



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Aalborg Universitet

Lufttæthed og luftskifte i eksisterende enfamiliehuse

Mortensen, Lone Hedegaard; Bergsøe, Niels Christian

Publication date:
2017

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Mortensen, L. H., & Bergsøe, N. C. (2017). *Lufttæthed og luftskifte i eksisterende enfamiliehuse*. (06 udg.) SBI Forlag.

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

LUFTTÆTHED OG LUFTSKIFTE I EKSISTERENDE ENFAMILIEHUSE

SBI 2017:06



Lufttæthed og luftskifte i eksisterende enfamiliehuse

Lone H. Mortensen
Niels C. Bergsøe

Titel Lufttæthed og luftskifte i eksisterende enfamiliehuse
Serietitel SBI 2017:06
Udgave 1. udgave
Udgivelsesår 2017
Forfattere Lone H. Mortensen, Niels C. Bergsøe
Sidetal 24
Litteratur-
henvisninger Side 24
Emneord Energibestemmelser, energirenovering, klimaskærm, luftskifte, lufttæthed, ventilation

ISBN 978-87-563-1841-9

Fotos Niels C. Bergsøe

Udgiver Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet København,
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

Indholdsfortegnelse

Forord	4
Sammenfatning	5
Indledning	8
Baggrund, formål og afgrænsning	8
Ventilation af boliger	8
Tidligere undersøgelser	9
Metode.....	11
Tæthedsprøvning.....	11
Ventilationsmåling med passiv sporgasteknik.....	13
Resultater	14
Diskussion	18
Tæthedsprøvninger	18
Primære utætheder.....	18
Ventilationsmålinger	19
Konklusion.....	21
Tæthedsprøvninger	21
Primære utætheder.....	21
Ventilationsmålinger	22
Mekanisk ventilation i boliger.....	22
Referencer.....	24

Forord

Med henblik på yderligere reduktion af energibehovet til opvarmning og ventilation i bygninger blev der for ca. 10 år siden, i 2006, indført krav i bygge-lovgivningen til klimaskærmens tæthed. Kravene blev indført ved tillæg til de daværende bygningsreglementer, og kravene blev med få ændringer videreført i efterfølgende reglementer i 2008 og 2010. I det gældende bygningsreglement fra 2015 (BR15) er kravene til klimaskærmens tæthed skærpet i lighed med generelt skærpede energibestemmelser i forhold til tidligere reglementer. Der er ikke krav til klimaskærmens tæthed i boliger opført før 2006.

Bygningsreglementets krav til klimaskærmens tæthed gælder alene nybyggeri. I forbindelse med planlægning af renovering af ældre byggeri – navnlig energirenovering, hvor nedbringelse af energibehovet er i centrum – er det imidlertid relevant, at der foreligger erfaringstal om typisk tæthed af klimaskærmen i eksisterende bygninger. Specielt hvad angår småhuse, er der behov for et mere sikkert erfaringsgrundlag om klimaskærmens tæthed, da det må forventes, at renovering af sådanne huse i stigende grad vil indbefatte installation af mekanisk ventilation. Klimaskærmens tæthed har betydning for, om forventninger til energieffektiviteten af varmegenvindingen og ventilationen generelt kan blive indfriet.

Dette projekt har til hensigt at bidrage til erfaringsopsamling på området. I projektet er der foretaget prøvninger af klimaskærmens tæthed i 20 eksisterende småhuse, og i 10 af boligerne er der desuden foretaget måling af den gennemsnitlige ventilation over en typisk brugsperiode.

Projektet er gennemført for og med støtte fra Trafik- og Byggestyrelsen som et led i den samlede energispareindsats i Danmark.

Projektet er udført af seniorforsker Lone H. Mortensen og seniorforsker Niels C. Bergsøe fra Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet. Lone H. Mortensen har været projektleder.

Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet København
Afdelingen for Bygningers Energieffektivitet, Indeklima og Bæredygtighed
Maj 2017

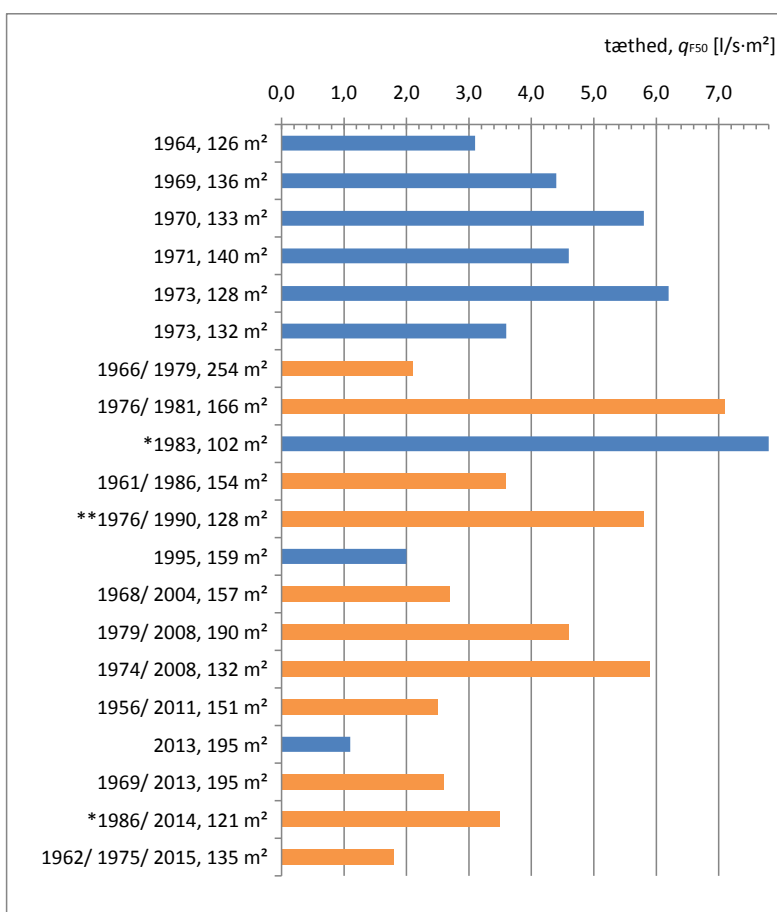
Søren Aggerholm
Forskningschef

Sammenfatning

Der mangler viden om klimaskærmens tæthed i eksisterende bygninger. Klimaskærmens tæthed har stor betydning for bygningers energiforbrug. Dette gælder særligt, når der i forbindelse med renoveringer er ønske om at etablere mekanisk ventilation. Klimaskærmens tæthed afhænger navnlig af udførelsen af specifikke samlingsdetaljer, og derfor er det relevant at forsøge at lokalisere, hvor der er utætheder.

Der er i dette projekt udført tæthedsprøvning i 20 eksisterende etplansboliger med uudnyttet loftrum. Boligerne er opført mellem 1956 og 2013. Målingerne er gennemført med 10 prøvninger i april/maj 2016 på Sjælland og 10 i oktober/november 2016 i Nordjylland. Målingerne er gennemført ved hjælp af den såkaldte *blower door*-metode i henhold til DS/EN ISO 9972. I kombination med målingerne i april og maj blev der ligeledes gennemført ventilationsmålinger ved hjælp af passiv sporgasteknik for at skabe grundlag for at vurdere, om der er sammenhæng mellem klimaskærmens tæthed og den gennemsnitlige ventilation i boligen.

Resultaterne viser, at der er store forskelle i klimaskærmens tæthed i de undersøgte boliger. Resultaterne af tæthedsprøvningerne er mellem 1,1 og 7,8 l/s·m² ved 50 Pa.



Figur 1. Oversigt over resultaterne af tæthedsprøvningerne i form af q_{F50} . De orange er boliger, hvor der er sket tilbygning eller større renoveringer. De blå er enfamiliehuse uden renoveringer og de to med stjernemærkning (*) er rækkehuse. Ved mærkningen (**) er tætheden for boligen kun bestemt ved undertryk. Resultaterne er grupperet efter opførselsår eller seneste til- eller ombygningsår.

Til sammenligning skal nye boliger i henhold til BR15 overholde en lufttæthed på 1 l/s·m². Krav til klimaskærmens tæthed gælder kun boliger opført efter 2006.

De specifikke lufttætheder ved 50 Pa trykforskel er for alle boligerne sorteret efter opførelse eller efter det seneste år, hvor der er sket større renovering. For ikke renoverede boliger fornemmes en stigende utæthed frem mod 1980'erne, mens de renoverede boliger får mindre utætheder fra 1981 til 2015, særligt i den sidste del af perioden. Der er dog brug for mere data om tæthed i eksisterende boliger for at kunne af- eller bekræfte dette. I forbindelse med tæthedsprøvning af boligerne er de primære utætheder identificeret ved brug af termografering, visuel inspektion og røg.

Bygningsreglementskravet til udelufttilførsel er på 0,3 l/s·m², og resultaterne viste en gennemsnitlig udelufttilførsel i de 10 boliger på 0,31 l/s·m², så som gennemsnit overholdes bygningsreglementets krav, men tre af boligerne havde mindre udelufttilførsel. Boligerne er opført i perioden 1956 -1979, hvor der ikke var indført krav til luftskifte i boliger, der var blot krav om mulighed for ventilation ved fx vinduesåbning. Målingerne af ventilation i boligerne er foretaget i april/maj 2016, hvor det var udsædvanligt varmt for årstiden. Der er ikke fundet sammenhæng mellem klimaskærmens tæthed og udelufttilførsel.

Mekanisk ventilation i boliger

De nuværende energikrav til nye boliger peger mod, at der i fremtiden opføres færre naturligt ventilerede enfamiliehuse. Modsat dette har de fleste af de eksisterende boliger oprindeligt naturlig ventilation.

Etablering af mekanisk ventilation kan være et ønske, og det kan give bedre luftkvalitet, men det kan også øge ventilationstabet, og der bør ved etablering af mekanisk ventilation være fokus på tætheden af bygningen. Klimaskærmen skal være tæt, for at det ukontrollerede ventilationstab mindskes, således at mest mulig ventilationsluft passerer varmegenvinderen i ventilationsanlægget. Herved forbedres varmegenvinderens temperaturvirkningsgrad, og en mekanisk ventileret bolig med en tæt klimaskærm vil have et lavere energibehov end en tilsvarende bolig med en mindre tæt klimaskærm.

Resultaterne af denne undersøgelse peger på, at der i eksisterende boliger bør være særligt fokus på seks områder for at opnå en mere tæt klimaskærm:

1. Hvis der er uopvarmet/uudnyttet kælder eller krybekælder i boligen, bør tætheden i etageadskillelsen mod kælder/krybekælder være i fokus.
2. Der observeres utætheder i samlinger mod loftet, enten ved ydervægge, skillevægge eller begge steder. Derfor anbefales det, at der sættes fokus på tætning af disse samlinger.
3. Hvis boligtypen indeholder blændpartier til udluftning, bør der være særligt fokus på tætning omkring disse.
4. Døre og vinduer forbindes ofte med en del utætheder. Det kan både skyldes defekte tætningsbånd og manglende tætning ved indbygning i ydervægskonstruktionen, samt behov for udskiftning.
5. Der observeres ofte problemer med utætheder omkring gennem-brydninger af dampspærren mod loftet. Dette ses særligt omkring

loftslemme, lampeudtag og indbygningsspot. Derfor bør der være særligt fokus på tætning af dampspærren ved gennembrydning.

6. Fremføring af fx varmerør, vandrør, ventilationskanaler (herunder emhætteaftræk), elinstallationer, skorstene mv. bør altid ske med ekstra fokus på at sikre tætheden, der hvor tæthedsplanet gennem-brydes.

Indledning

Baggrund, formål og afgrænsning

Der mangler viden om klimaskærmens tæthed i eksisterende bygninger. Klimaskærmens tæthed har stor betydning for bygningers energiforbrug. Dette gælder særligt, når der i forbindelse med renoveringer er ønske om at etablere mekanisk ventilation. Det er uklart, om renoveringstiltag øger eller sænker tætheden. Vinduesudskiftninger indebærer forbedret tæthed omkring selve ruden, men det er uvist, om tætheden ved indbygning i ydervæggen øger eller mindsker tætheden. Tilsvarende kendes effekten af andre tiltag heller ikke. Prøvning af tætheden sker på grundlag af DS/EN ISO 9972 (BR15, kap. 7.2.1, stk. 4), men for renoveringer gælder der ikke krav til tæthed (BR15, kap 7.2.1, stk. 6).

Projektets formål er at bestemme klimaskærmens tæthed i et antal eksisterende boliger. Tætheden er særligt relevant for boliger, hvor der kan være ønske om etablering af mekanisk ventilation, men for at udnytte effekten af varmegenvinding kræves en tæt klimaskærm. Målingerne af klimaskærmens tæthed suppleres med målinger af ventilationen i boligerne for at undersøge, om der er sammenhæng mellem klimaskærmens tæthed og udelufttilførslen.

Ventilation af boliger

I undersøgelsen fokuseres der på naturligt ventilerede etplansboliger med uudnyttet loftrum, hvor det vil være relativt enkelt at etablere mekanisk ventilation. Derfor beskrives her først BR15-kravene til ventilation i nyopførte boliger. I forbindelse med trykprøvningerne blev der indledningsvis udført ventilationsmålinger, som dels skal afdække, om der er sammenhæng mellem udelufttilførsel ved naturlig ventilation og klimaskærmens tæthed, dels skal vise, om boligernes udelufttilførsel svarer til kravene for nye boliger.

Bygningsreglementets bestemmelser om ventilation i boliger

Bygningsreglementet stiller krav til indeklimaet i boliger i form af krav til luftkvaliteten, som skal opfyldes ved ventilation af boligen. Kravet er, at der i en bolig totalt skal være en udelufttilførsel på mindst 0,3 l/s pr. m² opvarmet etageareal (BR15, kap. 6.3.1.2, stk. 1).

Enfamiliehuse kan ventileres ved naturlig eller mekanisk ventilation. Når der benyttes naturlig ventilation, skal udeluft tilføres boligen via ventiler i ydervægge og fjernes via den naturlige opdrift gennem aftrækskanaler fra køkken og bad/ wc over tag.

Køkkener skal være forsynet med emhætte med regulerbar mekanisk udsugning og med afkast til det fri. Udsugningen skal kunne forøges til mindst 20 l/s.

Ved mekanisk ventilation skal mindstekravet på 0,3 l/s pr. m² opvarmet etageareal sikres via et ventilationsanlæg med varmegenvinding og indblæsning i beboelsesrum og udsugning i bad, wc-rum, køkken og bryggers.

Bygningsreglementets bestemmelser om klimaskærmens tæthed

I 2006 blev der i bygningsreglementerne indført krav til klimaskærmens tæthed. Kravene blev indført i form af tillæg til de gældende bygningsreglementer: Tillæg 12 til BR-95 og tillæg 9 til BR-S 98. Kravene trådte i kraft den 1. januar 2006 med en overgangsperiode til den 31. marts 2006. Kravene blev med få ændringer videreført i BR08 og BR10.

Med BR15 er kravene til klimaskærmens tæthed skærpet som konsekvens af skærpede energikrav. I BR15 angives, at bestemmelse af klimaskærmens tæthed sker på grundlag af DS/EN ISO 9972, 'Bygningers termiske ydeevne – Bestemmelse af bygningers luftgennemtrængelighed – Prøvningsmetode med overtryk skabt af ventilator' (Dansk Standard, 2015), jf. vejledningstekst til BR15, kap. 7.2.1, stk. 4.

I det tidligere i BR10 var kravet for nybyggeri, at luftskiftet gennem utætheder i klimaskærmen (q_{F50}) ikke måtte overstige 1,5 l/s pr. m² opvarmet etageareal ved trykprøvning med 50 Pa.

For det nuværende BR15 må q_{F50} ikke overstige 1,0 l/s pr. m², og for bygninger omfattet af bygningsklasse 2020 må q_{F50} ikke overstige 0,5 l/s pr. m² opvarmet etageareal. Bemærk dog, at der er andre krav til bygninger med høje rum, som er defineret ved, at klimaskærmens overflade divideret med etagearealet er større end 3.

Det er væsentligt at bemærke, at for BR15 kan trykprøvningsresultatet benyttes ved energiberegningen, men hvis der ikke sker trykprøvning af bygningen, skal værdien q_{F50} på 1,5 l/s pr. m² benyttes. Formålet med dette krav er at skabe et incitament for tæthedsprøvning af bygninger.

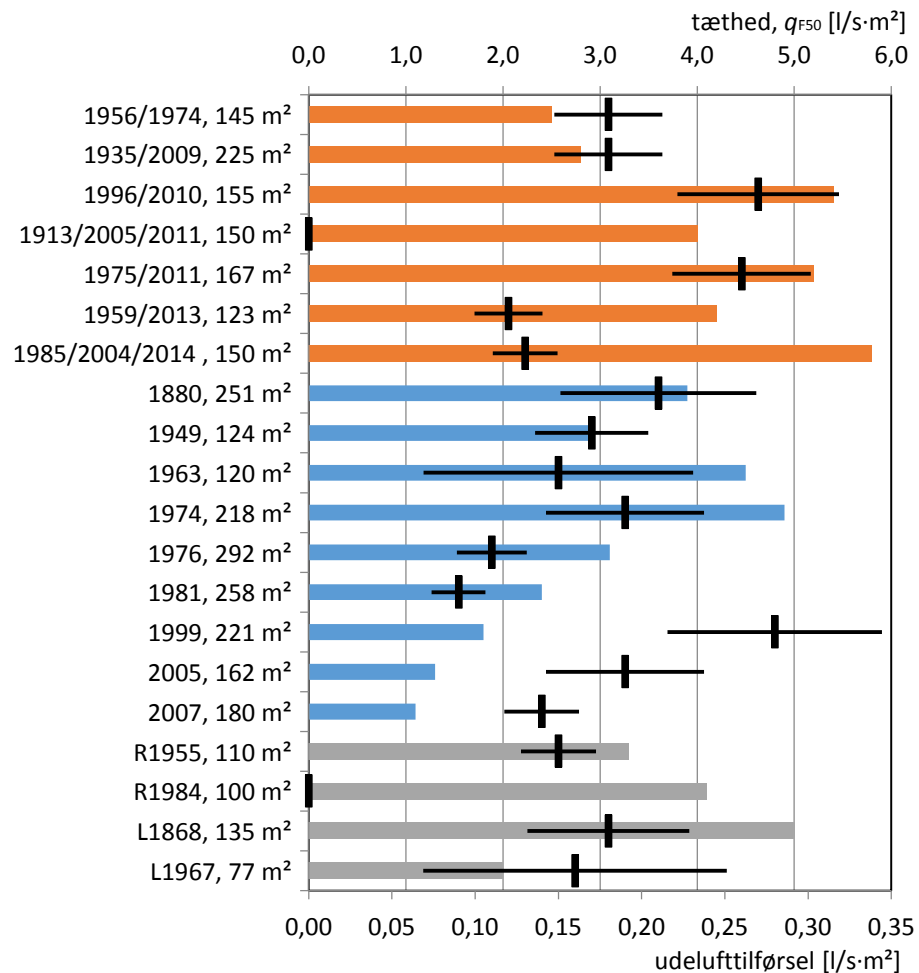
For boliger, som er opført før indførelsen af tæthedskravene i 2006, er der ikke krav til klimaskærmens tæthed.

Ligeledes stiller Bygningsreglementet ikke krav til klimaskærmens tæthed ved renoveringer (BR15, kap 7.2.1, stk. 6).

Tidligere undersøgelser

I en tidligere undersøgelse gennemført i efteråret 2015 (Mortensen & Bergsøe, 2016) blev der foretaget tæthedsprøvninger i 20 eksisterende boliger med naturlig ventilation, heriblandt 16 enfamiliehuse. I 18 af boligerne blev der desuden foretaget målinger af den gennemsnitlige ventilation i boligerne ved hjælp af passiv sporgasteknik.

Resultaterne af tæthedsprøvningerne var i intervallet 1,1-5,8 l/s·m² ved 50 Pa, og resultaterne af ventilationsmålingerne viste en udelufttilførsel på mellem 0,09 og 0,28 l/s pr. m² opvarmet etageareal. Resultaterne af såvel tæthedsprøvningerne som ventilationsmålingerne fra den tidligere undersøgelse er vist i figur 2.



Figur 2. Gengivelse af figur 8 fra Mortensen & Bergsøe (2016), der viser en sammenstilling af måleresultaterne af tæthedsprøvningerne og ventilationsmålingerne. De udfyldte bjælker viser tæthederne efter den øverste akse (q_{F50}), mens ventilationen er udtrykt ved de sorte streger efter nederste akse (udelufttilførsel). Stregens midte viser resultatet, mens udbredelsen viser usikkerheden. De øverste orange bjælker er boliger, hvor der er sket tilbygning eller renovering. De blå er enfamiliehuse og nederst med grå fremgår rækkehus (R) og lejligheder (L). I én renoveret bolig og i ét rækkehus er der ikke foretaget ventilationsmåling.

I den tidligere undersøgelse viste termografering i forbindelse med tæthedsprøvningerne, at mange af utæthederne forekom i forbindelse med elinstallationer, emhætteaftræk og skorstene til brændeovn, som gennembryder tæthedsplanet. Herudover blev der observeret utætheder omkring ældre vinduer og døre. Ved lofter var de primære utætheder ved listeloft og loftlemme.

Metode

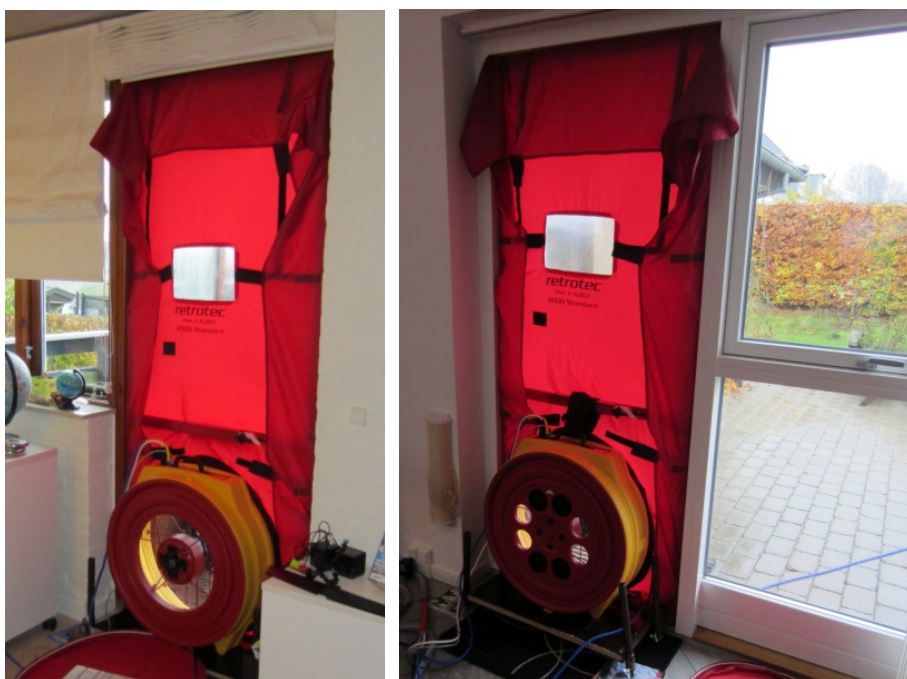
Herunder gives en kort beskrivelse af tæthedsprøvning og ventilationsmåling med passiv sporgasteknik. Begge afsnit er baseret på tidligere beskrivelser (Mortensen & Bergsøe, 2016).

Tæthedsprøvning

I daglig tale betegnes en tæthedsprøvning ofte en *blower door*-test.

I korte træk foretages en tæthedsprøvning ved, at en yderdør i bygningen åbnes, og der i dørhullet monteres en ventilator (en *blower door*), som kan skabe henholdsvis undertryk og overtryk. Inden en prøvning skal tilsigtede åbninger i klimaskærmen, som fx udeluftventiler, lukkes. Hvorvidt de også skal forsegles eller blot lukkes, afhænger af formålet med prøvningen. Ventilationen skal afbrydes, og emhætte, brændeovn,orstene mv. skal forsegles eller tættes inden prøvning. Det skal sikres, at der er vand i vandlåsene i gulvafløb.

Det statiske differenstryk skal fastlægges både før og efter trykprøvningen. Middelværdierne af positive, negative og alle målte statiske differenstryk over mindst 30 sekunder må maksimalt være 5 Pa. Det skyldes typisk vejrforholdene, navnlig vindpåvirkning af bygningen, hvis denne grænse ikke kan overholdes. Der opnås normalt mindre usikkerhed på resultaterne ved målinger i stille vejr.



Figur 3. Ventilatoren til *blower door*-udstyret vist med to forskellige gennemstrømningsåbninger. I situationen til højre er gennemstrømningsarealet reduceret i forhold til situationen til venstre. Ved små bygninger (lille bygningsvolumen) eller ved tæt klimaskærm er det nødvendigt at begrænse ventilatorens ydelse gennem reduktion af gennemstrømningsarealet.

Under prøvningen påføres trykforskelle mellem indeklimaet i boligen og klimaet udendørs, og ved at måle hvor meget luft der skal tilføres eller fjernes fra bygningen for at opretholde trykforskellen, kan klimaskærmens tæthed bestemmes. Der udføres to måleserier; en med undertryk og en med over-

tryk i bygningen i forhold til de udendørs omgivelser. Målepunkterne benyttes til at bestemme sammenhængen mellem den påførte trykforskel over bygningens klimaskærm og luftstrømmen gennem ventilatoren. Det bruges til at kvantificere utætheden af bygningen i henhold til standarden DS/EN ISO 9972. Disse beregninger kan eventuelt foretages ved hjælp af medfølgende programmer til *blower door*-udstyret.

Forberedelse af tæthedsprøvning

Den gældende standard DS/EN ISO 9972 beskriver tre metoder til prøvning af klimaskærmens tæthed. Metode 3 er til prøvninger med specifikt formål, fx overholdelse af BR-krav.

Af BR15, bilag 6 fremgår det, at trykprøvning af bygninger gennemføres i henhold til DS/EN ISO 9972. Kravene skal eftervises ved brug af Metode 3 i DS/EN ISO 9972, og i tabelform fremgår det, hvordan åbninger i klimaskærmen håndteres. Disse krav er gengivet i tabel 1.

Tabel 1. Det gengives, hvordan åbninger i klimaskærmen håndteres for trykprøvning efter Metode 3 i DS/EN ISO 9972, som angivet i bilag 6 til BR15.

Type af åbning i klimaskærm	Hvordan åbningen håndteres i forbindelse med trykprøvning
Åbninger for naturlig ventilation	Lukkes
Åbninger for centrale ventilationsanlæg eller lignende	Forsegles - Anlæg slukkes under måling
Åbninger til mekanisk ventilationsanlæg, der benyttes kortvarigt	Forsegles - Anlæg slukkes under måling
Vinduer, døre, lemme og lignende i klimaskærmen	Lukkes
Øvrige åbninger, der ikke er beregnet til ventilation	Lukkes - Vakuumentiler eller afløb uden vandlås forsegles

Det betyder, at ved en tæthedsprøvning efter DS/EN ISO 9972 skal alle justerbare åbninger i klimaskærmen være lukkede, mens andre tilsigtede åbninger skal være lukkede og forsegledede. I praksis betyder det, at vinduer og døre lukkes inden prøvning, og at udeluftventiler skal lukkes, men ikke forsegles. Indtag og afkast til det mekaniske ventilationsanlæg skal lukkes, hvilket normalt indebærer, at kanalerne skal afspærres ved hjælp af oppustelige blærer. Anden mekanisk ventilation som fx udsugning fra baderum og emhætte forsegles fordi sådanne åbninger normalt ikke er forsynet med mulighed for lukning. Bygningen, eller den del af bygningen, som skal tæthedsprøves, skal konfigureres, så den fungerer som en samlet zone. Det betyder, at alle forbindelsesåbninger, som fx døre, lofts- og skunklemme indenfor den opvarmede del af klimaskærmen skal være åbne.

Bygningsreglementet stiller ikke krav til virksomhedens eller den udførendes kvalifikationer for gennemførelse af tæthedsprøvninger, men det forudsættes, at *blower door*-metoden benyttes af fagfolk med erfaring i bygningsundersøgelser, bygningsfysik og byggeteknik. Det er et krav at følge DS/EN ISO 9972-standardens anvisninger til gennemførelse og dokumentation af trykprøvninger.

Målinger

Der er gennemført tæthedsprøvninger i 20 boliger. Målingerne er gennemført med 10 prøvninger i april/maj 2016 på Sjælland og 10 målinger i okto-

ber/november 2016 i Nordjylland. I kombination med målingerne i april/maj blev der gennemført ventilationsmålinger med passiv sporgasteknik.

Ventilationsmåling med passiv sporgasteknik

I tilknytning til tæthedsprøvningerne er der gennemført målinger af den gennemsnitlige ventilation i 10 af boligerne. Målingerne er gennemført ved hjælp af passiv sporgasteknik, den såkaldte PFT-metode, som giver et udtryk for den gennemsnitlige udelufttilførsel til boligerne, mens disse er i almindelig brug.

PFT-metoden er en passiv multi-sporgasmetode efter konstant-dosering-princippet. PFT står for Perfluorocarbon Tracer, idet de anvendte sporgasser er perfluorcarboner, som er organiske forbindelser af perfluoralkylcycloalkan-familien. Udsendelsen af sporgas sker kontinuert med en kendt rate og passivt fra nogle små sporgaskilder, se figur 4, mens registrering af den gennemsnitlige sporgaskoncentration i rumluften sker ved passiv opsamling i adsorptionsrør, se figur 5. En sporgaskilde består af et lille metalhylster, som er lukket i den ene ende med en silikoneprop, hvorigennem sporgassen diffunderer. Et adsorptionsrør består af et glasrør, som indeholder en adsorbent beslægtet med aktivt kul. Adsorptionsrørene analyseres i laboratoriet ved termisk desorption og gaschromatografi. Detektoren er en ECD, Electron Capture Detector. Målinger med PFT-metoden gennemføres over en periode, og resultatet af målingen er den gennemsnitlige ventilation i måleperioden. Afhængig af måleomstændighederne kan måleperiodens varighed være fra omkring et døgn og op til flere uger eller måneder.



Figur 4. Sporgaskilde til PFT-metoden.



Figur 5. Adsorptionsrør til PFT-metoden.

Resultater

Tabel 2 viser resultaterne af tæthedsprøvningerne i de undersøgte boliger.

Tabel 2. Resultater af tæthedsprøvninger i de undersøgte boliger.

(*) Hus nr. 7: Kælderen er inkluderet i prøvningen

(**) Hus nr. 11: Tætheden er kun bestemt ved undertryk

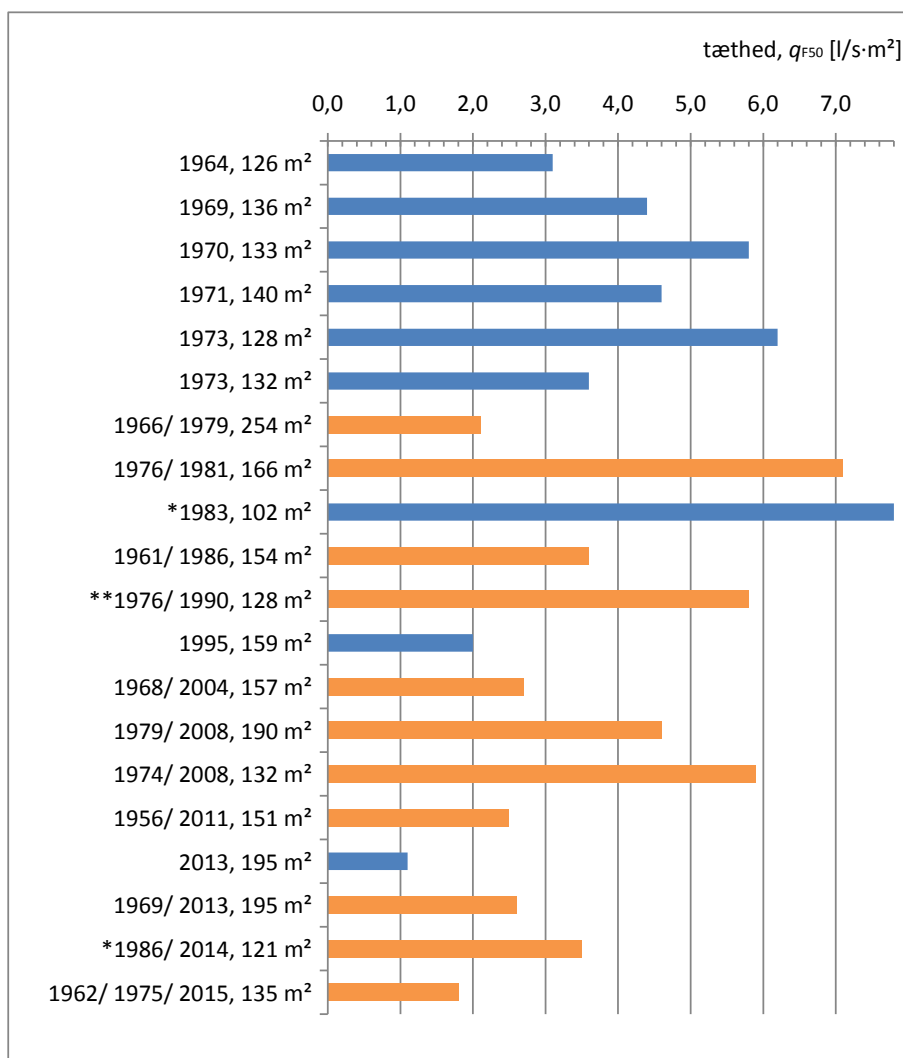
Nr.	Opførelsesår og evt. år for tilbygn./ renovering	Type	Etageareal [m ²]	Prøvnings- interval [Pa]	Tæthed, q_{F50} [l/s pr. m ²]
1	1964	Enfamiliehus	126	20 - 70	3,1
2	1969	Enfamiliehus	136	10 - 80	4,4
3	1970	Enfamiliehus	133	20 - 85	5,8
4	1971	Enfamiliehus	140	15 - 90	4,6
5	1973	Enfamiliehus	128	10 - 70	6,2
6	1973	Enfamiliehus	132	20 - 85	3,6
7*	1966 / 1979	Enfamiliehus	254	20 - 85	2,1
8	1976 / 1981	Enfamiliehus	166	20 - 75	7,1
9	1983	Rækkehus	102	20 - 85	7,8
10	1961 / 1986	Enfamiliehus	154	20 - 90	3,6
11**	1976 / 1990	Enfamiliehus	128	20 - 90	5,8
12	1995	Enfamiliehus	159	20 - 90	2,0
13	1968 / 2004	Enfamiliehus	157	20 - 85	2,7
14	1979 / 2008	Enfamiliehus	190	20 - 75	4,6
15	1974 / 2008	Enfamiliehus	132	20 - 85	5,9
16	1956 / 2011	Enfamiliehus	151	20 - 85	2,5
17	2013	Enfamiliehus	195	20 - 90	1,1
18	1969 / 2013	Enfamiliehus	195	20 - 90	2,6
19	1986 / 2014	Rækkehus	121	20 - 90	3,5
20	1962 / 1975 / 2015	Enfamiliehus	135	20 - 90	1,8

Af tabellen fremgår det, at alle resultaterne fra tæthedsprøvningerne ligger mellem 1,1 og 7,8 l/s·m² ved 50 Pa. Målingerne er gennemført i 20 boliger, heraf 18 fritliggende enfamiliehuse og to rækkehuse. Alle resultater er opnået ved prøvningsintervaller på mindst 50 Pa forskel mellem laveste og højeste påførte trykforskel.

Kun et enkelt af de tæthedsprøvede huse er så nyt, at der var krav til klimaskærmens tæthed ved opførelsen. Huset er opført i 2013, og der blev indført krav til bygningers tæthed med tillæg til bygningsreglementerne i 2006. De øvrige undersøgte bygninger er opført før 2006 og er derfor ikke omfattet af krav til tætheden på opførelsestidspunktet.

Målingen i bolig nr. 11 overholder ikke kravene til udførelsen af prøvningen i henhold til DS/EN ISO 9972. På grund af vindforhold var det kun muligt at gennemføre prøvningen med undertryk, og usikkerheden vil derfor være stor. Prøvningsprogrammet angiver en usikkerhed på ± 27 % på resultatet.

Resultaterne fremgår også af figur 6.



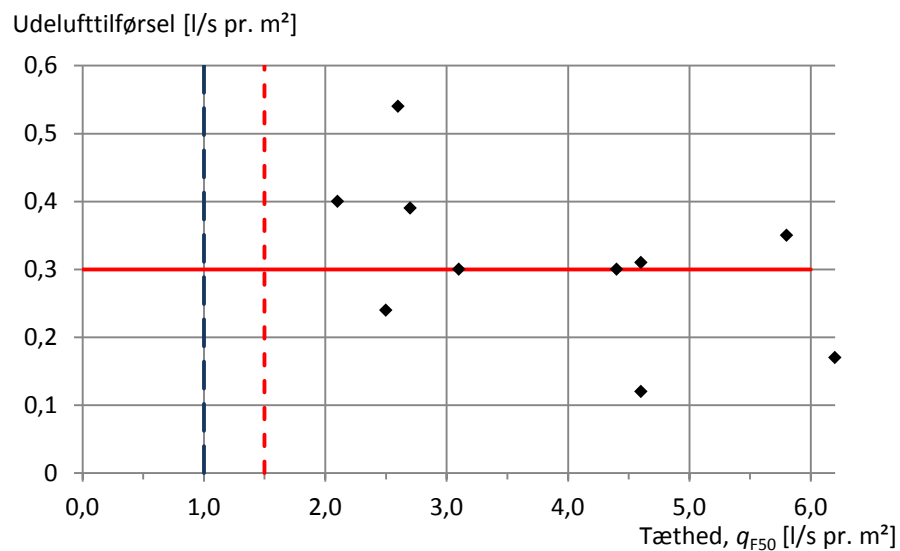
Figur 6. Oversigt over resultaterne af tæthedsprøvningerne i form af q_{F50} . De orange er boliger, hvor der er sket tilbygning eller større renoveringer. De blå er enfamiliehuse uden renoveringer, og de to med stjernemarkering (*) er rækkehuse. Ved markeringen (**) er tætheden for boligen kun bestemt ved undertryk. Resultaterne er grupperet efter opførelsesår eller seneste til- eller ombygningsår.

Formålet med undersøgelsen var at identificere de primære utætheder i boligerne. Utæthederne er opsummeret i tabel 3, hvor også resultatet af tæthedsprøvningen for den pågældende bolig er angivet. Utæthederne er identificeret ved termografering, visuel inspektion og røg.

Tabel 3. Primære utætheder fundet i forbindelse med trykprøvning af eksisterende boliger, svarende til tabel 2.

Nr.	Tæthed, q_{F50} [l/s pr. m ²]	Beskrivelse af primære utætheder
1	3,1	Mange utætheder ved vinduer, indbygning. Loflflem meget utæt.
2	4,4	Utæt ved ydervægge mod gulv og loft. Lidt utæt ved skillevægge og utæt omkring lofflem og lidt utæt ved lampeudtag og stikkontakter.
3	5,8	Meget utæt ved blændpartier til udluftning i vinduespartier, omkring yderdøre og ved loft. Træk ved rem.
4	4,6	Ved lette vinduespartier over brystning er der fundet store utætheder ved blændpartier til udluftning.
5	6,2	Meget utæt ved ydervægge mod gulv og loft, samt ved skillevægge mod loft. Særligt utæt i den ene ende af huset. Vinduer tætte, men utætte ved indbygning. Lampeudtag i loft meget utætte og lofflem lidt utæt.
6	3,6	Utæt ved ydervægge mod loft og delvist ved gulv. Desuden utæt ved radiatorrør, skorsten og lofflem.
7	2,1	Utætheder omkring badeværelsesvinduer og ved hoveddør og brevsprække. Kælder medtaget, dvs. forventet lavere tæthedsresultat
8	7,1	Meget utæt mod loft ved ydervægge, og utæt ved skillevægge og gulv. Desuden utæt ved vinduer og særligt utæt ved døre til udestue. Der er kælder under en lille del af huset, og der er meget utæt mod denne.
9	7,8	Meget utæt mod loft, både ved ydervægge og skillevægge, og meget utæt mod krybekælder. Desuden også meget utæt omkring hoveddør og loftslem. Generelt mange utætheder.
10	3,6	Meget utæt ved ydervægge mod loft. Lampeudtag i loft meget utætte, et enkelt vindue med defekt tætningsbånd er meget utæt.
11	5,8	En dør med defekt tætningsbånd er meget utæt, og nogle spots er meget utætte. Desuden en del utæthed ved loft mod ydervæg.
12	2,0	En dør med defekt tætningsbånd er meget utæt, og nogle spots er meget utætte. Desuden en del utæthed ved loft mod ydervæg.
13	2,7	Utætheder ved synlige revner, lampeudtag og lofflem.
14	4,6	Utætheder ved ydervægge mod loft og ved indvendige skillevægge, ved oplukkelige vinduer og ved gennemførsler til lampeudtag og skorsten.
15	5,9	Mange utætheder mod loft, mest ved ydervægge, men også delvist ved skillevægge. Ved nedrevet indervæg mangler dampspærren, og der er meget utæt mod loftet. Lofflem og installationsgennemføringer er meget utætte.
16	2,5	Utæt ved gulv og stikkontakter. Meget utæt ved gulvpaneler.
17	1,1	Kun mindre utætheder
18	2,6	Utætheder primært ved pejs og emhætte samt lampeudtag.
19	3,5	Utæt ved ydervægge mod loft. Lampeudtag og lofflems desuden utæt.
20	1,8	Utæt ved gulv og stikkontakter.

Figur 7 viser resultaterne af målinger af den gennemsnitlige udelufttilførsel i de 10 boliger, hvor der blev foretaget måling af ventilationen, sammenholdt med resultaterne af tæthedsprøvningerne. De målte resultater er i intervallet fra 0,12 til 0,54 l/s·m² og den gennemsnitlige udelufttilførsel i de 10 boliger er på 0,31 l/s·m².



Figur 7. Udelufttilførsel vs. klimaskærmens tæthed. Hver af de 10 boliger er repræsenteret med en sort firkant. Den vandrette, røde, fuldt optrukne linje angiver bygningsreglementets krav til udelufttilførslen i boliger. De lodrette, stiplede linjer angiver bygningsreglementets krav til klimaskærmens tæthed; den røde angiver BR10-kravet, og den blå angiver BR15-kravet.

Målingerne af ventilationen i boligerne er foretaget i april/maj 2016, hvor det var udsædvanligt varmt for årstiden. Figur 7 viser, at der ikke kan ses nogen sammenhæng mellem klimaskærmens tæthed og udelufttilførsel.

Diskussion

Tæthedsprøvninger

Resultaterne af tæthedsprøvningerne viser, at der er store forskelle i klimaskærmens tæthed. Resultaterne af tæthedsprøvningerne er mellem $q_{F50}=1,1$ og $q_{F50}=7,8$ l/s·m² i de testede boliger, som er opført mellem 1956 og 2013.

Boligen, som er opført i 2013, overholder med $q_{F50}=1,1$ l/s pr. m² BR10-kravet til klimaskærmens tæthed, og overholder næsten BR15-kravet. Alle øvrige trykprøvninger viser værdier for klimaskærmens tæthed, der ikke overholder de gældende krav, men boligerne er opført før indførelsen af tæthedskravene i 2006, så de er ikke omfattet af krav til klimaskærmens tæthed, heller ikke hvis de senere er blevet renoveret.

To af de tæthedsprøvede boliger er rækkehuse. Normalt er der god tæthed mellem boliger i rækkehuse, og derfor er der ikke opretholdt neutraltryk i naboboligerne. Resultaterne for de to rækkehuse i denne undersøgelse var $q_{F50}=3,5$ og $q_{F50}=7,8$ l/s·m², hvor det sidste var den højeste værdi for specifik lufttæthed målt i denne undersøgelse. Den høje værdi blev målt i en bolig med krybekælder, den eneste i undersøgelsen. Generelt blev der observeret mange utætheder i boligen, især mod krybekælderen.

I de fritliggende enfamiliehuse viste trykprøvningerne værdier mellem $q_{F50}=1,1$ og $q_{F50}=7,1$ l/s·m². Den højeste værdi blev målt i en bolig med kælder i en lille del af huset, og der blev observeret utætheder mod kælderen. I den senest renoverede bolig, der blev renoveret i 2015, er der målt $q_{F50}=1,84$ l/s·m², den laveste værdi for en renoveret bolig. Resultaterne tyder på, at indførelsen af tæthedskrav til nybyggeri kan have en afsmittende effekt på tætheden af samlinger generelt, også ved renovering, så der kan opnås større tætheder.

I Figur 6 vises alle resultaterne, sorteret efter opførelsesår eller år for seneste større renovering. For ikke-renoverede boliger antydes en tendens mod stigende utæthed frem mod 1980'erne, mens der for de renoverede boliger antydes en tendens mod større tæthed fra 1981 til 2015, særligt i den sidste del af perioden. Materialet er dog lidt for spinkelt til at kunne af- eller bekræfte den antydede tendens.

Primære utætheder

De primære utætheder er identificeret ved brug af termografering, visuel inspektion og røg. Det har stor betydning for det endelige energibehov ved mekanisk ventilation, at der i forbindelse med installationen rettes særlig opmærksomhed på at mindske utætheder. Dette gælder især, hvis ventilationskanalerne tænkes anbragt i et uudnyttet loftsrum.

Kælder/krybekælder

De største utætheder blev fundet i boliger med henholdsvis delvis kælder og krybekælder. Resultaterne kan tyde på, at der er behov for, at opmærksomheden rettes mod etageadskillelsen mellem kælder/krybekælder og beboelse.

Tætning mod loft

I boliger med målt $q_{F50} > 4,0$ l/s·m² blev der i de fleste tilfælde observeret store utætheder mod loftet; både mod ydervægge og mod indvendige vægge. Samme tendens er observeret i boliger med trælofter. I forbindelse med efterisolering af loftet bør der være fokus på tætning af dampspærren og samlingerne mellem ydervægge/skillevægge og lofter.

Blændpartier til udluftning

I nogle parcel-/typehuse fra perioden 1960-1976 var det almindeligt at benytte blændpartier til udluftning. I denne undersøgelse er der foretaget trykprøvning af to boliger med blændpartier, og i begge tilfælde er der observeret store utætheder omkring disse. Derfor bør der i boliger med blændpartier til udluftning sættes fokus på at sikre en god tætning omkring disse.



Figur 8. Blændparti til udluftning i parcel-/typehus fra perioden 1960-1976.

Døre/vinduer

Der er i nogle boliger fundet store utætheder ved vinduer og døre. Det skyldes ofte defekte tætningsbånd, og ældre hoved- og havedøre i dårlig stand. I visse tilfælde var vinduerne tætte, men indbygningen omkring disse var utætte. Der er derfor stadig behov for ekstra fokus på tætning omkring vinduer og døre ved renoveringer.

Lampeudtag og loftslem

Ved lampeudtag og indbygningsspot i loftet observeres ofte utætheder. Det samme gælder ved loftslemme. Ved flere af trykprøvningsene var det nødvendigt at gøre loftslemmen fast under prøvningen, da den ellers ville kunne blive åbnet af trykforskellen. Tætheden omkring loftslemmen kan ofte forbedres, ligesom tætning omkring gennembrydninger i loftet til lampeudtag og indbygningsspot.

Stikkontakter og installationsgennemføringer

Det er almindeligt med utætheder omkring installationsgennemføringer som fx varmerør, elinstallationer, skorstene mv.

Ventilationsmålinger

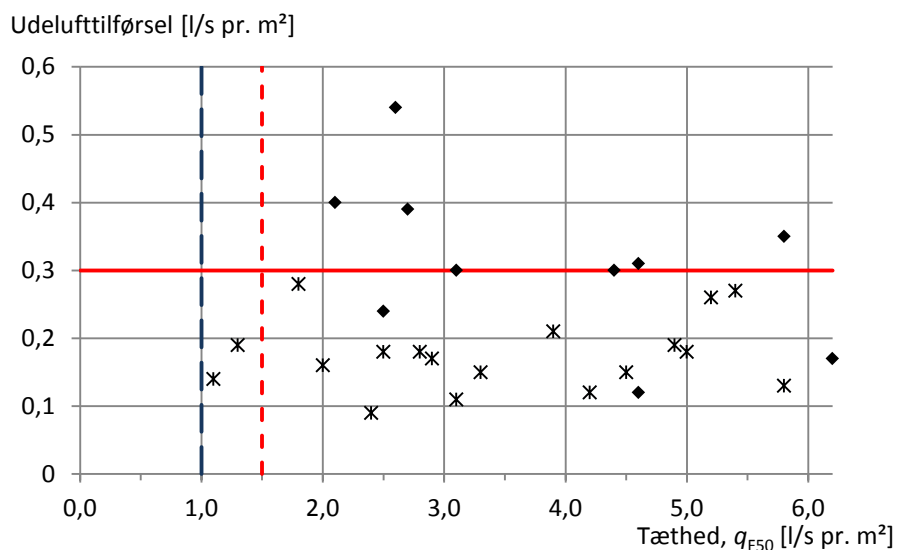
Formålet med at ventilere er at tilfredsstille menneskers behov for indeluft af acceptabel kvalitet samt at kontrollere fugtforholdene. Resultaterne af ventilationsmålingerne ses af figur 7, som viser en gennemsnitlig udelufttilførsel i de 10 boliger på 0,31 l/s·m². Det betyder, at som gennemsnit for boligerne overholdes bygningsreglementets krav på 0,31 l/s·m², men i tre af boligerne var udelufttilførslen lavere end 0,3 l/s pr. m². De 10 boliger er opført i perioden 1956 -1979, hvor der ikke var indført krav til luftskifte i boliger, der var

blot krav om mulighed for ventilation ved fx vinduesåbninger, døre, lemme eller udeluftventiler. Derfor er boligerne ikke omfattet af nuværende krav.

Ventilationsmålingerne i de 10 boliger er foretaget i april/maj 2016, hvor det var udsædvanligt varmt for årstiden. Det kan derfor forventes, at der har været hyppig åbning af vinduer og døre i perioden. Figur 7 viser ikke umiddelbart sammenhæng mellem klimaskærmens tæthed og udelufttilførsel, da selv boliger med en relativt utæt klimaskærm med værdier for den specifikke lufttæthed omkring 5 l/s·m² ikke har større udelufttilførsel end boliger med specifikke lufttætheder mellem 2 og 3 l/s·m².

Da der i denne undersøgelse ikke kan påvises en sammenhæng mellem klimaskærmens tæthed og udelufttilførslen, blev det valgt kun at gennemføre ventilationsmålinger i den første periode for trykprøvningerne i april/maj.

Figur 9 viser en sammenstilling af resultaterne af nærværende undersøgelse og resultater fra en tidligere undersøgelse (Mortensen & Bergsøe, 2016).



Figur 9. Udelufttilførsel vs. klimaskærmens tæthed. Resultater fra nærværende undersøgelse er markeret med sorte ruder, mens resultater fra en tidligere undersøgelse er markeret med stjerne, (Mortensen & Bergsøe, 2016). Den vandrette, røde, fuldt optrukne linje angiver bygningsreglementets krav til udelufttilførslen i boliger. De lodrette, stiplede linjer angiver bygningsreglementets krav til klimaskærmens tæthed; den røde angiver BR10-kravet, og den blå angiver BR15-kravet.

Af figur 9 fremgår det, at resultaterne af ventilationsmålingerne i denne undersøgelse typisk viser højere udelufttilførsel end i den tidligere undersøgelse. En mulig forklaring er det varme vejr under målingerne i denne undersøgelse og den deraf forventede større udluftning. Den tidligere undersøgelse blev gennemført fra oktober til december 2015.

I den tidligere undersøgelse blev der heller ikke fundet sammenhæng mellem resultatet af målingen af klimaskærmens tæthed og resultatet af målingen af husets gennemsnitlige udelufttilførsel. Ventilationen i naturligt ventilerede enfamiliehuse er præget af beboernes adfærd og udetemperaturen.

Konklusion

Der er gennemført undersøgelser i 20 eksisterende enfamiliehuse opført mellem 1956 og 2013. I samtlige huse er der foretaget prøvninger af klimaskærmens tæthed ved hjælp af *blower door*-metoden, og i 10 af husene er der gennemført målinger af den gennemsnitlige udelufttilførsel ved hjælp af passiv sporgasteknik.

Klimaskærmens tæthed i de eksisterende boliger er målt til at være i intervallet 1,1 til 7,8 l/s pr. m² opvarmet etageareal. Høje målte værdier for klimaskærmens specifikke lufttæthed er ensbetydende med de mest utætte boliger. Der er dog stor variation i tætheden i eksisterende boliger

Tæthedsprøvninger

Resultater af tæthedsprøvningerne viser, at der er store forskelle i klimaskærmens tæthed i de undersøgte boliger. Resultaterne af tæthedsprøvningerne viser q_{F50} mellem 1,1 l/s pr. m² og 7,8 l/s·m². Bygningsreglementets krav til nye bygninger er 1,0 l/s pr. m². Boliger opført før indførelsen af tæthedskravene i 2006 er ikke omfattet af krav til klimaskærmens tæthed. Der er heller ikke krav til klimaskærmens tæthed i renoverede boliger.

Den nyeste bolig, opført i 2013, overholdt BR-kravet, mens alle øvrige tæthedsprøvninger, som forventet, viser værdier for klimaskærmens tæthed, der er over bygningsreglementets krav. To boliger viste q_{F50} på henholdsvis 7,1 l/s pr. m² og 7,8 l/s·m², og i begge tilfælde har boligen delvis kælder eller krybekælder. Der blev i begge boliger observeret utætheder mod kælderen/krybekælderen.

I den senest renoverede bolig, renoveret i 2015, er q_{F50} målt til 1,8 l/s·m², hvilket også er den laveste værdi for en renoveret bolig. Resultatet kan antyde, at indførelsen af tæthedskrav til nyopførte boliger kan have en afsmitende effekt på den opnåede tæthed også ved renovering.

Resultaterne antyder endvidere, at ikke-renoverede boliger tilsyneladende er stigende utætte frem mod 1980'erne, mens de renoverede boliger er stigende tætte fra 1981 til 2015 og særligt i den sidste del af perioden. Datamaterialet er dog spinkelt.

Primære utætheder

I forbindelse med tæthedsprøvning af boligerne er de primære utætheder identificeret ved brug af termografering, visuel inspektion og røg. Det vil have stor betydning for energiforbruget ved etablering af ventilation i boligerne, hvor kanalerne kan trækkes på det uudnyttede loftrum, hvis der først sættes fokus på at mindske utæthederne. Derfor er der i denne undersøgelse sat fokus på at identificere de primære utætheder i de undersøgte boliger.

Der blev i undersøgelsen primært fundet utætheder ved etageadskillelsen mod kælder/krybekælder, ved tætning mod loftet ved såvel ydervægge som skillevægge, ved parcel-/typehuse med blændpartier til udluftning sås store

utætheder, ved eller omkring døre og vinduer og ved dårlig stand af døre og vinduer, samt ved gennembrydning af dampspærre mod loftet ved lampeudtag, indbygningsspot og loftslem, og desuden ved installationsgennemføringer, som radiatorrør, elinstallationer, skorstene mv. ved gennembrydning af tæthedsplanet.

Ventilationsmålinger

Bygningsreglementskravet er til udelufttilførsel er på 0,3 l/s·m², og resultaterne viste en gennemsnitlig udelufttilførsel i de 10 boliger på 0,31 l/s·m², så som gennemsnit overholdes bygningsreglementets krav, men 3 af boligerne havde mindre udelufttilførsel. De 10 boliger er opført i perioden 1956 -1979, hvor der ikke var indført krav til luftskifte i boliger, der var blot krav om mulighed for ventilation, og derfor er boligerne ikke omfattet af nuværende krav.

Ventilationsmålingerne i de 10 boliger er foretaget i april/maj 2016, hvor det var udsædvanligt varmt for årstiden. Det forventes derfor, at der har været hyppigere åbning af vinduer og døre til naturlig ventilation af boligerne i perioden. Der er ikke fundet sammenhæng mellem klimaskærmens tæthed og udelufttilførsel, da selv boliger med en relativt utæt klimaskærm med værdier for den specifikke lufttæthed omkring 5 l/s·m² ikke har større udelufttilførsel end boliger med specifikke lufttætheder mellem 2 og 3 l/s·m². I en tidligere undersøgelse er der heller ikke fundet sammenhæng mellem klimaskærmens tæthed og udelufttilførsel (Mortensen & Bergsøe, 2016). Dermed antydes det, at ventilationen i naturligt ventilerede enfamiliehuse primært er styret af beboernes adfærd.

Mekanisk ventilation i boliger

De nuværende energikrav til nye boliger peger mod, at der i fremtiden opføres færre naturligt ventilerede enfamiliehuse. Modsat dette har de fleste af de eksisterende boliger oprindeligt naturlig ventilation.

Etablering af mekanisk ventilation kan være et ønske, og det kan give bedre luftkvalitet, men det vil også øge ventilationstabet i boligen og kan måske føre til trækgener. Der bør ved etablering af mekanisk ventilation være stort fokus på tætheden af bygningen for at mindske infiltrationen, som influerer på det ukontrollerede ventilationstab, hvor varmen ikke genvindes. Dermed vil en mekanisk ventileret bolig med en tæt klimaskærm have mindre energiforbrug end en tilsvarende bolig med en mindre tæt klimaskærm.

Ved etablering af mekanisk ventilation i eksisterende boliger bør der være ekstra fokus på at sikre tæthed af klimaskærmen for at mindske energiforbruget. Resultaterne af denne undersøgelse peger på, at der i eksisterende boliger bør sættes særligt fokus på seks områder for at opnå en mere tæt klimaskærm:

1. Hvis der er uopvarmet kælder/krybekælder i boligen, bør der sættes fokus på tætheden i etageadskillelsen mod kælder/krybekælder.
2. Der observeres mange utætheder i samlingerne mod loftet, enten ved ydervægge, skillevægge eller begge steder. Derfor anbefales det, at der sættes fokus på tætning af samlingerne mod loftet.
3. Hvis boligtypen indeholder blændpartier til udluftning, bør der være særlig fokus på tætning omkring denne.

4. Døre og vinduer forbindes ofte med en del utætheder. Det kan både skyldes defekte tætningsbånd og manglende tætning ved indbygning i ydervægskonstruktionen, samt behov for udskiftning.
5. Der observeres ofte problemer med utætheder omkring gennem-brydninger af dampspærren ved loftet. Dette ses særligt omkring loftslemme, lampeudtag og indbygningsspot. Derfor bør der være særligt fokus på tætning af dampspærren ved gennem-brydning.
6. Installationsgennemføringer som varmerør, vandrør, ventilationskanaler (herunder emhætteaftræk), elinstallationer, skorstene mv. bør altid ske med ekstra fokus på at sikre tætheden, der hvor tæthedsplanet gennem-brydes.

Referencer

Bekendtgørelse nr. 810 af 28/6/2010: *Bekendtgørelse om offentliggørelse af bygningsreglement 2010 (BR10)* (med ændringer). København: Erhvervs- og Byggestyrelsen.

Bekendtgørelse nr. 1601 af 14/12/2015. *Bekendtgørelse af offentliggørelse af bygningsreglement 2015 (BR15)*. København: Trafik og Byggestyrelsen.

Dansk Standard. (2015). *Bygningers termiske ydeevne - Bestemmelse af bygningers luftgennemtrængelighed - Prøvningsmetode med overtryk skabt af ventilator (DS/EN ISO 9972:2015)*. København.

Bergsøe, N.C. (1992). *Passiv sporgasmetode til ventilationsundersøgelser: Beskrivelse og analyse af PFT-metoden (SBI-rapport 227)*. Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Bergsøe, N.C. (2011). *BR's boligventilationskrav. Beherskes kravene og efterleves de i nye boliger?: Tekniske samtaler. Nye målinger (SBI2011:21)*. Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet.

Mortensen, L. H., & Bergsøe, N. C. (2016). Tæthed af klimaskærmen i eksisterende boliger. Kbh.: SBI forlag. (SBI, Vol. 2016:17).

Lufttætheden af en bygnings klimaskærm har afgørende betydning for bygningens energiforbrug, ikke mindst hvis man anvender mekanisk ventilation med varmegenvinding. Denne rapport præsenterer resultaterne af en undersøgelse af lufttæthed og ventilation i en række enfamiliehuse med opførelsesår fra 1956 til 2013. Lufttætheden (q_{F50}) i de undersøgte bygninger varierer fra 1,1 til 7,8 l/sm² ved 50 Pa, mens udelufttilførslen varierer fra 0,1 til 0,5 l/sm². Utæthederne viser sig særligt at forekomme i eventuel etageadskillelse mod kælder/ krybekælder, i samlinger mod loftet, ved blændpartier til udluftning, ved døre og vinduer, ved gennem-brydninger af dampspærre i loftet, samt ved installationsgennemføringer. Undersøgelsens resultater kan ikke dokumentere nogen sammenhæng mellem en given boligs lufttæthed og udelufttilførslen. På den baggrund kan man formulere en hypotese om, at udelufttilførslen i højere grad bestemmes af beboervaner end af bygningens tekniske ydeevne.

1. udgave, 2017
ISBN 978-87-563-1841-9