BYG·DTU

Jesper Kragh
Gregers Reimann
Svend Svendsen

Mekanisk ventilation med varmegenvinding i arktisk klima

(Denne rapport opdateres januar 2006)

DANMARKS
TEKNISKE
UNIVERSITET

BYG·DTU
December 2005
Rapport R-106
ISBN=87-7877-172-2

INDHOLDSFORTEGNELSE

1 INDLEDNING 3

2 BYGNINGSVENTILATION I GRØNLAND 4

2.1 VENTILATIONSTAB 4
2.2 VENTILATION MED VARMEGENVINDING 6
2.3 FORSØG MED MODSTRØMSVEKSLER 7
2.4 UDVIKLING AF FROSTSIKRET VARMEGENVINDINGSENHED 7
2.5 ENERGIFORBRUG TIL FORVARMNING AF UDELUFTEN 8
2.6 PRODUCENTER AF VARMEGENVINDINGSENHEDER 9
2.7 FORVARMNING AF VENTILATIONSLUFTEN I UDESTUE 9

3 VENTILATION I STØRRE BOLIGBLOKKE 11

3.1 RENOVERING AF INI BOLIGBLOKKE I SISIMIUT 11
3.2 SPØRGESKEMAER 14
3.3 DRIFTSERFARINGER 15

4 SAMMENFATTENDE ANBEFALINGER TIL GBR 16

5 REFERENCER 17

1 Indledning

Nærværende rapport er finansieret af Direktoratet for Boliger og Infrastruktur, Grønland. I rapporten er det undersøgt, hvilke muligheder der er for at indføre krav om mekanisk ventilation med varmegenvinding i det grønlandske bygningsreglement /1/.
Formålet med et sådan krav vil være at sikre et godt indeklima og et lavt energiforbrug til rumopvarmning i grønlandske boliger. Det grønlandske klima stiller store krav til et traditionelt ventilationssystem med varmegenvinding, idet systemet skal sikres mod rimdannelse i varmeveksleren. Typisk løses dette problem ved at forvarme udeluften (indblæsningsluften) til over frysepunktet umiddelbart før veksleren, men herved mistes noget af energibesparelsespotentialet.
Under projektforløbet er desuden brugt resurser på opfølgning af et større boligrenoveringsprojekt i Sisimiut. Her blev 6 ens boligblokke renoveret. For projektet var dette yderst interessant, idet én af boligblokkene samtidigt fik installeret et nyt ventilationssystem med varmegenvinding. Herved var der en glimrende chance for at få belyst, hvordan ventilation med varmegenvinding fungerer i et arktisk klima.

2 Bygningsventilation i Grønland

Mange grønlandske boliger har problemer med fugt og dårligt indeklima dels grundet mangelfuld ventilation og dels grundet bygningskonstruktioner med uhensigtsmæssigt store kuldebroer. Når den fugtige rumluft strømmer forbi en kold overflade vil fugten kondensere på denne. Sker dette over en længere periode er der stor risiko for at bygningskonstruktionen angribes af råd eller svamp. Derfor er det af både sundhedsmæssige og bygningsmæssige årsager vigtigt at få ventileret tilstrækkeligt i grønlandske boliger. I et forskningsprojekt /2/ støttet af KVUG er gennemført en undersøgelse af ventilationsforholdene i 15 boliger i Nuuk. I 6 ud af de 15 boliger var luftskiftet lavere end det minimum på 0,5 h^{-1}, der anbefales for at opnå et sundhedsmæssigt tilfredsstillende indeklima. Desuden viste en spørgeskemaundersøgelse, at hyppigheden af allergi, astma og høfeber var højst blandt de 20 - 29 årrige, hvoriblandt mere end halvdelen led af mindst en af sygdommene.

Den utilstrækkelige ventilationen i grønlandske boliger hænger formentlig sammen med at ventilationstabet er dyrt på varmeregningen og at den lave indblæsningstemperatur medfører trækgener for beboerne. Derfor er det heller ikke unormalt at aftrækskanaler i ydervægge konstant er lukkede og at selv mindre revner og sprækker omkring vinduer og døre tætnes af beboerne.

2.1 Ventilationstab

I det følgende er ventilationstabet analyseret teoretisk ud fra beregningsreglerne i DS 418 – 6 udgave /3/. Ventilationstabet afhænger i høj grad af udetemperaturen og er derfor undersøgt for fire udvalgte byer i Grønland.

Ventilationstabet pr. m² bolig bestemmes af:

$$\Phi_{vent} = \rho \cdot c \cdot q \cdot \Delta T$$

hvor

ρ	luftens massefylde	[kg/m³]
c	varmefylde	[J/kgK]
q	volumenstrømmen	[m³/s]
ΔT	temperaturdifferens mellem ude og inde	[K]

Idet kravet til luftskiftet i bygningsreglementet er mindst 0,5 gang per time, fås for en rumhøjde på eksempelvis 2,3 m følgende ventilationstab pr. m² bolig:

Volumenstrøm: $q = 0{,}5h^{-1} \cdot 1m^2 \cdot 2{,}3m = 1{,}15\frac{m^3}{h} \approx 0{,}000319\frac{m^3}{s}$

Ventilationstabet per grads forskel mellem inde- og ude bliver da:

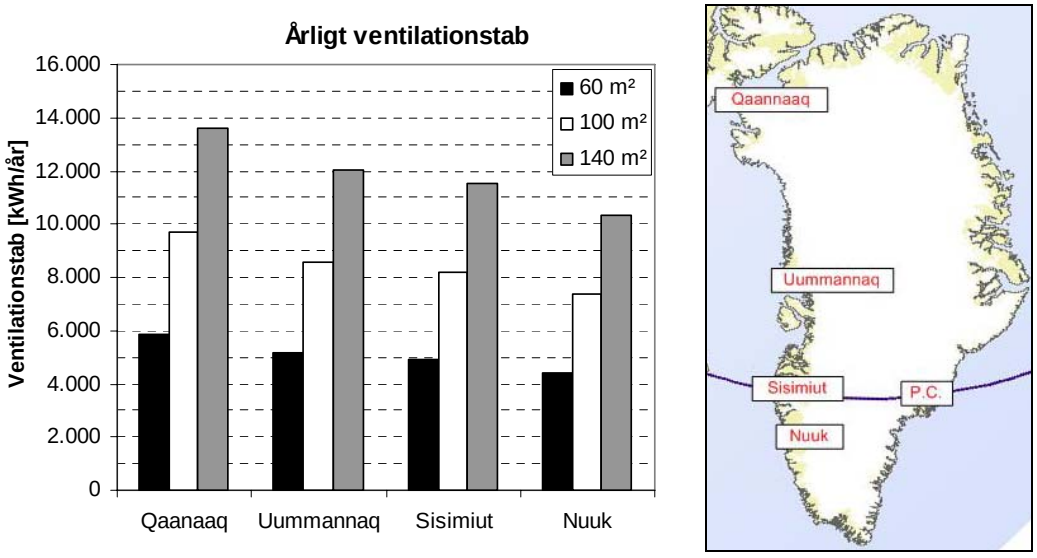
$$\Phi_{vent} = 1{,}205\frac{kg}{m^3} \cdot 1005\frac{J}{kg \cdot K} \cdot 0{,}000319\frac{m^3}{s} \cdot \Delta T \approx 0{,}4\frac{W}{K}\ pr.m^2$$

(materialedata for luft ved 20 ºC)

Har man 100 m² bolig og en temperaturforskel mellem inde og ude på fx. 30 grader fås et ventilationstab på:

100 m² · 30 K · 0,4 W/K pr. m² = 1200 W

På figur 1 er lavet en tilsvarende beregning, hvor ventilationstabet er summeret time for time året igennem ved brug af en middeludetemperatur. Beregningen er udført for fire større grønlandske byer og for tre forskellige boligstørrelser på hhv. 60, 100 og 140 m².



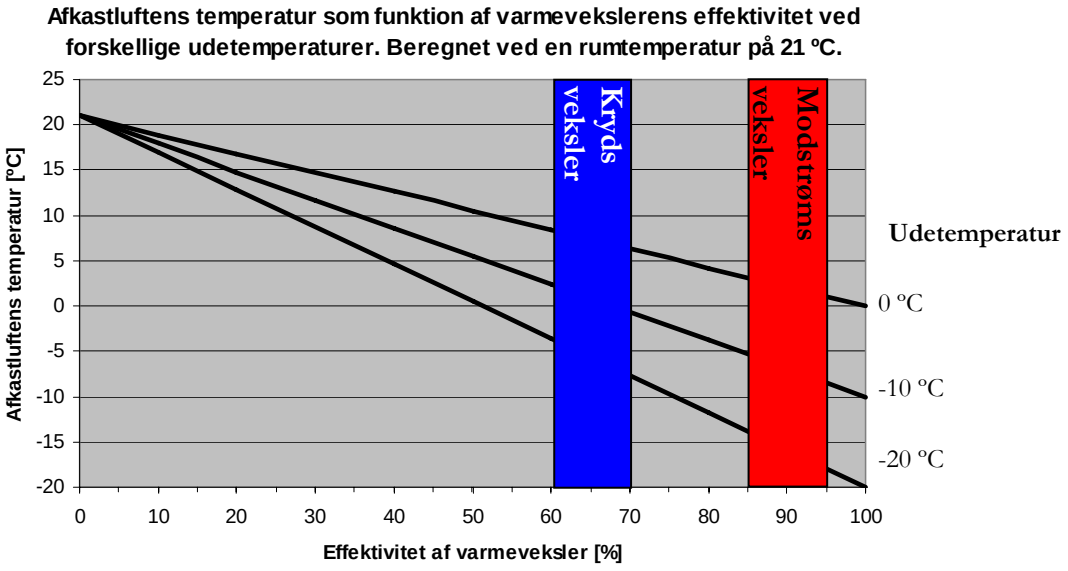
Figur 1 Årligt ventilationstab ved et luftskifte på 0,5 h^{-1} og en rumhøjde på 2,3m

Som det fremgår af figur 1 vil en 60 m² bolig i byen Nuuk have et årligt ventilationstab på ca. 4.300 kWh og en 140 m² bolig ca. 10.200 kWh. Bygningsreglementets krav om et luftskifte på mindst 0,5 h^{-1} medfører altså et markant årligt ventilationstab svarende til mellem 70 – 100 kWh/m² afhængigt af, hvor i Grønland man befinder sig.

2.2 Ventilation med varmegenvinding

Et ventilationssystem med varmegenvinding er opbygget af to separate kanalsystemer til hhv. den friske indblæsningsluft og den brugte afkastluft. Anvendes en varmeveksler kan den varme afkastluft benyttes til at opvarme den kolde udeluft inden indblæsning i boligen og derved reducere energiforbruget til rumopvarmning. Det skal bemærkes at der i systemet normalt ikke sker nogen blanding af de to luftstrømme.

Den typisk anvendte varmeveksler i ventilationssystemer er krydsvarmeveksleren, men denne er dog ikke så effektiv som modstrømveksleren, der kan have en effektivitet på helt op til 95 %. Modstrømvekslerens bedre effektivitet bevirker at den er i stand til at "hive" mere energi ud af afkastluften, hvilket vil sige at temperaturen af afkastluften kan blive meget lav. Da afkastluftens temperatur således til tider vil komme under frysepunktet vil den fugt, der er i indeluften sætte sig som rim i veksleren. Volumenstrømmen vil i løbet af ganske kort tid stoppe pga. denne rimdannelsen. Dette er et problem, der skal tages højde for ved anvendelse af modstrømsveksleren i et koldt klima. På figur 2 er vist afkastluftens temperatur, som funktion af varmevekslerens temperatur effektivitet ved forskellige udetemperaturniveauer.



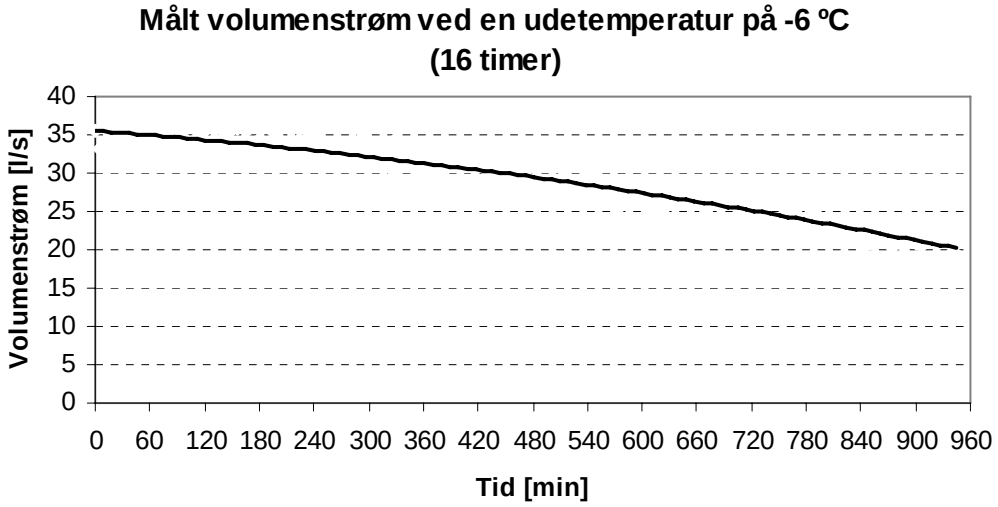
Figur 2 Teoretisk beregning af afkastluftens temperatur efter veksleren ved forskellige udetemperaturerniveauer

Som det ses af figur 2 vil modstrømsveksleren allerede få problemer ved udetemperaturer under –10 °C, idet afkastluftens temperatur kommer under frysepunktet. Derfor vil en modstrømsveksler ikke umiddelbart være velegnet i en varmegenvindingsenhed

til et arktisk klima som det grønlandske. Det skal dog bemærkes, at krydsvarmeveksleren ligeledes vil have tilisningsproblemer trods den lavere effektivitet.

2.3 Forsøg med modstrømsveksler

Et forsøg blev udført, hvor en danskproduceret varmegenvindingsenhed med en modstrømsveksler blev testet ved en konstant udetemperatur på ca. –6 ºC. Under forsøget blev volumenstrømmen på afkastsiden målt. Allerede efter 16 timers drift var volumenstrømmen på afkastsiden næsten halveret på grund af rim i varmeveksleren. Målingerne er vist på figur 3.



Figur 3 Test af varmegenvindingsenhed med modstrømsveksler ved en konstant udetemperatur på –6 ºC. Af hensyn til veksleren blev forsøget stoppet efter 16 timer.

2.4 Udvikling af frostsikret varmegenvindingsenhed

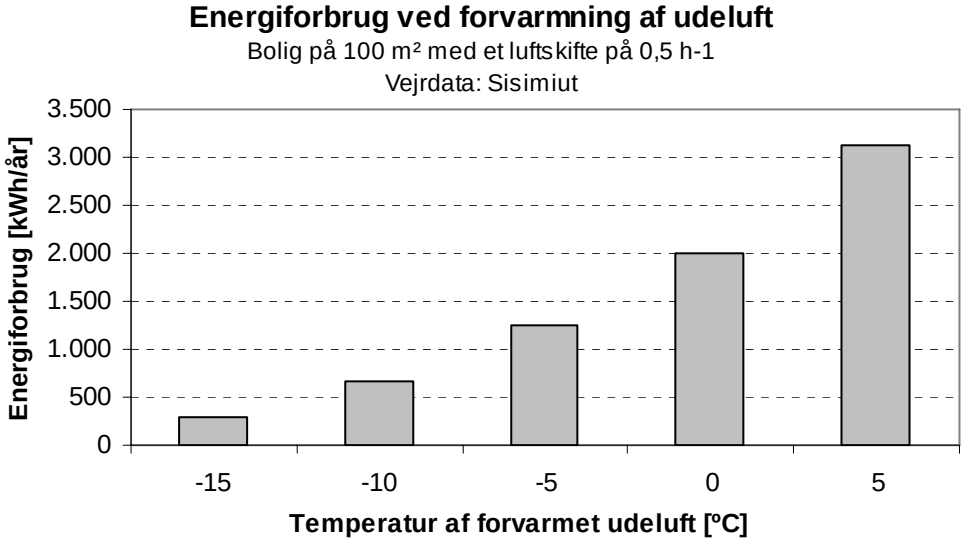
I forbindelse med et lavenergihusprojekt i Sisimiut er der udviklet en varmegenvindingsenhed, der kontinuerligt kan afrime sig selv uden brug af supplerende energikilde. Varmegenvindingsenheden er opbygget af to modstrømsvarmevekslere koblet i serie. Et specieldesignet kabinet og spjældsystem gør det muligt at skifte om på gennemstrømningsretningen af de to vekslere, således at den rim, der afsættes i den koldeste veksler, senere kan optøs og ledes bort, når gennemstrømningsretningen igen skiftes. En simpel timerstyring benyttes til at skifte gennemstrømningsretningen.
Enheden er testet under kontrollerede laboratorieforhold på Danmarks Tekniske Universitet. Testen viste at afrimningsfunktionen virkede efter hensigten, men at det dog forsat er nødvendigt med en supplerende energikilde i meget kolde perioder (udetemperaturer under -20 ºC). Den supplerende energikilde fungerer som en eftervarmer, der hæver indblæsningstemperaturen de sidste par grader, således at trækgener undgås.

Varmegenvindingsenheden installeres i et lavenergihus i Sisimiut, hvor driftsdata i løbet af det næste årstid noteres.

2.5 Energiforbrug til forvarmning af udeluften

I det følgende er lavet en teoretisk beregning af hvad energibesparelsespotentialet er ved at benytte ventilation med varmegenvinding i Grønland. Ved den ideelle løsning vil energibesparelsespotentialet svare til ventilationstabet vist på Figur 1. I praksis vil en højeffektiv varmegenvindingsenhed dog maksimalt kunne genvinde 90-95 procent af energiindholdet i afkastluften. Den høje effektivitet vil dog som ovenfor beskrevet medføre at den fugtige afkastluft nedkøles til under frysepunktet i varmeveksleren, hvilket uundgåeligt vil give rimdannelse på vekslerens overflader. Efter ganske få timers drift vil flowet gennem veksleren falde på grund af stigende tryktab.

Problemet løses typisk ved at forvarme udeluften op til frysepunktet, hvorved frostproblemer i veksleren undgås, men herved reduceres energibesparelsespotentialet. På figur 4 er vist et eksempel på det årlige energiforbrug til forvarmning af udeluften til forskellige temperaturniveauer for byen Sisimiut.



Figur 4 Energiforbrug til forvarmning udeluften

Som det ses af figur 4 vil forvarmning af indblæsningsluften til fx. 0 °C teoretisk kræve et energiforbrug på 2.000 kWh per år for en 100 m² bolig i Sisimiut. Sammenlignes med figur 1, hvor energibesparelsespotentialet for en tilsvarende bolig er bestemt til ca. 8.000 kWh medfører forvarmningen af udeluften altså en reduktion på ca. 25 %.

Det er derfor ønskeværdigt med varmegenvindingsenheder, der er i stand til at fungere i kolde klimaer uden tilisningsproblemer.

2.6 Producenter af varmegenvindingsenheder

Det danske marked for varmegenvindingsenheder er undersøgt mht. egnede produkter til det grønlandske klima.

Ingen produkter/varmevekslere er fundet specifikt egnet til at kunne fungere optimalt i et koldt klima, hvor udetemperaturen i lange perioder ligger under frysepunktet.

Dog benyttes der i dag en løsning med en traditionel krydsveksler suppleret med enten en for- eller eftervarmeflade. Erfaringerne er eftersigende positive med hensyn til driftsikkerheden af et sådanne system, men det vurderes, at energibesparelsespotentialet ved denne løsningen samlet set kunne være bedre, idet krydsvarmevekslerens effektivitet på fx. 65 % sammenholdt med energiforbruget til den supplerende energikilde begge vil reducere besparelsespotentialet noget. Hertil kommer desuden elforbruget til drift af en pumpe samt at installationsomkostningerne til den ekstra varmeflade ligeledes vil forlænge tilbagebetalingstiden for hele ventilationssystemet. Løsningen vil dog alligevel kunne anbefales ud fra et krav/ønske om et bedre indeklima i grønlandske boliger.

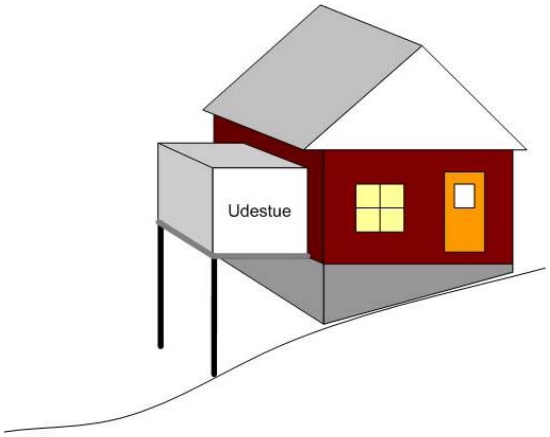
2.7 Forvarmning af ventilationsluften i udestue

I det følgende er det teoretisk analyseret, hvor meget der kan spares ved at uopvarmede udestuer (eller drivhuse mm.), der er placeret i umiddelbar nærhed af en bolig, kan benyttes til forvarmning af ventilationsluften. Princippet er således at ventilationsanlægget trækker frisk luft ind fra udestuen, som i perioder med solindfald vil have en højere lufttemperatur end udetemperaturen.

Eksempel: Enfamiliehus i Sisimiut

Indetemperatur 21°C

Ventilationsflow 162 m³/h



Udestue:

Orientering: Syd

Længde: 7,3 m

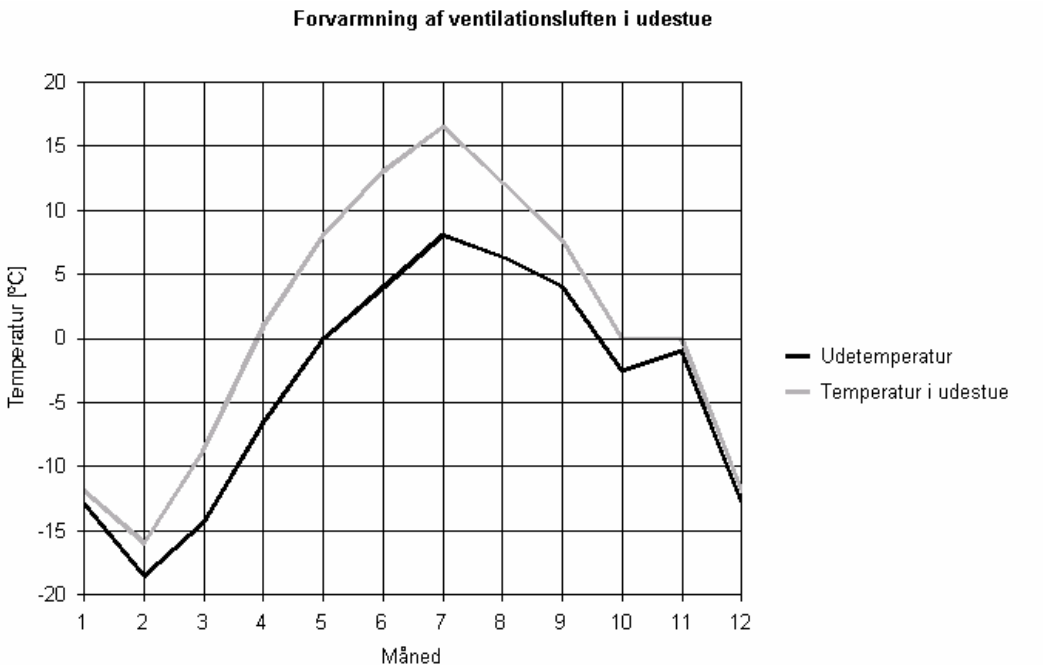
Bredde: 3 m

Højde: 2,5 m

Gulv 10 cm betondæk

Med simuleringsprogrammet BSim2002 er foretaget en simpel simulering af opvarmningsbehovet ved forskellige rudeopbygninger. Selve hus modellen er en model af selvbyggerhuset Illorput opbygget med en isoleringsstandard, der opfylder de kommende krav jf. bygningsreglementet /1/.

På figur 5 ses den månedlige middel udetemperatur sammenlignet med indblæsningstemperaturen fra udestuen til boligen i løbet af året. Simuleringen er foretaget for ét lag glas i udestuen.



Figur 5 Måneds middel udetemperatur og temperatur i udestuen året igennem ved anvendelse af enkelt lag glas

Boligens ventilationstab ved ventilering uden forvarmning af udeluften er bestemt til ca. 11.500 kWh/år. I tabel 1 er vist besparelsen ved samme udestue, men med tre forskellige rudeopbygninger.

Tabel 1 Eksempel på energibesparelse ved forvarmning af udeluften i en udestue

Rude	Rudens U-værdi W/m²K	Rudens g-værdi -	Besparelse kWh/år
Enkelt lag glas	6	0,85	2.000
Termorude	3	0,75	2.500
Energirude	1,5	0,63	2.750

En udestue eller lignede tilbygning med store glaspartier vil således kunne give en pæn besparelse i det samlede varmeforbrug, ved at ventilationsluften forvarmes i denne.

3 Ventilation i større boligblokke

En stor del af den grønlandske befolkning bor i dag i større boligblokke. Mange af disse er kopier af danske boligblokke og er derfor ikke specielt velegnede til det kolde grønlandske klima. Manglende ventilation og dårligt isolerede bygningskonstruktioner med store kuldebroer vil normalt give kondensproblemer med råd, svamp, mug og et dårligt indeklima som resultat på længere sigt. Passende ventilation af disse boligblokke er derfor absolut nødvendig.

3.1 Renovering af INI boligblokke i Sisimiut

I projektet er fulgt et større renoveringsprojekt af 6 boligblokke i Sisimiut. Alle lejlighederne er lejelejligheder, som administreres af Boligselskabet INI. De seks boligblokkene er opført med hhv, 37, 33, 33, 34, 33 og 25 lejligheder samt en række fællesrum. Etagearealet er ikke det samme for alle boligblokke, da man ved opførelsen var nødt til at tage hensyn til grundfjeldets uensartede højde på byggegrunden. Dette har resulteret i, at nogle boligblokke ingen kælderetage har, mens andre boligblokke har kælder i to planer. Alle boligblokke har dog 4 etager over jorden. På figur 6 ses et billede af de seks boligblokke.



Figur 6 Seks boligblokke i Sisimiut

Renoveringen sigtede primært mod at forlænge boligblokkenes levetid og at genoprette mange års slitage. På figur 7 ses, hvorledes der haves fugtproblemer i et badeværelse før renoveringen.



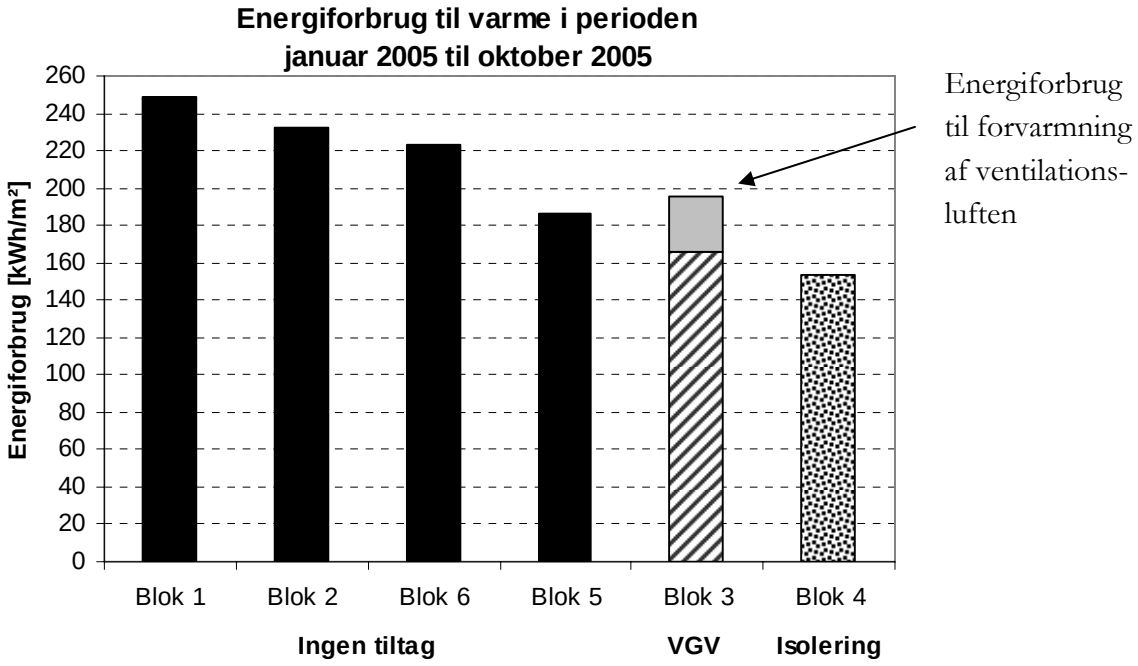
Figur 7 Eksempel på fugtproblem i badeværelse

INI blev desuden af Hjemmestyret bedt om at udføre to energibesparende forsøgsprojekter. Det første projekt var en klimaskærmsrenovering, der omfattede efterisolering af facader, loft og kælder, og det andet projekt var et forsøg med ventilation med varmegenvinding, hvilket derfor er relevant at belyse for dette projekt. Det var intentionen, at målinger fra dette projekt skulle dokumentere energibesparelsespotentialet ved varmegenvinding for større boligblokke. Imidlertid har der været store problemer med at få anlægget i drift på tilfredsstillende vis, hvorfor der kun er en relativ kort måleperiode til rådighed for projektet.

Ventilationsanlægget i blok 1, 2, 4, 5 og 6 er udført således at der for den enkelte lejlighed haves mekanisk udsug i bad og køkken suppleret med friskluftventiler i stue og soveværelser.

I blok 3 er ventilationsanlægget suppleret med varmegenvindingsaggregater. Varmegenvindingsaggregaterne er placeret i loftrummet, hvor den friske indblæsningsluft forvarmes med afkastluften. Indblæsningsluften kan når det er nødvendigt forvarmes således at indblæsningstemperaturen ikke bliver for lav i meget kolde perioder.

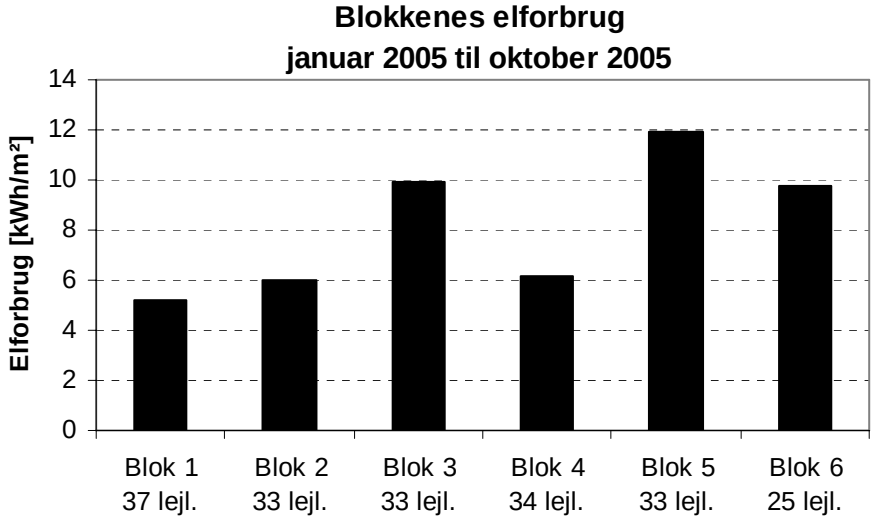
På figur 8 er vist energiforbruget til varme målt fra januar 2005 til oktober 2005 (begge måneder inkl.) Bemærk at blok 3 er udført med ventilation med varmegenvinding og at blok 4 er efterisoleret.



Figur 8 Målinger af energiforbrug til varme i 6 sammenlignelige boligblokke i Sisimiut. Målingerne er foretaget i perioden januar 2005 til oktober 2005 (begge måneder inkl.).

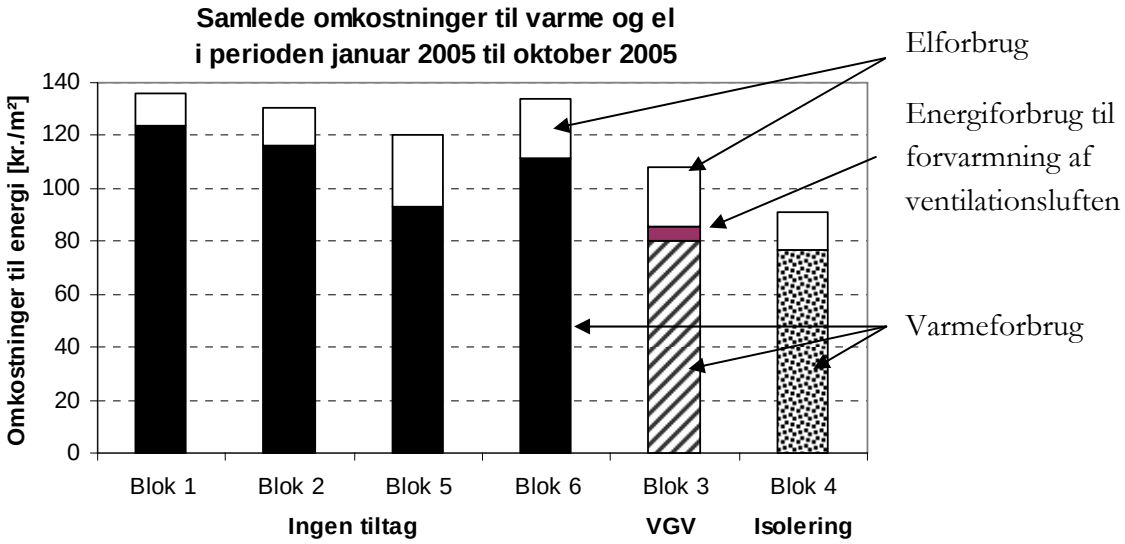
Det ses at blok 1, 2 og 6 har de største energiforbrug med et gennemsnitsforbrug på 235 kWh/m². Blok 5 har i måleperioden været under renovering og har derfor kun delvist været beboet, hvorved det relativt lave forbrug kan forklares. Sammenlignet med blok 1, 2 og 6 er energibesparelsen for boligblok 3 ca. 17 % og for blok 4 ca. 35 %.

I den samlede sammenligning bør ventilatorernes elforbrug også medtages. På figur 9 ses de seks blokkes elforbrug i samme måleperiode. Som det ses af figur 9, så ligger blok 3's elforbrug næsthøjest. Dette kan sandsynligvis forklares ved elforbruget til de ekstra ventilatorer, der sikrer indblæsningen af frisk luft i lejlighederne. Det høje elforbrug i blok 5 og 6 kan dog ikke umiddelbart forklares. Blok 5´s høje elforbrug kan skyldes, at cirkulationspumperne til fjernvarmevandet for alle seks blokke er tilkoblet denne el-måler.



Figur 9 v iser blokkenes elforbrug pr. m² boligareal målt i perioden fra januar 2005 til oktober 2005.

På figur 10 er vist en beregning af den samlede energiomkostning for måleperioden fra januar 2005 til oktober 2005. Det antages at prisen for fjernvarme og el er hhv. 0,50 kr./kWh og 2,30 kr./kWh /6/.



Figur 10 Boligblokkenes samlede energiomkostninger i perioden januar 2005 til oktober 2005. Fjernvarmepris 0,50 kr./kWh. Elpris 2,30 kr./kWh.

For blok 1, 2, 5 og 6 er den gennemsnitlige energiomkostning ca. 130 kr./m². Sammenlignes dette med blok 3 og 4, ses en besparelse for måleperioden (10 måneder) på hhv. 45.000 kr. og 85.000 kr.

Rapporten opdateres januar 2006 med måledata fra november og december 2005 således at der haves et helt års forbrug.

3.2 Spørgeskemaer

I forbindelse med et studenterprojekt /4/ udført sommeren 2000 (dvs. før renoveringsprojektet var startet) blev der lavet en mindre spørgeskemaundersøgelse af beboernes energivaner. Her blev beboerne desuden spurgt om, hvordan de opfattede indeklimaet. Følgende er et resumé af de seks returnerede spørgeskemaer:

Der blev spurgt om:

Er du/I utilfredse med indeklimaet: Ja/Nej

100 % af de adspurgte svarede ja til dette spørgsmål.

Virker udsugningen i køkken/toilet:

83 % mente ikke at udsugningen i køkken eller toilet virkede

Desuden fremgik det af besvarelserne at:

50 % mente der var dårlig lugt i lejligheden

50 % mente der var fodkoldt i lejligheden
33 % af beboerne syntes der var for fugtigt i lejligheden

Af kommentarerne fremgår at specielt badeværelserne har fugtproblemer. Malingen skaller af loftet og der er skjolder på væggene.

I forbindelse med et tilsvarende studenterprojekt /5/ blev der efter renoveringen af blok 3 (2003) foretaget en ny spørgeskemaundersøgelse. Her fremhævede beboerne følgende:

- er sluppet af med fugtproblemer fra badeværelset
- der er ikke længere det samme behov for at tænde for varmen
- der er ikke mere træk
- er sluppet af med meget kondens på vinduerne
- er sluppet af med lugten af fugt
- er sluppet af med pletter på væggen
- luften er blevet friskere
- er sluppet af med hovedpine og snue

Den generelle renovering af lejligheder skal dog tages med i betragtningen, hvorfor den positive respons kan være for markant. Tilsyneladende virker ventilationsanlægget bedre.

3.3 Driftserfaringer

Erfaringerne med at få ventilationsanlægget i drift (og indreguleret) var at dette var for kompliceret at styre og måske vigtigst af alt, at der ikke haves den nødvendige faglige ekspertise til rådighed til kontrol og vedligeholdelse af anlæggene.
Da anlægget fra start ikke var indreguleret blev det efter kort tid slukket, idet beboerne klagede over for meget støj fra ind- og udblæsningsventiler. Desuden var der klager over træk, hvilket således viser at anlægget ikke var ordentlig indreguleret. Efterfølgende har der været problemer med, at H-FI relæerne af og til slog ud og derved stoppede ventilationsanlægget.

4 Sammenfattende anbefalinger til GBR

I projektet er det undersøgt, om der er muligheder for i det grønlandske bygningsreglement at indføre krav om, at boliger med mekanisk ventilation udføres med varmegenvinding.

Energibesparelsespotentialet er stort ved anvendelse af ventilation med varmegenvinding, idet ventilationstabet for en bolig, der opfylder bygningsreglements krav om et luftskifte på mindst 0,5 h^{-1}, teoretisk ligger på 70 – 100 kWh/m² pr. år.

Til mindre en- og tofamiliehuse findes der på ventilationsmarkedet endnu ikke varmegenvindingsenheder, der umiddelbart vil kunne fungere uden en forvarmning af udeluften, hvilket vil medføre en højere anlægsudgift. De varmegenvindingsenheder der benyttes på det danske marked, vil i løbet af relativ kort tid rime til i kolde klimaer. Produkter, der løser dette problem, skal derfor først udvikles.

I større ejendomme vil ventilationsanlæg med varmegenvinding og en forvarmning af udeluften kun kunne fungere under forudsætning af, at der haves den nødvendige faglige ekspertise til rådighed. Korrekt indregulering og regelmæssig kontrol og vedligehold vil ligeledes være en forudsætning. Det vil være en ventilationsløsning, der formentlig kan afhjælpe mange af de indeklimaproblemer, der i dag er i de større boligblokke i Grønland. Energibesparelsespotentialet ved denne type anlæg reduceres dog noget, idet der skal bruges ekstra energi til den supplerende varmeflade samt drift af flere ventilatorer end i et traditionelt udsugningsanlæg.

En nærmere analyse af et større renoveringsprojekt af 6 boligblokke i Sisimiut har vist en pæn energibesparelse for et mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding. I projektet har der dog været nogen drifts- og indreguleringsproblemer. Udvikling af simple ventilationssystemer og uddannelse af en række installatører vil derfor være en forudsætning for at ventilation med varmegenvinding kan indføres som et krav i det grønlandske bygningsreglement.

5 Referencer

/1/ Forslag, Grønlands Bygningsreglement 2002.

/2/ Ventilation i grønlandske boliger, Jørn Toftum, the International Centre for Indoor Environment and Energy, Department of Mechanical Engineering, Technical University of Denmark

/3/ DS 418–6. udgave 2002, Beregninger af bygningers varmetab, Dansk Standard.

/4/ Energiforhold i boligblokke i Sisimiut, Grønland; Gregers Reimann mf., Studenterprojekt, Danmarks Tekniske Universitet, Institut for bygninger og energi. Oktober 2000.

/5/ Varmegenvinding under arktiske forhold, Rikke Jørgensen, Thomas Lindberg, Studenterprojekt, Danmarks Tekniske Universitet, BYG·DTU, December 2003.

/6/ Nukissiorfiits salgs- og leveringsbetingelser for offentlig levering af el, vand og fjernvarme. Prisblad nr. 9 2004