Lavenergihus højt mod nord

I 2005 indviedes et lavenergihus i Grønlands næststørste by Sisimiut, der er beliggende 50 km nord for Polarcirklen. Huset har til formål at vise vejen for, hvordan man også på disse høje breddegrader kan bygge energieffektivt. Artiklen præsenterer målsætningen for huset og beskriver den bygge- og installationsteknik, der er brugt, og endeligt redegøres for, hvor godt huset har fungeret i dets første to år.

Carsten Rode
Egil Borchersen
Jesper Kragh
Jørn A. Thomsen

Byggeriet og dets målsætning

På tidspunktet for projekteringen af huset var et nyt Bygningsreglement for Grønland på trapperne, og da det hidtidige gik tilbage til 1982, var der god grund til at få undersøgt, hvad der i dag kunne regnes som realistiske målsætninger for begrænsning af energiforbruget til opvarmning i det kolde klima. Et lavenergihus har man i Danmark regnet for at være et hus, der kun brugte halvdelen af den energi til opvarmning, som var tilladt i henhold til bygningsreglementet. Målet var, at det nye grønlandske hus skulle have et energiforbrug på kun halvdelen af det formodede krav i det den gang kommende grønlandske bygningsreglement. Energi til opvarmning af husene i en by som Sisimiut kommer i vid udstrækning fra olie, og da det er en importeret ressource, giver det god mening at reducere behovet. Med huset skulle udvikles og demonstreres noget, der overgik state-of-the-art, og som kunne stimulere en udvikling mod energirigtige løsninger i det arktiske byggede miljø.

Opførelsen af huset var kommet i stand takket være en donation fra Villum Kann Rasmussen Fonden på 5 mio. kr. Sisimiut kommune betalte for byggemodning af en grund til projektet, og Exhausto A/S donerede ventilationsaggregater til huset. Byggeriet blev i vid udstrækning realiseret under medvirken af lokale firmaer.

Huset er på 197 m2. Det har siden opførelsen fungeret som bolig for en grønlandsk familie, men da der er tale om et dobbelthus, har den anden del været brugt som udstilling, og er nu ved at overgå til et formål som gæstebolig for Center for Arktisk Teknologi, som er et samarbejde mellem Sanaartornermik Ilinniarfik (Bygge- og Anlægsskolen) i Sisimiut og Danmarks Tekniske Universitet i Lyngby. Midtersektionen mellem de to boligenheder rummer et fælles indgangsparti samt teknikrum.

Energimæssig målsætning og virkemidler

Energirammekravet i det grønlandske bygningsreglement, der kom i 2006, er for et etplanshus bygget nord for polarcirklen 230 kWh/m^2 pr. år. Energirammen er fastlagt ud fra antagelser om at ventilation med varmegenvinding endnu ikke kan indføres som krav for boliger, idet der kun er meget få erfaringer med varmegenvinding under arktiske forhold. Et standard grønlandsk enfamiliehus vil typisk kunne reducere ventilationstabet med 50% ved anvendelse af ventilation med varmegenvinding. Indføres krav om ventilation med varmegenvinding vil energirammen kunne reduceres til fx 160 kWh/m^2 pr. år. Da lavenergihuset i Sisimiut udføres med et ventilationssystem med en optimeret varmegenvindingsenhed blev målsætningen således fastsat til, at det som lavenergihus skulle have et varmebehov på maks. 80 kWh/m^2 pr. år.

Huset skulle især markere sig på følgende områder:

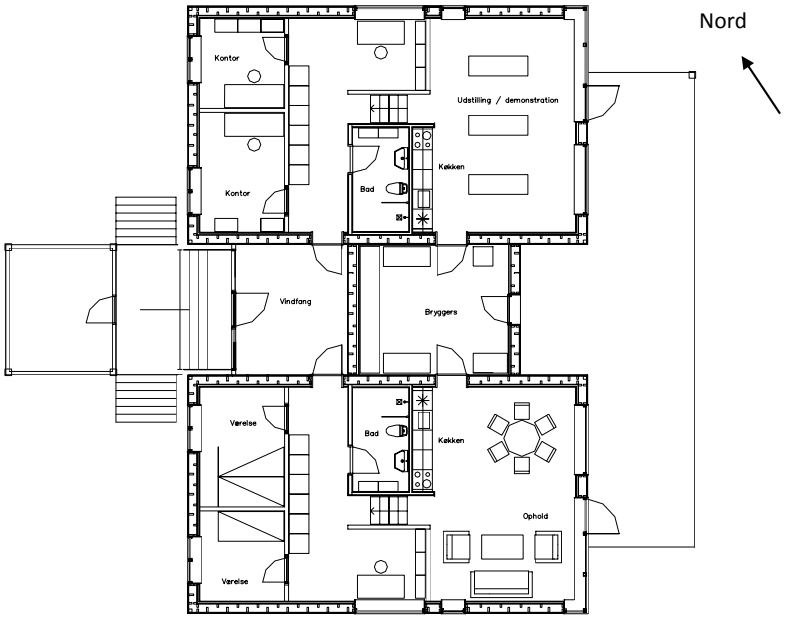
- Energioptimale løsninger
- Demonstrationseffekt bl.a. ved formidling af erfaringerne.

Form og udtryk

Huset har fået en geometri og udvendige overflader, der adskiller det fra sine naboer. Det har været et ønske at udnytte såvel aktiv som passiv solenergi, og bygningens form er valgt, så det får en relativt lille overflade. Samtidig fås en god udnyttelse af dagslys. Der er benyttet en udvendig beklædning af huset med Redwood-brædder lagt på klink.

Husets solfangerfelt har fået en karakterfuld placering på mellembygningens sydøstfacade, der har den mest optimale hældning mod solen.

Figur 1. *Billede af lavenergihuset i Sisimiut – klar til indvielse i foråret 2005. Foto: Jørn A.Thomsen, Rambøll, Sisimiut*



Figur 2. *Lavenergihusets grundplan og tværsnit. Huset er et dobbelthus opdelt i en halvdel for traditionel beboelse og en halvdel til fremvisning for besøgende.*

Højisoleret klimaskærm

Klimaskærmens ydervægge, lofter og tagkonstruktioner er naturligvis forsynet med stor isoleringstykkelse. Ydervæggene er en dobbelt stolpe-/lægtekonstruktion, der er opbygget så der på ingen steder er træ, der gennembryder konstruktionen, hvorved de konstruktive kuldebroer helt er undgået.

Som vinduer er valgt flere forskellige løsninger - med tre lag glas, så der opnås en lav U-værdi. De fleste af de faste vinduer er opbygget i en koblet konstruktion som en 2-lags forseglet energirude med argonfyldning og belægning der reflekterer varmestråling mellem glassene, samt en indvendig ekstra rude siddende i en koblet ramme. To ruder har et lag vakuum mellem to af glassene med små, næsten usynlige glaspiller som afstandsgivere, og et kryptonfyldt hulrum til det tredje lag glas.

Klimaskærmens isoleringstykkelser og U-værdier fremgår af Tabel 1.

Ventilation med varmegenvinding

Huset har et ventilationssystem med varmegenvinding. Dette er en usædvanlig løsning i grønlandske boliger, bl.a. da det er svært at få sådanne systemer til at fungere i Grønland uden de blokeres af isdannelser. Varmeveksleren består af to modstrøms aluminiumsvekslere med høj effektivitet og to spareventilatorer med lavt elforbrug. Når den varme og fugtholdige udsugningsluft passerer varmeveksleren, kan den køles så meget af, at der opstår isdannelser. Systemet er derfor indrettet således, at rækkefølgen af de to vekslerenheder automatisk skiftes, når der opstår rim. Varmeveksleren har en nominel temperaturvirkningsgrad på ca. 90 %.

Gulvvarme

I huset er installeret gulvvarme i alle rum, som sammen med ventilationsanlægget er det system, der opvarmer rummene. Det giver en behagelig varme, og man undgår andre varmeafgivende aggregater, der fylder i rummene. Men vandbaseret gulvvarme, som i huset, er stort set ikke benyttet før i Grønland, idet man må sikre sig mod frostsprængninger, hvis huset er ubeboet i en periode, eller hvis der optræder langvarige svigt i energiforsyningen. Der er derfor tilsat glykol til væsken i anlægget.

Solfanger

Lavenergihuset er udstyret med et solvarmeanlæg til opvarmning af brugsvand suppleret med husets oliefyr til backup. Solvarmeanlægget er dimensioneret således, at det kan dække varmtvandsforbruget og en del af rumopvarmningsbehovet i sommerperioden, idet en separat radiator er opstillet til at nyttiggøre overskudsvarme fra solvarmesystemet. Dermed kan oliefyret slukkes i perioder, hvilket medfører at solvarmeanlægget både dækker varmebehovet og sparer oliefyrets tomgangstab. Solvarmeanlægget baseres på 8,1 m^2 tagintegrerede Velux solfangere, som er placeret på lavenergihusets midtersektion. Til solfangerne hører en varmtvandsbeholder på 257 liter.

Vand og kloakforhold

I lavenergihuset haves et vandforbrug på ca. 140 m^3 pr. år. Vandet kommer fra vandværket, der indvinder det som overfladevand fra vandsøerne i baglandet. Byens vand tilsættes klor i begrænset omfang. Det fremføres i isolerede, nedgravede rør, som er forsynet med indlagte elkabler, der sikrer mod frysning. En lille procentdel af husene i Sisimiut har ikke indlagt vand og må hente vand ved pumpehuse.

Spildevand føres i kloakledninger, der kan være isolerede eller frostsikrede med elkabler. Hovedkloakledninger i Sisimiut er normalt ikke el-frostsikrede, og er i flere tilfælde heller ikke isolerede. Afløbsstikledninger er i nogle tilfælde heller ikke el-frostsikret, især ikke nye rør, som er udført i PEH. Fra boligblokke og rækkehuse plejer de heller ikke at være el-frostsikrede, og i tilfælde af, at der er monteret varmekabler, er de sædvanligvis slået fra.

Såvel sort som gråt spildevand udledes direkte og urenset i havet. En større procentdel af byens huse har ikke kloaktilslutning og leder det grå spildevand direkte ud i naturen tæt ved huset. Tørkloset tømmes ved en poseordning, hvor renovationen indsamler de sorte poser en gang ugentligt og sørger for tømning direkte i havet ved det, der kaldes "chokoladefabrikken". Der er i dag krav om, at alt nybyggeri tilsluttes kloak og kommunen byggemodner nye planområder med kloaksystemer. Rensningsanlæg drøftes på fremtidigt ideplan.

Målinger i huset:

Demonstrationseffekten af lavenergihuset sker gennem formidling af de måleresultater og erfaringer, der opnås i projektet – dels fra opførelsen, men især nu i driftssituationen. Huset er forsynet med måleudstyr, således at de vigtigste tilstande og energistrømme kan bestemmes. Det drejer sig om husets indendørstemperatur, varmebehov og varmtvandsforbrug samt olieforbruget og solvarmeanlæggets ydelse. Ved hjælp af målingerne bliver det klarlagt, hvorledes vejret påvirker husets varmebehov, og om huset lever op til forventningerne til et lavt energiforbrug.

Energimålingerne er tilgængelige på Internettet, og kan følges på: http://www.energyguard.dk/directlogin.asp?user=dtu&password=sisimiut

Fugttekniske forhold:

På grund af kulden er luften i Grønland meget tør, men paradoksalt nok forekommer der alligevel fugtproblemer i indeklimaet, hvilket kan skyldes stor fugtafgivelse i boligerne kombineret med en minimering af ventilationen, når det er koldt. Det er ønsket at dokumentere, at indeklimaet i lavenergihuset er godt, samt at det ikke giver nogle fugttekniske

problemer i konstruktionerne, at der er brugt så store isoleringstykkelser. Der er derfor monteret en række følere i indeklimaet og konstruktionerne, som følger de termiske og fugtmæssige forhold på disse steder.

Hvordan er det så gået?

Huset har været i drift i mere end to år, så det er nu interessant at undersøge, om det lever op til målsætningerne. Det kan med det samme afsløres, at der har været problemer med at nå ned på de helt lave energiforbrug, der var påtænkt.

I løbet af første driftsår var der et energiforbrug til opvarmning på 140 kWh/m^2. Det har altså været noget over målsætningen. Målsætningen har dog været baseret på en indendørs temperatur på 20°C, men der har reelt været holdt 23°C i huset. Beregningsmæssigt skulle det have ændret målet på 80 kWh/m^2 til 92 kWh/m^2, og kan altså langt fra alene forklare det højere realiserede forbrug. Omvendt er målsætningen på de 80 kWh/m^2 fastlagt ud fra klimadata, hvor udetemperaturen har været noget koldere, end det har været i de første driftsår, hvilket således trækker lidt i den forkerte retning.

En efterfølgende udredning har vist, at en stor mængde varme går op til en eftervarmeflade til ventilationssystemet. Varmefladen er placeret efter ventilationssystemets varmegenvindingsenhed, som står på loftet over teknikrummet. Loftsrummet er koldt, da husets isolering er ført vandret under loftrummet. De kolde forhold ser ud til at have bevirket, at der til trods for det dobbelte varmegenvindingssystem alligevel har været perioder med frostdannelse i varmeveksleren. Problemet er givetvis forværret af de strømsvigt, der af og til optræder i byen, da systemet i den første driftsperiode krævede manuel intervention for at komme ordentligt i gang igen. Det har resulteret i en blokering af den afkastede luft fra huset, og dermed en ringe eller manglende varmeoverføring til den luft, der tages ind udefra. Eftervarmefladen har derfor haft et større energiforbrug end forventet til at varme luften op til en komfortmæssig acceptabel temperatur. Der er nu foretaget tiltag for at undgå sådanne problemer, idet hele varmegenvindingsenheden er blevet indbygget i en varmeisoleret og delvist opvarmet kasse på loftet.

Dette er muligvis ikke hele forklaringen, men efter første driftsår blev der monteret ekstra energimålere og dataloggere i huset med henblik på bedre at kunne spore energistrømmene. Resultater fra andet driftsår er i skrivende stund ved at blive analyseret, men noget kunne tyde på, at problemerne ikke er løst helt, idet eftervarmefladen på loftet stadig har et uforventeligt stort energiforbrug. Forklaringen på dette er muligvis et større varmetab fra ventilationskanalerne end forventet, idet disse er placeret over loftisoleringen. Ligeledes er der et varmetab fra ventilatorerne og selve eftervarmefladen, der ikke er isoleret efter de ekstreme kuldegrader i Grønland. De ekstra varmetab bevirker at varmegenvindingsenheden har svært ved at fungere optimalt. Læren af dette er at et ventilationssystem i kolde klimaer bør installeres i et opvarmet rum og at ventilationskanalerne skal anbringes under loftisoleringen.

Tabel 1. *Isoleringstykkelse og U-værdier for klimaskærmens hovedelementer.*

Konstruktion	Isoleringstykkelse [mm]	U-værdi [W/m^2 K]
Gulv	350	0,14
Væg	300	0,15
Tag/loft	350	0,13
Vinduer	-	1,0 – 1,1

Endelig er der den menneskelige faktor: I huset har boet en familie med mange børn, der har rendt ind og ud. Det skal også nævnes, at når solen står på, eller det indendørs varmetilskud har været stort på grund af personer og aktiviteter i stuerne, så kan der blive ganske varmt i huset. Det kan have bevirket at man simpelthen har åbnet for havedøren for at regulere temperaturen ned, og har formentlig ført til en utilsigtet afkøling af gulvvarmesystemet. Gulvvarme karakteriseres jo ved en vis træghed, så selv om det er varmt i rummet, kan det komme til at koste varme at afkøle gulvet midlertidigt.

Sammenholdes varmeforbruget på 140 kWh/m^2 med kravene i det nye grønlandske bygningsreglement på 230 kWh/m^2 tegner der sig stadig billedet af et hus med et forbilledligt lavt energiforbrug. Med til historien hører dog også, at huset har et relativt højt samlet el-forbrug på 9300 kWh. En nøjere analyse skal afdække, hvor meget af dette, der kan tilskrives de tekniske systemer i huset.

Solfangerne har derimod leveret et varmetilskud det første år på 1700 kWh, hvilket pænt modsvarer forventningerne. Dette dækker en meget fin andel af husets varmtvandsforbrug, som har været på 2700 kWh. Det er derimod ikke lykkedes at registrere noget bidrag fra solvarmeanlægget til rumopvarmningen. Den fine logning af data fra solvarmeanlægget har også peget på andre behov for mindre justeringer af anlægget, så dets ydelse kan blive yderligere optimeret.

Fugt- og indeklimamålingerne i huset ser også fine ud. Som nævnt er det et behageligt varmt hus, og den indendørs luft har en efter de grønlandske forhold passende luftfugtighed. Der er ikke konstateret fugtproblemer i konstruktionerne, bortset fra vinduerne, hvor en utæt tætningsliste i de koblede ruder har forårsaget dugdannelse på indersiden af den yderste forseglede rude.

Afrunding

Afslutningsvist skal nævnes, at der har været en meget stor bevågenhed omkring dette hus. Det har været et spektakulært projekt at få gennemført og interessen for huset har været stor. Det gælder lokalt, hvor mange af byens byggefolk har haft med sagen at gøre, og byens Bygge- og Anlægsskole, der ligger tæt på lavenergihuset har haft et godt studieobjekt. Interessen er også stor internationalt, idet mange forskere har hørt om huset, og nogle har haft mulighed for at besøge det.

Med to nye bevillinger på hver 20 millioner kr. fra Villum Kann Rasmussen Fonden og fra A.P. Møller og hustru Chastine Mc-Kinney Møllers fond til almene Formål er der nu ved at blive opført et nyt kollegium i Sisimiut. Det nye kollegium vil i vid udstrækning blive bygget på basis af erfaringerne fra lavenergihuset, idet det har været ønsket at også dette byggeri skal fremstå iøjnefaldende og med ny energibesparende teknologi indarbejdet.

Referencer

Rode, C.; A. Iversen; A. Pedersen and A. Villumsen (editors). Proceedings of the Symposium on Energy-Efficient Building, Sisimiut, Greenland. Report R-115. Centre for Arctic Technology, Dept. of Civil Engineering, Technical University of Denmark. April 12-14, 2005. http://www.byg.dtu.dk/upload/institutter/byg/publications/rapporter/byg-r115.pdf

Rode, C., E. Borchersen, J. Fan, S. Furbo & J. Kragh, Lavenergihuset i Sisimiut. Årsrapport for lavenergihusets ydeevne. Juli 2005 til juni 2006. BYG•DTU, Report SR 06-12, 2006. http://www.byg.dtu.dk/upload/institutter/byg/publications/rapporter/byg-sr0612.pdf

Carsten Rode, lektor, civ.ing. Ph.D. BYG•DTU, Brovej, Bygning 118, DTU, 2800 Kgs. Lyngby. E-mail: car@byg.dtu.dk

Egil Borchersen, lektor, civ.ing. BYG•DTU, Brovej, Bygning 118, DTU, 2800 Kgs. Lyngby. E-mail: eb@byg.dtu.dk

Jesper Kragh, forskningsassistent, civ.ing. BYG•DTU, Brovej, Bygning 118, DTU, 2800 Kgs. Lyngby. E-mail: jek@byg.dtu.dk

Jørn A. Thomsen, bygningsingeniør, RAMBØLL Sisimiut, Postboks 426, 3911 Sisimiut. E-mail: jath@ramboll.gl