

Norsk bygningsfysikkdag 2014

Programmer for energiberegninger – fordeler og ulemper

Matthias Haase

B.Sc, Dipl.-Ing, M.Eng, PhD

Seniorforsker

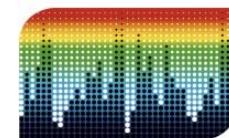
SINTEF Byggforsk

Arkitektur, byggematerialer og konstruksjon

- Energi og arkitektur -

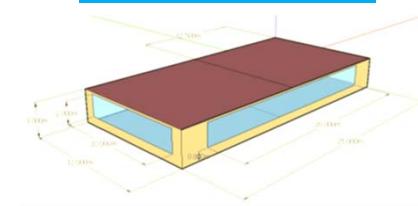
Innhold

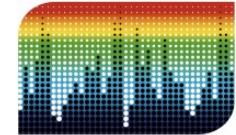
- Building performance simulation
- Beregningsmetoder
- Validering
- Programmer
- Konklusjoner
- Diskusjon



NS 3031

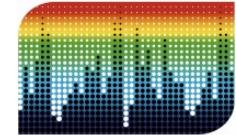
NS-EN 15265





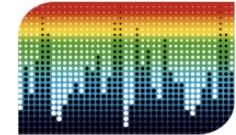
Building performance simulation

- Building performance kan man forutsi ved:
 - Tommelfingerregler
 - Generelle veiledere
 - Templates
 - Forenklede antakelser
- Disse tradisjonelle metoder har mange ulemper
 - Forenklet antakelse er ofte ukorrekt.
 - Ikke eksplisitt.
 - Ikke presis.



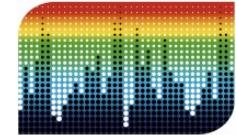
Building performance simulation

- Building performance kan man forutsi ved bruk av simuleringsprogrammer:
 - Utvikling av en (forenklet) modell av et komplekst system, og ved hjelp av modellen analysere og forutsi oppførselen til det opprinnelige systemet.
 - I design, brukes simuleringer til å **evaluere** et design.
 - En simulering vil ikke fortelle deg **hvordan** du kan forbedre design!



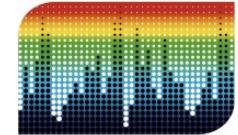
Metoder for beregning av energi- og effektbehov

- empiriske metoder
 - Kompleksitet: lav
 - tidsramme: år, måned
- Stasjonære metoder
 - Kompleksitet: medium
 - tidsramme: måned, dag
- Dynamiske metoder
 - Kompleksitet: stor
 - tidsramme: dag, time, sekunder

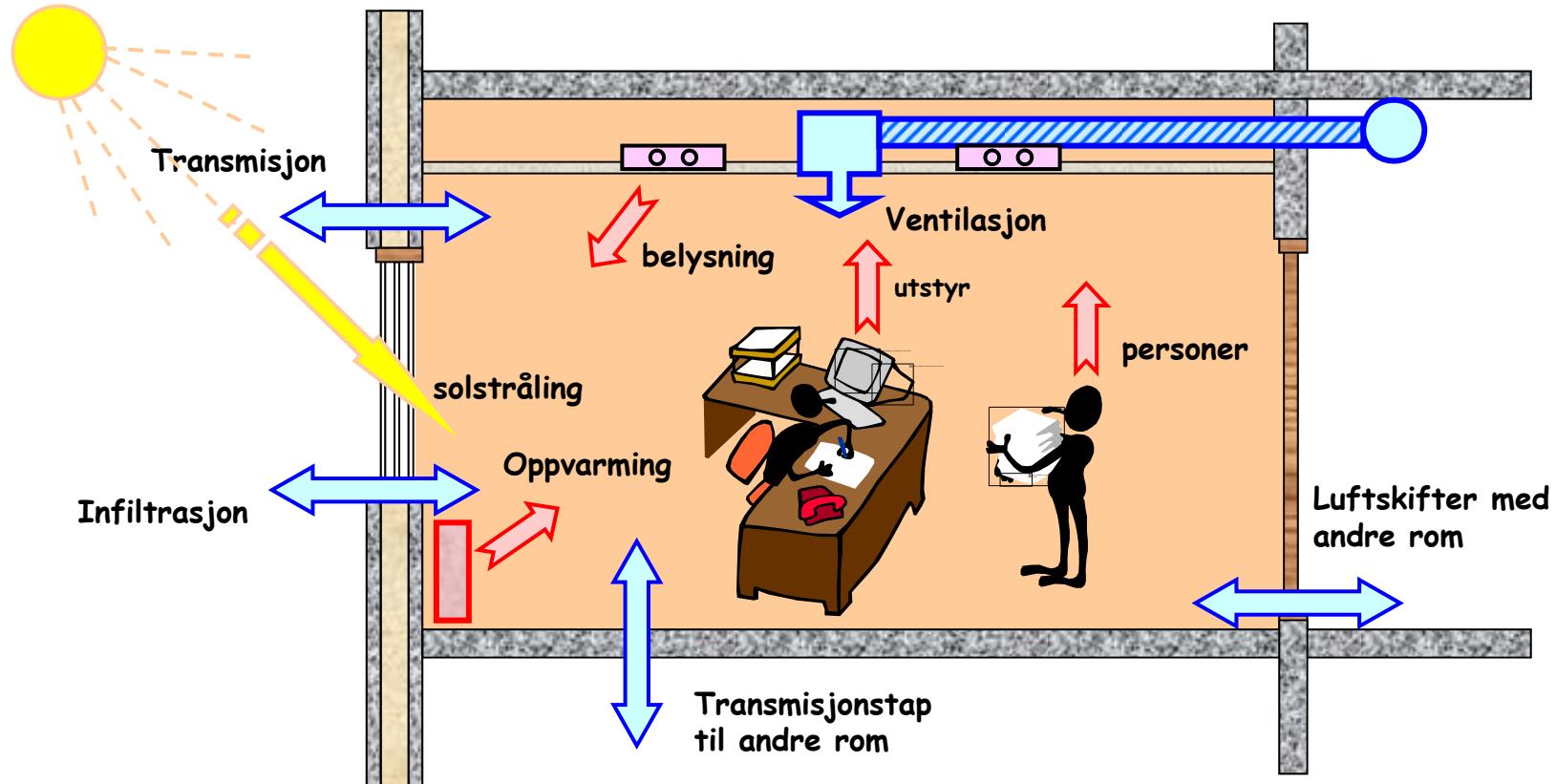


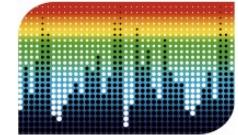
Dynamiske beregningsmetoder

- Basert på dynamiske matematiske modeller
- Differensialligninger som beskriver endringer i varmebalanse i løpet av ørsmå tidsintervaller
- Status (betingelser) ved forrige tidssteg gir basis for beregning av statusen på neste tidssteg
- Ta varmelagring i betraktnng

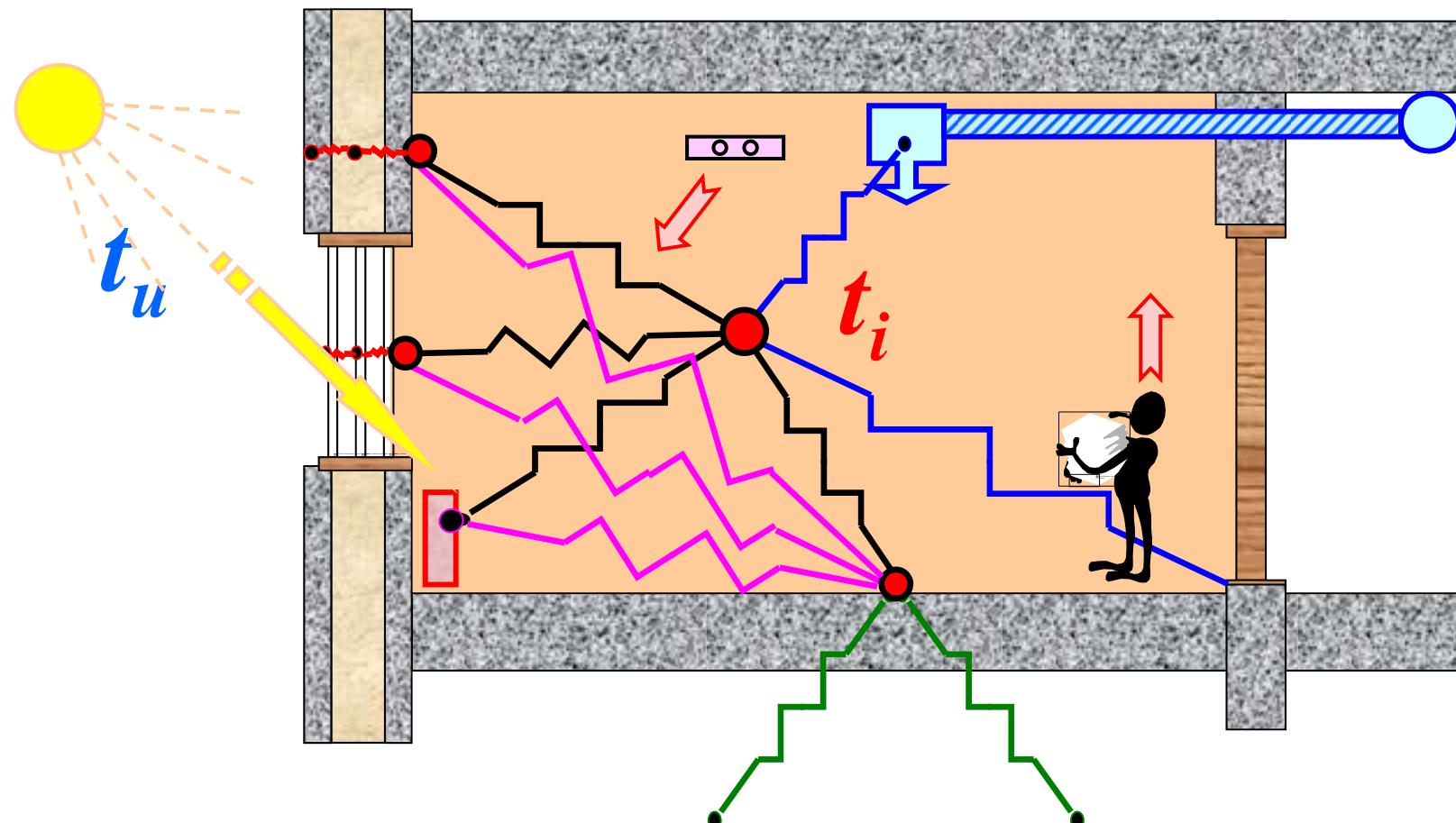


Varmebalansen for et rom

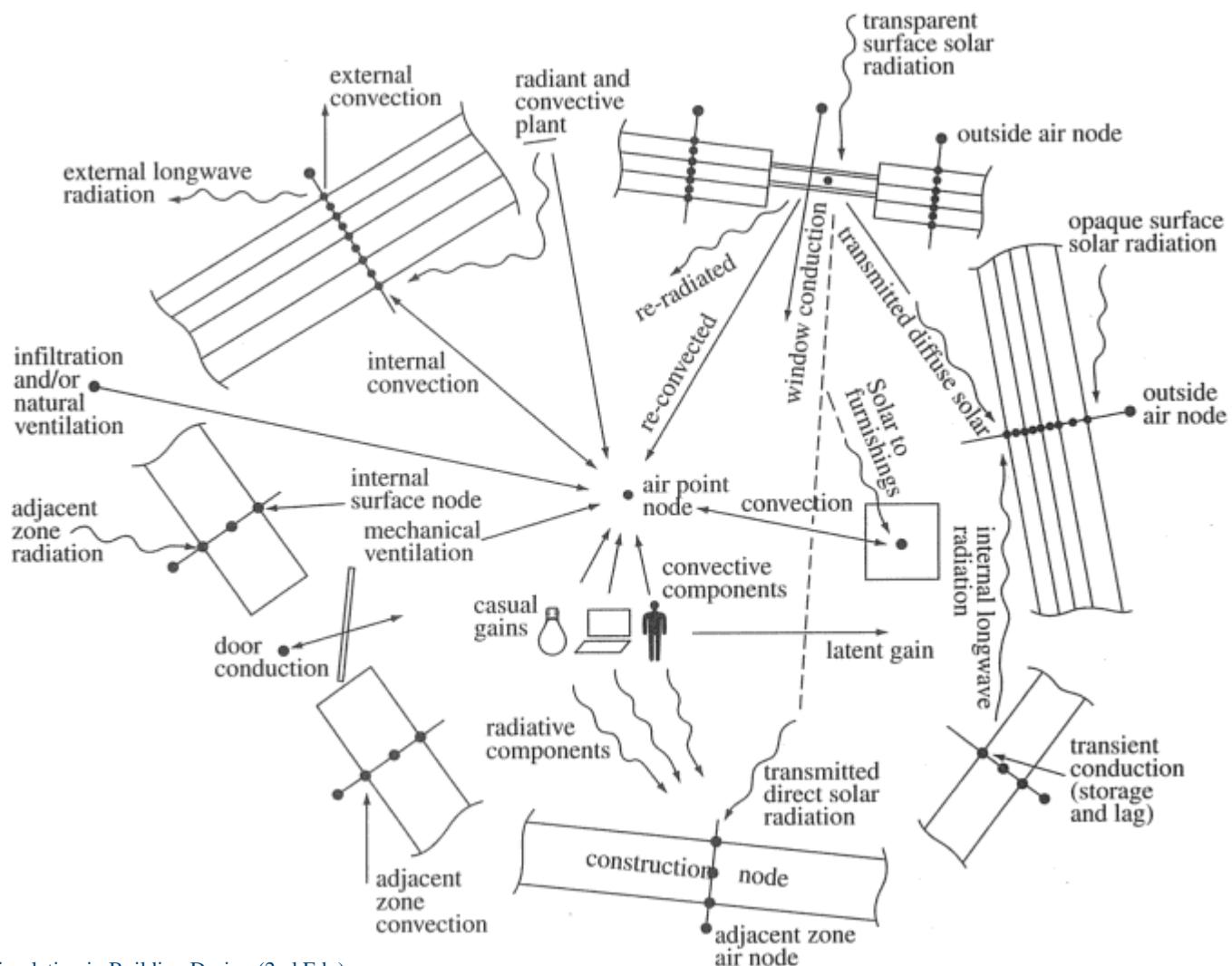
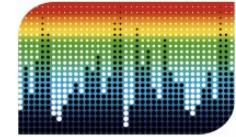




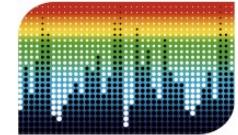
Matematisk modell for varmeutveksling i et rom



Modeller

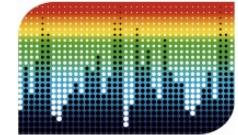


Credit: Clarke J A (2001) Energy Simulation in Building Design (2nd Edn),
p. 6, London: Butterworth-Heinemann, ISBN 0 7506 5082 6



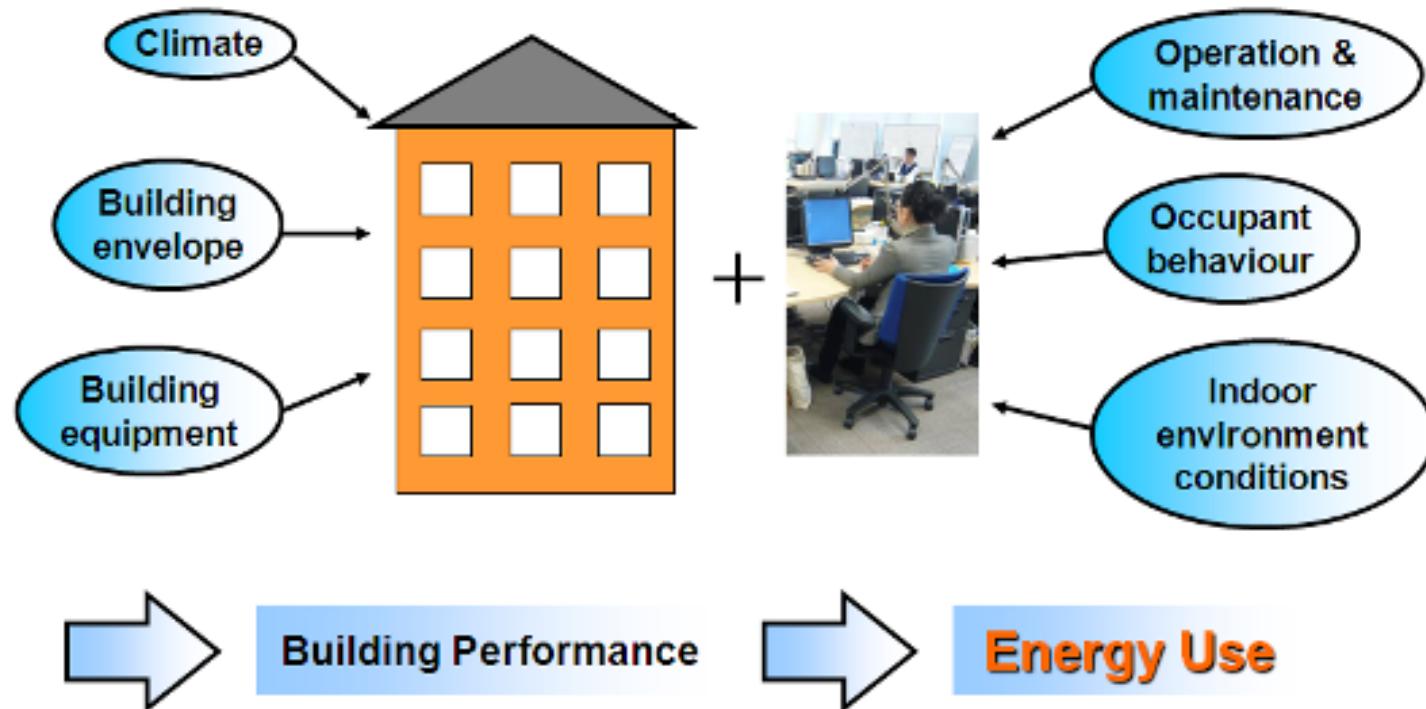
flere modeller

- *Air flow models* – to represent the low Reynolds Number, non-steady flow regime in buildings.
- *Light flow models* – to assess visual comfort and the contribution of daylight.
- *Moisture flow models* – to assess impacts on materials and air quality.
- *Occupant models* – to represent human anatomy and adaptive building interactions.
- *Fuzzy logic models* – to accommodate subjective human perception by representing imprecise concepts.
- *Exergy models* – to assess the quality of energy sources in addition to quantity.
- *Uncertainty models* – to determine the impact of design parameters both separately and together.
- *System models* – to represent new and renewable energy systems.
- *Smart control models* – to control energy systems/components and co-ordinated hybrid schemes.
- *Micro-grid models* – to enable load switching within the context of local renewable power trading.
- *Material models* – to support adaptive materials such as PCM, PV, advanced glazings, etc.
- *Solver models* – to reduce simulation times and facilitate real-time design support.
- *Enhanced geometry models* – to represent complex shading devices, solar tracking, thermal bridges, etc.



Fra building performance til energibruk

- Seks faktorer som påvirker energibruken direkte



IEA ECBCS - Annex 53 Total Energy Use in Buildings: Analysis & Evaluation Methods

Beregningsmetoder

Normative standarder i NS3031

| | |
|--------------------------|--|
| ISO 15099 | <i>Thermal performance of windows, doors and shading devices – Detailed calculations</i> |
| NS 3451 | Bygningsdelstabell |
| NS 3940 | Areal- og volumberegninger av bygninger |
| NS-EN 13141-7 | Ventilasjon i bygninger – Ytelsesprøving av komponenter/produkter for boligventilasjon – Del 7: Ytelsesprøving av tilførsels- og avtrekksenheter (inkludert varmegjenvinning) for mekanisk ventilasjon beregnet for eneboliger |
| NS-EN 13363-1 | Utstyr for solskjerming kombinert med glass – Beregning av sol- og lystransmisjon – Del 1: Forenklet metode |
| NS-EN 13829 | Bygnings termiske egenskaper – Bestemmelse av bygnings luftlekkasje – Differansestrykkmetode (ISO 9972:1996, modifisert) |
| NS-EN 15217 ¹ | Bygnings energiytelse – Metoder for å uttrykke energiytelse og energisertifisering av bygninger |
| NS-EN 15193 ¹ | Bygnings energiytelse – Energikrav i lysanlegg |
| NS-EN 15242 ¹ | Ventilasjon i bygninger – Beregningsmetoder for bestemmelse av luftmengder i bygninger inkludert infiltrasjon |
| NS-EN 15265 ¹ | Bygnings energiytelse – Beregning av bygnings energibehov til romoppvarming og -kjøling – Generelle kriterier og valideringsprosedyrer |
| NS-EN 15316-1 | Varmesystemer i bygninger – Metode for beregning av systemets energikrav og systemvirkningsgrader – Del 1: Generelt |
| NS-EN 15603 ¹ | Bygnings energiytelse – Bestemmelse av total energibruk og av energiytelse |

Beregningsmetoder

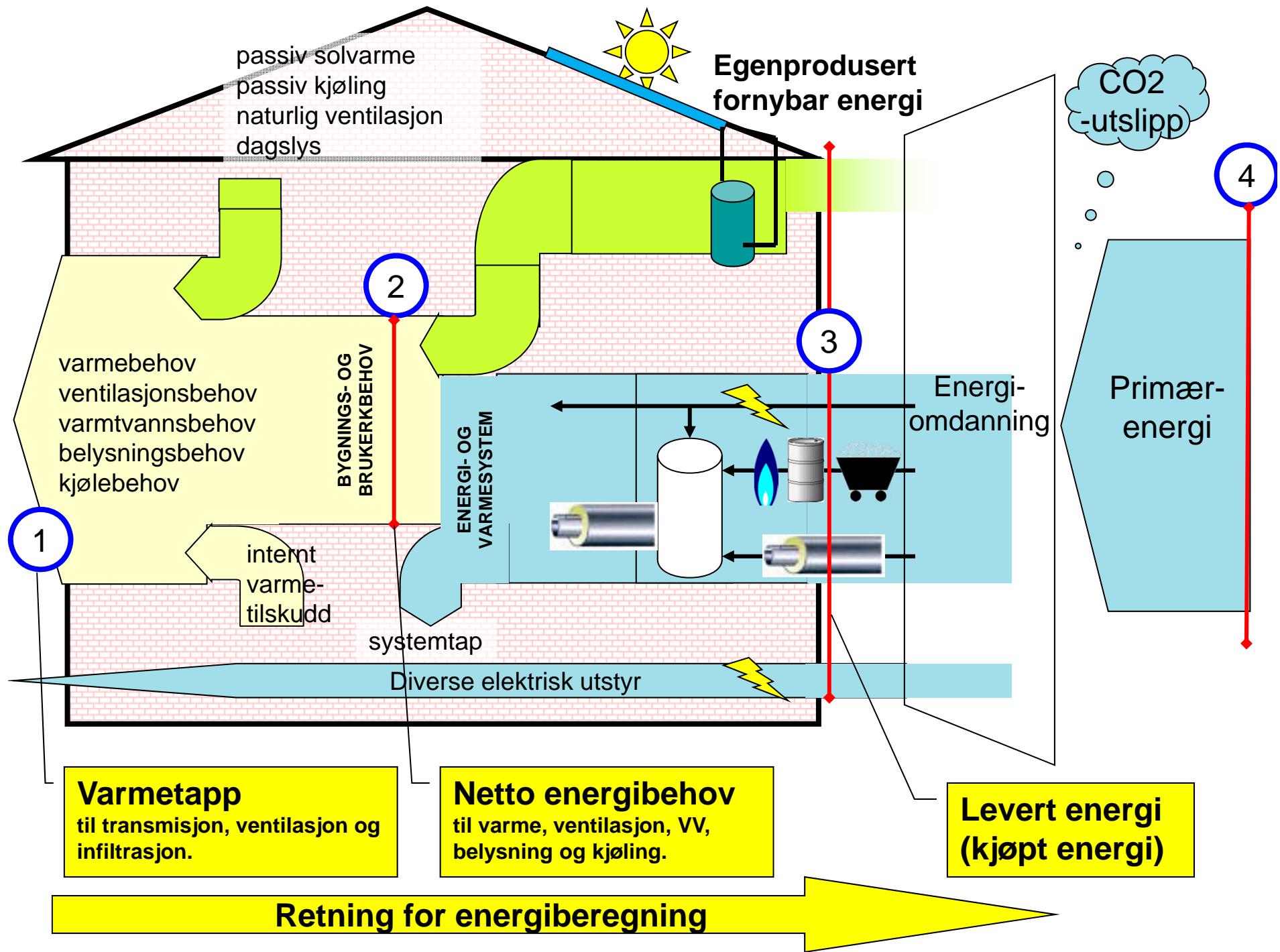
Normative standarder i NS3031

| | |
|------------------------------|--|
| NS-EN 308 | Varmevekslere – Prøvingsprosedyrer for bestemmelse av ytelsen til luft/luft- og luft/avgass-varmegjenvinningsanlegg |
| NS-EN 674 | Bygningsglass – Bestemmelse av varmegjennomgangskoeffisient (U-verdi) – Metode med skjermet varmestrømmåler |
| NS-EN 675 | Bygningsglass – Bestemmelse av varmegjennomgangskoeffisient (U-verdi) – Metode med varmestrømmåler |
| NS-EN ISO 6946 ² | Bygningskomponenter og -elementer – Varmemotstand og varmegjennomgangskoeffisient – Beregningsmetode |
| NS-EN ISO 8990 | Varmeisolering – Bestemmelse av stasjonære varmeoverføringsegenskaper – Kalibrert og skjermet varmestrømapparat |
| NS-EN ISO 7345 | Varmeisolering – Fysiske størrelser og definisjoner |
| NS-EN ISO 10077-1 | Termiske egenskaper til vinduer, dører og skodder – Beregning av varmegjennomgangskoeffisient – Del 1: Forenklet metode |
| NS-EN ISO 10077-2 | Termiske egenskaper til vinduer, dører og skodder – Beregning av varmegjennomgangskoeffisient – Del 2: Numerisk metode for karm og ramme |
| NS-EN ISO 10211 ² | Kuldebroer i bygningskonstruksjoner – Varmestrømmer og overflatetemperaturer – Detaljerte beregninger |
| NS-EN ISO 12241 | Varmeisolasjon for bygningsutstyr og industrianlegg – Beregningsregler |

Beregningsmetoder

Normative standarder i NS3031

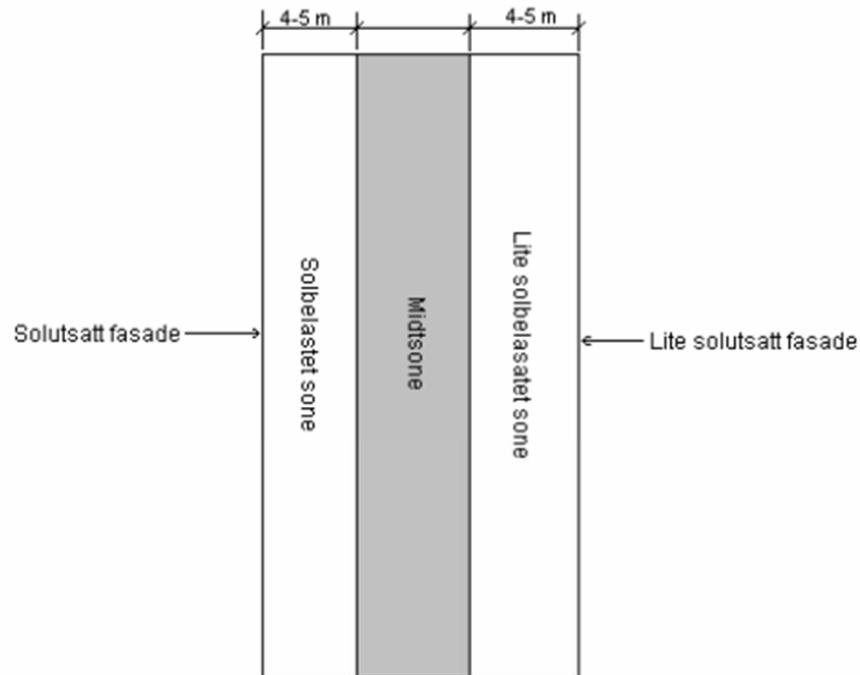
- | | |
|------------------------------|--|
| NS-EN ISO 12567-1 | Dørers og vinduers termiske egenskaper – Bestemmelse av varmegjennomgangskoeffisient ved varmestrømapparatmetode – Del 1: Komplette dører og vinduer |
| NS-EN ISO 12567-2 | Dørers og vinduers termiske egenskaper – Bestemmelse av varmegjennomgangskoeffisient ved varmestrømapparatmetode – Del 2: Takvinduer og andre fremspringende vinduer |
| NS-EN ISO 13370 ² | Bygningers termiske egenskaper – Varmeoverføring via grunnen – Beregningsmetoder |
| NS-EN ISO 13786 ² | Bygningskomponenters termiske egenskaper – Dynamiske termiske egenskaper – Beregningsmetoder |
| NS-EN ISO 13789 ² | Bygningers termiske egenskaper – Varmetransportskoeffisienter på grunn av varmegjennomgang og ventilasjon – Beregningsmetode |
| NS-EN ISO 13790 ² | Bygningers termiske egenskaper – Beregning av bygningers energibehov til romoppvarming og -kjøling |
| NS-EN ISO 15927-4 | Bygningers hygrotermiske egenskaper – Beregning og presentasjon av klimadata – Del 4: Data for fastsettelse av årlig energibehov til varme og kjøling |



Beregningsmetoder

Regler i NS3031

- Inndeling av bygningen i soner
 - Funksjon
 - Tekniske installasjoner
 - Ulik soltilskudd
 - Ulike interne varmetilskudd



Figur 2 – Soneinndeling av bygning med stort soltilskudd

MERKNAD For bygninger der produktet av arealandel vinduer, dører og glassfelt, γ_{sol} , og total solfaktor for vindu og solskjerming, \bar{g}_t , er under 5 % ($\gamma_{sol} \bar{g}_t < 5\%$), vil det i de fleste tilfeller være tilstrekkelig å regne bygningen som én sone.

Beregningsmetoder

Regler i NS3031

- Valg av beregningsmetode
 - Månedsberegning (ift. NS-EN ISO 13790)
 - Forenklet timesberegning (ift. NS-EN ISO 13790)
 - Detaljerte validerte beregningsprogrammer (dynamiske metode) etter NS_EN 15265

Beregningsmetoder

Regler i NS3031

Tabell 3 – Valg av beregningsmetode

| Bygningskategori | Energiberegning ^a |
|---------------------------|--------------------------------|
| Småhus | Månedsstasjonær eller dynamisk |
| Boligblokk | Månedsstasjonær eller dynamisk |
| Bærehage | Månedsstasjonær eller dynamisk |
| Kontorbygg | Dynamisk |
| Skolebygg | Månedsstasjonær eller dynamisk |
| Universitet/høyskole | Dynamisk |
| Sykehus | Dynamisk |
| Sykehjem | Månedsstasjonær eller dynamisk |
| Hoteller | Månedsstasjonær eller dynamisk |
| Idrettsbygg | Månedsstasjonær eller dynamisk |
| Forretningsbygg | Dynamisk |
| Kulturbygg | Månedsstasjonær eller dynamisk |
| Lett industri, verksteder | Månedsstasjonær eller dynamisk |

^a I bygninger der det er installert ventilasjonskjøling, skal det alltid benyttes en dynamisk beregningsmetode.

Beregningsmetoder

Regler i NS3031

Tillegg K (normativt)

Validering av dynamiske beregningsprogrammer

Dynamiske dataprogrammer som benyttes sammen med reglene i denne standarden, skal valideres og dokumenteres etter reglene i NS-EN 15265. Minstekravet til nøyaktighet er 'Level C'.

MERKNAD NS-EN 15265 beskriver grensebetingelser og nødvendige forenklinger for å oppnå beregningsresultater for en avgrenset bygningsdel som er sammenlignbare. 'Level C' tilsvarer en nøyaktighet på beregningen av varme- og kjølebehovet innenfor $\pm 15\%$ av referanseberegningen i NS-EN 15265.

Validering av simuleringsverktøy

- Valideringprosedyren er beskrevet i NS-EN 15265:2007. Dette er en standardmetode for vurdering av nøyaktigheten til dataprogrammer som beregner energibehovet i bygninger.
- Årlig energibruk for romoppvarming og romkjøling skal beregnes for 12 varianter (case) av et rom i en bygning som er plassert i Trappes utenfor Paris.
- Resultatene av beregningen sammenlignes med referanseverdier for hvert enkelt case.
- Det beregnes et avvik for romoppvarming og et for romkjøling.
- Det er tre klassifiseringer av programmets nøyaktighet.
- Kravet for dynamiske beregningprogrammer som benytter reglene i NS 3031:2007 er at de tilfredsstiller nøyaktighetskrav C (det laveste kravet).

Klassifisering

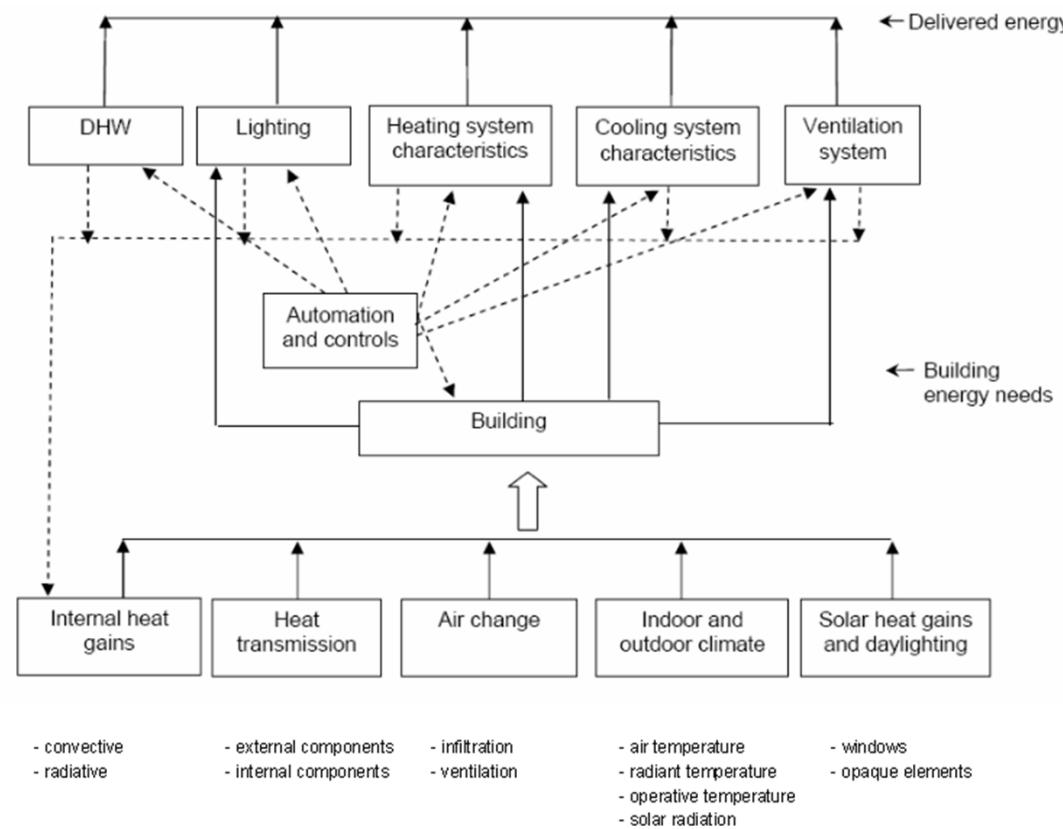
- Kravet for dynamiske beregningprogrammer som benytter reglene i NS 3031:2007 er at de tilfredsstiller nøyaktighetskrav C (det laveste kravet).

| Klassifisering | Maksimalt avvik |
|----------------|-----------------|
| A | 0.05 |
| B | 0.10 |
| C | 0.15 |

Klassifisering

- Avviket beregnes på følgende måte:
- $rQ_h = \text{abs}(Q_h - Q_{h,\text{ref}}) / Q_{\text{tot},\text{ref}}$
- $rQ_c = \text{abs}(Q_c - Q_{c,\text{ref}}) / Q_{\text{tot},\text{ref}}$
- med
 - rQ_h Avvik romoppvarming
 - rQ_c Avvik romkjøling
 - Q_h Beregnet energibruk romoppvarming
 - Q_c Beregnet energibruk romkjøling
 - $Q_{h,\text{ref}}$ Referanseverdi energibruk romoppvarming
 - $Q_{c,\text{ref}}$ Referanseverdi energibruk romkjøling
 - $Q_{\text{tot},\text{ref}}$ Referanseverdi total energibruk (romoppv. + romkjøling)

Prosedyrer i NS EN 15265



Validering (NS-EN 15265)

- 6 Data requirement
 - 6.1 General
 - 6.2 Climatic data
 - 6.3 Surface heat transfer coefficients
 - 6.4 Solar distribution
 - 6.5 Air ventilation and air infiltration
 - 6.6 Internal load
 - 6.7 Internal design temperature
 - 6.8 Heating and cooling system device

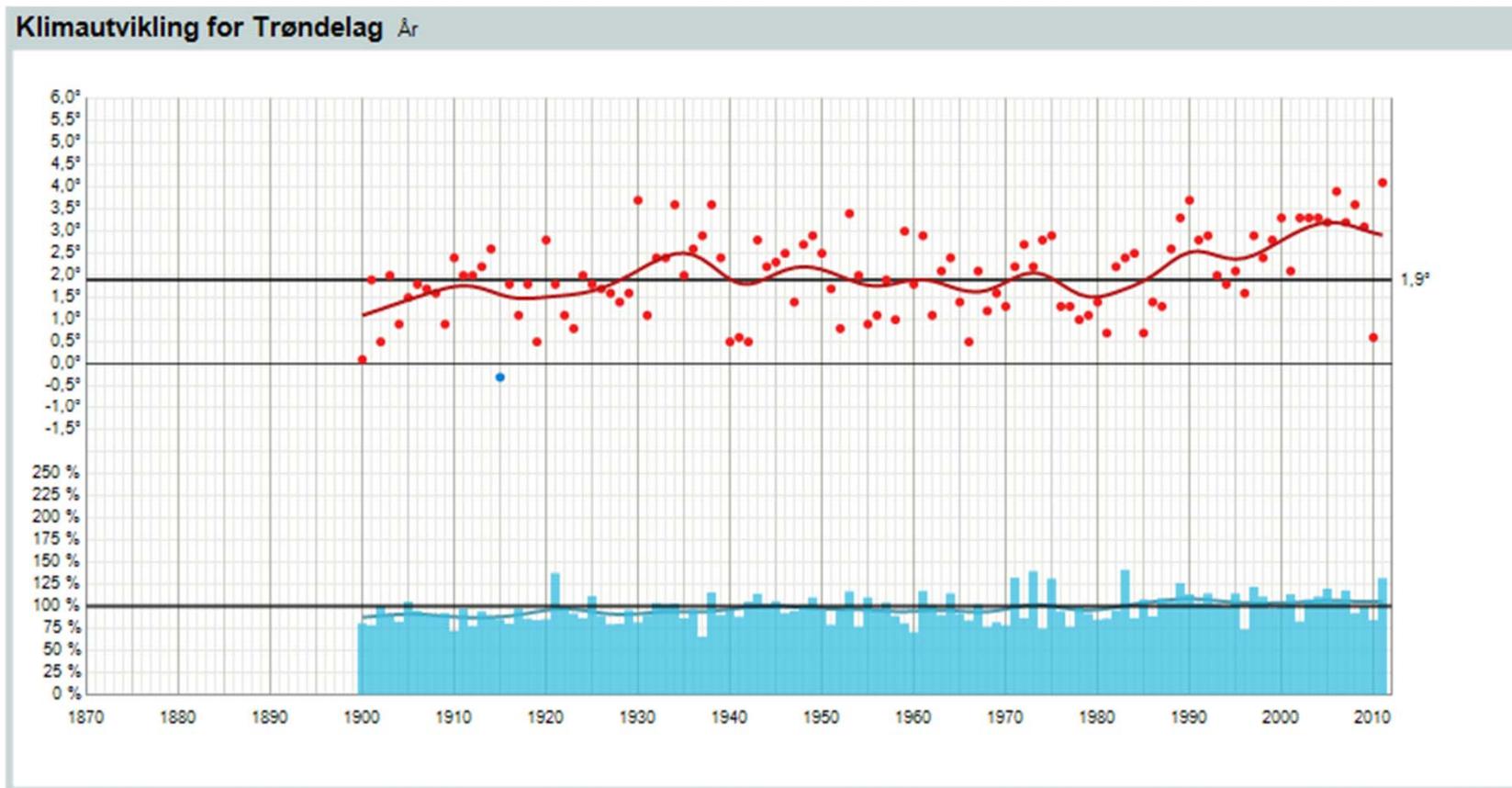
6.2 Climatic data

- For et sted med en gitt breddegrad og lengdegrad er følgende timesverdier av klimadata nødvendig:
 - ekstern lufttemperatur
 - intensiteten av solstråling (direkte normal og diffus horisontal)
 - den eksterne stråletemperaturen (himmel og omgivelser)
 - bakkens albedo
- MERK Fuktinnhold i uteluften og vindhastigheten er ikke direkte nødvendig her, men kan være nødvendig for å vurdere infiltrasjon og system oppførsel

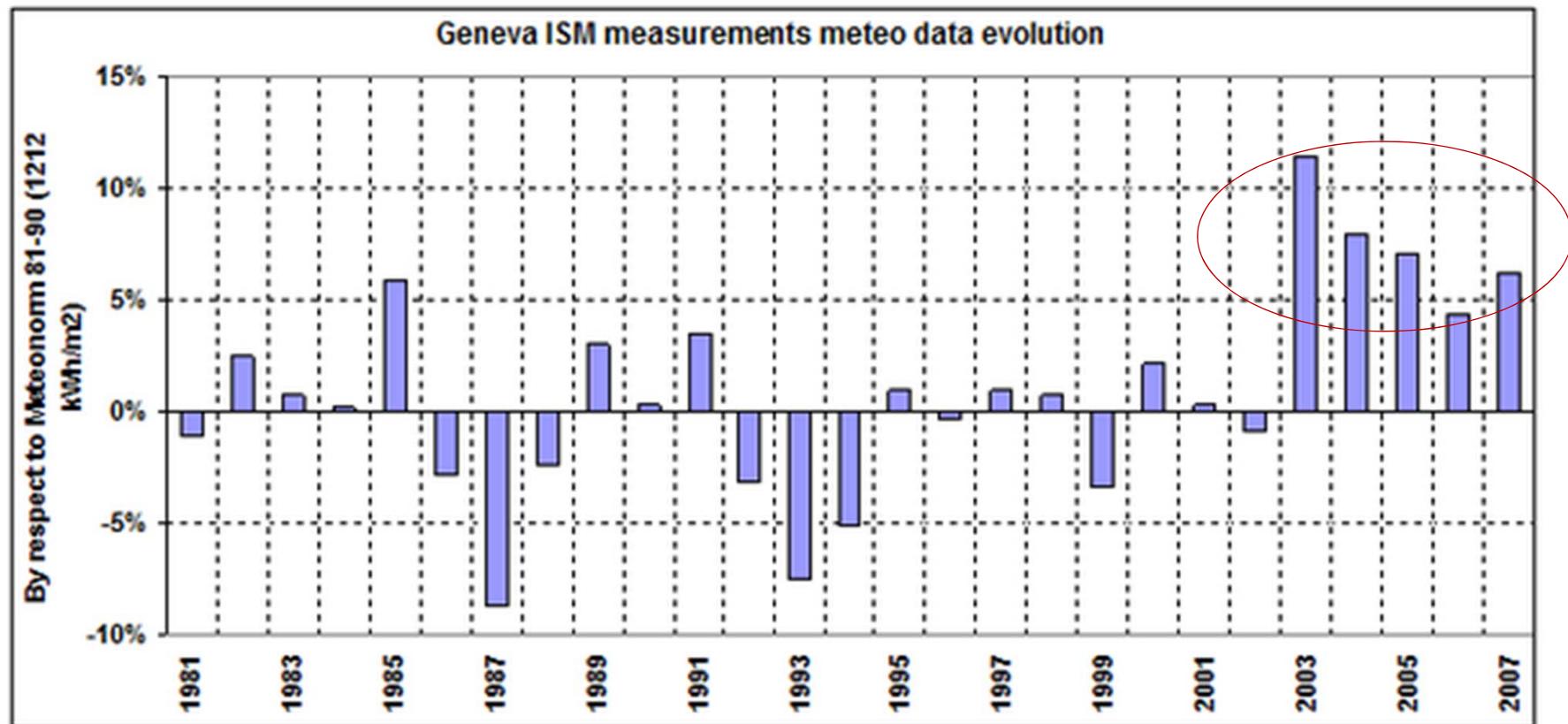
Meteorologiske datakilder

| Database | Region | Values | Source | Period | Variables | Availability |
|-------------------------|------------------------------|----------------------------|---|--|--|---------------------------------------|
| Meteonorm | Worldwide MeteoSources | Monthly | 1'700 Terr. stations Interpolations | 1960-1991 averages V 6.0: 1995-2005 (optional) | GlobH Temp. Wind Others | Software For pay |
| Meteonorm | Worldwide | Hourly | Synthetic generation | idem | GHI, DHI, TA WindVel | Software For pay |
| Satellight | Europe | Hourly | Any pixel of about 5x7 km ² | 5 years 1996-2000 | GlobH no temper. | Web free |
| US TMY2/3 | USA | Hourly | NREL, 1020 stations Typical Meteo Years | 1991-2005 (samples) | GHI, DHI, TA WindVel | Web free |
| EPW | Canada | Hourly | CWEC, 72 stations Typical Meteo Years | 1953-1995 (samples) | GHI, DHI, TA WindVel | Web free |
| ISM-EMPA | Switzerland | Hourly | 22 stations Design Ref. Years | 1981-1990 (samples) | GHI, DHI, TA WindVel | Included in PVsyst |
| Helioclim - 3 (SoDa) | Europe Africa | Hourly | Meteosat | from 02/2004 => today | GlobH no temper. | Web For pay 2005 free |
| SolarGIS (Geomodel) | Worldwide | Hourly | Meteosat, ERA | 1994 - today | GHI, DHI, TA | For pay |
| 3Tiers | Worldwide | Hourly | Satellites Spectroradiometer MODIS | 1998 - today | GHI, DHI DNI available no temper. | For pay |
| NASA-SSE | Worldwide | Monthly | Satellites 1°x1° cells (111 km) | 1983-1993 averages | GlobH Temp | Web free |
| WRDC | Worldwide | Hourly Daily Monthly | 1195 stations | 1964-1993 (each) | GlobH no temper. | Web free |
| PVGIS-ESRA "Classic" | Europe Africa S-W Asia | Monthly | Europe: 566 stations Interp. 1x1 km ² | 1981-1990 averages | GHI, DHI, TA | Web free |
| | | | Africa: Meteosat (Helioclim-1 database) | 1985-2004 | Linke turbidity | |
| PVGIS "Climate SAF" | Europe + Afr. 0° - 58° N | Monthly | Meteosat and EUMETSAT, 3x3 km ² | 1998 - 2010 | GHI, DHI, TA Linke turbidity | Web free |
| Helioclim - 1 (SoDa) | Europe Africa | Monthly | Meteosat 50x50 km ² | 1985-2005 (each year) | GlobH no temper. | Web For pay 1985-89 free |
| RETScreen | Worldwide | Monthly | Compil. 20 sources incl. WRDC - NASA | 1961-1990 (averages) | GlobH, TA WindVel | Software, free |

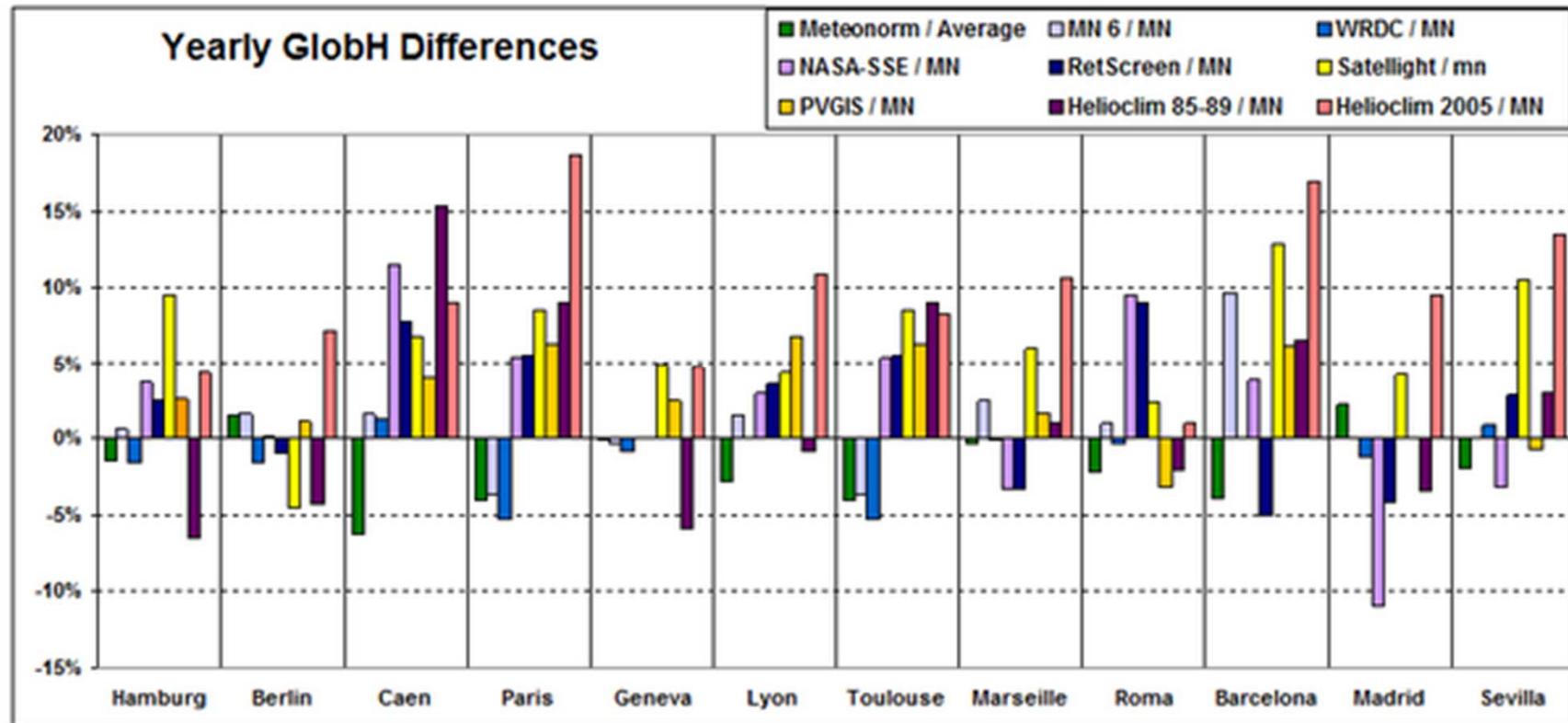
Observerte forløp



Observerte forløp



Meteorologisk data kilder – eksempel solstråling



6. 3 Surface heat transfer coefficients

Følgende verdier iht EN ISO 6946 skal brukes:

- a) Konvektiv overflaten varmeoverføringskoeffisient
 - ytre overflate $h_c = 17,5 \text{ W / (m}^2\cdot\text{K)}$
 - indre overflate lende oppvarming eller ingen-kjøling komponent $h_c = 2,5 \text{ W / (m}^2\cdot\text{K)}$
 - indre overflaten av kjølings- eller oppvarmingskomponenten:
 - Vertikal
 - horisontal (varmestrømmen oppover)
 - horisontal (varmestrømmen nedover)
- b) Langbølgestrålingen varmeoverføringskoeffisient (til himmelen og omgivelser)
 - indre overflaten
 - ytre overflaten

6.4 Solar distribution

- Solar to air factor fsa
- Solar loss factor flf
- Solar distribution factor fdf

| Gulv | Vertikal vegg | himling | vindu |
|-------|---------------|---------|-------|
| Af/At | Awa/At | Ac/At | 0 |

med

$$At = Af + Awa + Ac$$

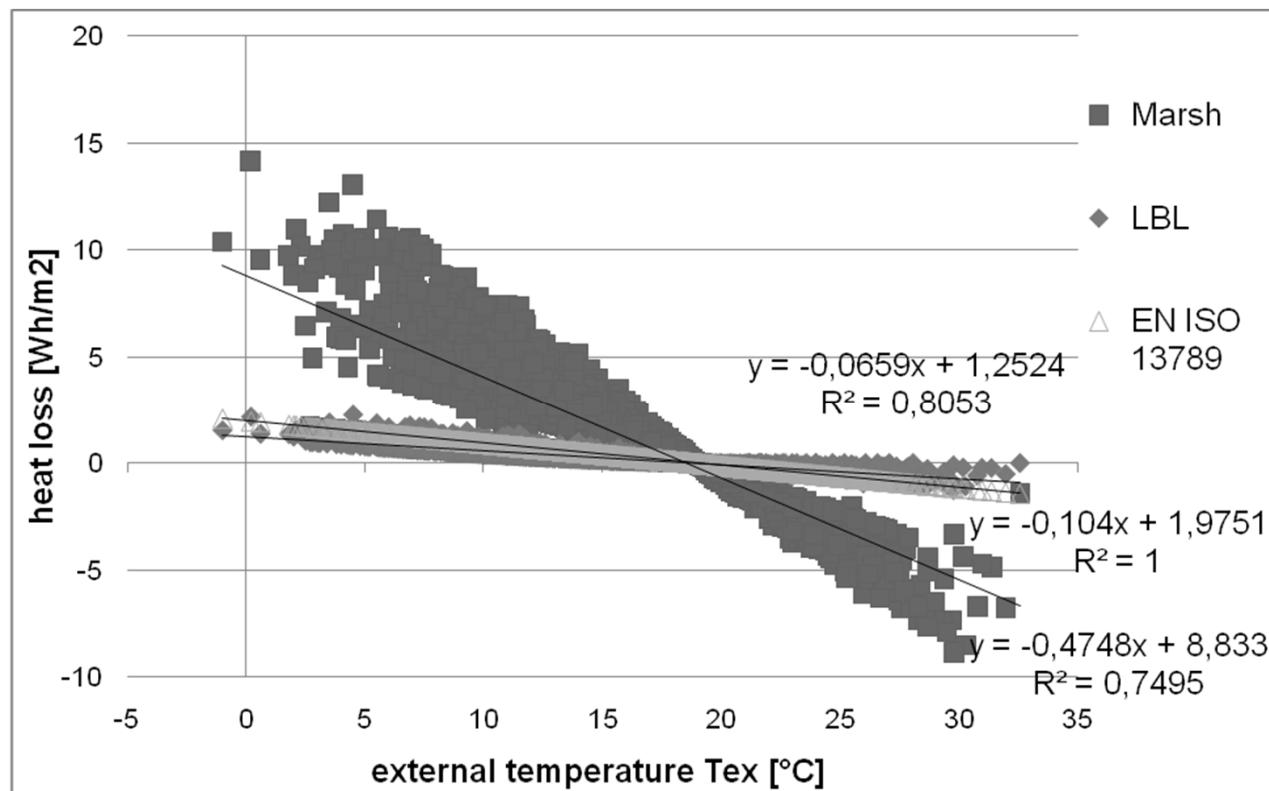
6.5 Air ventilation and air infiltration

- 6.5.1 General
- 6.5.2 Infiltration
 - I valideringstests er infiltrasjon sett til 0.
 - Avhengig av infiltrasjonsmodellen kan varmetap varierer mellom 9 og 52 kWh/(m² år) for en bygning med $n_{50} = 1,5 \text{ h}^{-1}$ og mellom 3 og 32 kWh/(m² år) for en bygning med $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$.
 - Sammenligning:
 - Marsh (ecotect)
 - LBL
 - EN ISO 13789

Haase and Wigenstad, Infiltration models and heat loss implications in office buildings, Roomvent 2011, Trondheim

Infiltrasjonstap

Varmetap over ekstern temperatur for ulike modeller
(case 1 med $n_{50} = 1.5 \text{ h}^{-1}$)



Haase and Wigenstad, Infiltration models and heat loss implications in office buildings, Roomvent 2011, Trondheim

6.5 Air ventilation and air infiltration

- 6.5.1 General
- 6.5.2 Infiltration
- 6.5.3 Ventilation
 - I **valideringstests** brukes
 - Ventilasjonsluft er innført for friskluft til brukerne.
 - I ventilasjonsanlegget kan gis friskluft direkte utenfra (ekstern luftventilasjon) eller ved å håndtere sentralt.
 - For ekstern luftventilasjon er tilført lufttemperatur utelufttemperaturen.
 - For tilført luft behandlet i et sentralt system blir lufttemperaturen fastsatt i henhold til egenskapene til systemet (NS EN 15241 og NS EN 15242).

6.6 Internal load

- For beregning av interne laster bør inndata omfatte konvektiv og strålingsdelen av varmefluks fra belysning, folk, utstyr.
- Den konvektive delen av energien som stråler ut fra de interne kilder påvirker umiddelbart luften.
- Den strålingsdelen påvirker operativ temperatur etter at det har blitt absorbert av vegg, gulv og møbler, og har varmet de til en temperatur som er høyere enn lufttemperaturen.
- Denne absorberte energien som lagres av massen bidrar til oppvarming eller kjøling etter en tidsforsinkelse.
- **I valideringstests brukes**
 - internlaster 20 W/m² konvektiv; per areal, fra kl 8:00 til 18:00 på ukedager

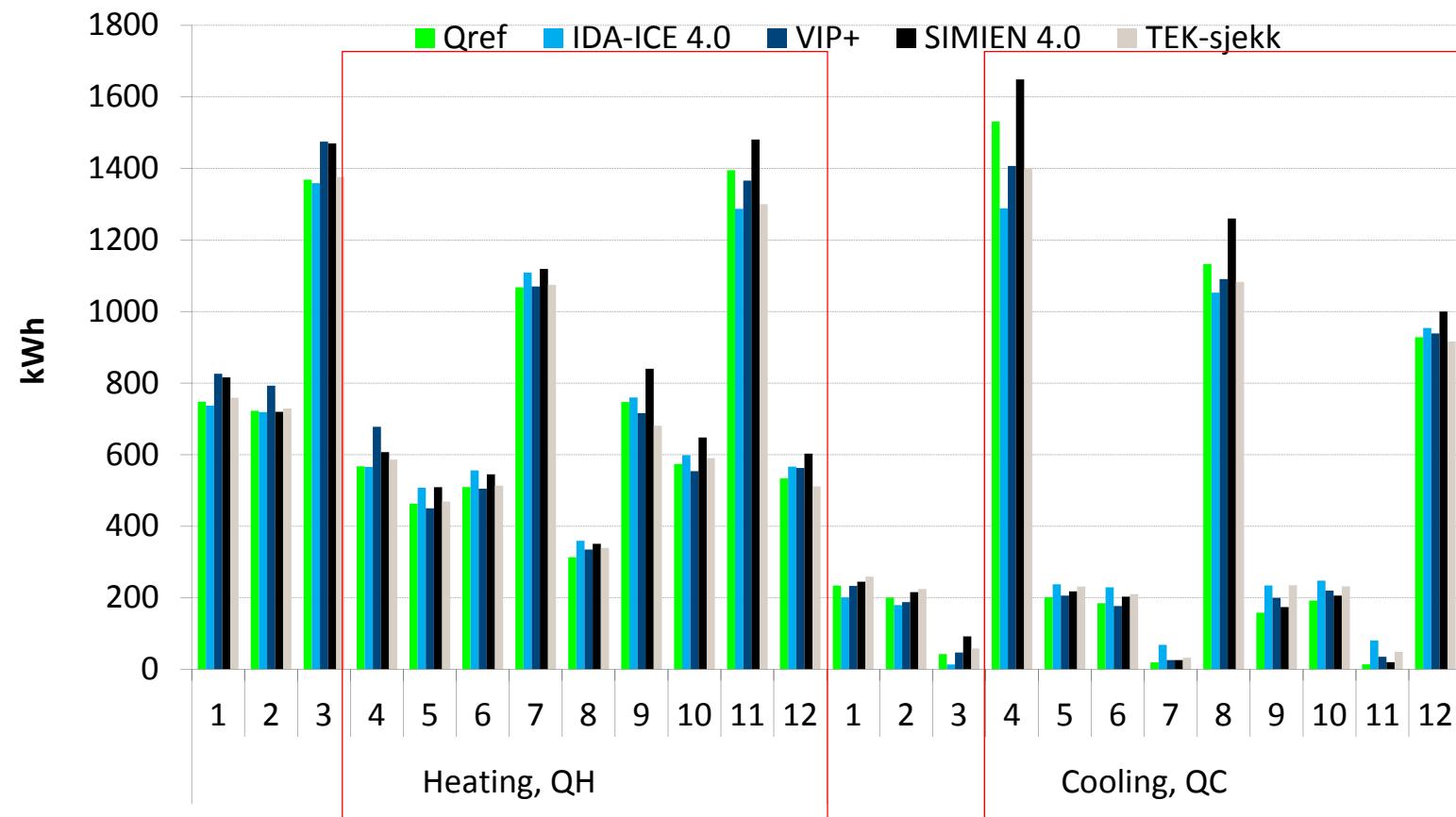
6.8 Heating and cooling system device

- 6.8.1 General
- 6.8.2 Convective device
- 6.8.3 Cooling or heating surface device
- **I valideringstestene brukes:**
 - intermitterende oppvarming og kjøling med ubegrenset effekt
 - oppvarming og kjøling brukt fra kl 08:00 til kl 18:00 fra mandag til fredag

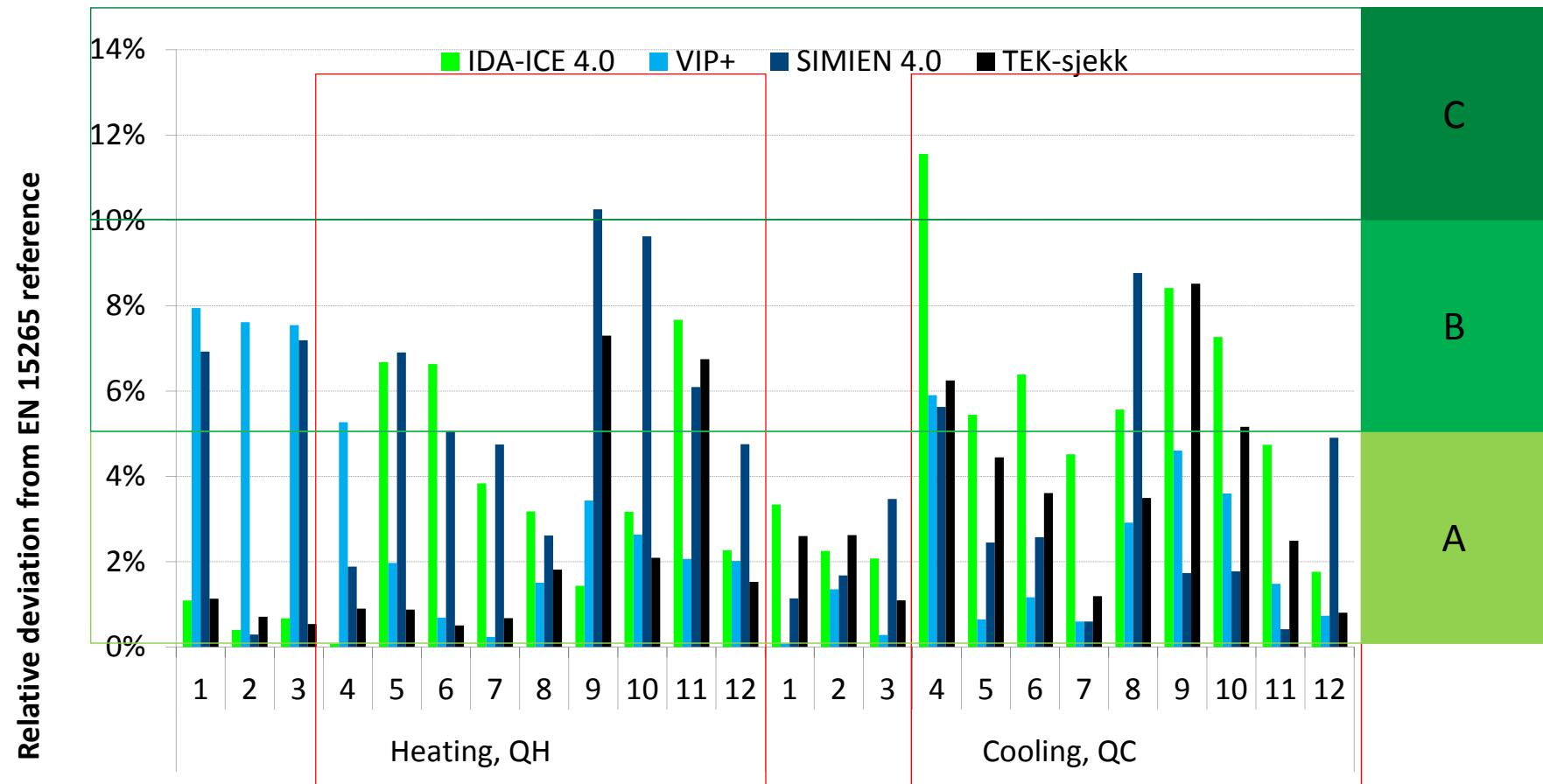
Validering (NS-EN 15265)

- 7 Report of the calculation
 - 8 Validation tests
 - 8.1 General
 - 8.2 Room and components description
 - 8.3 Test cases description
 - 8.3.1 Initial tests
 - 8.3.2 Validation tests
 - 9 Validation criteria and reference results
 - 10 Validation test report
 - 10.1 General
 - 10.2 Input data
 - 10.3 Output results Annex A (normative)
- **Test 1:** reference case
 - **Test 2:** as test 1 + change inertia
 - **Test 3:** as test 1 + no internal gains
 - **Test 4:** as test 1 + no solar protection
 - **Test 5 :** as test 1 + intermittent heating and cooling with unlimited power
Heating and cooling are used only from 08:00 to 18:00 from Monday to Friday
 - **Test 6:** as test 2 + intermittent heating and cooling as for test 5
 - **Test 7:** as test 3 + intermittent heating and cooling as for test 5
 - **Test 8:** as test 4 + intermittent heating and cooling as for test 5
 - **Test 9:** as test 5 + external roof
 - **Test 10:** as test 6 + external roof
 - **Test 11:** as test 7 + external roof
 - **Test 12:** as test 8 + external roof

Validering (NS-EN 15265)



Validering (NS-EN 15265)



Building performance simulation programs

| Problemfokus: | Energi og systemanalyse | | | | | | | | | | | | Numerisk strømningsanalyse | | | Ventilasjonsanalyse | | Solstråling og dagslys | | |
|---|-------------------------|--------|------------|--------------------|-----------|--------|------------|------------|------------|-----|----------|---------------|----------------------------|---------|-------|---------------------|----------|------------------------|--------|--|
| Verktøy: | ESP-r | TRNSYS | EnergyPlus | APACHE | Energy-10 | iBLAST | DOE-2 | BSIM 2002 | SCIAC Pro | IDA | Microflo | Fluent Airpac | CFX | FLOVENT | COMIS | COMTAM | Radiance | ADELINE | Win. 5 | |
| Ventilasjon og luftkvalitet: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bereoning av naturlig ventilasjon | JA | JA-L | JA | JA | NEI | NEI | NEI | JA | JA | JA | JA-L | NEI | NEI | NEI | JA | JA | NEI | NEI | NEI | |
| Generell forurensning/CO ₂ transport | NEI | JA-L | JA | JAL | NEI | NEI | NEI | NEI | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | NEI | NEI | NEI | |
| Fukttransport | JA | NEI | JA | NEI | NEI | NEI | JA | NEI | JA | JA | NEI | NEI | NEI | NEI | JA | JA | NEI | NEI | NEI | |
| Emisjon/adsorpsjon av | NEI | NEI | NEI | JAL | NEI | JA | NEI | NEI | NEI | NEI | JA | NEI | NEI | NEI | NEI | JA | NEI | NEI | NEI | |
| Luft rensing | NEI | NEI | NEI | JAL | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | JA | NEI | NEI | NEI | NEI | JA | NEI | NEI | NEI | |
| Variasjoner i forurensning i sone | JA2 | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | JA3 | JA3 | JA3 | JA3 | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | |
| Numeriske strømningsberegninger | JA2 | NEI | NEI | JAL | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | JA2 | JA3 | JA3 | JA3 | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | |
| Energitransport od varme- og ventilasjonsystem: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Varmebalanse | JA | JA | JA | JA | JA | JA | NEI | JA | JA | JA | JA | JA3 | JA3 | JA3 | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | |
| Konveksjon på indre og vtre flater | JA3 | JA1 | JA2 | NEI | NEI | JA2 | JA1 | NEI | NEI | NEI | JA | JA3 | JA3 | JA3 | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | |
| Elektrisk effekt | JA3 | JA3 | JA3 | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | |
| Transformation av fornybar energi | JA3 | JA3 | JA3 | NEI | NEI | NEI | NEI | JA | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | |
| Nodenettverk for væske | JA | JA | JA | JA | NEI | NEI | NEI | JA | NEI | JA | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | |
| Nodenettverk for luft | JA | JA | JA | JA | NEI | NEI | NEI | NEI | JA3 | JA | JA | NEI | NEI | NEI | NEI | JA | JA | NEI | NEI | |
| Konfigurerbare VV-systemer | JA1 | JA3 | JA2 | JA | NEI | NEI | NEI | NEI | JA1 | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | |
| Systemer for høyttempo stålnosvar | JA2 | JA3 | JA3 | JA | NEI | JA | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | |
| Lavtempo systemer (gulvvarme eld) | JA2 | JA2 | JA3 | JA | NEI | JA | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | |
| Sol og dagslys: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Anisotropisk modell for diff. strålning | JA | JA | JA | JA | JA | NEI | JA | JA | NEI | JA | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | JA3 | JA | NEI | NEI | |
| Dagslyskontroll/solavskjerming | JA2 | NEI | JA3 | JA | JA3 | NEI | JA | JA | JA1 | JA3 | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | JA3 | JA | NEI | |
| Avansert dagslysstyring | JA-L | NEI | JA2 | JA | JA1 | NEI | JA | JA1/JA-L | NEI | JA1 | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | JA3 | JA | NEI | NEI | |
| Avanserte glass/fasadesystemer | JA2 | NEI | JA3 | JA | JA | NEI | JA | JA2 | JA2 | JA2 | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | JA3 | JA | NEI | NEI | |
| Avanserte vindushberegninger | JA2 | JA2 | JA3 | NEI | NEI | NEI | JA | NEI | JA1 | JA1 | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | JA3 | |
| Diverse andre egenskaper: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Integrt simulatør løsning | JA3 | JA3 | JA3 | JA | JA1 | JA | NEI | JA | JA2 | JA3 | JA-L | JA | JA | JA | NEI | NEI | JA-L | NEI | NEI | |
| Var tidssteg for forskj. deler av modell | JA3 | JA3 | JA3 | JA | NEI | NEI | NEI | JA2 | JA3 | JA | JA | JA | JA | JA | NEI | NEI | JA-L | NEI | NEI | |
| Avanserte kontrollsystemer | JA3 | JA3 | JA3 | JA | NEI | NEI | JA | NEI | NEI | JA1 | JA3 | JA-L | JA | JA | NEI | NEI | JA-L | NEI | NEI | |
| Simultant løsning for mange soner | JA3 | JA3 | JA3 | JA | JA1 | JA | JA | JA3 | JA2 | JA3 | JA-L | NEI | NEI | NEI | JA | JA | NEI | NEI | NEI | |
| Egendefinerte inut-funksjoner | NEI | JA3 | JA | NEI | NEI | NEI | | | | | NEI | JA | JA | JA | JA | JA | JA-L | NEI | NEI | |
| Grafisk brukergrensesnitt/CAD | JA2 | JA-L | NEI | JA | JA3 | JA | JA | JA3 | JA2 | JA3 | JA | JA3 | JA3 | JA3 | JA-L | JA3 | NEI | NEI | NEI | |
| Integrt grafisk rapportering | JA2 | JA-L | NEI | JA | JA3 | JA | JA | JA3 | JA2 | JA3 | JA | JA3 | JA3 | JA3 | JA-L | JA2 | NEI | JA | NEI | |
| Tilpasset design av nye bygninger | JA2 | JA-L | JA | JA | JA3 | JA | JA | JA3 | NEI | JA3 | JA | JA3 | NEI | JA3 | NEI | NEI | JA | NEI | NEI | |
| Termisk komfort | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | NEI | JA3 | NEI | JA3 | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | |
| Miljørenskap | NEI | NEI | NEI | JA | NEI | JA | JA | NEI | JA1 | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | |
| Livssyklusrenskap | JA2 | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | JA1 | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | |
| Akustikk | JA | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | |
| Import av modeller fra CAD-verktøy | JA2 | JA-L | JA | JA | NEI | NEI | NEI | JA3 | JA3 | JA1 | JA3 | JA | JA | NEI | JA | NEI | NEI | JA1 | NEI | |
| Kobling til TRNSYS | NEI | | JA | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | JA | NEI | JA1 | NEI | |
| Kobling til Radiance | JA3 | NEI | JA | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | |
| Kobling til ESP-r | | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | JA3 | NEI | NEI | NEI | |
| Kobling til APACHE | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | JA3 | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | |
| Kobling til Microflo | NEI | NEI | NEI | JA | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | |
| Åpen kildekode (Gen. Pub. License) | JA | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | |
| Gratis nedlasting av bruk | JA | NEI | JA | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | NEI | JA1 | JA2 | NEI | NEI | |
| Kjører under windows | JA1 | JA | JA3 | JA2 | JA | JA | JA3 | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | JA | NEI | NEI | |
| Kjører under Linux/Unix | JA3 | NEI | JA | NEI | NEI | NEI | JA | NEI | NEI | NEI | NEI | JA | JA | JA | JA | JA1 | NEI | NEI | NEI | |
| Programmeringsspråk | F77/C | F77 | F90 | VB C++, Visual C++ | F77 | F77 | Visual C++ | Visual C++ | Visual C++ | Tcl | C++, F90 | C | F77 | C | F77 | F77, C | ,Div | | | |

Forklaring: JA=et generelt Ja, JA1=Ja, JA2=Ja, men med enkle modeller og egenskaper, JA3=Ja, med avanserte modeller og egenskaper, JA-L=Ja, men bare gjennom integrert kobling til et annet verktøy.

Wachenfeldt, B. J., Bygningsenergidirektivet og bruk av beregningsverktøy, Nyhetsbrev DKL

Andre valideringer

| Technique | Advantages | Disadvantages |
|---|---|--|
| <i>Empirical</i> Test of model and solution process | <ul style="list-style-type: none">• Approximate truth standard within experimental accuracy• Any level of complexity | <ul style="list-style-type: none">• Experimental uncertainties:<ul style="list-style-type: none">– Instrument calibration, spatial/temporal discretization– Imperfect knowledge/specification of the experimental object (building) being simulated• Detailed measurements of high quality are expensive and time consuming• Only a limited number of test conditions are practical |
| <i>Analytical</i> Test of solution process | <ul style="list-style-type: none">• No input uncertainty• Exact mathematical truth standard for the given model• Inexpensive | <ul style="list-style-type: none">• No test of model validity• Limited to highly constrained cases for which analytical solutions can be derived |
| <i>Comparative</i> Relative test of model and solution process | <ul style="list-style-type: none">• No input uncertainty• Any level of complexity• Many diagnostic comparisons possible• Inexpensive and quick | <ul style="list-style-type: none">• No truth standard |

Neymark and Judkoff, Bestest, Technical Report NREL/TP-550-30152, 2002

Andre valideringer

- Internationalt
- IEA Annex 1 (1977-80)
- IEA Annex 4 (1979-82)
- IEA Task 8
- IEA Annex 10 (1984-86)
- EC Study: various analytical tests
- IEA Annex 21 BESTEST(1988-93)
- EC PASSYS project (1986-93)
- IEA task 34 / ECB Annex 43 Testing and Validation of Building Energy Simulation Tools (2003-2007)
- National (UK)
- SERC (now EPSRC) validation project (completed 1988)
- Applicability Study I
- BRE/EdF validation projects

TEK-sjekk



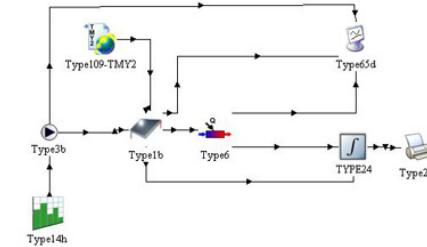
- TEK-sjekk er fortsatt et nytt og ukjent simuleringsprogram, med et stigende antall brukere og helt ulik andre avanserte beregningsprogrammer.
- Utviklingsfilosofien var å utvikle en "ulv i fårekjær", dvs. et mest mulig avansert simuleringsprogram skjult bak et enklest mulig brukergrensesnitt.
- På denne måten blir avanserte beregninger tilgjengelig for brukere som tidligere ikke kunnet gjøre energiberegninger.
- Inndata er oversiktlig (dvs. brukeren kan se all inndata i en skjermbilde) og utformet for å kunne bli raskt brukt.
- BIM-import funksjonen (gbXML, Sketchup) er avansert men enkel i bruk.

Simien



- Simien er en dynamisk bygning simuleringsprogram som er videreutviklet fra SCIAQ
- Innlemmer den norske beregningsprosedyren NS3031
 - Når bygningen evalueres er det fire punkter som sammenlignes mot kravene i forskriften:
 - **Energitiltak** Glassareal, U-verdier, kuldebroer, lekkasjetall, vifteeffekt og virkningsgrad varmegjennvinne
 - **Varmetapsbudsjett** Transmisjonstap bygningskropp, varmetap infiltrasjon og ventilasjon
 - **Energiramme** Netto årlig energibehov beregnet med Oslo-klima og endel faste verdier
 - **Minstekrav** Absolutte minstekrav for U-verdier og lekkasjetall

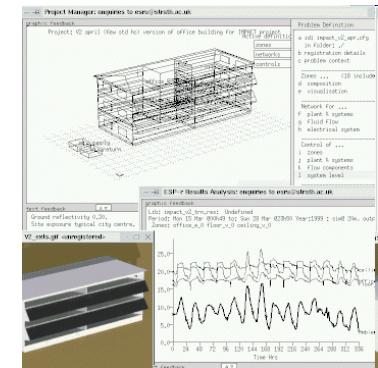
Trnsys



- Tilbyr muligheten for å beskrive en sone og utføre varmeberegninger balanse.
- Ved en ytre overflate, er langbølget stråling og konvektiv varmeveksling fraskilt og den absorberete solstrålingen er gjort rede for.
- En detaljert beskrivelse av motstanden beregningsmetode er tilgjengelig fra (Voit et al., 1994).
- Langbølget strålingsutveksling på den ytre overflate er ansett eksplisitt ved hjelp av et fiktivt sky temperatur, T_{Sky} , som er en inngang til TYPE 56 modell og en vis faktor til himmelen, f_{sky} , for hver ytre overflate.

Voit, P., Lechner, T. & Schuler, M. (1994) Common EC validation procedure for dynamic building simulation programs – application with TRNSYS. *Conference of international simulation societies*. Zurich.

Esp-r



- Esp-r er basert på et finite volum, bevaringstilnærming der et problem (spesifisert i form av geometri, bygging, drift, lekkasje fordeling) er forvandlet til et sett av bevaringsligninger (for energi, masse, momentum, etc.) som er så integrert under påfølgende tidsskritt som svar på klima, beboer og kontrollsistem påvirkninger (ESRU, 2007).
- ESP-r har vært under utvikling i mer enn 30 år, og har gjennomgått en rekke tester.
- En oppsummering av alle valideringstester kan bli funnet i Strachan (2000).

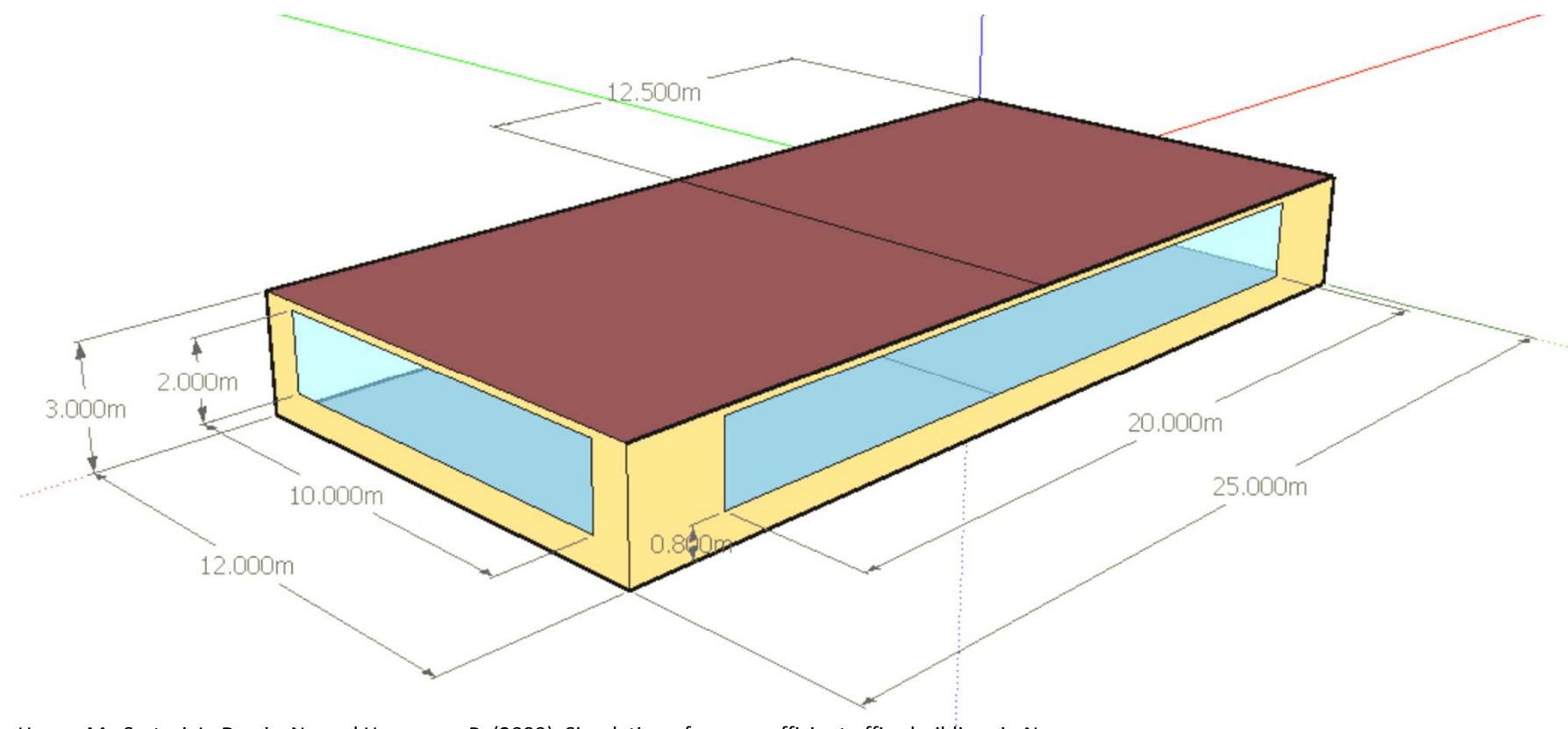
Strachan P. (2000), ESP-r: Summary of Validation Studies, ESRU Technical Report, Glasgow, UK
<http://www.esru.strath.ac.uk/Documents/validation.pdf>



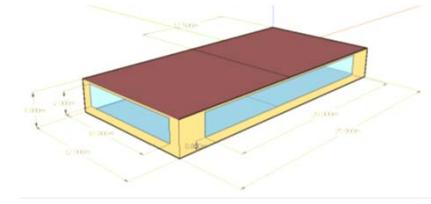
EnergyPlus

- EnergyPlus er et integrert simuleringsverktøy. Dette betyr at alle de tre hoveddeler, bygg, system, og anlegget må løses samtidig.
- Løsningen begynner med en sone varmebalanse som oppdaterer soneforhold og bestemmer oppvarming / kjøling laster i alle tidsstegene.
- Denne informasjonen blir overført til luftbehandlingssimulering for å bestemme systemresponsen; men denne responsen ikke påvirker soneforhold .
- Det gjør det mulig å spesifisere interne varmetilskudd omfattet av konvektive, strålende og latente varmelaster.

Modellen



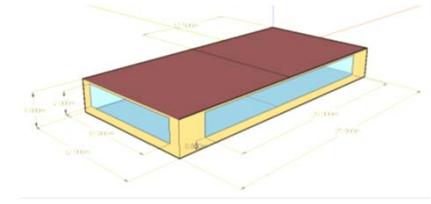
Haase, M., Sartori, I., Druric, N., and Høseggen, R. (2009), Simulation of energy-efficient office buildings in Norway, Proceedings of Building Simulation conference (BS2009), Strathclyde, U.K.



Modellen

- Veggene har isolasjon i den ytre (200 mm mineralull) deretter betong (200 mm) og deretter gipsplater som vender mot det indre av rommet (19 mm).
- Alle tak består av 200mm eksponert betong for halvparten av arealet, mens den andre halvparten har dekket av 50mm mineralull å representere lydabsorbenter taket.
- Vindu tre ruter, 3mm klart glass (en med lav-e belegg) + 13 mm argon [ingen ramme]
 - U-verdi: 1,2 W / m²K; innglassing Faktor: 1; g-verdi: 0,58; synlig transmisjon: 0.7
 - Solskjerming system: persienner, utvendig, lys farge, automatisk (lukkes når stråling på vinduet > 200W /m²)

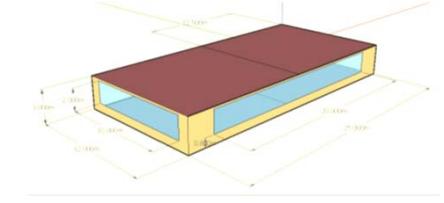
Haase, M., Sartori, I., Druric, N., and Høseggen, R. (2009), Simulation of energy-efficient office buildings in Norway, Proceedings of Building Simulation conference (BS2009), Strathclyde, U.K.



Interntlaster

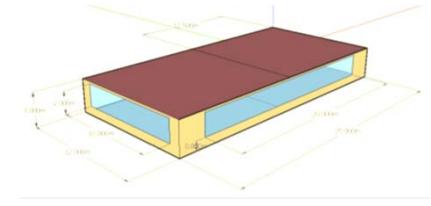
- personbelastning = 0.1 person/m² (sittende = 108 W/pers (1.0 Met), vanlig kontor klær (1 CLO))
- belysning = 8 W/m²; utstyr = 11 W/m²
- Infiltrasjon = 0.1 ach ($\Rightarrow n_{50} = 1,5\text{h}^{-1}$)
- oppvarmingssettspunkt operativ temperatur 21 ° C i løpet av driftstiden (19 ° C utenfor driftstiden)
- kjølingssettspunkt operativ temperatur 24 ° C (off utenfor driftstimer)

Haase, M., Sartori, I., Druric, N., and Høseggen, R. (2009), Simulation of energy-efficient office buildings in Norway, Proceedings of Building Simulation conference (BS2009), Strathclyde, U.K.

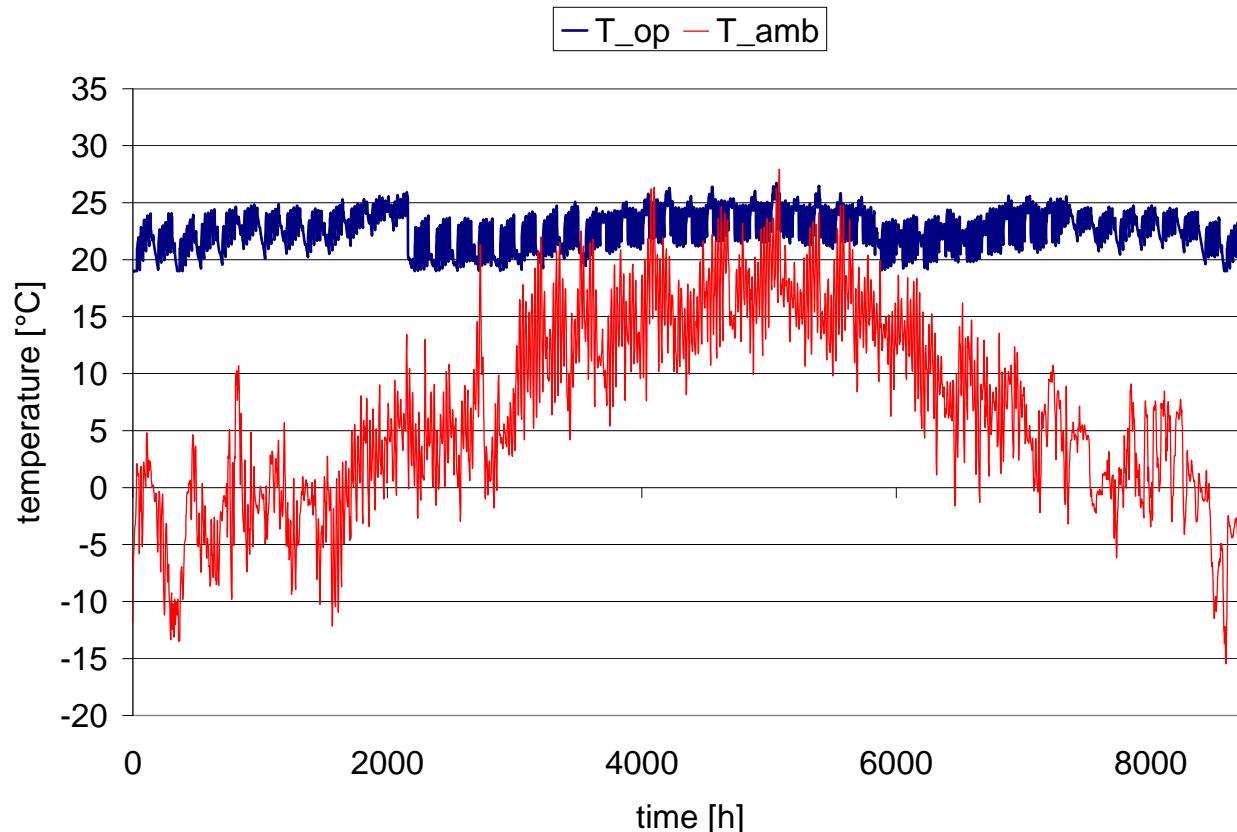


HVAC (ventilasjon) system

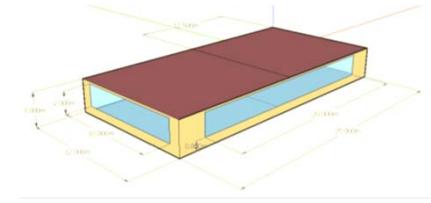
- Minimum 7,0 m³ / hm²; maksimum 12,0 m³ / hm²
- Throttling Range = 0 ° C (E + begrensning)
- Driftstiden: kl 06:00 til kl 20:00
- HVAC system type = VAV Ventilasjon
- Tilluftstemperatur = 19 ° C Nov-Mar; 18 ° C Apr-mai + Sep-Oct; 17 ° C jun-aug
- Oppvarmings- og kjølebatteriene alltid i stand til å tilfredsstille lasten (= ubegrenst effekt, men av om natten og i helgene)
- Natt ventilasjon hvis Innendørs temp > 21 ° C og utendørs delta-T = 2 ° C, maks 12,0 m³ / m²h
- SFP = 2 kW / (m³ / s) på dagsid, en nighttime; SFP er beregnet for nominell Q (70%) = 8.4 m³ / m²h; SPP = 0,6 kW / (l / s)
- Oppvarming og kjøling
 - Driftstimer 0700 hr til 1900 hr (oppvarming OFF fra mai til september)



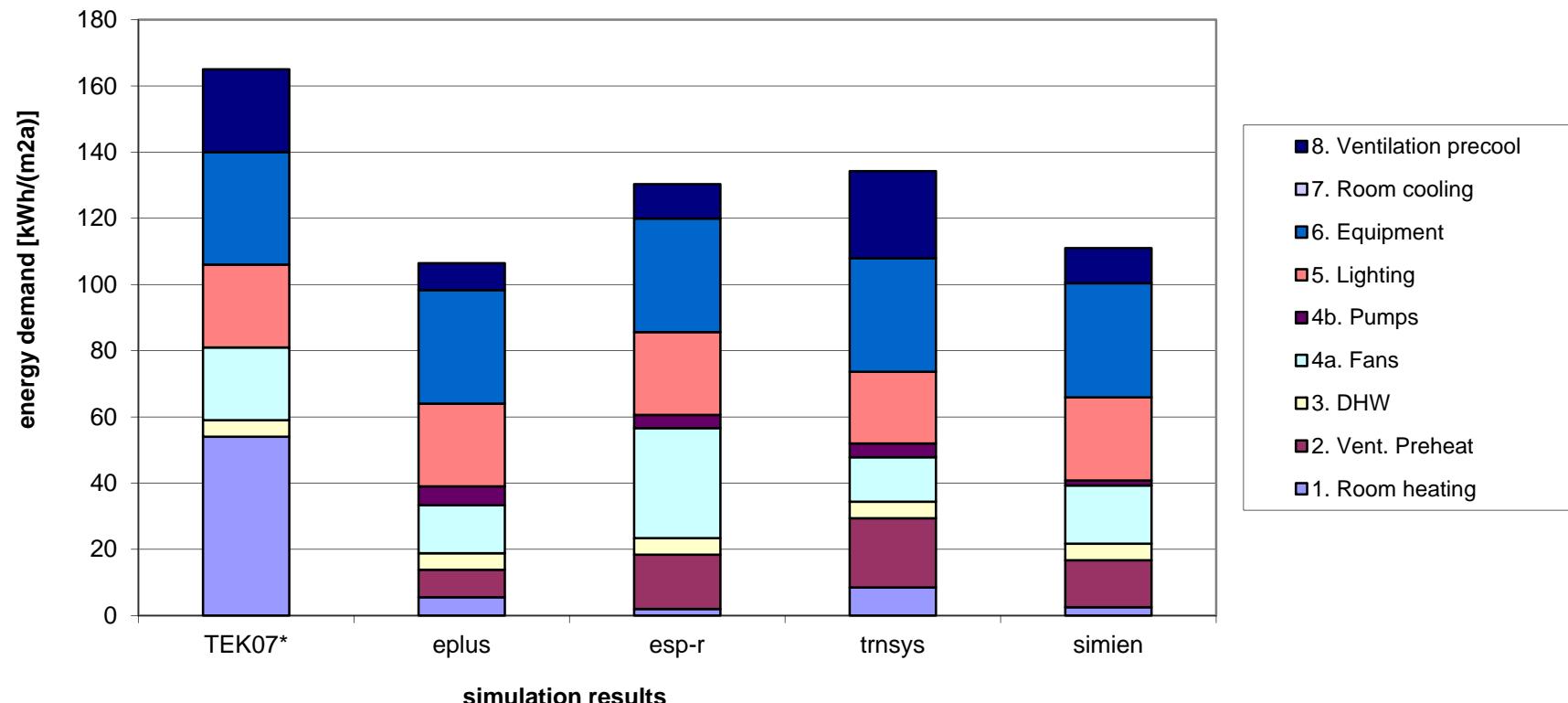
Temperatur



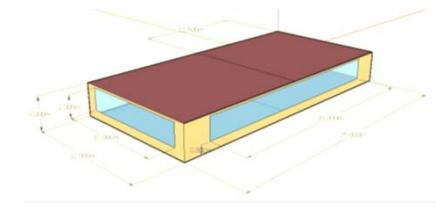
Haase, M., Sartori, I., Druric, N., and Høseggen, R. (2009), Simulation of energy-efficient office buildings in Norway, Proceedings of Building Simulation conference (BS2009), Strathclyde, U.K.



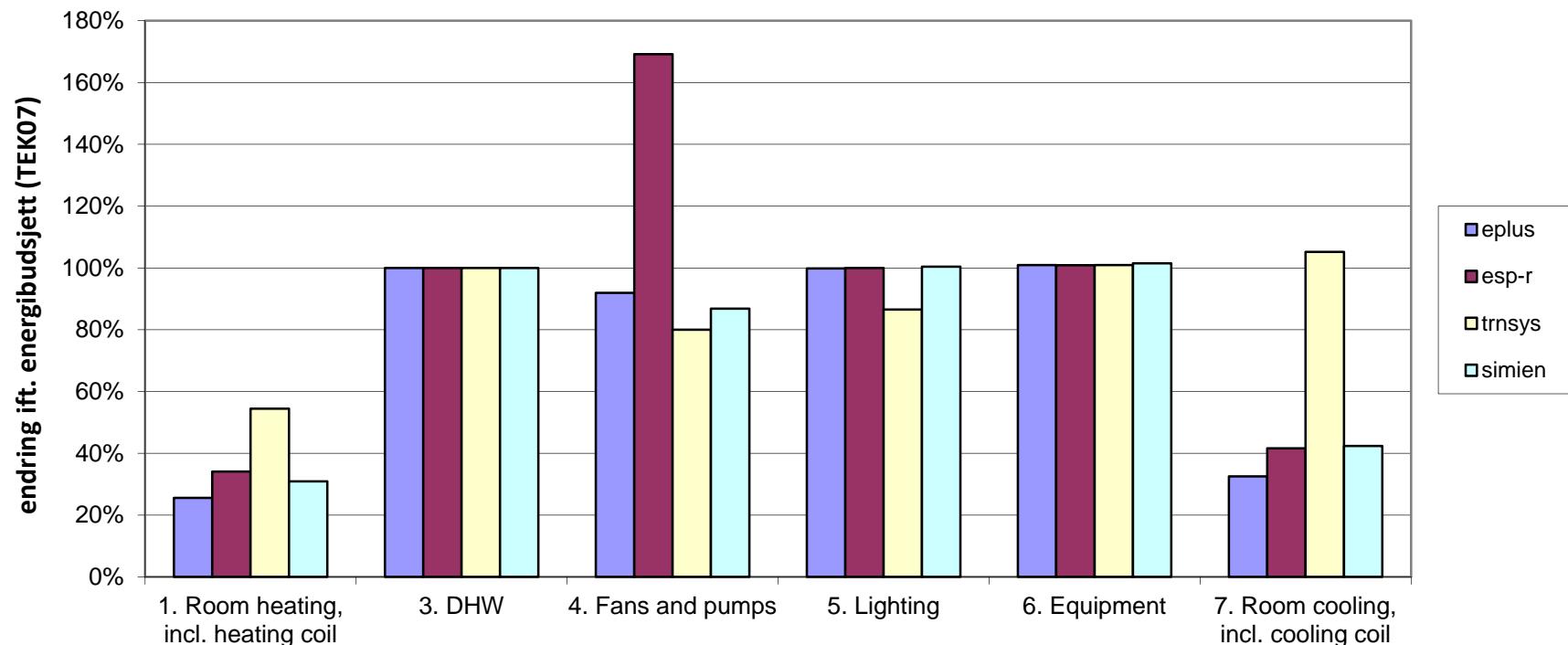
Resultater - energibehov

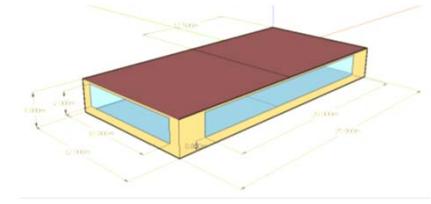


Haase, M., Sartori, I., Druric, N., and Høseggen, R. (2009), Simulation of energy-efficient office buildings in Norway, Proceedings of Building Simulation conference (BS2009), Strathclyde, U.K.

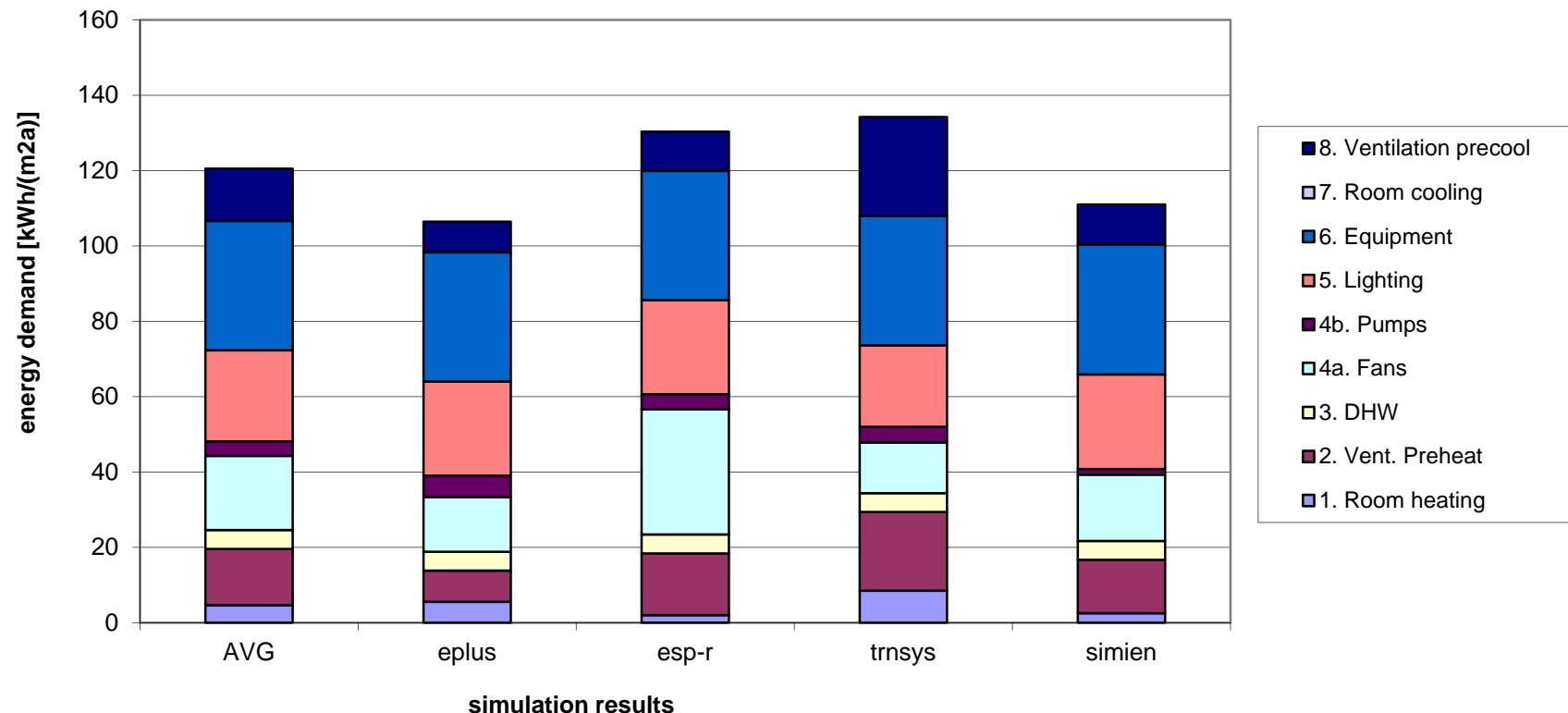


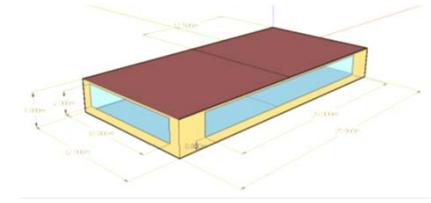
Resultater – relativt til energibudsjett



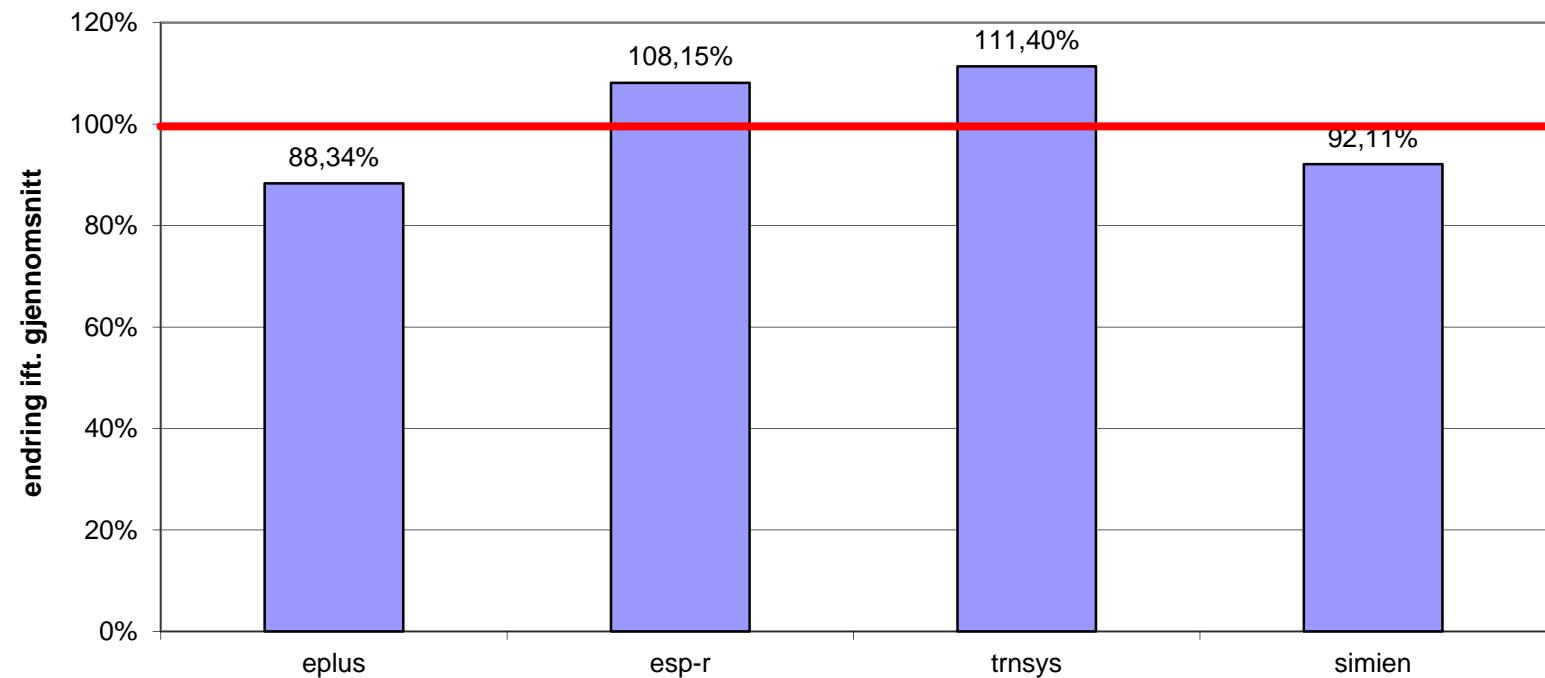


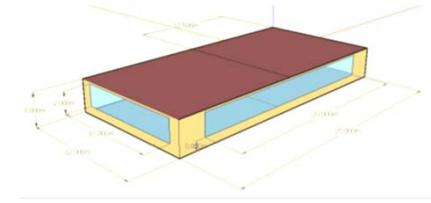
Resultater – energibehov (gjenomsnitt)



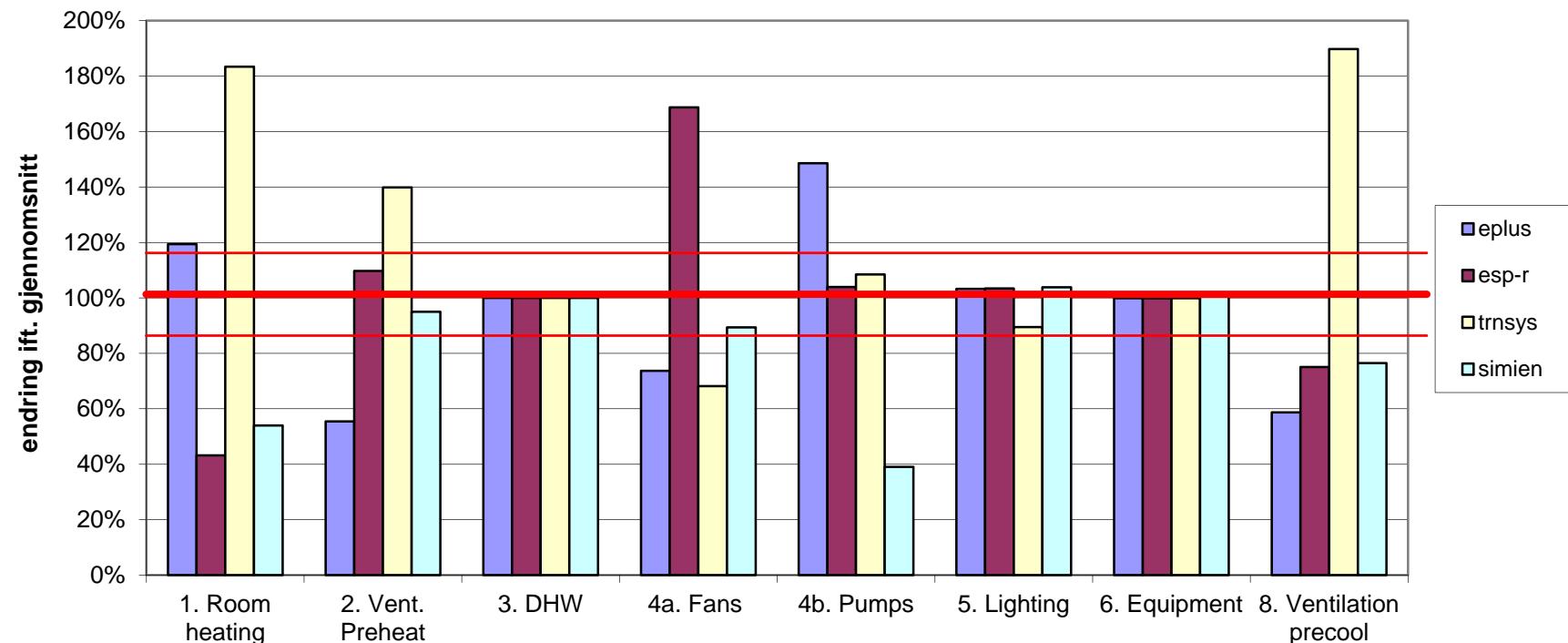


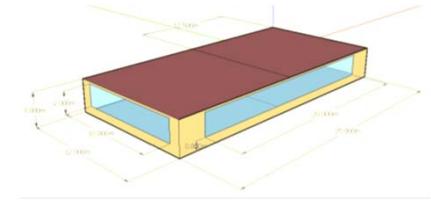
Resultater – mot gjennomsnitt



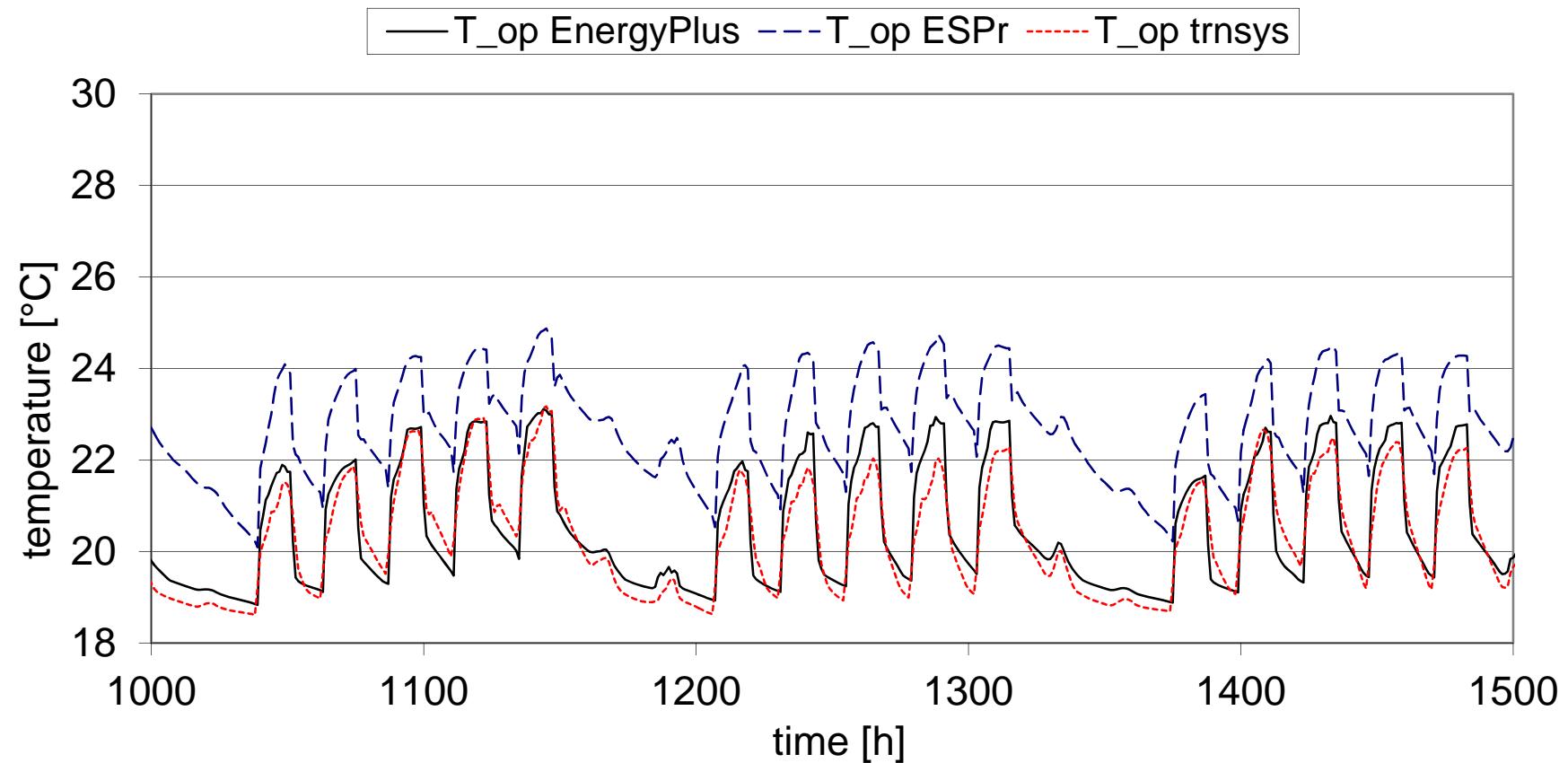


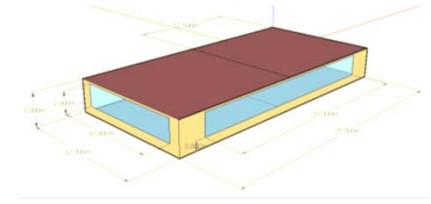
Resultater – per energipost



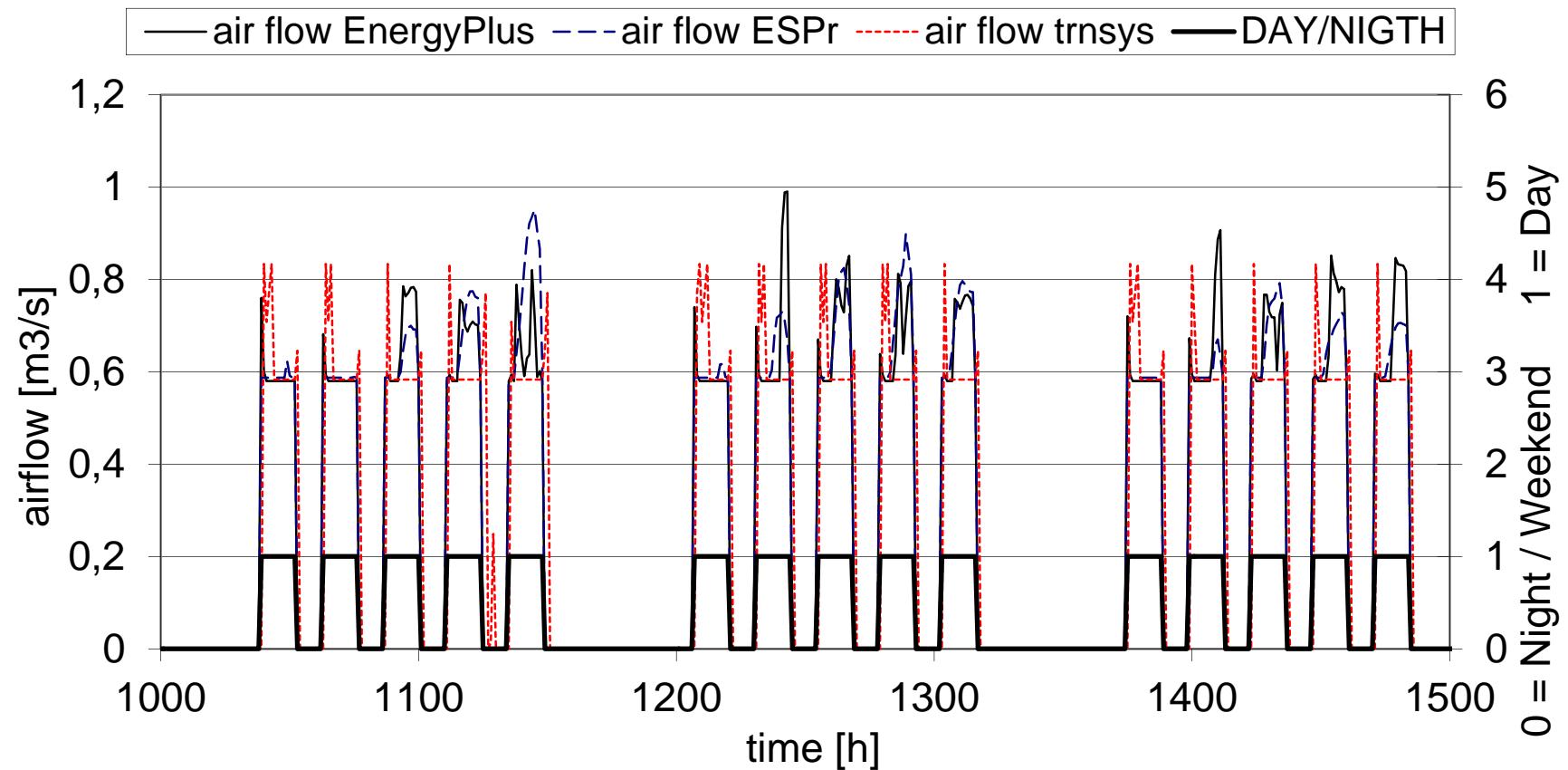


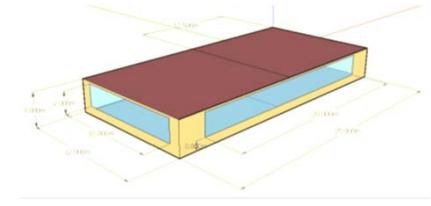
Resultater – operative temperatur



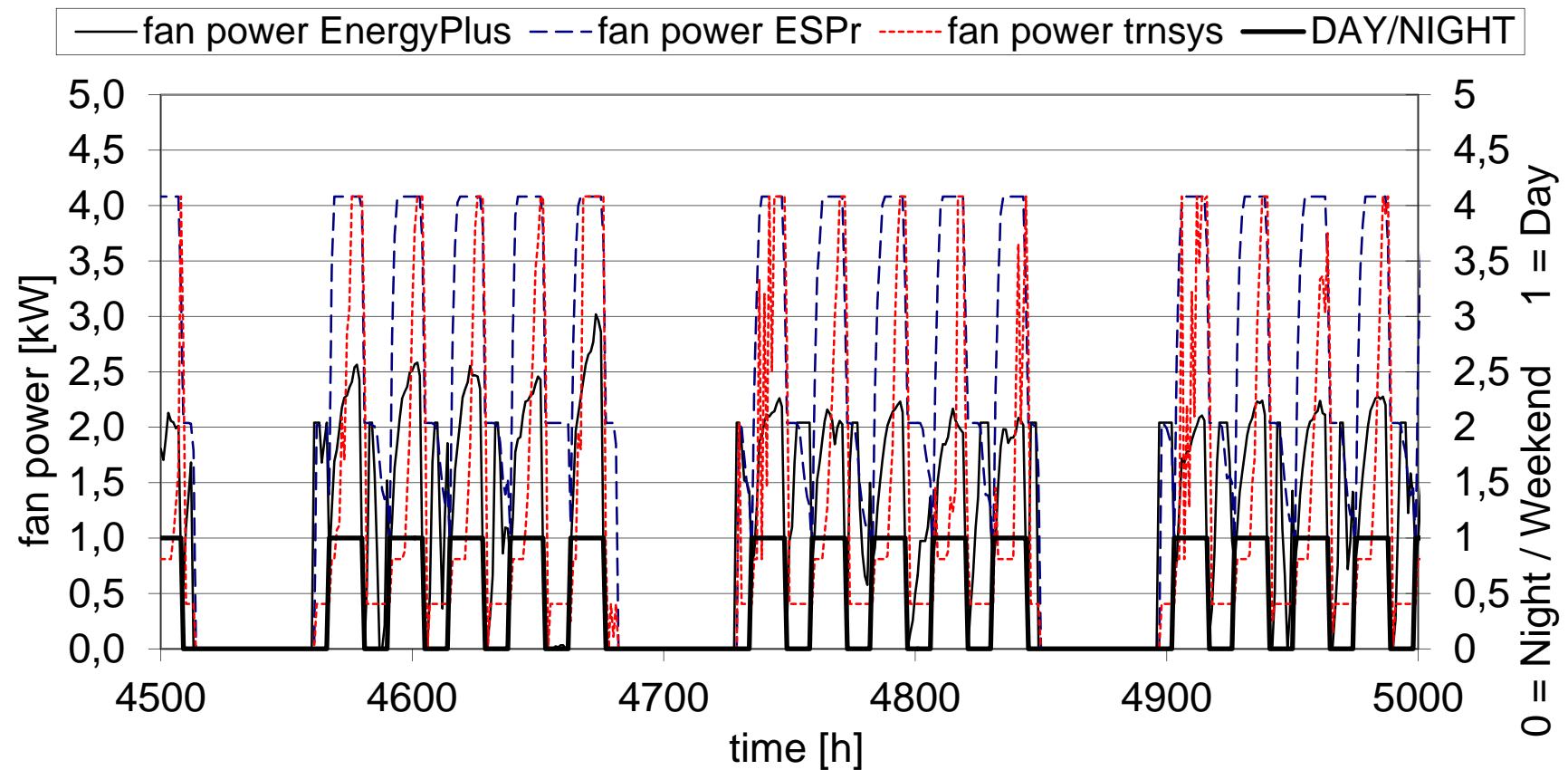


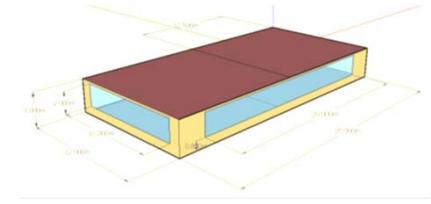
Resultater - luftmengder





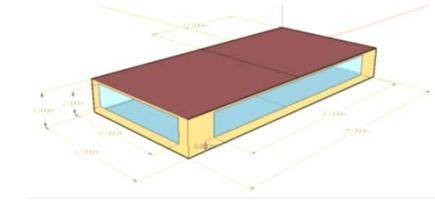
Resultater – vifte effekt





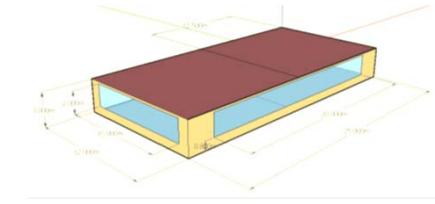
Overoppheeting (timer p. år)

| | eplus | esp-r | trnsys | simien |
|---------------|-------|-------|--------|--------|
| >26 | 0 | 38 | 0 | 2 |
| >25 | 3 | 401 | 47 | 39 |
| >24 | 543 | 1809 | 769 | 464 |
| >23 | 1895 | 3283 | 1884 | 1685 |
| >22 | 2664 | 4181 | 2395 | 2014 |



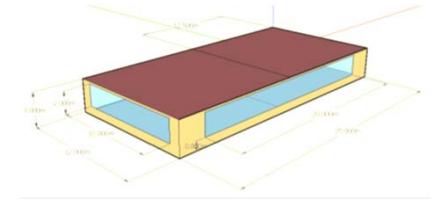
Konklusjoner

- Internlaster fra folk, siden E + bruker den totale verdien, sensible + latent som et innspill og deretter beregner automatisk sensible delen. Her ble det klart at sensible varmelaster var mye lavere enn inngangsverdien.
- Energiforbruk fra pumpen for kjøling ble beregnet på samme måte i alle programmer, men det ble beregnet ved hjelp av altfor mange driftstimer.
- Det kan sees at E + forvarmingsbehovet er det laveste, selv om luftstrømmen om vinteren er lik de andre eller eventuelt litt høyere. Varmegjenvinning med konstant virkningsgrad på 70% må kontrolleres.



Konklusjoner

- Byggekonstruksjoner: T_{op} er mer stabil på E+.
- På den annen side synker E + T_{op} raskere om natten. Dette kan være på grunn av en feil i uteluften mikser som tvunget til å bruke et annet objekt for nattventilasjon (i stedet for å bytte på det virkelige ventilasjonssystem).
- Dette er en forenklet gjenstand som brukes i E + , her er temp.økning i viften bare proporsjonal. Det er viktig å sammenligne viftens delta T om natten for alle simuleringssprogrammer.
- Når man analyserer kjølebatteriet ble bare de sensible laster vurdert. Dette ville i det minste gjøre det lettere å sammenligne resultatene.



Konklusjoner

- Ytterligere detaljerte simuleringer og analyser er nødvendig for å få mer tillit i simulatingsresultatene.
- De ytterligere analysene kan bidra til å forklare forskjellene i resultatene.
- En validering med måledata fra ulike case-studier er på vei. Før dette er gjort, er det svært vanskelig å utvikle designstrategier som inneholder disse problemene.
- Det store antallet usikre inndataparameteren blir imidlertid en utfordring.



Diskusjon

Det store antallet usikre inndataparameterne og forenklingene i modellen blir en utfordring:

- åpne rom er ansett som en lukket plass avgrenset av innkapslede elementer;
- lufttemperaturen i hele rommet er ikke den samme (stratifikasjon);
- termiske egenskapene til noen materialer er ikke konstant og isotrop;
- konvektive varmeoverføringskoeffisienter kan bli ganske dynamisk;
- varmeledning gjennom hvert rom element er tre-dimensjonal og deres overflater er ofte ikke isoterm;
- kuldebroer er ikke riktig representert (lineære, uten termisk treghet);
- fordelingen av solstrålingen på de indre overflatene av komponentene i sonen er dynamisk;



Diskusjon

Utfordringer:

- fordelingen av strålingsdel av varmefluks på grunn av interne kilder er ulik på indre flater av de omsluttende delene av rommet;
- langbølgede strålings- og konvektive varmeoverføringer på den indre overflaten av hvert komponent trenges separate behandling ;
- vinkelavhengigheten av transmisjonsegenskaper til glass;
- det er ikke tatt hensyn til ekstern (bevegelig) solavskjerming;
- varmeoverføringen gjennom første etasje (inkludert gulv-vegg-forbindelser) blir ofte forenklet (i vert fall ikke behandlet i henhold til den dynamiske beregningsprosedyren gitt i NS-EN ISO 13370).
- andre ting



Diskusjon

- Tidligere validering av datasimuleringer har ikke etablert feilen som kunne assosieres med disse simuleringene, og heller ikke har disse studiene indikert signifikante parameterspenner.
- Sammenlignende studier viser at store forskjeller kan eksistere mellom state-of-the-art simuleringer, selv for en veldig enkel passiv solenergibygning.
- Analytiske studier beviser at komponenten ledningsmekanismen er nøyaktig behandlet (med unntak), noe som indikerer forskjellene mellom simuleringene er fra andre mekanismer som ikke er så lett modelleres, slik som stråling og konveksjon.
- Empiriske studier bør
 - måle viktige inngangsparameter,
 - forplante feil for å definere total problem usikkerhet,
 - løse potensielle kompenserende feil med detaljert data på ulike system nivåer.



Diskusjon

- Simuleringsverktøy har mange fordeler.
- Valideringsprosedyren er viktig og må være det første steget.
- Validerings- og godkjenningsprosesser er viktig og nødvendig. Mer arbeid trenges.
- Inndata må beskrives nøyaktig.
- Funksjoner av simuleringsverktøy som går ut over det som forutsettes I NS EN 15265 må vurderes separat.
- **Hvem vurderer slike verktøy?**
- **Hvem koordinerer sammenligningsarbeid?**
- **Hvem godkjenner simuleringsverktøy?**
 - Internasjonalt?
 - Nasjonalt?

www.IBPSA-Nordic.org

Join the global community

