

Report Title: Miljøvennlig bolig-ventilasjon. Sammenligning av klimagass-utslipp med naturlig- og balansert ventilasjon.	Date: 3-06-2012	
	Number of pages (incl. appendices): 71	
	Master Thesis	Project Work

Name: Vegard Heide

Professor in charge/supervisor: Matthias Haase

Abstract

Global warming due to increased emissions of CO₂ has led to more focus on decreasing energy consumption and greenhouse gas emissions caused by buildings. In Norway balanced ventilation with heat recovery is the most recommended solution for a low-emission building. However, a minority claims that a naturally ventilated house can be equally sustainable.

To find out more about which concept is more sustainable, a model building with natural ventilation is compared to the same building with balanced ventilation in several cases. These are calculated in the computer-program SIMIEN, mainly with Oslo-climate. A sensitivity analysis of several parameters is also done.

The calculations indicate that the total greenhouse gas emissions in a lifetime perspective from a house with natural ventilation can be as low as from a house with balanced ventilation. A typical Norwegian passive house heated with electricity seems to have higher greenhouse gas emissions than a naturally ventilated house with 50% of the space heating covered by biofuel.

A naturally ventilated house with pre-heating of air in a earth heat exchanger, and reduced air change rate at daytime when people are out, can have equally low global warming potential as a typical passive house, when both have electric heating.

This indicates that natural ventilation, especially in a concept with wood-pellets, or district heating, can achieve very low total greenhouse gas emissions.

Keywords:

1. Natural ventilation
2. Balanced ventilation
3. Passive house

Innhold

Sammendrag / abstract

1. Innledning

2. Problemstilling 4

3. Avgrensing og omfang 5

4. Naturlig / balansert ventilasjon 6

4.1. Luftfuktighet 7

4.2. Emisjon fra materialer og innbo 7

4.3. CO2 8

5. Andre studier energiforbruk og klimagass-utslipp 9

5.1. Marsh og Lauring 9

5.2. Steen Jensen et al. 9

5.3. Nyman og Simonson 10

5.4. Gustavsson og Joelsson 10

5.5. Blom et al 12

5.6. Dodoo et al 14

5.7. Krus et al 14

6. Klimabelastning fra selve ventilasjonsanlegget 16

6.1. Annet arbeid embodied energy ventilasjonsanlegg 17

7. Case-studie 18

7.1. Detaljer naturlig ventilasjon 18

7.2. Ulike case 18

7.3. Sensitivitetsanalyser 19

7.4. Simuleringer 19

7.5. Modell-hus 20

7.6. Noen sentrale konstante inndata 20

8. Forutsetninger og parametre 21

8.1. Lavere innetemperatur akseptert i naturlig ventilerte bygninger. 21

8.2. Lavere akseptabel innetemperatur pga høyere luftfuktighet. . 22

8.3. Forvarming av inntaksluft i vinduer 22

8.4. Forvarming av inntaksluft i kulvert 23

8.5. Redusert oppholdstid 25

8.6. Sove med åpent vindu 25

8.7. Virkningsgrad varmegjenvinning 26

8.7.1. Energiforbruk

8.7.2. Systemgrense

8.7.3. Tidsperspektiv

8.8. Aggregatets reelle temperatur-virkningsgrad. 28

8.9. Kjøkkenvifte 29

8.10. Sentralstøvsuger 29

8.11. Energitap i fukt tilført innelufta. 29

8.12. Reell virkningsgrad for simulering 31

8.13. CO2-faktorer 31

9. Resultater	33
9.1. Klima	35
9.2. CO2-faktorer	36
9.3. Virkningsgrad gjenvinner	37
9.4. Reduserte luftmengder.	38
10. Drøfting	39
10.1. Komponent-utslipp liten betydning?	39
10.2. Biobrensel / el-oppvarming	40
10.3. Klima	40
10.4. CO2-faktor for el-kraft	40
10.5. Redusert driftstid på ventilasjonen	40
10.6. Redusert luftskifte	40
10.7. Åpent vindu soverom	41
10.8. Neste 20-30 år viktigst?	41
10.9. Tap med fukt tilført innelufta	41
10.10. Forvarming ved naturlig ventilasjon	41
10.11. Usikkerhet / feilkilder	42
11. Konklusjon	43
11.1. Videre arbeid	43
12. Referanser	44
Vedlegg	48
1. Tap med fukt tilført innelufta	
Fuktproduksjon i enebolig	
% latent varmetilførsel	
Fuktproduksjon	
2. Sammendrag resultater fra simulering	49
Sensitivitets-analyse virkningsgrad	
Sensitivitets-analyse redusert luftskiftet	
3. Input-data fra GAEA, Beregning av varmeutbytte kulvert	50
4. Output-filer fra simuleringer i SIMIEN	52
Case B1e	
Case N3e	

1. Innledning

Global oppvarming på grunn av økte utslipp av CO₂ og andre drivhusgasser har ført til økt fokus på å redusere miljøbelastningen fra menneskelig aktivitet. I bygg-sektoren gjøres det et stort arbeid med utvikling av ny teknologi og ulike løsninger for å redusere energiforbruk og klimagass-utslipp. Når det gjelder ventilasjon har jeg fått inntrykk av at:

-De fleste i det «etablerte» bygg-faglige miljøet i Norge hevder at et bygg må ha balansert ventilasjon med varmegjenvinning for å ha lav miljøbelastning.

-Opposisjonen (Gaia-arkitekter, Torkel Andersson, Rob Marsh, Howard Liddell, m.fl.) mener man kan få mer miljøvennlige bygg uten balansert ventilasjon med varmegjenvinning.

Hvem har rett?

I det jeg har observert av offentlig debatt om disse problemstillingene har det vært en tendens til å snakke forbi hverandre, og i begrensa grad tilbakevise motpartens argumenter på en presis og detaljert måte.

På denne bakgrunn fikk jeg et ønske om å få mer oversikt over denne problemstillinga, og eventuelt finne noen svar på hvilke løsninger som er de mest bærekraftige.

Global warming due to increased emissions of CO₂ has lead to more focus on decreasing energy consumption and greenhouse gas emissions caused by buildings. In Norway balanced ventilation with heat recovery is the most recommended solution for a low-emission building. However, a minority claims that a naturally ventilated house can be equally sustainable.

To find out more about which concept is more sustainable, a model building with natural ventilation is compared to the same building with balanced ventilation in several cases. These are calculated in the computer-program SIMIEN, mainly with Oslo-climate. A sensitivity analysis of several parameters is also done.

The calculations indicate that the total greenhouse gas emissions in a lifetime perspective from a house with natural ventilation can be as low as from a house with balanced ventilation. A typical Norwegian passive house heated with electricity seems to have higher greenhouse gas emissions than a naturally ventilated house with 50% of the space heating covered by biofuel.

A naturally ventilated house with pre-heating of air in a earth heat exchanger, and reduced air change rate at daytime when people are out, can have equally low global warming potential as a typical passive house, when both have electric heating.

This indicates that natural ventilation, especially in a concept with wood-pellets, or district heating can achieve very low total greenhouse gas emissions.

2. Problemstilling

Kan et bolighus med naturlig ventilasjon ha like lave klimagassutslipp som et med balansert ventilasjon med varmegjenvinning?

På bakgrunn av dette hoved-spørsmålet dukker det opp nye spørsmål:

Hvordan kommer et naturlig ventilert hus (økohus/aktivhus?) ut totalt sett i forhold til klimagassutslipp?

Kan større varmetap fra luftskiftet bli oppveid av mindre strømforbruk til vifter, lavere temperatur, mindre grå utslipp, sonedeling osv?

Er den reelle gevinsten fra en luft-luft varmegjenvinner så stor som oppgitte virkningsgrader gir inntrykk av?

Underlig nok brukes betegnelsen passivhus på et superisolert hus med mekanisk balansert ventilasjon med varmegjenvinning, mens et hus med temmelig lik bygningskropp, med en ventilasjons-strategi som utnytter mer passive prinsipper, gjerne kalles aktivhus!

Noe av formålet med oppgaven er å forsøke å kaste mer lys over / finne ut av om det er passivhus eller aktivhus som er representere veien videre mot bærekraftige hus, eller om kanskje begge veier har mye for seg, avhengig av brukernes preferanser.

3. Avgrensing og omfang

Studien er begrensa til å bare analysere situasjonen i eneboliger. Den teoretiske modellen av en bolig avspeiler ikke nødvendigvis reelle forhold med begrensninger gitt av tomt, økonomi eller andre forhold.

Jeg gjør beregninger i med hus isolert på passivhus-nivå eller oppunder det, etter mitt skjønn det eneste bærekraftige i et kaldt klima i vår tid.

Hovedfokus er på det energimessige regnskapet omkring ventilasjon, jeg og går i liten grad inn på problemstillinger som kald-trekk, temperaturfordeling, regulering av luftmengder, lufthastigheter o.l. Jeg forutsetter at anlegg for naturlig ventilasjon kan lages, justeres og driftes på en tilfredsstillende måte, og går ikke inn på detaljer i utforminga av dette.

Etter mitt skjønn består utfordringene i:

- få stort nok luftskifte i vindstille. Spesielt 1-etasjes hus kan være en utfordring pga. Mindre termisk oppdrift.

- unngå ubehagelig kaldtrekk i de kaldeste periodene

- unngå for stort luftskifte i sterk vind

- få jevn luftfordeling i huset

- god styring fra brukere

Jeg har selv de siste ti åra bodd i et hus med svært enkel naturlig ventilasjon, med sentral avtrekkskanal (andre-løp i skorstein) og spalteventiler i toppen av vinduskarmene (130 m² BRA, 4 personer, lekkasjetall på 4 oms/t ved 50 Pa). Dette fungerer godt, men krever at vi som brukere regulerer ventilene etter vind- og temperaturforhold. Vi opplever ikke sjenerende kaldtrekk i kalde perioder, men derimot i sterk vind, og stenger da ventiler. Jeg har målt CO₂-innholdet i innelufta i kalde perioder, og det varierer sterkt, men er for det meste under 1000 ppm. Er alle beboerne samla i et mindre rom går CO₂-innholdet godt over 1000 ppm, og vi føler behov for ekstra ventilering, evt. åpner dør til resten av huset.

Det er fullt mulig å lage langt mer sofistikerte systemer, med ventiler som kompenserer for endringer i drivtrykk (ved vind), motordrevne spjeld og ventiler som styres av fukt-, temperatur- eller CO₂-sensorer, eller fukt- eller temperaturstyrte ikke-motoriserte ventiler. Slike systemer avhenger mindre av brukernes kunnskap og egenaktivitet, men vil heller ikke utvikle dette. Sol- og vindkrefter kan også utnyttes aktivt og målretta for å skape større eller mindre drivkrefter.

Kaldtrekk fra luftinntak kan være et problem på steder med svært kald vinter, men blir vesentlig redusert med forvarming av luft i kulvert eller ventilerte vindu. Å redusere luftskiftet i kalde perioder er også en strategi, men spørsmålet er om man da får fjerna helseskadelige stoffer effektivt nok.

Marsh og Lauring (2003) beregna en temperaturstigning av inntakslufta i ventilerte vindu på 2,5 – 6° C ved 0° ute, avhengig av sol eller ikke. Ved lavere ute-temp blir det større temperatur-stigning. I passivhuset NorONE er det målt temperaturendring i kulvert fra -26,7 opp til -0,8°C (Klinski et al 2012).

4. Naturlig / balansert ventilasjon

Naturlig ventilasjon:

Fordeler:

- mindre (ikke) støy
- ikke el-forbruk til vifter
- liten investering (både klima- og krone-messig)
- lettere å unngå overoppheting uten mekanisk kjøling
- større bruker-involvering (ikke nødvendigvis)

Ulemper:

- mindre kontroll med luftmengder
- passer dårligere til varmegjenvinning

Balansert ventilasjon:

Fordeler:

- varmegjenvinning
- sikrer stort luftskifte
- enkelt å filtrere luft
- krever ikke involvering og kunnskap av beboerne (drifting av profesjonelle)

Ulemper

- krever filter-skift og reinhold av kanaler
- mer støy
- mulighet for forurensing i kanaler
- større investering (både klima- og krone-messig)

Torkel Andersson, i DeltaT, i Gøteborg uttaler at i et konvensjonelt konstant luftmengde-anlegg er det opplagt fornuftig med varmegjenvinner. Men:

- om vi tilpasser luftmengdene (variabelt) til de nødvendige mengdene har vi spart 60%.
 - om vi bruker lav-emitterende materialer kan vi redusere luftmengdene og spare enda mer
 - om vi buker materialer med fuktbuffer-evne kan vi redusere luftmengdene og spare enda mer.
- Da er luftmengden blitt så liten at det ikke er verdt å ha en varmegjenvinner fordi den vil:

- øke mottrykket og dermed viftenes energiforbruk
- øke investeringskostnadene
- kreve masse ekstra kanaler (som både koster, øker mottrykket, krever mer renhold og vedlikehold)

To forhold har ført til at det er vanlig med så stort luftskifte at innelufta blir svært tørr om vinteren:

En forestilling om at det er viktig (helsemessig?) med CO₂ under 1000 ppm.

Et ønske om å ha stort luftskifte for å fjerne forurensning fra materialer, innbo og mikrobiell aktivitet.

Enkelte hevder at det er meget uheldig med så tørr inneluft, og mener vi bør redusere luftskiftet i kalde perioder.

For at det skal være forsvarlig med en slik alternativ strategi, er det nødvendig med materialer og innbo som har liten emisjon av helsemessig skadelige stoffer.

I denne oppgaven har jeg ikke hovedfokus på en slik strategi med reduserte luftmengder, men har valgt å bruke luftmengder gitt i det generelle kravet i TEK10 om minimum 1,2 m³/m²*h for boliger i bruk.

4.1. Luftfuktighet

Studier har vist en klar sammenheng mellom fukt i bygninger og helseplager. Det kan være fukt i bygningskonstruksjonen som følge av nedbør, lekkasje, fukt fra grunnen eller innebygd fukt. Høy luftfuktighet i huset kan også føre til for mye fukt i konstruksjonen, men bare om det er vesentlige mangler på vind- og dampetting. Høy luftfuktighet kan også medføre kondens med påfølgende mikrobiell vekst, på kalde innvendige flater, som vinduer, kuldebroer og bak møbler (stillestående luft).

På passivhus-nivå skal dette i liten grad være noe problem fordi svært gode isolasjonsverdier og reduserte kuldebroer medfører høyere overflatetemperaturer ved yttervegger, noe som igjen reduserer faren for muggvekst og annen mikrobiell aktivitet. Uansett er det en fordel med overflater med en viss «hygroskopisk masse» som kan bidra til å jevne ut fluktasjoner og unngå fuktige overflater.

Høy luftfuktighet over tid kan gi bedre forhold for husstøv-midd, men det virker som det ikke er klart hvilke verdier som kan gi problemer.

Ifølge SBI i Danmark bør RH være under 45% i en måned pr år, da husstøv-midd dør når RH kommer under det. Ifølge Arundel (1986) blir det lite midd med Rh under 50%.

Målinger og simuleringer (fra bl.a Larsen 2012) viser at det er på seinsommer og tidlig høst at RH er høyest. I en naturlig ventilert bolig er det enkelt å ha rikelig luftskifte uten økt energiforbruk, siden ute-temperaturen er så høy på denne tida.

Det største problemet i forhold til luftfuktighet er imidlertid for tørr luft om vinteren, og spesielt i de kaldeste periodene. Flere målinger har vist RH på mellom 20 og 30% i lange perioder, og helt ned på 15% i kalde perioder (Larsen et al 2012, Klinski et al 2012).

Det varierer i hvilke grad tørr luft blir fokusert på som et helseproblem, men ifølge Arundel (1986) er optimal luftfuktighet for å unngå sykdom (optimal helsemessig) mellom 40% og 60% Rh.

Schild (2002) skriver «Dessuten må luftfuktigheten ikke overskride 40%RH om vinteren og 50%RH resten av året». Men han grunngir ikke dette nærmere.

ASHRAE Standard 55 «Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy» anbefaler relativ luftfuktighet mellom 30 og 60%, helst under 50%.

ISO 7730 anbefaler mellom 30 og 70% RH.

NS-EN 15251 anbefaler:	Kategori	RH
	I	30-50%
	II	25-60%
	III	20-70%

Så hva er ønska luftfuktighet? Det ser ut som om det avhenger av om vi legger mest vekt på ulempene med uttørking av slimhinner, økt infeksjonsfare, og mer svevestøv i tørr luft (over 40%Rh), eller om vi er mest opptatt av å unngå gode forhold for husstøv-midd (under 45% (50%) Rh).

Skal vi få høyere luftfuktighet om vinteren må vi enten redusere luftmengdene, bruke mer hygroskopiske materialer, senke innetemperaturen eller fukte til-lufta.

4.2. Emisjon fra materialer og innbo

Det har vært økende oppmerksomhet om emisjon av helseskadelige stoff fra bygningsmaterialer, og med god grunn: Det er svært urasjonelt å først ta en mengde skadelige stoff inn i huset, og derfor være nødt til å bruke store luftmengder (og energi) for å transportere dem ut igjen. Det er mye mer effektivt å la være å dra uhumskhetene inn i utgangspunktet. På dette punktet hadde det vært mulig

å skaffe mer kunnskap, og vært mye strengere med tillatt innhold av forurensende stoff i bygningsmaterialer og innbo.
Større luftskifte for å fjerne emisjoner er en del av grunnen til tørr inneluft om vinteren.

Münzenberg og Thumulla (2003) målte en del skadelige stoffer også i passivhus der det hadde vært lagt vekt på reduksjon av skadelige stoffer ved valg av materialer. Nivåene sank til akseptabel nivå i løpet av få måneder, og de konkluderer med at stort luftskifte (som balansert ventilasjon sikrer) er viktig for å oppnå dette.

4.3. CO₂ (lett å måle, men ikke det vi trenger å vite).

I flere rapporter (bla Thomsen 2012) brukes ofte begrepet luftkvalitet synonymt med CO₂-innhold, det refereres bl.a. at det var lav luftkvalitet i 81% av tida, dvs at kravet om CO₂-innhold var over en viss grenseverdi. Det henvises til Max Josef von Pettenkofer, som i 1858 anbefalte at CO₂-konsentrasjone i rom ikke bør være over 1000 ppm. Institutt for folkehelse, og Arbeidstilsynet i Norge anbefaler dette som øvre grenseverdi i dag. Den tyske standarden DIN 1946 har en grenseverdi på 1500 ppm.

Så små konsentrasjoner av CO₂ har ingen helsemessig betydning, og de helsemessige maksimumsverdiene for CO₂ er 9-18 ganger høyere: (Roaldkvam 1997)

-9 000 ppm, ubåt, 90 dager. US Navy

-18 000 ppm, romskip, 3-6 måneder. NASA

Imidlertid kan CO₂-innholdet være en indikator på at lufta ikke er «ny», noe som kan bety at den har opptatt mer forurensing. Dessuten er det et klart sammenfall mellom høyt CO₂-innhold og opplevd lukt av «brukt luft».

Det er egentlig litt paradoksalt at vi ikke måler, og snakker om, det som har direkte betydning for helse: soppsporer kjemikalier, fin-støv osv. Problemet er at disse er vanskeligere å måle, bl.a fordi det er så veldig mange ulike.

5. Andre studier energiforbruk og klimagass-utslipp

Det er gjort en rekke studier av effekten av balansert ventilasjon med varmegjenvinning men de aller fleste av disse vurderer bare bygningens netto energibehov eller forbruk. Den gjennomgående konklusjonen er at i kaldt klima, kan MVHR redusere boligens netto energibehov. Noen arbeider har også vurdert dette ut fra primærenergi-behov, Co2-utslipp og miljøbelastning generelt.

Jeg har bare funnet noen ganske få som har sammenligna miljøbelastninga fra balansert ventilasjon med varmegjenvinning, og naturlig ventilasjon (evt. avtrekksventilasjon).

5.1. Marsh og Lauring (2003) simulerte både energiforbruk, lufttilførsel og inneklime med naturlig ventilasjon, avtrekksventilasjon og balansert ventilasjon. Dette ble gjort i 2 modell-hus i dansk klima. De simulerte også lufttilførsel og luftfuktighet i de enkelte rom avhengig av variasjon i vind og ute-temperatur. De kom til at det totale CO₂-utslipp fra driftsfasen var temmelig likt med naturlig ventilasjon og balansert ventilasjon. Med ventilerte vinduer kom naturlig ventilasjon aller best ut, uten det, litt dårligere enn balansert. Her var ikke grå utslipp (fra selve ventilasjonsanlegget) tatt i betraktning.

5.2. Jensen et al (2003) lagde en kalkyle over typiske ventilasjonsanlegg etter danske forhold, som en del av et arbeid med tanke på forbedring av varmegjenvinnere. Her er det brukt en co₂-faktor som 3-dobler el-behovet i forhold til varmebehovet: « Det erindres at energibehovet er summen af varmebehovene plus 3 gange summen af el-behovene».

De peker på at naturlig ventilasjon står forholdsvis sterkt i dette regnskapet, siden det ikke går med strøm til vifter. De eksisterende ventilasjons-aggregat på markedet med kryssvarmeveksler har problemer med å konkurrere med naturlig ventilasjon. Derfor er de opptatt av å få utvikla mer effektive motstrøms-vekslere med lavt trykkfall. De nevner at det fins roterende veksler med temperatur-virkningsgrad helt opp i 85%, men at de har ulemper med lekkasje mellom luftstrømmene, og dessuten ekstra el-forbruk for å drive rotoren rundt.

Ventilationstype	Elforbrug [MJ/(m ² ·år)]	Varmeforbrug [MJ/(m ² ·år)]	CO ₂ – udledning [kg/(m ² ·år)]
Naturlig ventilation		162	7,3
Kun mekanisk udsug	5	164	8,2
Krydsveksler med el eftervarmeflade	105		19,1
Krydsveksler med vand eftervarmeflade	22	83	7,7
Modstrømsveksler ^[1]	22	26	5,2
Nyt optimeret skitse ag- gregat + opt. Kanalsy- stem ^[2]	7	18	3,2

Fig 1. El-behov, varmebehov og CO₂-utslipp fra ulike ventilasjonssystem. Fra (Jensen et al 2003).

De fant også overraskende stor lekkasje fra utluft til innluft. «Den primære årsag til den interne lækage var utætheder i by-pass spjældet og varmeveksler-indbygningen»

5.3. Nyman og Simonson (2005) kalkulerte miljøbelastninga fra mekanisk avtrekksventilasjon, og balansert ventilasjon med varmegjenvinning for en typisk finsk enebolig med Helsinki-klima. De fant at mer enn 99% av klimagassutslippene kommer fra driftsfasen, altså at utslipp knytt til produksjon av ventilasjonsanlegget har svært liten betydning.

Det ser imidlertid ikke ut som om materialer til ekstra ventilasjonskanaler ved balansert ventilasjon er tatt med i beregningene. Levetiden på ventilasjonsanlegget var regna til 50 år, unntatt viftemotorene der levetida var satt til 25 år. Transport i forbindelse med bygging og service/vedlikehold, og heller ikke utslipp fra forbrenning/deponi var regna inn. Dessuten er ikke selve produksjonen av motorer, varmevekslere og elektriske komponenter tatt med. Dette kan være noe av forklaringa på den lave kalkulerte utslippene utenom driftsfasen.

Dessuten ser det ut til at de har regna med gjenvunnet varme, isteden for nyttbar gjenvunnet varme. I et hus isolert på passivhus-nivå, vil interne tilskudd og tilskudd fra sol, redusere den nyttbare andelen av gjenvunnet energi. Ihvertfall er figur 2 misvisende: det grå-skraverte området gir ikke et riktig bilde av oppvarmingsbehovet forårsaka av ventilasjon. Tilskuddet fra sol er ikke konstant over året, men øker gradvis mot enden av oppvarmingsperioden (mindre grått areal). Dessuten er det totalt oppvarmingsbehov som er den interessante størrelsen (inkludert transmisjonstap), og som avgjør hvor stor andel av «brutto gjenvunnet varme» som kommer til nytte.

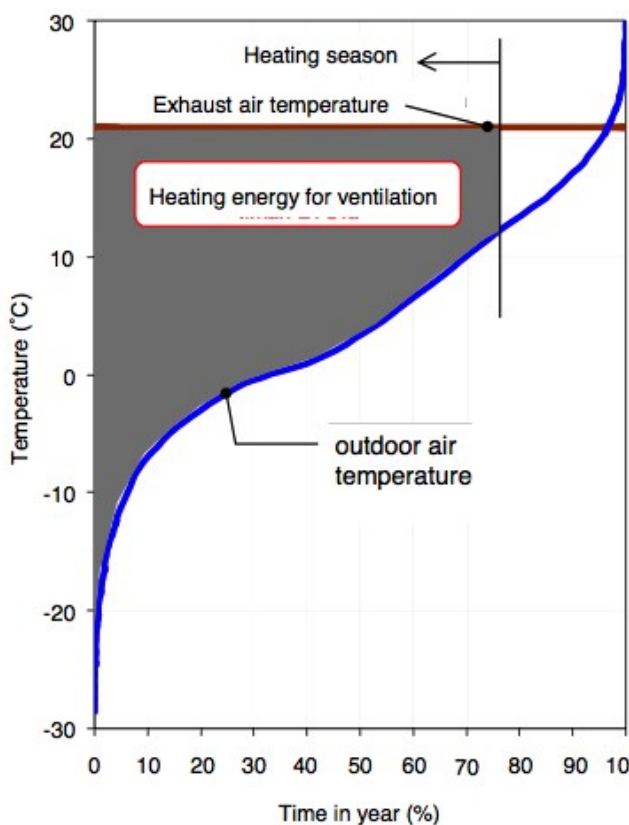


Fig 2. Fordeling av temperaturer over året, værdata for Helsinki. Fra (Nyman og Simonson, 2005)

5.4. Gustavsson og Joelsson (2010) sammenlikna primærenergibehov og CO₂-utslipp i svenske leiligheter med lavenergi- og passivhus-standard. De inkluderte energi og utslipp forbundet med produksjonen av husa i beregningene.

En leiligheten i Växjö hadde i utgangs-varianten lavenergi-standard og mekanisk avtrekksventilasjon. Simulering ble også gjort med bedre vinduer, med balansert ventilasjon med varmegjenvinning med virkningsgrad 0,68%, og med begge deler.

Med oppvarming med strøm fra kullfyrte kraftverk ble primærenergi-behovet redusert med bedre vinduer, og med varmegjenvinning. Strømforbruket til ventilasjons-anlegget økte, men det ble mer enn oppveid av reduksjonen i oppvarmingsbehov.

Med fjernvarme fra kombinert kraft- og varmeverk basert på biobrensel ble imidlertid bildet et helt annet. Da veier økningen i el-behov til gjenvinner tyngre enn reduksjon i oppvarmingsbehov, og totalt primærenergibehov blir høyere med varmegjenvinning enn uten.

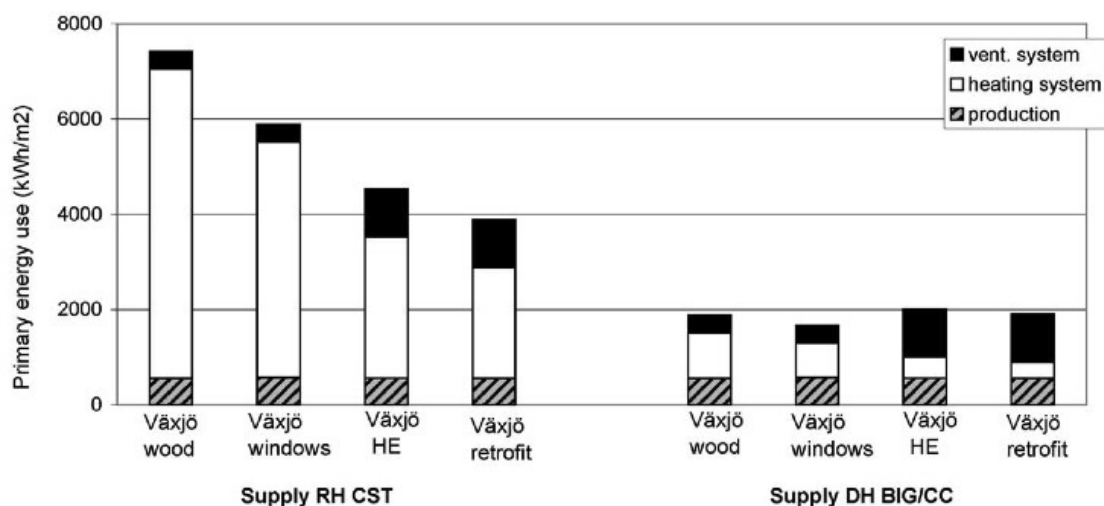


Fig 3. Primærenergi-behov for produksjon og romoppvarming av opprinnelig bygning og tre ulike enøk-tiltak: bedre vindu, varmegjenvinnere, og begge deler (retrofit). Energien til oppvarming er delt i energi til romoppvarming og til å drive ventilasjons-anlegget. Energiforsyninga er basert på el-oppvarming fra kullfyrte kraftverk (RH CST), og fjernvarme fra biobrensel (DH BIG/CC). Fra (Gustavsson og Joelsson 2010).

En leilighet i Karlstad hadde passivhus-standard og platevarmevekslere med virkningsgrad 50%. Denne ble også simulert med avtrekksventilasjon (Karlstad). Som vi ser av figuren fikk de heller ikke her, nødvendigvis det laveste primærenergi-behov ved å bruke varmegjenvinning, fordi energiforsynings-systemet avgjorde om økningen i el-forbruk til vifter ble oppveid av reduksjonen i primærenergi til oppvarming. Med fjernvarme fra kullfyrte kraftverk kommer avtrekks- og balansert ventilasjon likt ut, og med fjernvarme fra bio-fyrte kraftverk kommer avtrekksventilasjon faktisk best ut. De nevner at gjenvinnerens strømforbruk kan være større enn regna med her, avhengig av behovet for frostsikring.

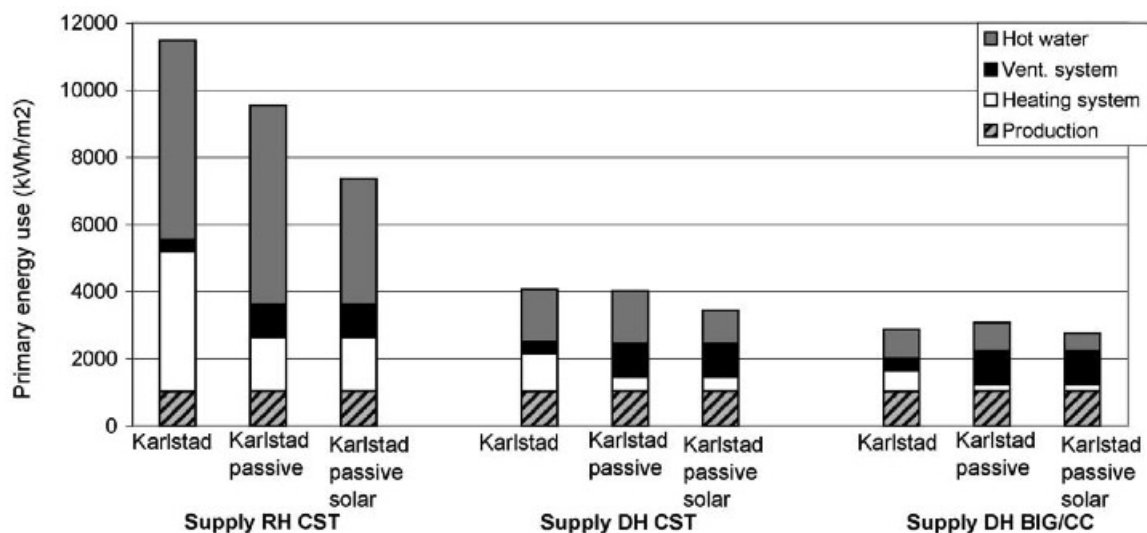


Fig 4. Primærenergi-behov for produksjon og drift av tre varianter av en bolig i Karlstad. Passivhus-varianten har balansert ventilasjon med varmegjenvinning. Energiforsyninga er basert på el-oppvarming fra kullfyrte kraftverk (RH CST), fjernvarme fra kullfyrte kraftverk (DH CST), og fjernvarme fra biobrensel (DH BIG/CC). Fra (Gustavsson og Joelsson 2010).

Gustavssen og Joelsson konkluderer med at valg av energiforsynings-system hadde større innvirkning på primærenergi-behovet enn tiltak på bygningen, og at dette skulle motsi anbefalinger om å bruke elektrisk oppvarming i passivhus.

Dessuten nevner de at de delene av bygningens livssyklus utelatt av dem: riving og gjenvinning, også bør tas med i beregninger for å minimere bygningers energibruk totalt over livssyklusen.

5.5. Blom et al (2010) har gjort en full LCA på energibruk og utslipp fra produksjon og transport av ventilasjonsanlegg og oppvarmingsystem i Nederlandske leiligheter. De har ei utvida systemgrense og LCA-beregningene er detaljerte. De tar med persontransport i forbindelse med utskifting og reinhold, og belastninger knytt til avfallsbehandling for materialene, men tar ikke med transport fra varehus til byggeplass, heller ikke med transportens slitasje på veier og biler.

De fant at ved å endre fra mekanisk avtrekks-ventilasjon til balansert ventilasjon med varmegjenvinning, ble klimagassutslippa redusert med ca 8%, men belastningen fra miljøgifter (på både land og vann) økte med ca 30%, pga økt materialforbruk og vedlikehold. De så bort fra økningen i vifteenergi ved endring til balansert ventilasjon med varmegjenvinning, så i virkeligheten skulle balansert ventilasjon komme noe dårligere ut. studerte miljøbelastning fra nederlandske leiligheter med ulike ventilasjons-og oppvarmingsystem.

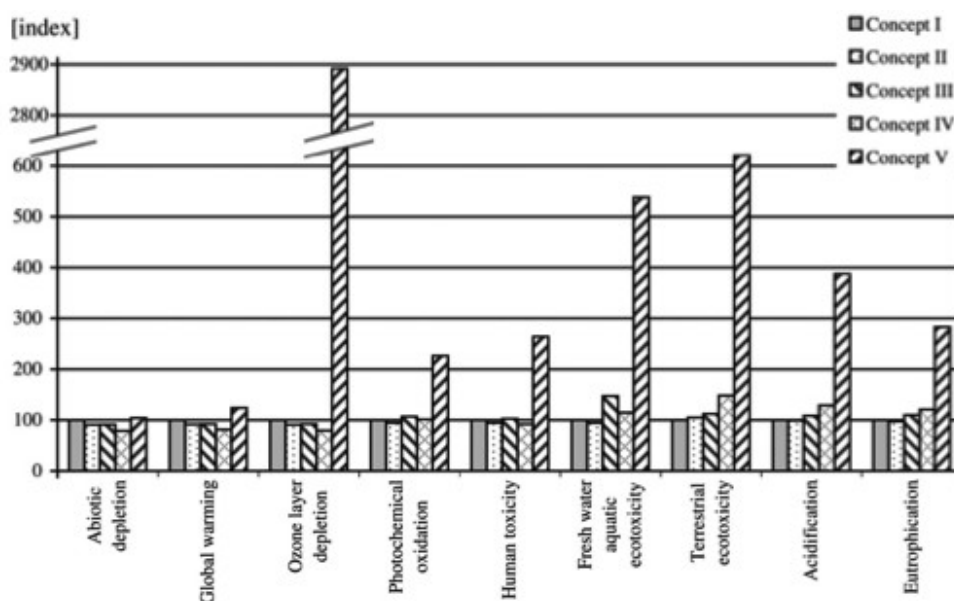


Fig 5. Akkumulert miljøbelastning over 40 år for ulike ventilasjons- og oppvarmingskonsept i leiligheter i Nederland.

Concept II: gassoppvarming og avtrekksventilasjon

Concept IV: gassoppvarming med balansert ventilasjon med varmegjenvinning

Concept V: varmepumpe og avtrekksventilasjon.

Fra (Blom et al 2010).

En studie fra Irland (Hernandez og Kenny, 2010) analyserer grå energi i bygningskropp og ventilasjonsanlegg, og inkluderer dessuten brukernes forventninger til temperatur og ventilasjonsmengde (høy/lav). De sammenligner naturlig ventilasjon og MVHR (Mechanical Ventilation with Heat Recovery) i en enebolig på 135m².

De bruker gjenvinner med 85% virkningsgrad, og så lav SFP som 0,8 kW/m²*s. To nivåer av temperatur, og to nivåer av luftskifte ble simulert, med to isolasjons-nivåer. (Det er faktisk litt større luftskifte i de naturlig ventilerte tilfellene).

Primærenergi-faktorer på 1,1 for fossilt brensel og 2,7 for elkraft, er brukt.

ID	Design option	Ventilation preference	Temperature preference
MVHR-VL-TL	MVHR	Low – 0.35 ach – 24 h	Low – 20°C whole house
MVHR-VL-TH	MVHR	Low – 0.35 ach – 24 h	High – 22°C whole house
MVHR-VH-TL	MVHR	High – 0.45 ach – 24 h	Low – 20°C whole house
MVHR-VH-TH	MVHR	High – 0.45 ach – 24 h	High – 22°C whole house
NV-VL-TL	Natural ventilation	Low – 0.35 ach (3 ach for 30 min + background 0.3 ach)	Low – 20°C living/dining, 18°C elsewhere
NV-VL-TH	Natural ventilation	Low – 0.35 ach (3 ach for 30 min + background 0.3 ach)	High – 22°C living/dining, 18°C elsewhere
NV-VH-TL	Natural ventilation	High – 0.45 ach (3 ach for 120 min + background 0.3 ach)	Low – 20°C living/dining, 18°C elsewhere
NV-VH-TH	Natural ventilation	High – 0.45 ach (3 ach for 120 min + background 0.3 ach)	High – 22°C living/dining, 18°C elsewhere

Tab. 1. Simulerte kombinasjoner av temperatur og ventilasjon. Fra (Hernandez og Kenny, 2010).

Med isolasjons omtrent tilsvarende TEK10 er det totale primærenergi behovet (drift + material) vesentlig større med naturlig ventilasjon enn med balansert. Med passivhus-nivå derimot kommer det ut på ett for varianten med lavt luftskifte og høy temperatur. For varianten med lavt luftskifte og lav temperatur kommer balansert ventilasjon 3% bedre ut.

For variantene med høyt luftskifte er behovet 13% og 10% større for naturlig ventilasjon.

Table 3 Annualized life cycle energy use related to space conditioning

	A: Base insulation			B: Upgrade insulation		
	AEU space conditioning (kWh primary energy/year)	AEE (kWh primary energy/year)	Total AEE + AEU	AEU space conditioning (kWh primary energy/year)	AEE (kWh primary energy/year)	Total AEE + AEU
MVHR-VL-TL	1227	150	1377	955	516	1471
MVHR-VL-TH	1596	150	1746	1152	516	1668
MVHR-VH-TL	1451	150	1601	1150	516	1666
MVHR-VH-TH	1850	150	2000	1392	516	1908
NV-VL-TL	1796	0	1796	1147	366	1513
NV-VL-TH	1983	0	1983	1298	366	1664
NV-VH-TL	2113	0	2113	1513	366	1879
NV-VH-TH	2370	0	2370	1732	366	2098

Note: MVHR = mechanical ventilation heat recovery; NV = natural ventilation; VL = low ventilation preference; VH = high ventilation preference; TL = low temperature preference; TH = high temperature preference.

Tab. 3. Årlig primærenergi (drift + grå energi) til oppvarming. Fra (Hernandez og Kenny, 2010).

Irland har et mildere klima enn Norge, slik at utbyttet fra varmegjenvinning blir mindre. Dessuten blir oppvarmingsbehovet mindre slik at grå energi fra ventilasjonsanlegget utgjør en større andel av totalen.

Imidlertid sier Hernandez og Kenny at de har valgt et svært forsiktig anslag av grå energi fra ventilasjons-anlegget på basis av dataene for ulike analyserte anlegg som var tilgjengelig i Ecoinvent (150 kWh/år), men at de også kunne lagt seg i den øvre enden, opp mot 270 kWh/år. De påpeker også at det er behov for mer målinger av utbyttet fra varmegjenvinnere gjennom hele levetida.

5.6. Dodoo et al (2011) sammenlikna primærenergi behov i driftsfasen av boliger med og uten varmegjenvinning ved hjelp av simuleringer av leiligheter. Dette ble analysert i forhold til energiforsyning fra ulike kilder. De brukte følgende inndata:

-virkningsgrad 85%,

-luftmengde; 1,3 m³/m²*h,

-innetemperatur: 22°C ,

-klimadata fra Vaxsjø

De regna ikke med tap pga frostsikring av gjenvinner. De regna med et el-forbruk på 4 kWh/m² for gjenvinnings-aggregatet (i mine simuleringer i SIMIEN brukte viftene 4,4 kWh/m² med SFP 1,5). En konvensjonell bygningskropp og en på passivhus-nivå ble brukt.

De fant at varmegjenvinning øker el-forbruket og reduserer oppvarmingsbehovet.

Innsparinga forårsaka av varmegjenvinneren var større i passivhuset enn i det konvensjonelle pga. bedre tetthet. Innsparinga er vesentlig høyere i en bygning med el-oppvarming, enn i en med fjernvarme.

I bygninger oppvarma med fjernvarme forårsaker varmegjenvinning små reduksjoner i primærenergibehov. Netto energibehov blir redusert, men primærenergibehovet er svært avhengig av hvordan strømmen blir produsert. Studien indikerer at bruk av varmegjenvinning kan føre til økt primærenergibehov for en bygning med fjernvarme fra et kombinert kraft- og varmeverk.

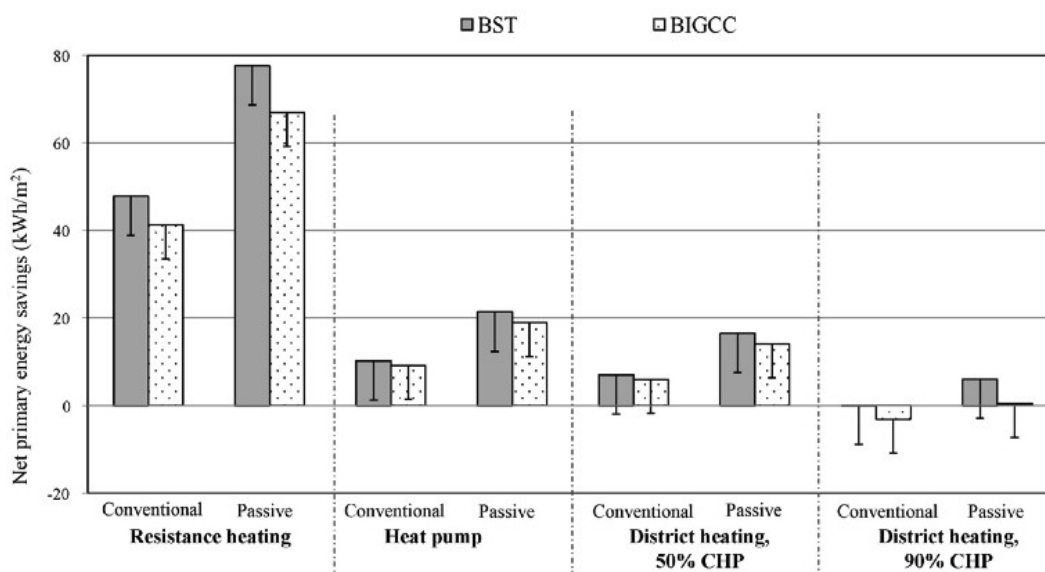


Fig 6. Årlig innspart primærenergi forårsaka av varmegjenvinner, med el-kraft fra BST og BIGCC. De svarte strekene viser verdiene med elforbruk på 7 kWh/m² til viftedrift.

-BST: el fra ensidig biofyrt gassturbin

-BIGCC: el fra mer effektiv ensidig biofyrt gassturbin (Fra Dodoo et al 2011).

5.7. Krus et al (2011) sammenligna balansert ventilasjon med varmegjenvinning og fukt-styrt avtrekksventilasjon med simuleringer av en modell-leilighet i WUFI-Plus. De kom til at forskjellen i energiforbruk var vesentlig mindre enn venta. Pimærenergibehovet var nesten likt med kombinert varme- og strøm-produksjon (faktor 0,7), og med tre-pellets som varmekilde (primærenergi-faktor 0,2) kom avtrekksventilasjon best ut.

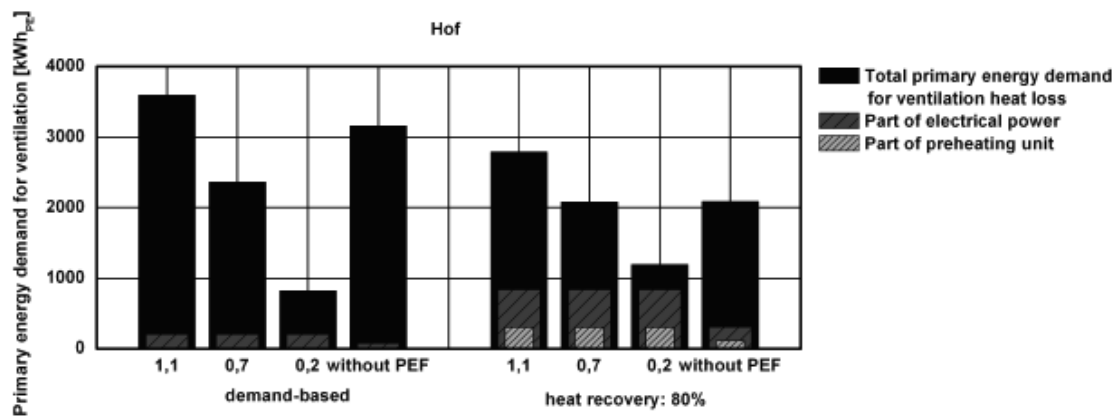


Fig 7. Primær-energibehov ved balansert ventilasjon med varmegjenvinning sammenligna med fukt-styrt avtrekksventilasjon. 0,7 er primærenergi-faktor for kombinert el- og varmeproduksjon, og 0,2 er for tre-pellets. Fra Krus et al (2011)

Leiligheten var på 75 m², med 3 beboere. 3 steder i Tyskland med ulikt klima ble simulert. Det kaldeste stedet, Hof, har en oppvarmingsperiode på 235 dager. Luftskiftet i det balanserte systemet var på beskjedne 0,4 ACH, og med 80 og 60% virkningsgrad på gjenvinnings-aggregatet.

Det nødvendige luftskiftet for å holde RH under definert verdi, vil være lavere om vinteren, dersom fukt-produksjonen er lik hele året. Dette er fordi det absolutte fuktinnholdet utelufta er lavere om vinteren, slik at hver m³ kan ta til seg mer fukt når den blir varma opp. Dette fører til en automatisk nedjustering av luftmengder når det er kaldest, noe som er gunstig for energiforbruket. Spørsmålet er om det da blir for dårlig luftkvalitet. Krus et al kom til at CO₂-innholdet hele tida lå under den anbefalte Tyske verdien på 1200 ppm, også i det verste tilfellet uten klestørking inne og kaldest klima (minst luftskifte).

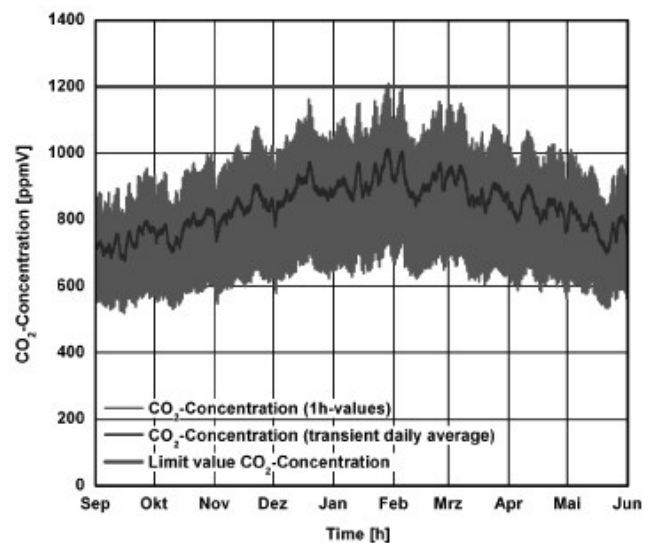


Fig 8. CO₂-konsentrasjon i leilighet med 3 personer i Hof i Tyskland. Fukt-styrt avtrekksventilasjon. Fra Krus et al (2011)

6. Klimabelastning fra selve ventilasjonsanlegget

Det er ikke bare **drift** av ventilasjonsanlegg som medfører klimagassutslipp, det er også utslipp i forbindelse med produksjon, transport, montering, riving og evt. deponi av komponentene anlegget består av. Denne andelen går gjerne under betegnelsen embodied energy, eller embodied emissions på engelsk, på norsk savner jeg et godt dekkende begrep, det nærmeste er «grå energi», men det er litt misvisende med energi, så vi skulle vel heller kalt det «grå utslipp» eller «innbakte utslipp».

I moderne konsepter som passivhus blir det fokusert på lavt energiforbruk i driftsfasen. I takt med at energibruk til drift reduseres, vil andelen forbundet med materialer øke betydelig, sjøl om den absolutte økningen i material-relaterte utslipp øker lite. Ifølge Gustavsson (2009) konkluderer noen studier med at driftsfasen fortsatt dominerer, mens andre viser at 40–60% av klimagass-utslippene er knytt til produksjon / byggefasen.

I denne oppgaven er det viktig å ta ta med disse grå utslippene i regnestykket, i fall de har vesentlig innvirkning på resultatet.

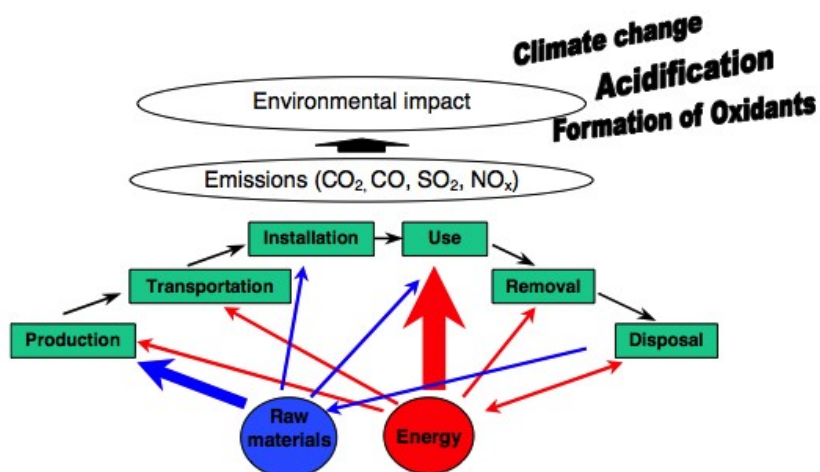


Fig 9. Fra Nyman og Simonsen (2005)

I et fullstendig miljøregnskap (LCA) vurderer man en rekke virkninger, som f.eks. giftvirkning for vann-levende organismer og forsuring, men i denne oppgaven fokuserer jeg bare på klimagassutslipp. Jeg lager altså ikke en fullstendig LCA.

Dessuten fokuserer jeg bare på grå utslipp fra ventilasjons-anlegget, i og med at resten av bygningen er lik for alle de ulike case.

Den funksjonelle enheten er: m² bygning (BRA), og delvis også: «enebolig på 160 m²».

Jeg har basert meg på pakkeløsninger (rund-summer) for balanserte ventilasjonsanlegg henta ut av to sveitsiske LCA-databaser. Den ene er “Ökobilanzdaten im Baubereich”, publisert av “Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren” (KBOB). Den andre er “Ökologische Baustoffliste (Version 2.2e)”, publisert av Swiss Federal Laboratories for Material Science and Technology, “EMPA”. Både KBOB og EMBA baserer seg på Ecoinvent, omfatter cradle to gate, og regner over 60 år.

I tillegg bruker jeg verdier fra arbeidet til Nordby (2011), og en masteroppgave av Sørnes (2011). Nordby baserer seg på mengde-angivelser fra Winther (1998), og bruker verdier fra Klimagassregnskap.no. Sørnes beregner mengder sjøl, basert på produkt-spesifikasjoner fra produsenter, og bruker Ecoinvent som database. Begge de sistnevnte regner over 50 år, men jeg regner uansett om til årlige utslipp. Nordby og Sørnes har tatt med transport fram til byggeplassen. Alle har tatt med utskifting av filter, og utstyr som må skiftes pga. slitasje. Beregningene er gjort over henholdsvis 60 og 50 år.

For mine beregninger av totale klimagassutslipp bruker jeg et snitt av disse verdiene, sammenstilt i tabell ??? , altså **0,19 kg CO₂eq / m²*år** for ventilasjonsanlegget, og **0,11 kg CO₂eq / m²*år** for kulverten.

Klimagassutslipp ventilasjonsanlegg i bolig. Utenom driftsfase.				kg CO ₂ eq	kg CO ₂ eq	
Kilde	Database		kg CO ₂ eq	/m ²	/m ² *år	
EMPA 2.2e, Rundsum	(Ecoinvent)	60 år, 130 m ²	1377	10,6	0,18	Cradle to gate
KBOB 2009/1, Rundsum	(Ecoinvent)	60 år	1950	13	0,22	Cradle to gate
Kari Sørnes (egne mengder)	Ecoinvent	50 år, 187 m ²	1525	8,1	0,16	Cradle to site
A. S. Nordby (mengder fra Winther 1998)	Klimagassregnskap	50 år	1478	9,9	0,2	Cradle to site
				Snitt	0,19	

Klimagassutslipp kulvert / jordvarme-veksler for enebolig. Utenom driftsfase.						
KBOB 2009/1, Rundsum	For bolig	60 år		2,95	0,05	Cradle to gate
KBOB 2009/1, Rundsum	For kontor, kort	60 år		5,1	0,09	Cradle to gate
KBOB 2009/1, Rundsum	For kontor, lang	60 år		12,8	0,21	Cradle to gate
EMPA 2.2e, Rundsum	For bolig	60 år, 130 m ²	697	5,3	0,09	Cradle to gate
				Snitt	0,11	

Tabell 4. Grå utslipp fra balansert ventilasjonsanlegg for enebolig. Snitt-verdien her er brukt i videre beregninger.

Ventilasjonsanlegget med varmegjenvinner legger beslag på litt bygningsareal (og volum), slik at vi må bygge litegrann større for å få samme nyttbare areal. Dette skulle medføre en liten økning i utslippa. Dette forholdet har jeg sett bort fra.

6.1. Annet arbeid embodied energy ventilasjonsanlegg

Nyman og Simonson (2005) kalkulerte miljøbelastninga fra mekanisk avtrekksventilasjon, og balansert ventilasjon med varmegjenvinning for en typisk finsk enebolig. Det ser imidlertid ikke ut som om materialer til ekstra ventilasjonskanaler ved balansert ventilasjon er tatt med i beregningene. Transport i forbindelse med bygging og service/vedlikehold, og heller ikke utslipp fra forbrenning/deponi var regna inn. Dessuten er ikke selve produksjonen av motorer, varmevekslere og elektriske komponenter tatt med. Dette kan være noe av forklaringa på den lave kalkulerte utslippene de fikk. En annen forklaring kan være den lave primærenergi-faktoren på 0,46. To ventilasjonsanlegg med varmegjenvinner ble kalkulert, med primærenergi henholdvis 2153Mj (598kWh) og 1996Mj (554kWh). Regna i CO₂eq var utslippa 97 og 89kg. Årlige utslipp blir 2,0 og 1,8 kg. Med et areal på 140m² tilsvarer det: 0,013 kg og 0,014 kg CO₂eq / m²*år. Dette er omtrent en tidel av det de fleste studier kommer til.

Hernandez og Kenny (2010) analyserte grå energi i bygningskropp og ventilasjonsanlegg, og hevder de velger et svært forsiktig anslag av grå energi fra ventilasjons-anlegget på basis av data for ulike analyserte anlegg som er tilgjengelig i Ecoinvent, 150 kWh/år. Hadde de lagt seg i den øvre enden, ville de fått verdier opp mot 270 kWh/år.

Det er en tendens til at de nyeste studiene har utvida systemgrensene, og får høyere materialrelaterte utslipp, slik at miljøgevinsten fra varmegjenvinning er mindre opplagt.

7. Case-studie

Hovedpoenget er å simulere to like bygninger der eneste forskjellen er ventilasjons-systemet. Det ene har balansert ventilasjon med varmegjenvinning og konstant luftmengde, typisk for et passivhus i Norge. Det andre systemet er med brukerstyrt (evt behovsstyrt (sensor-styrt)) naturlig ventilasjon. Jeg forutsetter visse luftmengder, og går ikke inn på detaljer i ventilasjons-systemene. Jeg simulerer ikke noe tilfelle med behovsstyrt balansert ventilasjon, siden dette ikke er vanlig, men derimot noen tilfeller med reduserte luftmengder utenom oppholdstida.

For å sammenligne disse to konseptene på et bredere grunnlag, definerer jeg flere ulike case som blir simulert.

7.1. Detaljer naturlig ventilasjon

Denne oppgaven fokuserer på det energimessige regnskapet omkring ventilasjon, og går i liten grad inn på problemstillinger som kald-trekk, temperaturfordeling, regulering av luftmengder, lufthastigheter o.l. Jeg forutsetter at anlegg for naturlig ventilasjon kan lages, justeres og driftes på en tilfredsstillende måte, og går ikke inn på detaljer i utformingen av dette.

Etter mitt skjønn består utfordringene i:

- få stort nok luftskifte i vindstille. Spesielt 1-etasjes hus kan være en utfordring pga. Mindre termisk oppdrift.
- unngå ubehagelig kaldtrekk i de kaldeste periodene
- unngå for stort luftskifte i sterk vind
- få jevn luftfordeling i huset
- god styring fra brukere

Jeg har selv de siste ti åra bodd i et hus med svært enkel naturlig ventilasjon, med sentral avtrekkskanal (andre-løp i skorstein) og spalteventiler i toppen av vinduskarmene (130 m² BRA, 4 personer, lekkasjetall på 4 oms/t ved 50 Pa). Dette fungerer godt, men krever at vi som brukere regulerer ventilene etter vind- og temperaturforhold. Vi opplever ikke sjenerende kaldtrekk i kalde perioder, men derimot i sterk vind, og stenger da ventiler. Jeg har målt CO₂-innholdet i innelufta i kalde perioder, og det varierer sterkt, men er for det meste under 1000 ppm. Er alle beboerne samla i et mindre rom går CO₂-innholdet godt over 1000 ppm, og vi føler behov for ekstra ventilering, evt. åpner dør til resten av huset.

Det er fullt mulig å lage langt mer sofistikerte systemer, med ventiler som kompenserer for endringer i drivtrykk (ved vind), motordrevne spjeld og ventiler som styres av fukt-, temperatur- eller CO₂-sensorer, eller fukt- eller temperaturstyrte ikke-motoriserte ventiler. Slike systemer avhenger mindre av brukernes kunnskap og egenaktivitet, men vil heller ikke utvikle dette. Sol- og vindkrefter kan også utnyttes aktivt og målretta for å skape større eller mindre drivkrefter.

Kaldtrekk fra luftinntak kan være et problem på steder med svært kald vinter, men blir vesentlig redusert med forvarming av luft i kulvert eller ventilerte vindu.

Marsh og Lauring (2003) beregna en temperaturstigning av inntakslufta i ventilerte vindu på 2,5 – 6° C ved 0° ute, avhengig av sol eller ikke. Ved lavere ute-temp blir det større temperaturstigning.

I passivhuset NorONE er det målt temperatur-ending i kulvert fra -26,7 opp til -0,8°C (Klinski et al 2012).

7.2. Ulike case

De ulike case har bokstav B for balansert og N for naturlig, dessuten nummerert 1-6. Samme nummer angir stor grad av likhet, altså Case B3 og N3 er relativt like. Enkelte forhold (som «det adaptive prinsipp» og forvarming av inntaksluft i vinduer), er bare relevant for naturlig ventilasjon, derfor er det ikke både B og N for alle tall-varianter.

I tillegg er alle varianter simulert både med elektrisk oppvarming, og med halvparten av rom-

oppvarminga fra biobrensel. Disse to variantene er angitt med en siste bokstav: e eller b. Da får vi f. eks. både B3n, og B3b. Disse har samme netto energibehov, men ulike klimagassutslipp.

	Naturlig ventilasjon		Balansert ventilasjon	
	El-oppvarm	50% biobrensel	El-oppvarm	50% biobrensel
1. 24 timers oppholdstid, 21° inne,	N1e	N1b	B1e	B1b
2. 20° inne (adaptiv komfort-prinsippet)	N2e	N2b		
3. 17 timers oppholdstid (21°balansert, 20°naturlig)	N3e	N3b	B3e	B3b
4. Forvarming i ventilerte vindu, 20°, 17 t opphold	N4e	N4b		
5. Forvarming i kulvert, 20°, 17 t oppholdstid	N5e	N5b		
6. Sov med åpent vindu, 17t oppholdstid	N6e *	N6b *	B6e **	B6b **

*Forvarming av luft i vinduer, 20°C inne.

**Innetemp: 21°C.

Dessuten har jeg simulert en prolog-case; B0. Dette er med balansert ventilasjon, og nominell virkninggrad på 80%, uten at den er justert til hva som forekommer i praksis. Dette er gjort for å illustrere konsekvensen av min nedjustering av reell virkningsgrad, fra 80% til 63%.

7.3. Sensitivitetsanalyser

Med utgangspunkt i case B1 og N4 er det også gjort ulike sensitivitetsanalyser ved å variere bare en parameter. Følgende parametre er undersøkt:

Ulike lokaliteter / klima. 5 ulike steder i Norge med en god spredning i klimaforhold er undersøkt. Klimadata er fra SIMIENs innebygde database.

Ulike CO2-faktor for elektrisk kraft:

-17g Norsk el-mix (NO)

-132 ZEB. Dette er et snitt over 60 år, basert på et mål om lavere utslipp i framtida.

-210, Nordisk el-mix (NORDEL)

-595g UCTE-mix.

Virkningsgrad på gjenvinnings-aggregat: Her er det gjort simulering med nominell momentan temperatur-virkningsgrad på 65, 70, 75, 80, 85 og 90 %.

Luftskifte / luftmengder. Her er det bare gjort simuleringer med mindre luftskifte enn i de vanlige casene. 20%, 40% og 60% reduksjon i luftskiftet er undersøkt. Det kan være interessant å se effekten av dette, om en skal vurdere en strategi for redusert ventilasjon på de kaldeste dagene.

7.4. Simuleringer

Energiforbruk og CO₂eq i driftsfasen er beregna med det dynamiske simuleringssystemet Simien 5.010 (SIMulering av Innemiljø og ENergibruk i bygninger), som er skreddersydd for norske forhold og krav. Dette beregner energibruk, effektbehov og inneklimate i henhold til den dynamiske beregningsmetoden angitt i NS 3031. Standard referanse-klimadata for Oslo (Blindern), som ligger i en innebygd klima-database i programmet er brukt. For sensitivitetsanalyse i forhold til lokalitet er også verdier fra SIMIENs klimadatabase brukt.

Verdiene for netto energibehov er totalt for hele boligen, altså inkludert belysning, varmtvann osv.

Verdiene for klimagassutslipp er utslipp forbundet med drift av boligen summert med utslipp forbundet med produksjon og montering av ventilasjons-systemet. Utslipp forbundet med resten av materialbruken (grå energi / grå utslipp) er ikke tatt med, siden de er like for alle de ulike casene, og derfor ikke er beregna. Så lenge disse verdiene brukes for å sammenligne ulike ventilasjons-løsninger spiller dette ingen rolle, men de gir ikke et helt riktig bilde av totalsummen. Om også utslipp forbundet med resten av materialene i huset hadde vært medregna, ville det medført at X-aksen på grafene ble senka noe.

7.5. Modell-hus

Jeg bruker Simien-modellen «Småhus», som er brukt til grunnlagsberegninger for bl. a. TEK07. Dette er en 2 etasjers frittliggende enebolig med BRA på 160 m². Denne har jeg oppgradert til passivhus i henhold til NS 3700.

Utskrift av inndata fra SIMIEN fins som vedlegg.

7.6. Noen sentrale konstante inndata

-Pelletsfyr: 50 g CO₂eq/kWh i pellets. Virkningsgrad i brenner. 0,77, altså 65 g CO₂eq/kWh.

-U-verdier, kuldebroer og SFP er brukt krava til passivhus i NS 3700.

-interntilskudd i henhold til NS 3700.

-luftmengde i oppholdstida: 1,2 m³/h*m²

-luftmengde utenom oppholdstida: 0,36 m³/h*m²

-roterende varmegjenvinner, nominell virkningsgrad 80% og reell virkningsgrad 63%, som er lagt inn i SIMIEN (se kap. om virkningsgrad)

-klima/lokalitet: standardisert Oslo-klima.

-lekkasjetall (n50): 0,6 /h.

8. Forutsetninger og parametre

8.1. Lavere innetemperatur akseptert i naturlig ventilerte bygninger.

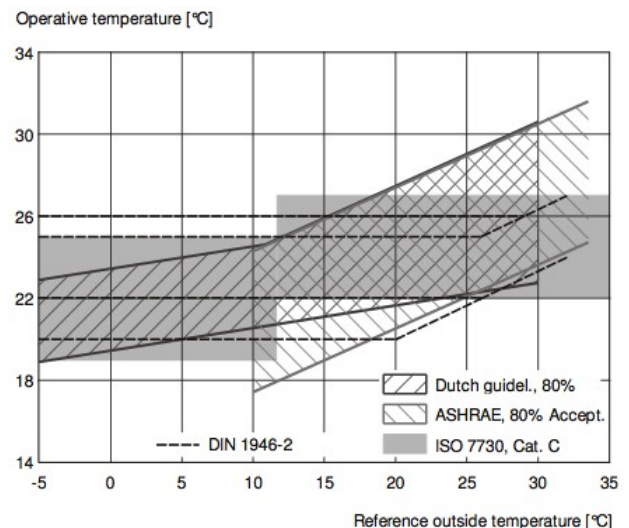
Det adaptive prinsipp: Når en endring som kan før til redusert komfort oppstår, vil folk reagere på en måte som prøver å gjenopprette komforten. Komfort-temperaturen er et resultat av samspill mellom subjektet og bygningen. Folk kan endre omgivelsene så de passer til deres preferanser, eller de kan endre på seg selv for å tilpasse seg omgivelsene.

Både de Dear et al (1997)(1998) og Leaman og Bordass (1997), har vist at folk aksepterer større svingninger i innetemperaturen i naturlig ventilerte bygninger. I en naturlig ventilert bygning blir forventningene til temperatur mer avslappet, og folk godtar et større spenn i temperatur. Dette er delvis fordi de i større grad opplever å ha kontrollen, men også et resultat av større mangfold i termisk opplevelse i bygningen. Følelsen av å ha ansvar og kontroll sjøl gjør at folk blir mindre kritiske og forlangende. Brukerne blir mer aktive i å ta i bruk ulike virkemidler for å tilpasse seg temperaturen: Personlig: påkledning, bevegelse, drikke. Teknisk: justere ventiler og vinduer og ovner. Kulturelt/organisatorisk: arbeidsrytme (siesta) og kleskode/mote. Dette dreier seg om både personlige valg, vaner, og kulturelle normer. Endring i påkledning, oppførsel og praktiske tiltak representerer bare halve tilpasningen, den andre halvdel består av psykologisk tilpasning. Dette gjelder i sterkhet i forhold til kjølebehov, men har også gyldighet i forhold til oppvarmingsbehov.

Nichol (2002) hevder at : «The range of conditions which will be found acceptable at any one time is in the region of $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Giving occupants the control necessary to make themselves comfortable can increase this range.»

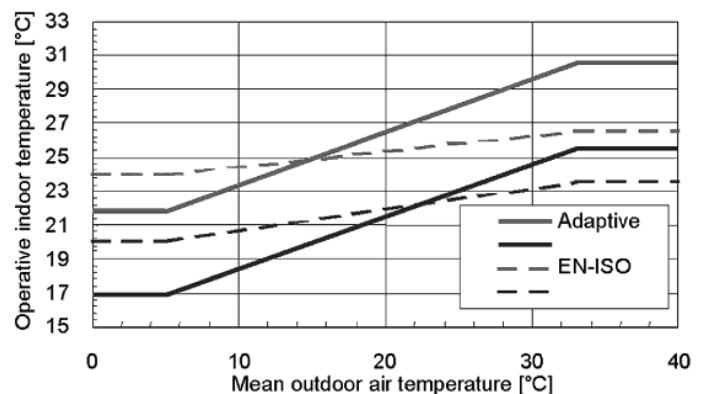
Studierviser også at brukere adapterer bedre til årstiden i naturlig ventilerte bygninger. De får også høyere hvilestoffskifte (Claessens-van Ooijen et al 2006, Wijers et al 2007).

Fig. 10. Sammenligning av ulike temperaturgrenser for naturlig ventilerte bygninger i forhold til ute-temperatur. Fra Hellwig et al (2006).



Prinsippet er stadfesta i EN-ISO 7730-2005 standard og i ASHRAE Standard 55. (Fig 10). Riktignok sier rapp 55 at den adaptive standarden ikke skal anvendes på bygg med oppvarming- eller kjølesystem i drift, men dette blir kritisert av Deuble og de Dear (2011/2012) som finner at adaptive komfort-prinsippet kan ha videre gyldighet. Deres målinger gjelder helt ned i innetemperaturen på 17 grader.

Fig 11. 90% akseptert komfort ranges according til adaptive komfort model og EN-ISO 7730 standarden, med 1,2 met og tilpassa bekledding (1 clo om vinteren og 0,5 clo om sommeren). Fra Roulet (2005).



8.2. Lavere akseptabel innetemperatur pga høyere luftfuktighet.

I tørr luft er fordampingen fra kroppen større, og det totale varmetapet fra kroppen noe større. Om vi øker luftfuktigheten noe kan vi ha **litt** lavere operativ temperatur uten at varmetapet øker. Ifølge NS-EN ISO 7730:2005, vil en endring fra ca 15% RH til ca 30% RH, føre til at nedre grense for akseptabel temperatur reduseres med ca 0,5 grader C. (*Typically a 10 % higher relative humidity is felt to be as warm as a 0,3 °C rise in the operative temperature*).

Det samme kan vi lese ut av grafen til venstre fra ASHRAE standard 55-2010.

I de fleste kombinasjonene med naturlig ventilasjon i de gjennomførte simuleringene vil det være noe lavere luftskifte i døgnet, pga redusert «driftstid». Dersom huset har stor «hydrisk masse» dvs at det er overflater som utveksler fukt med lufta, vil dette føre til noe høyere luftfuktighet, slik at vi kan ha en lavere operativ temperatur. Dette gjelder ikke i alle de simulerte alternativene, men som en forenkling regner jeg med det for alle. Målinger har dessuten vist at naturlig ventilerte boliger gjennomgående har høyere RH i fyringssesongen (Kalamees og Vinha 2006).

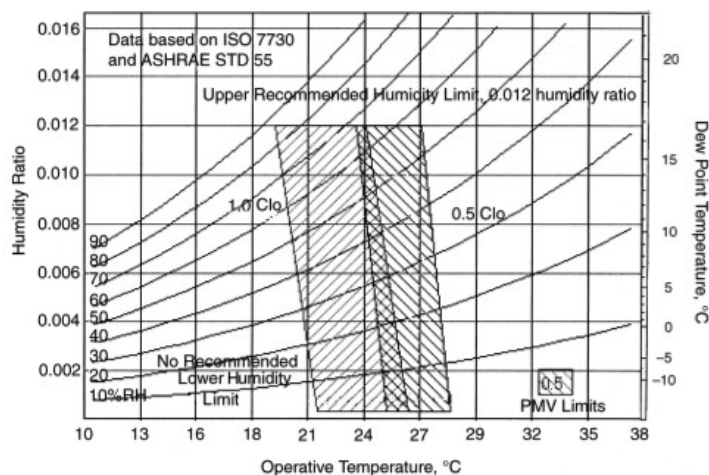


Fig 12. Akseptabel operativ temperatur og fuktighet (Fra ASHRAE standard 55-2010)

På bakgrunn av det adaptive komfort-prinsippet, og delvis pga. høyere luftfuktighet, simuleres 1 grad lavere innetemperatur i tilfellene med naturlig ventilasjon (unntatt CaseN1). Dette anser jeg som et forsiktig anslag, det kan hende effekten et større i praksis.

En annen sak er at lavere inne-temperatur gir **litt** mindre emisjon av helseskadelige stoff fra materialer og innbo, slik at vi kan redusere luftskiftet, og får høyere RH, slik at vi kan senke temperaturen **litt** mer. Luftkvaliteten vil også oppleves bedre med litt lavere temperatur, så dersom opplevd luftkvalitet er dimensjonerende, kan en også ha litt mindre.....

Men denne effekten har jeg ikke tatt med i simuleringene.

8.3. Forvarming av inntaksluft i vinduer

Med naturlig ventilasjon er det likevel mulig å forvarme inntakslufta ved å la den passere gjennom en kulvert eller mellom glassene i et ventilert vindu. Hensikten med forvarminga er todelt: å redusere energibehovet til oppvarming, og å heve temperaturen på inntakslufta for å unngå opplevelsen av kald trekk, og bedre den termiske komforten.

I noen hus ventilert med naturlig- eller avtrekks-ventilasjon er det brukt såkalt *dobbelfasade-vindu*, eller *ventilerte vindu*, der innkommende luft passerer i mellomrom mellom glassa i vinduet, og kommer inn i rommet i overkant av vinduet. På denne måten blir lufta forvarma, og dessuten reduseres transmisjonstapet fra vinduene. En kan si at litt av energien som er på vei ut gjennom vinduet blir tatt med inn igjen av lufta, etter samme prinsipp som i dynamisk ventilasjon. Energien som tilføres lufta er tilsvarende reduksjonen i transmisjonstap fra vinduene. Ved at temperaturen i de ytterste glassa blir lavere vil vinduet dessuten absorbere / slippe gjennom mer solenergi, slik at

G-verdien blir høyere. Disse verdiene avhenger imidlertid sterkt av luftstrømmen gjennom spalten. Markussen Raffnsøe (2007) har beregna varmeklyt og effektive U-verdier og G-verdier for slike vindu, vist i figur nedenfor. Forskjellen mellom et vindu på sørvegg og nordvegg er relativt liten, Carlos et al (2012) kom til 6% forskjell i forbedring fra et vanlig vindu mellom nord og sør.

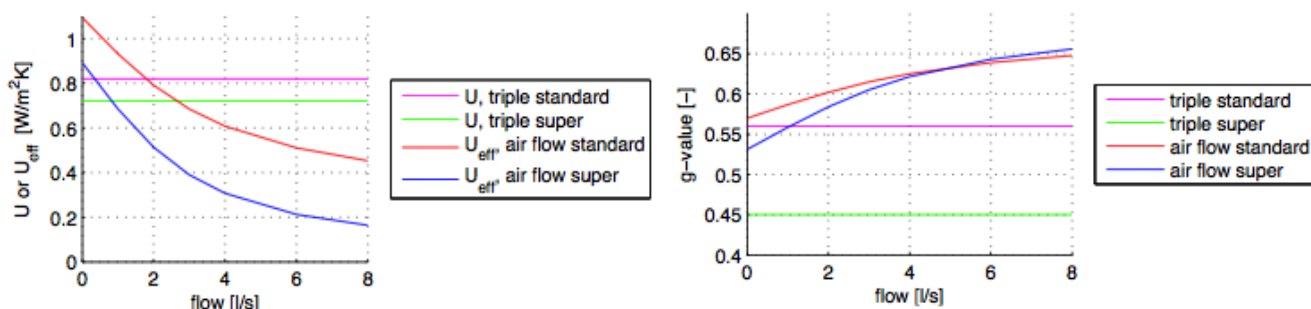


Fig 13. Sammenligning av effektiv U-verdi (U_{eff}) og U-verdi for normale vinduer, og sammenligning av G-verdi for ulike vindu. Alt som funksjon av luftstrøm gjennom et 1m bredt vindu. (fra Markussen Raffnsøe 2007)

Case N4 og N6 har ventilerte vinduer. Vinduene er 3 lags glass med energibelegg og argon i innerste mellomrom. Jeg forutsetter at 3/5 av vindusarealet er ventilert (7 vinduer sør, 4 v/ø og 3 nord), og får en luftstrøm på 3 l/s. Ifølge Markussen Raffnsøe (2007) får vi da en U_{eff} med vanlig luftstrøm på 0,4 W/m²k og en U_{eff} på lav-nivå luftstrøm (0,9 l/s) på 0,7 W/m²k. G-verdien blir 0,6 for vanlig luftstrøm og 0,55 for lav-nivå luftstrøm.

Ved redusert driftstid på ventilasjonen (7 timer ute), blir total energi fra forvarming redusert, dessuten øker transmisjonstapet i perioden ventilasjonen er på lav-nivå. Som en forenkling interpolerer jeg mellom Høy- og lav-nivå luftstrøm med brøken for driftstid: 17/24, for å få en gjennomsnittlig U-verdi over døgnet. Denne bli da på 0,49 W/m²k. Tilsvarende blir G-verdien 0,58.

U- og G-verdier for ventilert vindu brukt i simuleringene.	U-verdi W/m ² K	G-verdi
24 t driftstid	0,4	0,6
17 t driftstid (7t ute), Case N4	0,49	0,58
9 t driftstid (7t ute + åpent soveromsvindu), Case N6	0,59	0,57

På samme måte gjør jeg ved tilfellet «åpent soveromsvindu» med driftstid på 9 timer, og får da en gjennomsnittlig U-verdi på 0,59 W/m²k. G-verdien her blir 0,57. Dessuten reduserer jeg andelen ventilerte vindu fra 3/5 til 1/2, siden det da ikke er grunn til å ha slike på soveromma. Marsh (2003) beregna en forventa reduksjon i ventilasjons-tapet på 20-25% over året, med bruk av ventilerte vindu.

8.4. Forvarming av inntaksluft i kulvert

I flere passivhus både med og uten balansert ventilasjon med varmegjenvinner, blir lufta i fyrings-sesongen forvarma ved å passere gjennom et rør nedgravd i bakken. Et slikt system blir ofte kalt kulvert. Systemet kan også brukes til kjøling om sommeren, men dette kan være mer problematisk pga. kondens og mulig mikrobiell vekst i kulverten. I spesielle situasjoner om våren med varm og fuktig luft, og lav temperatur i bakken kan det også bli kondens, men oppvarmingsperioden er så kort på et passivhus at dette er et lite problem. Uansett bør røret ha fall til drenert (og inspisert)

sjakt/kum, og mulighet for rengjøring ved å trekke filler gjennom.

Er man ikke sikker på at jorda ikke avgir radongass, må systemet lages tett så ikke radon kommer inn i ventilasjonslufta i kulverten.

I case N5 blir inntakslufta forvarma i en kulvert. I et naturlig ventilasjonsanlegg er drivkreftene ofte svake. Vi kan regne med opptil 5 Pa oppdriftskrefter i en vanlig 2-etasjes enebolig (5 Pa ved 0 grader og 6m høyde ifølge Mathiesen et al (2004)). For å få stort nok luftskifte må vi derfor ha store kanal-tverrsnitt og lave lufthastigheter. Dette gjør at varmeoverføringa blir dårligere enn i viftedrevne kulverter. Dessuten blir det større kulvert-investeringer enn i viftedrevne anlegg.

For å beregne varme-utbyttet fra en kulvert, har jeg brukt dataprogrammet GAEA (Graphische Auslegung von ErdwarmeAustauschern) som er beregna på design og optimalisering av jord/luft varmevekslere. Dette er utvikla av avdeling for Bygningsfysikk og solenergi ved Universitetet i Siegen. Jeg har simulert med klimadata fra vær-databasen som er innebygd i programmet.

Større kulvert-anlegg med flere parallelle rør gir større varmeutbytte, men større investering. Med vår luftmengde på 192 m³/h, lav lufthastighet/trykkfall og Oslo-klima, er det ifølge GAEA mulig å hente ut mellom 1000 og 2000 kWh i året, avhengig av størrelsen på anlegget. Det er vanskelig å vite hva som er et fornuftig investeringsnivå, men jeg har valgt følgende:

- enkelt løp
- diameter 280 mm
- 23 meter langt

Med den aktuelle luftmengda på 192 m³/h blir det ifølge GAEA et trykkfall gjennom kulverten på 1,58 Pa. Det samla varmeutbyttet er kalkulert til 1623 kWh i året. Vi ser også av figuren under at laveste temperatur på lufta ut av kulverten er på -6,8°C, Når ute-temperaturen er -18,7°C. Dette bidrar også til mindre trekkproblemer ved luftinntaka i huset.

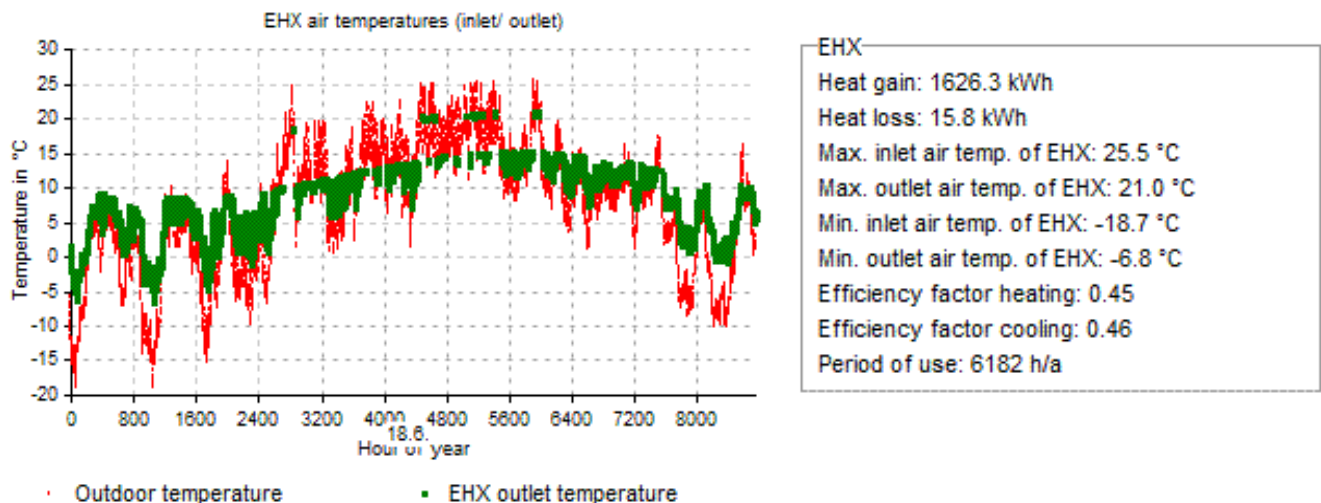


Fig 14. Temperaturer og varmeutveksling i kulvert beregna med dataprogrammet GAEA.

I en kulvert i et naturlig ventilasjonssystem basert på vind- og oppdriftskrefter, vil luftfartighetene variere en del, og da vil også varmeutbyttet også variere, slik at det totale utbyttet blir mindre. En annen sak er at ikke hele det beregna varmetilskuddet fra kulverten vil komme til nytte. Grunnen til dette er at oppvarmingsbehovet som ikke dekkes av interne tilskudd og soltilskudd, i perioder kan være mindre enn utbyttet fra kulverten. For å korrigere for disse to faktorene justerer jeg det årlige varmeutbyttet ned til 1200 kWh.

For case N5 simuleres først netto energibehov og CO₂-utslipp i SIMIEN uten kulvert. Deretter trekker jeg fra innsparinga en kulvert ville gi (1200 kWh eller 7,5 kWh/m², som tilsvarer 2,96 kg CO₂eq/m²).

Nieminen et al (2008) beregna årlig varmeuttak fra kulvert i et passivhus-prosjekt til 1200 kWh (Vantaa).

8.5. Redusert oppholdstid

I våre dager er de fleste boliger tomme på dagtid, når beboerne er på arbeid, skole og barnehage. Nielsen og Drivsholm (2010) målte tilstedeværelse i leiligheter og rekkehus i Stockholm, og kom til at de aller fleste var borte mer enn 37% av døgnet, dvs. 9 timer. Jeg forutsetter at mine beboere har 7 timer fravær pr døgn, og lar ventilasjonsanlegget gå på lav-nivå i denne perioden.

TEK 10 har som minstekrav 0,7 m³/h*m² i boliger utenom bruk. Grini og Wigenstad (2011) hevder det ikke fins noe entydig faglig underlag for kravet i TEK.

I Sverige er minimumskravet 0.1 l/s*m² (0,36 m³/h*m²) i boliger utenom bruk (Boverket 2008).

Den Tyske standarden Din 1946 Teil 2, har ingen minstekrav til luftmengder utenom bruk.

NS-EN 15251:2007 anbefaler en minste luftmengde i boliger utenom oppholdstid på 0,18 – 0,36 m³/h*m² (hvis det ikke er gitt verdier på nasjonalt nivå).

Mathisen (2009) anbefaler en reduksjon ned til 0,36 m³/h i tomme boliger.

Ut fra dette velger jeg å bruke en luftmengde tilsvarende det svenske minimumskravet, dvs. 0,36 m³/h*m² utenom oppholdstida i simuleringene for case B3, N3, N4 og N5.

Bruk av svært lav-emitterende materialer er en forutsetning for et så lavt luftskifte utenom oppholdstida.

8.6. Sove med åpent vindu

I case N6 og B6 sover beboerne med åpent vindu, og det blir tilstrekkelig luftskifte i soverommet på den måten. For å simulere denne situasjonen i SIMIEN kjøres ventilasjonsanlegget på lav-nivå i 8 timer om natta (+ i tillegg 7 timer om dagen når ingen er heime), tilsammen 15 timer i døgnet.

Jeg forutsetter isolerte skillevegger og god tetting i soveromsdørene, slik at det blir moderat varmetap til soveromma fra resten av huset. Lavere natte-temperatur på soveromma vil redusere transmisjonstapet herfra noe. I simuleringene blir hverken tap til soverom eller reduksjon i transmisjonstap regna inn, men jeg antar at de oppveier hverandre. Et avgjørende punkt her er i hvor stor grad soveromma blir varma opp til settpunkts-temperatur (20°) om dagen, og jeg forutsetter at de ikke fullt og helt varmes opp. Dermed kan jeg med stor sikkerhet regne med at beregningene ikke undervurderer energiforbruket.

Både Hernandez (2010), og Gram-Hanssen (2010) påpeker at beboerne bruker hjemmene ulikt: Noen vil ha det homogene og kontrollerte innemiljøet som et balansert ventilasjonsanlegg kan gi, mens andre ønsker fleksibilitet fra vinduslufting og temperaturvariasjon mellom ulike rom tilpassa årstid.

8.7. Virkningsgrad varmegjenvinning

Hva som legges i begrepet virkningsgrad kommer an på tre forhold:

- Hvilken energikomponent som omfattes: tørrvarme, fukt eller begge (entalpi)
- Hvor en setter systemgrensa, og korrigerer for system-tap.
- Tidsperspektivet: momentan- eller årsgjennomsnitt

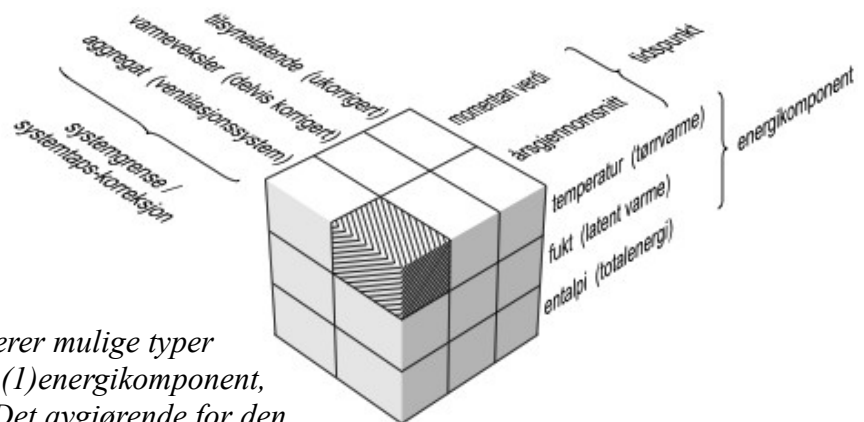


Fig 15. Kubisk matrise som illustrerer mulige typer virkningsgrad, en kombinasjon av (1) energikomponent, (2) systemgrense og (3) tidspunkt. Det avgjørende for den reelle nytten er 'aggregatets årsvarmevirkningsgrad' som er den fremste, skraverete brikken. (fra Schild 2003)

8.7.1. Energikomponent

Virkningsgrad kan måles for både lufttemperatur (følbare tørrvarme / sensibel varme) og for fuktinnholdet i lufta (latent varme). Dette blir kalt temperaturvirkningsgrad (varmefølsomhetsgrad), og fuktvirkningsgrad. Vi kan også beregne en total virkningsgrad (energivirkningsgrad) for entalpi (summen av tørrvarme og latent varme). Dette blir drøfta nærmere i avsnitt om energitap i fukt tilført innelufta.

8.7.2. Systemgrense

Virkningsgraden er avhengig av hvor vi setter grensa for systemet, om vi tar med bare varmeveksleren, eller omfatter hele aggregatet eller ventilasjonssystemet. For å beregne *netto* energibesparelse, må vi ta med samtlige energitap i ventilasjonssystemet.

For å finne **aggregatets momentane virkningsgrad** bør en korrigere for ubalanse mellom luftstrømmene, lekkasje mellom luftstrømmene, resirkulasjon, transmisjonstap fra aggregatkassa og energiforbruk til vifter. Denne er 4-8% lavere enn varmevekslerens virkningsgrad, ifølge Schild (2003).

For å finne *ventilasjons-systemets momentane virkningsgrad* bør en korrigere for kortslutning mellom avkast og inntak, og lekkasje, trykktap og transmisjonstap i kanaler.

Schild mener aggregatprodusentene bør dokumentere **netto** virkningsgrad for aggregatet, fortrinnsvis med nøytrale laboratoriemålinger.

Systemair skriver på sin nettside: «Det vanligste er å oppgi varmevekslerens temperaturvirkningsgrad» og da tolker jeg det som momentan temperaturvirkningsgrad.

8.7.3. Tidsperspektiv

For å få et bilde av den virkelige nytten av varmegjenvinning, er det ikke nok med den momentane virkningsgraden, vi trenger et snitt over tid, vanligvis regna over året.

For å beregne energibesparelsen en varmegjenvinner bidrar med, må ventilasjons-varmetapet ses i sammenheng med hele energibalansen for boligen. Beregningen må ta hensyn til lokalt klima og byggets balansetemperatur, og den avhenger av innetemperatur, varmetap gjennom klimaskjermen, og tilskudd fra sol og interne kilder. I perioder vil varmebehovet dekkes helt eller delvis av interne varmetilskudd, og varmen gjenvunnet i ventilasjonsanlegget er ikke til nytte.

På Systemair sine nettsider er begrepet *årsvirkningsgrad* brukt: «Årsvirkningsgrad angir gjenvunnet energi pr. år i forhold til oppvarming av ventilasjonsluft uten varmegjenvinning.

Årsvirkningsgraden må beregnes for hvert enkelt anlegg, og avhenger av luftmengde, utetemperatur, fyringssesongens lengde, innetemperatur og innendørs luftfuktighet. Årsvirkningsgraden blir lavere enn temperaturvirkningsgraden fordi det tas hensyn til energibruk til vifter og avrimingsautomatikk, samt ”unødvendig” temperaturgjenvinning i perioder på året når sollys, personer og utstyr dekker boligens varmebehov».

I følge Juodis (2006) vil en mindre andel av den gjenvunne energien kunne være til nytte, når en har et gjenvinnings-aggregat med høyere momentan virkningsgrad. Dette fordi det blir mer overflødig varme i i endene av fyringssesongen.

Dessuten vil bygg med mindre transmisjonstap og mer tilskudd av varme fra sol og interne kilder, ha kortere fyringssesong, og dermed vil en mindre andel av den gjenvunne energien komme til nytte. Dette har liten effekt i dårlig isolerte bygninger, men har betydelig effekt på høyisolerte, store bygninger. Han opererer med et forhold mellom byggets varmetilskudd og varmetap, og har beregna hvordan dette virker inn på behov for gjenvunnet varme ved ulike temperaturer.

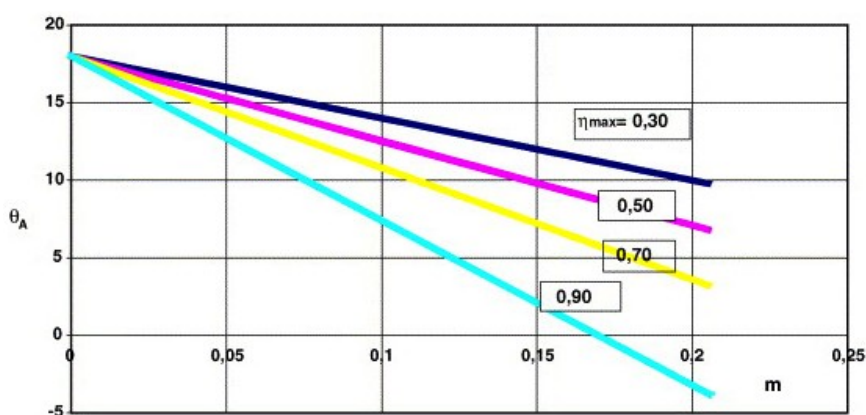


Fig 16. Hvordan forholdet tilskudd/tap (m), og momentan virkningsgrad virker inn på maks ute-temperatur ved full utnyttelse av gjenvunnet varme. (Fra Juodis 2006)

Schild (2003) skriver: «Det er dessverre ingen omforent definisjon av de populære begrepene 'temperaturvirkningsgrad' og 'årsvirkningsgrad'. Byggforsk har derfor tatt i bruk en ny og klarere definisjon: 'aggregatets varmevirkningsgrad' og 'aggregatets årsvarmevirkningsgrad'». Dette defineres til å være «reduksjon i årlig varmetap til ventilasjon i forhold til årlig varmetap ved naturlig ventilasjon uten varmegjenvinning» Dette avhenger av luftmengde, klima og byggets balansetemperatur.

Dette er et innfløkt felt med mye variasjon i bruk av begreper og terminologi:

I *Byggdetaljblad 552.303, Balansert ventilasjon i småhus, 2006*, står det: «Man bør bare velge komponenter med følgende dokumentasjon: Årsvarmevirkningsgrad for varmegjenvinneren». Sannsynligvis legger de noe annet i begrepet årsvarmevirkningsgrad enn Schild.

I NS 3031 bruker man begrepet: «årgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad». Dette er et estimert årgjennomsnitt korrigert for tap på grunn av frostsikring i kalde perioder. Dette kan heller ikke være det samme som *årsvarmevirkningsgrad* fordi det ikke er kobla til et konkret bygg.

I TEK-10 er det krav til «årgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner i ventilasjonsanlegg». Antakelig tenker man på effektiviteten til ventilasjonsanlegget eller aggregatet, og ikke bare varmeveksleren. Om det menes momentan virkningsgrad korrigert for frostsikring, slik som i NS 3031, er uklart.

I mine energiberegninger bruker jeg dataprogrammet Simien, som bygger på den dynamiske beregningsmetoden beskrevet i NS3031. Det vil si at programmet beregner reduksjon i varmetap ut

fra innlagte verdier for ventilasjons-systemets netto momentane virkningsgrad.

Flere arbeider peker på en utbredt mangel på samsvar mellom målt energiforbruk og det som er kalkulert på forhånd (Elmroth 2002, Bagge et al 2010). Bagge and Johansson (2009) nevner flere prosjekter der målt forbruk lå 50-100% høyere enn stipulert. Karlsson et al. (2007) fant 50% høyere forbruk enn stipulert i passivhus i Stockholm. Målinger i Løvåshagen viser også høyere energiforbruk til oppvarming enn beregna. (Nesland 2010)

En av årsakene til dette kan være at en har unnlatt å korrigere for forhold som har betydning for den reelle virkningsgraden til ventilasjons-gjenvinneren. Noen av disse sammenhengene er omtalt i det følgende.

8.8. Aggregatets reelle temperatur-virkningsgrad.

Reduksjon pga. ubalanserte luftmengder, omluft, lekkasjer, og transmisjon fra ventilasjonssystemet.

Dersom det ikke er balanse mellom mengdene på tilluft og avtrekksluft vil den reelle virkningsgraden bli dårligere. Graden av ubalanse påvirkes mest av viftene og ventilasjonsanleggets utforming, men også av byggets tetthet.

Intern omluft (i varmeveksleren fra avtrekkslufta til tillufta) og ekstern omluft (fra avkast til inntak) vil også redusere virkningsgraden (Roulet 2001).

Det er ikke mange studier som har målt reelle virkningsgrader på varmegjenvinnere, men de finner klare avvik fra nominell virkningsgrad:

Petersen et al (2009) målte temperatur-virkningsgrader på aggregat på 5 skoler som var mellom 5 og 37% lavere enn produsenten hadde oppgitt. Dersom man ser bort fra det verste tilfellet, ble snittet på 10%. Avviket skyldtes hovedsaklig ubalanse i luftmengdene.

Roulet (2001) gjorde målinger på 26 varmegjenvinnere i Tyskland. På halvparten var det vesentlige omlufts-lekkasjer, med et snitt på 4% omluft (utelatt de verste tilfellene). Den reelle momentane temperaturvirkningsgrad for aggregatene ble i de 3 beste tilfellene målt til mellom 60 og 70% når nominell verdi var 80%. I de tre verste tilfellene var reell virkningsgrad under 10%, slik at aggregatene brukte mer energi enn det gjenvant. I snitt var nominell virkningsgrad 70%, og den reelle bare 43%.

Sjøvold (2008) målte i underkant av 60% temperaturvirkningsgrad på en gjenvinner som var beregna til 75%. Han peker på flere mulige årsaker: skjev luftfordeling i varmegjenvinner, for liten dybde av varmegjenvinner/flate.» Han nevner også at kanalbøyer like før varmegjenvinner vil gi et skjevt hastighetsprofil for luftstrømningen og dermed redusert virkningsgrad på varmegjenvinneren. Dessuten sier han vi «bør regne inn et visst tillegg i luftmengde for å kompensere for omluft i veksleren»

Ifølge Lassen et al (2009) viser tidligere studier i bl. a. Norge, Sveits og Sverige at den effektive virkningsgraden for aggregater med roterende varmegjenvinnere typisk er 60 – 70% for aggregat med 80% nominell temperatur-virkningsgrad. De mener «Lavere virkningsgrad skyldesat innjustering og drift av aggregatet avviker fra de ideelle forutsetningene/forhold ved produktokumentasjonen (pga. resirkulasjon og ubalanse i luftmengder). Det er mulig at risikoen for unøyaktig innjustering er spesielt stor i aggregater med roterende varmegjenvinnere bl.a. fordi renblåsingsektorer vanskeliggjør balansering av luftmengdene».

Lekkasje fra innluft til avkastluft har liten virkning på virkningsgraden men reduserer mengden tilluft, og når man kompenserer for dette øker energiforbruket til viftene.(Roulet 2001)

I passivhusleilighetene i Løvåshagen ble det målt «høyere energibruk til vifter og varmevekslermotor i ventilasjonsaggregatet enn beregnet» (Nesland 2010).

I tillegg er det noe varmetap i kanalene, men dette er antakelig så lite at jeg velger å se bort fra det. **For bruk i simuleringene** reduserer jeg temperatur-virkningsgraden med 10% pga ubalanserte luftmengder og lekkasje mellom luftstrømmene.

8.9. Kjøkkenvifte

Vanlige kjøkkenventilatorer på det norske markedet har en kapasitet 150-700 m³/h. (Flexit nettside).

Jeg forutsetter at kjøkkenvifta går 1/2 time pr dag, og at kapasiteten er minst like stor som luftmengde i inntak (192 m³/h). Jeg regner med 0% virkninggrad den halvtimen. 1/2 time pr døgn tilsvarer 1/48 av tida, dvs 1/48 av tida er veksleren ute av drift og dette innebærer ca 2% reduksjon gjenvunnet energi. Som en forenkling reduserer jeg aggregatets momentane virkninggrad med 2% i mine simuleringer.

8.10. Sentralstøvsuger

En vanlig sentralstøvsuger drar en luftmengde på 50-55 l/s (Flexit nettside) = 180-200 m³/h, altså like mye som innluft i ventilasjonssystemet.

Jeg forutsetter 1 time støvsuging i uka. Da blir det ca 0,6% av tida at veksleren ikke fungerer. Som en forenkling reduserer jeg aggregatets momentane virkninggrad med 0,6% (ikke 0,6 prosentpoeng).

8.11. Energitap i fukt tilført innelufta.

Fukt-produksjon

Inneluft blir tilført fukt ved fordamping fra diverse kilder i huset. Til denne fordampinga går det med energi, som «lagres» i fuktinnholdet i lufta, og som kan frigjøres igjen ved eventuell kondensasjon av vann seinere. Denne energien kalles latent varme, og når vi tilfører energi til lufta på denne måten vil det ikke vises ved noen endring på termometeret. Dette er i motsetning til sensibel varme, energien vi tilfører lufta som merkes ved en temperaturstigning.

Regneeksempel:

Uteluft: 0°C, 70% RF, 2,5 g vann, entalpi 6,5 kj/kg
Tørr oppvarming til: 21°C, 24% RF, 2,5 g vann, entalpi 27 kj/kg entalpiøkn. 20,5 kj/kg.
Tilførsel av 1,5 g fukt: 21°C, 34% RF, 4 g vann, entalpi 31 kj/kg entalpiøkn 4 kj/kg Total økn 24,5 kj/kg

I dette tilfellet vil altså ca 84% av entalpiøkningen være knytt til tørr luft. 16% av entalpi-økninga er knytt til fukt som tilføres lufta inne i huset..

På bakgrunn av Koch (1986), Schild (2003) og Kalamees et al (2006), regner jeg med en total fuktproduksjon på 6,9 kg i døgnet, med ventilasjon på 192 m³/h blir det 1,5 g/m³. Ifølge Kalamees et al kommer ca 1/3 direkte fra mennesker, resten fra matlaging, tørking, potteplanter, vasking mm.

Ut-transport av fukt kan skje ved ventilasjon, diffusjon eller kapillær transport. Ved absorpsjon i hygroskopiske materialer, og videre kapillærtransport ut gjennom klimaskjermen kan vi beholde den latente varmen i bygget fordi den blir avgitt til innelufta (fungerer tilsvarende faseovergang til væskeform). Om dette er praktisk gjennomførbart i merkbar skala er uklart. Simonson et al (2004) kom til at bare 4% av fuktproduksjonen ble transportert gjennom klimaskjermen.

Ved lav ute-temperatur og høy RH inne, kan en del av fukten i avkastlufta kondensere på rotoren. Dette kondenserte vannet må imidlertid dreneres vekk for at vi skal gjenvinne energien brukt til

fordamping (ellers går den frigjorte energien med til å fordampe det samme vannet på innluft-sida). Dette er i praksis mulig i svært begrensa grad med en roterende varmeveksler, som i dette tilfellet, derfor ser jeg bort fra denne effekten.

Ved å bruke hygroskopiske gjenvinnere som gjenvinner mye av fuktigheten blir fuktinnholdet i innelufta høyere, men fuktproduksjonen må likevel ut av bygningen, i form av et energitap. Det alle meste av fuktproduksjonen bli transportert ut med ventilasjons lufta, og dette representerer et energitap, på samme måte som energitapet forbundet med sensibel varme i ventilasjonslufta.

Et spørsmål som melder seg er: Hvor i byggets energiregnskap blir energiforbruket som ligger bak fuktproduksjonen bokført? Det dreier seg altså om energi som går med til fordamping av vann i en bygning. Fukt direkte fra mennesker bør kanskje **ikke** belastes byggets energiregnskap. Energien til dette kommer fra maten vi spiser, og den er vanligvis holdt utafør energiregnskapet, men dette er bare ca 1/3 av fuktproduksjonen i en bolig.

Energien til fordamping fra koking, vasking, tørking og potteplanter bør derimot belastes byggets energiregnskap på linje med annet energiforbruk, det belaster de samme energikildene (elektrisitet, ved, olje).

Virkningsgrader ved gjenvinning av varme i ventilasjonsluft regnes vanligvis bare i forhold til den sensible varmen tilført avtrekkslufta. Jeg har inntrykk av at det er vanlig å overse den latente varmen, og regne som om lufta bare blir tilført sensibel varme, sjøl om den bare representerer 75-90% av den totale energiøkningen i inneluft. Se Fig 17.

Andel entalpiøkning fra fuktproduksjon

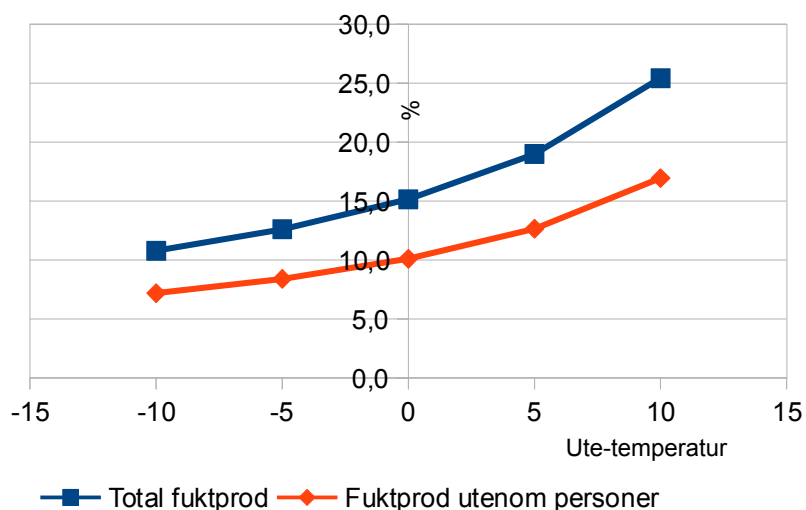


Fig 17. Fukt-tilførselens andel av entalpiøkningen til innelufta ved ulike ute-temperaturer. Temp. i avkastlufta 21 grader. Total vann-tilførsel 1,5 g/m³ (fuktproduksjon). Beregna grafisk med mollierediagram.

Det store poenget er at den latente varmeenergien er en del av ventilasjons-varmetapet, sjøl om den ikke er praktisk mulig å gjenvinne eller redusere. For å gi et riktig bilde av de faktiske forholda bør virkningsgraden regnes i forhold til summen av sensibel og latent varme (entalpi). Dette gjelder spesielt om en skal sammenligne situasjonen med og uten gjenvinner.

Ved beregning av virkningsgraden til f eks en roterende varmegjenvinner, blir den lavere når en regner i forhold til entalpi. Dette innebærer at den andelen av ventilasjons-varmetapet som vanligvis gjenvinnes er mindre enn det som det de vanlige beregningene viser.

En studie av passiv- og lavenergi-bygg i Norge, Sverige, Tyskland, Østerrike og Sveits, viser at 2 av 3 bruker mer energi til oppvarming enn venta (Langseth et al 2011). Grunnen til dette vet man ikke. Kan det tenkes at den glemte energiposten: «energi til fordamping av vann» er en liten del av forklaringa på forskjellen mellom beregna og målt energiforbruk i mange prosjekter?

På bakgrunn av fig. 17 anslår jeg at fuktproduksjonen utgjør 10% av entalpiøkningen til innelufta, i snitt i oppvarmingsperioden. For å få en reell virkningsgrad for gjenvinning av **entalpi** i ventilasjonslufta må jeg redusere temperatur-virkningsgraden med 10% (ikke 10 prosentpoeng).

8.12. Reell virkningsgrad for simulering

På basis av det som er drøfta ovenfor, finner jeg det riktig å justere virkningsgradene brukt i SIMIEN-simuleringene med de faktorer som er nevnt.

Jeg tar som utgangspunkt en nominell momentan temperatur-virkningsgrad på 80%, som da blir redusert med 10% for ubalanse, 10% for latent varme, 2% for kjøkkenvifte og 0,6% for sentralstøvsuger, og ender da opp med en 63%.

Virkningsgraden som legges inn i SIMIEN er altså 63%.

8.13. CO₂-faktorer

For å kunne evaluere hvilken effekt bruk av energi fra ulike kilder har på den globale oppvarminga, er det definert et vektings-system, med ulike CO₂-faktorer. Mer presist snakker vi om antall kg CO₂-ekvivalenter, da er også drivhuseffekten fra andre utslipp som f.eks. metan tatt med i beregninga.

For elektrisk kraft opereres det med ulike faktorer avhengig av hvordan den er produsert; fra kull, olje, vannkraft, vindkraft osv. Basert på anslag over andelen fra ulike kilder er det utarbeidd faktorer for ulike regioner:

-Europeisk mix (UCTE): 595 g CO₂eq / kWh.

-Nordisk mix (NORDEL): 210 g CO₂eq / kWh

-Norsk mix (NO): 17 g CO₂eq / kWh

Ut fra det faktum at kraft-nettet i ulike land er knytt sammen argumenteres det for at det ikke blir rett å bruke den norske faktoren.

En annen problemstilling er at utslippene fra strøm-produksjon i Europa ventes å synke, etterhvert som andelen «grønn strøm» øker. Det norske ZEB-senteret har utarbeidd en faktor basert på progressiv de-karbonisering av el-produksjonen. Denne faktoren på 132 g CO₂eq / kWh er et snitt over 60 år (Dokka 2012).

Hvilken CO₂-faktor vi bruker har svært stor innvirkning på hvilke løsninger som kommer best ut i forhold til klimagassutslipp. Grovt sett vil en lav faktor (som NO, 17g) favorisere løsninger med små investeringer i utstyr og materialer, og en høy faktor favorisere løsninger med lavt energiforbruk i driftsfasen, og høyt investeringsnivå, eventuelt løsninger med biobrensel og solutnyttelse.

Hvilken faktor det er riktig å bruke blir i høyeste grad diskutert. Et spørsmål er hvor store utslipp som skal belastes norske forbrukere, som bruker strøm som hovedsaklig er produsert med vannkraft (98,5%). Vi hører også argumenter som at vi ikke kan bruke en lav faktor, for da kommer enøk-tiltak for dårlig ut.

Det er store sprik i hvilke faktorer som blir brukt i beregninger, i tillegg til de ovenfor nevnte er følgende i bruk:

-SIMIEN: 395 g CO₂eq/kWh for el. Denne anbefales også i Sintef-rapport 42, Kriterier for passivhus og lavenergibygging, -Yrkesbygg.

-BREEAM NOR: 278 g CO₂eq/kWh for elektrisitet.

Ifølge Sartori (2012) fins det ingen korrekte CO₂-faktorer, det er bare et spørsmål om hvilke argumenter vi vektlegger, og hva vi vil belyse.

I simuleringene hadde jeg planlagt å bruke standard-verdien i SIMIEN som er på 395 g CO₂eq/kWh. På grunn av en misforståelse ble det i praksis brukt en faktor på **355 g CO₂eq / kWh**. Dette er forsåvidt i orden, den ligger da litt nærmere den Nordiske el-mixen og nye faktoren foreslått av ZEB.

For utslipp forbundet med materialer er det faktorer innebygd i de ulike LCA-databasene.

Heller ikke for biobrensel er det uten videre gitt hvilken CO₂-faktor vi skal bruke. Noen hevder at dette karbonet inngår i naturens kretsloop, og at vi derfor bare trenger å regne inn utslipp fra fossilt drivstoff i forbindelse med hogst, transport og bearbeiding. Flere nye rapporter hevder at hogst medfører store karbon-utslipp pga. nedbrytning i skogsbunnen, og at omløpstida i dette kretsløpet er altfor langt (40-100 år) til at vi kan se bort fra disse utslippene (Haugland 2011). Ut fra tankegangen om at det er de neste 20-30 åra som er de kritiske, kan dette ha stor relevans.

I utgangspunktet hadde jeg tenkt å bruke standard-faktoren i SIMIEN, som er på 14 g CO₂eq/kWh for tre-pellets. Samme verdi brukes også i BREEAM NOR. På grunn av en misforståelse ble det i praksis brukt en faktor på **50 g CO₂eq / kWh**. Dette kan være en like realistisk verdi, som da i større grad avspeiler ny forskning om biobrensel.

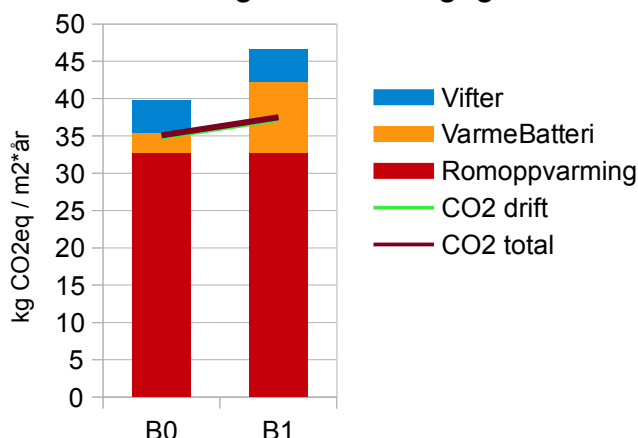
9. Resultater

Resultatene presenteres med samme betegnelser som er brukt tidligere, B for balansert ventilasjon, N for naturlig ventilasjon, case 1 – 6, og evt. Vedheng -e og -b for el-oppvarming og 50% av rom-oppvarminga fra biobrensel.

Justeringen av den nominelle momentane temperatur-virkningsgraden til aggregatet fra 80%, til en mer reell virkningsgrad på 63%, virker merkbart inn på de simulerte verdiene. Oppvarmingsbehovet over året øker med 6,8 kWh/m², som tilsvarer 19%, mens de totale klimagass-utslippene bare øker med 7%. Inkludert i klimagassutslippene er husets totale forbruk (inkludert belysning, varmtvann osv.)

Fig 18. Netto energibehov til oppvarming, og totale klimagassutslipp. Merk at klimagassutslipp er for husets totale forbruk (inkludert belysning, varmtvann osv.)

Oppvarmingsbehov og klimagassutslipp, nominell og reell virkningsgrad



		El-oppvarming				50% oppvarm fra biobrensel				
		Driftsfase			Inkl mat.	Driftsfase			Inkl mat.	Levert
		Oppvarm	vifter	Dir. el	CO2eq	CO2eq	Dir. el	CO2eq	CO2eq	Biobrensel
		kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kg/m ²	kg/m ²	kWh/m ²	kg/m ²	kg/m ²	kWh/m ²
B0	Bal 80% nominell virkn.g	35,4	4,4	98,4	34,9	35,1				
B1	Bal 63% virkn.g	42,2	4,4	105,2	37,3	37,5	88,8	32,6	32,8	21,3
N1	Nat 21°C	67,7	0	126,4	44,9	44,9	92,5	35	35,0	43,9
N2	Nat 20°C	62,5	0	121,2	43	43,0	89,9	34	34,0	40,6
N3	Nat 20°C 7tUte	54,6	0	113,2	40,2	40,2	86	32,3	32,3	35,4
B3	Bal 63% 7tUte	39,2	3,3	101,2	35,9	36,1		31,4	31,6	
N4	Nat 20°C 7tUte Vindusvent	49,4	0	108,1	38,4	38,4	83,4	31,2	31,2	32,1
N5	Nat 20°C 7tUte Kulvert	47,1	0	105,7	37,4	37,4		31,1	31,1	
N6	Nat 20°C 7tUte Vindusvent ÅpVindu	41	0	99,7	35,4	35,4	79,2	29,4	29,4	26,6
B6	Bal 63% 7tUte ÅpVindu sov	35,6	2	96,4	34,2	34,4	81,1	29,8	30,0	19,8

Tabell 5. Årlig energibehov og klimagassutslipp for passivhus med ulike ventilasjons-konsept. Utslipp fra komponenter ventilasjons-system inkludert, men ikke oppvarmingsystem.

Ser vi på forskjellen fra case B1 til N1, der alt annet enn ventilasjons-systemet er helt likt ser vi at oppvarmingsbehovet øker vesentlig. Klimagassutslippene med el-oppvarming har også økt vesentlig (21%), men med biobrensel i begge tilfeller bare 7%. N1 med 50% biobrensel har lavere klimagassutslipp enn B1 med el-oppvarming.

I case N2 er innetemperaturen en grad lavere, det innebærer en reduksjon i oppvarmingsbehovet på 8%. Med biobrensel er klimagass-utslippene bare 4% større enn B1 med biobrensel. N2b (biobrensel) har vesentlig lavere utslipp enn B1e (el-opparma).

Går vi videre til case 3, har det kommet inn den endringen at det er redusert luftskifte (utenfor oppholdstid) 7 timer i døgnet. Naturlig ventilasjon gir fortsatt høyere oppvarmingsbehov og

klimagassutslipp, men forskjellen er mindre. Med biobrensel har N3 2% høyere klimagass-utslipp enn B3. (Og N3b har lavere klimagassutslipp enn B1b, og vesentlig lavere enn B1e).

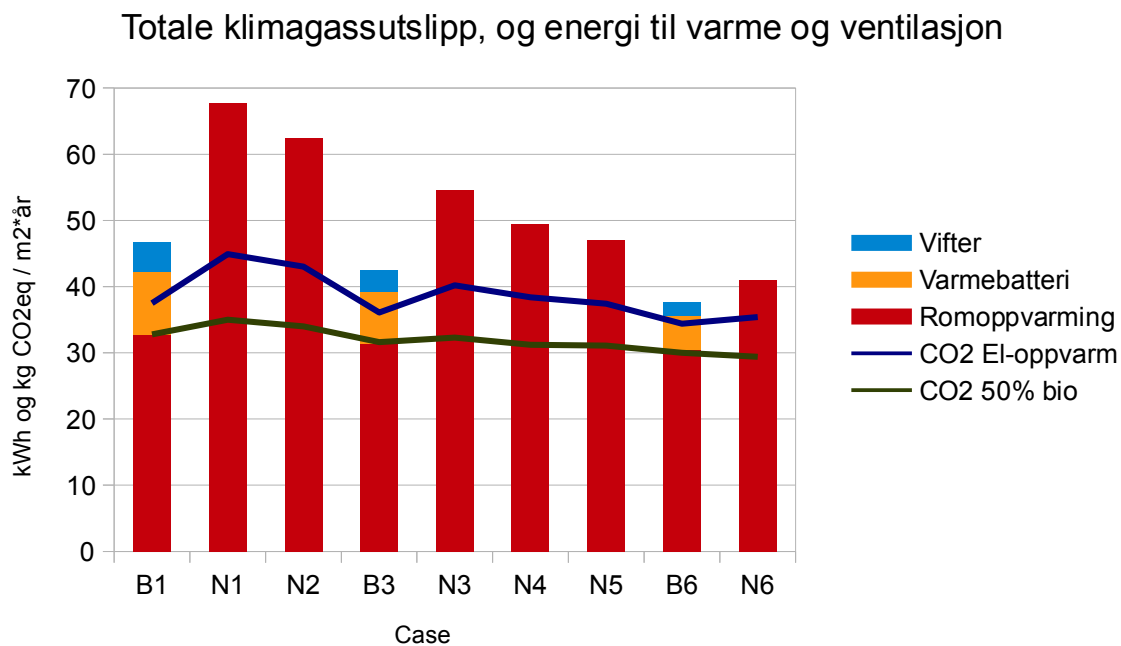
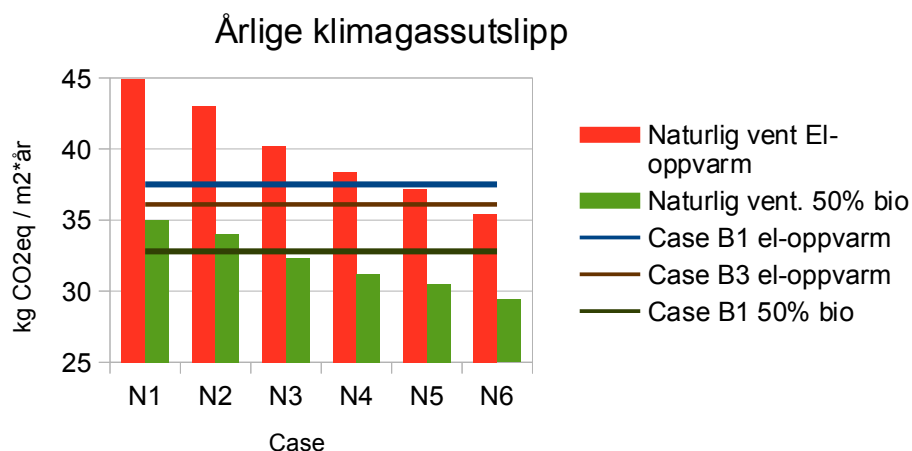


Fig 19. Netto energibehov over året til romoppvarming og ventilasjon, og klimagassutslipp for passivhus med ulike ventilasjons-konsept. Utslipp fra komponenter ventilasjons-system inkludert, men ikke oppvarmingsystem eller bygningskropp. CO2-utslipp for både el-oppvarming og 50% av rom-oppvarminga fra biobrensel. Merk at klimagassutslipp er for husets totale forbruk (inkludert belysning, varmtvann osv.)

Case N4 har i tillegg forvarming av luft i en del ventilerte vinduer. Dette fører til 9% lavere oppvarmingsbehov enn N3. Med el-oppvarming er klimagass-utslippene bare 2% høyere enn B1e.

Case N5 har forvarming av luft i en kulvert, og det ser ut til å ha litt mer effekt enn med ventilerte vinduer. Med el-oppvarming er klimagass-utslippene såvidt under B1. Case N5b har 5% lavere utslipp enn B1b, og 17% lavere enn B1e.

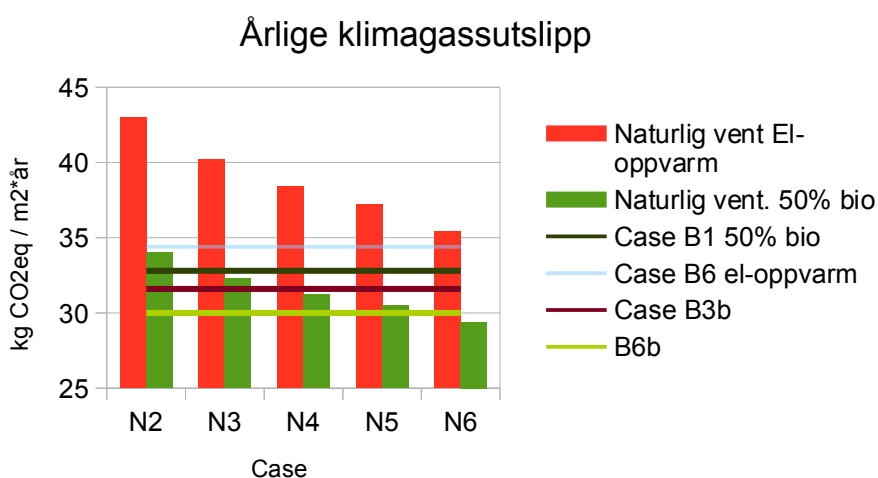
Fig. 20. Klimagassutslipp med ulike ventilasjons-case. Utslipp fra komponenter i ventilasjons-system inkludert, men ikke oppvarmingsystem eller bygningskropp



I case 6 er soveromsvinduene åpne om natta. Dessuten er det redusert driftstid på ventilasjonen som i case 3, og naturlig ventilasjon har forvarming i vinduer. (Case B6 er kanskje ikke så aktuell, men den er tatt med for å sammenligne). I case 6 har naturlig ventilasjon litt høyere klimagassutslipp med el-oppvarming (N6e - B6e), og litt lavere med biobrensel.

Case N6b har 10% lavere klimagass-utslipp enn B1b. Sammenligna med case B1e (som representerer et typisk norsk passivhus), har case N6b 21,6% lavere klimagassutslipp.

Fig. 21. Klimagassutslipp fra med ulike ventilasjons-case. Utslipp fra komponenter i ventilasjons-system inkludert, men ikke oppvarmingsystem eller bygningskropp



9.1. Klima

For å undersøke virkningen av ulike lokaliteter og klima, er det gjort en sensitivitets-analyse basert på caseB1 og caseN4, da jeg anser disse som to typiske og realistiske case. Det er simulert på steder som dekker mange ulike klimaforhold i Norge.

Energiforbruk i forskjellig klima.

Naturlig vent: 20 grad, 7t ute, forvarming i vinduer, eloppvarming.

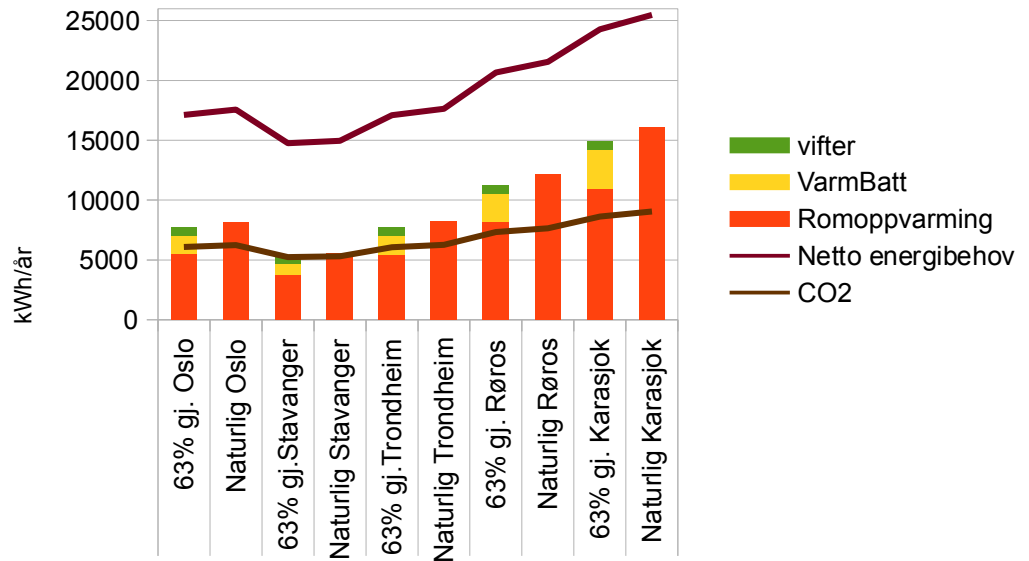


Fig. 22.

Netto energibehov, oppvarmingsbehov, og klimagassutslipp ved 2 ventilasjons-case på ulike lokaliteter.

For el-oppvarming kommer balansert ventilasjon best ut på alle steder, med fordelene er svært liten i det milde klimaet i Stavanger. Den relative fordelene med varmegjenvinning blir større dess kaldere klima.

Med 50% av rom-oppvarminga dekt av biobrensel kommer naturlig ventilasjon litt bedre ut for alle lokaliteter, men forskjellen er liten. Den relative forskjellen er faktisk størst i mildt klima, og avtar litt dess kaldere det er.

Årlig klimagass-utslipp, ulike lokaliteter

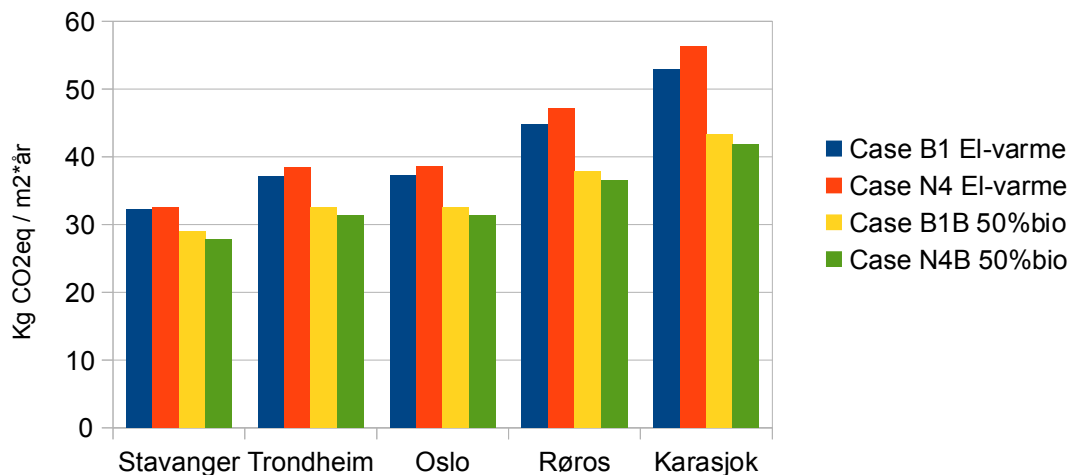


Fig. 23.

Klimagassutslipp for 2 ventilasjons-case på ulike lokaliteter. Utslipp fra komponenter i ventilasjons-system inkludert, men ikke oppvarmingsystem eller bygningskropp.

9.2. CO2-faktorer

Også for ulike CO2-faktorer for el-kraft er det gjort en sensitivitets-analyse med basis i caseB1 og caseN4.

Med el-oppvarming har balansert ventilasjon litt lavere utslipp for alle de ulike faktorene, unntatt den norske el-mixen med bare 17 g CO₂eq / kWh. Med denne faktoren er naturlig ventilasjon litt bedre, men det bli uansett svært lave utslipp.

Med 50% biobrensel kommer naturlig ventilasjon best ut for alle faktorer unntatt norsk el-mix. Den relative fordelten med naturlig ventilasjon blir litt mindre med lavere faktor.

Med norsk el-mix blir det høyere klimagass-utslipp med biobrensel enn med el-oppvarming, fordi CO2-faktoren for biobrensel (50g) da faktisk er høyere enn for el-kraft.

Årlige klimagass-utslipp, ulike CO2-faktorer for el.

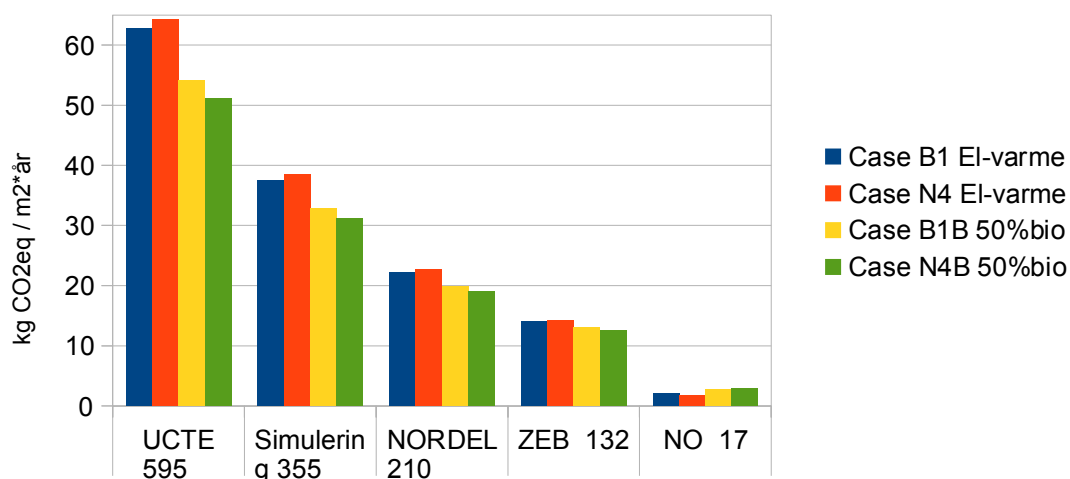


Fig. 24. Klimagassutslipp for 2 ventilasjons-case med ulike CO2-faktorer. Utslipp fra komponenter i ventilasjons-system inkludert, men ikke oppvarmingsystem eller bygningskropp.

9.3. Virkningsgrad gjenvinner

Det ble også gjort simuleringer med ulike virkningsgrader på gjenvinnings-aggregatet, i dette tilfellet med basis i caseB1. I figuren under er også mange av casene med naturlig ventilasjon lagt inn, de varierer jo ikke som funksjon av virkningsgrad gjenvinner.

Med el-oppvarming må case B1 ha nominell momentan temperatur-virkningsgrad på bedre enn 73% for å få mindre klimagass-utslipp enn case N4.

Med 50% biobrensel-oppvarming må B1 ha nominell momentan temperatur-virkningsgrad på:

- bedre enn 71% for å komme bedre ut enn caseN2,
- bedre enn 84% virkningsgrad for å komme bedre ut enn caseN3,og
- kommer aldri bedre ut enn caseN4.

Årlige klimagass-utslipp, ulik virkningsgrad gjenvinner

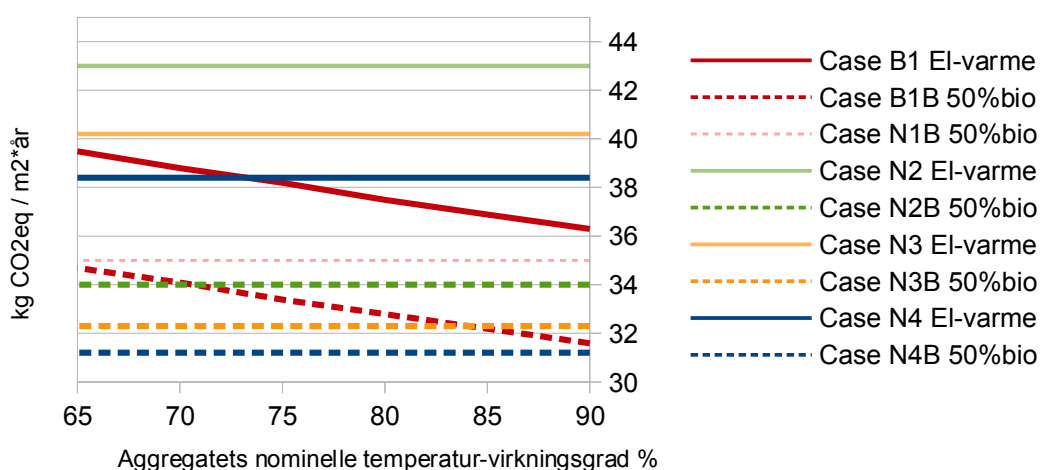


Fig. 25. Simuleringer med ulik virkningsgrad gjenvinning. De heltrukne strekene er med el-oppvarming, de stipla med biobrensel.

9.4. Reduserte luftmengder.

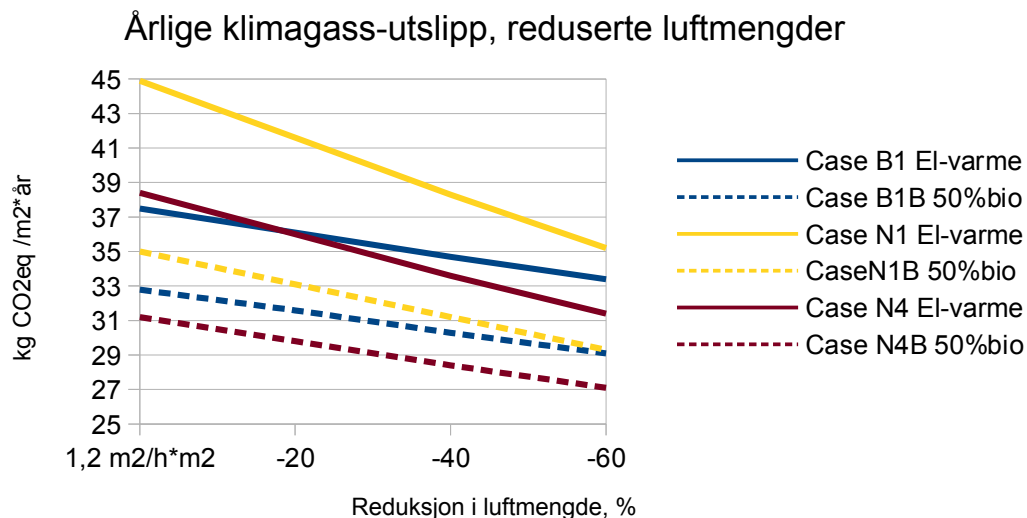


Fig 26.

Simuleringer med ulik virkningsgrad gjenvinning. De heltrukne strekene er med el-oppvarming, de stipla med biobrensel.

For å undersøke effekten av å redusere luftskiftet ble det gjort simuleringer med caseB1, caseN1 og caseN4. Luftmengdene ble redusert med henholdsvis 20%, 40% og 60%.

Med el-oppvarming har caseN4 lavere klimagass-utslipp enn caseB1 dersom luftmengdene er redusert mer enn 18%. Dersom N4e har redusert luftmengdene med snautt 10%, er utslippene de samme som case B1e med vanlige luftmengder.

Med 50% biobrensel vil caseN1 med ca 20% reduserte luftmengder få samme utslipp som caseB1, med vanlige luftmengder.

10. Drøfting

Min generelle kommentar til resultatene av simuleringene er at naturlig ventilasjon kommer overraskende godt ut i forhold til balansert ventilasjon, når det gjelder klimagass-utslipp. El-kraftbehovet til vifter spiser opp litt av den gjenvunne energien. Likevel er det totale energibehovet til oppvarming og ventilasjon større med naturlig ventilasjon, men om vi har el-oppvarming, trenger vi ikke bytte ut så stor andel av dette med biobrensel før klimagassutslippa blir like store (ca 37% av rom-oppvarminga).

Når vi forbedrer det naturlige ventilasjons-systemet med forvarming av inntaksluft og mindre luftskifte utenom oppholdstida (istedenfor varmegjenvinning), kommer balansert og naturlig ventilasjon omtrent likt ut, også med el-oppvarming. Case B1b og N4b/N5b har omtrent like stor klimagassutslipp.

Case N4, N5 og N6 med 50% biobrensel, har henholdsvis 17%, 20% og 21,6% lavere utslipp enn case B1e (som representerer et typisk norsk passivhus). Dette skulle tilsi at det går an å bygge et svært miljøvennlig hus uten balansert ventilasjon med varmegjenvinning.

10.1. Komponent-utslipp liten betydning?

Fra tabell 5, og kapitlet om utslipp fra selve ventilasjons-anlegget ser vi at disse utslippene er små i forhold til utslipp fra driftsfasen. De totale klimagass-utslippene er stort sett mellom 30 og 40 kg CO₂eq / m²*år, og mens komponent-utslippet fra ventilasjons-anlegget er på 0,19 kg CO₂eq / m²*år. Mellom disse to er det et forhold på 200:1.

Det er også interessant å sammenligne komponent-utslipp med f.eks energien brukt til vifter. I vårt tilfelle går det med 4,4 kWh/m²*år, som medfører utslipp på 1,56 kg CO₂eq / m²*år. Forholdet mellom utslipp fra viftdrift og komponent-utslipp er da ca 8:1, de komponent-relaterte utslippene utgjør altså en liten del.

Aller mest interessant er det å se på forholdet mellom utslipp fra drift og komponenter, og reduksjon i utslipp pga. varmeutbytte fra gjenvinning. Dette forholdet kommer imidlertid an på oppvarmingskilden.

I vår case B1 utgjør varme-utbyttet fra gjenvinneren 7,6 kg CO₂eq / m²*år med el-oppvarming, og 2,4 kg CO₂eq / m²*år med biobrensel. Da er forholdet henholdsvis 1:4 og 1,4:1. Dette vil si det samme som at i en utslippsmessig vurdering er ikke varmegjenvinneren «nedbetalt» før etter 2/3 av levetida, dersom vi har varme fra biobrensel.

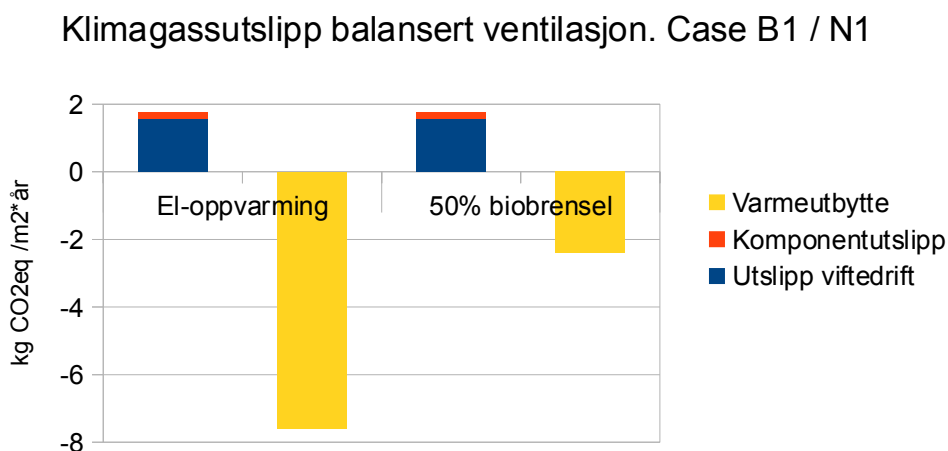


Fig. 27. Forholdet mellom klimagassutslipp fra komponenter og viftdrift, og varmeutbyttet fra gjenvinner, i et balansert ventilasjons-anlegg.

For en kulvert med varmeutbytte på 1200 kWh/år (som i vårt tilfelle), utgjør det en reduksjon i utslipp på 2,7 kg CO₂eq / m²*år med el-oppvarming, og 1,5 kg med 50% biobrensel. Komponentutslippet fra vår kulvert var på 0,11 kg CO₂eq / m²*år.

Da blir forholdet mellom utbytte og komponentutslipp på henholdsvis 24:1 og 13:1.

Dette indikerer at et kulvert-anlegg er klart lønnsomt i et miljøperspektiv.

10.2. Biobrensel / el-oppvarming

Når vi bytter ut 50% av den elektriske rom-oppvarminga med biobrensel vil en litt mindre andel bli bytta ut, i tilfellene med balansert ventilasjon. Dette er fordi det hele tida går strøm til viftene, som direkte og indirekte (varmegjenvinning), gir varme til innelufta. Dermed blir en litt større andel av det totale energibehovet dekt av biobrensel i tilfellene med naturlig ventilasjon enn med balansert. Men dette avspeiler virkeligheten, det er jo nettopp en av fordelene med naturlig ventilasjon at en mindre andel av det totale energibehovet er el-spesifikt.

Vi ser for øvrig at hva slags energi som blir brukt til oppvarming har stor betydning for hvilket ventilasjons-konsept og investeringsnivå som er fornuftig. Fordelen med balansert ventilasjon er større med el-oppvarming enn med biobrensel. Med naturlig ventilasjon og el-oppvarming er blir det viktigere med forvarming og redusert driftstid på ventilasjonen, for å få lave utslipp.

Vi ser også at energikilden til oppvarming har vel så stor betydning for klimagass-utslippene som ventilasjonskonseptet: Alle casene med naturlig ventilasjon og biobrensel har lavere utslipp enn alle case med balansert ventilasjon og el-oppvarming (unntatt B6 med balansert ventilasjon og åpent soveromsvindu, som antakelig er kommet for godt ut).

10.3. Klima

Det kan virke litt overraskende at ikke fordelene av varmegjenvinning øker enda mer i kaldt klima. Noe av forklaringa kan være behovet for å bruke energi til avriming, også på roterende varmevekslere, når temperaturen kommer under 10 grader minus.

10.4. CO₂-faktor for el-kraft

Med lav faktor på el-kraft er ulempene med det ekstra strømforbruket til vifter ikke så store. Fordelen med å bytte ut en del av el-oppvarminga med biobrensel er heller ikke så store.

10.5. Redusert driftstid på ventilasjonen

Vi kan diskutere om det er rimelig å sammenlikne case N3, 5 og 5 med B3, som også har redusert driftstid, eller med B1, som går konstant.

Det er viktigere å redusere perioden med full ventilasjon i et naturlig ventilert hus, fordi man mister mer varme pr. m³ uten varmegjenvinner. Dermed blir det i større grad gjort, enn i hus med balansert ventilasjon. En hører også folk si at: «like lurt å la anlegget gå for fullt, for nesten all varmen blir gjenvunnet» (rebound-effekten).

Det kan tenkes at de som bor i hus med naturlig ventilasjon er mer innstilt på /vant til / tvunget til, å lære seg, og ta mer aktivt del i reguleringa av ventilasjonen. Dermed kan det være større mulighet for å gjennomføre reduksjon av luftskiftet når ingen er heime. På den annen side er det vanligvis enklere få til helautomatisk regulering med balansert ventilasjon, sjøl om det også er mulig å bruke automatiske, motordrevne spjeld og ventiler i naturlig ventilerte hus.

10.6. Redusert luftskifte

I denne oppgaven har jeg brukt luftmengder gitt i det generelle kravet i TEK10 om minimum

1,2 m³/m²*h, og i liten grad problematisert dette kravet. Det diskuteres imidlertid om like godt inneklimate kan oppnås ved lavere luftskifte i de kaldeste periodene, hovedsaklig for å unngå svært tørr luft (Roaldkvam 2005). Derfor er det gjort en sensitivitetsanalyse for klimagassutslipp ved reduserte luftmengder. Denne viser som forventet at naturlig ventilasjon kommer bedre ut i forhold til balansert, ved lavere luftskifte.

10.7. Åpent vindu i soverom

En slik ventilasjons-strategi er gjerne mindre aktuell i forbindelse med balansert ventilasjon, siden det gjerne må tas ekstra grep for at det skal fungere: Må helst ha mulighet for å stenge innluft-ventilen på soveromma, og ha muligheten til tett dør til andre rom.

Nå er det selvfølgelig mulig å lage balanserte anlegg der soveromma er holdt helt utenfor, med tette soveromsdører, og stort sett uoppvarma soverom. På den måten kunne en få fordelene ved begge systemer, og svært lave klimagassutslipp. Men det blir gjerne litt «smør på flesk» og jeg har ikke hørt om noen slike i praksis.

På den annen side: En del målinger i passivhus viser at en del soverom trenger litt større luftskifte enn det som er brukt i simuleringene (Larsen et al 2012). Mathisen (2009), anbefaler 7 l/s*person, dvs. mer enn dobbelt så mye som i simuleringene her, som brukte 1,2 m³/h. Dersom vi økte luftmengdene slik det anbefales, ville reduksjonen i oppvarmingsbehov ved å sove med åpent vindu vil være større enn det simuleringene viser.

10.8. Neste 20-30 år viktigst?

Dersom hypoteser om sjølfsterkende effekter med global oppvarming stemmer, har en reduksjon av CO₂-utslipp de neste 20-30 år mye større virkning enn reduksjoner seinere. Da blir det mer verdt å redusere utslipp (forbundet med materialbruk) nå, enn å få reduserte utslipp fra energibruk om 30-60 år. Tar vi slike vurderinger med i regnestykket, blir det en ulempe med de ekstra grå utslippene forbundet med et balansert ventilasjonsanlegg, og naturlig ventilasjon kommer relativt sett, litt bedre ut.

10.9. Tap med fukt tilført innelufta

Jeg har regna med at 10% av energien som er tilført innelufta er latent varme. Ved temperaturer under -5° C er den reelle andelen noe mindre. Dermed blir dette anslaget noe unøyaktig på steder der det er slike temperaturer en stor andel av oppvarmingsperioden, f.eks. Røros. På slike steder kan det reelle utbyttet fra en varmegjenvinner være noe høyere enn beregna her. Simuleringene viser uansett at det er på slike steder fordelene med gjenvinner er størst.

Det har overaska meg at den latente varmen som blir tilført lufta inne i huset vanligvis ikke regnes med i varme-flyten ut av huset. Dersom vi skal gjøre en reell vurdering av hvor stor andel av varmen som blir gjenvunnet av et ventilasjons-anlegg, må den latente varmen inkluderes.

Flere arbeider peker på en utbredt mangel på samsvar mellom målt energiforbruk og det som er kalkulert på forhånd (Elmroth 2002, Bagge et al 2010). Bagge and Johansson (2009) nevner flere prosjekter der målt forbruk lå 50-100% høyere enn stipulert. Karlsson et al. (2007) fant 50% høyere forbruk enn stipulert i passivhus i Stockholm. Målinger i Løvåshagen viser også høyere energiforbruk til oppvarming enn beregna (Nesland 2010).

Kan det tenkes at utelatelsen av latent varme som en post i regnskapet er noe av forklaringa på høyere målt energi til oppvarming?

10.10. Forvarming ved naturlig ventilasjon

I denne oppgaven har jeg gjort beregninger på effekten av ventilerte vinduer og kulvert-anlegg, men disse beregningene er relativt lite detaljerte og er nok forbundet med mye usikkerhet. Imidlertid

tyder beregningene på at vi kan hente ut litt mer varme ut med en kulvert enn med ventilerte vinduer. Slike vinduer innebærer mindre investering både klima- og krone-messig enn en kulvert, men jeg har ikke grunnlag nok til å avgjøre hvilken løsning som er miljømessig mest fornuftig. En annen faktor er at kulvert kan gi større kjøle-effekt om sommeren, men dersom vi ikke har vesentlige kjølebehov, er kanskje ventilerte vindu å foretrekke.

En annen liten fordel med naturlig ventilasjon er at en ikke trenger å bruke tid og krefter på å få bygget så ekstremt lufttett. Hovedpoenget med de tette bygningene er å unngå luftskifte utenom varmeveksleren. Uten varmeveksler blir det derfor ikke viktig med så god tetting. Huset må imidlertid være tett nok til å unngå kondens og fukt-opphopning i klimaskjermen, og tett nok til å unngå for stort luftskifte når det er sterk vind.

10.11. Usikkerhet / feilkilder

De nominelle virkningsgradene ble justert ned med 10% for å gi et realistisk uttrykk for hva som forekommer i praksis. Dette er basert på målinger av virkningsgrad i praksis, men det er et begrensa antall studier, og noen av dem en del år gamle. Det kan ha vært en viss forbedring de siste åra. Disse tallene har nok relativt stor usikkerhet. Det er riktignok gjort en sensitivitets-analyse med ulike virkningsgrader som også kan indikere noe om effekten av ulik justering av virkningsgradene. Av den ser vi at med 85% nominell virkningsgrad (eller 80% nominell, bare redusert med 5%) har case B1b og N3b omtrent like utslipp.

Selv med 90% nominell virkningsgrad (som tilsvarer 80% nominell, redusert med 0%) har alle de de naturlig ventilerte tilfellene, lavere utslipp enn case B1 med el-oppvarming.

I framtida er det venta en endring mot mer energieffektiv elektrisk belysning og utstyr. Dersom effekten av dette mer enn oppveier økt forbruk, slik at det interne tilskuddet minker, vil oppvarmingsbehovet øke og oppvarmingsperioden bli lengre. Dermed vil en varmeveksler gjenvinne nyttbar varme i en lengre periode, og gi noe større varmeutbytte enn mine simuleringer med dagens standard interntilskudd for passivhus.

Beregningene av klimabelastning fra produksjon, montering og vedlikehold av ventilasjonsanlegget er ikke veldig detaljerte, og er nok behefta med en del usikkerhet. Men sjøl om de i virkeligheten skulle være to eller tre ganger så store, har det nesten ikke merkbar innvirkning på de totale klimagassutslipp, fordi dette (material ventilasjonsanlegg) utgjør så liten andel av de totale utslippa. I boligen med naturlig ventilasjon går det med litt materialer til avtrekks-lyre og inntaksventiler. Dessuten vil det være behov for et litt større varmeanlegg, når mindre varme blir gjenvunnet fra avtrekks-lufta. Ingen av disse forholda har jeg regna inn. Imidlertid vil dette utgjøre så lite at det ikke er merkbart totalt

Case N5 (med kulvert) trenger antakelig noen fordelingskanaler i huset, evt høyere, avtrekkstårn eller vindhane. Dette er det sett bort fra i simuleringene.

I tilfellene med åpent soveromsvindu er det gjort en forenlinger og antagelser som gjør at beregningene av tap ved transmisjon, infiltrasjon, og ventilasjon har en del usikkerhet. Dette gjelder spesielt for balansert ventilasjon.

I LCA-beregninger generelt kan det diskuteres hvor en skal sette systemgrensene. Skal vi også inkludere transportens slitasje på vei, og belastning fra produksjon av asfalt osv. Bruken av gjenvinnings-aggregat fører med seg mer transport, som kanskje bidrar til at veg-kapasiteten blir sprengt, det må bygges nye veier osv..... Poenget er at dersom vi setter systemgrensene lenger ut vil vi antakelig få **litt** større komponent-relaterte utslippstall.

11. Konklusjon

I en reell vurdering av hvor stor andel varme som blir gjenvunnet av et ventilasjons-anlegg, bør den latente varmen som blir tilført innelufta inkluderes.

Beregningene indikerer at de totale klimagass-utslipp fra en bolig med naturlig ventilasjon kan være like lave som med balansert ventilasjon med varmegjenvinning.

Et typisk norsk passivhus med el-oppvarming og balansert ventilasjon ser ut til å ha høyere klimagass-utslipp enn et med naturlig ventilasjon og 50% av rom-oppvarmingsbehovet dekt av biobrensel.

Et naturlig ventilert hus isolert på passivhus-nivå, med forvarming av luft i kulvert, og redusert luftskifte på dagtid når folk er ute, kan har like lav klimabelastning som et typisk passivhus, når begge er el-oppvarma.

Dette indikerer at naturlig ventilasjon ikke er noen dårlig løsning vurdert i forhold til klimagass-utslipp, men er litt mer avhengig av energikilde med lav utslippsfaktor enn balansert ventilasjon. Spesielt i et konsept med oppvarming med vedovn, pelletsovn eller fjernvarme er det mulig å oppnå lave totale utslipp med naturlig ventilasjon.

På bakgrunn av dette virker ikke de norske byggeforskriftene som hensiktsmessige verktøy i arbeidet for å bremse den globale oppvarminga. Det er stor fare for en sub-optimering, og bygninger med lavt energiforbruk til oppvarming, men ikke nødvendigvis lave totale klimagass-utslipp.

11. 1. Videre arbeid

Etter min vurdering er det behov for flere målinger og beregninger av reell virkningsgrad på ventilasjon-aggregat i praksis, både i boliger og yrkesbygg.

Et avgjørende spørsmål i forhold til brukerstyrt ventilasjon, er om luftkvaliteten blir god nok til å være helsemessig forsvarlig når folk ventilerer etter oppfatta behov. Dette avhenger i høyeste grad av mengden avgitt forurensing som ikke kan luktes eller merkes på annen måte av mennesker. Og dette avhenger igjen av typen og mengden emisjoner fra materialer (og inventar) vi bruker i huset. Dag Roaldkvam logger en barnehage der luftinntak skjer gjennom vinduer som åpnes av automatisk drevne motorer. De åpnes også med manuell bryter og står da oppe en halvtime. Han vil gradvis redusere de automatiske åpningstidene til han registrerer at folk trykker oftere på knappen, og dermed få et mål på hvor mye ventilasjon brukerne ønsker.

Spørsmålet er om det er vanlig at innelufta inneholder forurensing av vesentlig helsemessig betydning som vi ikke merker, eller om vi uansett vil ventilere nok ut fra opplevd luftkvalitet (lukt o. a.).

Det hadde også vært svært interessant med målinger av luftmengder og luftfordeling i bygg med fungerende naturlig ventilasjon.

12. REFERANSER

- Arundel, A. V., Sterling, E. M., Biggin, J. H., Sterling, T. D., 1986. Indirect health effects of relative humidity.
- ASHRAE. Thermal environmental conditions for human occupancy, ASHRAE standard 55: 2010. Atlanta, Georgia: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Bagge, H., Johansson, D., 2009. Measured indoor temperatures and relative humidity in residential apartment buildings. *Proceedings of Healthy Buildings 2009*.
- Bagge, H., Johansson, D., Lindstrij, L., 2010. Indoor Hygrothermal Conditions in Multifamily Dwellings—Measurements and Analysis. ASHRAE Thermal XI Conference, 2010
- Bagge, H., og Johansson, D., 2009. Energy use in multi-family dwellings—Demands and verification. *Proceedings of 5th Nordic conference on construction economics and organization, Reykjavik, Iceland*, 1:184–92.
- BE, Veiledning til TEK10. 2010.
- Blom, I., Itard, L., Meijer, A., 2010. LCA-based environmental assessment of the use and maintenance of heating and ventilation systems in Dutch dwellings
- Boverket, 2008. Regelsamling för byggande, BBR 2008, Boverket, Karlskrona, Sweden.
- Byggforsk, Byggdetaljer 552.311 Inneklima og ventilasjon i skoler. 2005.
- Byggforsk, Byggdetaljer 552.323 Behovsstyrt ventilasjon. 2005.
- Carlos, J. S., Corvacho, H., Silva, P. D., Castro-Gomes, J. P., 2011. Heat recovery versus solar collection in a ventilated double window. *Applied Thermal Engineering* 37 (2012) 258e266
- de Dear, R.J., Brager, G., 1998. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. *ASHRAE Transactions* 1998;104(1):145e67.
- de Dear, R.J., Brager, G.S., Cooper, D., 1997, “Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference, Final Report ASHRAE RP- 884, “Results of Cooperative Research between the American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc., and Macquarie Research, Ltd.””,
- Deuble, M.P. and de Dear, R.J. (2012) Mixed-mode buildings: A double standard in occupants' comfort expectations', *Building and Environment*, Volume 54.
- Dodoo, A., Gustavsson, L., Sathre, R. 2010. Life cycle primary energy implication of retrofitting a wood-framed apartment building to passive house standard. *Resources, Conservation and Recycling*, 54 (12), pp. 1152-1160.
- Dodoo, A., Gustavsson, L., Sathre, R., 2011. Primary energy implications of ventilation heat recovery in residential buildings. *Energy and Buildings*, 43 (7) (2011), pp. 1566–1572
- Dokka, T. H., 2011. Proposal for CO₂-factor for electricity and outline of a full ZEB-definition.

Elmroth, A., 2002. Energianvändning i teori och praktik i flerbostadshus. Contribution to the Anthology: *Effektivare energi i bostäder. En antologi om framtidens styrmedel*, Swedish Energy Agency, Eskilstuna, Sweden, 66–75.

Flexit nettside: <http://www.flexit.no/Produkter/Kjokkenhetter/Med-motor/>

Flexit nettsider: http://www.flexit.no/Documents/Brosjyrer/NO/BRO_98006.pdf?epslanguage=no

Gram-Hanssen, K., 2010. Residential heat comfort practices: understanding users. *Building Research & Information*, 38(2), 175–186.

Grini, C., Wigenstad, T., 2011. LECO, Behovstilpasset ventilasjon. Sintef Byggforsk, Prosjektrapport 73.

Gustavsson, L., Joelsson, A., 2010. Life cycle primary energy analysis of residential buildings. *Energy and Buildings*, 42 (2) (2010), pp. 210–220

Halstadtrø Elin, 2011. Skolebygninger - inneklimate og effektiv energibruk. Nasteroppgave NTNU.

Hanssen, S.O., Nojakovic, V., Thue, J. V., Wangensteen, I., Gjerstad, F. O., 2007. Enøk i bygninger. Effektiv energibruk. 3 ed. SINTEF / NTNU.

Haugland, H., Økstad, E., Gulbrandsen, M. U., Strømme, I., Fjeldal, P., Leffertstra, H., 2011. Skog som biomasseressurs. Klima- og forurensingsdirektoratet.

Hellwig, R.T., Brasche, S., Bischof, W., 2006. Thermal comfort in offices natural ventilation vs. air conditioning. Proceedings of conference: Comfort and Energy Use in Buildings – London.

Hernandez, P., og Kenny, P., 2010. Integrating occupant preference and life cycle energy evaluation: a simplified method. *Building Research & Information*, 38:6, 625-637

Hinnen, U., 2008. Raumluchtfeuchte aus medizinischer Sicht, Zentrum für Arbeitsmedizin, Ergonomie und Hygiene AEH

Jensen, J. S., Rammer, T., Svendsen, S., Christiansen, J., Drivsholm, C., Olsen, H., 2003. Udvikling og optimering af et energieffektivt straightener ventilationsaggregat med indbygget chopper varmeveksler. Teknologisk Institut.

Juodis, E., 2006. Extracted ventilation air heat recovery efficiency as a function of a building's thermal properties: *Energy and Buildings* 2006;38:568–573.

Kalamees, T., J. Vinha, and J. Kurnitski. 2006. Indoor humidity loads and moisture production in lightweight timber-framed detached houses. *Journal of Building Physics* 29(3):219–46.

Karlsson, F., Rohdin, P., Persson, M. L., 2007. Measured and predicted energy demand of a low energy building: Important aspects when using Building Energy Simulation. *Building services* 2007 .

Klinski, M., Thomsen, J., Lappegård, Å., Hauge, S. J., Dokka, T. H., 2012. Systematisering av

erfaringer med passivhus. Sintef rapp.90.

Krus, M., Rösler, D., Holm, A., 2011. Supply and exhaust ventilation system with heat recovery in comparison to a demand-based (moisture-controlled) exhaust ventilation system. Roomvent 2011.

Langseth, B., Everett, E.N. og Havskjold, M., 2011. Energibruk i lavenergi- og passivbygg. En sammenligning av forventet og målt energibruk, Energi Norge.

Larsen, T. S., Jensen, R. L., Daniels, O., 2012. Komforthusene -målinger og analyse af indeklimate og energiforbruk i 8 passivhuse 2008-2011.

Lassen, N., Fylling, A., Mysen, M., Dokka, T. H., Bordewich, L., 2009. Passivbygg som forskriftskrav i 2020. Multikonsult, Sintef.

Leaman, A.J., Bordass, W.T., 1997. Productivity in Buildings: the Killer Variables, Workplace Comfort Forum, London.

Markussen Raffnsøe, L., 2007. Thermal Performance of Air Flow Windows. Master Thesis, BYG•DTU Department of Civil Engineering.

Marsh, R., Lauring, M., 2003. Bolig og naturlig ventilation: Indeklima energi driftsikkerhet. Arkitektskolens forlag.

Mathisen, H. M., 2009. Behovsstyrt ventilasjon i passivhus og lavenergiboliger . Husbanken 2009.

Münzenberg, U. & Thumulla, J. (2003) Raumluftqualität in Passivhäusern. I: 7. Internationale Passivhaustagung 2003. Hamburg.

Nesland, O., 2010. Energibruk og inneklimate i passiv- og lavenergihus. Masteroppgave NTNU.

Nicol, J.F., Humphreys, M.A., 2002. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. Energy and Buildings 34 2002, 563±572)

Nielsen, T. og Drivsholm C., 2010. Energy efficient demand controlled ventilation in single family houses.

Nieminen, J., Holopainen, R., Lylykangas, K., 2008. Passive house for a cold climate. VTT 2008.

Nordby, A. S., 2011. Carbon reductions and building regulations: the case of Norwegian mountain cabins. Building Research and Information, 39:6, 553-565.

NS-EN 13779:2007 Ventilasjon i yrkesbygninger - Ytelseskrav for ventilasjons- og romklimatiseringssystemer. 2007.

NS-EN 15251:2007 Inneklimaparametere for dimensjonering og vurdering av bygningers energiytelse inkludert inneluftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustikk. 2007.

NS-EN ISO 7730:2005 Ergonomi i termisk miljø - Analytisk bestemmelse og tolkning av termisk velbefinnende ved kalkulering av PMV- og PPD-indeks og lokal termisk komfort (ISO 7730:2005). 2005.

- Nyman, M., Simonson, C.J. 2005. Life cycle assessment of residential ventilation units in a cold climate, *Building and Environment* 40 (1) (2005) 15–27.
- Petersen, A. J., Bryn, I., Schild, P. G., Haugen, E. N., Nilson, G., Kjell Høydahl, K., 2009. Forhold tilknyttet bruk av roterende gjenvinnere i skoler. Erichsen & Horgen og SINTEF
- Programbyggerne. Dataprogram: SIMIEN. Tilgjengelig på: www.programbyggerne.no
- Roaldkvam, D., 1997. Naturlig ventilasjon. Forprosjekt NABU/NFR.
- Roaldkvam, D., 2005. Ventilasjon av boligblokk. OBOS prosjekt.
- Roulet C. A., 2005. The Role of ventilation. Redaktører: Allard F., og Ghiaus C., *Natural ventilation in the urban environment*. Earthscan.
- Roulet, C., Heidt, F., Foradini, F., Pibiri, M., 2001. Real heat recovery with air handling units: *Energy Buildings* 33:495–502.
- Sartori, I. 2012. Net zero energy buildings: A consistent definition framework, 2012. *Energy and buildings*.
- Schild, P., 2003. Nasjonal undersøkelse av boligventilasjon med varmegjenvinning. Norges byggforskningsinstitutt. Prosjektrapport 341. Oslo, 2002.
- Sjøvold, O., 2008. VVS Aktuelt 17.04.08.
www.vvsaktuelt.no/xp/pub/hovedmeny/varme_og_energi/298481
- Systemair nettside 14-04-2012;
www.systemair.com/no/om_boligventilasjon/ventilasjonsaggregater_1/varmegjenvinning_-_energieffektivitet
- Sørnes, K., 2011. Heating and Ventilation of Highly Energy Efficient Residential Buildings: Environmental Assessment of Technology Alternatives. Masteroppgave NTNU.
- Thomsen, J., Berge, M., 20012. Inneklima i energieffektive boliger -en litteraturstudie.
- Thyholt, M., Dokka, T. H., 2003. Nye forskriftskrav til bygningers energibehov. Statens bygningstekniske etat (BE)
- Tommerup, H. og Svendsen, S., 2006. Energy savings in Danish residential building stock, *Energy and Buildings* 38 (6) (2006) 618–626.
- Winther, B.N. (1998) Energibelastninger ved lavenergi boliger, Thesis, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Trondheim.
- Wirth, St., 2002. Ist mit der kontrollierten Wohnungsluftung eine Primärenergieeinsparung möglich? *Bauphysik* 24, 4, S. 236-239.

Vedlegg 1. Tap med fukt tilført innelufta

Fuktproduksjon i enebolig

Avkastluft 21 grader 4 personer og 192 m³/h

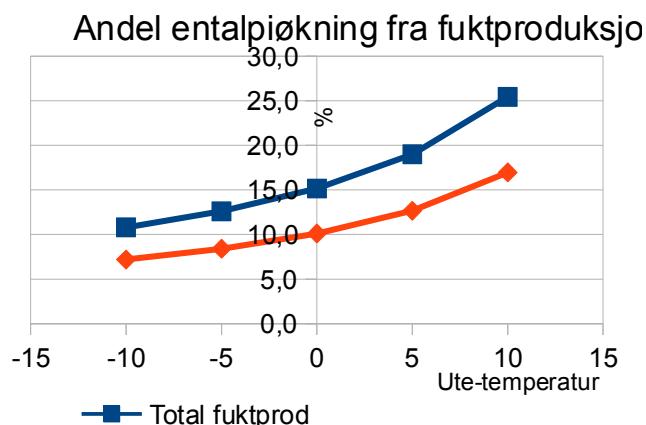
Tetthet luft: 1,3 kg/m³

	fukt/døgn	total fukt/døgn		Fukt direkte fra mennesker			Ratio
	kg/pers*døgn	kg/døgn	g/m ³	g/kg	g/h*person	Kg/døgn*pers	pers/total
Koch (1986): 2,6 kg/pers day	2,6	10,4	2,2	1,7			
Schild(2002): 0,36 kg/h for a family of 4.	2,2	8,64	1,9	1,5			Sleeping person 45 g/h
Andersson(1995): 3g/m ³		13,8	3	2,3			
Kalamees (2006): 1,9 kg/pers day	1,9		1,7	1,3			
Steen Jensen et al 2003		15			40	0,6	
byggdetaljblad 421.503					50	0,75	
Snitt		12	2,2	1,7		0,67	4,5

% latent varmetilførsel. +1,5 g fukt/m³ uteluft

Ute-temp	60% RH			70% RH			80% RH		
	Δi sensibel	Total i% fukt	i% fukt u pers	Δi sensibel	Total i% fukt	i% fukt u pers	Δi sensibel	Total i% fukt	i% fukt u pers
			0,67			0,67			0,67
10	10,5	26,3	17,5	11	25,4	16,9	11	25,4	16,9
5	16	19,0	12,7	16	19,0	12,7	16	19,0	12,7
0	21,5	14,9	9,9	21	15,2	10,1	21	15,2	10,1
-5	26	12,6	8,4	26	12,6	8,4	25,5	12,8	8,5
-10	31,5	10,6	7,1	31	10,8	7,2	31,5	10,6	7,1

Fukt-tilførselens andel av entalpiøkningen til innelufta ved ulike ute-temperaturer. Temp. i avkastlufta 21 grader. Total vann-tilførsel 1,5 g/m³ (fuktproduksjon). Beregna grafisk med mollierediagram.



Fuktproduksjon

-Ifølge Koch (1986) blir det avgitt ca 2,6 kg fukt/person*døgn.

-Fuktproduksjon i boligen [ca. 0.3635 kg/h for en familie på fire] (Schild 2002) Tilsvaret 2,2 kg/pers*døgn.

-Fuktproduksjon ved stillesittende/lett aktivitet: 50g/h pr.person. (byggdetaljblad 421.503, Krav til luftmengder i ventilasjonsanlegg, 1999).

-En almindelig familie med to voksne og to barn producerer dagligt ca. 15 kg vanddamp. Det daglige dampproduktionsmønster kan variere meget. Der vil oftest være størst produktion i morgentimerne hvor der tages bad og først på aftenen i forbindelse med madlavning og op- vask.

-Ved normal fugtafgivelse afgiver en person 0,04 kg vanddamp pr. Time. (Steen Jensen et al 2003).

-Kalamees et al (2006) kalkulerer ut fra sine målinger av RH i finske eneboliger en fuktproduksjon om vinteren på 5,9kg/døgn, tilsvarende 1,9 kg/døgn*person. Tabell 6 side 236 angir mer detaljert verdier fra litteratur; 4-6kg totalt, derav ca 1/3 direkte fra mennesker.

-Andersson (1995) angir 3 g/m³.

-Med 15 timer innendørs i døgnet blir det 750 g/person*døgn, og det vil si at ca 1/3 av den totale fuktproduksjonen kommer direkte fra mennesker.

Vedlegg 2. Sammendrag resultater fra simulering

Sensitivitetsanalyse klima		EI-oppvarming					50% oppvarm fra biobrensel				
		Driftsfase				Inkl mat.	Driftsfase			Inkl mat.	Levert
		Oppvarm	vifter	Dir. el	CO2eq	CO2eq	Dir. el	CO2eq	CO2eq	Biobrensel	
		kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kg/m ²	kg/m ²	kWh/m ²	kg/m ²	kg/m ²	kWh/m ²	
B1	Stavanger	27,6	4,4	90,7	32,2	32,4		29	29,2	14,3	
B1	Trondheim	41,6		104,6	37,1	37,3		32,5	32,7	21	
B1	Røros	63,2		126,3	44,8	45,0		37,8	38,0	31,5	
B1	Karasjok	85,9		149	52,9	53,1		43,3	43,5	43	
N4	Stavanger	32,7		91,4	32,4	32,4		27,7	27,7	21,2	
N4	Trondheim	48,9		107,6	38,2	38,2		31,1	31,1	31,7	
N4	Røros	73,7		132,4	47	47,0		36,3	36,3	47,9	
N4	Karasjok	99,3		158	56,1	56,1		41,7	41,7	64,5	

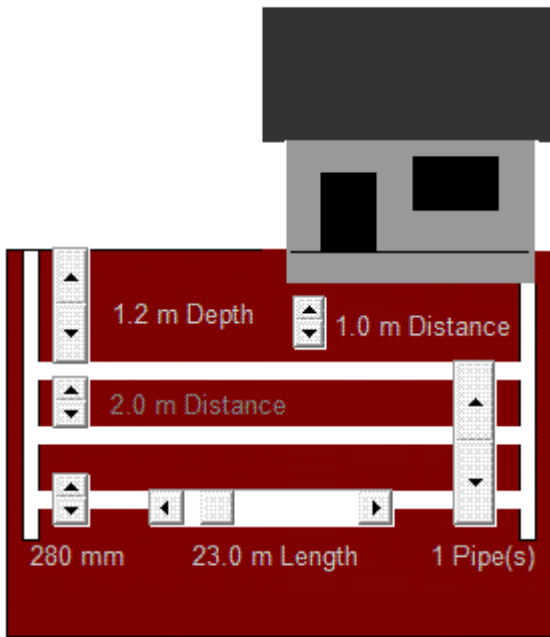
Sensitivitetsanalyse CO2-faktor

B1	UCTE 595		4,4	105,2	62,6	62,8		53,9	54,1	
B1	Simien / Rapp42. 395	42,2	4,4	105,2	37,3	37,5	88,8	32,6	32,8	21,3
B1	NORDEL 210				22,1	22,3		19,7	19,9	21,3
B1	ZEB 132				13,9	14,1		12,8	13,0	
B1	NO 17				1,8	2,0		2,6	2,8	21,3
N4	UCTE 595	49,4		108,1	64,3	64,3		51,2	51,2	
N4	Simien / Rapp 42 395	49,4	0	108,1	38,4	38,4	83,4	31,2	31,2	32,1
N4	NORDEL 210				22,7	22,7		19,1	19,1	
N4	ZEB 132				14,3	14,3		12,6	12,6	
N4	NO 17				1,8	1,8		3	3,0	32,1

Sens.analyse virkn.g gjenvinner		EI-oppvarming					50% oppvarm fra biobrensel				
		Driftsfase				Inkl mat.	Driftsfase			Inkl mat.	Levert
		Oppvarm	vifter	Dir. el	CO2eq	CO2eq	Dir. el	CO2eq	CO2eq	Biobrensel	
		kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kg/m ²	kg/m ²	kWh/m ²	kg/m ²	kg/m ²	kWh/m ²	
Nominell virkn.grad, prosent											
	90	38,8	4,4	101,8	36,1	36,29		31,4	31,59	21,3	
	85	40,4	4,4	103,5	36,7	36,89		32	32,19	21,3	
	80	0			37,3	37,49		32,6	32,79	21,3	
	75	43,9		107	38	38,19		33,2	33,39	21,3	
	70	45,7		108,8	38,6	38,79		33,9	34,09	21,3	
	65	47,6		110,6	39,3	39,49		34,5	34,69	21,3	

Sens.analyse redusert luftskifte		Oppvarm	vifter		CO2	CO2		CO2	CO2	Biofuel
B1	-20,00%	39	3,5	101,2	35,9	36,09		31,4	31,59	20,5
	-40,00%	35,9	2,6	97,3	34,5	34,69		30,1	30,29	19,8
	-60,00%	33		93,4	33,2	33,39		28,9	29,09	19
N1	-20,00%	58,4	0	117		41,6			33,1	37,9
	-40,00%	49,2	0	107,9		38,3			31,2	32
	-60,00%	40,4	0	99,1		35,2			29,3	26,2
N4	-20,00%	42,6	0	101,3		36			29,8	27,6
	-40,00%	35,9		94,6		33,6			28,4	23,3
	-60,00%	29,6	0	88,3		31,4			27,1	19,2

Vedlegg 3. Input-data for GAEA. Beregning av varme-utbyttet fra kulvert-anlegg.



Pipes
Please define the pipes within the graphics or by filling in the numerical boxes.

Number of pipes: 1

Length of pipes in m: 23

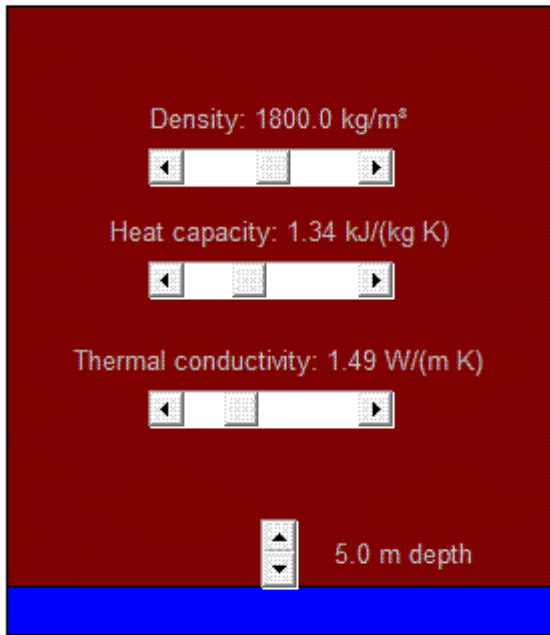
Pipe diameter in mm: 280

Distance between pipes in m: 2

Depth of pipes in m: 1.2

Distance from building in m: 1

Fan: before after EHX



Soil
Please choose the type of soil from the list or define a new type.

Type of soil: moist loamy soil

Density in kg/m³: 1800

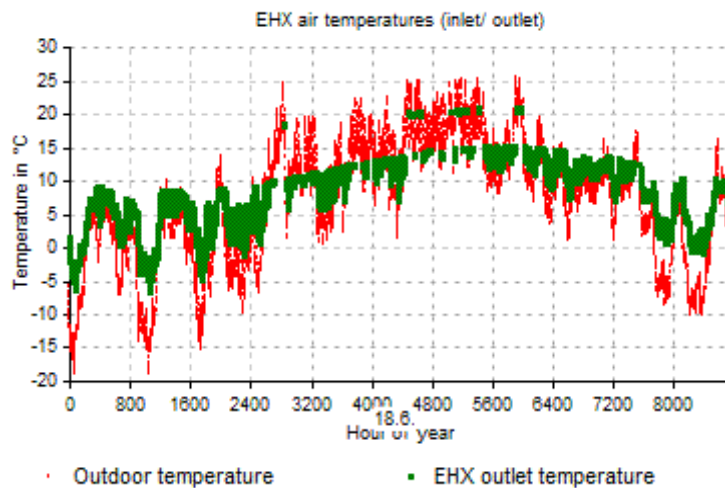
Heat capacity in kJ/(kg K): 1.34

Thermal conductivity in W/(m K): 1.49

Ground water level in m: 5

Building	EH-X control	Flow
<input checked="" type="radio"/> Quasi stationary <input type="radio"/> File	<input checked="" type="radio"/> Temperature range <input type="radio"/> Period of time	Constant pressure drop in Pa <input type="text" value="0"/>
Building volume in m ³ <input type="text" value="440"/>	Set point temperature in °C <input type="text" value="20"/>	Pressure drop in pipes in Pa/m <input type="text" value="0.069"/>
Air change rate in 1/h <input type="text" value="0.44"/>	Boundary value for heating in °C <input type="text" value="17"/>	Total pressure drop in Pa <input type="text" value="1.58"/>
Ventilation flow in m ³ /h <input type="text" value="192"/>	Boundary value for cooling in °C <input type="text" value="24"/>	Fan efficiency <input type="text" value="1"/>
	EH-X temperature offset in K <input type="text" value="0.5"/>	Fan power in W <input type="text" value="0.084"/>
		Spec. energy consum. in Wh/m ² <input type="text" value="0.00044"/>

Resultater kulvert-simuleringer i GAEA



EHX	
Heat gain:	1626.3 kWh
Heat loss:	15.8 kWh
Max. inlet air temp. of EHX:	25.5 °C
Max. outlet air temp. of EHX:	21.0 °C
Min. inlet air temp. of EHX:	-18.7 °C
Min. outlet air temp. of EHX:	-6.8 °C
Efficiency factor heating:	0.45
Efficiency factor cooling:	0.46
Period of use:	6182 h/a

Vedlegg 4. Output-filer fra simuleringer I SIMIEN.

CaseB1e, balansert ventilasjon, 63% virkningsgrad, 50% av rom-oppvarminga fra biobrensel.



SIMIEN

Resultater årssimulering

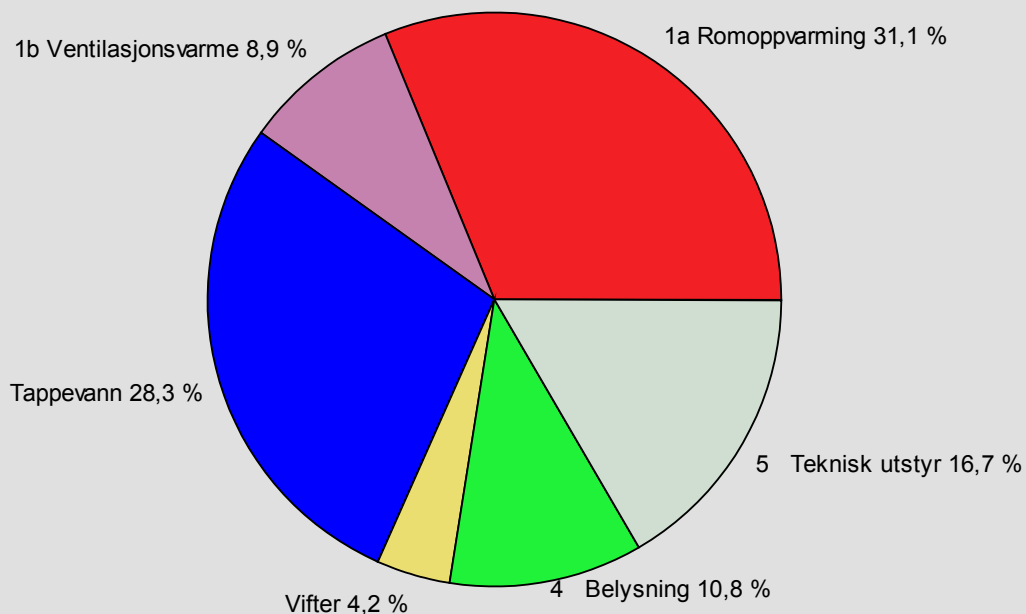
Simuleringsnavn: Årssimulering
Tid/dato simulering: 10:58 18/5-2012
Programversjon: 5.010
Brukernavn: Student
Firma: Undervisningslisens
Inndatafil: Z:\Users\wegardheide\Hovedopp\Simien\Smaa63%rev.smi
Prosjekt: småhus TEK 2007
Sone: Sone 1

Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	5242 kWh	32,8 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	1497 kWh	9,4 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	4765 kWh	29,8 kWh/m ²
3a Vifter	701 kWh	4,4 kWh/m ²
3b Pumper	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Belysning	1822 kWh	11,4 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	2803 kWh	17,5 kWh/m ²
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	16831 kWh	105,2 kWh/m ²

Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	14210 kWh	88,8 kWh/m ²
1b El. Varmepumpe	0 kWh	0,0 kWh/m ²
1c El. solenergi	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	0 kWh	0,0 kWh/m ²
5 Biobrensel	3404 kWh	21,3 kWh/m ²
Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-6	17614 kWh	110,1 kWh/m ²

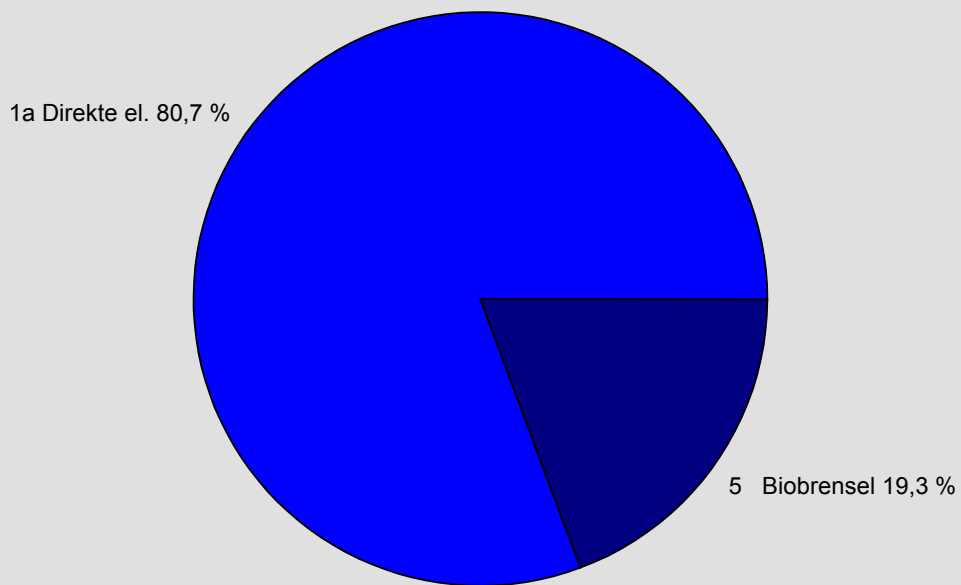
Årlige utslipp av CO2		
Energivare	Utslipp	Spesifikt utslipp
1a Direkte el.	5044 kg	31,5 kg/m ²
1b El. Varmepumpe	0 kg	0,0 kg/m ²
1c El. solenergi	0 kg	0,0 kg/m ²
2 Olje	0 kg	0,0 kg/m ²
3 Gass	0 kg	0,0 kg/m ²
4 Fjernvarme	0 kg	0,0 kg/m ²
5 Biobrensel	170 kg	1,1 kg/m ²
Annen energikilde	0 kg	0,0 kg/m ²
Totalt utslipp, sum 1-6	5215 kg	32,6 kg/m ²

Årlig energibudsjett



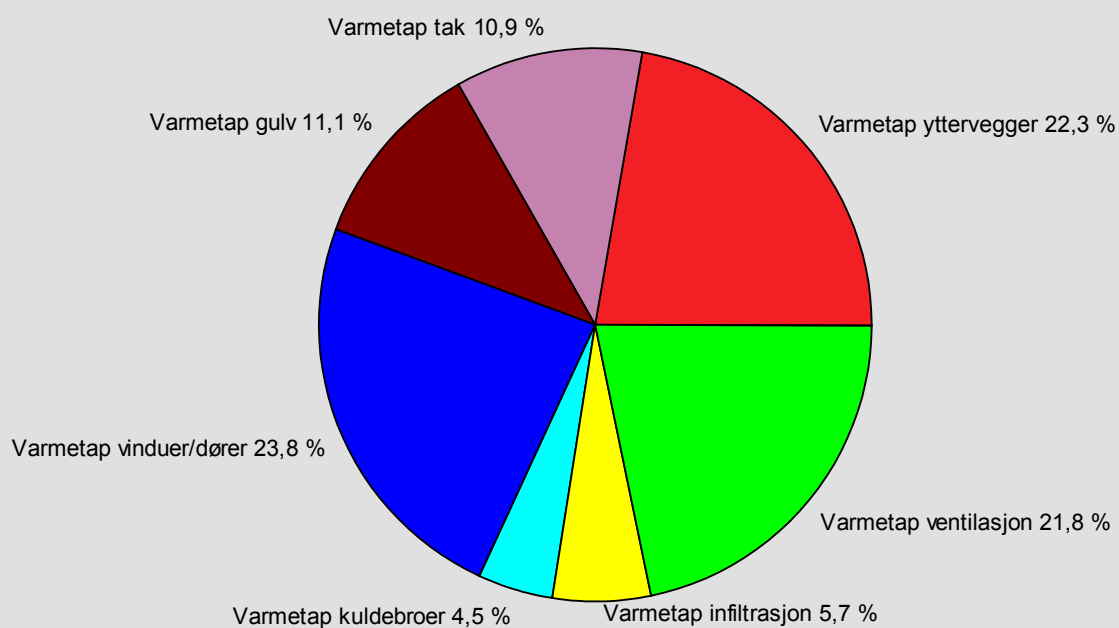
1a Romoppvarming	5242 kWh
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	1497 kWh
2 Varmtvann (tappevann)	4765 kWh
3a Vifter	701 kWh
3b Pumper	0 kWh
4 Belysning	1822 kWh
5 Teknisk utstyr	2803 kWh
6a Romkjøling	0 kWh
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh
Totalt netto energibehov, sum 1-6	16831 kWh

Levert energi til bygningen (beregnet)



1a Direkte el.	14210 kWh
1b El. Varmepumpe	0 kWh
1c El. solenergi	0 kWh
2 Olje	0 kWh
3 Gass	0 kWh
4 Fjernvarme	0 kWh
5 Biobrensel	3404 kWh
Annen energikilde	0 kWh
Totalt levert energi, sum 1-6	17614 kWh

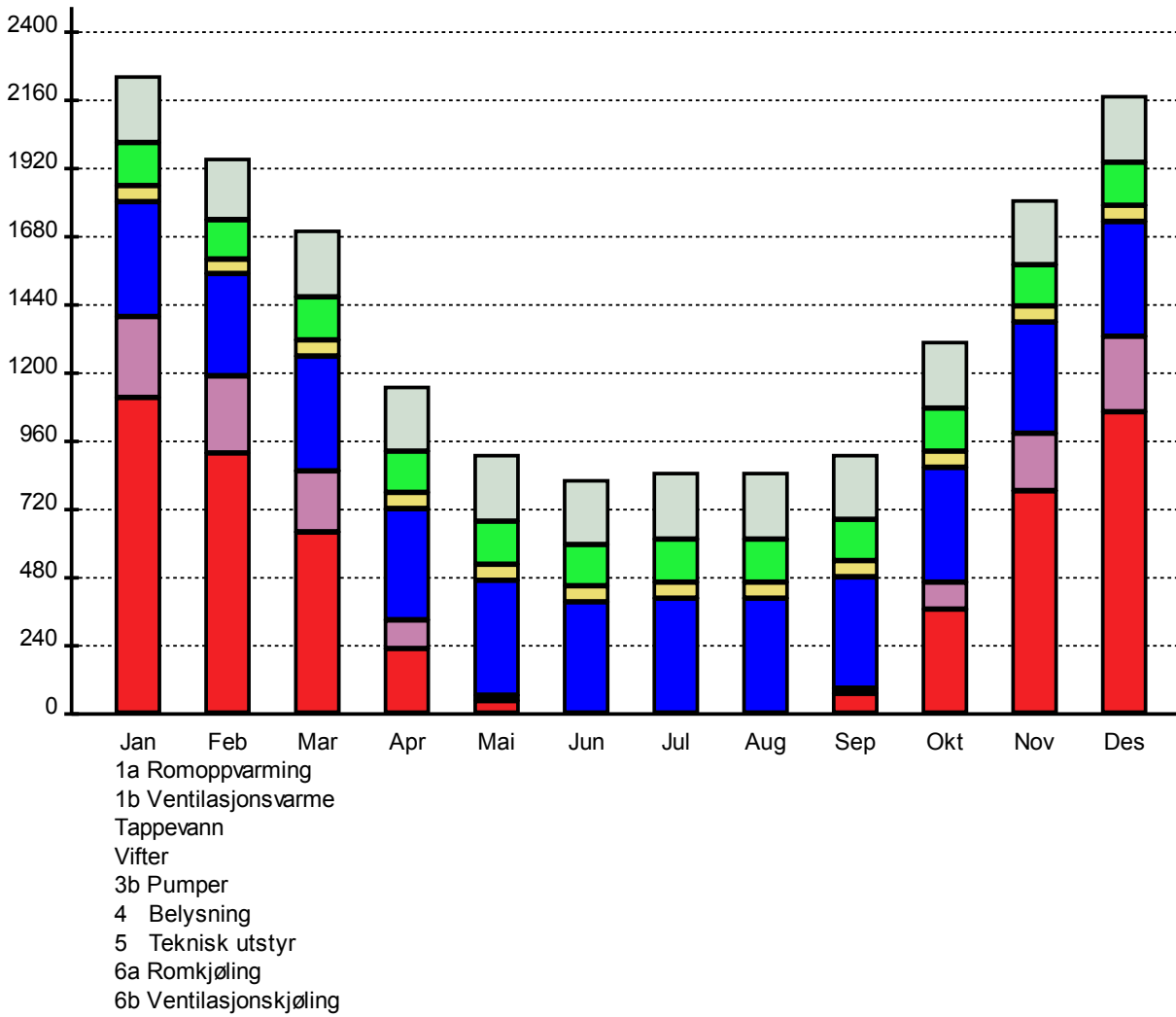
Varmetapsbudsjett (varmetapstall)

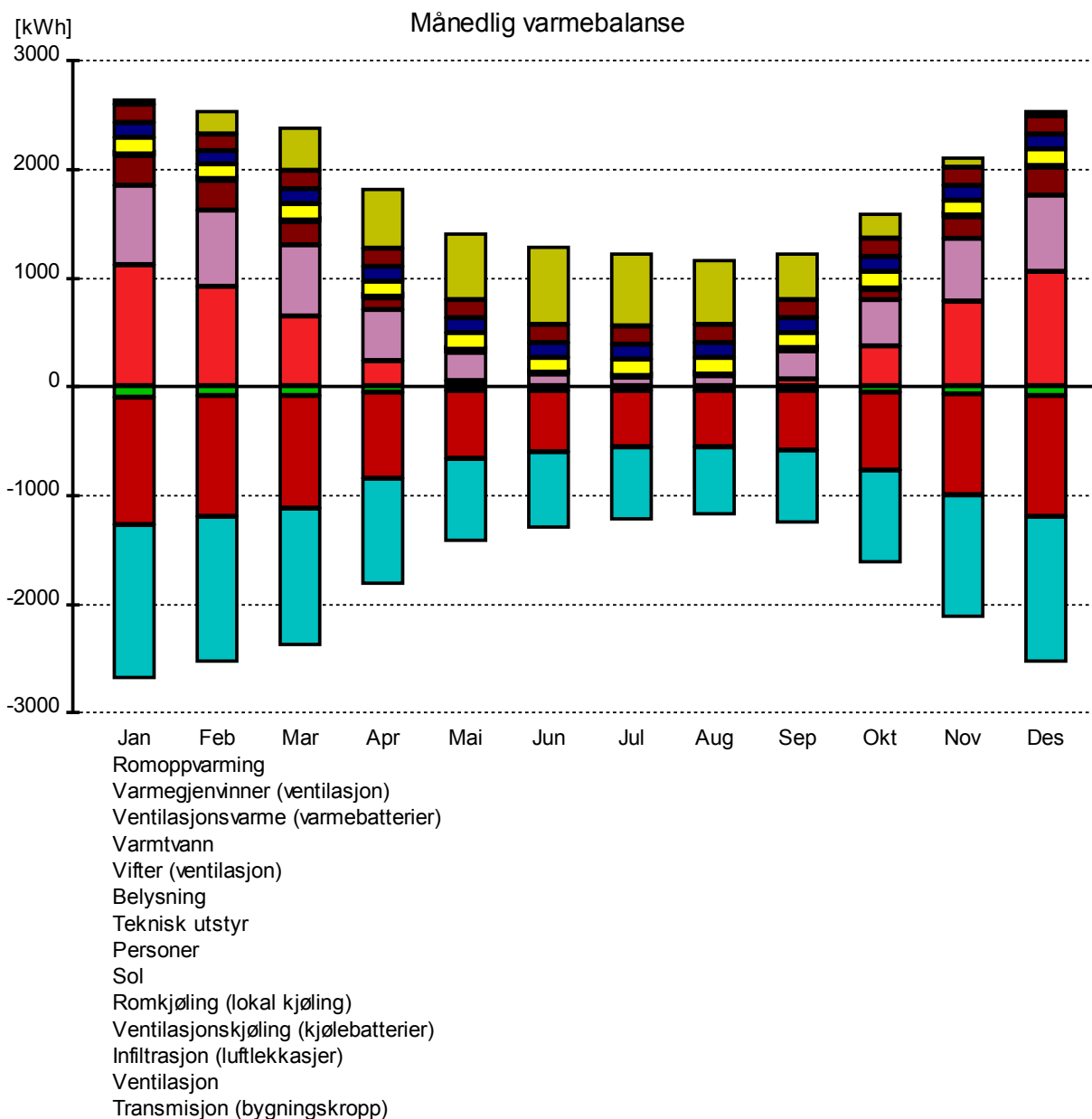


Varmetapstall yttervegger	0,15 W/m ² K
Varmetapstall tak	0,07 W/m ² K
Varmetapstall gulv på grunn/mot det fri	0,08 W/m ² K
Varmetapstall glass/vinduer/dører	0,16 W/m ² K
Varmetapstall kuldebroer	0,03 W/m ² K
Varmetapstall infiltrasjon	0,04 W/m ² K
Varmetapstall ventilasjon	0,15 W/m ² K
Totalt varmetapstall	0,67 W/m ² K

[kWh]

Månedlig netto energibehov





Månedlige temperaturdata (lufttemperatur)						
Måned	Midlere ute	Maks. ute	Min. ute	Midlere sone	Maks. sone	Min. sone
Januar	-3,7 °C	10,7 °C	-22,0 °C	20,5 °C	22,0 °C	19,0 °C
Februar	-4,8 °C	10,2 °C	-24,7 °C	20,5 °C	23,5 °C	19,0 °C
Mars	-0,5 °C	14,1 °C	-17,7 °C	21,1 °C	26,5 °C	19,0 °C
April	4,8 °C	19,0 °C	-7,6 °C	22,0 °C	27,7 °C	19,0 °C
Mai	11,7 °C	26,4 °C	-1,0 °C	24,8 °C	34,8 °C	19,0 °C
Juni	16,5 °C	30,8 °C	3,5 °C	28,8 °C	37,4 °C	21,6 °C
Juli	17,5 °C	29,8 °C	8,0 °C	28,5 °C	37,6 °C	21,6 °C
August	16,9 °C	32,6 °C	5,2 °C	27,8 °C	35,5 °C	20,9 °C
September	11,5 °C	24,2 °C	-1,2 °C	23,2 °C	29,7 °C	19,0 °C
Oktober	6,4 °C	19,6 °C	-6,8 °C	21,2 °C	26,0 °C	19,0 °C
November	0,5 °C	12,9 °C	-14,7 °C	20,5 °C	23,8 °C	19,0 °C
Desember	-2,5 °C	11,2 °C	-20,9 °C	20,5 °C	21,7 °C	19,0 °C

Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m ²]:	160	<dokumentasjonstekst>
Areal tak [m ²]:	90	<dokumentasjonstekst>
Areal gulv [m ²]:	80	<dokumentasjonstekst>
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	32	<dokumentasjonstekst>
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	160	<dokumentasjonstekst>
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	440	<dokumentasjonstekst>
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,15	<dokumentasjonstekst>
U-verdi tak [W/m ² K]	0,13	<dokumentasjonstekst>
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,15	<dokumentasjonstekst>
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	0,80	<dokumentasjonstekst>
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	20,0	<dokumentasjonstekst>
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,03	<dokumentasjonstekst>
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	17	<dokumentasjonstekst>
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	0,60	<dokumentasjonstekst>
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	63	<dokumentasjonstekst>

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	63,0	<dokumentasjonstekst>
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	1,50	<dokumentasjonstekst>
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	1,2	<dokumentasjonstekst>
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	1,2	<dokumentasjonstekst>
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	0,94	<dokumentasjonstekst>
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	165	<dokumentasjonstekst>
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,4	<dokumentasjonstekst>
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	<dokumentasjonstekst>
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	0,0	<dokumentasjonstekst>
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	0	<dokumentasjonstekst>
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	<dokumentasjonstekst>
Driftstid oppvarming (timer)	17,0	<dokumentasjonstekst>

Dokumentasjon av sentrale inndata (3)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Driftstid kjøling (timer)	0,0	<dokumentasjonstekst>
Driftstid ventilasjon (timer)	24,0	<dokumentasjonstekst>
Driftstid belysning (timer)	16,0	<dokumentasjonstekst>
Driftstid utstyr (timer)	16,0	<dokumentasjonstekst>
Oppholdstid personer (timer)	24,0	<dokumentasjonstekst>
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	1,95	<dokumentasjonstekst>
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m ²]	1,95	<dokumentasjonstekst>
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m ²]	3,00	<dokumentasjonstekst>
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m ²]	1,80	<dokumentasjonstekst>
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m ²]	3,40	<dokumentasjonstekst>
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m ²]	0,00	<dokumentasjonstekst>
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m ²]	1,50	<dokumentasjonstekst>
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,45	<dokumentasjonstekst>
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,20	<dokumentasjonstekst>
Solskjemingsfaktor horisont/bygningsutspring:	0,52	<dokumentasjonstekst>

Inndata klima	
Beskrivelse	Verdi
Klimasted	Oslo
Breddegrad	59° 55'
Lengdegrad	10° 45'
Tidssone	GMT + 1
Årsmiddeltemperatur	6,3 °C
Midlere solstråling horisontal flate	110 W/m ²
Midlere vindhastighet	2,2 m/s

Inndata energiforsyning	
Beskrivelse	Verdi
1a Direkte el.	Systemvirkningsgrad: 1,00 Kjølefaktor: 2,50 Energipris: 0,80 kr/kWh CO2-utslipp: 355 g/kWh Andel romoppvarming: 50,0% Andel oppv, tappevann: 100,0% Andel varmebatteri: 100,0 % Andel kjølebatteri: 100,0 % Andel romkjøling: 100,0 % Andel el, spesifikt: 100,0 %
5 Biobrensel	Systemvirkningsgrad: 0,77 Kjølefaktor: 2,50 Energipris: 0,65 kr/kWh CO2-utslipp: 50 g/kWh Andel romoppvarming: 50,0% Andel oppv, tappevann: 0,0% Andel varmebatteri: 0,0 % Andel kjølebatteri: 0,0 % Andel romkjøling: 0,0 % Andel el, spesifikt: 0,0 %

Inndata ekspertverdier	
Beskrivelse	Verdi
Konvektiv andel varmetilskudd belysning	0,30
Konvektiv andel varmetilsk. teknisk utstyr	0,50
Konvektiv andel varmetilskudd personer	0,50
Konvektiv andel varmetilskudd sol	0,50
Konvektiv varmoverføringskoeff. vegger	2,50
Konvektiv varmoverføringskoeff. himling	2,00
Konvektiv varmoverføringskoeff. gulv	3,00
Bypassfaktor kjølebatteri	0,25
Innv. varmemotstand på vinduruter	0,13
Midlere lufthastighet romluft	0,15
Turbulensintensitet romluft	25,00
Avstand fra vindu	0,60
Termisk konduktivitet akk. sjikt [W/m ² K]:	20,00

Inndata rom/soner	
Beskrivelse	Verdi
Oppvarmet gulvareal	160,0 m ²
Oppvarmet luftvolum	440,0 m ³
Normalisert kuldebroverdi	0,03 W/K/m ²
Varmekapasitet møbler/interiør	0,0 Wh/m ² (Egendefinert)
Lekkasjetall (luftskifte v. 50pa)	0,60 ach
Skjerming i terrenget	Moderat skjerming
Fasadesituasjon	Flere eksponerte fasader
Driftsdager i Januar	31
Driftsdager i Februar	28
Driftsdager i Mars	31
Driftsdager i April	30
Driftsdager i Mai	31
Driftsdager i Juni	30
Driftsdager i Juli	31
Driftsdager i August	31
Driftsdager i September	30
Driftsdager i Oktober	31
Driftsdager i November	30
Driftsdager i Desember	31

Inndata gulv mot friluft/kryprom/grunn	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Gulv (gulv)
Oppvarmet gulvareal	80,0 m ²
Gulvtype	Gulv mot friluft
Innv. akk. sjikt gulv	Egendefinert Varmekapasitet 10,0 Wh/m ² K
Gulvkonstruksjon	Egendefinert Uverdi: 0,15 W/m ² K

Inndata skillekonstruksjon	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Etasjeskiller (skillekonstruksjon)
Totalt areal	160,0 m ²
Konstruksjonstype	Tak
Innv. akkumulerende sjikt	Egendefinert Varmekapasitet 5,0 Wh/m ² K
Vendt mot annen sone	Sone med lik temperatur

Inndata yttertak	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Yttertak (yttertak)
Totalt areal	90,0 m ²
Retning (0=Nord, 180=Sør)	0°
Takvinkel	0,0°
Innv. akkumulerende sjikt	Egendefinert Varmekapasitet 5,0 Wh/m ² K
Konstruksjon	Egendefinert Uverdi: 0,13 W/m ² K

Inndata fasade/yttervegg	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Fasade Nord (fasade)
Totalt areal	50,0 m ²
Retning (0=Nord, 180=Sør)	0°
Innv. akkumulerende sjikt	Egendefinert Varmekapasitet 4,0 Wh/m ² K
Konstruksjon	Egendefinert Uverdi: 0,15 W/m ² K

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vinduer Nord (Vindu(er) på Fasade Nord)
Antall vinduer	10
Høyde vindu(er)	1,00 m
Bredde vindu(er)	1,00 m
Karm-/ramme faktor	0,20
Total U-verdi (rute+karm/rammekonstr.)	0,80 W/m ² K
Konstant (fast) solskjerming	Egendefinert Total solfaktor: 0,45
Overheng	Dybde : 0,60 m Avstand fra vindu: 0,50 m
Vertikalt utspring til venstre	Dybde : 0,10 m Avstand fra vindu: 0,00 m
Vertikalt utspring til høyre	Dybde : 0,10 m Avstand fra vindu: 0,00 m

Inndata fasade/yttervegg	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Fasade Sør (fasade)
Totalt areal	50,0 m ²
Retning (0=Nord, 180=Sør)	180°
Innv. akkumulerende sjikt	Egendefinert Varmekapasitet 4,0 Wh/m ² K
Konstruksjon	Egendefinert Uverdi: 0,15 W/m ² K

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vinduer Sør (Vindu(er) på Fasade Sør)
Antall vinduer	10
Høyde vindu(er)	1,00 m
Bredde vindu(er)	1,00 m
Karm-/ramme faktor	0,20
Total U-verdi (rute+karm/rammekonstr.)	0,80 W/m ² K
Konstant (fast) solskjerming	Egendefinert Total solfaktor: 0,45
Overheng	Dybde : 0,60 m Avstand fra vindu: 0,50 m
Vertikalt utspring til venstre	Dybde : 0,10 m Avstand fra vindu: 0,00 m
Vertikalt utspring til høyre	Dybde : 0,10 m Avstand fra vindu: 0,00 m

Inndata fasade/yttervegg	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Fasade Øst (fasade)
Totalt areal	46,0 m ²
Retning (0=Nord, 180=Sør)	90°
Innv. akkumulerende sjikt	Egendefinert Varmekapasitet 4,0 Wh/m ² K
Konstruksjon	Egendefinert Uverdi: 0,15 W/m ² K

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vinduer Øst (Vindu(er) på Fasade Øst)
Antall vinduer	6
Høyde vindu(er)	1,00 m
Bredde vindu(er)	1,00 m
Karm-/ramme faktor	0,20
Total U-verdi (rute+karm/rammekonstr.)	0,80 W/m ² K
Konstant (fast) solskjerming	Egendefinert Total solfaktor: 0,45
Overheng	Dybde : 0,60 m Avstand fra vindu: 0,50 m
Vertikalt utspring til venstre	Dybde : 0,10 m Avstand fra vindu: 0,00 m
Vertikalt utspring til høyre	Dybde : 0,10 m Avstand fra vindu: 0,00 m

Inndata fasade/yttervegg	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Fasade Vest (fasade)
Totalt areal	46,0 m ²
Retning (0=Nord, 180=Sør)	270°
Innv. akkumulerende sjikt	Egendefinert Varmekapasitet 4,0 Wh/m ² K
Konstruksjon	Egendefinert Uverdi: 0,15 W/m ² K

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vinduer Vest (Vindu(er) på Fasade Vest)
Antall vinduer	6
Høyde vindu(er)	1,00 m
Bredde vindu(er)	1,00 m
Karm-/ramme faktor	0,20
Total U-verdi (rute+karm/rammekonstr.)	0,80 W/m ² K
Konstant (fast) solskjerming	Egendefinert Total solfaktor: 0,45
Overheng	Dybde : 0,60 m Avstand fra vindu: 0,50 m
Vertikalt utspring til venstre	Dybde : 0,10 m Avstand fra vindu: 0,00 m
Vertikalt utspring til høyre	Dybde : 0,10 m Avstand fra vindu: 0,00 m

Inndata CAV	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	CAV Ventilasjon (CAV ventilasjon)
Ventilasjonsstype	Balansert ventilasjon
Driftstid	24:00 timer drift pr døgn
Luftmengde	I driftstiden: tilluft = 1.2 m ³ /hm ² , avtrekk = 1.2 m ³ /hm ² Utenfor driftstiden: tilluft = 1.2 m ³ /hm ² , avtrekk = 1.2 m ³ /hm ² Helg/feridag: tilluft = 1.2 m ³ /hm ² , avtrekk = 1.2 m ³ /hm ²
Tilluftstemperatur	18.0 °C
Varmebatteri	Ja Maks. kapasitet: 125 W/m ²
Kjølebatteri	Nei
Varmegjenvinner	Ja, temperaturvirkningsgrad: 0.63
Vifter	Plassering tilluftsvifte: Før gjenvinner Plassering avtrekksvifte: Før gjenvinner
SFP-faktor vifter	1.5 kW/m ³ /s

Inndata belysning	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Internlaster (internlaster, belysning)
Effekt/Varmetilskudd belysning	I driftstiden; Effekt: 2,0 W/m ² ; Varmetilskudd: 100 % Utenfor driftstiden; Effekt: 0,0 W/m ² ; Varmetilskudd: 100 % På helg/feriedager; Effekt: 0,0 W/m ² ; Varmetilskudd: 100 % Antall timer drift pr døgn: 16:00

Inndata teknisk utstyr (internlast)	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Internlaster (internlaster, teknisk utstyr)
Effekt/Varmetilskudd teknisk utstyr	I driftstiden; Effekt: 3,0 W/m ² ; Varmetilskudd: 60 % Utenfor driftstiden; Effekt: 0,0 W/m ² ; Varmetilskudd: 60 % På helg/feriedager; Effekt: 0,0 W/m ² ; Varmetilskudd: 60 % Antall timer drift pr døgn: 16:00

Inndata oppvarming av tappevann	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Internlaster (internlaster, tappevann)
Tappevann	Driftsdag; Midlere effekt: 3,4 W/m ² ; Varmetilskudd: 0 %; Vanndamp: 0,0 g/m ² Helg/feriedag; Midlere effekt: 0,0 W/m ² ; Varmetilskudd: 0 %; ; Vanndamp: 0,0 g/m ²

Inndata varmetilskudd personer (internlast)	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Internlaster (internlaster, varmetilskudd personer)
Varmetilskudd personer	I arbeidstiden: 1,5 W/m ² Utenfor arbeidstiden: 0,0 W/m ² Ferie/helgedager: 0,0 W/m ² Antall arbeidstimer: 24:00

Inndata oppvarming	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Oppvarming (oppvarming)
Settpunkttemperatur i driftstid	21,0 °C
Settpunkttemperatur utenfor driftstiden	19,0 °C
Maks. kapasitet	40 W/m ²
Konvektiv andel oppvarming	0,50
Driftstid	17:00 timer drift pr døgn
Vannbårent oppvarmingsanlegg	Nei

Case N3e, naturlig ventilasjon, 20 grader inne, 17 timer driftstid, elektrisk oppvarming.



SIMIEN

Resultater årssimulering

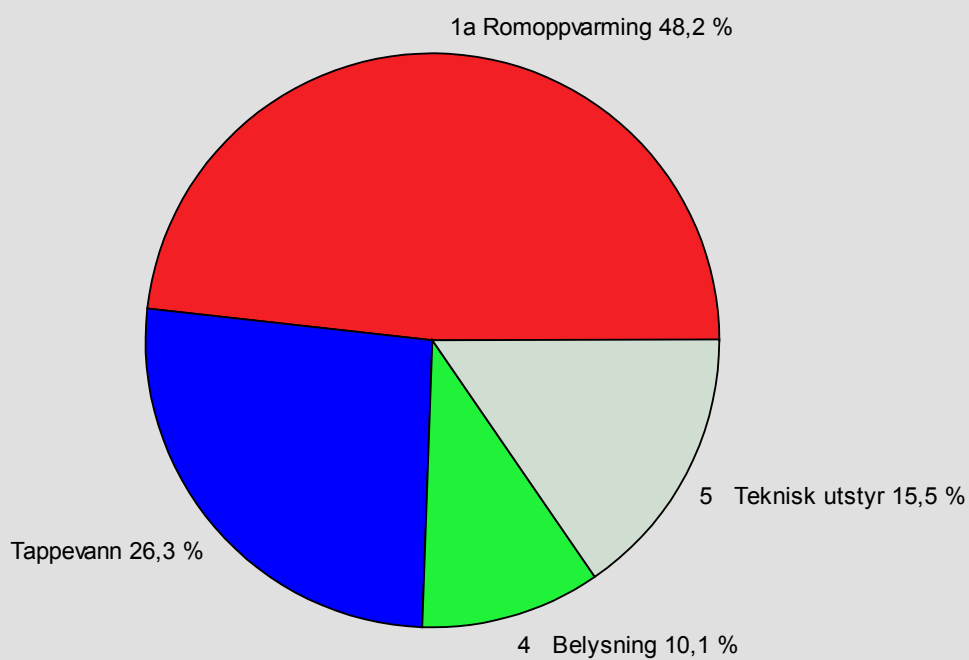
Simuleringsnavn: Årssimulering
 Tid/dato simulering: 18:18 18/5-2012
 Programversjon: 5.010
 Brukernavn: Student
 Firma: Undervisningslisens
 Inndatafil: Z:\Users\wegardheide\Hovedopp\Simien\SmaaNatEI 20 grad Ute7t R.smi
 Prosjekt: småhus TEK 2007
 Sone: Sone 1

Energibudsjett		
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	8728 kWh	54,6 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	4765 kWh	29,8 kWh/m ²
3a Vifter	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3b Pumper	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Belysning	1822 kWh	11,4 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	2803 kWh	17,5 kWh/m ²
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	18119 kWh	113,2 kWh/m²

Leverert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Leverert energi	Spesifikk leverert energi
1a Direkte el.	18119 kWh	113,2 kWh/m ²
1b El. Varmepumpe	0 kWh	0,0 kWh/m ²
1c El. solenergi	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	0 kWh	0,0 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt leverert energi, sum 1-6	18119 kWh	113,2 kWh/m²

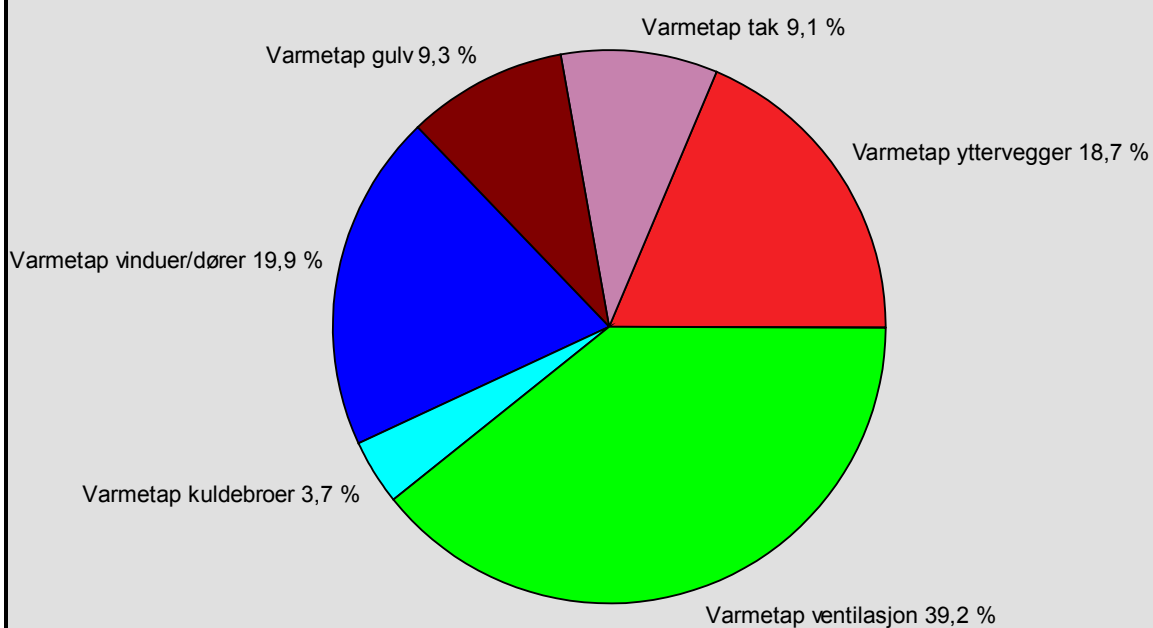
Årlige utslipp av CO2		
Energivare	Utslipp	Spesifikt utslipp
1a Direkte el.	6432 kg	40,2 kg/m ²
1b El. Varmepumpe	0 kg	0,0 kg/m ²
1c El. solenergi	0 kg	0,0 kg/m ²
2 Olje	0 kg	0,0 kg/m ²
3 Gass	0 kg	0,0 kg/m ²
4 Fjernvarme	0 kg	0,0 kg/m ²
5 Biobrensel	0 kg	0,0 kg/m ²
Annen energikilde	0 kg	0,0 kg/m ²
Totalt utslipp, sum 1-6	6432 kg	40,2 kg/m²

Årlig energibudsjett



1a Romoppvarming	8728 kWh
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	0 kWh
2 Varmtvann (tappevann)	4765 kWh
3a Vifter	0 kWh
3b Pumper	0 kWh
4 Belysning	1822 kWh
5 Teknisk utstyr	2803 kWh
6a Romkjøling	0 kWh
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh
Totalt netto energibehov, sum 1-6	18119 kWh

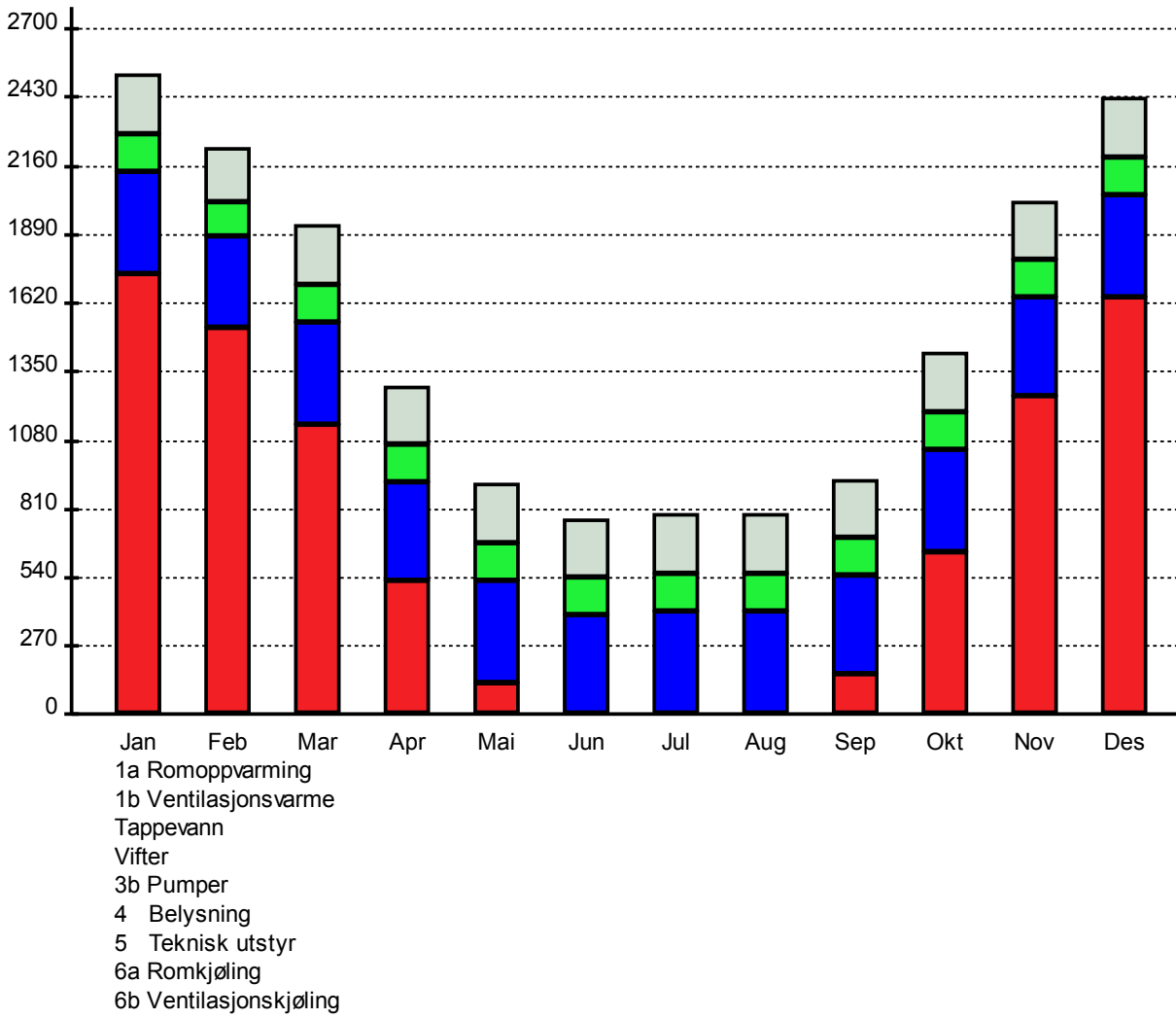
Varmetapsbudsjet (varmetapstall)

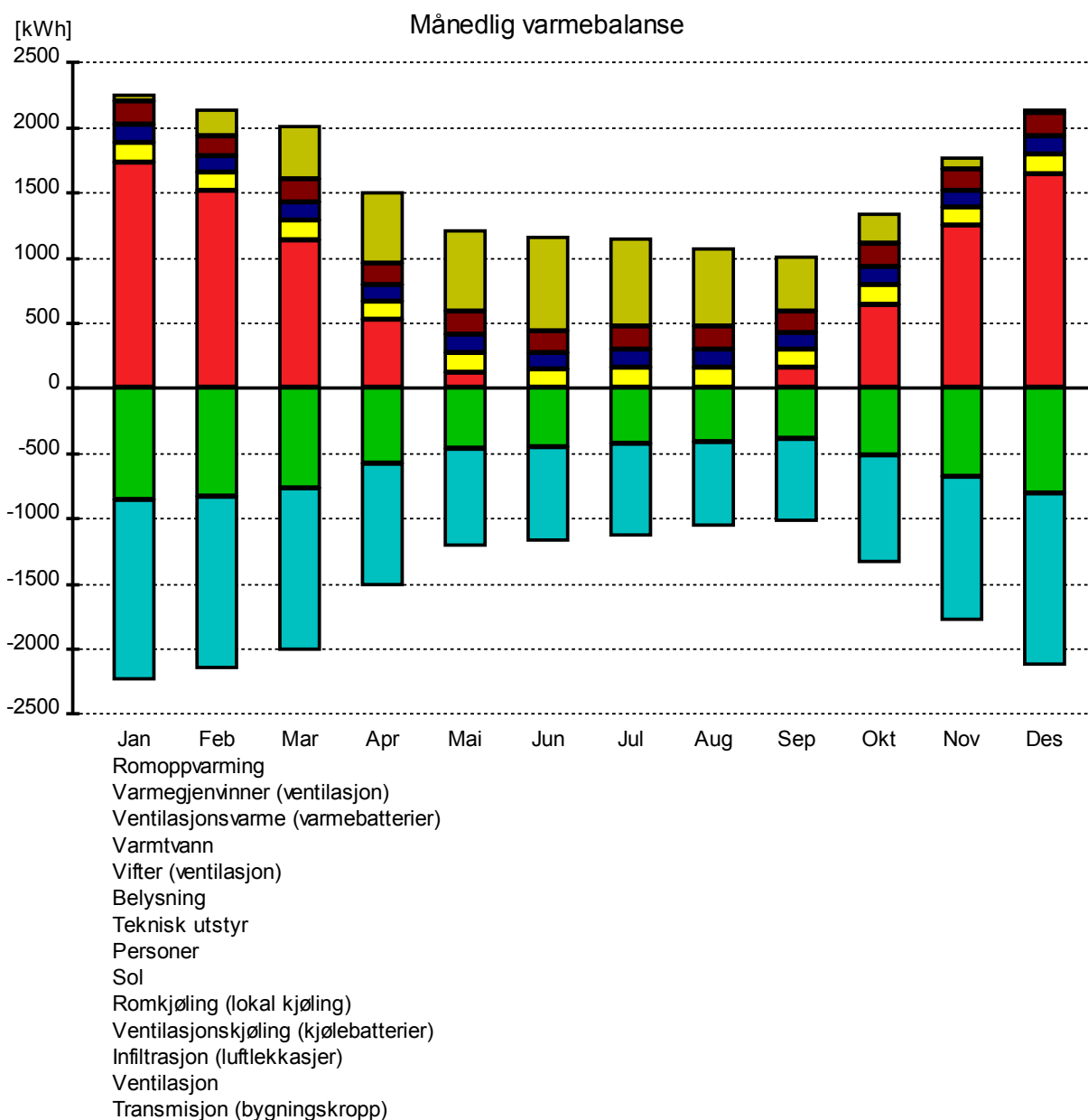


Varmetapstall yttervegger	0,15 W/m ² K
Varmetapstall tak	0,07 W/m ² K
Varmetapstall gulv på grunn/mot det fri	0,08 W/m ² K
Varmetapstall glass/vinduer/dører	0,16 W/m ² K
Varmetapstall kuldebroer	0,03 W/m ² K
Varmetapstall infiltrasjon	0,00 W/m ² K
Varmetapstall ventilasjon	0,32 W/m ² K
Totalt varmetapstall	0,80 W/m²K

[kWh]

Månedlig netto energibehov





Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m ²]:	160	<dokumentasjonstekst>
Areal tak [m ²]:	90	<dokumentasjonstekst>
Areal gulv [m ²]:	80	<dokumentasjonstekst>
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	32	<dokumentasjonstekst>
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	160	<dokumentasjonstekst>
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	440	<dokumentasjonstekst>
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,15	<dokumentasjonstekst>
U-verdi tak [W/m ² K]	0,13	<dokumentasjonstekst>
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,15	<dokumentasjonstekst>
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	0,80	<dokumentasjonstekst>
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	20,0	<dokumentasjonstekst>
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,03	<dokumentasjonstekst>
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	17	<dokumentasjonstekst>
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	0,60	<dokumentasjonstekst>
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	0	<dokumentasjonstekst>

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	0,0	<dokumentasjonstekst>
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	0,00	<dokumentasjonstekst>
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	1,2	<dokumentasjonstekst>
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	0,4	<dokumentasjonstekst>
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	1,00	<dokumentasjonstekst>
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	40	<dokumentasjonstekst>
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	19,4	<dokumentasjonstekst>
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	<dokumentasjonstekst>
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	0,0	<dokumentasjonstekst>
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	0	<dokumentasjonstekst>
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	<dokumentasjonstekst>
Driftstid oppvarming (timer)	17,0	<dokumentasjonstekst>

Dokumentasjon av sentrale inndata (3)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Driftstid kjøling (timer)	0,0	<dokumentasjonstekst>
Driftstid ventilasjon (timer)	17,0	<dokumentasjonstekst>
Driftstid belysning (timer)	16,0	<dokumentasjonstekst>
Driftstid utstyr (timer)	16,0	<dokumentasjonstekst>
Oppholdstid personer (timer)	24,0	<dokumentasjonstekst>
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	1,95	<dokumentasjonstekst>
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m ²]	1,95	<dokumentasjonstekst>
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m ²]	3,00	<dokumentasjonstekst>
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m ²]	1,80	<dokumentasjonstekst>
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m ²]	3,40	<dokumentasjonstekst>
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m ²]	0,00	<dokumentasjonstekst>
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m ²]	1,50	<dokumentasjonstekst>
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,45	<dokumentasjonstekst>
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,20	<dokumentasjonstekst>
Solskjermingsfaktor horisont/bygningsutspring:	0,52	<dokumentasjonstekst>

Inndata energiforsyning	
Beskrivelse	Verdi
1a Direkte el.	Systemvirkningsgrad: 1,00 Kjølefaktor: 2,50 Energipris: 0,80 kr/kWh CO2-utslipp: 355 g/kWh Andel romoppvarming: 100,0% Andel oppv, tappevann: 100,0% Andel varmebatteri: 100,0 % Andel kjølebatteri: 100,0 % Andel romkjøling: 100,0 % Andel el, spesifikt: 100,0 %

Inndata ekspertverdier	
Beskrivelse	Verdi
Konvektiv andel varmetilskudd belysning	0,30
Konvektiv andel varmetilsk. teknisk utstyr	0,50
Konvektiv andel varmetilskudd personer	0,50
Konvektiv andel varmetilskudd sol	0,50
Konvektiv varmoverføringskoeff. vegger	2,50
Konvektiv varmoverføringskoeff. himling	2,00
Konvektiv varmoverføringskoeff. gulv	3,00
Bypassfaktor kjølebatteri	0,25
Innv. varmemotstand på vinduruter	0,13
Midlere lufthastighet romluft	0,15
Turbulensintensitet romluft	25,00
Avstand fra vindu	0,60
Termisk konduktivitet akk. sjikt [W/m ² K]:	20,00

Inndata CAV	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	CAV Ventilasjon (CAV ventilasjon)
Ventilasjonstype	Naturlig ventilasjon
Driftstid	17:00 timer drift pr døgn
Luftmengde	Driftstid: 1.2 m ³ /hm ² Utenfor driftstid: 0.4 m ³ /hm ² Helg/feriedag: 0.4 m ³ /hm ²
SFP-faktor vifter	0.0 kW/m ³ /s

Inndata oppvarming	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Oppvarming (oppvarming)
Settpunkttemperatur i driftstid	20,0 °C
Settpunkttemperatur utenfor driftstiden	18,0 °C
Maks. kapasitet	40 W/m ²
Konvektiv andel oppvarming	0,50
Driftstid	17:00 timer drift pr døgn
Vannbårent oppvarmingsanlegg	Nei