

BJØRN JENSSEN WACHENFELDT OG RASMUS HØSEGEN

Urban Energy – analyse av energibehov og vurdering av energimålsetning

Prosjektrapport 9

2008



SINTEF Byggforsk

Urban Energy- analyse av energibehov og vurdering av energimålsetning

Prosjektrapport 9 – 2008

Prosjektrapport 9

Bjørn Jenssen Wachenfeldt og Rasmus Høseggen

Urban Energy – analyse av energibehov og vurdering av energimålsetning

Emneord:

Energi, bygning, simulering

ISSN 0801-6461

ISBN 978-82-536-1002-3

Prosjekt 3B009600

40 eks. trykt av AIT AS e-dit

Innmat: 100 g scandia

Omslag: 240 g trucard

© Copyright SINTEF Byggforsk 2008

Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverklovens bestemmelser. Uten særskilt avtale med SINTEF Byggforsk er enhver eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring bare tillatt i den utstrekning det er hjemlet i lov eller tillatt gjennom avtale med Kopinor, interesseorgan for rettighetshavere til åndsverk. Utnyttelse i strid med lov eller avtale kan medføre erstatningsansvar og inndragning, og kan straffes med bøter eller fengsel.

Adr.: Forskningsveien 3 B
Postboks 124 Blindern
0314 OSLO

Tlf.: 22 96 55 55

Faks: 22 69 94 38 og 22 96 55 08

www.sintef.no/byggforsk

Illustrasjon på forsiden: Bæk, Simonsen & Aaris Arkitekter

Sammendrag

Basert på beregningsmetodikken etablert i NS3031:2007 [1] er det laget en detaljert beregningsmodell av Urban Energy i ESP-r [2]. Modellen er benyttet til å vurdere termisk komfort i bygget med de foreslåtte løsninger, samt beregne netto spesifikt energibehov for bygget.

Resultatene viser at det vil være vanskelig å oppnå akseptabel termisk komfort i bygget uten lokal kjøling. I beregning av netto spesifikt energibehov er det derfor antatt lokal kjøling i alle soner. Med utgangspunkt i eksisterende planer er spesifikt netto energibehov for kontordelen beregnet til 233 kWh/m²·år, som er 68 kWh/m²·år høyere enn rammekravet på 165 kWh/m²·år fremsatt i TEK 07. For forretningsdelen av bygget er spesifikt netto energibehov beregnet til 437 kWh/m²·år, som er 197 kWh/m²·år høyere enn rammekravet på 240 kWh/m²·år i TEK 07.

Med dette som utgangspunkt er det gjennomført beregninger med følgende tiltak: Effektbruk til belysning redusert med 20 % (forutsetter styringssystem for utnyttelse av dagslys eller basert på tilstedeværelse), luftmengdene redusert ned til minste tillatte luftmengde (forutsetter at luftmengdene er dimensjonert for luftkvalitet, og styres etter behov), økning av temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner fra 70 til 80 % og installasjon av mekanisk ventilasjon med 80 % temperaturvirkningsgrad på varmegjennvinning også for plan 1-9 (opprinnelig planlagt med hybrid ventilasjon uten varmegjennvinning). Netto energibehov for henholdsvis kontordelen og forretningsdelen etter tiltak er beregnet til 174 og 374 kWh/m²·år. Dette betyr at en, selv etter disse tiltakene, ikke vil nå rammekravene i TEK 07.

Dette gjør det nødvendig med mer omfattende tiltak, som reduksjon av andel glass i den indre klimaskjerm, løsninger som gir god dagslysutnyttelse og samtidig effektiv sol/varmestrålingsavskjerming, riktig plassering av energieffektiv lysarmatur og et godt planlagt styringssystem for belysning, bruk av energieffektivt utstyr, endring av tilluftsløsningen for hybrid ventilasjon slik at forvarming av tilluften (via dobbeltfasaden) reduseres til et minimum og optimalisering av strategier for utnyttelsen av den termiske massen i bygget.

På bakgrunn av resultatene foreslås energimålsetningen justert til et netto spesifikt energibehov for kontordelen på 120 kWh/m²·år. Det forutsettes at det gis anledning til å regne med tiltak som reduserer energibruken til utstyr, men at energibehovet forøvrig beregnes i henhold til reglene i NS3031. Dette innebærer at det må gjøres en detaljert analyse av energibruken til utstyret som installeres i lokalene, med utgangspunkt i normerte verdier for persontetthet og driftstider fra NS3031. Med utgangspunkt i samme forutsetninger, foreslår vi at energimålsetningen for forretningsdelen justeres til et netto spesifikt energibehov på 240 kWh/m²·år, som samsvarer med energirammen i TEK 07.

Innhold

1	Bakgrunn	5
2	Konklusjoner	6
2.1	Termisk komfort	6
2.2	Spesifikt netto energibehov beregnet før og etter tiltak på ventilasjon og belysning	7
2.3	Tiltak som bør vurderes i den videre planleggingen	7
2.4	Forslag til ny energimålsetning	8
3	Krav i TEK 07	9
4	Beregningsforutsetninger	10
4.1	Metode	10
4.2	Standardiserte inndata	11
4.3	Basismodell	12
4.3.1	Byggetekniske data	12
4.3.2	Ventilasjonstekniske data	12
4.3.3	Kjøling	13
4.3.4	Øvrige spesifikasjoner	13
4.4	Tiltaksmodell 1	13
4.5	Tiltaksmodell 2	13
4.6	Termisk komfort	14
5	Resultater	15
5.1	Termisk komfort	15
5.2	Beregnet netto energibehov for Basismodellen	16
5.3	Beregnet netto energibehov for Tiltaksmodell 1	16
5.4	Beregnet netto energibehov for Tiltaksmodell 2	17
6	Referanser	18

1 Bakgrunn

I 2006 inviterte Norske Arkitekters Landsforbund (NAL) i samarbeid med Oslo S Utvikling (OSU) og Enova SF til en åpen internasjonal prosjektkonkurranse om å designe Europas mest energieffektive næringsbygg i Bjørvika i Oslo. Energimålet fremsatt i konkurranseprogrammet var at totalt netto energibehov skulle være under 80 kWh/m². Det totale energibehovet skulle dokumenteres gjennom beregning av et energibudsjett. Dette budsjettet skulle så vurderes på bakgrunn av egne beregninger gjennomført av juryens rådgivere.

Urban Energy var ett av to prosjekter som ble kåret til vinnere av konkurransen. I etterkant har det imidlertid vist seg å være store avvik mellom energibehovet beregnet av prosjekteringsgruppen for Urban Energy, og energibehovet beregnet av forskjellige rådgivere for juryen.

En del av årsaken til de store avvikene skyldes forskjeller i beregningsforutsetningene, samt at det er benyttet ulike metoder og verktøy i beregningene. I oktober 2007 kom det ut en ny standard for beregning av bygningers energiytelse, NS3031:2007 [1]. For å oppklare de overnevnte uoverensstemmelser, og komme frem til en fornuftig energimålsetning for prosjektet, ønsker OSU at det gjennomføres en ny beregning av energibehovet til Urban Energy i henhold til denne standarden. Det er også ønskelig å få belyst mulig forbedringspotensial med hensyn til energieffektivitet og innemiljø.

2 Konklusjoner

Det er ved hjelp av ESP-r [2] gjennomført energisimuleringer for Urban Energy. Simuleringene er basert på beregningsmetodikken etablert i NS3031:2007. Denne beregningsmetodikken avviker vesentlig fra den metodikk som prosjekteringsgruppen baserte sine beregninger på.

Beregningsresultatene presentert i denne rapporten er derfor ikke direkte sammenlignbare med prosjekteringsgruppens beregningsresultater.

2.1 Termisk komfort

Resultatene viser at det vil være vanskelig å oppnå akseptabel termisk komfort i bygget uten lokal kjøling.

Det er beregnet at hybrid ventilasjon med tilluft via dobbeltfasaden og 10 ganger så stor tilluftsmengde som veiledende verdi fra NS3031 vil gi 186 timer med overtemperatur (operativ temperatur høyere enn 26 °C) for plan 8-10. Beregningen tar imidlertid ikke hensyn til at temperaturen til uteluften som strømmer inn i dobbeltfasaden blir påvirket av solvarme reflektert fra fasadene og utlufting av underliggende dobbeltfasader. I praksis forventes derfor antall timer overtemperatur bli høyere enn beregningene tilsier.

For sammenligning er det gjennomført en beregning der en istedenfor hybrid ventilasjon benytter mekanisk ventilasjon med kjøling av tilluften ned til 16 °C. Dersom ventilasjonssystemet er dimensjonert for minste tillatte luftmengde jfr. tabell A.6 i NS3031 vil dette ifølge beregningene gi 628 timer med overtemperatur for plan 8-10.

Mekanisk ventilasjon med kjøling av tilluften ned til 16 °C vil tilsvarende resultere i henholdsvis 696 og 943 timer overtemperatur for plan 11-14 avhengig dersom en ventilerer med normert eller minste tillatte luftmengde.

Resultatene tilsier at det må omfattende tiltak til dersom lokal kjøling skal unngås.

Prosjekteringsgruppen har selv foreslått å redusere andelen glass i det indre klimaskall, installasjon av sol/ varmestralings-avskjerming mot atrium og endring av tilluftsløsningen for hybrid ventilasjon slik at forvarming av tilluften (via dobbeltfasaden) reduseres til et minimum. Andre tiltak som kan vurderes er optimalisere utnyttelsen av den termiske massen i bygget vha nattkjøling, oppdimensjonere luftmengdene for det mekaniske ventilasjonssystemet og planlegge lufttilførsel i rommet på en slik måte at en kan kjøle tilluften lavere enn 16 °C.

Beregningene viser at de øverste etasjene er mest utsatt for problemer med overoppheting. Dette skyldes hovedsakelig at temperaturen i atriumet stiger med høyden på varme, solrike dager. Ofte vil det være slik at en har kjølebehov i de øverste etasjene, mens en har oppvarmingsbehov i de nederste etasjene. Kjølebehøvet i de forskjellige soner vil forøvrig variere med solbelastning og internlaster, og det vil derfor være en utfordring å få til et velfungerende styringssystem som er i stand til å forsyne hver sone med riktig luftmengde og tilluftstemperatur etter behov.

Hvordan utlufting av atriene skal styres må også planlegges nøye. Det samme gjelder strategier for nattkjøling av kontorlokalene i de forskjellige etasjer. Valg av løsninger og styringsstrategier vil også påvirke andre poster i energibudsjettet enn kjølebehøvet. Oppdimensjonering av de mekaniske ventilasjonsluftmengdene vil eksempelvis medføre økt energibruk til viftedrift. Planlegging av alternative løsninger krever derfor mer detaljerte analyser og vurderinger enn det som er mulig innenfor rammen av dette oppdraget. I beregningene av årlig netto energibehov er det, som følge av dette, antatt lokal kjøling i alle soner.

2.2 Spesifikt netto energibehov beregnet før og etter tiltak på ventilasjon og belysning

Med utgangspunkt i eksisterende planer er spesifikt netto energibehov for *kontordelen* beregnet til 233 kWh/m²år, som er 68 kWh/m²år høyere enn rammekravet på 165 kWh/m²år fremsatt i revisjon av forskrift om krav til byggverk og produkter, TEK97 - Rev. 07ⁱ (TEK 07). For *forretningsdelen* av bygget er spesifikt netto energibehov beregnet til 437 kWh/m²år, som er 197 kWh/m²år høyere enn rammekravet på 240 kWh/m²år i TEK 07. Fullstendig energibudsjett for beregningen er gitt i Tabell 7, se side 16. Beregningene er gjennomført med utgangspunkt i veiledende verdier fra NS3031.

Beregningsresultatene viser at naturlig/hybrid ventilasjon medfører svært høyt romoppvarmingsbehov. Dette skyldes at en ikke har varmegjenvinning av ventilasjonsluften for den hybride delen av anlegget. Videre sier NS3031 at dersom det benyttes styringssystem for utnyttelse av dagslys eller lysstyringssystem basert på tilstedeværelse kan effektbehovet til belysning reduseres med 20 %, dvs. til 6,4W/m² for kontorbygg og 12 W/m² for forretningsbygg.

Med dette som utgangspunkt er det gjennomført beregninger med følgende tiltak:

1. Effektbruk til belysning redusert med 20 % kombinert med reduksjon av luftmengdene ned til minste tillatte luftmengde (forutsetter at luftmengdene er dimensjonert for luftkvalitet, og styres etter behov) og økning av temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner fra 70 til 80 %.
2. I tillegg til tiltak 1 installeres mekanisk ventilasjon med 80 % temperaturvirkningsgrad på varmegjenvinning, også for plan 1-9.

Med tiltak 1 er netto energibehov for *kontordelen* er beregnet til 199 kWh/m²år, mens den for *forretningsdelen* er beregnet til 382 kWh/m²år. Energibudsjett er gitt i Tabell 8 side 16.

Med tiltak 2 er netto energibehov for henholdsvis *kontordelen* og *forretningsdelen* beregnet til 174 og 374 kWh/m²år, se Tabell 9 side 17.

Resultatene viser at en med de tiltak som er analysert her ikke vil nå rammekravene i TEK 07.

2.3 Tiltak som bør vurderes i den videre planleggingen

For *kontordelen* av bygget er en imidlertid bare 9 kWh/m²år unna rammekravet etter tiltak. For å nå rammekravet vil det sannsynligvis være tilstrekkelig å redusere andelen glass i det indre klimaskall med 20 % slik det er foreslått av prosjekteringsgruppen. Dette vil bidra til å redusere både oppvarmings- og kjølebehov. Virkningen av redusert glassareal vil imidlertid variere for de forskjellige fasader. Tiltaket bør derfor planlegges i tett samarbeid med arkitekt og energikonsulent.

For *forretningsdelen* av bygget er en selv etter tiltakene vurdert her fortsatt 134 kWh over rammekravet på 240 kWh/m² år. Mye glass i fasadene medfører stort varmetap vinterstid og store soltilskudd på sommeren. Etasjehøyden er hele 8 meter, noe som innebærer store ytterflater med varmetap per m² bruksareal. Varmetap mot grunnen bidrar ytterligere til økt oppvarmingsbehov, og det samme gjør varmetapet ut mot atriet ettersom det vinterstid er relativt kaldt nederst i atriet. Dette bidrar til at oppvarmingsbehovet blir svært høyt vinterstid, samtidig som soleksponeringen sammen med høye internlaster bidrar til høyt kjølebehov sommerstid. Om forretningsdelen av bygget skal tilfredsstille TEK 07 kreves derfor langt mer omfattende tiltak enn for kontordelen. Reduksjon av etasjehøyde bør også vurderes.

ⁱ Den reviderte TEK97 gjelder frem til 1.8.2009 side om side med gamle TEK97 (se: <http://www.lovddata.no/for/sf/kr/tr-19970122-0033-015.html> og TEK97: <http://www.lovddata.no/for/sf/kr/tr-19970122-0033-033.html>). Fra 1.8.2009 er det kun den reviderte TEK97 (TEK07) som er gyldig.

Den høye andelen glass i fasadene gjør uansett at det er større potensial for å redusere energibruken til belysning, både for *kontordelen* og *forretningsdelen* av bygget. Fasadesystemer og utforming av lokaler som bidrar til god dagslysutnyttelse i kombinasjon med riktig plassering av energieffektiv lysarmatur og et godt planlagt styringssystem for belysning vil bidra til betydelige reduksjoner. Reduksjonene kan dokumenteres i henhold til NS-EN 15193.

Det bør også arbeides med tiltak for å redusere energibruken til utstyr. Forutsatt at en ved hjelp av overnevnte tiltak kommer innenfor rammekravene i TEK 07, bør en etter vår vurdering kunne ta hensyn til denne gevinsten i beregningene selv om beregningsmetodikken i NS3031 ikke gir anledning til å påvirke denne posten på energibudsjettet.

Redusert energibruk til belysning og utstyr vil også redusere internlastene. Dette bidrar til å redusere kjølebehovet og øke oppvarmingsbehovet i bygget. Ettersom bygget har lavt oppvarmingsbehov og høyt kjølebehov i driftstiden vil reduksjonen i kjølebehov bli større en økningen i oppvarmingsbehov slik at tiltakene totalt sett også bidrar til redusert behov for termisk energi (varme/kjøling).

2.4 Forslag til ny energimålsetning

Dersom en velger å gå videre med Urban Energy, foreslår vi at energimålsetningen justeres til et netto spesifikt energibehov for kontordelen på 120 kWh/m²år. Det forutsettes at det gis anledning til å regne med tiltak som reduserer energibruken til utstyr, men at energibehovet forøvrig beregnes i henhold til reglene i NS3031. Dette innebærer at det må gjøres en detaljert analyse av energibruken til utstyret som installeres i lokalene, med utgangspunkt i normerte verdier for persontetthet og driftstider fra NS3031.

Med utgangspunkt i samme forutsetninger, foreslår vi at energimålsetningen for forretningsdelen justeres til et netto spesifikt energibehov på 240 kWh/m²år, som samsvarer med energirammen i TEK 07.

Sett i lys av beregningsresultatene presentert i denne rapporten må disse energimålsetningene karakteriseres som meget ambisiøse for dette prosjektet.

3 Krav i TEK 07

I forbindelse med innførsel av bygningsenergidirektivet i Norgeⁱⁱ er det etablert metode for beregning av energibruk i bygninger, og foreslått en ordning for energimerking av bygninger.

Tabell 1 viser hvordan den beregnede energirammen fordeler seg på ulike energiposter. Den endelige energirammen for kontorbygg er satt til 165 kWh/m²år. Om Urban Energy skal tilfredsstillere rammekravene i revidert teknisk forskrift (TEK 97 - Rev 07) må altså beregnet netto energibehov i kontordelen være lavere enn 165 kWh/m²år.

Tabell 2 er minstekravene til U-verdi for vindu, vegger gulv og tak gitt av § 8-21 punkt c) i TEK97 - Rev. 07.

Tabell 1 Beregnet årlig netto energibehov for et typisk kontor- og forretningsbygg som akkurat tilfredsstiller de nye rammekrav, fordelt på formål (kWh/m²)

	Beregnet energibehov for kontorbygg fordelt på formål	Beregnet energibehov for forretningsbygg fordelt på formål
Romoppvarming	33	45
Ventilasjonsvarme	21	34
Varmtvann	5	10
Vifter og pumper	22	42
Belysning	25	56
Teknisk utstyr	34	4
Romkjøling	0	0
Ventilasjonkjøling	24	47
Totalt netto energiebehov	165	237
Energiramme	165	240

Tabell 2 TEK97 - Rev. 07, § 8-21 - Krav til energieffektivitet, punkt c) - Minstekrav

	U-verdi yttervegg, W/m ² K	U-verdi tak, W/m ² K	U-verdi gulv på grunn og mot det fri, W/m ² K	U-verdi vindu, W/m ² K	Lufttetthet, luftvekslinger pr. time ved 50 Pa trykkforskjell
Bygninger	0,22	0,18	0,18	1,6	3,0
Bygning med laftede yttervegger	0,60	0,13	0,15	1,4	-
Fritidsboliger under 150 m ² BRA med laftede yttervegger	0,72	0,18	0,18	1,6	-

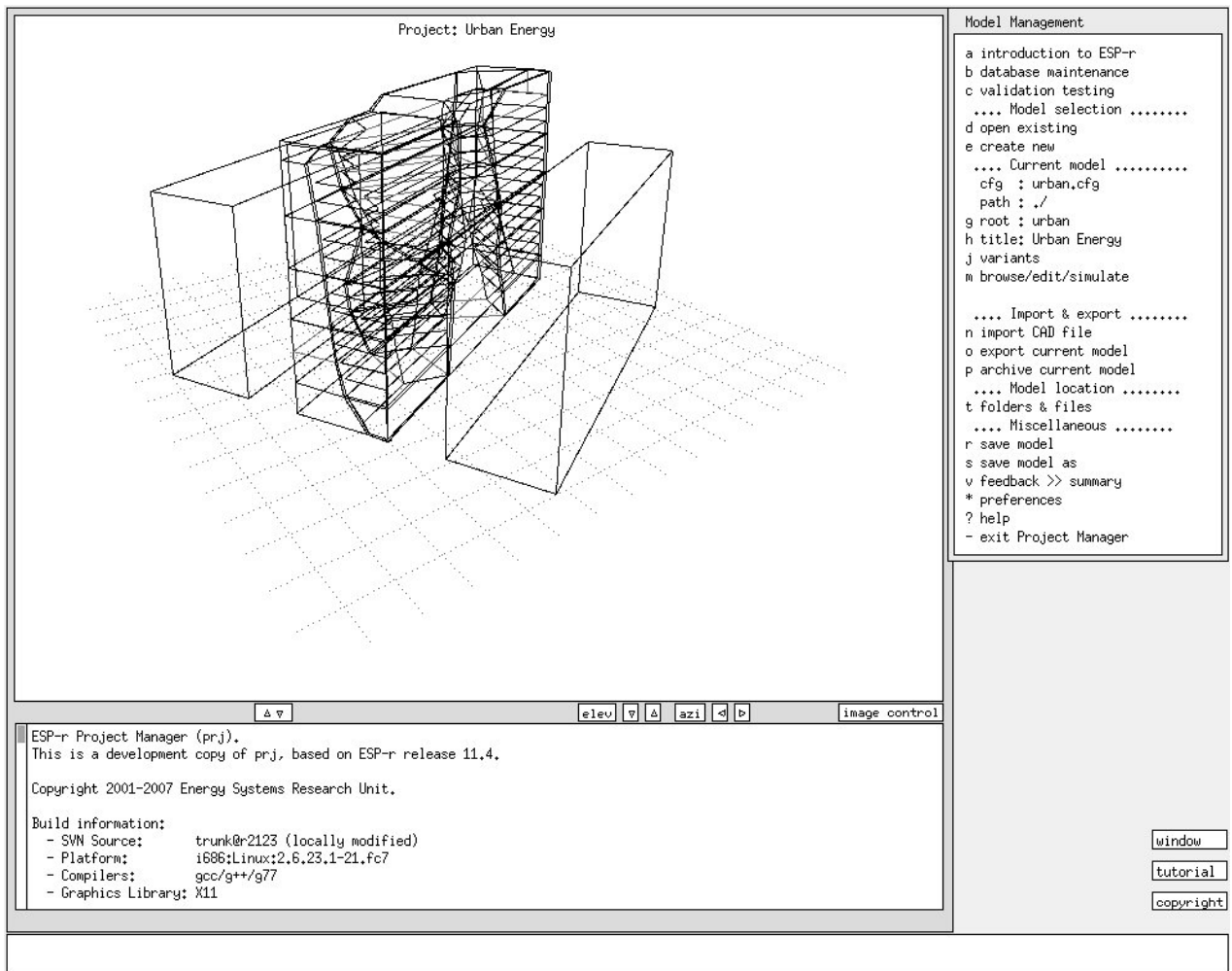
ⁱⁱ Se <http://www.bygningsenergidirektivet.no/>

4 Beregningsforutsetninger

4.1 Metode

Det er laget en beregningsmodell av Urban Energy i verktøyet ESP-r [2]. ESP-r er et integrert modelleringsverktøy for detaljert simulering av termiske, visuelle og akustiske forhold i bygninger, samt beregning av energibruk og miljøbelastning som følge av ulike driftsbetingelser.

For modellene er formålsdelt netto spesifikt energibehov beregnet. Beregningene er gjennomført i overensstemmelse med NS3031:2007.



Figur 1 ESP-r modell av Urban Energy

Modellen består av i alt 42 termiske soner. Vertikalt er bygget delt i 5:

- Forretninger (plan 0)
- Kontorer (plan 1-7)
- Kontorer (plan 8-10)
- Kontorer (plan 11-13)
- Kantine/konferansesal (plan 14)

Dobbelfasadene og atriene egne soner og delt vertikalt likt resten av bygget, slik at det i alt er 7 termiske soner for hvert nivå. Øvrige soner brukes som dummy-soner (fiktive soner) for bl.a. ventilasjonssystemet.

Ved å slå sammen etasjer mistes en del termisk masse i etasjeskillene som er en viktig del av energikonseptet for bygget. Dette er kompensert for i modellen ved at flater tilsvarende gulvarealet for hver etasje er lagt inn.

Planlagte nabobygg som skygger for solen er tatt med i beregningene (se Figur 1). Videre er det antatt solavskjerming i form av styrte, høyreflekterende persiener eller tilsvarende plassert tett inntil ytterglasset i dobbeltfasaden. Virkningen av eventuell avskjerming fra rammekonstruksjonen er imidlertid ignorert.

4.2 Standardiserte inndata

Tabell 3 viser de standardiserte verdiene for driftsbetingelser som i henhold til NS3031:2007 [1] skal benyttes i kontrollberegningen mot rammekravene.

Tabell 3 Standardiserte og minste verdier for driftsbetingelser i henhold til NS3031:2007

Bygningskategori	Type inndata	Lys [W/m ²] / Varmetiskudd i driftstiden [%]	Lys ¹⁾ [kWh/m ² år]	Utstyr [W/m ²] / Varmetiskudd i driftstiden [%]	Utstyr ²⁾ [kWh/m ² år]	Temperaturer, rom- oppvarming i/utenfor driftstid [°C]	Driftstider Lys [Timer/døgn/uker]	Personer [W/m ²]	Driftstider Personer, utstyr [timer/døgn/uker]	Varmt tappevann [kWh/m ²]	Ventilasjonsluftmengde [m ³ /h m ²]	Driftstider - Ventilasjon [Timer/døgn/uker]
Kontorbygg	Veiledende verdi	8/100	25	11/100	34	21/19	12/5/52	4	12/5/52	5	10/3 ⁱⁱ⁾	12/5/52
	Redusert verdi (se fotnote)	6,4 ⁱⁱ⁾ /100	20	11/100	34	21/19	12/5/52	4	12/5/52	5	7/2 ⁱⁱⁱ⁾	12/5/52
Forretningsbygg	Veiledende verdi	15 /100	56	1/100	4	21/19	12/6/52	4	12/6/52	10	20/5 ⁱⁱ⁾	12/6/52
	Redusert verdi (se fotnote)	12 ⁱⁱ⁾ /100	45	1/100	4	21/19	12/6/52	4	12/6/52	10	13/2 ⁱⁱⁱ⁾	12/6/52

- i) Dersom det benyttes styringssystem for utnyttelse av dagslys eller lysstyringssystem basert på tilstedeværelse kan effektbehovet til belysning reduseres med 20 %, dvs. til 6,4W/m² for kontorbygg og 12 W/m² for forretningsbygg. Eventuelt kan andre verdier for belysning dokumenteres gjennom beregninger etter NS-EN 15193 eller tilsvarende.
- ii) Hvis ikke nærmere beregninger eller simuleringer gjøres, kan gjennomsnittlig luftmengde i driftstiden i VAV-anlegg, behovsstyrt etter CO₂-nivå eller tilstedeværelse, reduseres med 20 % i forhold til dimensjonerende luftmengde. Med dimensjonerende luftmengde menes den luftmengden i driftstiden et ventilasjonsanlegg med konstante luftmengder (CAV) ville hatt for den samme bygningen.
- iii) Reelle luftmengder dimensjonert ut fra materialbelastning (emisjoner), personbelastning og andre belastninger skal legges til grunn ved beregning av energibehov, forutsatt at de er høyere enn angitt verdi. Verdien representerer således maksimalt reduksjonspotensial for luftmengden som skal benyttes i kontrollberegningen mot offentlige krav.

Videre skal det i henhold til NS3031 regnes med et settpunkt på 22 °C for soner der lokal kjøling vil bli installert.

Klimadataene som benyttes i simuleringene er et såkalt Design Reference Year (DRY) for Oslo, som kan lastes ned fra Standard Norge sine web-sideⁱⁱⁱ. Tidsskrittet i beregningene er satt til 15 min, og simuleringene er gjennomført over et helt år.

ⁱⁱⁱ <http://www.standard.no/ns3031>

4.3 Basismodell

Basismodellen tar utgangspunkt i de tekniske løsningene presentert i konkurranseutkastet og tilhørende dokumentasjon fremlagt av prosjekteringsgruppen. Dette innebærer blant annet at det benyttes balansert mekanisk ventilasjon i plan 0 (forretningsdelen av bygget) og i plan 11-14 (de øverste etasjene). I plan 1-10 er det lagt opp til en hybrid ventilasjonsløsning med tilluft via dobbeltfasaden.

4.3.1 Byggtekniske data

Tabell 4 viser oversikt over byggtekniske data benyttet i beregningene for basismodellen.

Tabell 4 Byggtekniske input data for basismodellen

Beskrivelse	Verdi
Enkeltglass i atrium og ytre sjikt i dobbeltfasade	U-verdi: 5.19 W/m ² K G-verdi uten solavskjerming: 0.82 G-verdi med solavskjerming: 0.12
2-lags isolerglass mellom kontor/forretning og atrium/dobbeltfasade	U-verdi: 1,13 W/m ² K G-verdi: 0.54
Yttertak	U-verdi: 0.10 W/m ² K
Gulv mot parkeringskjeller (regnet som mot det fri)	U-verdi: 0.09 W/m ² K
Kuldebroer (normalisert kuldebroverdi)	$\Psi' = 0.12$ W/m ² K

4.3.2 Ventilasjonstekniske data

Tabell 5 viser oversikt over ventilasjonstekniske inputdata for basismodellen.

Tabell 5 Oversikt over ventilasjonstekniske inputdata for basismodellen

Beskrivelse	Verdi
Ventilasjonsluftmengde	10/3 m ³ /h per m ² BRA, se Tabell 3
Driftstid	Se Tabell 3
Infiltrasjonsluftmengde (tetthet) i kontor	0.1 oms/h, konstant over året
Infiltrasjon i atrium i driftstid	0.2 oms/h ¹⁾
Infiltrasjon i atrium utenfor driftstid	0.1 oms/h
SFP vifter dagdrift	2.0 kW/m ³ /s
SFP vifter utenfor dagdrift	1.0 kW/m ³ /s
SFP vifter helg/feriedager	1.0 kW/m ³ /s
Temperaturløft avtrekksvifter	0,37 * SFP
Temperaturløft tilluftsvifter	0,37 * SFP
Tillufttemperatur sommer/vinter, (sommer = mai-aug)	16 °C /18°C
Temperaturvirkningsgrad varmegjenvinner	70 % konstant over året
Kapasitet varmebatteri (dir. el.)	Ubegrenset

1) I driftstid forventes stor trafikk i plan 1 inn og ut av ariet, og dette vil påvirke infiltrasjonen. I driftstid benyttes 0.2 oms/h forutsatt at temperaturen ved plan 2 i ariet er under 20 °C (samme verdi som Lemming & Eriksson a-s har benyttet i sine beregninger). Når temperaturen i plan 2 overstiger 20 °C, åpnes imidlertid luker for utlufting av ariet slik at luftskiftet da vil bli langt høyere.

4.3.3 Kjøling

Settpunkt-temperatur for romkjøling er 22 °C (Tabell A.3 i NS 3031). For å finne ut hvor romkjøling er nødvendig er det gjort separate analyser av termisk komfort i de ulike sonene, se avsnitt 4.6 under.

4.3.4 Øvrige spesifikasjoner

For øvrig er følgende inkludert i beregningsmodellen:

- Lufteluker i dobbelfasaden styres etter temperaturen i hulrommet mellom ytre og indre fasade. Vinterstid er disse stengt dersom temperaturen i kaviteten er under 20 °C, og åpner ved høyere temperaturer for å unngå overtemperaturer i kontorene. Sommerstid er disse lukene alltid åpne.
- Atriet har lufteluker for å unngå høye temperaturer som kan øke kjølebehovet i kontorene. Luker i toppen av atriet og ved gatenivå åpner dersom temperaturen i det som tilsvarer plan 2 overstiger 20 °C.
- Solavskjermingen i dobbelfasaden styres etter innfallende solstråling og stenger dersom total solstråling på fasaden overstiger 250 W/m².

4.4 Tiltaksmodell 1

Input i Tiltaksmodell 1 er lik *Basismodellen*, bortsett fra at:

- Belysning er redusert med 20 %, både som internlast og energibehov.
- Reduserte luftmengder til det minimum tillatte i hht. NS 3031 (se Tabell 2) og økning av temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner fra 70 til 80 % konstant over året. Merk at det kun er plan 0 og plan 11-14 som har balansert ventilasjon med varmegjenvinning, mens det for plan 1-10 fortsatt benyttes hybrid ventilasjon med tilluft via dobbelfasaden.

4.5 Tiltaksmodell 2

I tillegg til tiltak 1 erstattes det hybride ventilasjonssystemet i plan 1-10 med balansert mekanisk ventilasjon, slik at hele bygget får balansert mekanisk ventilasjon med 80 % temperaturvirkningsgrad på varmegjenvinning konstant over året.

4.6 Termisk komfort

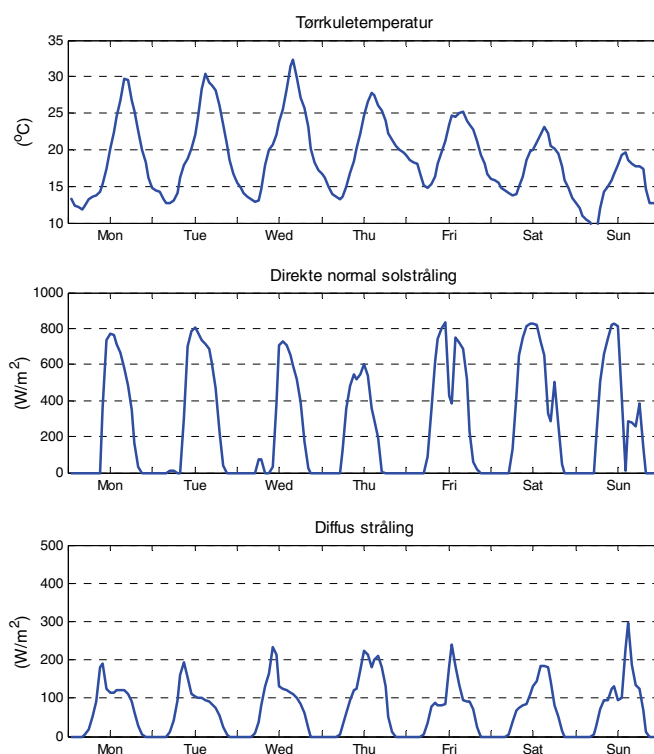
Det første som må avklares er om det er sannsynlig at ventilasjonskjøling er tilstrekkelig for å sikre termisk komfort i bygget. For alle soner der kun ventilasjonskjøling innebærer stor risiko for uakseptabel termisk komfort bør det regnes med lokal kjøling med settpunkt-temperatur på 22 °C.

For å se på konsekvensene av å ikke benytte lokal kjøling er følgende case analysert:

- Basismodell Plan 8-10: Naturlig/hybrid med potensielt 10x standard tilluftsmenge. Luftmengden styres slik at ekstra luft tilføres sonen når den operative temperaturen overstiger 22 °C og stiger proporsjonalt opp til maksimal luftmengde ved 25 °C.
- Basismodell Plan 11-13 Mekanisk balansert ventilasjon med luftmengder 10/3 m³/h/m² dag/natt og tilluftstemperatur på 16 °C.
- Tiltaksmodell 1 Plan 11-13: Mekanisk balansert ventilasjon med minste tillatte tilluftsmenge (7/2 m³/h/m² dag/natt og tilluftstemperatur på 16 °C).
- Tiltaksmodell 2 Plan 8-10: Mekanisk balansert ventilasjon med minste tillatte tilluftsmenge (7/2 m³/h/m² dag/natt og tilluftstemperatur på 16 °C)

Perioden mai til september er vurdert statistisk. Ifølge norske retningslinjer tillates den operative temperaturen å overstige 26 °C med maksimalt 50 timer i kjølesesongen.

I tillegg er en varm uke i august (uke 34) undersøkt spesielt. I Figur 2 er tørrkuletemperaturen, direkte stråling og diffus stråling fra denne uka plottet.



Figur 2 De viktigste klimaparameterne fra en varm uke i august

5 Resultater

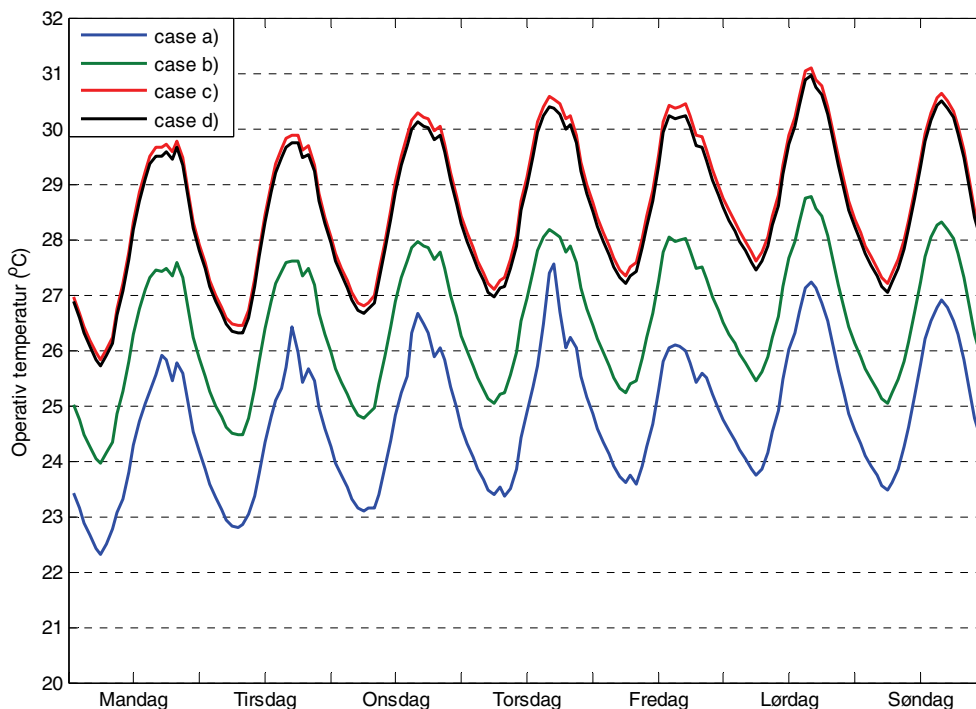
5.1 Termisk komfort

Tabell 6 gir antall timer som den operative temperaturen i arbeidstiden (kl. 07-19) overstiger 26 °C for de fire ulike casene beskrevet i avsnitt 4.6. I Figur 3 er den operative temperaturen i den varme uka plottet for de fire casene.

Resultatene indikerer at med de aktuelle luftmengder vil lokal kjøling være nødvendig i alle soner dersom en skal være sikker på å oppnå akseptabel termisk komfort.

Tabell 6 Antall timer den operative temperaturen overstiger 26 °C i arbeidstiden i perioden mai-august

Case	$t_{op} > 26 \text{ °C}$
a) Hybrid ventilasjon med 10 x veiledende luftmengde plan 8-10	186 h (17 %)
b) Mekanisk ventilasjon med kjøling, veiledende luftmengde plan 11-14	696 h (65 %)
c) Mekanisk ventilasjon med kjøling, minste tillatte luftmengde plan 11-14	943 h (88 %)
d) Mekanisk ventilasjon med kjøling, minste tillatte luftmengde plan 8-10	628 h (58 %)



Figur 3 Operativ temperatur for de ulike casene.

5.2 Beregnet netto energibehov for Basismodellen

På bakgrunn av resultatene fra komfortsimuleringene, se avsnitt 0 over, er det regnet med kjøling i alle soner. Tabell 7 viser detaljert energibudsjett for Basismodellen.

Tabell 7 Netto energibehov for Basismodell med kjøling i alle rom

Formål	Forretning	Plan 1-10	Plan 11-14	Sum kontor
1a. Romoppvarming	175	156	22	106
1b. Ventilasjonvarme	70	0	34	13
2. Varmtvann	10	5	5	5
3a. Vifter	42	0 ^{I)}	22	8
3b. Pumper	5 ^{II)}	3 ^{II)}	3 ^{II)}	3 ^{II)}
4. Belysning	56	25	25	25
5. Teknisk utstyr	4	34	34	34
6a. Romkjøling	43	38	25	33
6b. Ventilasjonkjøling	33	0	15	6
Totalt	437	261	186	233
Rammekrav:	240	165	165	165

- I) *Energibruken til viftene for hybrid ventilasjon kan først beregnes nøyaktig når viftekarakteristikk og trykkfall i systemet er kjent, og en har beregnet luftmengdene på bakgrunn av valgt styringsstrategi. Ettersom den likevel forventes bli meget lav har vi valgt å neglisjere den her.*
- II) *Energibehovet til pumpene beregnes etter NS3031 som produktet av sirkulert vannmengde, Spesifikk pumpeeffekt og antall driftstimer i året for hver pumpe. I henhold til NS3031 beregnes sirkulert vannmengde for varme- og kjøleanlegg ut fra dimensjonerende varme og kjølebehov. Ettersom anlegget ikke er ferdig dimensjonert legges maksimal varme- og kjøleeffekt fra simuleringresultatene til grunn for beregning av sirkulert vannmengde.*

5.3 Beregnet netto energibehov for Tiltaksmodell 1

Også for denne modellen viser resultatet av komfortsimuleringene (se avsnitt 0 over) at kjøling er nødvendig for å oppnå tilfredsstillende termiske forhold i bygget.

Tabell 8 viser detaljert energibudsjett for Tiltaksmodell 1.

Tabell 8 Netto energibehov for Tiltaksmodell 1

Formål	Forretning	Plan 1-10	Plan 11-14	Sum kontor
1a. Romoppvarming	167	108	21	75
1b. Ventilasjonvarme	34	0	22	8
2. Varmtvann	10	5	5	5
3a. Vifter	26	0 ^{I)}	15	6
3b. Pumper	5 ^{II)}	3 ^{II)}	3 ^{II)}	3 ^{II)}
4. Belysning	45	20	20	20
5. Teknisk utstyr	4	34	34	34
6a. Romkjøling	67	45	39	43
6b. Ventilasjonkjøling	25	0	12	5
Totalt	382	215	171	199
Rammekrav:	240	165	165	165

I) *Se Tabell 7*

II) *Se Tabell 7*

5.4 Beregnet netto energibehov for Tiltaksmodell 2

I likhet med de foregående modeller, viser komfortsimuleringene for tiltaksmodell 2 (se avsnitt 0 over) at lokal kjøling er nødvendig for å oppnå tilfredsstillende termiske forhold i bygget. Tabell 9 viser detaljert energibudsjett for Tiltaksmodell 2.

Tabell 9 Detaljert energibudsjett for Tiltaksmodell 2

Formål	Forretning	Plan 1-10	Plan 11-14	Sum kontor
1a. Romoppvarming	166	33	21	28
1b. Ventilasjonvarme	30	21	22	22
2. Varmtvann	10	5	5	5
3a. Vifter	26	15	15	15
3b. Pumper	5 ^{II)}	3 ^{II)}	3 ^{II)}	3 ^{II)}
4. Belysning	45	20	20	20
5. Teknisk utstyr	4	34	34	34
6a. Romkjøling	64	33	38	35
6b. Ventilasjonkjøling	24	12	12	12
Totalt	374	177	170	174
Rammekrav:	240	165	165	165

II) Se Tabell 7

6 Referanser

-
- [1] Standard Norge (2007), *NS 2021:2007 Beregning av bygningers energiytelse. Metode og data*, ICS 900.08.21;91.120.10
- [2] ESRU (1999). *ESP-r: a building and plant energy simulation environment*, User Guide Version 9 Series, ESRU Publication,” University of Strathclyde, Glasgow, United Kingdom