

Status for integrerede lavenergiløsninger til nye bygninger

1.1 Hele bygningen

De nye energibestemmelser i form af tillæg til Bygningsreglementet 1995, der blev indført 1. januar 2006, udgør et paradigmeskifte med hensyn til beregning og eftervisning af bygningers energimæssige ydeevne.

De gamle bestemmelser stillede simple krav til bygningsdeles isoleringsevne (eller alternativt kunne man overholde en energiramme for nettovarmebehovet til rumopvarmning). Med de nye bestemmelser er der kommet fokus på den samlede energimængde, som der er behov for at tilføre en bygning for at opfylde de aktuelle krav til opvarmning, ventilation og indeklima.

For nye bygninger skal det dokumenteres, at bygningens energibehov ligger inden for en energiramme, som omfatter det samlede behov for tilført energi til rumopvarmning, varmt brugsvand, ventilation, køling, samt belysning i bygninger, der ikke anvendes til beboelse. Der er stor frihed til individuel design af bygninger og til at benytte optimale løsninger i de konkrete tilfælde til at opfylde energirammen.

Med de nye energibestemmelser er der tale om både en ny beregningsmetode og skærpede energikrav (25-30 %). De nye energibestemmelser er generelt mere omfattende og beregningstunge end de gamle regler og er derfor en stor udfordring, men også mulighed, for byggebranchen. Et væsentligt nyt tiltag er at der for første gang er defineret krav til lavenergibygninger, hvilket er vigtigt som stimulering til udviklingen af lavenergiløsninger.

Bygningers energibehov afhænger af samspillet mellem bygningers overordnede bestanddele: Indeklima, udeklima, brugere, konstruktioner og systemer til opvarmning, ventilation og køling. Denne afhængighed bliver større i lavenergibygninger, så en udvikling af bygninger til lavenerginiveau kræver derfor brug af integrerede lavenergiløsninger. Bygningers energibehov afhænger bl.a. af:

- Bygningsform og orientering
- Isolering af klimaskærm og installationer
- Lufttæthed af klimaskærm
- Transparente arealer og deres varmetekniske egenskaber
- Bygningens varmeakkumulerende egenskaber
- Interne og eksterne skyggeforhold
- Interne varmekilder
- Varme- og ventilationssystemers udformning og effektivitet
- Egenproduktion af energi baseret på vedvarende energikilder som f.eks. solenergi

Disse faktorer kan kombineres i forhold til bygningens funktioner og inden for den energiramme der gælder for bygningen. Der er dog stadigvæk krav til bygningsdeles mindste varmeisolering, den isolerede klimaskærms samlede dimensionerende transmissionstab, lufttæthed og effektivitet af varme- og ventilationsanlæg, som skal være opfyldt. Kravet til det dimensionerende transmissionstab skyldes hensynet til fremtidssikring i forhold til den lange levetid for den isolerede klimaskærm i modsætning til installationer og vinduer og døre.

Det er muligt at opføre byggeri som har et væsentligt lavere energiforbrug end kravet i energirammen. Det er muligt at skabe god arkitektur med øget komfort og samtidig opnå store energibesparelser. Det forudsætter dog at arkitekter tidligt i designprocessen tager højde for de bygningsformrelaterede dispositioner, der har konsekvenser for energiforbruget. SBI har udgivet to publikationer ”Arkitektur og Energi” og ”Bolig – Miljø – Kvalitet”, som behandler forholdet mellem energi- og miljørigtigt byggeri og arkitektur.

Bygninger kan opdeles i en række bygningstyper, som lovgivningsmæssigt og herunder energimæssigt indtil 2007 har været dækket af to bygningsreglementer: Bygningsreglement 1995 og Bygningsreglement for småhuse fra 1998. Bygningsreglement 1995 har omfattet etageboliger og alle former for erhvervs- og institutionsbyggeri, mens småhusreglementet har været gældende for småhuse som parcelhuse, rækkehuse, dobbelthuse osv. Det forventes at et nyt bygningsreglement i 2007 vil erstatte disse to reglementer og de mange tillæg til de to reglementer. Der vil hovedsagelig være tale om en sammenskrivning, men også om små ændringer, forenklinger og præciseringer.

I de nye energibestemmelser i det nye bygningsreglement benyttes en bestemt terminologi og opdeling. ”Hele bygningen” opdeles svarende til bygningsreglementet i to hovedkategorier af bygningstyper: ”Boliger, kollegier, hoteller m.m.” og ”Kontorer, skoler, institutioner og andre bygninger”, som behandles separat under følgende overskrifterne: Lavenergiboliger og Lavenergikontorer, -skoler og -institutioner:

1.1.1 Lavenergiboliger

1.1.1.1 Beskrivelse af delområde

Lavenergiboliger omfatter enfamiliehuse, som f.eks. parcelhuse, dobbelthuse og rækkehuse, samt flerfamiliehuse (etageboliger) og kollegier, hoteller m.m. Flerfamiliehuse er pr. definition boligenheder, der er adskilt af både lodrette og vandrette boligskel.



Enfamiliehuse er typisk længehuse i ét plan eller opføres som 1½ plans huse. Traditionelt opføres enfamiliehuse med tagudhæng, hvilket er en godt passivt tiltag til at undgå uønsket solindfald om sommeren og til beskyttelse af facaden, men i de senere år er det blevet mere almindeligt med et minimalistisk udtryk uden et lavtsiddende tagudhæng, med vinduer helt ud i facaden og større vinduespartier eller glasarealer mod syd. Enfamiliehuse i form af parcelhuse er kendetegnet ved et stort klimaskærmsareal i forhold til boligarealet, mens rækkehuse som udgangspunkt er mere kompakte, da de er sammenbyggede og ofte i 1½ eller 2 plan, og har et betydeligt mindre transmissionsareal, så de er nemmere at udføre som lavenergihuse.



Enfamiliehuse opføres typisk baseret på standardiserede byggesystemer og arbejdsprocesser. De mest almindelige er:

1) *Skalmurede porebetonelementer*, som anvendes i maksimalt i to etager. Systemet består af bagvægge og indvendige skillevægge af rumhøje og 50-60 cm brede porebetonelementer med en densitet på 650 kg/m³. Bagvægselementerne er udstyret med indstøbte bindere, der anvendes til forankring af en skalmur, og der benyttes af statiske og byggetekniske årsager falselementer under og omkring vinduer og døre, så en standard vindueskarm kan dække over kuldebroisoleringen i falsen. Lufttætheden afhænger særligt af udførelsen af dampspærren i

loftkonstruktionen og samlinger ved ydervæg, fundament og omkring vinduer og døre, hvilket generelt også gælder for de øvrige byggesystemer.

2) *Skalmurede helvægselementer i letklinkerbeton*, som er baseret på rumstore og etagehøje elementer af letklinkerbeton, der kan leveres i forskellige densiteter på typisk 1200 – 1900 kg/m³ afhængig af den nødvendige styrke, der i typiske enfamiliehuse svarer til den mindste densitet. Systemet har mange af de samme egenskaber som skalmurede porebetonelementer. På grund af den større densitet/styrke, er der ikke umiddelbart behov for falselementer omkring vinduer og døre.

3) *Fuldmuret*, som er huse med yder- og skillevægge i mursten inklusiv bagmur i ydervæg, der typisk opbygges traditionelt på byggepladsen. Det er muligt at få leveret råhuset i form af præfabrikerede teglvægge. Der vil ofte være behov for skillevæggsfundamenter. Omkring vinduer og døre anvendes typisk ommuringer, som ved traditionel opmuring på byggepladsen både har en statisk funktion og som skal lukke af for isoleringen, så et almindeligt vindue kan dække over kuldebroisoleringen.

4) *Massiv ydervægge*, er et byggesystem baseret på opmuring af vægtykke blokke af porøs teglsten eller porebeton. Der er altså tale om ydervægge uden traditionel isolering, idet den homogene porebeton/tegl udgør både det bærende og isolerende lag. Derfor er den termiske isolans pr. meter vægtykkelse også lidt dårligere sammenlignet med traditionelle isolerede ydervægge.

5) *Træ- og stålskeletelementer med let regnskærm eller skalmur*, som er let byggeri, der er kendetegnet ved kort opførelsestid og god mulighed for etablering af en effektiv isolering. Elementerne består af skeletkonstruktioner med pladebeklædning. Det bærende skelet kan være baseret på enten massive, pladforbudne eller delte træ- eller stålprofilstolper, hvor de massive stålprofiler oftest er slidsede for at minimere kuldebroeffekten.

6) *Massivtræelementer*, som er et system som anvendes til dæk, vægge og tagdæk. Elementerne har typisk en tykkelse på 70 – 120 mm. Isolering og beklædning etableres udvendigt ved fastgørelse direkte til elementerne. Massivtræelementer kan optage og afgive fugt og virker således som fugtbuffer, der forhindrer store udsving i indeluftens fugtighed. Massivtræelementer er mindre egnede i rum med stor fugtbelastning, da den store fugtbelastning kan medføre nedbrydning af træet. Massivtræ byggeri har den fordel at det er muligt at anvende elementernes træoverflader direkte mod husets rum.

Flerfamiliehuse opføres normalt af elementer i beton- eller letklinkerbeton, men de opføres i betonsandwichelementer. Det er relativt kompakte bygninger, typisk inklusiv kælder, som traditionel benyttes til føring af rør til varme og varmt brugsvand mv. Nye etageboligejendomme har typisk et centralt ventilationsanlæg udført som et simpelt udsugningsanlæg.

1.1.1.2 Screening (udviklings- og forskningsmuligheder)

SWOT-analyse af lavenergiboliger

Enfamiliehuse:

Styrker: Markedet vil primært have traditionelle, billige huse frem for ”specielle” dyrere huse med f.eks. spring i facader og loft til kip, hvilket indebærer et relativt kompakt og dermed energirigtigt hus design. Husene opføres i vid udstrækning af typehusproducenter, som typisk har både ingeniører og arkitekter under samme tag, hvorved der er gode forudsætninger for design af integrerede lavenergiløsninger. Der er desuden et alsidigt tilbud af byggesystemer på markedet og dermed god konkurrence og dynamik i markedet. Tung gulvvarme med

varmelagrings- og mulige selvregulerende egenskaber er en udbredt løsning i nye enfamiliehuse, hvilket er en fordel i relation til forsyning med energirigtig lavtemperatur varme baseret bl.a. på vedvarende energikilder. En relativ udbredt anvendelse af varmtvandsbeholdere (og dermed et mindre samlet effektbehov end ved brug af varmeveksler) er en styrke set i relation til udvikling og udbredelse af lavenergi fjernvarme til bebyggelser af enfamiliehuse.

Svagheder: Design af lavenergi-enfamiliehuse forudsætter fornuftige beregningsværktøjer til totaløkonomisk optimering og anvendelige metoder til den nødvendige integrerede designproces, hvilket der er udstrakt mangel på. Det er desuden et problem at der ikke er tradition for integration af vedvarende energi og ventilation med varmegenvinding, som er oplagte løsninger til lavenergi-huse. I forhold til idealet bygges der forholdsvis ukompakte huse i form af typisk længhuse i ét plan, der således har større varmetransmissionstab end mere kompakte huse med samme boligareal. Ydermere halter isoleringsniveauet i ydervægge efter niveauet i den øvrige isolerede klimaskærm, hvilket delvist skyldes at det er mere besværligt at øge isoleringstykkelsen. Diverse undersøgelser viser at der er problemer med varmeanlægs og særligt gulvvarmeanlægs energirigtige udførelse og regulering, samt at der mangler gode rutiner og procedure vedr. bygningsinstallationers idriftsættelse og drift.

Muligheder: Mere kompakthed i design af fritliggende parcelhuse, som man ser det ved rækkehuse, der dog som udgangspunkt har den fordel at de sammenbyggede og dermed har mindre transmissionsareal. Udnyttelse af fordele ved fælles blokvarmeforsyning og centrale ventilationsløsninger med varmegenvinding ved tæt-lav boligbebyggelser. Større grad af industrialisering (præfabrikation) med styr på lufttæthed og effektive ubrudte isoleringslag uden kuldebroer.

Trusler: Udviklingen af lavenergi-enfamiliehuse er hæmmet af en manglende tradition for integrerede design processer og totaløkonomiske metoder. Desuden er det problematisk at der generelt ikke findes danske vinduer med varmetekniske egenskaber, der er velegnet til lavenergi-huse. De nuværende traditionsbundne ventilationsprincipper i form af naturlig ventilation eller mekanisk udsugning og varmepumpe, er begge omtrent energimæssigt sammenlignelige og uforenelige med lavenergi-byggeri. Det er ligeledes problematisk at huses beskatningsmæssige areal beregnes ud fra udvendige mål. Desuden vanskeliggøres udvikling af reelle lavenergi-huse af en u hensigtsmæssig brugeradfærd i form af let påklædning indendørs (høj indetemperatur) og en tendens til stigende kvadratmeterforbrug.

Flerfamiliehuse:

Styrker: Etageboliger er kompakte bygninger, så varmetabet fra klimaskærmen er relativt mindre end for andre boliger. Kompaktheden giver gode muligheder for centrale energieffektive løsninger vedr. opvarmning, varmt brugsvand og ventilation.

Svagheder: I etageboliger er der relativt store varmetab forbundet med cirkulation af varmt vand til opvarmning og varmt brugsvand. Ventilationen udføres som nævnt typisk som centrale udsugningsanlæg uden varmegenvinding, der funktions- og komfortmæssigt afhænger væsentligt af beboernes adfærd mht. betjening af især friskluftventiler (og udsugningsventiler). Der foretages typisk kollektiv energiforbrugsafregning i etageboliger, hvilket er u hensigtsmæssigt. Individuel forbrugsmåling og -afregning vil erfaringsmæssigt resultere i op til ca. 15 % energibesparelse.

Muligheder: Facadeløsningen er vigtig for etageboligers samlede energimæssige egenskaber i kraft af facadearealets betydelige andel af det samlede klimaskærmsareal. Der er store muligheder i form af integrerede klimaskærmsløsninger med lille varmetab og udnyttelse af solenergien, passivt og aktivt. Der er med baggrund i de udbredte problemer med træk fra friskluftventiler og et stort luftskifte (BR-krav på 0,5 gange i timen opfyldt for boligenhed ca. 100 m², og luftskiftet på 1 for en lejlighed på 50 m²), er der oplagte muligheder for at udvikle bedre ventilationsløsninger med behovsstyring og varmegenvinding.

Trusler: Mange boliger er udlejningsboliger, hvor lejerne betaler for energiforbruget. Dette giver ejerne et svagt incitament til at anvende lavenergiløsninger og er således en betydelig barriere for brug af integrerede lavenergiløsninger i etageboliger. En anden lignende barriere er den betydelige interaktion mellem boligenheder i form af forskelle i indetemperatur og klimaskærmsareal (varmetab) samt betjening af ventilationsanlæg.

1.1.1.3 Koblinger (sammenhænge mellem forskningen og byggeerhvervets teknologiske udfordringer)

Der er generelt en god sammenhæng mellem forskningen og de teknologiske udfordringer i byggeerhvervet med hensyn til udvikling af lavenergi-enfamiliehuse, hvor der over de senere år skabt et godt grundlag for realisering af lavenergi-huse med en fornuftig økonomi, idet der sammen med diverse byggevareproducenter mv. er udviklet principper for bedre isolerede klimaskærmskonstruktioner med fokus på ydervægskonstruktioner til fremtidens byggeri og med det overordnede mål at stimulere udviklingen af lavenergi-huse.

Principperne er med succes blevet afprøvet i en række forsøgsbyggerier af enfamiliehuse, der er udviklet og opført i samarbejde med typehusproducenter med henblik på at vise at det var muligt at reducere energibehovet i nye enfamiliehuse og forbedre brugsegenskaberne betydeligt ved brug af en konventionel byggeteknik, for en beskedent merudgift og med en fornuftig totaløkonomi. Samlet set er der skabt et godt grundlag for videreudvikling af lavenergi-huse og skærpede energikrav.

Udfordringen med enfamiliehuse er ikke lavenergiklasse 2, men at udvikle løsninger til lavenergiklasse 1 eller bedre, der kan udføres for en rimelig merpris i forhold til standardbyggeri. BYG.DTU udfører sammen med et typehusfirma og en række byggevareproducenter et projekt om udvikling af et typehus i lavenergiklasse 1 inklusiv demonstration i 1:1 samt detaljerede målinger og analyser af energiforbrug og indeklima. Huset opføres i lette konstruktioner, men det ville også være relevant at se på løsninger med tunge konstruktioner, hvor tætheds- og overtemperaturproblematik umiddelbart nemmere kan løses.

Det er svært at realisere lavenergiboliger i klasse 1 eller bedre i form af f.eks. svarende til forventet ny "passivhus" klasse i bygningsreglementet (se bilag) uden ventilation med effektiv varmegenvinding. Teknologien er blevet behandlet indgående gennem flere bredt funderede projekter og i der arbejdes intensivt på udvikling og markedsføring af en standardløsning for energieffektive mekaniske ventilationsanlæg med varmegenvinding til enfamiliehuse og bidrage til løsninger til etageboliger.

For flerfamiliehusenes vedkommende har undersøgelser påvist et behov for forskning og udvikling i mere energieffektive løsninger til produktion og fordeling af varmt brugsvand. Dette behov dækkes i vid udstrækning af et nuværende større projekt, der har som formål, på

baggrund af analyser af eksisterende forhold, at foreslå mere energieffektive løsninger, der reducerer varmetabene med op til 40 % - et projekt der forventes afsluttet ultimo 2007.

1.1.1.4 Behov og muligheder (byggeerhvervets behov og muligheder for forskning, teknologiudvikling og uddannelse)

Byggeerhvervets identificerede behov og muligheder for forskning, udvikling og uddannelse er i ikke-prioriteret rækkefølge følgende:

- Metoder og koncepter til integreret design af lavenergihuse med optimal totaløkonomi, da de nye energibestemmelser kalder på et tættere tværfaglige samarbejder om energimæssige helhedsløsninger.
- 3D-skitseringsværktøjer til den tidligere designfase, der nemt kan vise de energimæssige konsekvenser af alternative valg af bygningsorientering, bygningsform og -kompakthed, vinduesvalg osv.
- Metoder til optimalt valg og prioritering af de mest omkostningseffektive energibesparende løsninger, der samtidigt opfylder alle funktionskrav, hvor det økonomiske sammenligningsgrundlag passende kan være energispareprisen (baseret på totaløkonomi), der direkte kan sammenlignes med energiprisen for at forsyne med energi.
- Generelle undersøgelser af relevante aspekter omkring kompakte design i relation til lavenergidesign af boliger, herunder betydningen af bygningsbredde og spring i facader i sammenholdt med arkitektonisk kvalitet, dagslysforhold mv.
- Undersøgelse af indeklima og dagslysforhold i lavenergiboliger klasse 1 eller bedre med lille varmetab og stor isolerings- og vægtykkelse og dermed med forøget risiko for overtemperaturer og dagslysproblemer.
- Undersøge af den optimale anvendelse af passive tiltag, som f.eks. et tagudhæng, og supplerende aktive, billige og driftssikre solafskærmningsløsninger til lavenergiboliger.
- Integration af vedvarende energiforsyningsanlæg i form af både varme og el, herunder solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning og kombineret rum- og brugsvandsopvarmning.
- Energirigtig integrering af disponering af installationer i form af en mere helhedsorienteret projektering vedr. placering og føring af bygningsinstallationer.
- Værdidebat – hvad er det gode lavenergihus ? Der er behov for debat om og formidling af eksempler på det gode lavenergihus, så byggebranchen og andre kan inspireres til at bygge energirigtigt.
- Bedre rutiner og procedure til verifikation og optimering af bygningsinstallationernes funktion i forbindelse med idriftsættelse (såkaldt Commissioning eller samordnet idriftsættelse), og efterfølgende drift.
- “Diagram”-energiforbrug – følsomhedskurver/-beregninger i energimærkningen af nye huse – idet energiforbruget i lavenergihuse afhænger betydeligt af parametre som

indetemperatur, internt varmetilskud mv., hvilket bør formidles til husejeren af hensyn til lavenergi-huses image og yderligere energibesparelser ved ansporing til energirigtig adfærd.

- Adfærd som projekteringsparameter, dvs. større hensyntagen til beboernes adfærd og de energimæssige konsekvenser.
- Markedsføring af energimæssigt bedre enfamiliehuse, hvor der formentlig kan skabes et stort marked, hvis en mere udbudsorienteret byggebranche retter fokus på udvikling af lavenergi-koncepter og udbud af lavenergi-huse sammenholdt med en målrettet markedsføring og rådgivning om de økonomiske aspekter, og hvor energiproblemerne i form af knappe ressourcer af fossile energikilder og dermed stigende oliepriser er betydningsfulde gratis referencer i markedsføringen. Herudover er det bæredygtigt og et bidrag til at mindske den globale opvarmning og klimaforandringer.
- Energikvalitetskontrol - måling af energisignatur mv. – da energiforbruget i lavenergi-huse er følsomt over for den energimæssige kvalitet i de udførte lavenergiløsninger, hvor erfaringerne viser at der kan være stor forskel på beregnet og målt energiforbrug. For at styrke forbrugerinteressen og -tilliden til lavenergi-huse, bør det overvejes at udforme en energikvalitetsordning, hvori der kan indgå måling af energisignatur under kontrollerede forhold, der er en grafisk repræsentation af varmeforbrug pr. døgn som funktion af døgnmiddel udetemperaturen, som kan bruges til en kontrol af energimærket. Desuden kan der indgå en trykprøvning til kontrol af lufttæthed og termografering til identificering af isoleringsfejl mv.
- Salg af nye enfamiliehuse som et totalprodukt eller pakkeløsning baseret på en række underleverancer af integrerede produkter, der leveres med udgangspunkt i fælles standarder, hvor servicering af varme- og ventilationsanlæg, vedligeholdelses- og renoveringsplaner, finansiering mv. er inkluderet og kunden således kun skal henvende sig til andre leverandører.
- Begrænsning af kvadratmeterforbruget til boliger ved udnyttelse af kreativ disponering og udformning af boliger, der vil give økonomisk råderum til f.eks. yderligere energibesparelser.
- Integrering af bolig og kontor i form af integrerede kontorfaciliteter til husejeren eller flere i form af en ”social hjemmearbejdsplads” er en mulighed, som kan blive attraktivt i fremtiden, og som har lavenergi-aspekter i relation til kvadratmeterforbrug, transportforbrug mv.
- Helhedsløsninger til flerfamiliehuse, hvor der er taget hensyn til at den energimæssige påvirkning af de enkelte boligenheder væsentlig grad afhænger af lejlighedsstørrelse, beboerantal, placering og adfærd
- Energimæssigt bedre facadeløsninger til flerfamiliehuse med fokus på dagslysindfald, da bedre isolering af ydervæg og vinduer nemt kan give problemer med dagslysindfaldet.
- Decentrale ventilationsløsninger med varmegenvinding eller bedre styring og løsninger, da centrale ventilationsløsninger kan være problematiske pga. beboernes individuelle behov, præferencer og støjfølsomhed.

1.1.1.5 Fokusområder (forskning og udvikling hos vidensinstitutioner)

1.1.2 Lavenergikontorer, -skoler og -institutioner

1.1.2.1 Beskrivelse af delområde

Delområdet omfatter bygningstyper, der anvendes til kontorer, skoler og institutioner og andre formål som f.eks. industri, landbrug, sygehuse, haller, biblioteker, museer, teatre o.l. For sidstnævnte gruppe af bygninger behandles i det følgende kun industribygninger. Delområdets bygninger er i mindre grad end boliger domineret af et stort opvarmningsbehov, da gratisvarmen i f.eks. kontorbygninger opført som standard byggeri i mange tilfælde kan dække varmebehovet i store dele af fyringssæsonen. Til gengæld er der betydelige energiforbrug forbundet med elektrisk belysning, ventilation, køling og distribution af varme og varmt brugsvand. Dette skyldes bl.a. at luftskiftet er betydeligt større end i boliger, som følge af personbelastning, relativt skræppe komfortkrav, forureningskilder og termiske belastninger. Der er i kontorbygninger ofte behov for køling på trods af effektive solafskærmningsløsninger.

Ovennævnte hovedgrupper af bygninger beskrives kort i det følgende:

Kontorer

Kontorbyggeri er relativt kompliceret byggeri. Af rationelle grunde opføres det typisk som etagebyggeri. Der anvendes i stor udstrækning betonelementer, betonsandwich-elementer og glasfacader. Der kræves ikke mekanisk ventilation af nyt kontorbyggeri, så der anvendes både naturlige, mekaniske og hybride ventilationsløsninger. Indeklima og energiforbrug i kontorbyggeri afhænger meget af de termiske belastninger og valg og dimensionering af samt styring af ventilationssystemet. Der er større krav til temperaturniveauer i kontorbygninger end i andre bygninger på grund af mindre fleksibilitet med hensyn til påklædning. Den udbredte anvendelse af glasfacader med smalle ramme/karmkonstruktioner kræver typisk anvendelse af en passiv og/eller aktiv solafskærmning i facaderne. Kontorbyggeri projekteres som oftest af større tværfaglige designteams.



Skoler

Skolebyggeri er i særdeleshed ikke standardbyggeri og opføres typisk i få etager. Der er ofte stor fokus på indeklimaet og især ventilation, da det har positiv betydning for motivation, koncentration og indlæringssevne. De betydelige personbelastninger af undervisningslokaler stiller store krav til ventilationen. Bygningsreglementets krav er som udgangspunkt at der skal benyttes et mekanisk ventilationsanlæg med både indblæsning og udsugning. Kravet kan dog fraviges under forudsætning af, at der kan opretholdes et sundhedsmæssigt tilfredsstillende indeklima.

Institutioner

Institutioner opføres af praktiske grunde i typisk én etage. Opholdsrum i institutioner skal ifølge bygningsreglementet ventileres med et mekanisk ventilationsanlæg med både udsugning og indblæsning, da der ved revisionen af bygningsreglementet i 1995 ikke fandtes videnskabelige undersøgelser, der viste, at anvendelse af naturlig ventilation i institutioner kunne give sundhedsmæssigt tilfredsstillende forhold. Det dispenseres dog i nogen grad for dette krav, især hvis der anvendes hybrid ventilation.

Andre bygninger

I kategorien andre bygninger er det især industribygninger, der er relevante energimæssigt. De øvrige bygningstyper opføres i lille antal og er derfor mindre interessant i relation til udvikling af lavenergiløsninger. Industribygninger er helt eller delvist opvarmet og indeholder typisk en lager- og/eller produktionshal samt arealer til administration. Større industribygninger opføres overvejende som systemløsninger (typehuse for industrien) baseret på et bjælke-søjle-system med udfyldningselementer, hvorved store dele af facader og gavle kan udformes frit, da disse ikke indgår i det bærende og afstivende system. Industribygninger kan også være såkaldte skivehaller, hvor facader og gavle er bærende bygningshøje sandwichelementer. Industribygninger bruges til forskellige formål, og i ca. 80 % af tilfældene er der tale om en opvarmet lagerhal (mere end 15 °C), hvor en god varmeisolering er påkrævet.

1.1.2.2 Screening (udviklings- og forskningsmuligheder)

SWOT-analyse af kontorer

Styrker: Kontorbygninger har relativ stor kompakthed samt kontrolleret, balanceret ventilation med varmegenvinding som standard.

Svagheder: Den integrerede designproces prioriteres ikke altid af alle parter. Dagslys er typisk dimensioneringsgivende med hensyn til bygningsform. Erfaringer fra et højisoleret kontorbyggeri med glasfacader har påpeget nogle svagheder, som har resulteret i en række projekteringsråd: fokus på optimering af bygningsorientering, detaljerede analyser af vindues- og glasfacadearealer, brug af detaljerede varmetabsberegninger af kuldebroer (især transparente arealer og fundamenter), nøje vurderinger af komforttemperatur samt fokus på god udnyttelse af gratisvarmen.

Muligheder: Der er gode muligheder for at udvikle klimaskærmskonstruktioner med færre/reducerede kuldebroer. Det er også muligheder for at udvikle løsninger til sikring af tilstrækkeligt dagslys med mindre transparente arealer og tykkere facader, men det er en stor udfordring. Desuden er der forskningsmuligheder vedrørende ventilationsformer baseret på kontrolleret naturlig ventilation eller hybrid-ventilation med varmegenvinding samt metoder til minimering af kølebehov ved passive tiltag.

Trusler: Konstruktioner med kuldebroer, er en barriere i relation til udvikling af lavenergi-kontorbygninger. Desuden er den udbredte anvendelse af traditionelle store glasfacader (som ofte vælges af hensyn til image og signalværdi) problematiske pga. et stort kølebehov om dagen og ditto varmetab om natten.

SWOT-analyse af skoler og institutioner

Styrker: Erfaringer fra praktiske lavenergi-byggerier af skoler og institutioner viser at man ikke behøver at gå på kompromis mht. det vigtige indeklima.

Svagheder: Høje krav til indeklimaet, der resulterer i luftmængder svarende til et luftskifte på ca. 3 gange i timen eller 6 gange mere end i boliger. Der er generelt problemer med dårlig styring af ventilationsanlæg, hvilket resulterer i unødigt stort elforbrug. Elforbruget til

belysning er typisk betydeligt, hvilket bl.a. er problematisk i relation til energirammen, hvor elforbrug til fastmonteret belysning indgår med en faktor 2,5.

Muligheder: Integrerede design løsninger, hvor varme- og ventilationsanlæg er en integreret del af bygningen. Bedre regulering og drift af varme-, ventilations og belysningsanlæg. Skoler og institutioner opføres af kommunerne, og med nye kommende storkommuner vil der alt andet lige være flere ressourcer til at sætte fokus på energiforbruget.

Trusler: Brugeradfærd i relation til varme-, ventilations- og belysningsanlæg; justering af termostater, åbning af vinduer, manuelt regulerede belysningsanlæg mv.

SWOT-analyse af industribygninger

Styrker: Standardelementer, gennemprøvede samlinger, fleksibelt byggeri, kort byggetid og optimal økonomi. Bygninger med bjælke-søjle-system har typisk omkring 80 % af facadearealet afsat til det ikke-bærende element, hvilket giver gode mulighed for alternative og energibesparende løsninger.

Svagheder: Et stort rumvolumen betyder relativt store transmissions- og ventilationstab. Generelt er kuldebroer i form af afstivende og afsluttende ribber i elementernes periferi et problem (typisk anvendes der kun op til 50 mm kuldebroisolering). Tilslutninger omkring vinduer, døre, ovenlys og porte samt fundamenter er andre væsentlige kuldebroer. Bjælke-søjle-systemet giver dog typisk anledning til større problemer med kuldebroer end f.eks. skivehaller.

Muligheder: Generelt at udvikle et energirigtigt system af løsninger til industri byggeri. Elementer og bygningsdele med bedre varmetekniske egenskaber. Anvendelse af termoaktive huldæk elementer i gulv/loft og etageadskillelser til køling og opvarmning, hvilket er oplagt pga. store arealer med synlig beton og ideelt for anvendelse af alternative energikilder.

Trusler: Produktions-, og montagemæssige forhold spiller væsentligt ind i forbindelse med udvikling system-elementløsninger med større isoleringstykkelse, termoaktive egenskaber mv. Prisen for de energimæssige forbedringer kan vise sig at være for høj. De lyd-mæssige krav kan begrænse udbredelsen af de lovende og perspektivrige termoaktive løsninger.

1.1.2.3 Koblinger (sammenhænge mellem forskningen og byggeerhvervets teknologiske udfordringer)

Der er en fornuftig sammenhæng mellem forskningen og de teknologiske udfordringer for byggeerhvervet. En af udfordringer i forbindelse med opførelse af lavenergi kontorbygninger er at minimere kølebehovet ved passive tiltag. Dette aspekt behandles i et projekt om eleffektiv, passiv klimatisering af fremtidens kontorbygninger. Internationalt (IEA) har der været arbejdet med bygningsinstallationers optimale drift i relation til forbedret energieffektivitet (såkaldt commissioning), hvor der dog ikke har været dansk deltagelse, men projektet adresserer mange af de problemer og udfordringer som byggeerhvervet står over for i forbindelse med drift af erhvervsbyggeri og institutioner. På skoleområdet er der for nyligt gennemført et forskningsprogram om energieffektive skoler, hvor målsætningen har været at anviser metoder til at reducere energiforbruget til belysning og ventilation i skoler med fokus på at skabe et sundt og stimulerende indeklima. Desuden har der været lavet undersøgelser af el – og varmekonsumet i skoler og udarbejdelse af nøgletal med henblik på synliggørelse og

deraf afledte fordele. Disse projekter udgør et godt grundlag for nye projekter til udvikling af lavenergi skolebyggeri.

1.1.2.4 Behov og muligheder (byggeerhvervets behov og muligheder for forskning, teknologiudvikling og uddannelse)

Byggeerhvervets identificerede behov og muligheder for forskning, udvikling og uddannelse er i ikke-prioriteret rækkefølge følgende:

Kontorer:

- Metoder og processer samt videnformidling til byggeriets parter vedrørende en helhedsorienteret designproces, idet kompleksiteten ved lavenergi-kontorbyggeri er betydelig (større end for boliger). Det er vigtigt med en helhedsorienteret ”partering” designproces, hvor arkitekter, bygnings(energi)ingeniører, bygningskonstruktører og udførende entreprenører fordomsfrit og målrettet samarbejder om optimering af bygningsdesignet gennem analyser af indeklime og energiforbrug, som grundlag for et energirigtigt design af bygningen. Det nye behov svarer til at ingeniører og konstruktører indtræder i designprocessen tidligere end normalt, dvs. allerede i starten af processen, når bygningen formgives af arkitekten.
- Simple værktøjer til vurdering af totaløkonomien (anlægs- og driftsudgifter) i alternative løsningsforslag set over en passende tidshorisont til brug i projekteringsfasen.
- Commissioning i form af bedre rutiner og procedure til verifikation og optimering af bygningsinstallationernes funktion i forbindelse med idriftsættelse og efterfølgende.
- Naturlig (eller hybrid) ventilation med varmegenvinding
- Behovsstyring af bygningsinstallationer med mulighed for individuel overstyring af hensyn til brugertilfredshed.
- Avanceret og integreret styring af varmetilskud og køling med simple brugerflader
- Termoaktive konstruktioner til opvarmning og køling, herunder nattekøling om sommeren, som kan hjælpe til med at reducere kølebehovet om dagen, og genopvarmningsbehovet om vinteren, forudsat at den termiske masse aktiveres, hvilket stiller krav til loftbeklædninger, gulvbelægninger etc.
- Bearbejdning af kuldebroer med fokus på konstruktive kuldebroer i relation til bærende konstruktioner.
- En generel trend er øgede krav til mere fleksible kontorbygninger, da det er afgørende, at løbende organisatoriske ændringer, opdateringer mv. kan foretages nemt og uden at forstyrre den øvrige drift. Der er derfor behov for bedre koncepter for fleksible kontorbygninger med fokus på økonomi og energiforbrug, der vil kunne reducere eller helt fjerne behovet for store, fordyrende ombygninger.
- Formidlingsvenlige værktøjer/programmer til integrerede design løsninger, herunder programmer til beregning af dobbeltfacader.

- Undersøgelse af betydning af aktiv intern omfordeling af varme/kulde, da kan være stor forskel på den termiske belastning i kontorbyggeri, således at nogle bygningsafsnit på samme tidspunkt har varmeoverskud (og evt. kølebehov), mens andre har underskud (varmebehov).
- Udvikling af effektive og driftssikre udvendige solafskærmninger, som er en forudsætning for opretholdelse givne indeklimaforhold på en energieffektiv måde i lavenergi kontorbygninger, hvor et aspekt er en større udbredelse af servicerings- og vedligeholdelseskontrakter.
- Muligheder for energibesparelser ved personlig ventilation
- Solafskærmning med integrerede solceller
- Undersøgelser af muligheden for reduktion af ventilationsluftmængden/-behovet ved begrænsning af diverse forureningskilder
- Integration af kontor og bolig (se under lavenergiboliger)

Skoler og institutioner:

- Bedre indeklima med energieffektiv ventilation og tilstrækkelig varmegenvinding uden køling
- Bedre produkter, projektering, drift og vedligehold vedr. ventilationsanlæg
- Dagslys vs. kunstig belysning
- Formidling og brug af eksisterende løsninger (fordele og ulemper)

Industribygninger:

- Er opvarmede industrihaller overset energimæssigt? Der mangler viden om deres varmetekniske ydeevne mm. og potentialet for energibesparelser, der umiddelbart vurderes at være stort, som grundlag for udvikling af lavenergi-industribygninger.
- Energirigtigt system af løsninger til industri byggeri, hvor der er taget højde for en fleksibel anvendelse, samt muligheden for udnyttelse af f.eks. termoaktive konstruktioner, idet der naturligt er mange ikke beklædte tunge konstruktioner.

1.1.2.5 Fokusområder (forskning og udvikling hos vidensinstitutioner)

Bilag: Energikrav til lavenergibygninger i ind- og udland

Lavenergibygninger i Danmark

I det kommende nye bygningsreglement BR 07 vil energibestemmelsernes standard- og lavenergirammer formentlig være udformet som anført nedenfor (jf. Erhvervs- og Boligstyrelsen), hvor A er det opvarmede etageareal, dvs. bruttoarealet:

<i>Boliger, kollegier, hoteller m.m.</i>	
Standard energiramme:	$\left(70 + \frac{2200}{A}\right) kWh / m^2 pr. \text{ \AA}r.$
Lavenergibygning klasse 2:	$\left(50 + \frac{1600}{A}\right) kWh / m^2 pr. \text{ \AA}r.$
Lavenergibygning klasse 1:	$\left(35 + \frac{1100}{A}\right) kWh / m^2 pr. \text{ \AA}r.$
<i>Kontorer, skoler, institutioner og andre bygninger</i>	
Standard energiramme:	$\left(95 + \frac{2200}{A}\right) kWh / m^2 pr. \text{ \AA}r.$
Lavenergibygning klasse 2:	$\left(70 + \frac{1600}{A}\right) kWh / m^2 pr. \text{ \AA}r.$
Lavenergibygning klasse 1:	$\left(50 + \frac{1100}{A}\right) kWh / m^2 pr. \text{ \AA}r.$

Energirammerne omfatter det samlede behov for tilført energi, dog undtaget elforbrug til elektriske apparater. I boliger medregnes heller ikke elforbrug til belysning. Der skal anvendes en faktor 2,5 for el og en faktor 1 hvis energibehovet dækkes af gas, olie eller fjernvarme. Varme eller elproduktion fra vedvarende energikilder, som f.eks. solvarme, kan modregnes i energirammen, idet de indgår med faktor 0. Det vil sige at energiproduktion fra VE fratrækkes energibehov, som bliver mindre, hvorved det bliver nemmere at overholde energiramme. Energirammerne for erhvervsbygninger og institutioner er større end for boliger, hvilket bl.a. skyldes at el til belysning skal indgå i energibehovet til bygningsdriften.

Lavenergiklasserne i BR 07 svarer til henholdsvis ca. 25 % og 50 % mindre energibehov, sammenlignet med bygninger der netop opfylder standard energirammen, og det gælder både boliger og andre bygninger, som derved er reelle pejlemærker for de kommende energibestemmelser i 2010 og 2015. Det er hensigten at indføre en ny lavenergiklasse i bygningsreglementet svarende til passivhus standarden, hvilket er baseret på regeringens byggepolitiske handlingsplan ”Bedre og billigere byggeri” fra maj 2007. Den nye lavenergiklasse vil tage hensyn til energibestemmelserne og EU’s bygningsdirektiv om energimæssig ydeevne (EPBD).

Danmark er i relation til bygningsreglement krav til bygningers energiforbrug blandt de førende lande i Europa og verden, og på et område som energimærkning af bygninger er Danmark forgangslang. På lavenergiområdet er Danmark imidlertid bagefter selvom vi helt tilbage i slutningen af 1970’erne lavede lavenergibygninger (Hjortekær). Men Danmark er i

kraft af den relativt offensive implementering af EPBD sammenlignet med andre lande på vej tilbage i førerfeltet.

Lavenergibygninger som koncept er først for nylig blevet introduceret i Danmark. BOLIG+ er et koncept for energineutrale boliger, som kun har brug for den varme og el, som de selv kan producere. Ideen er at reducere energibehovet, så boligerne set over et år kan producere lige så meget energi, som de forbruger. BOLIG+ er et vigtigt input i udviklingen af lavenergibygninger i Danmark. Konceptet vil over de næste år blive afprøvet i praksis ved opførelse af etageboliger, parcelhuse og tæt-lave boliger og der vil blive arbejdet på generelle konceptløsninger.

Lavenergibygninger i udlandet

De førende lande på lavenergiområdet er Tyskland, Østrig, Schweiz og Sverige. Disse driver udviklingen indenfor primært rammerne af det såkaldte passivhus koncept, der er en tysk opfindelse. Det første passivhus blev bygget for 15 år siden og siden da er der certificeret ca. 6000 bygninger i primært Tyskland og Østrig. Hertil kommer et ukendt antal bygninger, der opfylder passivhus kravene, men som ikke er certificerede. Passivhusene udgør dog fortsat en beskedent andel af nybyggeriet i Tyskland og Østrig (ca. 1-2 %). I det følgende beskrivelse passivhus-konceptet, og der sammenlignes med typiske danske huse.

Passivhuse

Et passivhus er en bygning, der er designet optimalt med henblik på at spare energi. Energiforbruget er så lille, at der ikke er behov for et traditionelt opvarmningssystem. Indeklimaet er typisk bedre end i almindelige bygninger, da der anvendes et mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding, der kontinuerligt sørger for tilstrækkelig og trækfri tilførsel af frisk udeluft.

Økonomisk set er passivhuse typisk totaløkonomiske omkostningsneutrale, idet sparede udgifter til opvarmingsanlæg og energi kompenserer for ekstra udgifter til isolering mv. Konceptet omhandlede i starten primært boliger, men efterhånden er konceptet blevet udbredt til andre typer bygninger, hvor det er ligeså anvendeligt.

Ti udvalgte europæiske forskningsinstitutioner og virksomheder certificerer passivhuse, hvor certificering nu også kan udføres i Danmark. For detaljerede oplysninger på dansk om passivhuse kan der henvises til www.passivhus.dk og www.altopassivhuse.dk.

Definitionen på et passivhus er følgende:

- Maksimalt 15 kWh/m² pr. år til rumopvarmning (nettovarmebehov til rumopvarmning og ventilation)
- Maksimalt 120 kWh/m² pr. år i primærenergiforbrug (herunder varmt brugsvand, konverteringstabet i energiforsyningen og elforbruget til elektriske apparater)

Energiforbruget er angivet pr. m² boligareal, dvs. det indvendige effektive boligareal, hvilket er logisk og normalt i stort set alle andre lande end Danmark, hvor der som bekendt anvendes udvendigt areal. De 15 kWh/m² svarer derfor til ca. 10-12 kWh/m² efter danske beregningsregler.

Beregning af energiforbruget for passive huse foretages via en særlig udviklet bygningsmodel og program (PHPP), der benytter særlige forudsætninger, hvoraf nogle er betydeligt

forskellige fra typiske danske forudsætninger. Der anvendes f.eks. et lavere internt varmetilskud for boliger på kun 2,1 W pr. m² indvendigt boligareal i stedet for 5 W pr. m² udvendigt etageareal, som benyttes for boliger i DK. Desuden anvendes et lavere luftskifte. Det samlede energibehov til bygningsdrift for et passivhus er typisk noget mindre end for et lavenergihus i klasse 1, jf. også ovennævnte planer om at indføre en ny lavenergiklasse i bygningsreglementet.

Ideen med et passivhus er at det beskedne energibehov til rumopvarmning kan leveres ved at eftervarme ventilationsluften før det tilføres de enkelte rum. Under forudsætning af en luftmængde på 30 m³/h pr. person, 30 m² boligareal pr. person og en tilladelig temperaturforøgelse af udeluftens temperatur efter varmeveksleren på højst 30 K, kan beregnes en maksimal varmeeffekt på 10 W/m² boligareal, som er uafhængig af udeklimaet. *Det vil sige at det dimensionerende varmetab højst må være 10 W/m² boligareal eller 1-1,5 kW for typiske enfamiliehuse.* Dette effektbehov kan typisk opnås med følgende tiltag:

- Kompakt bygningsdesign
- Højisolerede klimaskærmskonstruktioner med minimering af kuldebroer
- Højisolerede vinduer med et fornuftigt areal og orientering
- Lufttæt klimaskærmen
- Mekanisk ventilation med effektiv varmegenvinding og ventilatorer

Typisk dansk hus vs. passivhus

Nedenfor er anført varmetabskrav for passivhuse og typiske værdier for et typisk dansk hus opført efter de nye energibestemmelser 2006. De angivne U-værdier for det typiske danske hus er baseret på U-værdi kravene til tilbygninger. U-værdi angivelser i parentes angiver ønskelige værdier.

Egenskab	Passivhus standard	Typisk dansk hus
U-værdi ydervæg	≤0,15 (≤0,10)	0,20
U-værdi tag	≤0,15 (≤0,10)	0,15
U-værdi terrændæk	≤0,15 (≤0,10)	0,15
U-værdi vinduer/døre	≤0,80	1,50
Lufttæthed ved 50 Pa [h ⁻¹]	≤0,6	≤2,8 ¹

¹ Baseret på lufttæthedskrav på 1,5 l/s/m², en rumhøjde på 2,4 m og et netto/brutto arealforhold på 0,8.

Det fremgår af ovenstående at passivhus standarden især er bedre end standarden for et typisk nyt dansk hus med hensyn til isolering af ydervægge og vinduer samt lufttæthed.

I passivhuse er der stor fokus på vinduernes varmetab, men det afgørende er det resulterende energitilskud til huset. Vinduer med smalle og velisolerede ramme/karmkonstruktioner og 2-lags energirude, kan således have et mindst lige så godt energitilskud som et typisk passivhus vindue, hvilket der bør fokuseres på ved udvikling af bedre danske vinduer.

Ser på lufttæthedskravet tillader de danske energibestemmelser et luftskifte, der for et typisk parcelhus er over en faktor 4 større end for passivhuse. Dette er bemærkelsesværdigt, da en god lufttæthed er en forudsætning for en effektiv varmegenvinding på ventilationsluften, et godt indeklima og sunde konstruktioner; en lufttæthed som efter opførelsen kun kan reduceres væsentligt med store omkostninger til følge.