag vist for ny og eksisterende bygningsmasse. En ser at fordelingen på energislag er noenlunde lik som for 'levert energi', men totalt 'netto energibehov' er en del større. En stor del av årsaken til at teoretisk 'netto energibehov' er større enn teoretisk 'levert energi' er at systemvirkningsgradene settes lik 1. Dersom ingen andre endringer enn å sette systemvirkningsgrader lik 1 ble gjort i inndataene for simulering av 'levert energi', ville det teoretiske 'netto energibehovet' kun komme på 119 kWh/m<sup>2</sup> per år (basert på tabell VII i vedlegg 6, med tillegg for lokal kjøler i kjøkken). Altså bidrar "låste bruksavhengige data" netto med 13 kWh/m<sup>2</sup> per år ekstra, noe som tilsier at nye TEK anbefaler simulering med større behov fra bruksavhengige data enn det som er gjort i opprinnelig simulering av MFS sin 'leverte energi'. Store deler av denne forskjellen består i økte internlaster fra utstyr og personer (også som følge av at det ikke er tatt hensyn til den reduserte tilstedeværelsens innvirkning på internlastene i beregning av 'netto energibehov'), samt økte driftstider for internlaster og ventilasjon. Simulering med økte internlaster i følsomhetsanalysene i kapittel 6.1 viser en økning i 'levert energi' på 19 kWh/m<sup>2</sup> per år. En kan altså tilnærmet si at teoretisk 'levert energi' med låste bruksavhengige data kommer på cirka 110 kWh/m<sup>2</sup> per år.

### **Årsaker til lavt 'netto energibehov' i forhold til rammekrav**

I tabell 17 i kapittel 5.1.2 sammenlignes simulert netto energibudsjett for MFS med energipostene som ligger til grunn for rammekravet i ny TEK. Under er årsaker til de største forskjellene mellom postene diskutert (driftstidene i resultatene diskusjonen baseres på er som nevnt ikke i henhold til de låste bruksavhengige dataene i TEK, så avvikene for de enkelte postene er i realiteten litt mindre enn det som er beskrevet under).

- At behov for energi til romoppvarming er 5 kWh/m<sup>2</sup> per år lavere enn forslaget i rammekravet er hovedsakelig på grunn av Miljøforskningssenterets små varmetap gjennom konstruksjonen. Simuleringene er utført uten kuldebroer i konstruksjonen, noe som sjelden er tilfelle i virkelige bygg. Fra følsomhetsanalysene i kapittel 6.1 ser en at med kuldebroverdi på 0,06 W/m<sup>2</sup>K, som foreslått i energitiltaksmodell i nye TEK, blir 'netto energibehov' til MFS øket med 5 kWh/m<sup>2</sup> per år.
- At MFS sitt 'netto energibehov' til vifter og pumper er 5 kWh/m<sup>2</sup> per år lavere enn forslaget i rammekravet, skyldes antagelsen om relativt lav gjennomsnittlig effekt til pumper for distribusjon av vann i oppvarmingssystemet (når effekt som egentlig går til brønnpumper er trekt fra), i tillegg til at vifteenergi i ventilasjonsanlegget reduseres som følge av behovsstyring, av de fra før relativt lave dimensjonerende

luftmengdene i MFS. Denne gjennomsnittlige pumpeeffekten er ikke så lett å anslå, så i følsomhetsanalysene i kapittel 6.1 er gjennomsnittlig pumpeeffekt skrudd opp 5 kW, noe som vil føre til en økning i årlig 'netto energibehov' på 3 kWh/m<sup>2</sup>. En så stor økning i gjennomsnittlig pumpeeffekt er neppe sannsynlig når en ikke skal ta hensyn til brønnpumpene, men dette er som nevnt "verste tilfelle".

- 2 kWh/m<sup>2</sup> per år mindre 'netto energibehov' til belysning skyldes at EiB opererer med tre ukers fellesferie i juli, som ikke er med i driftstiden. Forutsetning for rammekravene er driftstid tolv timer om dagen, fem dager i uka, 52 uker i året.
- 3 kWh/m<sup>2</sup> per år mindre 'netto energibehov' til teknisk utstyr skyldes det samme som nevnt i forrige punkt.
- 'Netto energibehov' til kjølebatterier er i simuleringene til MFS kun en fjerdedel av i forslaget i rammekravet. Dette er meget lavt, og årsaken må tilskrives god solavskjerming og tung konstruksjon, som nevnt i delkapittelet "lavt energibehov til kjøling" i kapittel 6.1. Bruksavhengige data er jo låst i beregning av 'netto energibehov', så internlaster eller driftstider vil ikke ha noen betydning her. Kjølebehovet kan virke mistenkelig lavt når disse elementene ikke har noen betydning. En ny simulering er derfor gjennomført, med kun lyse innvendige gardiner som solavskjerming i kontorene (i stedet for utvendige automatiske persienner), lette skillekonstruksjoner (i stedet for middels tunge) og ingen eksponert betong i tak mot det fri og gulv mot grunn. Resultatet (basert på tabell XXX i vedlegg 6, med tillegg for lokal kjølemaskin i kjøkken) viste da at årlig 'netto energibehov' til kjøling steg til 15,8 kWh/m<sup>2</sup> per år. Innnetemperaturen holdt seg under 25 °C hele døgnet, så kapasiteten på kjølingen var tydeligvis tilstrekkelig. Dette resultatet ligger også godt under forslaget i REN, men netto behov for energi til kjøling ble likevel doblet som følge av lettere overflatematerialer og dårligere solavskjerming. Mesteparten av differansen i forhold til forslag til årlig 'netto kjølebehov' i REN kan altså tilskrives tunge konstruksjoner og god solavskjerming. Med driftstider i henhold til låste bruksavhengige data ville også kjølebehovet økt noe, spesielt grunnet lengre driftstid for internlaster i tre ferieuker om sommeren.

En ser altså at grunnen til at MFS sitt årlige teoretiske 'netto energibehov' er lavere enn nye TEK sitt rammekrav hovedsakelig kan tilskrives tung bygningskropp med lavt varmetap (transmisjon, ventilasjon og infiltrasjon), god solavskjerming og mindre driftstid pga. ferier og helligdager.

#### **Forskjell 'netto energibehov' ny og eksisterende bygningsmasse**

En ser av tabell 16 i kapittel 5.1.2 at årlig 'netto energibehov' er beregnet til hele 296



kWh/m<sup>2</sup>. Det er da tatt utgangspunkt i måling av 'levert energi', og den leverte energien til kjølebatterier er multiplisert med årsvirkningsgraden for å få 'netto energibehov'. Som nevnt er fordelingen på energiposter kun anslått ut fra normtall, så sammenligning post for post med eksisterende bygningsmasse vil ikke være hensiktsmessig pga. stor usikkerhet. Hovedsakelige årsaker til eksisterende bygningsmasse sin store energibruk er forklart i kapittel 6.1.

#### **Manipulasjonsmuligheter uten låste systemvirkningsgrader og bruksavhengige data**

En av årsakene til at nye TEK opererer med låste bruksavhengige data, er at mulighet for manipulasjon av teoretiske beregninger for dokumentasjon av bygningers energiytelse skal bli mindre. Det finnes fordeler og ulemper ved å stille et slikt krav ved utregning av energibehovene, men det er utvilsomt at mulighet for manipulasjon blir langt lavere ved å ha med dette kravet.

Dette er også synlig i denne oppgaven. Med de kravene som stilles til utregning av 'netto energibehov' i ny TEK, steg energibehovet til MFS fra 90 kWh/m<sup>2</sup> per år 'levert energi' til 140 kWh/m<sup>2</sup> per år 'netto energibehov'. I en prosjekteringsfase er det et vanlig krav at den teoretiske energibruken skal dokumenteres lavere enn angitte mål. Dette kan være mål ut fra spesifikke ønsker hos byggherre eller krav som må overholdes for å få støtte fra for eksempel Enova. Dersom et slikt krav ikke har strenge forutsetninger rundt låste bruksavhengige data knyttet til seg, vil altså manipuleringsmulighetene være mange. Små justeringer av enkelte parametere vil være vanskelig å oppdage, men kan få store utslag på resulterende energibehov. For MFS vil for eksempel endring i antatt tilstedeværelse få stor betydning. Ved å endre tilstedeværelsesprosenten i kontorene fra lys og utstyr henholdsvis fra 70 og 80 prosent til 60 prosent i driftstid og fra 10 og 20 prosent til 5 prosent utenom driftstid, i tillegg til å justere maksimal last fra lys og utstyr i fellesareal fra 8 og 4 W/m<sup>2</sup> til henholdsvis 6 og 3 W/m<sup>2</sup>, samt anta ingen internlast i fellesareal utenom driftstid, ble resulterende behov for årlig 'levert energi' redusert fra 90 kWh/m<sup>2</sup> per år til 74 kWh/m<sup>2</sup> per år (basert på resultater i tabell XXXII i vedlegg 6, med tillegg for naturlig kjøling og lokal kjøling i kjøkken). Et annet eksempel, som allerede er nevnt, er manipulasjon av driftstider. Å trekke tre ukers ferie og helligdager fra driftstiden, betydde en reduksjon i 'netto energibehov' på 8 kWh/m<sup>2</sup> per år.

Det er altså tydelig at manipulasjon av inndata er en relativt lettvinnt løsning for å få ned det teoretiske energibehovet. Ved bruk av et tilsvarende dataprogram som EiB 3.5 vil det forekomme meget store mengder med inndata. Tabellen med inndata til simuleringer i denne oppgaven, som strekker seg over 16 sider i vedlegg 1, er et eksempel på

dette. For en kontrollør av energiberegninger vil det altså være en svært stor jobb å avdekke eventuelle feil og manipulasjoner som prosjekterende har begått, dersom ikke bruksavhengige data er låste.

#### **6.1.4 Teoretisk maksimale effekter**

##### **Fordeling maksimale brutto effekter på energislag**

tabell 18 i kapittel 5.1.3 viser de teoretisk maksimale brutto effektene til MFS fordelt på energislag på dimensjonerende vinterdøgn, sammenlignet med målte maksimale brutto effekter til den eksisterende bygningsmassen.

En ser at effektfordelingen er mye jevnere mellom elektrisitet (40 %), fjernvarme (30 %) og olje (30 %) enn fordelingen ved årlige energibehov. Dette skyldes at effektbehovet til oppvarming på dimensjonerende vinterdøgn er langt høyere enn det varmepumpen kan dekke. En ser av tabell 17 at maksimalt samtidig netto effektbehov til oppvarming er cirka 750 kW (summert romoppvarming, varmebatterier og varmt vann, og multiplisert med faktor for samtidigighet på 0,76), og varmepumpen kan kun dekke 219 kW av dette.

For eksisterende bygningsmasse er maksimal brutto effekt målt i en øyeblikksmåling. Denne tar altså hensyn til samtidigighet. Hele den maksimale samtidige brutto effektbehovet på over 2 MW til eksisterende bygningsmasse må dekkes av elektrisitet. Per gulvareal er maksimal samtidig brutto effekt for eksisterende bygningsmasse 23 prosent høyere enn for MFS. Grunn til at eksisterende bygningsmasse ligger høyere enn MFS i behov for maksimal levert effekt er antagelig hovedsakelig at samlet systemvirkningsgrad i oppvarmingssystemet ligger en del lavere i den eksisterende bygningsmassen.

##### **Fordeling maksimale netto effekter på effektposter**

tabell 17 viser netto effektbudsjett for MFS og eksisterende bygningsmasse. For MFS tar tabellen post for post for seg den maksimale netto effekten i løpet av dimensjonerende vinterdøgn, og summerer effektene til slutt. Også her må en imidlertid multiplisere med faktor for samtidigighet, så maksimal samtidig netto belastning blir en del lavere enn summen (faktor for samtidigighet på 0,76). For eksisterende bygningsmasse er fordelingen på energiposter som nevnt gjort ut fra normtall. Samtidigighet vil imidlertid være inkludert i størrelsene på de enkelte postene for eksisterende bygningsmasse, så differansen mellom MFS og eksisterende bygningsmasse på de enkelte postene blir noe misvisende. Forskjellen i maksimal samtidig netto effekt blir mye mindre mellom ny og eksisterende bygningsmasse for netto enn for brutto maksimal effekt. Kun 7 prosent ligger eksisterende bygningsmasse over MFS. Grunnen til at differansen i maksimal

samtidig effekt mellom ny og eksisterende bygningsmasse er så mye lavere for netto enn for brutto maksimalt effektbehov, er at systemvirkningsgrader ikke blir tatt hensyn til ved beregning av netto effekter. At netto maksimalt samtidig effektbehov er ganske likt for ny og eksisterende bygningsmasse, indikerer at den gamle bygningsmassen sin bygningskropp ikke kan være vesentlig dårligere med tanke på varmetap dimensjonerende vinterdøgn enn den nye bygningsmassen sin.

#### **Sammenligning med Enøk normtall**

En sammenligning av maksimale effekter over året med Enøk normtall er foretatt i tabell 20 i kapittel 5.1.3. Som nevnt forekommer største behov til oppvarming på dimensjonerende vinterdøgn og største behov til kjøling på dimensjonerende sommerdøgn. I denne sammenligningen skal det ikke tas hensyn til samtidighet, da oversikten skal vise hva de maksimale netto effektbehovene hver effektpost har over året.

For maksimal netto effekt til oppvarming av rom, ser en at effekt til romoppvarming er en del høyere for MFS, mens effekt til varmebatterier er en del høyere for normtallene. Sommert ligger MFS  $4,2 \text{ W/m}^2$ , det vil si 6 prosent høyere enn normtallene. En sannsynlig grunn til at MFS ligger høyere enn normtallene på dette punktet, er byggets store vindusflater i glassgårder og glassganger. På kalde dager vil mye varme gå tapt gjennom slike store glassfasader.

Maksimal effekt til oppvarming av tappevann er på hele  $6 \text{ W/m}^2$  i normtallene, mens den kun ligger på  $0,8 \text{ W/m}^2$  for MFS. Denne store forskjellen skyldes at det i normtallene er forutsatt maksimalt samtidig uttak av varmt vann (ut fra OSO's tabeller for dimensjonering), mens tallene fra EiB er hentet fra dimensjonerende sommer- og vinterdøgn, og det er da antatt et gjennomsnittlig uttak av varmt tappevann. Maksimalt uttak av tappevann er altså ikke med i resultatene fra EiB, så normtallet er nok det mest riktige maksimale netto effektbehovet for MFS.

Maksimal effekt til vifter og pumper forekommer dimensjonerende vinterdøgn for MFS. Vifter til ventilasjon går som vanlig, mens brønnpumper og pumper til distribusjon i varmestokken går tilnærmet for fullt. En skulle tro at MFS lå relativt høyt på maksimal effekt til vifter og pumper på grunn av brønnpumpene, men i sammenligningen med normtallene ligger MFS 10 prosent under. Igjen kommer her vanskeligheten rundt gjennomsnittlig belastning av pumper i MFS inn.

Maksimale effekter til internlastene belysning og teknisk utstyr, bestemmes i EiB ut fra innlagt installert effekt. En effekt legges altså inn for gjennomsnittlig effekt i og utenom driftstid, mens en egen effekt legges inn for installert effekt. De installerte effektene til disse postene finnes i tabell 3 i kapittel 4.1.3. MFS blir liggende cirka 40

prosent under normtallene på begge disse postene. Som nevnt i avsnittet "lavt energibehov til teknisk utstyr" lengre opp, er den gjennomsnittlige effekten til tekniske installasjoner satt litt lav i simuleringene. Dermed blir også simulert installert effekt noe lav, og dette vil forklare noe av det store avviket mellom maksimal effekt til teknisk utstyr i MFS og normtallene. Installert effekt på  $8 \text{ W/m}^2$  til belysning for MFS vil imidlertid være tilnærmet riktig slik bygget har blitt i virkeligheten.

Når det gjelder maksimalt kjølebehov, er tallene i tabell 20 'levert effekt' til kjøle-maskinen. I 'Enøk normtall' står det at  $15 \text{ W/m}^2$  tilsvarer en kjøleytelse på  $40\text{-}50 \text{ W/m}^2$ . For MFS har kjølemaskinen en kjølefaktor på 3,41, så maksimal kjøleytelse blir der  $47,7 \text{ W/m}^2$ . Maksimalt netto kjølebehov til MFS er altså ganske likt med referansebygget i normtallene.

## 6.2 Energikostnader

### Variasjoner i energipriser

Årlige energikostnader for MFS vil variere med energipris. Energiprisen varierer mellom år og med årstider, og det er ikke lett å spå hvordan prisnivået vil ligge på i fremtiden. Dette vil avhenge av hvor stor knapphet det er på de enkelte energikildene og hvor store eventuelle avgifter som blir pålagt dem på grunn av deres miljøpåvirkning. Dagens energisituasjon i Norge tilsier at prisnivået vil stige, men hvor mye og hvor fort dette skjer er uvisst. I denne oppgaven er det foreslått tre forskjellige prisnivåer på energi. Ett lavt, ett middels og ett høyt prisnivå. Det lave prisnivået er omtrentlig der prisnivået ligger i dag (per mai 2007).

Det er antatt at prisene på de tre energikildene MFS benytter varierer i takt. Dette trenger ikke være tilfelle i fremtiden. For eksempel kan det tenkes at elektrisitet blir billigere enn olje på grunn av at det i fremtiden blir funnet måter å produsere elektrisitet på en billigere og mer energivennlig måte enn det som er mulig i dag. Et annet kjent scenario er en situasjon hvor nivå i norske vannmagasiner i er lave, og elektrisitetsprisen stiger uavhengig av de andre energikildene. Hvorvidt dette, eller andre ting som påvirker korrelasjoner mellom energiprisene vil skje er vanskelig å spå, men i MFS sitt tilfelle vil ikke variasjoner i korrelasjonene få noen stor betydning. Dette er på grunn av den store andelen forbrukt energi som tilskrives elektrisitet. Den klart viktigste energiprisen for MFS er altså elektrisitet, og hvordan pris på fjernvarme og olje varierer i fremtiden vil spille liten rolle for totale energikostnader.

For sammenligningsbygget som er brukt i denne oppgaven er imidlertid all varme-

energi hentet fra fjernvarme. I tillegg til elektrisitet vil altså prisutviklingen på fjernvarme ha stor betydning for dette bygget.

### Sammenligning av energikostnader med sammenligningsbygg

En ser av tabell 21 i kapittel 5.2 at årlige energikostnader for MFS ligger cirka 20 prosent under sammenligningsbygget. Årsaken til dette er hovedsakelig den høye virkningsgraden til MFS sin varmepumpe. Investeringskostnadene ved et bygg med både varmepumpe, fjernvarme og oljekjel som oppvarmingskilder, samt boring av flere brønner til utnytting av geoenergi til varme og kjøling, vil imidlertid være betydelig høyere enn kun ved tilkobling til fjernvarmenettet til oppvarming og bruk av konvensjonelle kjølemaskiner til kjøling (selv om konvensjonelle kjølemaskiner også er dyre). Systemene er ikke helt ferdig installert per mai 2007, men foreløpige kalkyler tilsier at ekstrakostnaden ved geoenergi og oljekjel kommer på cirka syv millioner kroner [56]. Varmepumpen og halvparten av kostnadene til rørarbeider i energisentral er da ikke tatt med som merinvestering for MFS. Dette på grunn av at sammenligningsbygget trenger en kjølemaskin med betydelig større kapasitet enn den som er installert i MFS, og energisentralen har fortsatt behov for en del rørarbeider selv uten utnyttet geoenergi og oljekjel. I tabell 25 er nåverdimetoden brukt til å regne ut totalt sparte energikostnader til MFS over levetider for systemene på 20, 25 og 30 år. Nåverdien av de årlig besparte beløpene tilsvarer maksimal lønnsom investeringskostnad for systemer som MFS har utover sammenligningsbygget. Privatøkonomisk rente er anslått til fem prosent. Vedlikeholdskostnader er ikke tatt med i beregningene, men det er antatt at kostnader til vedlikehold hovedsakelig dreier seg om periodisk service, som begge systemene må ha. Formelen for nåverdi av årlig besparte beløp, er:

$$\text{Nåverdi} = B \cdot \frac{1 - (1 + r)^{-n}}{r} \quad (6)$$

$B$  = Årlig besparelse

$r$  = Kalkulasjonsrente

$n$  = Levetid for tekniske systemer

Nåverdi av årlige energibesparelser for MFS						
Tekniske systemers levetid (n)	Prisnivå energi					
	Lavt		Middels		Høyt	
20	kr	1 996 957	kr	3 993 902	kr	6 875 377
25	kr	2 258 428	kr	4 516 841	kr	7 775 601
30	kr	2 463 297	kr	4 926 578	kr	8 480 950

tabell 25 Nåverdi til sparte energikostnader ved MFS sitt tekniske system fremfor sammenligningsbygget sitt tekniske system

Det fremgår tydelig av tabellen at energiprisen har mye å si for nåverdi av årlig

besparte energikostnader i MFS. En merinvestering på syv millioner kroner ser kun ut til å bli dekket dersom nivået på energiprisen i snitt gjennom levetiden til systemene er høy. Som nevnt er fremtidige energipriser vanskelige å spå, og det er ikke utenkelig at den globale energisituasjonen i løpet av de neste 20 årene vil endres dramatisk som følge av tiltak for å redusere utslipp fra fossile brensel. I så tilfelle kan til og med det høyeste foreslåtte prisnivået bli for lavt, og merinvesteringen i MFS vil vise seg å være lønnsom.

Det skal legges til at miljøprofilen til MFS medfører at lav årlig energibruk har høyere prioritet enn marginale økonomibetraktninger.

## 6.3 Indikatorer for energiytelse

### 6.3.1 Vurdering av resultater

En ser av resultatene i tabell 22 i kapittel 5.3 at både MFS og sammenligningsbygget oppfyller kravene for å havne i energiklasse B med klar margin, både med primærenergi og CO<sub>2</sub>-utslipp som veieparametre. Dette må sies å være gode resultater da kravet for å havne i denne klassen er at indikatorene for energiytelse er minst like gode, og opptil 50 prosent bedre enn referanseverdien for nye kontorbygg (R<sub>r</sub>).

Gammel bygningsmasse i Forskningsparken havner helt nede i energiklasse E, og grunner til dette er de samme som ble diskutert i kapittel 6.1. At all energi i gammel bygningsmasse dekkes av elektrisitet slår dårlig ut for 'vektet levert energi' da veiefaktoren for primærenergi for elektrisitet er relativt høy sammenlignet med fjernvarme og olje. Veiefaktor for CO<sub>2</sub>-utslipp er lavere for elektrisitet enn olje, men i og med at den ligger såpass mye høyere enn faktor for fjernvarme, og norske bygg generelt benytter lite olje som energikilde (3,8 prosent i 2005 ifølge tabell 11), kommer også vektet CO<sub>2</sub>-utslipp relativt dårlig ut for bygg som kun har elektrisitet som energikilde.

Selv om energiklasse E høres dårlig ut, skal det bemerkes at kriteriet for å havne i denne klassen er at energiytelsen ligger mellom 0 og 25 prosent høyere enn landsgjennomsnittet (medianen) for eksisterende kontorbygg. Den gamle delen av Forskningsparken ligger henholdsvis 14 og 8 prosent høyere enn landsgjennomsnittet med primærenergi og CO<sub>2</sub>-produksjon som veieparametre, og kan derfor ikke sies å være vesentlig dårligere enn sammenlignbare bygg.

Hver for seg havnet MFS og gammel bygningsmasse henholdsvis i energiklasse B og E, mens de samlet havnet i energiklasse D. Årlig behov for 'levert energi' fremkommer ved at en summerer behovene for 'levert energi' til MFS og gammel bygningsmasse og dividerer på totalt areal. Med tanke på Forskningsparkens miljøvennlige profil, vil nok

ikke energiklasse D være et tilfredsstillende resultat. Som nevnt i kapittel 3.1.7, er imidlertid tiltak for forbedring av energiytelsen i gammel bygningsmasse planlagt. Blant annet det at ventilasjonsanlegget i gammel bygningsmasse skal kobles til energisentralen i MFS vil heve energiytelsen til Forskningsparken samlet betraktelig.

I de kommende avsnitt er det kun energiytelsen til MFS og sammenligningsbygget som vil bli diskutert. Det er resultatene fra disse byggene som er mest interessante i denne oppgaven, og i og med at datagrunnlaget som eksisterer for gammel bygningsmasse er såpass usikkert, vil ikke en videre diskusjon av disse resultatene være hensiktsmessig.

#### **Fjernvarmens innvirkning på energiytelsen**

En ser at, til tross for at MFS har  $32 \text{ kWh/m}^2$  per år lavere behov for 'levert energi' enn sammenligningsbygget, kommer sammenligningsbygget nesten like godt ut i energiytelse med  $\text{CO}_2$ -utslipp som veieparameter. Grunnen til dette er at sammenligningsbygget har såpass mye høyere andel fjernvarme av totalt behov for 'levert energi'. En ser av veiefaktorene utregnet i kapittel 4.3.3 at fjernvarme vurderes som klart bedre enn både elektrisitet og olje med  $\text{CO}_2$ - utslipp som veieparameter. Å bruke fjernvarme som eneste varmforsyning kan altså trygt forsvares i forhold til energiytelse med  $\text{CO}_2$ -utslipp som veieparameter, til tross for at fjernvarmen ikke kan konkurrere med varmpumpens årsvirkningsgrad.

Med primærenergi som veieparameter, blir imidlertid energiytelsen til MFS en del bedre enn sammenligningsbygget. Primærenergifaktoren til fjernvarme er riktignok bedre enn faktoren til elektrisitet, men den er ikke så mye bedre som faktoren til  $\text{CO}_2$ -utslipp er. Fjernvarme forbedrer altså ikke energiytelsen med primærenergi som veieparameter så mye som med  $\text{CO}_2$ - utslipp som veieparameter i dette tilfellet.

#### **Bedre energiytelse ved bruk av 'primær ressursfaktor'**

I beregningene i denne oppgaven, er 'total primærenergifaktor' benyttet for å finne 'vektet levert energi'. En kan også la være å karakterisere fornybare ressurser som primærenergi, slik 'ecoheatcool' gjør i sin rapport [50]. Faktoren kalles da primær ressursfaktor. Avfallsforbrenning, biobrensel og elektrisitet fra vannkraftverk ville da kommet ut med langt bedre veiefaktorer for primærenergi. Som følge av dette ville energiytelse både til Forskningsparken og sammenligningsbygget blitt vesentlig bedre, da energibruken i stor grad baserer seg på elektrisitet fra vannkraftverk og fjernvarme med avfallsforbrenning og biobrensel som energikilder. Imidlertid ville også kravene for å havne i de ulike energiklassene blitt strengere da referanseverdiene i stor grad også baseres på energibruk fra nevnte energikilder. Noen beregninger av hva energiytelsene ville blitt ved bruk av 'primær ressursfaktor' er ikke foretatt i denne oppgaven

da det er 'total primærenergifaktor' som er antatt å være den mest relevante (og konservative) faktoren.

### 6.3.2 Usikkerheter i beregningene

#### Usikkerheter i beregning av 'levert energi'

Beregningene av energiytelsen til MFS og sammenligningsbygget ble basert på utregninger av 'levert energi' i kapittel 5.1.1. Usikkerhetene i disse beregningene gjelder da også for beregninger av indikatorer for energiytelse, og disse er diskutert i kapittel 6.1. Hvilke utslag de forskjellige "verste tilfellene" får på energiytelsen til MFS og sammenligningsbygget, er oppsummert i tabell 26. For sammenligningsbygget er usikkerhetsanalysene basert på EiB-resultater i tabellene XXXIII til XXXV i vedlegg 6.

	Miljøforskningssenteret			Sammenligningsbygget		
	Utslag 'levert energi'	Utslag EP <sub>pe</sub>	Utslag EP <sub>CO2</sub>	'Utslag levert energi'	Utslag EP <sub>pe</sub>	Utslag EP <sub>CO2</sub>
Større internlaste i felles-areal i driftstid	+19 kWh/m <sup>2</sup> per år	+34 kWh/m <sup>2</sup> per år	+2,6 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> per år	+12 kWh/m <sup>2</sup> per år	+26,3 kWh/m <sup>2</sup> per år	+2,3 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> per år
Årsvarmefaktor for varmpumpe synker til 3,5 som følge av mindre gunstige snittemperaturer på grunnvannet enn antatt	+7 kWh/m <sup>2</sup> per år	+10,2 kWh/m <sup>2</sup> per år	+0,9 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> per år	+0 kWh/m <sup>2</sup> per år	+0 kWh/m <sup>2</sup> per år	+0 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> per år
Gjennomsnittlig pumpeeffekt økes med 5 kW i MFS og 2,5 kW i sammenligningsbygget	+3 kWh/m <sup>2</sup> per år	+5,6 kWh/m <sup>2</sup> per år	+0,4 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> per år	+1,5 kWh/m <sup>2</sup> per år	+3,8 kWh/m <sup>2</sup> per år	+0,4 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> per år
Økte luftmengder og SFP-faktorer:	+13 kWh/m <sup>2</sup> per år	+21,5 kWh/m <sup>2</sup> per år	+1,8 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> per år	+18 kWh/m <sup>2</sup> per år	+29,6 kWh/m <sup>2</sup> per år	+2,3 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> per år
Innføring av normalisert kuldebrotverdi foreslått i energitiltaksmodell i nye TEK [2] på 0,06 W/K per m <sup>2</sup> BRA.	+2 kWh/m <sup>2</sup> per år	+4,0 kWh/m <sup>2</sup> per år	+0,3 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> per år	+6 kWh/m <sup>2</sup> per år	+9,7 kWh/m <sup>2</sup> per år	+0,8 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> per år

tabell 26 "Verste tilfellers" innvirkning på energiytelsen til MFS og sammenligningsbygget

Som en ser, kan de ulike "verste tilfellene" gi forskjellig utslag for MFS enn for sammenligningsbygget. For eksempel gir større internlaste større utslag i 'levert



energi' til MFS enn til sammenligningsbygget, fordi økt varmelast i oppvarmings-sesongen medfører mindre behov for energi til oppvarming, og dette reduserte behovet merkes best på oppvarmingssystemet med lavest virkningsgrad (fjernvarme). Ved økte luftmengder og økt SFP-faktor blir virkningen motsatt, da økt oppvarmingsbehov for tilluften gir lavest økning i behov for 'levert energi' til systemet med høyest virkningsgrad (varmepumpe).

En ser også at i de tilfellene hvor behovet for "el-spesifikk" energi økes, går indikatorer for energiytelse mer opp enn når det "ikke el-spesifikke" energibehovet går opp. Dette er tydelig i tilfellet hvor større internlaster (energi til utstyr og lys er el-spesifikt) hos sammenligningsbygget fører til økt behov for 'levert energi' på 12 kWh/m<sup>2</sup> per år og økt EP<sub>pe</sub> på 26,3 kWh/m<sup>2</sup> per år. Økte luftmengder og SFP-faktor (lite av dette er el-spesifikt da fjernvarme tar seg av oppvarming av luft) fører imidlertid til en høyere økning i behov for 'levert energi' (18 kWh/m<sup>2</sup> per år), mens EP<sub>pe</sub> kun øker med 29,6 kWh/m<sup>2</sup> per år.

Økte internlaster gir som en ser størst utslag på energiytelsen til begge byggene. MFS havner da på 190 kWh/m<sup>2</sup> per år med primærenergi som veieparameter, og 15,2 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> per år med CO<sub>2</sub>-utslipp som veieparameter, mens sammenligningsbygget havner henholdsvis på verdiene 217,3 kWh/m<sup>2</sup> per år og 16,8 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> per år. MFS vil da akkurat holde seg innenfor energiklasse B, mens sammenligningsbygget vil gå ned til energiklasse C. Ved kombinasjon av ulike "verste tilfeller", vil energiytelsen til de to byggene kunne bli betydelig dårligere (det er heller ikke her bli riktig å summere effektene av de enkelte "verste tilfellene" på grunn av synergieffekter), men slike effekter er det ikke regnet på her (heller ikke ansett som veldig sannsynlig med de konservative anslagene i inndataene).

#### **Usikkerheter i veiefaktorer for elektrisitet**

Veiefaktorene benyttet i denne oppgaven baserer seg som sagt på tabellen med veiefaktorer i prEN 15603 [4]. Noen avveininger måtte imidlertid også foretas ved bestemmelse av veiefaktorene, og avveiningen med størst usikkerhet/diskusjon knyttet til seg, er hvordan en skal komme fram til en mest mulig riktig veiefaktor for elektrisitet i Norge.

Det er ingen tvil om at norsk forbrukt elektrisitet for tiden hovedsakelig dekkes av produksjon fra vannkraftverk. Ei heller betviles det at produksjon av elektrisitet fra vannkraftverk er miljøvennlig både med tanke på primærenergi og CO<sub>2</sub>-produksjon. Spørsmålet er om forbruk av elektrisk energi skal vektas mildere i Norge enn i Europa for øvrig, bare på grunn av at størstedelen (foreløpig) av forbrukt elektrisitet produseres

mer miljøvennlig her. Et tungt argument mot dette, er at ”snill” norsk elektrisitetsproduksjon fra vannkraftverk lett kan bli en sovepute for Norge, i den forstand at andel elektrisitetsforbruk i forhold til total energibruk antagelig vil øke, da en med elektrisitet som hovedenergikilde lett kan tilfredsstille forskriftskrav, når elektrisitet ses på som såpass miljøvennlig. Dette blir et paradoks når tilgangen på elektrisitet fra vannkraftverk er begrenset, og alt forbruk utover det vannkraftverkene kan produsere stammer fra langt mindre miljøvennlig produksjon.

Hva som blir endelig veiefaktor for elektrisitet i Norge er ennå uvisst (per mai 2007), men som sagt er det i denne oppgaven anslått relativt ”snille” veiefaktorer, hvor elektrisitet kommer fra vannkraftproduksjon med 10 prosent nettoimport av kullkraft. Benyttes imidlertid veiefaktorene for ”standard europeisk elektrisitetsmiks” (Electricity Mix UCPTE i figur 5) på 3,31 for primærenergi og 0,617 kg CO<sub>2</sub>/kWh for CO<sub>2</sub>-produksjon, blir resulterende energiytelse for MFS og sammenligningsbygget som følger:

	<i>Miljøforskningssenteret</i>	<i>Sammenligningsbygget</i>
Samlet energiytelse	Vektet levert energi', EP <sub>pe</sub> 288 [kWh/m <sup>2</sup> per år]	300
	Vektet CO <sub>2</sub> -utslipp, EP <sub>CO2</sub> 53,2 [kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> per år]	45,3

*tabell 27 Resulterende energiytelse ved europeiske veiefaktorer for elektrisitet*

Tabellen med grensene for ulike energiklasser blir imidlertid også endret når veiefaktorene for elektrisitet blir endret. Nye verdier for R<sub>s</sub> og R<sub>r</sub> blir henholdsvis 756 og 353 kWh/m<sup>2</sup> per år for primærenergi og 141,4 og 65,9 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> per år for CO<sub>2</sub>-utslipp. Ny inndeling i energiklasser blir da som følger:

ENERGI-KLASSE	KLASSEINNDELING I FØLGE prEN 15217	KLASSEINNDELING PRIMÆRENERGI MFS OG SAMMENLIGNINGSBYGG	KLASSEINNDELING CO <sub>2</sub> -UTSLIPP MFS OG SAMMENLIGNINGSBYGG
Klasse A	EP < 0,5 R <sub>r</sub>	EP < 177 kWh/m <sup>2</sup> per år	EP < 33 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> per år
Klasse B	0,5 R <sub>r</sub> ≤ EP < R <sub>r</sub>	177 kWh/m <sup>2</sup> per år ≤ EP < 353 kWh/m <sup>2</sup> per år	33 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> per år ≤ EP < 65,9 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> per år

Klasse C	$R_r \leq EP < 0,5(R_r + R_s)$	353 kWh/m <sup>2</sup> per år $\leq EP < 555$ kWh/m <sup>2</sup> per år	65,9 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> per år $\leq EP <$ 103,7 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> per år
Klasse D	$0,5(R_r + R_s) \leq EP < R_s$	555 kWh/m <sup>2</sup> per år $\leq EP < 756$ kWh/m <sup>2</sup> per år	103,7 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> per år $\leq EP <$ 141,4 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> per år
Klasse E	$R_s \leq EP < 1,25 R_s$	756 kWh/m <sup>2</sup> per år $\leq EP < 945$ kWh/m <sup>2</sup> per år	141,4 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> per år $\leq EP <$ 176,8 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> per år
Klasse F	$1,25 R_s \leq EP < 1,5 R_s$	945 kWh/m <sup>2</sup> per år $\leq EP < 1134$ kWh/m <sup>2</sup> per år	176,8 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> per år $\leq EP <$ 212,1 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> per år
Klasse G	$1,5 R_s \leq EP$	1134 kWh/m <sup>2</sup> per år $\leq EP$	212,1 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> per år $\leq EP$

*tabell 28 Inndeling energiklasser ved europeiske veiefaktorer for elektrisitet*

En ser at begge byggene fremdeles holder seg i energiklasse B, men når faktor for elektrisitet blir skjerpet, blir energiytelsen til MFS mer forverret enn for sammenligningsbygget. Dette er naturlig da sammenligningsbygget er langt mindre avhengig av elektrisitet på grunn av at det der er fjernvarme som er eneste energibærer til varmforsyning.

Dersom veiefaktorene for elektrisitet blir like i Norge som ellers i Europa, ser en altså at, så lenge kriteriene for å havne i de ulike energiklassene baseres på energibruken i nye og eksisterende bygg i Norge, vil det uansett ikke bli noe vanskeligere å oppnå kravene i de ulike energiklasser. Tallverdien for energiytelse blir dårligere når elektrisitet vektet strengere, men kravene til energiklasser blir altså tilsvarende lavere så lenge den eksisterende og nye bygningsmassen baserer en stor del av energibruken på elektrisitet. Blir det imidlertid slik framover at flere og flere bygg baserer energibruken sin på energikilder som vektet mildere enn elektrisitet, vil  $R_r$  (og etter hvert  $R_s$ ) reduseres, og kravene til energiklasser heves.

#### **Usikkerhet i veiefaktorer for varmepumpe**

Lvert energi for varmepumpe ble i denne oppgaven regnet om til levert elektrisitet, og veiefaktor for elektrisitet ble brukt for det totale forbruket. Dette ble ansett som nødvendig da funnet veiefaktor for varmepumpe baserte seg på at pumpen hentet elektrisitet fra gjennomsnittlig europeisk kraftproduksjon, og denne er langt mindre miljøvennlig enn den norske.

For varmepumpen ble det antatt en årsvirkningsgrad på 4. Varmepumper i store anlegg til oppvarming av vann til fjernvarmenettet vil som oftest være effektive vann/vann varmepumper. En årsvirkningsgrad på 4 anses dermed som en tilstrekkelig konservativ antagelse.

### **Usikkerhet i veiefaktorer for spillvarme**

Det er i denne oppgaven antatt at spillvarmen som dras nytte av ikke påvirker prosessen som genererer varmen på en negativ måte. Energimengden som må til for å drive den egentlige prosessen økes altså ikke når spillvarmen hentes ut. Eneste primærenergi som må til for å dra nytte av spillvarmen blir da pumpeenergi til å sirkulere vannet som skal varmes opp. Denne pumpeenergien antas å bidra til tilnærmet null CO<sub>2</sub>-utslipp.

Dersom veiefaktorer for spillvarme ble satt høyere, ville dette kun bidra til en litt høyere total veiefaktor for gjennomsnittlig norsk fjernvarme, som igjen ville bidratt til til en litt høyere R<sub>s</sub>. R<sub>s</sub> påvirker kun kravene i energiklasse C og nedover, så en endring i denne ville ikke påvirket resulterende energiklasser til MFS og sammenligningsbygget.

### **Usikkerheter i R<sub>s</sub> og R<sub>r</sub>**

Som referanseverdi for eksisterende kontorbygg, R<sub>s</sub>, ble det i denne oppgaven brukt aritmetisk gjennomsnitt av 'levert energi' til kontorbygg i 2005. Egentlig er det medianen av energibruken til eksisterende kontorbygg som skal brukes, men statistikk for median av energibruk i norske kontorbygg ble ikke funnet. Forskjellen mellom median og det aritmetiske gjennomsnitt, bestemmes av om det er flest bygg med energibruk under eller over det aritmetiske gjennomsnittet. Dersom det for eksempel er mange flere bygg med energibruk lavere enn det aritmetiske snittet, vil medianen bli lavere enn det aritmetiske snittet. R<sub>s</sub> vil da bli lavere, og kravene for å havne fra energiklasse C og nedover blir strengere. Byggene i denne oppgaven havnet imidlertid begge i energiklasse B, så denne problematikken er ikke så aktuell her.

Referanseverdien for nye kontorbygg, R<sub>r</sub>, vil derimot også være av betydning for de to øverste klassene. I og med at det ikke enda finnes tabulerte verdier for denne referanseverdien, ble målet til MFS på 120 kWh/m<sup>2</sup> per år 'levert energi' benyttet som R<sub>r</sub> i denne oppgaven. At den fremtidig tabulerte norske referanseverdien vil bli lavere enn denne verdien er det vanskelig å forestille seg, så dette bør være en tilstrekkelig konservativ antagelse.

## **6.4 Oppdaterte erfaringsverdier per juni 2007**

I forutsetningene til energi- og effektsimuleringene i denne oppgaven ble det nevnt at en del av inndataene til beregningene, grunnet få erfaringsverdier såpass tidlig i byggets livsfase, er basert på anslag. I løpet av månedene det tok å skrive oppgaven, ble det imidlertid noe større klarhet rundt noen av disse erfaringsverdiene.

For det første har pumpekretsene i geobrønnene blitt testet med suksess. Grunnvannet

ble i midten av mai 2007 målt til 9 °C, noe som stemte bra med hva som ble antatt i analysene som ble gjort på forhånd (gjennomsnittstemperatur på 8 til 10 °C gjennom året). Hvorvidt temperaturen på grunnvannet påvirkes av uthenting av varme og kulde i henholdsvis oppvarmings- og kjølesesongen, er imidlertid det viktigste spørsmålet med tanke på hvor gunstig systemet med utnyttning av geoenergi er. Slike data vil ikke være tilgjengelige før bygget har brukt systemet med utnyttning av geoenergi en hel sesong.

Den endelig installerte varmeveksleren mot grunnvann, som skal betjene den naturlige kjølingen, har en kapasitet på 1400 kW, ikke 1250 kW som beskrevet tidligere i oppgaven. Maksimal kapasitet på den naturlige kjølingen ble altså større enn forutsatt i denne oppgaven, og grunnen til dette var at maksimal mengde gjennomstrømmet vann ble noe større (64 l/s mot 60 l/s som tidligere antatt). Hvorvidt den maksimale kjølekapasiteten holder seg på 1400 kW forutsetter at temperatur på grunnvann holdes kjølig gjennom hele kjølesesongen. Om dette er tilfellet får en greie på etter at anlegget er kjørt en hel kjølesesong (høsten 2007). Å sette maksimal kjølekapasitet for den naturlige kjølingen litt lavere enn den teoretisk maksimale kapasiteten anses som passe konservativt grunnet de usikre grunnvannstemperaturene.

## 7 Viktige resultater og konklusjoner

I følge beregninger i denne oppgaven, kommer MFS meget godt ut når det gjelder behov for årlig teoretisk 'levert energi'. 90 kWh/m<sup>2</sup> per år er 25 prosent under egen målsetning på 120 kWh/m<sup>2</sup> per år. Fordelingen i energibehovet mellom elektrisitet, fjernvarme og olje ble henholdsvis 94,4 prosent, 4,3 prosent og 1,3 prosent, så el-avhengigheten til MFS er relativt stor. Bygget har imidlertid muligheten til å dreie forbruket mer mot fjernvarme og olje, så avhengigheten blir med dette mindre alvorlig. Hovedsakelig tilskrives det lave energibehovet de energivennlige systemløsningene i bygget. De mest energisparende systemløsningene er varmepumpen med årsvirkningsgrad på 4,62, sensorstyring av lys og ventilasjon og automatisk solavskjerming. Naturlig kjøling ser imidlertid ikke ut til å være energibesparende, sammenlignet med en effektiv kjølemaskin, men en ekstra kjølemaskin ville imidlertid blitt en stor merinvestering for MFS.

Internlastene i de opprinnelige beregningene kan imidlertid se ut til å være litt lave, når datasentraler i hver etasje kontinuerlig avgir forholdsvis mye varme. Med relativt konservative økninger i internlastene, steg behov for 'levert energi' med 19 kWh/m<sup>2</sup> per år. Et sannsynlig intervall for årlig teoretisk behov for 'levert energi' til MFS settes dermed til  $100 \pm 10$  kWh/m<sup>2</sup>.

Teoretisk 'netto energibehov' (med låste bruksavhengige data, og driftstid inkludert ferier og helligdager) for MFS ble utregnet til 140 kWh/m<sup>2</sup> per år. Dette er 15 prosent lavere enn TEK sitt rammekrav for kontorbygg på 165 kWh/m<sup>2</sup> per år. I og med at bruksavhengige data er låste samt at systemvirkningsgrader ble satt til 1, kan ikke det lave energibehovet tilskrives varmepumpe eller reduserte internlaste. Reduksjonen i forhold til kravet i TEK skyldes derfor tung bygningskonstruksjon med små varmetap, VAV-ventilasjon (selv om driftstider er forlenget) og automatisk solavskjerming. Grunnet noen usikkerheter i beregningene, settes et sannsynlig intervall for MFS sitt 'netto energibehov' til  $145 \pm 10$  kWh/m<sup>2</sup> per år.

For eksisterende bygningsmasse er eneste tilgjengelige data om energibruk basert på praktiske målinger. 'Levert energi' ble målt til 277 kWh/m<sup>2</sup> per år. 'Netto energibehov' er ut fra målingen regnet ut til 296 kWh/m<sup>2</sup> per år (antatt en årsvirkningsgrad for kjølemaskiner på 2,5). 100 prosent av energibehovet til eksisterende bygningsmasse hentes fra elektrisitet, så energifleksibiliteten til gammel bygningsmasse er foreløpig ikke-eksisterende. Hovedsakelige årsaker til disse høye energibehovene er lave virkningsgrader på oppvarmingssystem (av både luft, rom og vann) samt ingen behovsstyring av

ventilasjon eller lys. I tillegg kommer det faktum at virkelig energibruk ofte er høyere enn den teoretisk utregnede. Energiytelsen og –fleksibiliteten til gammel bygningsmasse vil imidlertid forbedres når den planlagte rehabiliteringen har funnet sted.

De teoretiske maksimale effektene til oppvarming av rom i MFS ble noe høyere enn normtallene fra Enova, noe de store vindusflatene i glassgårdene må ta mesteparten av skylden for. Maksimale teoretiske effekter til belysning og teknisk utstyr ble derimot lavere for MFS enn i normtallene, noe som skyldes lavt innlagte ”installerte effekter” i EiB grunnet samtidighetsbetraktninger.

Gjennom nåverdiberegninger ble det slått fast at prisnivået på energi må være høyt i fremtiden, dersom det skal lønne seg økonomisk å velge et bygg med tekniske systemløsninger som MFS fremfor et bygg med mer konvensjonelle løsninger for varme- og kjøleforsyning. Fokuset på miljø er imidlertid sterkere enn på økonomi i MFS sitt tilfelle, og ut fra et miljømessig synspunkt vil MFS sitt system klart være å foretrekke.

Ved beregninger av indikatorer for energiytelse ble det funnet at MFS og sammenligningsbygget begge havnet i energiklasse B, både med primærenergi og CO<sub>2</sub>-utslipp som veieparametre. Sammenligningsbygget lå imidlertid henholdsvis 22 og 15 prosent høyere i primærenergibruk og CO<sub>2</sub>-utslipp. I behov for ’levert energi’ lå sammenligningsbygget 36 prosent høyere enn MFS, og grunnen til at gapet mellom byggene er lavere i indikatorer for energiytelse, er at fjernvarme vektet mildere enn elektrisitet for begge veieparameterne. Samlet sett ligger Forskningsparken helt nede i energiklasse D, grunnet den eksisterende bygningsmassen sitt store energibehov samt den store avhengigheten av elektrisitet i hele Forskningsparken.

Det store usikkerhetsmomentet i beregningene av indikatorer for energiytelse er valg av veiefaktor for elektrisitet. I utgangspunktet ble det i denne oppgaven valgt veiefaktor ut fra at 90 prosent av elektrisiteten ble produsert i vannkraftverk og 10 prosent importert fra land med produksjon i kullkraftverk. Dersom gjennomsnittlig europeisk veiefaktor for elektrisitet skal brukes, blir imidlertid indikatorene for energiytelse dårligere for både MFS og sammenligningsbygget, men MFS kommer verst ut, med sin store avhengighet av elektrisitet. Dersom samme kriterier for klassifisering av energiytelse blir brukt, vil imidlertid den forverrede energiytelsen ikke ha vesentlig betydning for hvilken energiklasse MFS havner i.

Oppsummert, kan en konkludere med at MFS sin teoretiske energiytelse er god, sammenlignet med referansene som er brukt i denne oppgaven. Årlige kostnader til ’levert energi’ blir langt lavere for MFS enn for mer konvensjonelle bygg, men de tekniske systemene er relativt dyre.

## 8 Videre arbeid

Som nevnt flere ganger i løpet av oppgaven, baserer noen av inndataene i beregningene seg på antagelser, fordi erfaringsverdier fra drift av bygget ennå ikke er tilgjengelige. Ved å utføre nye simuleringer når slike erfaringsverdier er på plass vil derfor føre til sikrere resultater for MFS enn de som er presentert her.

Når erfaringsverdiene er hentet inn (cirka våren 2008), vil muligens også beregningsprogrammer som er oppdatert i henhold til ny TEK og nye CEN-standarder ha kommet ut. Ved å benytte disse i reviderte beregninger av MFS sin energiytelse, vil relevansen i resultatene økes ytterligere.

Når bygninger blir pålagt å fremvise energisertifikater til klassifisering av energiytelse, vil det mest sannsynlig ha kommet ut spesialkonstruerte programmer til dette formålet [12]. Så vidt omfattende analyser som er utført i denne oppgaven vil da ikke være nødvendig for bygg flest. En stor fordel med mer omfattende analyser er imidlertid at en får bedre innsikt i byggets egenskaper, noe som kan være gunstig i ulike sammenhenger.

Det ville også være interessant å gjøre tilsvarende simuleringer som er utført i denne oppgaven på kontorbygg med andre systemløsninger enn MFS og sammenligningsbygget. Ulike kombinasjoner av oppvarmings- og kjølesystem kan dermed sammenlignes, og en kan ut fra nåverdiberegninger vurdere hvilke systemløsninger som er mest økonomisk lønnsomme ved ulike forutsetninger. Å trekke inn løsninger med hybrid ventilasjon kan også være interessant. Å få samlet slik informasjon og satt den opp på en oversiktlig måte, vil antagelig vært til god hjelp for byggherrer når systemløsninger skal velges.



## REFERANSELISTE

- [1] Wigenstad, T., Dokka, T.H., Pettersen, T.D., Myhre, L., Energimerking av næringsbygg (Sintef rapport nr. STF50 F05117, 2005)
- [2] Kommunal- og regionaldepartementet, 2007. Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk (TEK) [online]. Tilgjengelig fra: <http://www.lovdata.no/cgi-wift/ldles?doc=/sf/sf/sf-19970122-0033.html> (Aksessert 22.5.2007)
- [3] CEN, PrEN 15217 Energy performance of buildings – Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings (uferdig preliminær CEN-standard, ref.no prEN 15217:2007:E, ICS 91.140.10, 2007)
- [4] CEN, PrEN 15603 Energy performance of buildings – overall energy use, CO2 emissions and definition of energy ratings (preliminær CEN-standard nr. CEN/BT TF173 N80, 2006)
- [5] Utenriksdepartementets oversettelsestjenester, UD's offisielle oversettelse av direktivet 302L00911.doc. Oslo, 2002
- [6] Kommunal- og regionaldepartementet, 2006. Høringsforslag juni 2006 Endringer i Tekniske forskrifter til plan- og bygningsloven [online]. Tilgjengelig fra: [http://odin.dep.no/filarkiv/283635/horingsnotat\\_TEK.pdf](http://odin.dep.no/filarkiv/283635/horingsnotat_TEK.pdf) (Aksessert 31.1.2007)
- [7] Kommunal- og regionaldepartementet, 2007. ORIENTERING OM ENDRINGER I FORSKRIFTER TIL PLAN- OG BYGNINGSLOVEN FASTSATT 26.1.2007 [online]. Tilgjengelig fra: <http://odin.dep.no/filarkiv/305660/brev.pdf> (Aksessert 1.2.2007)
- [8] Kommunal- og regionaldepartementet, 2007. Endringer i forskrifter til plan- og bygningsloven [online]. Tilgjengelig fra: <http://odin.dep.no/krd/norsk/tema-/bolig/presse/pressemeldinger/016031-210020/dok-bn.html> (Aksessert 5.2.2007)
- [9] Kommunal- og regionaldepartementet, 2007. FORSKRIFT OM ENDRINGER I FORSKRIFT 22.1.1997 NR. 33 TIL PLAN- OG BYGNINGSLOVEN OM KRAV TIL BYGGVERK OG PRODUKTER TIL BYGGVERK (TEK) [online]. Tilgjengelig fra: <http://www.regjeringen.no/upload/kilde/krd/prm/2007/0012/ddd/pdfv/305482-tek.pdf.pdf> (Aksessert 1.2.2007)
- [10] Standard Norge, prNS 3031 Beregning av bygningers energiytelse – Metode og data, 5. utgave, 2007 (ICS 91.120.10)
- [11] Statens bygningstekniske etat (BE), 2007. NYE ENERGIKRAV Forslag til korresponderende tekst i REN veiledning Foreløpig tekst [online]. Tilgjengelig fra: <http://www.be.no/beweb/regler/ren06/%A48-2ren.pdf> (Aksessert 5.2.2007)
- [12] Lexow, T. E., Forprosjekt – Kartlegging av metodikk og data for energiberegninger etter Norsk Standard. Standard Norge, 2006
- [13] Ulseth, R. ([rolf.ulseth@ntnu.no](mailto:rolf.ulseth@ntnu.no)), 31.januar 2007. SV: spørsmål. E-post til H. Halla ([haakon.halla@ramboll.no](mailto:haakon.halla@ramboll.no))
- [14] Ulseth, R. ([rolf.ulseth@ntnu.no](mailto:rolf.ulseth@ntnu.no)), 8.mai 2007. SV: Indikatorer for energiytelse. E-post til H.Halla ([haakon.halla@ramboll.no](mailto:haakon.halla@ramboll.no))
- [15] Torp, S., 2002. Om Forskningsparken [online]. Tilgjengelig fra: <http://www.forskningsparken.no/Om-Forskningsparken/> [Aksessert 24.01.2007]
- [16] Naustdalslid, J., 2006. Nybygg med spennende miljøløsninger [online]. Tilgjengelig fra: <http://www.ciens.no/5072/> [Aksessert 24.01.2007]

- [17] Gisle, P., ENØK-RAPPORT FOR Gaustadaløen 21 Forskningsparken. (intern rapport Rambøll AS, saksnr. Y36720, Oslo, 2006)
- [18] Samtale med Olav Rådstoga, Rambøll Norge AS, Oslo, 7. mai 2007
- [19] Samtale med Morten Walmsness, Rambøll Norge AS, Oslo, 27. februar 2007
- [20] Rambøll, Miljøforskningssenteret – kontorbygg for Forskningsparken AS – totalentreprise (intern rapport Rambøll AS, oppdragsnummer 130359B, Oslo, 2004)
- [21] Rambøll, Miljøforskningssenteret Energiberegninger – EiB (internt notat Rambøll AS, oppdragsnummer 1030359, Oslo, 2005)
- [22] Erlandsen, J, Brandsegg, G., Forskningsparken energisentral - Systemskjema varme/kulde (anbudstegning Rambøll AS, Trondheim 2006)
- [23] Thoresen, G., Walmsness, M., Håøya, A, Olsen, S., Jakobsen, M., Unsgård, G., Miljøplan Byggetrinn III Forskningsparken Gaustadaleen 21, Oslo. (intern rapport Rambøll AS, oppdragsnummer 130359B, Oslo, 2005)
- [24] Programbyggerne, Brukerveiledning Energi i Bygninger 3.5 (1994)
- [25] Standard Norge, NS 3032 Bygningers energi og effektbudsjett, 1. utgave april 1984 (ICS 91.010.99)
- [26] Sandberg, E., Milde vintre og bygningers varmebehov. Norsk VVS 1-2007
- [27] Walmsness, M., Energibudsjett Miljøforskningssenteret (internt notat Rambøll AS, Oslo, 2006)
- [28] Standard Norge, NS 3940 Areal- og volumberegning av bygninger, 2. utgave juni 1986 (ICS 91.010.30)
- [29] Samtale med Morten Walmsness, Rambøll Norge AS, Oslo, 8. mars 2007
- [30] Standard Norge, NS 3031 Varmeisolering Beregning av bygningers energi- og effektbehov til oppvarming og ventilasjon, 4. utgave april 1987 (ICS 91.120.10)
- [31] Rambøll AS, Miljøforskningssenteret varmeskjema (intern MagiCad-tegning, Rambøll AS, Oslo, 2006)
- [32] Rambøll AS, Preliminary technical data 400-3-50 (internt notat Rambøll AS, Oslo, 2005)
- [33] Torp, K. ([Ketil.Torp@novemakulde.no](mailto:Ketil.Torp@novemakulde.no)) RE: årsvarmefaktor VP MFS. E-post til H. Halla ([halla@stud.ntnu.no](mailto:halla@stud.ntnu.no))
- [34] Rambøll AS, Miljøforskningssenteret kjøleskjema (intern MagiCad-tegning Rambøll AS, Oslo, 2006)
- [35] Samtale med Morten Walmsness, Rambøll Norge AS, Oslo, 27. mars 2007
- [36] Wilo, 2007. Pump search [online]. Tilgjengelig fra <http://www.wilo.no/w3a/> [Aksessert 8.3.2007]
- [37] Grundfos, 2007. Grundfos pumper Norge [online]. Tilgjengelig fra <http://www.grundfos.no/web/homeno.nsf> [Aksessert 8.3.2007]
- [38] Samtale med Morten Walmsness, Rambøll Norge AS, Oslo, 7. mars 2007
- [39] Rambøll Oslo, Pumpeoversikt (internt notat, Rambøll AS, Oslo, 2007)
- [40] Vekst teknologi AS, Innreguleringsprotokoll Forskningsparken (internt notat Rambøll AS, Oslo, 2007)
- [41] Samtale med Morten Walmsness, Rambøll Norge AS, Oslo, 23. april 2007

- [42] Statens byggt tekniske etat, Nye energikrav Forslag til korresponderende tekst i REN veiledning [online] Tilgjengelig fra: <http://www.be.no/beweb/regler/ren06/-RENenergi30107.pdf> [Aksessert 4. april 2007]
- [43] Samtale med Morten Walmsness, Rambøll Norge AS, Oslo, 23. april 2007
- [44] Enova SF, 2004. Manual for Enøk normtall [online]. Tilgjengelig fra: <http://www.enova.no/dialog.aspx?action=file&fileid=258> [Aksessert 24.4.2007]
- [45] Statoil, 2007. Fyringsolje og parafin [online]. Tilgjengelig fra: <http://www.statoilnorge.no/Mar/svg02508.nsf/WebCompanyFuel?Readform> [Aksessert 30.03.2007]
- [46] Bergh, P.M., 2007. Priser på elektrisk kraft, 1. kvartal 2007 [online]. Tilgjengelig fra: <http://www.ssb.no/emner/10/08/10/elkraftpris/> [Aksessert 30.03.2007]
- [47] Viken Fjernvarme, 2007. Næringsbygg (tariff V2) [online]. Tilgjengelig fra: <http://www.vikenfjernvarme.no/> [Aksessert 30.03.2007]
- [48] Areklett, S. og Gjersvoll, R., 2006. Produksjon, import, eksport og forbruk av elektrisk kraft. 1950, 1955 og 1960-2004. GWh [online]. Tilgjengelig fra: <http://www.ssb.no/emner/10/08/10/elektrisitetaar/tab-2006-07-27-12.html> [Aksessert 7.mai 2007]
- [49] Ruud, A. ([Anette.Ruud@vikenfjernvarme.no](mailto:Anette.Ruud@vikenfjernvarme.no)), 8.mai 2007. Viken fjernvarme. E-post til H. Halla ([haakon.halla@ramboll.no](mailto:haakon.halla@ramboll.no))
- [50] Constantinescu, N. ecoheatcool A Euroheat Power initiative [online]. Tilgjengelig fra: <http://www.euroheat.org/ecoheatcool/index.htm> [Aksessert 8. mai 2007]
- [51] Wallisch, A., Stralen, C.V., Hellmers, C., Piel, E., Ernst, H., Spadoni, L., Blechingberg, M., Wirgentius, N. Ecoheatcool workpackage 3 [online]. Tilgjengelig fra: <http://www.euroheat.org/ecoheatcool/documents/Ecoheatcool%20WP3%20Web.pdf> [Aksessert 8. mai 2007]
- [52] Ulseth, R. ([rolf.ulseth@ntnu.no](mailto:rolf.ulseth@ntnu.no)), 8. mai 2007. SV: indikatorer for energiytelse. E-post til H.Halla ([haakon.halla@ramboll.no](mailto:haakon.halla@ramboll.no))
- [53] Enova, 2006. Bygningsnettverkets energistatistikk 2005 [online]. Tilgjengelig fra: <http://www.enova.no/publikasjonsoversikt/publicationdetails.aspx?publicationID=196> [Aksessert 6.5.2007]
- [54] Norsk Fjernvarme, 2007. Energikilder til fjernvarmen 2005 [online]. Tilgjengelig fra: <http://www.fjernvarme.no/statistikk/2007/jpg/Slide03.jpg> [Aksessert 7.mai 2007]
- [55] Hareide, B., Dybing, E., Anbefalte faglige normer for inn klima. Oslo, 1996
- [56] Walmsness, M. ([morten.walmsness@ramboll.no](mailto:morten.walmsness@ramboll.no)), 2.mai 2007. SV: spørsmål. E-post til H. Halla ([haakon.halla@ramboll.no](mailto:haakon.halla@ramboll.no))
- [57] Hansen, P. ([pal@sasprosjekt.no](mailto:pal@sasprosjekt.no)). 17. april 2007. FORSKNINGSPARKEN – LUFTMENGDER. E-post til H. Halla ([haakon.halla@ramboll.no](mailto:haakon.halla@ramboll.no))
- [58] Samtale med Ivar G. Bø, ÅF Consult, Oslo, 17. april 2007