



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Aalborg Universitet

Tæthed i eksisterende bygninger

Analyse af målte værdier

Bergsøe, Niels Christian

Publication date:
2015

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Bergsøe, N. C. (2015). *Tæthed i eksisterende bygninger: Analyse af målte værdier*. SBI forlag. SBI Bind 2015:25

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

TÆTHED I EKSISTERENDE BYGNINGER

ANALYSE AF MÅLTE VÆRDIER

SBI 2015:25



Tæthed i eksisterende bygninger

Analyse af målte værdier

Niels Christian Bergsøe

Titel	Tæthed i eksisterende bygninger
Undertitel	Analyse af målte værdier
Serietitel	SBI2015:25
Udgave	1. udgave
Udgivelsesår	2015
Forfatter	Niels C. Bergsøe
Fagfælle- bedømmer	Åke Blomsterberg
Sidetæl	22
Litteratur- henvisninger	Side 19
Emneord	Blower door-metode, tæthedsprøvning, tæthed, utæthed, energiforbrug, energibesparelser, energirenovering
ISBN	978-87-563-1740-5
Omslag	Niels Christian Bergsøe
Foto	Videncenter for energibesparelser i bygninger (Figur 7), EU-projektet TABULA (Figur 8 og 9), Morten Kjærgaard (Figur 11)
Illustrationer	SBI-anvisning 102 (Figur 1), Jesper Warming (Figur 10)
Udgiver	Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet, A.C. Meyers Vænge 15, 2450 København SV E-post sbi@sbi.aau.dk www.sbi.dk

Der gøres opmærksom på, at denne publikation er omfattet af ophavsretsloven.



FAGFÆLLE-
BEDØMT

Indholdsfortegnelse

Forord	4
Indledning	5
Analysens udgangspunkt og formål, jf. opgavebeskrivelsen	5
Bygningsreglementets krav til klimaskærmens tæthed	5
Bestemmelse af klimaskærmens tæthed	5
Eksempel	7
Målte værdier fra tæthedsprøvninger i eksisterende bygninger	8
Bygningstypologier	11
Videncenter for energibesparelser i bygninger	12
EU-projektet TABULA	12
Arkitektoniske epoker	13
Danskernes huse, Energi-Spareudvalget	15
Diskussion og konklusion	16
Enfamiliehuse	16
Rækkehuse	16
Etageboliger	16
Generelt	17
Konklusion	17
Litteratur	19
Bilag. Informativt om nyere prøvninger	20
Engelsk undersøgelse	20
Stenløse Syd	20
Efterlevelse af bygningsreglementets krav	21

Forord

Konsekvenserne af en ikke tilstrækkelig tæt klimaskærm er et større energiforbrug og ofte et ringere indeklima end forventet. Klimaskærmens tæthed har blandt andet betydning for en effektiv udnyttelse af varmegenvindingen og mulighederne for at styre ventilationen. I bygninger, hvor klimaskærmen ikke har en tilstrækkelig tæthed, vil ventilationen i perioder være både ukontrollabel og over de dimensionerende værdier.

En påtænkt (energi)renovering af en bygning indbefatter blandt andet estimering af klimaskærmens tæthed. Estimeringen indgår som et led i beregning af energibesparelspotentialet. Pålideligheden af det beregnede energibesparelspotentiale afhænger blandt andet af, hvor god overensstemmelse der er mellem den estimerede tæthed af klimaskærmen og klimaskærmens tæthed i praksis.

Denne analyse giver en struktureret samling af tilfældigt udvalgte resultater af tæthedsprøvninger i eksisterende bygninger. Datamaterialet er leveret af firmaet Isolink, som har mere end 10 års erfaringer med tæthedsprøvning af bygninger. Der rettes i den forbindelse en tak til indehaveren Lars Due.

Fagfællebedømmelse er udført af seniorforsker Åke Blomsterberg.

Analysen er udført for Videncenter for energibesparelser i bygninger under Energistyrelsen, og analysen indgår som en del af centrets arbejde med at samle og formidle viden, med henblik på at understøtte den samlede energispareindsats i Danmark.

Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet
Energi og Miljø
November 2015

Søren Aggerholm
Forskningschef

Indledning

Analysens udgangspunkt og formål, jf. opgavebeskrivelsen

Vurderinger af klimaskærmens tæthed indgår som et led i beregninger af energibesparelspotentialer i forbindelse med påtænkte renoveringer. Viden om klimaskærmens tæthed i *eksisterende bygninger* er mangelfuld. Der er eksempler på, at eksisterende bygninger vurderes mere utætte, end de reelt er, før energirenoveringen påbegyndes, og at den opnåede tæthed efter renoveringen er ringere end antaget. Dette resulterer naturligt i øget usikkerhed vedrørende det beregnede besparelspotentiale.

Projektet vedrører *eksisterende bygninger*, som, når det gælder dette projekt, dækker bygninger, der er projekteret og opført før 2006, hvor myndighedsbestemmelser om klimaskærmens tæthed blev implementeret via tillæg til bygningsreglementet fra 1995 (BR95) og bygningsreglementet for småhuse fra 1998 (BR-S 98).

Analysen skal samlet set tilvejebringe en struktureret samling af målte værdier af klimaskærmens tæthed i et større antal eksisterende bygninger. På længere sigt vil det være oplagt at indsamle en endnu større mængde data, som kan indgå i en database og bidrage til kompetenceopbygning hos rådgivere og udførende.

Bygningsreglementets krav til klimaskærmens tæthed

I 2006 blev der med tillæg 12 til BR95 og tillæg 9 til BR-S 98 indført krav til klimaskærmens tæthed (BR95, kap. 8.2.1, stk. 4 og BR-S 98, kap. 5.2.3). Kravene er videreført og yderligere detaljeret i bygningsreglementet fra 2010, BR10. Kravene i BR10 er vist i tabel 1.

Tabel 1. Krav i BR10 til klimaskærmens tæthed.

	Standard byggeri [l/s pr. m ² opv. etageareal]	Lavenergibyggeri 2015 [l/s pr. m ² opv. etageareal]	Bygningsklasse 2020 [l/s pr. m ² opv. etageareal]
Alm. bygning	1,5	1,0	0,5

Ved klimaskærmen forstås de bygningsdele, der omslutter det opvarmede etageareal. Arealerne bestemmes efter *DS 418 Beregning af bygningers varmetab*, jf. vejledningstekst til BR10, kap. 7.2.1, stk. 7. Det opvarmede etageareal er det samlede etageareal af de etager eller dele heraf, der er opvarmede, jf. BR10, kap. 7.2.1, stk. 9. Kravene til klimaskærmens tæthed gælder ikke bygninger opvarmet til under 15 °C, ændret anvendelse og tilbygninger, jf. BR10, kap. 7.2.1, stk. 6.

Bestemmelse af klimaskærmens tæthed

Bestemmelse af klimaskærmens tæthed sker på grundlag af *DS/EN 13829 Bygningers termiske ydeevne – Bestemmelse af luftgennemtrængelighed i*

bygninger – Prøvningsmetode med overtryk skabt af ventilator, jf. vejledningstekst til BR10, kap. 7.2.1, stk. 4¹.

Formålet med målingen er at bestemme luftstrømmen gennem utilsigtede åbninger i klimaskærmen – dvs. utætheder. Derfor skal tilsigtede og kontrollerbare åbninger i klimaskærmen lukkes, fx vinduer, døre og udeluftventiler, mens åbninger via fx emhætte, ventilationsanlæg og brændeovn skal afspærres. De nævnte installationer skal naturligvis afbrydes. Det skal desuden sikres, at vandlåse i bygningen er vandfyldte eller afspærrede.

En hyppigt anvendt metode til bestemmelse af klimaskærmens tæthed er den såkaldte blowerdoormetode. Metodebetegnelsen er almindelig anvendt og afledt af Minneapolis Blower Door™, som er betegnelsen på måleudstyr udviklet og markedsført i 1980'erne af firmaet The Energy Conservatory, Saskatchewan, Canada. Metoden går i korthed ud på, at en større, eksisterende åbning i bygningens klimaskærm, typisk en dør eller et vindue, midlertidigt erstattes af en lufttæt ramme med en indbygget ventilator. Ventilatoren kan skabe enten overtryk eller undertryk i bygningen i forhold til ude. Ved at regulere ventilatorens ydelse, gennem regulering af omdrejningstallet, og ved at måle sammenhørende værdier af trykforskellen over klimaskærmen og luftstrømmen gennem ventilatoren, er det muligt at beregne værdier, som karakteriserer klimaskærmens tæthed.

Almindeligvis er udstyr til gennemførelse af målinger ved hjælp af blowerdoormetoden kontrolleret af en computer, som både styrer ventilatorens ydelse og automatisk registrerer sammenhørende værdier af luftstrøm og trykdifferens over klimaskærmen. DS/EN 13829 foreskriver, at prøvningen skal ske ved en serie af målinger i området mellem mindst 10 Pa og ca. 100 Pa trykdifferens inde/ude, og at intervallet mellem de enkelte målepunkter i serien højst må være 10 Pa. Figur 2 nedenfor viser et eksempel på sammenhørende værdier af luftstrøm og trykdifferens over klimaskærmen, opnået ved prøvning med over- og undertryk. Hvert enkelt målepunkt (luftstrøm vs. trykdifferens) fastlægges på baggrund af et meget stort antal målinger, som bestemmes af computeren ud fra antal og størrelse af fluktuationer i de målte parametre under målingen.

Bygningsreglementet stiller krav om, at tætheden bestemmes ved måleserier, hvor der anvendes såvel overtryk som undertryk inde i forhold til ude. Resultatet angives ved den gennemsnitlige luftstrøm ved 50 Pa. DS/EN 13829 anfører, at under rolige udeklimaforhold, navnlig rolige vindforhold, kan det forventes, at usikkerheden på en prøvning af klimaskærmens tæthed efter standarden vil være i størrelsesordenen $\pm 15\%$. Ved prøvning under blæsende udeklimaforhold kan usikkerheden nå $\pm 40\%$ ².

Blowerdoormetoden kan anvendes til bestemmelse af klimaskærmens tæthed, men det er ikke muligt alene ved hjælp af metoden at lokalisere eventuelle utætheder. Som supplement til tæthedsprøvningen er det derfor almindeligt at foretage termografering for at finde utæthederne. Termografiudstyr måler infrarød stråling, som omsættes til overfladetemperaturer, og vises ved særlige billeder (termogrammer) på en monitor. Termogrammer gengiver overfladetemperaturer ved hjælp af farver, og for med sikkerhed at kunne stedbestemme motivet bør termogrammerne understøttes af almindelige digitalfotos. En yderligere fordel ved termografering er, at metoden under visse betingelser og med den rette ekspertise kan give mulighed for også at afsløre kuldebroer. Det skal dog understreges, at selv med termografe-

¹ Okt. 2015: DS/EN 13829 er trukket tilbage og erstattet af DS/EN ISO 9972 *Bygningers termiske ydeevne – Bestemmelse af bygningers luftgennemtrængelighed - Prøvningsmetode med overtryk skabt af ventilator.*

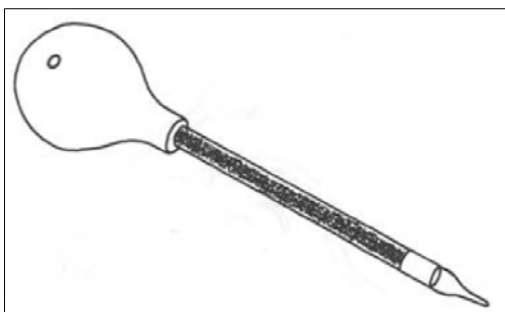
² De tilsvarende usikkerheder er i DS/EN ISO 9972 angivet til henholdsvis $\pm 10\%$ og $\pm 20\%$.

ring kan det i nogle tilfælde være vanskeligt at skelne utætheder og kuldebroer fra hinanden, og det er derfor en forudsætning, at operatøren har den fornødne ekspertise.

Termografering kan udføres efter *DS/EN 13187 Bygningers termiske ydeevne. Kvalitativ sporing af termiske uregelmæssigheder i en bygnings klimaskærm. Infrarød metode.*

Desuden er det almindeligt under en tæthedsprøvning at lokalisere primære utætheder gennem måling af luftens strømningshastighed ved utæthederne. Hastigheden bestemmes ved hjælp af et anemometer. Typisk anvendes et varmetrådsanemometer, hvor luftens afkøling af en opvarmet tråd anvendes som udtryk for lufthastigheden.

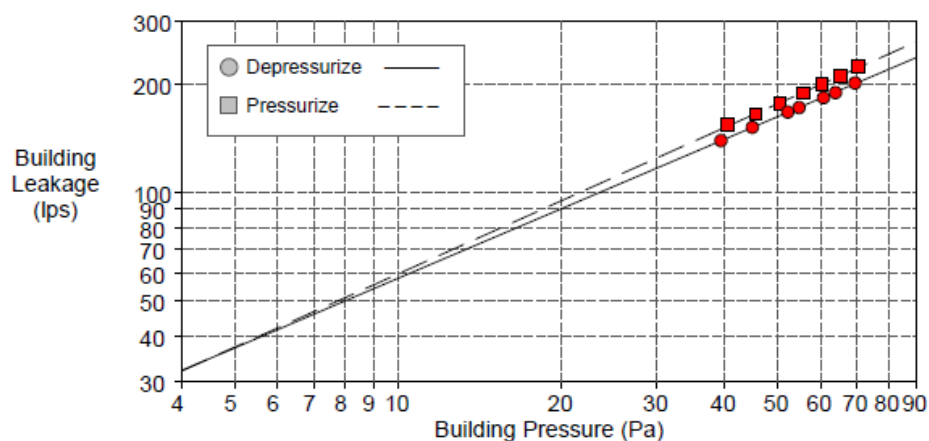
Til støtte ved lokalisering af utætheder kan anvendes indikatorrøg fra røgampuller, se figur 1. Ampullerne er forseglede glasrør. Når forseglingen brydes, udsendes en koncentreret, hvid røg, som ved hjælp af en gummibold kan doseres, hvor der er mistanke om utætheder.



Figur 1. Røgampul. Røgen kan støtte ved lokalisering af utætheder (Christophersen, 1976).

Eksempel

Ifølge bygningsreglementet skal klimaskærmens tæthed angives ved den gennemsnitlige luftstrøm ved 50 Pa og på baggrund af en serie målinger med henholdsvis overtryk og undertryk. Figur 2 nedenfor viser et eksempel på sammenhørende værdier af luftstrøm og trykdifferens over klimaskærmen, opnået ved prøvning med over- og undertryk. I eksemplet er den gennemsnitlige luftstrøm gennem klimaskærmen ved 50 Pa målt til 169 l/s. Husets etageareal på 223 m². Luftstrømmen 169 l/s sat i forhold til etagearealet 223 m² er 0,76 l/s pr. m². I dette eksempel lever klimaskærmens tæthed således op til bygningsreglementets krav om maksimal volumenstrøm på 1,5 l/s pr. m² ved 50 Pa.



Figur 2. Eksempel på sammenhørende værdier af luftstrøm og trykdifferens over klimaskærmen, opnået ved prøvning med over- og undertryk. Den gennemsnitlige luftstrøm gennem klimaskærmen ved 50 Pa er målt til 169 l/s. Husets etageareal er 223 m². $169/223 = 0,76$ l/s pr. m². Klimaskærmens tæthed lever således op til kravet 1,5 l/s pr. m².

Målte værdier fra tæthedsprøvnings i eksisterende bygninger

Motiverne til at foretage prøvning af klimaskærmens tæthed i henholdsvis eksisterende bygninger og nye bygninger er forskellige. Betegnelserne *eksisterende bygninger* og *nye bygninger* skal i denne sammenhæng forstås som bygninger, der er projekteret og opført henholdsvis før og efter, tæthedskravet blev indført i bygningsreglementet i 2006.

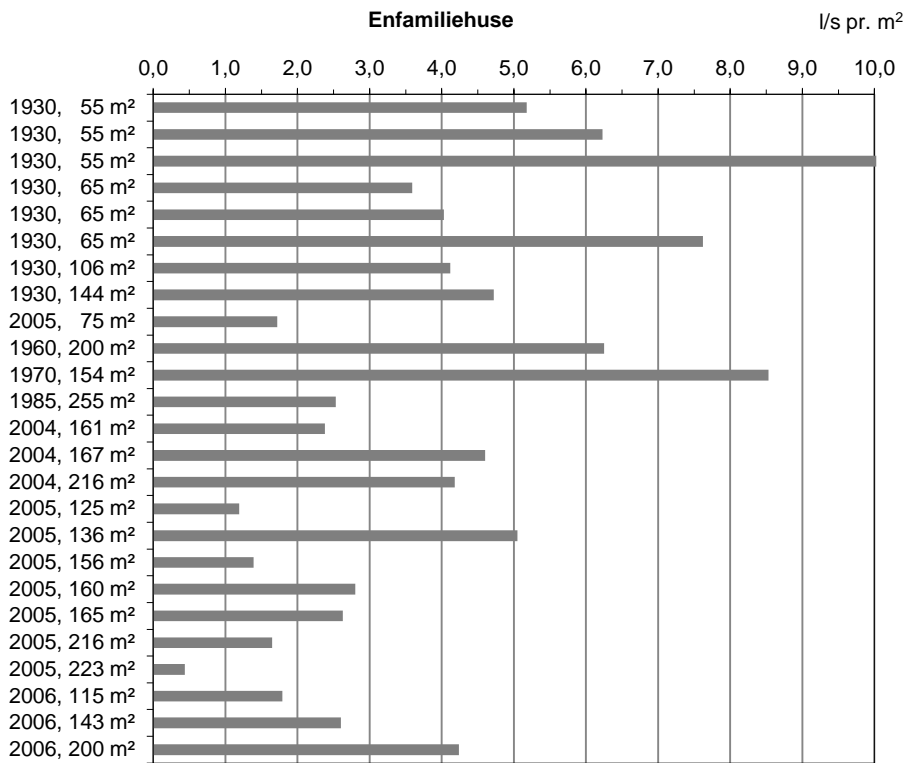
Når det gælder *nye bygninger*, er det almindelige motiv til prøvning af klimaskærmens tæthed, at der er behov for eller krav om at eftervise, at reglementets krav til tætheden efterleves. Dokumentation for prøvningen vil normalt vise, at bygningen (klimaskærmen) lever op til tæthedskravet. Årsagen er, at såfremt prøvningen afslører, at klimaskærmens tæthed *ikke* lever op til kravet, iværksættes tiltag, som udbedrer forholdene, indtil en fornyet prøvning viser, at tæthedskravet efterleves. Praksis vil ofte være, at resultatet af den succesfulde prøvning bevares, hvorimod resultater af forudgående prøvninger næppe bevares.

Det er derfor vanskeligt at opnå et dokumenteret overblik over hvor mange tæthedsprøvnings, der – enten i sidste instans eller undervejs i forløbet – dømmes "ikke tilfredsstillende". En engelsk undersøgelse har forsøgt at belyse situationen. Resultaterne er til orientering vist i bilag. I bilaget er endvidere til orientering vist resultater fra nyere tæthedsprøvnings.

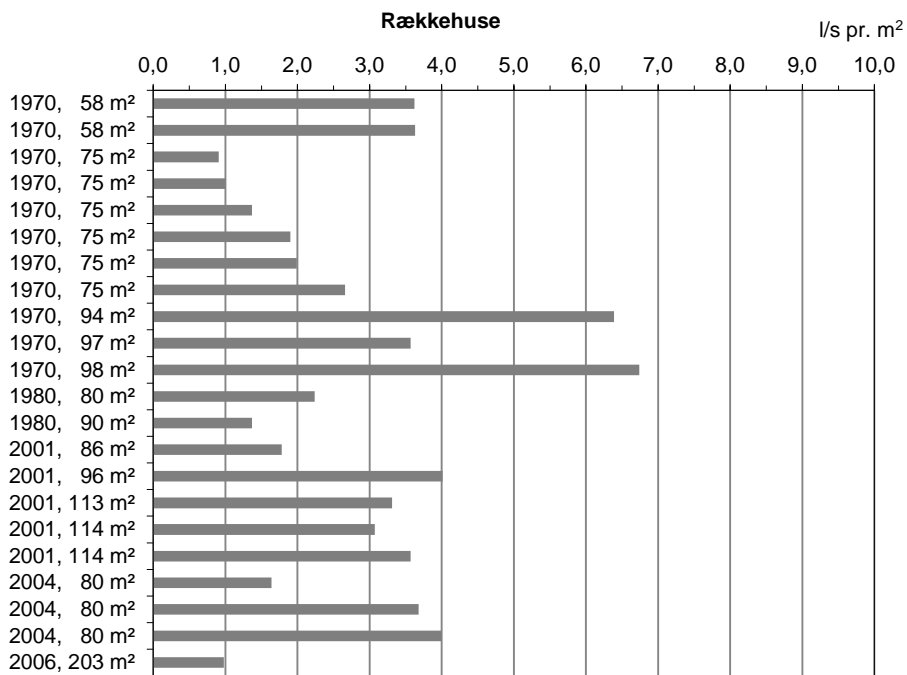
Når det gælder *eksisterende bygninger*, er der andre motiver til at foretage prøvning af klimaskærmens tæthed. Ifølge firmaet Isolink, som har mere end 10 års erfaringer med tæthedsprøvnings, gennemføres en tæthedsprøvning i en eksisterende bygning meget ofte enten som et led i en syns- og skønsag eller som optakt til en energirenovering. I sidstnævnte tilfælde kan der fx være behov for at afgøre, om det er nødvendigt, at der i forbindelse med renoveringen rettes særskilt opmærksomhed mod klimaskærmens tæthed.

I modsætning til prøvnings i nye bygninger, hvor opgaven som nævnt normalt er at eftervise efterlevelse af bygningsreglementets krav, og kun resultatet af den succesfulde prøvning bevares, vil resultater af prøvnings i eksisterende bygninger i mange tilfælde blive bevaret uanset resultatet af prøvningen. Isolink har til nærværende analyse kunnet levere resultater fra 118 tæthedsprøvnings i eksisterende boliger. Materialet omfatter resultater fra prøvnings i 25 enfamiliehuse (heraf 9 dobbelthuse), 22 rækkehuse og 71 etageboliger. Resultaterne fremgår af figur 3, figur 4 og figur 5 nedenfor. I figurene er resultaterne ordnet efter byggeår og etageareal.

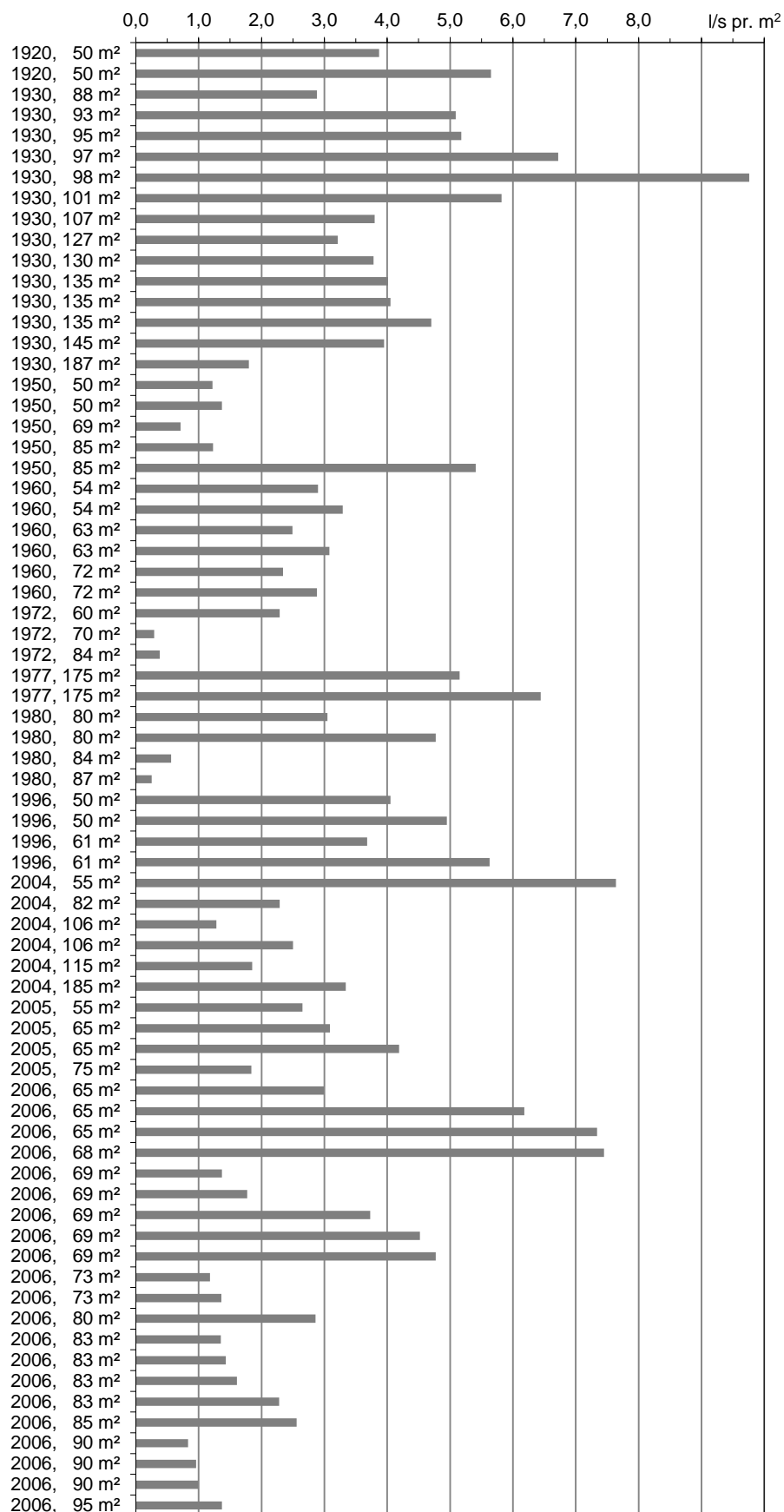
Efterfølgende figur 6 viser resultaterne grupperet efter bygningstype og byggeår. Inden for hver gruppe vises højeste værdi, gennemsnit og laveste værdi.



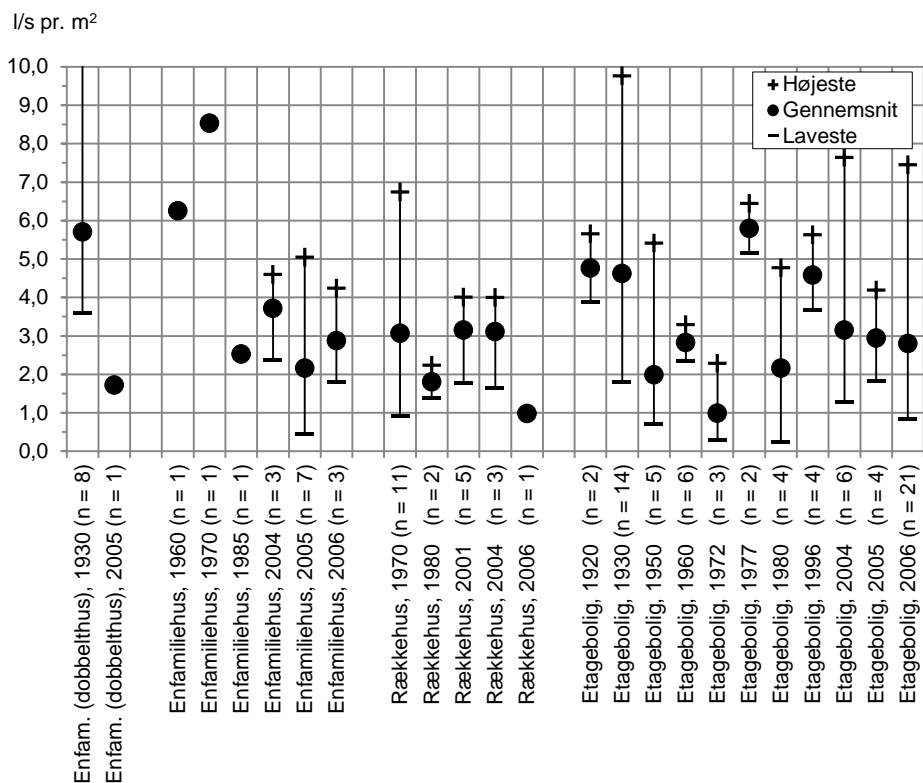
Figur 3. Resultater af prøvninger af klimaskærmens tæthed i 25 eksisterende enfamiliehuse (de øverste 9 huse er dobbelthuse). Resultaterne er ordnet efter byggeår og etageareal.



Figur 4. Resultater af prøvninger af klimaskærmens tæthed i 22 eksisterende rækkehuse. Resultaterne er ordnet efter byggeår og etageareal.



Figur 5. Resultater af prøvninger af klimaskærmens tæthed i 71 eksisterende etageboliger. Resultaterne er ordnet efter byggeår og etageareal.



Figur 6. Gennemsnit og højeste og laveste værdi af resultater af prøvninger af klimaskærmens tæthed i 118 eksisterende boliger omfattende 25 enfamiliehuse (heraf 9 dobbeltuse), 22 rækkehuse og 71 etageboliger.

Bygningstypologier

Nærværende analyse har til formål at tilvejebringe en struktureret samling af prøvningsværdier af klimaskærmens tæthed i et større antal eksisterende bygninger. På længere sigt vil en endnu større datamængde eventuelt kunne indgå i en database, som kan bidrage til kompetenceopbygning hos rådgivere og udførende. Et bidrag til kompetenceopbygningen kan fx være en sammenstilling af prøvningsværdier og karakteristiske træk eller egenskaber ved de prøvede bygninger. Hensigten er at fremme muligheden for, at der forud for en energirenovering af en bygning kan opnås en mere retvisende vurdering af den eksisterende klimaskærms tæthed. Vurderingen indgår som et led i beregning af energibesparelsespotentialer, og en usikker vurdering af tætheden indebærer en usikker beregning af besparelsespotentialer. Foruden kendsgerninger som bygningstype (fx enfamiliehus, rækkehus, etagebolig) og byggeår kan vurdering af klimaskærmens tæthed afhænge af kendskab til bygningens historik. Endvidere kan viden om bygningsfysiske, konstruktionsmæssige eller arkitektoniske karakteristika være afgørende for vurderingen.

Typologi er en systematisk og videnskabelig inddeling af en mængde i karakteristiske typer. Der eksisterer diverse bygningstypologier, som bygger på forskellige bygningskarakteristika. Nedenfor opridses udvalgte typologikoncepter.

Videncenter for energibesparelser i bygninger

Videncenter for energibesparelser i bygninger har gennemført en foranalyse, hvor 15 arketyper af enfamiliehuse er beskrevet. For hver af de 15 typer foreligger beskrivelser med fotos og bygningstegninger samt gennemgang enkeltdele og muligheder for (energi)forbedring af disse inklusive løsningspakker for samlede forbedringer. De 15 bygningstypologier er vist i figur 7 nedenfor.



Bindingsværkshus
1600-1900



Landhus
1850-1920



Patriciervilla
1860-1930



Byhus
1880-1930



Muremestervilla
1900-1940



Funkisvilla
1925-1945



Bungalow
1930-1945



Statslånshus
1938-1958



1950'er villa
1945-1955



Modernistisk villa
1950-1980



Parcel-/typehus
1960-1976



Parcel-/typehus
1977-1984



Parcel-/typehus
1985-1997



Parcel-/typehus
1998-2006



Parcel-/typehus
2006-2015

Figur 7. Videncenter for energibesparelser i bygninger har kortlagt 15 arketyper af enfamiliehuse.

EU-projektet TABULA

I EU-projektet TABULA (se www.building-typology.eu) lægges vægt på vurdering og forbedring af bygningers energimæssige ydeevne. Konceptet fo-

kuserer derfor på parametre med relation til energiforbrug. Figur 8 og figur 9 viser typologierne for enfamiliehuse og rækkehuse.



EFH.01 Enfamiliehus før 1850.



EFH.02 Enfamiliehus 1851-1930.



EFH.03 Enfamiliehus 1931-1950.



EFH.04 Enfamiliehus 1951-1960.



EFH.05 Enfamiliehus 1961-1972.



EFH.06 Enfamiliehus 1973-1978.



EFH.07 Enfamiliehus 1979-1998.



EFH.08 Enfamiliehus 1999-2006.



EFH.09 Enfamiliehus 2007-2011.

Figur 8. TABULA, enfamiliehuse, jf. EU-projektet TABULA.



RH.01 Rækkehus før 1850.



RH.02 Rækkehus 1851-1930.



RH.03 Rækkehus 1931-1950.



RH.04 Rækkehus 1951-1960.



RH.05 Rækkehus 1961-1972.



RH.06 Rækkehus 1973-1978.



RH.07 Rækkehus 1979-1998.



RH.08 Rækkehus 1999-2006.



RH.09 Rækkehus 2007-2011.

Figur 9. TABULA, rækkehuse, jf. EU-projektet TABULA.

Arkitektoniske epoker

Figur 10 viser nogle karakteristiske typer af enfamiliehuse, der har præget de seneste ca. 100 år frem til før de nuværende lavenergihuse og BR08-, BR10-, 2015- og 2020-huse. Husbetegnelserne i figur 10 er i nogen grad indarbejdede, mens de angivne perioder dækker såvel omtrentlige byggeperioder som de omtrentlige perioder, hvor hustypen var fremherskende.

Et eksempel på forskelle mellem typologierne kan ses ved at sammenholde de viste hustyper i figur 10 med bygningstypologierne jf. TABULA, figur 8.

Det fremgår, at så forskellige hustyper som et muremesterhus, en funkisvilla, en bungalow og et statslåns hus alle vil blive kategoriseret EFH.03. Byggeperioden EFH.03 dækker perioden 1931-1950.



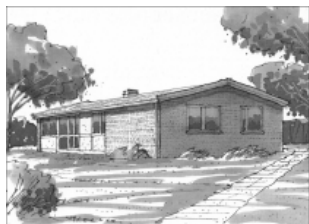
Muremesterhus 1915-1935



Funkisvilla 1930'erne



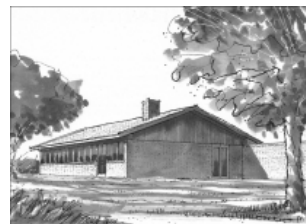
Bungalow 1930-1940



Statslåns hus 1938-58



Modernistisk 1950-70



Typehus 1960'erne



Typehus 1970'erne



Energirigtigt hus 1975-1985



Postmoderne 1980-



Typehus 1995-

Figur 10. Karakteristiske hustyper i arkitektoniske epoker (Nygaard, 1997). - Illustrationer: Jesper Warming.

Danskernes huse, Energi-Spareudvalget

Energi-Spareudvalget har udgivet en pjece, som beskriver typiske, danske enfamiliehus og byggestil. Pjecen er udateret; antageligvis udgivet i slutningen af 1990'erne. Pjecen er rettet mod energibesparelser, vedligeholdelse og forbedringer i enfamiliehusene.



1920'erne.



1920'erne.



1930'erne.



1930'erne.



1940'erne.



1940'erne.



1950'erne.



1950'erne.



1960'erne.



1960'erne.



1970'erne.



1970'erne.



1980'erne.



1980'erne.



Efter 1980.

Figur 11. Danskernes huse (Energi-Spareudvalget, 1994). - Fotos: Morten Kjærgaard.

Diskussion og konklusion

Enfamiliehuse

Datamaterialet, der dækker enfamiliehuse, omfatter 25 huse, hvoraf 9 er dobbelthuse. Det fremgår, at der er stor spredning i prøvningsresultaterne. Eksempelvis er den laveste værdi blandt enfamiliehusene under 0,5 l/s pr. m², og den højeste over 10 l/s pr. m², svarende til mere end en faktor 20. Den højeste værdi er fra et hus opført i 1930, mens den laveste værdi er fra et nyere enfamiliehus opført i 2005. Sidstnævnte lave værdi stammer dog fra et hus, hvorom det vides, at der under opførelsen var rettet særlig opmærksomhed mod klimaskærmens tæthed. Fraregnes dette prøvningsresultat er den laveste værdi blandt enfamiliehusene 1,2 l/s pr. m². Værdien gælder et enfamiliehus opført i 2005.

Datamaterialet omfatter kun få enfamiliehuse opført i perioden 1931-2000. Over 30 % af prøvningerne er gennemført i enfamiliehuse opført i 1930, og over 50 % af prøvningerne er gennemført i huse opført efter år 2000. Det gennemsnitlige prøvningsresultat for den første gruppe (opført før 1930) er lidt under 6 l/s pr. m², mens det gennemsnitlige prøvningsresultat for huse opført efter 2000 er ca. 2,5 l/s pr. m².

En del af enfamiliehusene, der indgår i datamaterialet, er opført i 2005, og tre huse er opført i 2006. Selvom husene er projekteret og opført før indførelsen af tæthedskravet i reglementet, kan det ikke udelukkes, at forlydender om et kommende reglementskrav til klimaskærmens tæthed kan have påvirket byggeriet. På den anden side vides det, at nogle af prøvningerne er gennemført netop for at afdække, hvor tæt på det kommende tæthedskrav almindelig byggepraksis ville være.

Kun fem huse lever op til, eller er tæt på at leve op til, det nuværende tæthedskrav i BR10 til standardbyggeri på 1,5 l/s pr. m², og alle er opført i 2005.

Rækkehuse

Datamaterialet fra prøvninger i rækkehuse omfatter resultater fra 22 huse opført i perioden 1970 til 2006. Intervallet for prøvningsresultater er fra lidt under 1,0 l/s pr. m² til lidt under 7,0 l/s pr. m². Både den laveste og den højeste værdi forekommer i rækkehuse opført i 1970.

Etageboliger

Datamaterialet fra prøvninger i etageboliger omfatter 71 prøvningsresultater dvs. væsentlig flere resultater end fra enfamiliehuse og rækkehuse. Materialet omfatter af den grund resultater fra flere forskellige byggeår.

Blandt de målte værdier i etageboliger er der adskillige lave, under BR10-kravet for standardbyggeri på 1,5 l/s pr. m², og der forekommer lave værdier fra forskellige byggeperioder. 18 prøvninger, svarende til 25 % af prøvningerne, viser et resultat under 1,5 l/s pr. m². Resultaterne hidrører fra etageboliger opført i 1950 (4 prøvninger), i 1972 (2 prøvninger), i 1980 (2 prøvninger) og efter 2000 (10 prøvninger). Sættes grænsen arbitrært ved 3,0 l/s pr.

m² er over 50 % af prøvningsresultaterne under grænsen, og resultaterne kommer fra alle byggeår.

Der forekommer dog store variationer, se fx figur 6, og en eventuel sammenhæng mellem byggeår og klimaskærmens tæthed er med det foreliggende datamateriale ikke tydelig.

En del af årsagen til variationerne kan eventuelt være forskelle i det areal, der vender mod det fri. En gavlbolig vil have et større areal mod det fri, end en bolig der er beliggende midt i en blok.

Resultaterne af tæthedsprøvninger i etageboliger indbefatter endvidere eventuel luftudveksling mellem den prøvede bolig og tilgrænsende boliger. Luftudveksling mellem boliger kan især forekomme ved gennemføringer af el-, vand- og afløbsledninger, og da sådanne i vid udstrækning føres lodret i en etageejendom, sker eventuel luftudveksling navnlig i lodret plan, dvs. mellem den prøvede bolig og boliger, der ligger over eller under den prøvede. Resultaterne af tæthedsprøvninger i rækkehuse indbefatter principielt også eventuel luftudveksling mellem det prøvede hus og nabohuse; dog må luftudveksling mellem rækkehuse antages at være begrænset. Det er muligt at eliminere luftudveksling mellem boliger i forbindelse med tæthedsprøvning ved at etablere modtryk i de tilgrænsende boliger.

Generelt

Alle tæthedsprøvninger er gennemført i overensstemmelse med DS/EN 13829.

Datamaterialet omfatter prøvningsresultater af klimaskærmens tæthed fra 118 bygninger; 25 enfamiliehuse, 22 rækkehuse og 71 etageboliger. Materialet er mere omfattende, end det umiddelbart kunne forventes, men på trods heraf tydeliggør materialet ikke, om data fra prøvninger i eksisterende bygninger fremmer mulighederne for at estimere klimaskærmens tæthed i en eksisterende bygning. Et velunderbygget estimat vil kunne mindske usikkerheden ved beregning af energibesparelspotentialer forud for en energirenovering.

Datamaterialet er tilfældigt udvalgt, og manglen på data i visse perioder er ikke udtryk for en bevidst udeladelse af grupper af huse, hustyper eller byggeår. Det kan ikke udelukkes, at kompletterende data navnlig for perioden 1930-1960 ville kunne afsløre en udvikling i tætheden af klimaskærme over de forskellige byggeår, som ikke fremgår umiddelbart af det aktuelle materiale.

Datamaterialet omfatter alene resultater af tæthedsprøvninger samt oplysning om bygningstype (enfamiliehus, rækkehus, etagebolig) og byggeår. Materialet rummer ikke yderligere information om bygningerne, og det er derfor ikke muligt at opdele bygningerne/prøvningsresultaterne efter bygningstypologier fx som vist i figur 7. Eksempelvis vil et enfamiliehus, hvorom det alene vides, at det er opført i 1940, kunne være såvel en murermestervilla som et funkishus, en bungalow eller et statslånshus. De nævnte hustyper er bygget efter meget forskellige principper.

Konklusion

Det foreliggende datamateriale vedrørende prøvninger af klimaskærmens tæthed i eksisterende enfamiliehuse, rækkehuse og etageboliger er mere omfattende, end det umiddelbart kunne forventes. Materialet omfatter alene

prøvningsresultater samt basisinformation om bygningstype (enfamiliehus, rækkehus, etagebolig) og byggeår.

Blandt alle tre bygningstyper forekommer der stor spredning i prøvningsresultaterne – i størrelsesordenen en faktor 10.

Datamaterialet viser ikke entydigt, at data fra prøvninger i eksisterende bygninger kan fremme mulighederne for at give en mere kvalificeret vurdering af tætheden af klimaskærmen i en ældre bygning. Der kan umiddelbart peges på to forhold, som kan være årsag til det uklare billede: Utilstrækkelig information om bygningerne (i) og ”huller” i datamaterialet (ii).

Ad (i): Det kan ikke udelukkes, at yderligere information om enfamiliehusene fx i henhold til arketyperne beskrevet af *Videncenter for energibesparelser i bygninger* vil kunne forbedre muligheden for at estimere klimaskærmens tæthed i eksisterende enfamiliehus med større sikkerhed. Yderligere information kunne fx være antal etager og overordnet information om konstruktionerne.

Ad (ii): Ved et tilfælde rummer materialet kun få data fra boliger, der er opført i perioden 1930-1960.

Det anbefales derfor at undersøge mulighederne for, at den foreliggende analyse kan videreføres. Formålet er dels at tilvejebringe yderligere information om enfamiliehusene, der indgår i analysen, dels at udvide datamaterialet navnlig med data om boliger opført i perioden 1930-60.

Endvidere bør det overvejes at udarbejde en standardiseret rapporteringsform for tæthedsprøvninger og herudfra etablere en database med målte værdier og nøgleinformationer om den prøvede bygning. En sådan rapporteringsform vil samtidig kunne medvirke til at mindske risikoen for, at der begås fejl under selve prøvningen og/eller ved den efterfølgende tolkning af resultaterne.

Indsamling og systematisering af resultater fra tæthedsprøvninger i eksisterende bygninger vil desuden kunne bidrage til kompetenceopbygning hos rådgivere og udførende.

Litteratur

- Bolig- og Byministeriet. (1998). *Bygningsreglement for småhuse (BR-S 98)*. København.
- Bygge- og Boligstyrelsen. (1995). *Bygningsreglement 1995 (BR95)*. København.
- Bergsøe, N. C. (2011). *BR's boligventilationskrav. Beherskes kravene og efterleves de i nye boliger? Tekniske samtaler. Nye målinger* (SBI 2011:21). Kbh.
- Blomsterberg, Å. & Burke, S. (2012). *Verkelig lufttæthed i store byggnader – Måtninger och beräkningar*. Malmö.
- Carrié, F. R., Wouters, P. (2012). *Building airtightness: A critical review of testing, reporting and quality schemes in 10 countries*. TightVent report no. 4. INIVE EEIG. Lokaliseret: <http://tightvent.eu/publications/tightvent-reports/report04>.
- Chan, W. R., Carrié, F. R., Novák, J., Litvak, A., Richieri, F., Solcher, O., Pan, W., Emmerich, S. (2012). *Building air leakage databases in energy conservation policies: Analysis of selected initiatives in 4 European countries and the USA*. TightVent report no. 3. INIVE EEIG.
- Christophersen, E. (1976). *Ventilationstekniske målinger* (SBI-anvisning 102). Hørsholm.
- Dansk Standard. (1999). *Bygningers termiske ydeevne. Kvalitativ sporing af termiske uregelmæssigheder i en bygnings klimaskærm. Infrarød metode* (DS/EN 13187). Charlottenlund.
- Dansk Standard. (2001). *Bygningers termiske ydeevne – Bestemmelse af luftgennemtrængelighed i bygninger - Prøvningsmetode med overtryk skabt af ventilator*. (DS/EN 13829). Charlottenlund.
- Dansk Standard. (2015). *Bygningers termiske ydeevne – Bestemmelse af bygningers luftgennemtrængelighed - Prøvningsmetode med overtryk skabt af ventilator*. (DS/EN ISO 9972). København.
- Eastwell, A. (2011). *Future Building Regulations – airtightness compliance*. Compiled by BSRIA Ltd. Lokaliseret: <https://www.bsria.co.uk/news/article/airtightness-compliance/>
- Energi-Spareudvalget. (1994). *Danskernes huse*.
- Erhvervs- og Byggestyrelsen. (2010). *Bekendtgørelse om offentliggørelse af bygningsreglement 2010 (BR10)* (BEK nr. 810 af 28/06/2010). København.
- Intelligent Energy Europe Project "EPISCOPE". *Energy Performance Indicator Tracking Schemes for the Continuous Optimisation of Refurbishment Processes in European Housing Stocks*. (<http://episcope.eu/iee-project/episcope/>)
- Nygaard, E. (1997). *Familiens hus. Danske énfamiliehuse gennem 100 år*. Århus C: Nybolig.
- Witchen, K.B. & Kragh, J. (2012). *Danish building typologies - Participation in the TABULA project* (SBI:2012:01). København: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet.

Bilag. Informativt om nyere prøvninger

Engelsk undersøgelse

I en engelsk undersøgelse (BSRIA Ltd., Andrew Eastwell, maj 2011) er der opnået indikationer af, hvor mange bygninger der henholdsvis består og ikke består tæthedsprøvningen. Lige så interessant viser undersøgelsen imidlertid også andelen af bygninger, som ikke levede op til tæthedskravet ved den første prøvning, og som ikke siden er blevet prøvet igen. Bygningerne er således i drift, uden at klimaskærmen har den forventede og krævede tæthed.

Tabel 2. Engelsk undersøgelse (BSRIA Ltd., Andrew Eastwell). Opgørelse af beståede og ikke-beståede tæthedsprøvninger i nye bygninger.

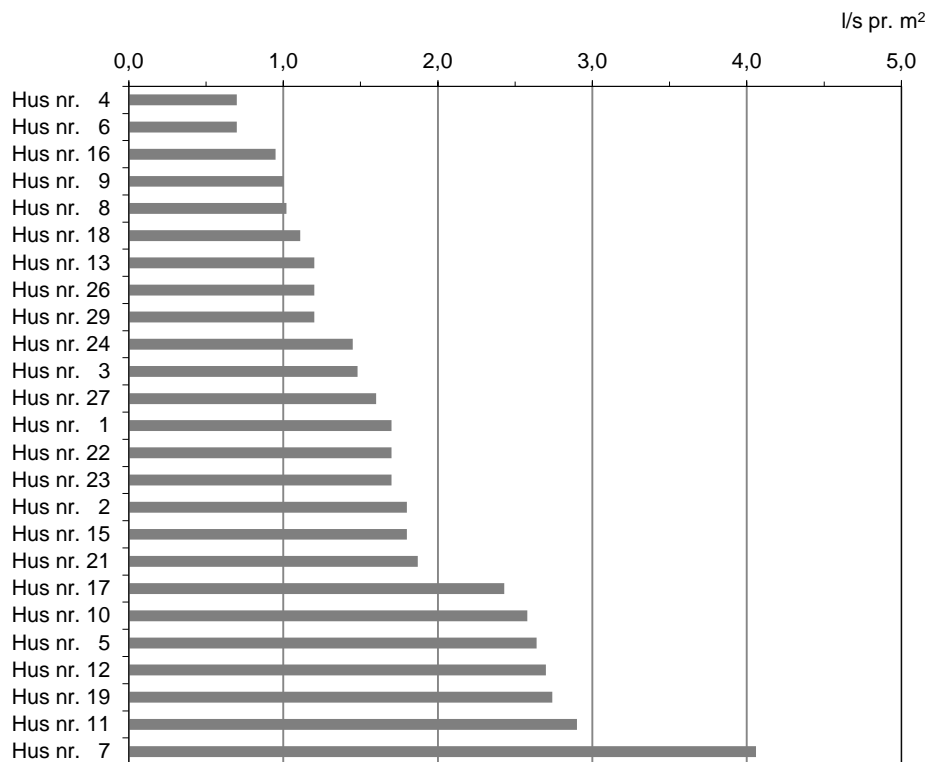
År for prøvning	Antal bygninger, som indgår i analysen	Andel, som levede op til tæthedskravet ved første prøvning	Andel, som ikke levede op til tæthedskravet ved første prøvning, men bestod ved senere prøvning	Andel, som ikke levede op til tæthedskravet, og som ikke er tæthedsprøvet igen
2007	300	68 %	9 %	23 %
2008	306	74 %	14 %	12 %
2009	235	71 %	11 %	18 %
2010	242	68 %	14 %	18 %

Stenløse Syd

Stenløse Syd er en udstykning i Egedal kommune (på daværende tidspunkt Stenløse kommune), hvor kommunen i 2004 fastsatte energikrav til de kommende boliger. Boligerne er opført som lavenergiboliger, og selvom boligerne er projekteret før det nuværende krav til klimaskærmens tæthed var gældende, var der under opførelsen stor fokus på at sikre tætte boliger.

Figur 12 nedenfor viser resultater af prøvninger af klimaskærmens tæthed i et udvalg af boligerne.

Det fremgår af figuren, at lidt færre end halvdelen af de undersøgte huse lever op til det gældende bygningsreglementetskrav, at udelufttilførslen gennem tilfældige utætheder i klimaskærmen maksimalt må være 1,5 l/s pr. m² angivet ved 50 Pa over-/undertryk.

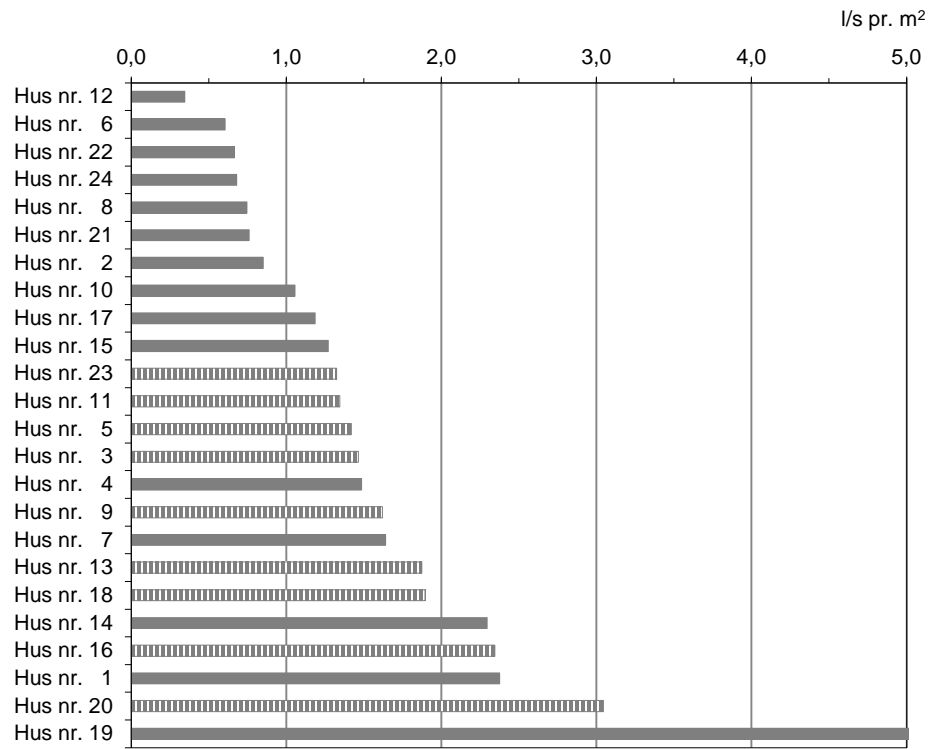


Figur 12. Resultater af tæthedsprøvninger i 25 enfamiliehuse i Stenløse Syd.

Efterlevelse af bygningsreglementets krav

I 2011 gennemførte SBI en undersøgelse for Erhvervs- og Byggestyrelsen om efterlevelse af bygningsreglementets krav [SBI 2011:21]. Undersøgelsen indbefattede blandt andet tæthedsprøvning ved hjælp af blowerdoormetoden af 24 enfamiliehuse opført i perioden 2007-2009. Resultater af tæthedsprøvningerne er vist i figur 13 nedenfor.

Det fremgår af figuren, at ca. 2/3 af husene (15 huse af 24) består bygningsreglementets krav om, at udelufttilførslen gennem tilfældige utætheder i klimaskærmen maksimalt må være 1,5 l/s pr. m² angivet ved ± 50 Pa. 9 huse opfylder ikke kravet. Der indgår 9 naturligt ventilerede enfamiliehuse i undersøgelsen; 4 af husene består netop tæthedskravet, mens de øvrige 5 huse ligger over kravet og heraf 2 henholdsvis 50 pct. og 100 pct. over.



Figur 13. Resultater af tæthedspørninger i 24 enfamiliehuse opført i perioden 2007-2009. De udfyldte bjælker er mekanisk ventilerede enfamiliehuse, mens de lysere bjælker er naturligt ventilerede enfamiliehuse. [SBI 2011:21].

Konsekvenserne af en ikke tilstrækkelig tæt klimaskærm er et større energiforbrug og ofte et ringere indeklima end forventet. Klimaskærmens tæthed har blandt andet betydning for en effektiv udnyttelse af varmegenvindingen og mulighederne for at styre ventilationen. En påtænkt (energi)renovering af en bygning indbefatter blandt andet estimering af klimaskærmens tæthed. Estimeringen indgår som et led i beregning af energibesparelspotentialet. Denne analyse giver en struktureret samling af tilfældigt udvalgte resultater af tæthedsprøvnin-ger i eksisterende bygninger. Analysen er udført for Videncenter for energibesparelser i bygninger under Energistyrelsen, og analysen indgår som en del af centrets arbejde med at samle og formidle viden, med henblik på at understøtte den samlede energispareindsats i Danmark.

1. udgave, 2015
ISBN 978-87-563-1740-5