

Sammenligning av klimagass-utslipp med naturlig- og balansert ventilasjon.

Vegard Heide og Matthias Haase

NTNU, ZEB Research Centre

Alfred Getz vei 3, 7491 Trondheim, Norway, telephone +47 92260501, e-post matthias.haase@sintef.no

Innledning

Dagens byggeforskrifter krever mye ekstra dokumentasjon om en ikke skal ha balansert ventilasjon, og dette legger i praksis sterke føringer for valg av ventilasjonsløsning. Imidlertid er klimagassutslipp med ulike ventilasjons-konsept i liten grad undersøkt.

Problemstilling

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

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?

Metode

For å sammenligne balansert- og naturlig ventilasjon er klimagassutslipp fra en bygningsmodell med de to ventilasjons-konseptene kalkulert i ulike varianter.

Dette ble gjort ved hjelp av simuleringer av energiforbruk og CO₂eq i driftsfasen i det dynamiske simuleringprogrammet SIMIEN 5.010 [Programbyggerne 2012]. I tillegg er utslipp forbundet med produksjon av ventilasjons-anlegget tatt med i beregningene.

Simien-modellen brukt i simuleringene er på 160 m² over to etasjer, laget som passivhus i henhold til NS 3700.

Avgrensning og omfang

Studien er begrensa til å analysere situasjonen i en enebolig isolert på passivhus-nivå. Hovedfokus er på det energimessige regnskapet i forhold til ventilasjon, og problemstillinger som kald-trekk, temperaturfordeling, regulering av luftmengder, lufthastigheter blir ikke belyst. Det forutsettes at anlegg for naturlig ventilasjon kan lages, justeres og driftes på en tilfredsstillende måte.

Cases

Utgangs-situasjonen er balansert ventilasjon med varmegjenvinning og konstant luftmengde, typisk for et passivhus i Norge. Case med naturlig ventilasjon beregnes i utgangspunktet med samme luftskifte som balansert .

De ulike case har bokstav B for balansert og N for naturlig, dessuten nummerert 1-6, sammenfattet i tabell 1.

Case-oversikt

	Naturlig ventilasjon		Balansert ventilasjon	
	El-oppvarming 50% biobrensel		El-oppvarming 50% biobrensel	
1. 24 timers driftstid, 21° C	N1e	N1b	B1e	B1b
2. 20° C (adaptiv komfort)	N2e	N2b		
3. 7 timers lav-nivå (21°balansert 20°naturlig)	N3e	N3b	B3e	B3b
4. Forvarming i ventilerte vindu, 20°, 7 t lav-nivå	N4e	N4b		
5. Forvarming i kulvert, 20°, 7t lav-nivå	N5e	N5b		
6. Åpent soveromsvindu: 15 t lav-nivå	N6e *	N6b *	B6e **	B6b **

*Forvarming av luft i ventilerte vindu, 20°C inne.

**Set. temp: 21°C.

Tabell 1. Oversikt over beregningsmodellene

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. Disse har samme netto energibehov, men ulike klimagassutslipp.

Forutsetninger og parametre

Konstante inn-data

- Modellhus: BRA160 m², 2 etasjer
- klimaskjerm etter passivhus-kriterier i NS 3700
- interntilskudd etter NS 3700
- luftskifte: 1,2 m³/m²*h
- roterende varmeveksler, nominell virkningsgrad 80%
- Oslo-klima
- CO₂-faktor for elkraft: 355 g CO₂eq / kWh
- CO₂-faktor for tre-pellets: 50 g CO₂eq / kWh
- virkningsgrad pelletsovn: 0,77

Virkningsgrad varmegevinnning

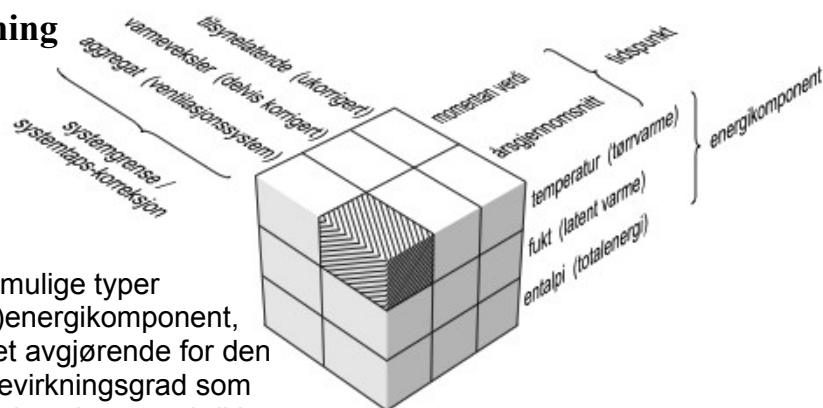


Fig 1. Kubisk matrise som illustrerer mulige typer virkningsgrad, en kombinasjon av (1)energi-komponent, (2)systemgrense og (3) tidspunkt. Det avgjørende for den reelle nytten er aggregatets årsvarmevirkningsgrad som bør være de tre nærmeste, inkludert den skraverte brikken. Fra Schild [2003]

Aggregatets reelle temperatur-virkningsgrad.

Studier som har målt reell virkningsgrad på gjenvinnings-aggregat, finner klare avvik fra nominelle verdier, typisk ca 10% lavere [Roulet 2001, Sjøvold 2008, Petersen et al 2009, Lassen et al 2009]. Dette kan ha flere grunner: ubalanserte luftmengder, resirkulasjon, varmetap fra aggregatet, kanalbøy før aggregat, smuss, urent filter, lekkasjer og varmetap fra kanaler.

For bruk i simuleringene reduserer jeg temperatur-virkningsgraden med 10% pga de ovennevnte faktorer.

Energitalp i fukt tilført innelufta.

Inneluft blir tilført energi ved temperaturstigning, og ved økt fuktinnhold (latent varme) fra diverse kilder i huset. Ca 1/3 av fukten kommer direkte fra mennesker (energikilden er mat), men mesteparten er fra planter, koking, vasking og tørking, og belaster husets energiforsyning [Kalamees et al 2006].

Den latente varmen blir vanligvis ikke gjenvunnet med en roterende varmeveksler, og ved beregning av virkningsgrad blir den sensible varmen oversett. Like fullt er den latente varmeenergien 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.

Fukt-tilførselens andel av inneluftas entalpiøkning ble beregna med mollierediagram. Andelen varierer noe med ute-temperaturer. Med 21grader i avkastlufta og total vann-tilførsel på 1,5 g/m³, ble det anslått at fuktproduksjon utenom personer utgjør 10% av entalpiøkningen til innelufta, i snitt i oppvarmingsperioden. For å få en reell virkningsgrad for gjenvinning av tilført energi (entalpiøkning) i innelufta må temperatur-virkningsgraden reduseres med 10%.

Virkningsgrad: sum input-data SIMIEN

Både kjøkkenventilatorer (150-700 m³/h) og sentralstøvsugere (180-200 m³/h), på det norske markedet drar ut luftmengder tilsvarende luftinntaket fra ventilasjon. Derfor antas at varmegjenvinneren i praksis er ute av drift når disse brukes. Jeg forutsetter at kjøkkenvifta går 1/2 time pr dag, og sentralstøvsuger 1 time i uka. Som en forenkling reduseres aggregatets momentane virkningsgrad på grunn av dette med henholdsvis 2% og 0,6% i simuleringene.

Nominell temperatur-virkningsgrad: 80%
-korrigert for ubalanse, lekkasjer, smuss o.l: → 72%
-korrigert for latent varme ikke gjenvunnet: → 65%
-korrigert for bruk av kjøkkenviftet: → 63,5%
-korrigert for bruk av sentralstøvsuger: → 63%
Virkningsgraden som legges inn i SIMIEN er altså 63%.

Forvarming av inntaksluft i vinduer (case N4 og N6)

Med naturlig ventilasjon er det likevel mulig å forvarme inntakslufta ved å la den passere mellom glassene i et ventilert vindu, komme inn i rommet i overkant av vinduet. Energien som tilføres lufta tilsvarer reduksjonen i transmisjonstap fra vinduene. Lavere temperatur i de ytterste glassa fører også til høyere G-verdi.

Vinduene har 3 lags glass med energibelegg og argon i innerste mellomrom. Med 3/5 av vindusarealet ventilert blir luftstrømmen på 3 l/s. Ifølge Markussen Raffnsøe får man 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 [Markussen Raffnsøe 2007].

Forvarming i kulvert (case N5)

I et naturlig ventilasjonsanlegg er drivkreftene ofte svake. Vi kan regne med opptil 5 Pa oppdriftskrefter i en vanlig 2-etasjes enebolig [Mathiesen et al, 2004].

For å beregne varme-utbyttet fra en kulvert, er dataprogrammet GAEA (Graphische Auslegung von ErdwärmeAustauschern) brukt [Universitetet Siegen 2012].

Med vår luftmengde på 192 m³/h, og et 23m langt rør med Ø 280mm, blir trykkfallet gjennom kulverten på 1,58 Pa. GAEA kalkulerer varmeutbyttet til 1623 kWh i året.

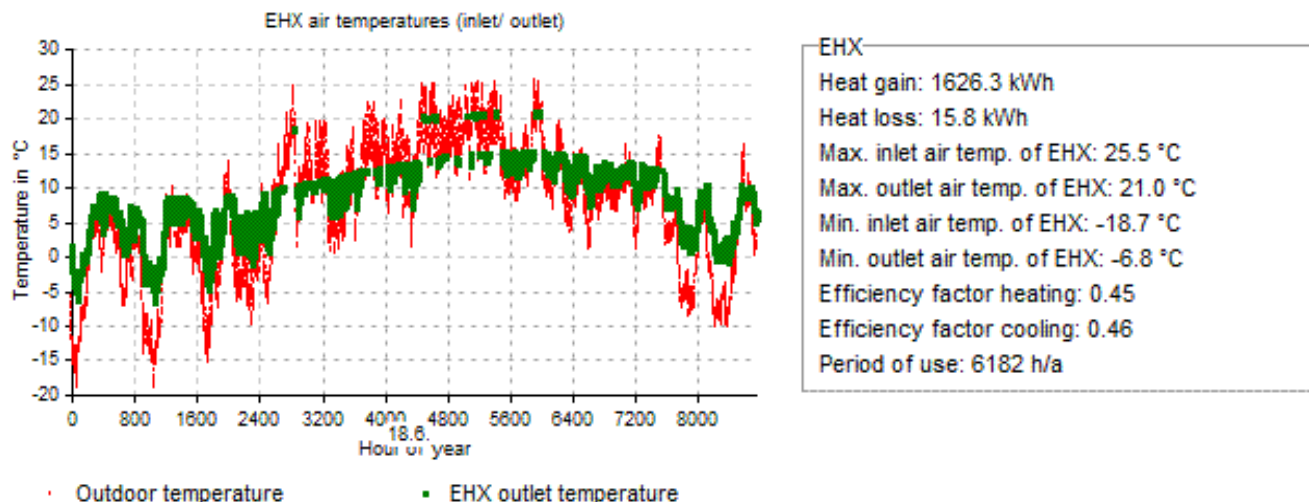


Fig 5. Temperatur og varmeutveksling i kulvert beregna med dataprogrammet GAEA

I en kulvert i et naturlig ventilasjonssystem basert på vind- og oppdriftskrefter, vil lufthastigheten variere noe, slik at også varmeutbyttet varierer, og det totale utbyttet blir mindre.

Dessuten vil ikke hele det beregna varmetilskuddet fra kulverten 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 er det årlige varmeutbyttet justert ned til 1200 kWh.

Lavere temperatur akseptert i naturlig ventilerte bygninger (case N2-6)

Det adaptive prinsipp: Både de Dear et al og Leaman og Bordass, har vist at folk aksepterer større svingninger i temperatur i naturlig ventilerte bygninger [Dear et al 1997 og 1998; Leaman og Bordass 1997]. Dette er bl.a. et resultat av større mangfold i termisk opplevelse i bygningen, og brukerne blir mer aktive i å ta i bruk ulike virkemidler for å tilpasse seg temperaturen: 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 og fysiologisk tilpasning. Følelsen av å ha ansvar og kontroll sjøl gjør at folk blir mindre kritiske og forlangende, dessuten kan hvilestoffskiftet øke [Claessens-van Ooijen et al 2006, Wijers et al 2007]. Prinsippet gjelder i sterkhet i forhold til kjølebehov, men har også gyldighet i forhold til oppvarmingsbehov. Dersom man kan oppnå høyere luftfuktighet inne i om vinteren (vha. hygroskopisk masse og mer behovsstyring) blir varmetapet fra kroppen lavere. 10% høyere RH tilsvarer 0,3° lavere temperatur [NS-EN ISO 7730:2005]. Denne effekten trekker i samme retning. Sammenligning av ulike temperaturgrenser for naturlig ventilerte bygninger i forhold til ute-temperatur ble undersøkt i [Hellwig et al 2006].

På bakgrunn av de ovennevnte faktorer brukes en grad lavere innetemperatur i tilfellene med naturlig ventilasjon (unntatt case N1).

Redusert luftskifte utenom oppholdstid (case N3, B3, N4, N5, N6, B6)

Det forutsettes at huset er tomt 7 timer pr dag, slik at luftskiftet blir redusert i denne perioden. Ifølge Nielsen og Drivsholm var leiligheter og rekkehus i Stockholm tomme 37% av døgnet, dvs. 9 timer [Nielsen og Drivsholm 2010].

Luftskiftet utenom oppholdstida er på 0,36 m³/h. 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 [Grini og Wigenstad 2011].

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 [Din 1946 Teil 2]. 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 [Mathisen 2009].

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

Sove med åpent vindu (case N6, B6)

Ifølge Schild [2003] sover 26% av befolkninga med åpent vindu hele året.

Som et estimat av denne situasjonen, kjøres ventilasjonsanlegget på lavt luftskifte (0,36 m³/h*m²) i 8 timer, i tillegg til de 7 timene om dagen, altså 15 timer i alt. Det forutsettes isolerte innervegger og bra tette soveromsdører, og dermed moderat varmetap fra resten av huset.

Reduserte transmisjonstap fra soverom, og tap til soverom beregnes ikke, da de antas å utligne hverandre.

Grå utslipp (komponent-utslipp) fra selve ventilasjonsanlegget

Det er grå utslipp bare fra ventilasjonsanlegget som er medregna, siden resten av huset er likt for alle de ulike case. For beregninger av totale klimagassutslipp brukes et snitt av rund-summer fra databaser, og andre studier, sammenstilt i tabellen over, altså 0,19 kg CO₂eq / m²*år for ventilasjonsanlegget, og 0,11 kg CO₂eq / m²*år for kulverten (se tabell 2).

Klimagassutslipp ventilasjonsanlegg i bolig. Utenom driftsfase.				kg CO2eq	kg CO2eq	
Kilde	Database		kg CO2eq	/m2	/m2*år	
EMPA 2.2e, Rundsum	(Ecoinvent)	60 år, 130 m2	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 m2	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 m2	697	5,3	0,09	Cradle to gate
				Snitt	0,11	

Tabell 2. Grå utslipp fra balansert ventilasjonsanlegg for enebolig.

Resultater

Resultater er oppsummert i tabell 3 og figur 2. man ser at:

- N1b har lavere utslipp enn B1e
- N1 →N2: utslipp redusert med 4%.
- N2 →N3, utslipp redusert med 6,5%
- N3b har 2% høyere utslipp enn B3b. N3b har mindre utslipp enn B1b.
- N4e har bare 2% høyere utslipp enn B1e.
- N6e har litt høyere utslipp enn B6e, men N6b har lavere enn B6b.

		EI-oppvarming				50% oppvarm fra biobrensel			
		Driftsfase			Inkl mat.	Driftsfase			Lever
		Oppvarm	vifter	Dir. el	CO2eq	Dir. el	CO2eq	CO2eq	Biobrensel
		kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/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
N1	Nat 21°C	67,7	0	126,4	44,9	44,9	92,5	35	35,0
N2	Nat 20°C	62,5	0	121,2	43	43,0	89,9	34	34,0
N3	Nat 20°C 7tUte	54,6	0	113,2	40,2	40,2	86	32,3	32,3
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
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
B6	Bal 63% 7tUte ÅpVindu sov	35,6	2	96,4	34,2	34,4	81,1	29,8	30,0

Tabell 3. Årlig energibehov og klimagassutslipp for passivhus med ulike ventilasjons-konsept. Utslipp fra komponenter ventilasjons-system inkludert, men ikke oppvarmingsystem.

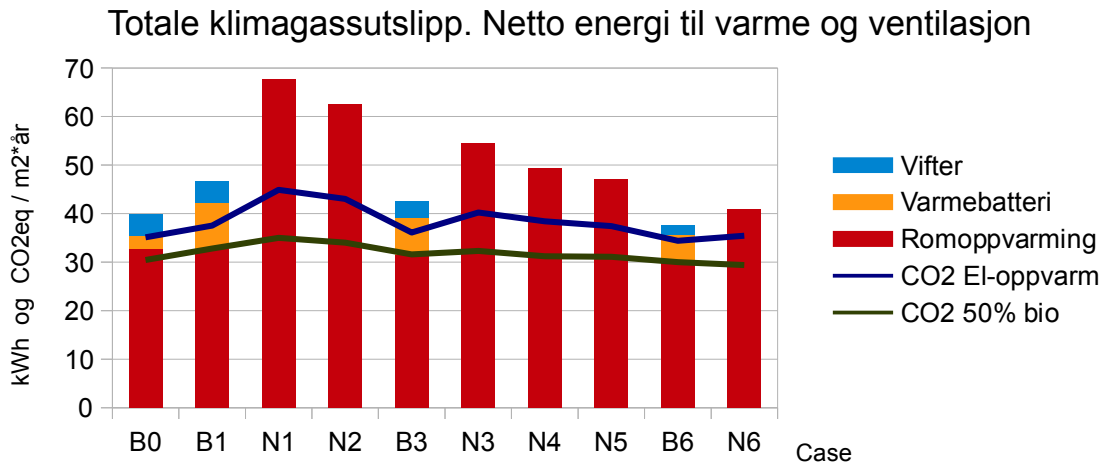
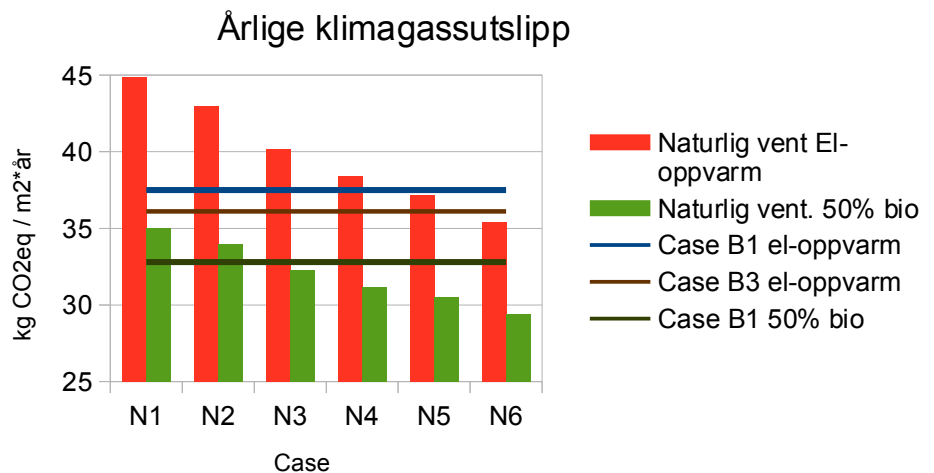


Fig 2.

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.)

Fig 3. Klimagassutslipp med ulike ventilasjons-case. Utslipp fra komponenter i ventilasjons-system inkludert, men ikke oppvarmingsystem eller bygningskropp



-Alle tilfeller med naturlig ventilasjon og 50% biobrensel har lavere utslipp enn B3e.

-Ser ut som kulvert gir mer forvarming enn ventilerte vindu.

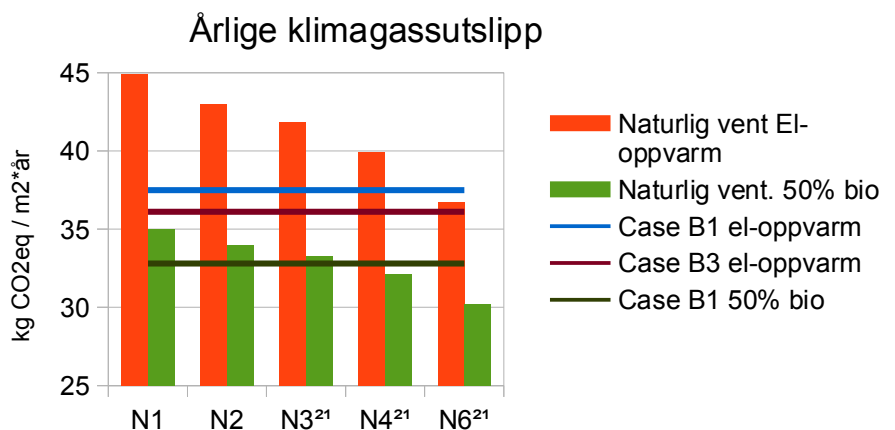
-N5e og N6e har lavere utslipp enn B1e (som representerer et typisk norsk passivhus).

-N6b har 21,6% lavere utslipp enn B1e.

Simuleringer med samme innetemperatur (ser bort fra adaptiv komfort-prinsippet)

Vi ser at N3²¹ har litt høyere, og N4²¹ har litt lavere utslipp enn B1, når alle har 50% biobrensel. N3^{21b} og N4^{21b} har mye lavere utslipp enn B1 og B3 med el-oppvarming.

Fig 4. Utslipp fra N1 (som alltid), N3, N4 og N6 med 21°C innemp. N2 har fortsatt 20°C.



Sensitivitetsanalyser

Følgende parametre ble undersøkt ved sensitivitetsanalysen:

- Klima
- CO2 faktorer
- Virkningsgrad gjenvinner
- Utslippsbalanse ventilasjonsanlegg

Ulike steder / klima

Med el-oppvarming øker den relative fordelten med varmegjenvinning med kaldere vinter.

Med halve rom-oppvarminga fra biobrensel gir tilfellet med naturlig ventilasjon mindre utslipp.

Årlig klimagass-utslipp, ulike lokaliteter

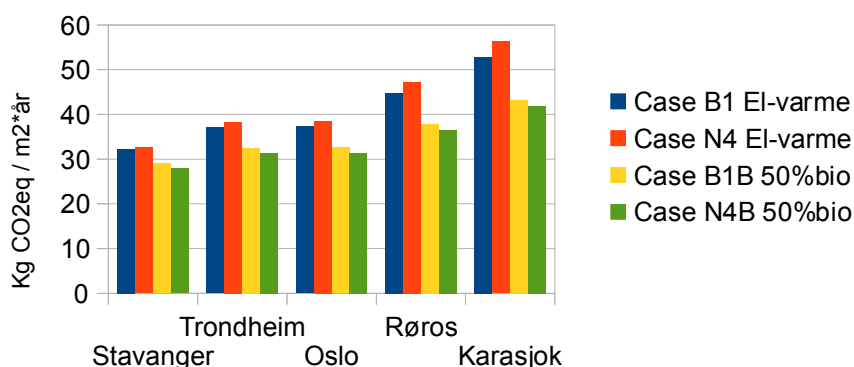


Fig 10.

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

CO2-faktorer; har relativt liten innvirkning på forholdet mellom case B1 og N4.

Årlige klimagass-utslipp, ulike CO2-faktorer for el

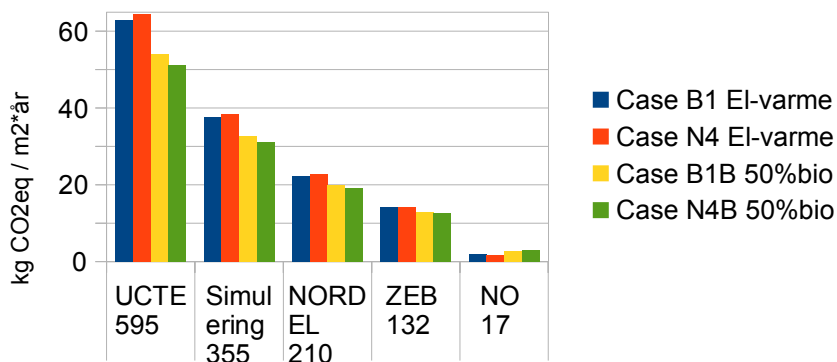


Fig 11. Klimagassutslipp for 2 ventilasjons-case med ulike CO2-faktorer. Utslipp fra komponenter i ventilasjonssystem inkludert, men ikke oppvarmingsystem eller bygningskropp.

Virkningsgrad gjenvinner

Også med 90% virkningsgrad har B1b større utslipp enn N4b. Og B1e har større utslipp enn alle naturlig ventilerte case med 50% biobrensel.

Med el-oppvarming må B1 ha virkningsgrad på over 73% for å ha mindre utslipp enn N4.

Årlige klimagass-utslipp, ulik virkningsgrad gjenvinner

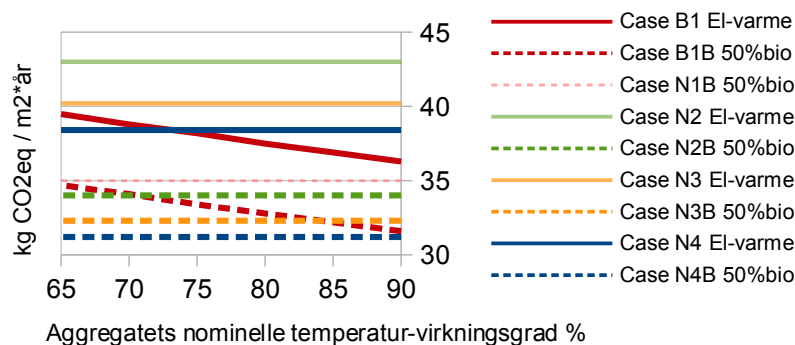


Fig 12. Simuleringer med ulik virkningsgrad gjenvinning. De heltrukne strekene er med el-oppvarming, de stipla med biobrensel.

Utslippsbalanse ventilasjonsanlegg

Vi ser at med 50% biobrensel-oppvarming sparer ventilasjonsanlegget bare litt mer enn det koster, regna i klimagassutslipp.

Klimagassutslipp balansert ventilasjon. Case B1e / B1b

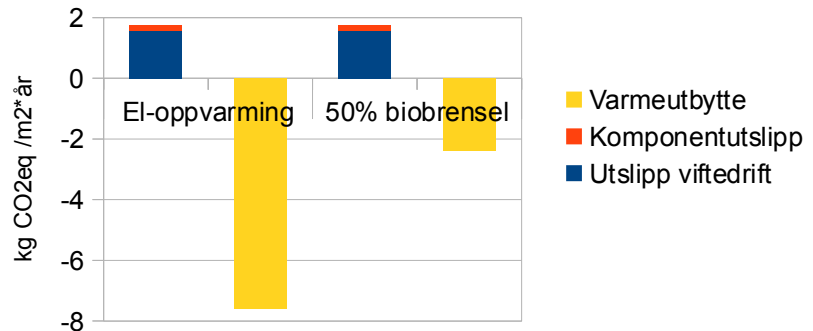


Fig 13. Forholdet mellom klimagassutslipp fra komponenter og viftedrift, og varmeutbyttet fra gjenvinner, i et balansert ventilasjons-anlegg.

De totale klimagass-utslippene er typisk 30 og 40 kg CO₂eq / m²*år, mens komponent-utslippet fra ventilasjons-anlegget er på 0,19 kg CO₂eq / m²*år, altså et forhold på 200:1.

Konklusjon

I en reell vurdering av hvor stor andel ventilasjons-varme som gjenvinnes, bør den latente varmen som tilføres 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.

Vurdering av reell virkninggrad varmegjenvinning er basert på et begrensa antall studier, og noen av dem en del år gamle og få er fra boliger. Det er riktignok gjort en Sensitivitets-analyse av virkningsgrader som viser at selv med 85% nominell virkningsgrad (eller 80% nominell, bare redusert med 5%) har case B1b og N3b omtrent like utslipp. Mindre interntilskudd pga mer energieffektivt utstyr i framtida, kan øke oppvarmingsperioden, og dermed øke nyttig tilskudd fra varmegjenvinner.

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.

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

Referanser

- Boverket, 2008.** Regelsamling for byggende, BBR 2008, Boverket, Karlskrona, Sweden.
- Claessens-van Ooijen, A.M.J., Westerterp, K.R., Wouters, L., Schoffelen, P.F.M., Van Steenhoven, A.A., Van Marken Lichtenbelt, W.D., 2006.** Heat production and body temperature during cooling and rewarming in overweight and lean men.
- 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”, **EMPA: Ökologische Baustoffliste (Version 2.2e)**, publisert av Swiss Federal Laboratories for Material Science and Technology.
- GAEA, Universitetet i Siegen 2012.** Avdeling for Bygningsfysikk og solenergi. http://nesa1.uni-siegen.de/index.htm?softlab/gaea_e.htm
- Grini, C., Wigenstad, T., 2011.** LECO, Behovstilpasset ventilasjon. Sintef Byggforsk, Prosjektrapport 73.
- 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.
- 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.
- KBOB: Ökobilanzdaten im Baubereich**, publisert av Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren.
- 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.
- Mathisen, H. M., 2009.** Behovsstyrt ventilasjon i passivhus og lavenergiboliger . Husbanken 2009.
- Nielsen, T. og Drivsholm C., 2010.** Energy efficient demand controlled ventilation in single family houses.
- Nielsen, T. og Drivsholm C., 2010.** Energy efficient demand controlled ventilation in single family houses.
- Nordby, A. S., 2011.** Carbon reductions and building regulations: the case of Norwegian mountain cabins. *Building Research and Information*, 39:6, 553-565.
- 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 2012.** Dataprogram: SIMIEN 5.010. Tilgjengelig på: www.programbyggerne.no
- Roulet, C., Heidt, F., Foradini, F., Pibiri, M., 2001.** Real heat recovery with air handling units: *Energy Buildings* 33:495–502.
- Schild, P., 2003.** Nasjonal undersøkelse av boligventilasjon med varmegjenvinning. Norges byggforskningssinstitutt. Prosjektrapport 341. Oslo, 2002.
- Sjøvold, O., 2008.** VVS Aktuelt 17.04.08. www.vvsaktuelt.no/xp/pub/hovedmeny/varme_og_energi/298481
- Sørnes, K., 2011.** Heating and Ventilation of Highly Energy Efficient Residential Buildings: Environmental Assessment of Technology Alternatives. Masteroppgave NTNU.
- Wijers, S.L.J., Saris, W.H.M., van Marken Lichtenbelt, W.D., 2007.** Individual Thermogenic Responses to Mild Cold and Overfeeding Are Closely Related. *Journal of clinical endocrinology and metabolism*, 2007, Vol 92; NUMB 11, pages 4299-4305.
- Winther, B.N. 1998.** Energibelastninger ved lavenergiboliger, Thesis, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Trondheim.