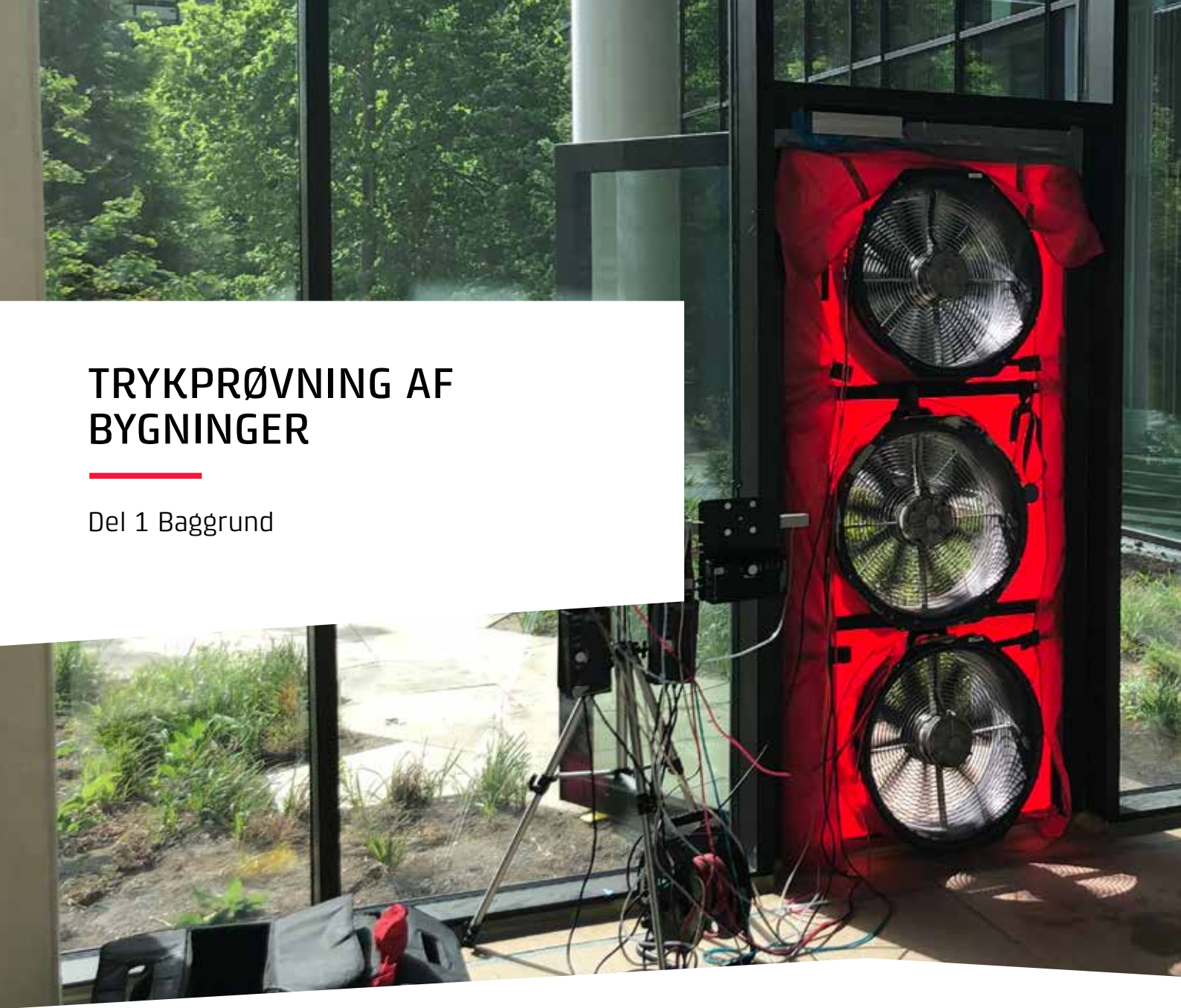


# TRYKPRØVNING AF BYGNINGER

---

Del 1 Baggrund



**Titel**

Trykprøvning af bygninger - Baggrund

**Udgivelsesår**

2021

**Forfattere**

Thor Hansen, Teknologisk Institut  
Lies Vanhoutteghem, Teknologisk Institut  
Bent Bagge Nøhr, Dansk Infrarød Inspektion A/S  
Lars Due, Isolink ApS

**Layout & tryk**

Teknologisk Institut

**Forsidebillede**

Trykprøvning af bygning

**Foto**

Teknologisk Institut

**ISBN**

**TEKNOLOGISK  
INSTITUT**



Dansk **Infrarød**  
INSPEKTION

**ISOLINK**  
BlowerDoor • Termografering

# Indhold

Forord	4
<b>Indledning</b>	
Baggrund	6
Formål	6
Målgruppe	6
<b>Definitioner</b>	
Byggeriets hierarki	8
Bygning	9
Trykprøvning	13
<b>Baggrundsviden</b>	
Indeklima og komfort	18
Energiforbrug og økonomi	22
<b>Regler og krav</b>	
Bygningsreglement	24
Passivhuse	28
<b>Udstyr</b>	
Udstyr til trykprøvning	30
Egenkontrol og kalibrering	31
Udstyr til luftlækagesøgning	35
<b>Materialer</b>	
Etablering af tæthedspan	36
Membraner	37
Plader	38
Samlinger	39
Relevant baggrundsviden	40
Litteraturliste	42

# Forord

---

En stor del af det danske energiforbrug går til opvarmning af vores bygningsmasse, hvormed det er vigtigt at vi sikrer mindst muligt varmetab. Noget af varmetabet kan reduceres ved at begrænse utæthederne i klimaskærmen, som medfører volumenstrømme af varm luft. For at begrænse dette varmetab er der i Bygningsreglementet stillet krav til disse utætheder. Utæthederne kan måles ved, at der udføres en trykprøvning af bygningen og dermed kan volumenstrømmen beregnes og sammenholdes med kravet. Det er derfor vigtigt, at disse test udføres korrekt og så vidt muligt ensformigt. Det er formålet med denne vejledning del 1 og 2, at der kan skabes en fælles baggrund for udførelsen af trykprøvninger.

Vejledningen er udarbejdet af:

- Thor Hansen, Teknologisk Institut
- Lies Vanhoutteghem, Teknologisk Institut
- Bent Bagge Nøhr, Dansk Infrarød Inspektion A/S
- Lars Due, Isolink ApS

Vejledningens indhold er gennemarbejdet i samarbejde med brancheforeningen Danske Bygningskonsulenter – Faggruppen Klimaskærm. Input er modtaget primært fra:

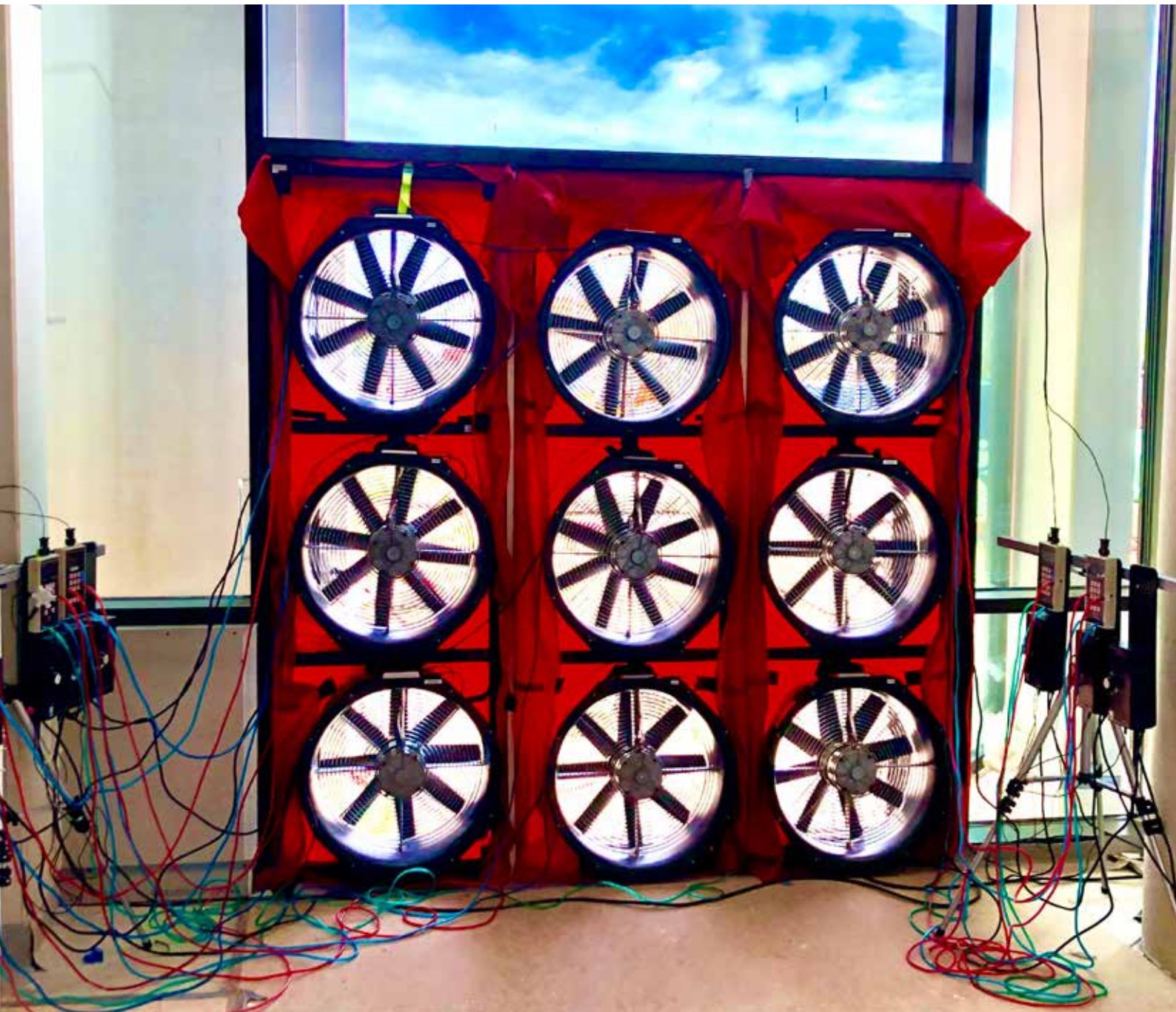
- Vivi Gilsager, Jysk Trykprøvning A/S
- Kasper Rudolfsen, CB Group ApS
- Kurt Lynge Christensen, Dansk Bygningsrådgivning
- Rasmus Jansson, TA inspektion

Derudover har vejledningen været til gennemlæsning hos følgende aktører i byggebranchen inden udgivelsen:

- Walter Sebastian, NCC Danmark A/S
- Morten Hjørsløv Hansen, Foden BYG-ERFA
- Allan Hansen, Energistyrelsen, Center for energiadministration

Vejledningen er støttet økonomisk af Realdania samt Bolig- og Planstyrelsen. Videncenteret Bolius har bidraget med videreformidling.





# Indledning

---

## Baggrund

For at mindske varmetabet i vores bygninger er der i Bygningsreglementet angivet krav til størrelsen af utætheder i nye bygninger. Samtidigt er det vigtigt at sikre et godt indeklima i vores bygninger, til det er det nødvendigt med et vist luftskifte af indeluften. Dette luftskifte bør hovedsageligt skabes ved kontrolleret ventilation, enten i form af mekanisk eller naturlig ventilation – dog sker der også et luftskifte igennem de utilsigtede utætheder i bygningen. Den mekanisk ventilation sker igennem etablerede ventilationsanlæg, hvor det naturlige sker manuelt ved åbning af vinduer/døre i bygningen og ved utætheder i form af revner og sprækker. Utæthederne bør begrænses i videst mulige omfang. Omfanget af utæthederne og placeringerne kan bestemmes/lokaliseres ved en trykprøvning af bygningen.

## Formål

Formålet med vejledningerne "Trykprøvning af bygninger" er at skabe et fælles grundlag til virksomheder, der udfører trykprøvninger af bygninger, hvormed der så vidt muligt kan sikres en standardiseret målemetode, fælles forståelse og ensartet kvalitet af udførte trykprøvninger i huse, etageejendomme, kontorbyggeri m.m.

Siden 2006 har der i Bygningsreglementet været krav til bygningens tæthed, for at mindske energiforbruget i bygningen. Ved at sikre ensartede trykprøvninger og begrænse utætheder i byggeriet, skabes der et grundlag for at mindske energiforbruget samtidig med at der sikres et bedre indeklima i bygningerne ved øget komfort og risikoen for fugtrelaterede skader i konstruktionerne mindskes.

Derudover skal vejledningerne sikre et ensartet grundlag for tæthedsmålinger, som stemmer overens med gældende standarder og understøtter de krav til tæthed der fremsættes i Bygningsreglementet.

## Målgruppe

Vejledningerne er primært rettet mod personer, som udfører trykprøvninger af bygninger for at højne kvaliteten af udførelsen. Derudover vil professionelle bygherrer samt andre aktører kunne anvende vejledningerne til kvalitetssikring og de krav, der stilles til udført trykprøvning af en given bygning.



# Definitioner

---

I følgende kapitel beskrives de generelle definitioner, som anvendes i forbindelse med trykprøvning af bygninger.

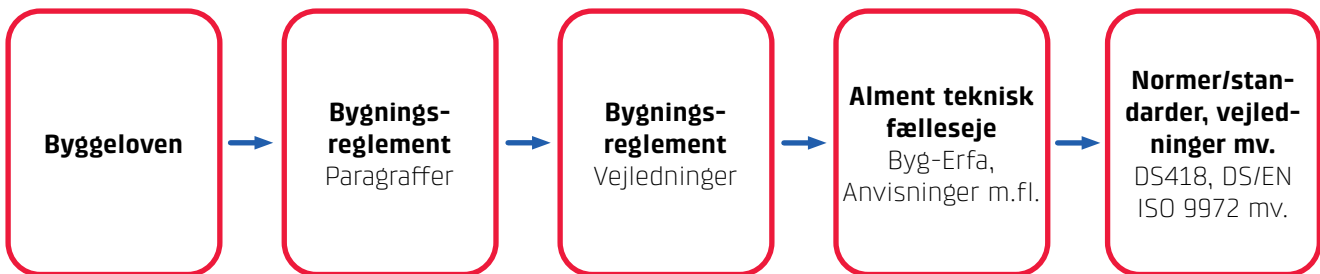
## Byggeriets hierarki

Der er i nedenstående Figur 2.1 illustreret hierarkiet for myndighederne for byggeriet.

Den overordnet byggelovgivning er defineret med krav i byggeloven af byggemyndighederne. Byggeloven bliver udspecificeret i Bygningsreglementet i form af paragraffer, til paragrafferne er der tilknyttet nogle vejledninger for uddybning og forklaring. Næste niveau er hvad der betegnes som det "Alment teknisk fælleseje", dette er erfaringer for byggeriet (praktiske erfaringer, faglitteratur, undersøgelsesteknikker mv.) som er god skik at følge.

I forhold til det alment teknisk fælleseje har byggeriets parter pligt til at være bekendt med dette, man kan dog vælge at bruge andre løsninger. Det kræver dog, at man skal kunne dokumentere, at de trufne valg er velbegrunnet, dermed følger der en særlig bevisbyrde, såfremt der viser sig problemer med de evt. valgte løsninger.

Efterfulgt af det alment teknisk fælleseje kommer andet byggeteknisk information som normer standarder, disse beskriver fx hvordan standardiseret test skal udføres, hvormed der sikres ensartede prøvninger. Som supplement kan der være vejledninger, der fx uddyber og konkretiserer prøvningerne.



Figur 2.1 – Hierarki for byggeriets bestemmelser.



## Bygning

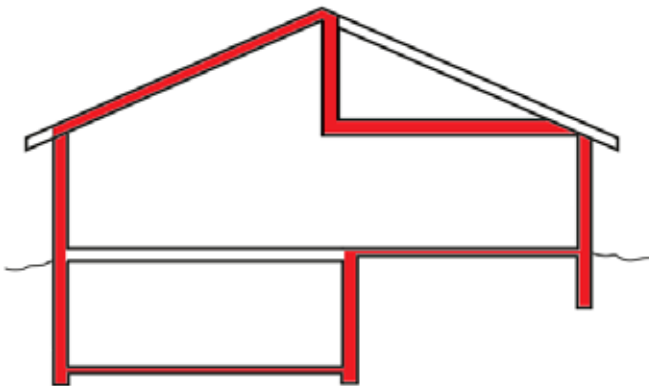
### Klimaskærm

Klimaskærmen er defineret som den del af en bygning, som beskytter bygningen mod påvirkning af vind og vejr (temperatur, fugt, lys, lyd m.fl.). I klimaskærmen indgår således:

- Tag
- Ydervægge
- Vinduer og yderdøre
- Terrændæk, kældergulv, dæk mod krybekælder
- Kældervægge

I nogle tilfælde indgår ventilationsanlægget i bygningens tæthedsplan, og dermed inddrages i trykprøvningen.

DS 418 - Beregning af bygningers varmetab [1], specificerer hvordan klimaskærmens transmissionsareal skal beregnes. DS 418 skelner mellem forskellige cases, fx opvarmet vs. uopvarmet kælder. Desuden specificerer DS 418, at ydervægsareal beregnes for ydersiden af ydervæggen, og til oversiden af varmeisoleringen i loft på øverste etage eller i tag.



Figur 2.2 - Illustration af klimaskærmen. Baseret på [1]

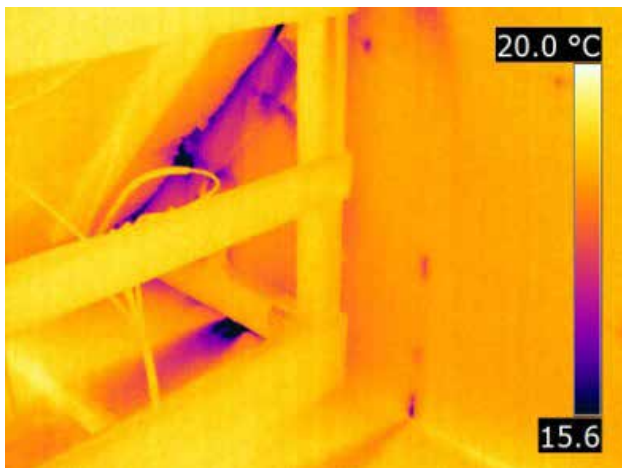
I forbindelse med trykprøvninger af bygninger, specificerer Bygningsreglementet [2] krav ud fra det opvarmede etageareal for rum med temperatur over 15 °C. For bygninger med høje rum kan man vælge at bruge klimaskærmens areal. Hvor klimaskærmens overfaldeareal divideret med etagearealet er større end 3,0 her kan klimaskærmens areal benyttes som reference med max 0,3 l/s pr. m<sup>2</sup> klimaskærm, se yderligere beskrivelse i afsnittet om Bygningstype.

### Tæthedsplan

Tæthedsplanet er defineret som den del af klimaskærmen, der udgør bygningens lufttæthed. Tæthedsplanet i en bygning kan sikres indefra, hvilket er det mest almindelige og etableres gennem brug af lufttætte konstruktioner og samlinger, se Figur 2.4. I mange tilfælde består en bygningens samlede tæthedsplan af en kombination af folier/membraner og tunge konstruktioner. Vinduer og fugerne omkring dem er også en del af tæthedsplanet.

- I tunge konstruktioner, fx gulve udført i beton, bagvægge af betonelementer, gasbeton eller mursten, indgår disse i tæthedsplanet. Her er det vigtigt at have fokus på samlinger hvor der fx kan ske fejl ved:
  - Murværk hvor fuger ikke er fyldte og som ikke bliver lukket (fuldmuret byggeri) det kan fx være gavltrekanten ude i en varm skunk, teknikskabet, bag køkken og garderober osv.
  - Gasbeton som ikke er spartlet. Gasbeton skal i princippet opsættes med fyldte limfuger, men de er ofte ikke 100 % fyldte og giver derfor utætheder indtil gasbetonen er spartlet (se Figur 2.3).

- I lette konstruktioner er tæthedetsplanet typisk etableret i form af en tæt membran (dampspærre) i vægge, lofter, skråvægge, skunkvægge og gulve mod krybekældre, se også afsnittet om Membraner. Ved brug af membranløsninger indvendigt har disse to funktioner. De skal sikre både konstruktionens damptæthed, men også lufttæthed. De hyppigste årsager til at en bygnings tæthed ikke kan godkendes, skyldes ofte at der ikke er anvendt ét dampspærre system.
- Der udføres af og til lette konstruktioner, hvor der ikke er installeret en dampspærre, men hvor tæthedetsplanet er etableret ved hjælp af en let indvendig beklædning. Dette medfører, at man dels skal sikre, at konstruktionen rent fugtteknisk kan fungere, og at samlinger og overflader er tilstrækkelig robuste til, at tætheden kan opretholdes. Det er samtidig vigtigt

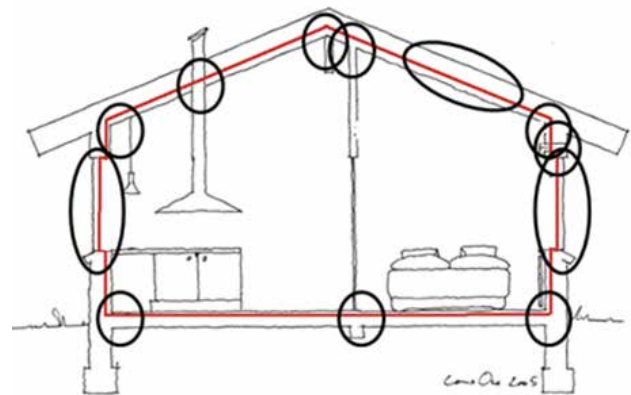


Figur 2.3 – Gasbeton opsat hvor limfuger ikke er fyldte og her er det især vigtigt at lægge mærke til utæthederne i den varme skunk de vil jo aldrig blive lukket, der ses også utætheder i gavlen inde i opholdsrummet men disse lukkes almindeligvis af spartlingen.

at slå fast, at isolering i sig selv ingen tæthed giver.

Som angivet i Figur 2.4 er der mange steder, hvor der kan ske svigt i tæthedetsplanet, hvilket forringer bygningens lufttæthed og kan medføre fx fugtproblemer i konstruktionerne. Typiske steder med utætheder opstår ved samlinger mellem bygningsdele, fx mellem ydervæg og loft, ydervæg og gulv, mod krybekælder, i skunkrum, ved lemme til loft, skunk og krybekælder, i de indvendige fuger omkring vinduer og døre og imellem karm og ramme, samt ved gennemføringer i klimaskærm med kabler, rør og kanaler, fx ved spots, stikkontakter, emhætte, ventilation og gulvvarme.

Det kan nogle gange være vanskeligt at lokalisere utæthederne i tæthedetsplanet. Hvis tæthedetsplanet fx er placeret bag en indvendig beklædning, registreres ikke altid en luftstrøm, der hvor utætheden er. Samtidig



Figur 2.4 - Illustration af tæthedetsplan i en bygning (rød linje), samt indikation af de steder, hvor der kan ske svigt i tæthedetsplanet (sorte cirkler), og/eller kan opstå kuldebroer



forveksles utætheder gennem luftlækage i tæthedsplanet ofte med varmetab gennem kuldebroer, fx kan der lokaliseres en utæthed, hvor isoleringen er udført helt korrekt, men hvor der sker en nedkøling af konstruktionens overflade pga. luftstrømme gennem utætheder i konstruktionen. Det er vigtigt at skelne imellem om årsagen er en utæthed eller en kuldebro, da udbedringen er forskellig. Hvor der ved utætheder skal kontrolleres for huller/gennemboringer/svigt i tæthedsplanet, skal der ved områder med kuldebroer tjekkes for manglende isolering i konstruktionen.

### Trykforhold i bygninger

Trykforskelle over en bygnings klimaskærm medfører, at luft og vand kan trænge ind gennem utætheder i klimaskærmen/tæthedsplanet. Disse trykforskelle opstår ved:

- Vindpåvirkning på klimaskærmen
- Temperaturforskelle i en bygning (skorstenseffekt), samt over bygningens klimaskærmskonstruktioner
- Brug af ventilationsanlæg

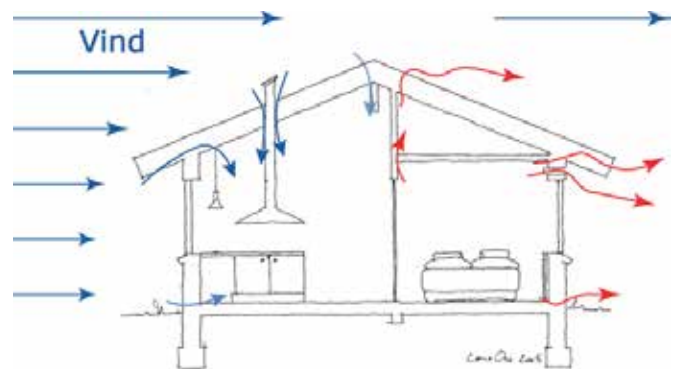
Der er i SBI-anvisninger 77, 177 og 224 ([3], [4] og [5]) beskrevet forskellen mellem et- og to-trins tætning. Generelt frarådes et-trins tætning, da materialeglaget skal sikre mod både regnvand og vind. Vinden vil skabe en trykforskel over materialeglaget, som vil medføre at vand presses ind igennem. For to-trins tætning er der to lag som er adskilt med et luftlag, det første lag (regnskærm) sikre mod vandindtrængning hvor det andet lag (vindstandsende lag) sikre lufttætningen fra vinden, se yderligere i ovenstående SBI-anvisninger.

Vandindtrængen stoppes i nogen grad af konstruktion-

sprincippet med en ventileret klimaskærm, men den ventileret klimaskærme stopper ikke udfordringer med utætheder ved træk og kondensproblemer.

I bygninger vil der under almindelige kolde vinterforhold være et overtryk i den øverste del, og et undertryk i den nederste del af bygningen. Dette er forårsaget af, at varm luft er lettere end kold luft og vil derfor stige til vejrs. Dette vil fx medføre optrængning af inde luft til et uudnyttet tagrum, gennem utætheder i loftets tæthedsplan. Fugtbelastningen gennem huller som disse kan være betydelige indvirkning på konstruktionens fugtbalance.

Udover trykforskelle pga. vind- og temperaturforskelle har brug af ventilationsanlæg indflydelse på trykforhold i bygningen. Brug af et ventilationsanlæg ændrer erfa-



Figur 2.5 - Utætheder i klimaskærmen ved vindpåvirkning, på luv side, blå pile ses luft der strømmer igennem klimaskærmen og ind i boligen disse giver trækgener og afkøling. På læ siden af bygningen er strømmingen udad (røde pile) her strømmer varm fugtig luft igennem utætheder. Såfremt luften møder koldere lag, er der risiko for kondensering samt afkøling med risiko for vækst af skimmelsvamp.

ringsmæssigt de naturlige trykforhold i en bygning. Et ventilationsanlæg bør i normale situationer være indreguleret til at køre med et begrænset undertryk, så rumluft ikke trænger ud i konstruktionen gennem evt. utætheder. Dog vil et undertryk medvirke til øget indtrængning af radon, hvorfor det er vigtigt, at bygningen er tætnet mod radonindtrængning, se afsnit om Radon.

#### Trykneutral zone

Der vil i alle bygninger være en trykneutral zone, altså hvor trykforskellen mellem ude og inde er nul – samme tryk ude og inde. Inde i bygningen vil der så være et overtryk over den neutrale zone og undertryk under den neutrale zone. Trykkets størrelse og fordeling vil være afhængig af temperaturforskellen mellem inde og ude, bygningens højde samt fordelingen og størrelsen af åbninger/utætheder i klimaskærmen. Såfremt åbningerne/utæthederne i klimaskærmen er jævnt fordelt vil den trykneutrale zone ligge midt i bygningen fx mellem loft og gulv. Ved trykprøvning af småhuse lokaliseres den trykneutrale zone ikke, da der skal en vis højde på bygningen før det praktisk kan måles.

## Trykprøvning

### Bygningstype

Bygningstypen har indflydelse på valg og udførelse af trykprøvningsmetode. Der skelnes i denne vejledning mellem følgende bygningstyper: småhuse, store bygninger og høje bygninger. Denne opdeling er baseret på tidligere bestemmelser fra overgangen mellem DS/EN 13829 [3] til DS/EN ISO 9972 [4], samt fra vejledning fra gældende Bygningsreglement 2018 [2].

- Småhuse fx enfamiliehuse, rækkehuse m.fl. har et opvarmet etageareal under 1600 m<sup>2</sup> og en højde på

højst 10 meter.

- Store bygninger defineres i vejledningen som bygninger med opvarmet etageareal over 1600 m<sup>2</sup> og højde på højst 10 meter. OBS Jf. den tidligere standard DS/EN 13829 [3] skal der i store bygninger aktivt sikres, at der er anvendt en målemetode og opsætning af måleudstyr, der giver et ensartet tryk i bygningen, dette er også anbefalingen i denne vejledning.
- En bygning betragtes som en høj bygning, hvis højden er over 10 meter og bygningshøjde gange temperaturforskel (mellem ude og inde) er mindre end 500 m·K, jf. Bygningsreglement 2018 [2]. Ved meget høje bygninger og store temperaturforskelle kan det være svært at overholde kravet om højst 500 m·K. I DS/EN ISO 9972 [4] er det dog angivet at det er usandsynligt at der kan opnås et tilfredsstillende nul-flow trykforskel, hvis temperaturforskellen gange med bygningshøjden er større end 250 m·K.

For hver af disse bygningstyper beskrives praktisk udførelse af trykprøvning, samt krav til målekonditioner i Del 2 af denne vejledning.

### Opvarmet etageareal

Bygningsreglementet henviser til brug af det opvarmede etageareal ved udførelse af trykprøvning af en bygning, med undtagelse af bygninger med høje rum. Samtidig skal bygningen eller repræsentative dele af bygningen trykprøves, se også afsnit om Målezone.

Ved det opvarmede etageareal forstås den del af bygningens samlede areal, der er opvarmet. Det opvarmede areal omfatter således ikke rum, som ikke er en del af bygningens

gens etageareal, [2] og [5].

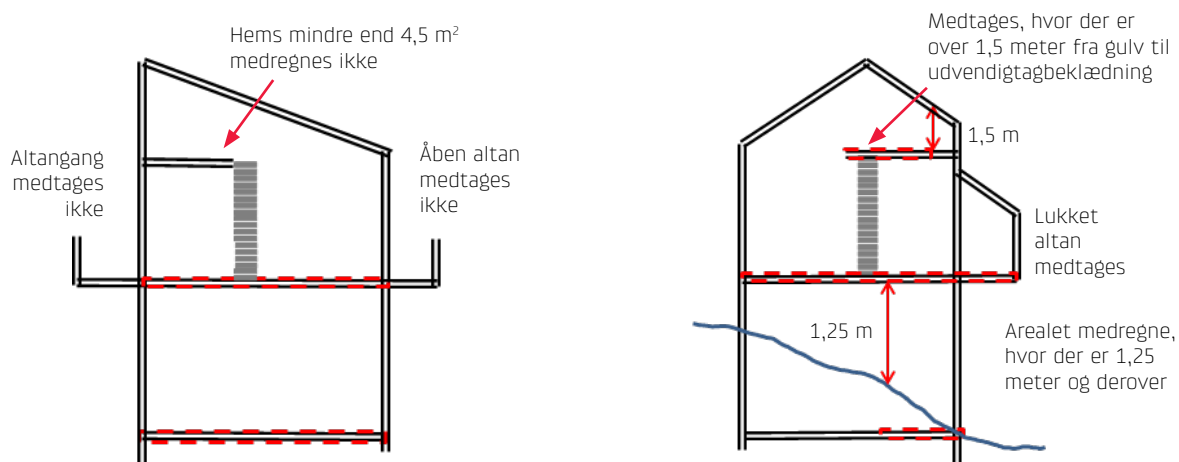
- Kælderens del hvor det omkring liggende terræn er mindre end 1,25 m under loft medregnes ikke i etagearealet i henhold til Bygningsreglement 2018 §455 [2].
- Åbne altaner og altangange medregnes ikke. En altan betragtes som åben, så længe åbningen udadtil ikke er lukket.
- Overdækninger og overdækkede terrasser anses for åbne, når mindst én væg er helt eller delvist åben og ikke kan lukkes med vindue, dør, port eller lignende.
- Til gulvet i hemse medregnes kun det areal, der i et vandret plan 1,5 m over færdigt gulv ligger inden for planets skæring med tagbeklædningens udvendige side. Hemse med et areal mindre end 4,5 m<sup>2</sup> me-

dregnes ikke i det opvarmede etageareal, Bygningsreglement 2018 §455 [2].

- Rum, der går gennem flere etager, medregnes kun til den etage gulvet er beliggende, Bygningsreglement 2018 §455 [2].

### Målezone

Dokumentation af utætheder i klimaskærmen jf. Bygningsreglementets krav kan ske ved trykprøvning af hele bygningen eller repræsentative dele af større bygninger (deltrykprøvning). Der er i Bygningsreglementet ikke en specifik definition på en 'større bygning', i denne vejledning antages derfor at 'større bygninger' som beskrevet ovenfor at være en bygning med et opvarmet etageareal over 1600 m<sup>2</sup> og højde på højst 10 meter.



Figur 2.6 – Arealer, som medregnes i etagearealet (indikeret med rød stiplede linje).

I dette kapitel beskrives fordele og ulemper ved anvendelse af deltrykprøvninger, samt anvendelse af 1- og flere-zone tests.

#### 1-zone og flere-zoner test

Som regel udføres trykprøvninger af hele bygningens opvarmede etageareal som en 1-zone test.

I tilfælde af trykprøvning på bygninger med flere boligenheder (dobbelthuse, rækkehuse og etageboliger) skal der dog skelnes mellem trykprøvning af bygninger med fælles opgang som er del af det opvarmede etageareal, og bygninger hvor hver boligenhed har adgang fra det fri, fx via svalegang fx i dobbelthuse og rækkehuse.

Har boligerne en fælles opgang som er del af det opvarmede etageareal, se Figur 2.7 tv., giver definitionen i Bygningsreglementet, dvs. trykprøvning af hele bygnin-

gens opvarmede etageareal, mulighed for at teste alle lejlighederne/boligenheder i opgangen samlet i en 1-zone test. Dette gøres hvor det er muligt at etablere et jævnt tryk i hele bygningen fx ved installation af måleudstyret i opgangsdøren, terrassedør el.lign. Testes alle lejligheder i en opgang på denne måde, har det den ulempe at boligenhederne/bygningen vil kunne bestå tæthedskravet, selv ved relative store utætheder over interne lejlighedsskel (vandret/lodret). Da store utætheder imellem lejligheder/boliger kan give lugt- og lydgener, samt kan bewirke, at brandkravene ikke er opfyldt, skal man som bygherre og rådgiver tage stilling til disse risici. Vil man sikre at der ikke er store utætheder over interne lejlighedsskel (vandret/lodret), anbefales det derfor at teste hver boligenhed i opgangen enkeltvis, dvs. 1 ad gangen.

I tilfælde af bygninger med flere boligenheder, der alle har adgang fra det fri, vil man normalt teste hver boligenhed/

Figur 2.7 – Test af etageboliger. Tv.: 1-zone test af etagebolig med fælles opgang. I dette tilfælde trykprøves alle lejlighederne i opgangen samtidig. Th.: Flere-zone test af etagebolig, hvor hver lejlighed har adgang fra det fri via svalegang. I dette tilfælde trykprøves alle lejligheder samtidig med en blower door monteret i hver lejlighed. Grøn stiplede linje: tæthedsplan. Rød stiplede linje: Udvendig trappe med svalegang, indgår ikke i testareal.



lejlighed enkeltvis. Testes en enkel lejlighed/bolig ad gangen skal man dog være opmærksom på, at fx teknikskakter mellem lejligheder lodret ovenover hinanden kan være utætte og derfor påvirke måleresultaterne. Samtidig kan der også være utætheder mellem vandrette skel mellem lejligheder/boliger. Desuden foreskriver DS/EN ISO 9972 [4], at bidrag fra andre opvarmede zoner ikke må indgå i testresultat fra trykprøvningen. Gør ovenstående tilfælde sig gældende kan man teste bygninger med flere boligheder, der alle har adgang til det fri, ved hjælp af en flerzone test. I etageboliger gøres dette i praksis ved at teste alle lejligheder samtidig med en blowerdoor monteret i hver lejlighed, koblet på samme computer, så der registreres tryk i hver lejlighed, se Figur 2.7 th.

DS/EN ISO 9972 [4] beskriver at utætheder fra andre opvarmet zoner ikke må indgå i måleresultatet, målingen er en måling på klimaskærmen og ikke på utætheder med andre opvarmet zoner. Dermed kan det ikke diskuteres om flerzone-test er tilladt, da metode netop 100 % eliminere bidrag fra andre opvarmet zoner. Når det så er sagt anbefales det i så vidt muligt omfang at undgår flerzone-test fordi testmetoden tillader endog meget store utætheder imellem lejligheder og da der i Danmark er krav til lyd, lugt og brand er det hensigtsmæssigt at der imellem lejligheder er tæt og en lejlighed bør kunne bestå en test med 1-zone-test. Derfor ligger der også krav til måling og dokumentation af mængden af utætheder imellem zoner som beskrevet i kapitlet om flerzone-test i Del 2 af denne vejledning.

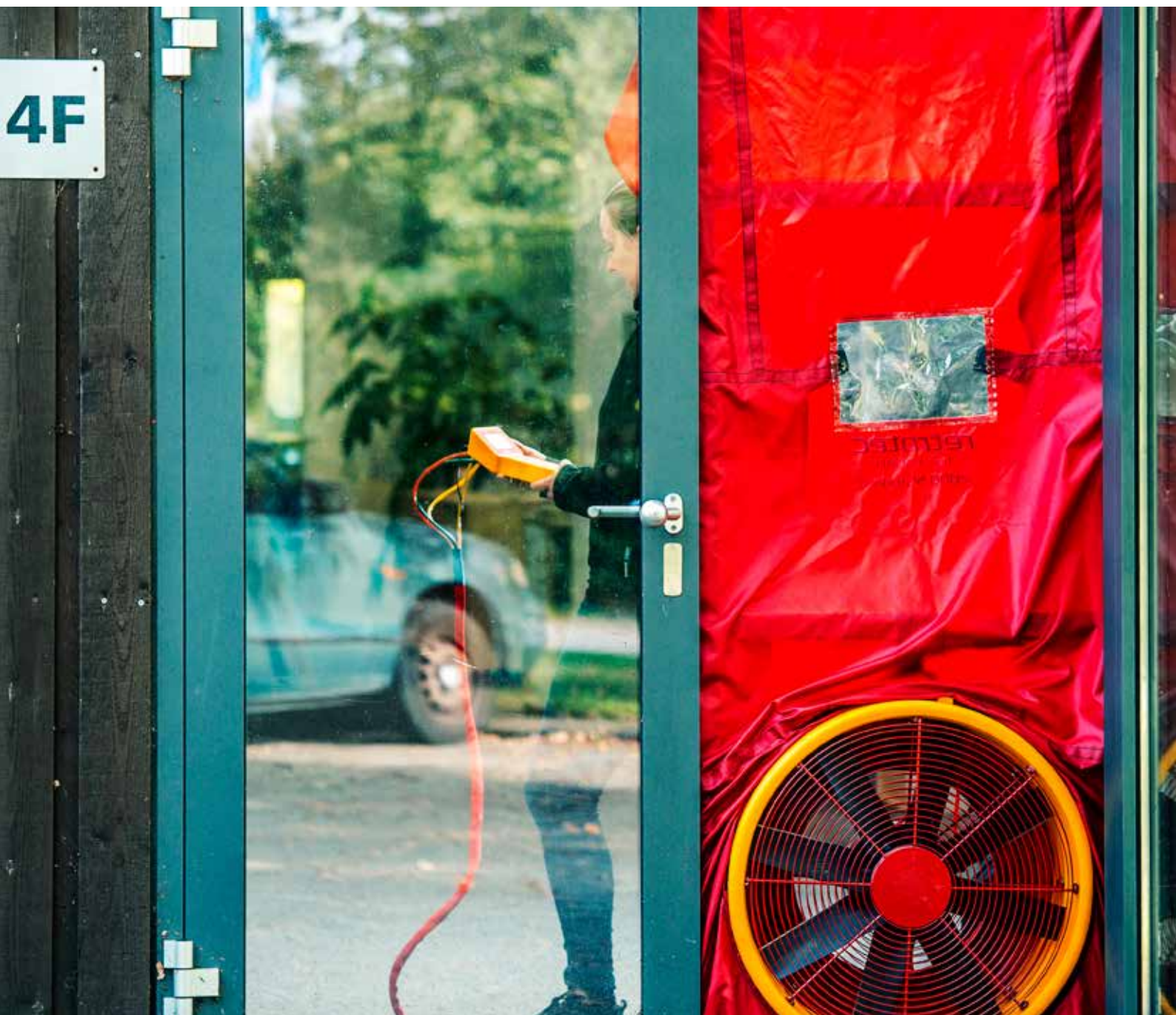
#### Deltrykprøvning

Ønsker man ved større bygninger at teste repræsentative dele af bygningen, skal man være opmærksom på føl-

gende, som også er beskrevet yderligere i Del 2 af denne vejledning:

- Det skal sikres, at det udvalgte udsnit af bygningen reelt er en repræsentativ del af bygningen. Udpeges områderne i god tid, vil entreprenøren "nurse" særligt omkring de udpegede områder, og resultatet vil langt fra være repræsentativt.
- Det er tilladt i DS/EN ISO 9972 [4] note 1, ved test på flere udsnit af bygningen, at et udsnit ikke overholder Bygningsreglementets tæthedskrav, hvis gennemsnittet af måleresultaterne på alle afsnit gør.
- Måleresultaterne af volumenstrømmen gennem utætheder må kun indregnes i beregning af bygningens energibehov for de trykprøvede etagearealer af bygningen. For ikke trykprøvede etagearealer skal der regnes med en infiltration på 1,5 l/s pr. m<sup>2</sup> i beregning af bygningens energibehov jf. Bygningsreglement 18 §263 stk. 4 [2], se også afsnittet om Dokumentation af lufttæthed.
- Ved måling på udvalgte udsnit skal der tages forbehold for det bidrag fra utætheder, der kan komme fra de andre tilstødende opvarmede etagearealer i bygningen. Vil man eliminere effekten af disse utætheder ved trykprøvning bør man vælge at teste hele bygningens opvarmede etageareal.





# Baggrundsviden

---

Lufttæthed af bygningen har betydning for energiforbrug, komfort og risikoen for skader på bygningen. I dette kapitel beskrives generelt baggrundsviden om disse emner relateret til lufttæthed.

## Indeklima og komfort

For at kunne skabe et godt indeklima i vores bygninger er det vigtigt, at luften udskiftes, for at erstatte den "brugte" luft med "ny" luft. På den måde bliver der tilført ilt til luften og den af mennesker producerede CO<sub>2</sub> og vanddamp bliver bortventileret. Samtidig bliver koncentrationen af både menneskeskabte og naturlige skadelige stoffer fortyndet. Her kan der være tale om fx radon, formaldehyd eller lignende.

Men selvom et luftskifte af de ovennævnte grunde er afgørende for et sundt indeklima, skal udskiftning af luften foregå på den rigtige måde, ellers er der risiko for andre udfordringer. Især i vores højisolerede og tætte bygninger skal udskiftning af luften foregå gennem planlagte åbninger og ikke tilfældigt gennem klimaskærmen, dels for at undgå fugtrelaterede skader, som fx skimmelsvampe i klimaskærmens konstruktioner, dels for at undgå komfortforringelser som fx træk.

## Luftskifte og ventilation

Bygningsreglementet § 443 [2], stiller et generelt krav til ventilation i form af et grundluftskifte for at sikre tilfredsstillende luftkvalitet, samt at der i typiske boliger med almindelig brug ikke opstår risiko for høj relativ luftfugtighed, hvilket kan have skimmelsvamp, husstøvmider og lign. til følge.

Grundluftskiftet kan sikres enten gennem kontrolleret lufttilførsel ved brug af mekanisk ventilation, eller ved brug af naturlig ventilation og udluftning i enfamiliehuse. Derudover vil der også være en form for udskiftning af luften gennem utilsigtede utætheder i klimaskærmen/tæthedsplanen. I langt de fleste bygninger er bygningens luftskifte derfor en kombination af disse tre forhold. Hver enkelt beskrives yderligere i nedenstående afsnit. Mere information findes også i DS 447 – Ventilation i bygninger [6].

### Mekanisk ventilation

Jf. Bygningsreglementet § 443-446 [2] skal grundluftskiftet sikres via installation af balanceret mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding. Her stiller Bygningsreglementet krav om virkningsgrad og maksimalt elforbrug til ventilationsanlægget, samt krav om funktionsaf-

prøvning. For at mekanisk ventilation kan fungere og køre med et lille undertryk, er det vigtigt, at bygningen er tæt og at ventilationsaggregat, kanaler og ventiler til indblæsning og udsugning placeres, så bygningen ventileres bedst muligt uden træk- og støjgener.

#### Naturlig ventilation

Naturlig ventilation i enfamiliehuse kan etableres ved montering af udluftningsventiler for lufttilførsel i beboelsesrum som stue og værelser. I køkken og mere fugtbelastede rum som bryggers, toilet og bad etableres aftrækskanaler. Samtidig skal det sikres, at luften kan bevæge sig fra beboelsesrum til de mere fugtbelastede rum, fx ved sprækker under dørene, og der skal være emhætte med afkast til det fri over komfur.

Den ovennævnte naturlige baggrundsventilation i enfamiliehuse vil i kombination med manuel udluftning med gennemtræk, forudsat det bliver udført rigtigt, oftest være tilstrækkeligt til at sikre god luftkvalitet og holde fugtniveauet nede i enfamiliehuse. Manuel udluftning med gennemtræk udføres rigtigt ved at lufte ud to til tre gange dagligt med en varighed på fem til ti minutter. Udluftningen må ikke være for kort eller for lang, fordi indeluften dels skal udskiftes, dels skal en afkøling af indvendige overflader undgås. Dette både for at minimere varmetabet og for at undgå skimmelsvampevækst, se afsnit om Fugt og Skimmel.

Erfaringer med skimmelsvampevækst i huse på grund af for højt fugtniveau i indeklimaet viser, at Bygningsreglementets krav til luftskifte dog ikke altid bliver overholdt ved benyttelse af kun naturlig ventilation i enfamiliehuse. Dette hænger sammen med, at det reelle

luftskifte, baseret på naturlig ventilation i praksis, i høj grad afhænger af brugeradfærd. Pga. energikravene til nye boliger forventes det samtidig, at der i fremtiden opføres færre naturligt ventilerede huse.

#### Utilsigtede utætheder

Gennem utilsigtede utætheder opstår der en uønsket luftstrøm gennem konstruktioner eller samlingsdetaljer i klimaskærmen/tæthedsplanet, når der er trykforskel mellem ude og inde i bygningen (infiltration/exfiltration). De utilsigtede utætheder i klimaskærmen/tæthedsplanet, kan være problematiske i større og mindre grad, men overordnet set er de uønskede og skal minimeres for at undgå:

- Dårlig indendørs komfort med trækgener
- Lokal nedkøling af overflader omkring utætheder med risiko for fugtrelaterede problemer, se nærmere i afsnittet om Fugt og Skimmel.
- At varm og fugtig indeluft kan trænge ud i konstruktionerne, hvor denne ved afkøling kan medføre risiko for fugtrelaterede problemer, se nærmere i afsnit om Fugt og Skimmel.
- Øget energiforbrug til opvarmning af den indtrængende udeluft.
- Øget varmetab. Ved utætheder forsvinder den varme luft ud igennem klimaskærmen, og kan dermed ikke genvindes i fx ventilationens varmegenvindingsanlæg.

I afsnittet om Tæthedsplan beskrives kort typiske steder for utætheder i klimaskærmen/gennembrydninger af tæthedsplanet. Afsnittet om Udstyr til luftlækagesøgning beskriver forskelligt udstyr til lokalisering af utætheder. I Del 2 af denne vejledning beskrives målemetoderne.

Ved renovering af eksisterende konstruktioner bør utilsigtede utætheder tages i betragtning og minimeres i videst mulige omfang samtidig med, at der sørges for et fortsat godt luftskifte enten ved relevant brugerinformation om behovet for øget naturlig ventilation eller ved at implementere mekanisk ventilation, se afsnittet om Luftskifte og ventilation.

### Træk og trækgener

Træk er oplevelse af en uønsket lokal afkøling af kroppen, og oplevelse af trækgener afhænger af aktivitetsniveau, lufttemperatur og luftens turbulensintensitet. Trækgener kan opstå pga. luftstrøm gennem utætheder, men også ved kuldebroer eller kuldenedfald, som opstår ved lodret kolde flader, såsom fx ældre vinduer. I denne vejledning behandles alene træk gennem utætheder. Det er dog vigtigt at adskille træk forårsaget af utætheder, og træk forårsaget af kuldebroer eller kuldenedfald, da de skal udbedres på forskellig vis.

Alle bygninger er i større eller mindre grad principielt utætte. Det betyder, at selv "tætte" bygninger kan have problemer med træk, hvis utæthederne blot er samlet ét sted. For at begrænse lokale gener/ubehag forårsaget af træk bør maksimale lufthastigheder i opholdszonen overholde tabel i Bygningsreglement §420-§452 vejledning afsnit 1.3. [2], som er baseret på DS/EN ISO 7730 - Ergonomi inden for termisk miljø [10]. Ved en lufttemperatur på 20 °C, bør den maksimale lufthastighed være  $\leq 0,16$  m/s jf. den nævnte tabel. Opholdszonen er det område i et rum, hvor personer kan forventes at opholde sig i længere tid (Bygningsreglementet), og defineres i samråd med bygherre og arkitekt. I tidligere version af Danvak Ventilationsteknik [11] er det defineret som 0,6 m

fra vægge og 1,8 m over gulv. Udover måling af lufthastigheder, og derved måling af omfang af træk, kan træk fra utætheder bl.a. lokaliseres vha. termografering eller røg. Se afsnit om Udstyr til luftlækagesøgning og Del 2 af denne vejledning for en nærmere beskrivelse af hhv. udstyr til og brug af termografering, røg og lufthastighedsmålinger ifm. udførelse af en trykprøvning. For yderligere info henvises til vejledning i bygningstermografi [12].

### Fugt og skimmel

Et passende luftskifte er vigtigt for at fjerne fugt fra indeklimaet, ligesom et tæthedsplan uden utilsigtede utætheder er vigtigt for at forhindre fugtskader på klimaskærmens konstruktioner.

Mennesker tilfører indeluften fugt, når de opholder sig i og anvender bygninger. En familie producerer ca. 6-10 l fugt om dagen i deres bolig ved at ånde, transpirere, tørre tøj, gå i bad, lave mad, vaske op, rengøring, vande planter m.v.. Bliver fugtniveauet i indeklimaet for højt, opstår der risiko for skimmelsvampevækst. Skimmelsvampevækst kan udvikle sig ved relativ luftfugtighed på 75 % RF og når der er næring til stede samt gunstige temperaturer. Da støv giver tilstrækkelig næring til skimmelsvampe, kan skimmelsvampe vokse stort set alle steder, hvor der er fugtigt nok. Jf. (Bygningsreglementet §334) må fugt og vand ikke medføre risiko for personers sundhed eller give risiko for skader på bygninger. Fugtigt indeklima og skimmelsvampevækst kan medvirke til helbreds-mæssige gener i form af luftvejsinfektioner, slimhindeirritation i øjne, næse og svælg, tæthed i næsen samt hoste, åndenød, hovedpine og træthed. Det er dog meget individuelt, hvor kraftigt personer reagerer på et højt fugtniveau og skimmelsvampevækst i indeluften.

Det anbefales, at fugtindholdet i indeluften i vinterperioden holdes på 40-50 % RF ved hjælp af tilpas ventilation og tilstrækkelig opvarmning. Om sommeren, når der er slukket for varmen, vil fugtniveauet følge udendørsfugt-niveauet og dermed nå op til 60 % RF, nogle dage op til 65 % RF. Hvordan tilpas ventilation kan opnås er beskrevet i afsnittet om Luftsifte og ventilation.

Ved naturlig ventilation er det vigtigt kun at lufte ud ca. 5-10 min. ad gangen, og ikke lade vinduerne stå åbne i længere tid. Er vinduerne åbne for længe ad gangen, nedkøles omkringliggende overflader. På kolde overflader stiger den relative luftfugtighed, i værste fald til et niveau, der giver risiko for skimmelsvampevækst.

Utilsigtede utætheder i klimaskærmen kan ligeledes skabe kolde overflader. Bliver kold udeluft trukket indad, køles tilstødende overflader ned. Dette kan, som beskrevet før, føre til så stor en stigning af den relative luftfugtighed, at der opstår risiko for skimmelsvampevækst på den nedkølede overflade. Derudover kan der gennem utilsigtede utætheder i tæthedsplanet presses varm indeluft ud i klimaskærmen. Varm indeluft indeholder forholdsvis meget vanddamp. På vej ud i klimaskærmen bliver indeluften i den kolde årstid kølet ned. Under nedkølingen stiger luftens relative luftfugtighed. I værste fald kan nedkølingen medføre, at vanddampen kondenserer. Når den varme indeluft trænger ud i klimaskærmen, kan det medføre alvorlige fugtproblemer. Dels kan der, når den nedkølede luft overskrider grænsen på 75 % RF, opstå skjult skimmelsvampevækst med de ovennævnte konsekvenser for indeklimaet til følge. Men fra en relativ luftfugtighed på 87 % og opefter er der risiko for, at fugtindholdet i trækonstruktioner kan stige over 20 vægt-%,

hvor trænedbrydende svampe kan begynde at få vækstbetingelser. I modsætning til skimmelsvampene, som vokser på overflader, angriber trænedbrydende svampe træet og kan i værste fald nedbryde det. Derfor er det vigtigt, at man undgår og afhjælper utilsigtede utætheder i klimaskærmen.

Den ovennævnte mekanisme er samtidig grunden til, at der ikke må etableres overtryk i bygninger. Bygninger skal indreguleres med et lille undertryk, for at sikre, at indeluft ikke regelmæssigt bliver presset ud i klimaskærmen.

Der kan være mange andre årsager, såsom fejlkonstruktioner, manglende isolering, manglende diffusionstæt membran, vandskader, manglende vedligehold af klimaskærmen mv. til, at der opstår skimmelsvampevækst i indeklimaet eller skjult i konstruktionerne. Dette kan man læse mere om i fx SBI-anvisning 224 – Fugt i bygninger [8] eller i SBI-anvisning 274 – Skimmelsvampe i bygninger [9].

### **Radon**

Radon er en naturligt forekommende radioaktiv gasart, som er gennemsigtig og lugtfri, og kan trænge op i vores bygninger fra jorden igennem de bygningsdele, der har jordkontakt. Radonindtrængningen sker i praksis kun via konvektion, dvs. igennem utætheder i vores bygningsdele med jordkontakt. Radonniveauet i jorden varierer samtidig alt efter geografisk placering og undergrundens beskaffenhed, og der kan være store lokale forskelle fra matrikel til matrikel.

I Bygningsreglementet §332 [2] er der indført krav om, at radonindholdet i indeluften i nye bygninger ikke må overstige 100 Bq/m<sup>3</sup>. For bygninger opført før 2010 gælder en anbefaling om at iværksætte tiltag, der nedbringer radonindholdet i indeluften, hvis det er over 100 Bq/m<sup>3</sup>. Derudover gælder der for arbejdspladser i alle bygninger en øvre grænse på 100 Bq/m<sup>3</sup>. For at bestemme radonindholdet i indeluften i en bygning skal dette ske ved måling.

Radonniveauet i indeluften kan begrænses ved at have en tæt konstruktion mod jord. Tætheden af konstruktioner mod jord kan ikke undersøges ved en trykprøvning, da luftmængden, der kan flyttes mellem indeklima og terrænet, er for lille. Såfremt det ønskes at undersøge tætheden mod jord og revner ved fundament eller i betonbundplade bør dette udføres med fx sporgasmåling, lokal radonmåling, ultralyd el.lign. I visse tilfælde hvor utæthederne i terrændækket er store kan undertryk kombineret med termografering benyttes og giver gode indikationer til at hvor der skal lægges en indsats, men termografering kan ikke stå alene.

Udover en tæt konstruktion mod jord har en tæt klimaskærm også betydning for radonindholdet i indeluften. Hvor en tæt konstruktion mod jord kan nedsænke radonniveauet i indeluften, kan en tæt klimaskærm i tilfælde af en utæt konstruktion mod jord derimod medvirke til et øget radonniveau i indeklimaet, primært fordi en tættere klimaskærm kan resultere i et lavere luftskifte. Dette kan resultere i en ophobning af radon i indeklimaet og i værste fald føre til en overskridelse af grænseværdierne. I så fald kan øget naturlig ventilation eller etablering af et mekanisk balanceret ventilationsanlæg i en vis grad afhjælpe udfordringerne. Hvis et øget luftskifte ikke er

tilstrækkeligt til at nedbringe radonniveauet i indeklimaet, kan enten utætte konstruktioner med jordkontakt tættes, eller der kan udføres radonsug. Ved nybyggeri bliver det anbefalet at udføre radonsikring ved tilstrækkelig tætning af konstruktioner mod jord og forberedelse af et radonsug.

I bygninger med radonproblemer kan det også anbefales at kontrollere hulmuren har den fornødne fugttætning. Da erfaringer viser at manglende/utilstrækkelig fugtisolering for murværk på sokler ofte medfører indtrængen af radon i bygninger.

For mere information om radon, se radonguiden.dk samt SBI-anvisninger [10], [11] og [12].

## **Energiforbrug og økonomi**

Begrænsning af energiforbrug til opvarmning af boliger drejer sig ikke kun om at isolere. Det drejer sig også om at begrænse luftskiftet til det nødvendige og forsvarlige, således som det er defineret i Bygningsreglementet.

Klimaskærmens tæthed afhænger navnlig af udførelsen af specifikke samlingsdetaljer, og tætheden influerer på bygningers energiforbrug. Bygningsreglementet stiller krav til klimaskærmens tæthed for nyopførte bygninger, se også afsnittet om Tæthedskrav, så det er muligt at kontrollere ventilationen og mindske energiforbruget forbundet med infiltration gennem utætheder. Der stilles dog ikke krav til tæthed i eksisterende bygninger ved renovering, tilbygninger og ombygninger, hvor det samtidig ofte vil være meget vanskeligt at opfylde disse. Tilbygninger kan trykprøves, hvis den eksisterende bygning trykprøves, inden der åbnes mod tilbygningen. Ved

færdigmeldingen trykprøves den eksisterende og tilbygningen samlet. Når resultatet på den eksisterende bygning kendes, fradrages resultatet den "nye" bygning fås tæthedresultatet på tilbygningen. Man skal dog være opmærksom på, at der ofte sker en forbedring af den eksisterende bygning i forbindelse med tilbygningsprojektet og dermed kan metoden med fradrag ikke benyttes da referencen ændre sig (den gamle bygning får også en ny tæthed). Man kan dog ved tilbygninger og andre bygninger hvor der er forskellige krav til tæthed udfører en trykprøvning med fler-zone-test, hvor alle bidrag fra den gamle eksisterende bygning elimineres, dette er yderligere beskrevet i Del 2 af denne vejledning.

I Bygningsreglementets eksempelsamlings tema om tæthed [13], angives der et beregningseksempel af den energimæssige betydning af tæthed, hvor der for en bolig på 149,6 m<sup>2</sup> betragtes forskellige volumenstrømme gennem utætheder ved trykprøvning, og det resulterende beregnede energibehovet for boligen.

Ønskes en beregning af det årlige varmetab, og meromkostninger til varme pga. utætheder i bygningen kan nedenstående formler bruges.

Det årlige varmetab, forårsaget af utætheder i konstruktionen, kan bestemmes ud fra (Varmeståbien, 2012):

$$E = \frac{Q}{(T_i - T_u)} \cdot GD \cdot \frac{24}{1000} \left[ \frac{kWh}{\text{år}} \right]$$

hvor

*E* er varmetabet

*Q* er infiltrationstabet i W

*T<sub>i</sub>* er den dimensionerende indetemperatur i °C

*T<sub>u</sub>* er den dimensionerende udetemperatur i °C

*GD* er antal graddage på et normalår angivet i °C dage (graddage)

Efter omskrivning, se også [7], kan det årlige varmetab, forårsaget af utætheder i konstruktionen, beregnes som:

$$E_{\text{utætheder}} = 90,45 \cdot A \cdot ((q_{50} \cdot 0,06 + 0,04) \cdot B + q_{50} \cdot 0,06 \cdot (1 - B)) \left[ \frac{kWh}{\text{år}} \right]$$

På samme måde kan kravet til varmetab gennem utætheder i konstruktioner beregnes som følgende, ved blot at anvende det gældende luftskiftekrav i stedet for det målte luftskifte:

$$E_{\text{krav}} = 90,45 \cdot A \cdot ((q_{50,\text{krav}} \cdot 0,06 + 0,04) \cdot B + q_{50,\text{krav}} \cdot 0,06 \cdot (1 - B)) \left[ \frac{kWh}{\text{år}} \right]$$

Derefter er det muligt at beregne årlige meromkostninger til varme pga. utætheder i bygningen:

$$P_{\text{utætheder}} = (E_{\text{utætheder}} - E_{\text{krav}}) \cdot p_{\text{varme}} \left[ \frac{kr}{\text{år}} \right]$$

hvor

*A* er det opvarmede etageareal.

*B* er den gennemsnitlige årlige andel af tiden hvor bygningen er i brug. Et tal mellem 0 og 1, hvor 1 er ved fuld tid brug af bygningen. *q<sub>50</sub>* er luftskiftet.

*p<sub>varme</sub>* er energiprisen for varme i kr./kWh.

# Regler og krav

## Bygningsreglement







Siden 2006 har der i Bygningsreglementet været krav til nye bygningers lufttæthed. Disse krav gælder ikke for andre kategorier af bygningsarbejder, såsom fx udskiftning, ombygning, reparation og vedligehold, se også illustreret i Figur 4.1. Dog ses der efterhånden også øget opmærksomhed på tæthed ved renoveringsopgaver. Anbefalinger til tæthed ved renoveringsopgaver kan findes i BYG-ERFA (99) 16 08 31 – Lufttæthed i ældre bygninger, [14].

Der kræves i Bygningsreglementet, at bygninger skal udføres, så bygningernes konstruktioner er tætte mod

utilsigtede utætheder. Uanset om der trykprøves skal bygningen udføres, så konstruktionerne er tætte.

## Tæthedskrav

I Bygningsreglement §263 [2] er lufttæthedskrav til nye bygninger angivet i form af den største tilladelige volumenstrøm gennem utætheder i klimaskærmen ved en trykforskel på 50 Pa mellem inde og ude. Afhængig af opførelsesperioden for et konkret byggeri, gør forskellige tæthedskrav på opførelsestidspunkt sig gældende, se Tabel 4.1. Samtidig viser Tabel 4.1 også, at der har været et skift i målemetode, samt krav til test af høje byg-

					
Nybyggeri	Ændret anvendelse	Tilbygning	Ombygning og andre forandringer	Udskiftning af bygningsdele og installationer	Reparation og vedligeholdelse
✓	X	X	X	X	X

Figur 4.1 – Illustration af de forskellige former for bygningsarbejder og om Bygningsreglementet stiller krav til deres lufttæthed (grøn), [19].

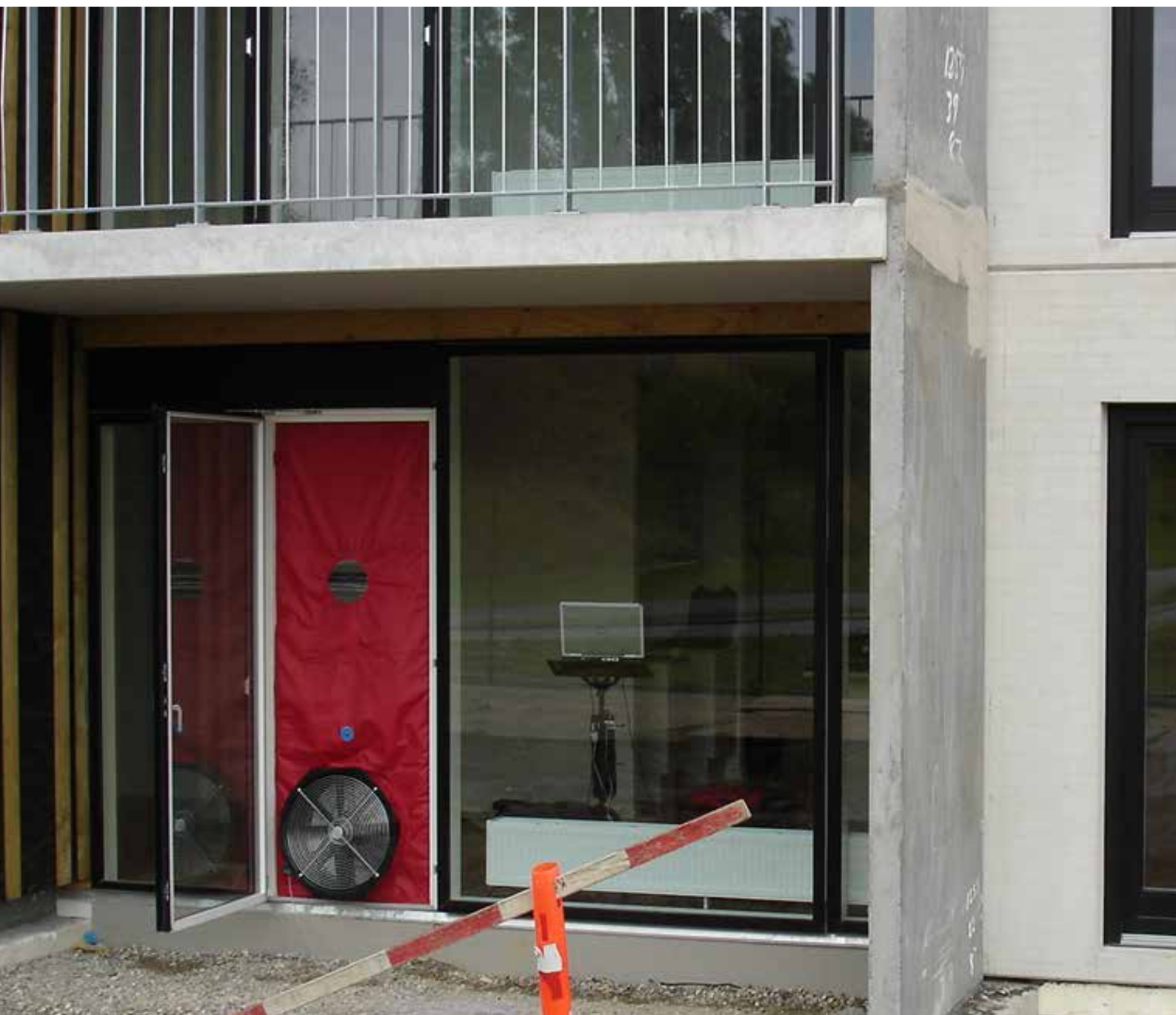


ninger. Forskelle i målemetode er ikke beskrevet i denne vejledning.

1. For alt der ikke måles på benyttes 1,5 l/s pr. m<sup>2</sup> i energirammen.
2. Bygninger med høje rum = rum, hvor klimaskærmens overflade divideret med etagearealet er større end 3.
3. En høj bygning, over 10 m, må testes, hvis bygningshøjde (h) gange temperaturforskel ( $\Delta T$ ) er mindre end beskrevet i tabellen.
4. DS/EN ISO 9972 [4] kræver, at bygningshøjde gange temperaturforskel er mindre end 250 m·K. Bygningsreglementet kræver dog, at bygningshøjde gange temperaturforskel er mindre end 500 m·K.

Periode		1/1-18 nu	1/7-16 30/6-18	1/1-15 30/6-16	30/6-10 31/12-15	1/2-09 29/1210	1/1-06 1/2-08
Bygningsreglement		BR18 §263	BR15- 7.2.1 stk. 4	Overgang fra BR10-BR15	BR10- 7.2.1 stk. 4	BR08- 7.2.1 stk. 4	Småhuse - 5.2.3
Betegnelse		$q_{F50}$	$q_{F50}$	$q_{F50}/W_{50}$	$W_{50}$	$W_{50}$	$W_{50}$
Krav	l/s pr. m <sup>2</sup> etageareal $q_{F50}$	1,0 <sup>1</sup>			1,5		
Krav - bygninger med høje rum <sup>2</sup>	l/s pr. m <sup>2</sup> etageareal $q_{E50}$	0,3			0,5		
Lavenergiklasse	l/s pr. m <sup>2</sup> etageareal $q_{F50}$	0,7			1,0		
Lavenergiklasse - bygninger med høje rum <sup>2</sup>	l/s pr. m <sup>2</sup> etageareal $q_{E50}$	0,21			0,3		
Bygningsklasse 2020	l/s pr. m <sup>2</sup> etageareal $q_{F50}$		0,5				
Bygningsklasse 2020 - bygninger med høje rum <sup>2</sup>	l/s pr. m <sup>2</sup> etageareal $q_{E50}$		0,15				
Standard		DS/EN ISO 9972			DS/EN 13829		
Målemetode		Metode 3	Metode 2	Metode B			
Høje bygninger <sup>3</sup>		$h \cdot \Delta T < 500^4$	$h \cdot \Delta T < 250$	$h \cdot \Delta T < 500$			

Tabel 4.1 – Bygningsreglements krav til volumenstrømmen pr. m<sup>2</sup> opvarmet etageareal og prøvningsmetode i forskellige perioder. BYG-ERFA (99) 20 04 27 – Bygningers Lufttæthed [20] samt Bygningsreglementer [2].



- Tæthedskrav gælder for nye bygninger, opvarmet til 15 °C eller mere. Ligesom det kan være relevant i renoveringsopgaver at stille krav til/være opmærksom på tæthed, kan det også være relevant i nye bygninger, der ikke opvarmes til 15 °C, fx i køle- og fryserum. Ved utætheder i kølerumsvægge kan der opstå stor risiko for kondens, som over tid kan give grobund for skimmelsvampevækst. I fryserum vil der desuden kunne opstå isdannelse ved utætheder i konstruktionerne, med mulige skader på bygningen som følge.
- Ligeledes kunne det være relevant med trykprøvning af nye bygninger, der pga. deres brug ikke skal energimærkes. Det kunne fx være lagerhaller med iltreducerende atmosfære, hvor det kan være særdeles interessant – for begrænsning af energiforbruget relateret til opretholdelse af det valgte indeklima – at måle tætheden/synliggøre utæthederne, se Del 2 af denne vejledning.

### **Dokumentation af lufttæthed**

Bygningsreglementet § 263, stk. 3 [2] beskriver, at overholdelse af kravet om lufttæthed i nye bygninger kan dokumenteres ved at gennemføre trykprøvning af bygningen, eller repræsentative dele af større bygninger. Bygninger over 10 meter kan testes, hvis bygningshøjde gange temperaturforskel (mellem ude og inde) er mindre end 500 m·K, dette er beskrevet i Bygningsreglementets vejledning om tæthed og trykprøvning af bygninger. Overskrides værdien skal særlige tiltag iværksættes, som beskrevet under kapitlet for test af høje bygninger i Del 2 af denne vejledning.

Hvis der gennemføres trykprøvning af bygningen eller dele af bygningen, så kan trykprøvningen kun danne grundlag for fastlæggelse af infiltrationen (q50) i energirammeberegningen for de etagearealer, hvor der er foretaget trykprøvning. Dvs. at der i energirammeberegningen skal benyttes en infiltration på 1,5 l/s pr. m<sup>2</sup> ved 50 Pa for de etagearealer af bygningen, der ikke er trykprøvet. Sidstnævnte gælder også for bygninger, hvor der ikke er foretaget en trykprøvning. Dvs. foreligger der ikke dokumentation af tætheden, skal der benyttes 1,5 l/s pr. m<sup>2</sup> ved 50 Pa ved fastlæggelse af infiltrationen i energirammeberegningen. Hvis man derimod planlægger at foretage en trykprøvning efter færdigmelding af byggeriet, kan man anvende et skønnede resultat. Det vil dog være et krav at den afsluttende test ligger under den skønnet værdig.

### Gennemførelse af trykprøvning

Trykprøvning af bygningen skal jf. Bygningsreglementet § 263, stk. 5 [2] gennemføres i henhold til Metode 3 i DS/EN ISO 9972 [4]. For en beskrivelse af praktisk udførelse af trykprøvning efter DS/EN ISO 9972 [4], henvises til Del 2 af denne vejledning.

Standarden DS/EN ISO 9972 [4] forskriver, at trykprøvning udføres, når bygningens klimaskærm er færdig. Det anbefales dog i en note, at trykprøvningen også kan anvendes til forundersøgelse af bygningens tæthed, da man så har mulighed for at kontrollere, opdage og udbedre evt. fejl inden bygningen færdigmeldes.

En færdig klimaskærm betyder, at vægge, lofter, lysninger m.v. er monteret. Vinduer og døre monteret og fuget, gennemføringer skal være udført og afsluttet. Hvis

dampspærre er synlig, vil der efterfølgende være risiko for skader, på dampspærre, trykprøves en bygning med synlig dampspærre eller andre mangler, er det en fortrykprøvning (midtvejs kontrol) kan denne ikke anvendes som endelig dokumentation af bygningens tæthed.

#### Krav til udførende af trykprøvninger

I Bygningsreglementet stilles ikke særskilte krav til de virksomheder, der foretager trykprøvninger. Det er dog væsentligt, at de personer, der udfører trykprøvningerne, har den tilstrækkelige viden om emnet, er i stand til at tolke måleresultaterne fra trykprøvningerne, og anvender kalibreret måleudstyr, der måler korrekt. Samtidig bør personer, der udfører trykprøvninger, være uvildige, dvs. det anbefales ikke, at samme trykprøvningsfirma står for udførelsen af trykprøvningen og udpegning af løsningsforslag til de lokaliserede utætheder.

Certificering af de virksomheder, der foretager trykprøvninger, vil kunne bidrage til at sikre denne viden og uvildighed, samt højne kvaliteten af trykprøvninger. I Del 2 af denne vejledning beskrives mere detaljeret kravene til uvildighed, samt muligheder for certificering.

## Passivhuse

Passivhuse er en tysk lavenergi-definition, som er kendetegnet ved, at bygninger er isoleret så meget, at bygningen ikke skal opvarmes traditionelt med centralvarme.

Passivhuse skal certificeres af Passive House Institute (i Tyskland). I certificeringen stilles krav til dokumentation af tæthed og metode til trykprøvning. Det skal dog bemærkes, at Bygningsreglementet ikke anvender Passivhus definitionerne. Dvs. at selvom et Passivhus

opfylder certificeringskravene fra Passive House Institute vedr. tæthed, kan dette ikke bruges som dokumentation af overholdelse af tæthedskrav jf. Bygningsreglementet. Dog kan samme test anvendes, der skal blot indtastes yderligere informationer herunder bygningsvolumen, som normalt undlades i Danmark.

Passivhus tæthedskravet defineres i forhold til bygningens nettovolumen med værdien  $n_{50}=0,6 \text{ h}^{-1}$ . For mere information om beregning af nettovolumen og tæthedskrav for Passivhuse, henvises der til Passivhus Institutet Tyskland.

Passivhuse skal testes efter metode 1 i DS/EN ISO 9972 [4]. Denne metode anses som mere krævende end metode 3, som henvist til i Bygningsreglementet for trykprøvning af nye bygninger. Ved metode 1 er det kun ventilation-sanlægget der må forsegles, emhætter, brændeovne friskluftventiler osv. må lukkes men må ikke forsegles.



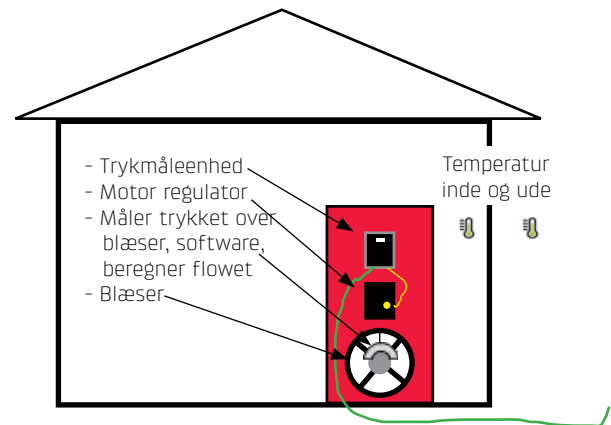
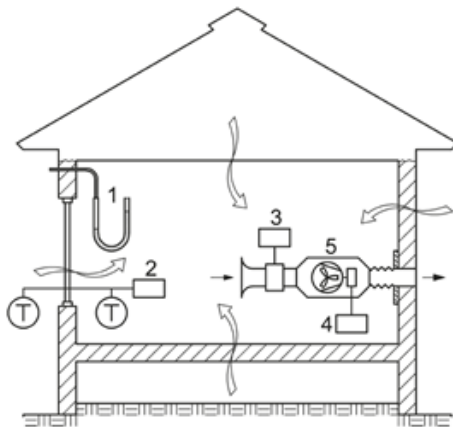
# Udstyr

## Udstyr til trykprøvning

Når der skal foretages trykprøvning af bygninger, kræves der egnet udstyr, der kan skabe en mekanisk trykdifference mellem inde og ude i en bygning, samt forskelligt måleudstyr til registrering af temperatur, luftstrømme og tryk. Enten kan der anvendes en samling af ventilator, kanaler og måleenheder (temperatur, luftstrømme og tryk), sat sammen som skitseret i Figur 5.1 tv. Det mest almindelig anvendte måleudstyr er retrotec og minneapolis Blower Door (Figur 5.1 th), men der ses eksempler på

at test i større bygninger er udført med bygningens eget ventilationsanlæg. Et blower door system består af:

- En ventilator monteret i en fleksibel ramme, der kan tilpasses og monteres i fx et vindue eller en dør i bygningen.
- Ventilatoren er udstyret med en tryksensor til bestemmelse af luftstrømmen fra ventilatoren og den installerede ring. Sensoren er lavet af tyndt rustfrit stålør.



Figur 5.1 – Skitse til venstre. 1) Trykmålingsenhed, 2) Temperaturmålingsenhed, 3) Luftstrømmåleenhed, 4) Ventilatorstyringsenhed, 5) Ventilator, skitse fra [4]. Skitse til højre. Princippet ved en måling af tæthed over bygnings klimaskærm efter DS/EN ISO 9972 [4].

- Til ventilatoren tilsluttes en enhed til styring af luft hastigheden samt registrering af parametre under målingen til vurdering af resultatet.

I DS/EN ISO 9972 [4] stilles der krav til nøjagtigheden af det anvendte måleudstyr, se Tabel 5.1

Trykmålere	$\pm 1$ Pa i området 0 Pa til 100 Pa
Termometer	$\pm 0,5$ K

Tabel 5.1 – Krav til nøjagtighed af måleudstyr

### Egenkontrol og kalibrering

Udover krav til nøjagtighed af måleudstyr er det vigtigt, at der anvendes kalibreret måleudstyr. Desuden stilles der fra leverandørens side også krav til egenkontrol, da støv og skader vil kunne påvirke blæserens nøjagtighed.

#### Egenkontrol

Egenkontrol skal foretages i henhold til det af leverandørens beskrevne tidsinterval, eller såfremt man selv registrerer en fejl ved anvendelse af udstyret. Samtidig er det vigtigt, at operatøren visuelt gennemgår sit udstyr inden udførelse af en trykprøvning. Ved visuel gennemgang inden udførelse skal der tjekkes om dugen er intakt, at trykslanger er intakte, samt at blæseren er ren. Samtidig anbefales det at tjekke om blæseren er ren for støv ved vingerne og omkring sensoren, da tilstedeværelse af støv kan have indflydelse på måleresultaterne og give fejlmålinger. Det kan være en hjælp at føre en logbog over sin blæser, hvori man registrerer, hvor mange tests, der er udført, samt hvornår udstyret sidst er blevet rengjort.



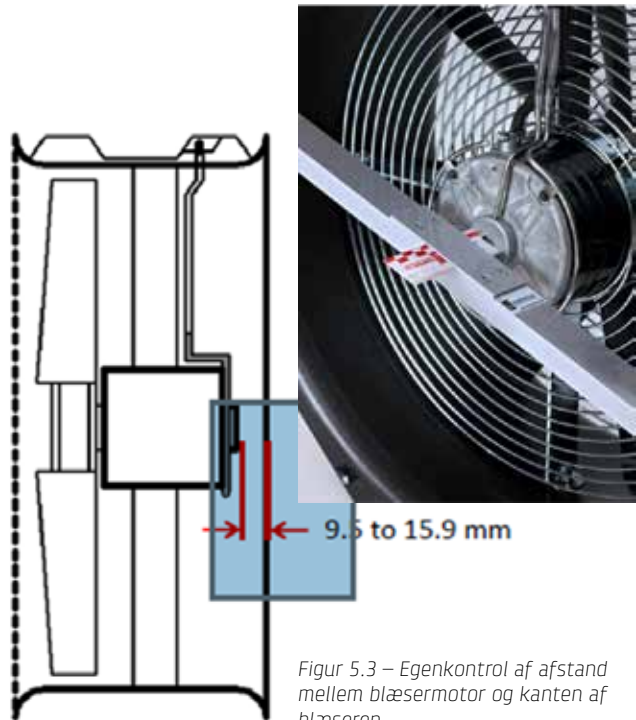


Figur 5.2 – Eksempel på snavset blæser.

Ved egenkontrol efter leverandørens krav, skal der fx tjekkes, at afstand mellem blæsemotor og kanten af blæseren overholder fabrikantens mål, se fx Figur 5.3. Er dette ikke tilfældet er blæseren ikke i orden og den bør sendes til reparation og kalibrering ved leverandøren. Derudover stiller leverandøren krav til regelmæssig egenkontrol af flowføleren. Oplysninger om hvordan denne skal kontrolleres, findes i leverandørens produktbeskrivelse.

### Kalibrering

Producenten foreskriver at udstyret kontrolleres for hver 24 måned, og kalibreres såfremt det ikke overholder producentens tolerancer. Der er i Figur 5.4 og Figur 5.5 vist eksempler på kalibreringscertifikater af henholdsvis styreenheden og ventilatoren.



Figur 5.3 – Egenkontrol af afstand mellem blæsemotor og kanten af blæseren



# Calibration Certificate

## DG-700

**Calibration Facility:** BlowerDoor GmbH  
**Calibration Date:** Dec 6, 2019  
**Customer #:** 35155  
**Certificate #:** DG700E-E-61125-12-6-19

**Model:** DG700E.E  
**Manufacturer:** The Energy Conservatory  
**Firmware Version:** 107  
**Serial #:** 61125-107  
**Temperature (°C):** 22

Last Calibrated: 09.08.2011

### Calibration Data (As Found with defective Sensor B)

Positive Polarity	Gauge # 61125-107			Gauge # 61125-107		
	Standard	Channel A	% Difference	Channel B	% Difference	
	10,2 Pa	10,2 Pa	0,0%	4,2	-58,8%	
	26,4	26,5	0,4%	11,0	-58,3%	
	40,9	41,0	0,2%	17,0	-58,4%	
	52,0	52,1	0,2%	21,6	-58,5%	
	62,7	62,8	0,2%	26,1	-58,4%	
	93,6	93,8	0,2%	39,0	-58,3%	
	134,5	134,8	0,2%	56,0	-58,4%	
	183,0	183,2	0,1%	76,1	-58,4%	
	301,3	301,7	0,1%	125,3	-58,4%	
	504,9	505,8	0,2%	209,6	-58,5%	
	458,3	459,1	0,2%	190,3	-58,5%	
	1225,1	1226,5	0,1%	502,0	-59,0%	
		0,990204		1,002106		
		1,032E-05		8,769E-06		
		1,639E-08		9,450E-09		
Negative Polarity						
	-10,2 Pa	-10,3 Pa	1,0%	-4,3	-57,8%	
	-26,4	-26,5	0,4%	-11,0	-58,3%	
	-40,9	-41,0	0,2%	-17,1	-58,2%	
	-52,1	-52,2	0,2%	-21,7	-58,3%	
	-62,7	-62,8	0,2%	-26,2	-58,2%	
	-93,7	-93,9	0,2%	-39,1	-58,3%	
	-134,6	-134,8	0,1%	-56,1	-58,3%	
	-183,1	-183,3	0,1%	-76,3	-58,3%	
	-301,3	-301,9	0,2%	-125,5	-58,3%	
	-505,1	-506,4	0,3%	-210,1	-58,4%	
	-458,3	-459,6	0,3%	-190,8	-58,4%	
	-505,2	-506,5	0,3%	-210,2	-58,4%	
	-0,1	0,0	0,1 Pa	0,0	0,1 Pa	
		0,989243		1,001404		
		-1,074E-06		-2,681E-06		
		1,562E-08		8,462E-09		

Figur 5.4 – Eksempel på kalibreringscertifikat – DG-700 – fra producenten.

# Calibration Certificate

Equipment: Minneapolis Duct Blaster  
 Manufacturer: The Energy Conservatory, Inc. USA  
 Model: DB B  
 Serial #: DB-CE1770  
 Calibration Facility: The Energy Conservatory, 2801 21st Ave. S., Minneapolis, MN 55407  
 Customer Name: BlowerDoor GmbH  
 Customer #: GEINGE  
 Certificate #: 8-DB-CE1770-01-30-19  
 Calibration Date: 30.01.19

## Published Fan Flow Calibration Parameters

	Open	1	2	3	4	$\dot{V} = C \Delta p^n$ C [m <sup>3</sup> /(h Pa <sup>n</sup> )]
Coefficient (C)	184,7	68,8	25,94	9,92	1,81	
Exponent (n)	0,5032	0,5038	0,5064	0,5140	0,5020	

## Measured Data

Flow Ring	Chamber Orifice Diameter (inch)	Chamber Back Pressure (Pa)	Chamber Flow (m <sup>3</sup> /h)	Calculated Fan Flow (m <sup>3</sup> /h)	Error (from chamber) (%)
Open	9,0	51,0	1738,7	1750,8	0,7
1	9,0	50,2	916,2	906,9	-1,0
2	6,0	50,1	397,5	396,7	-0,2
3	3,0	49,7	153,2	154,4	0,8
4	1,0	51,1	18,8	18,5	-0,2 m <sup>3</sup> /h

Note: Motor position during calibration: 16.4 mm.  
 Conditions: Temperature: 23 °C, Pressure: 1000 hPa

- This fan meets the flow measurement requirements of Standards ASTM E779, ASTM E1554, CGSB 149.10-M86, EN13829, AITMA Technical Standard 1 and NFPA 2001 when used with the Published Calibration Parameters shown above, and the fan is used in accordance with the manufacturer's installation and operating instructions.
- Calibration is conducted in accordance with ASTM Standard E1258 using a test chamber constructed according to ASHRAE Standard 51/AMCA Standard 210. The Energy Conservatory's accuracy assurance reference is comprised of a NIST traceable Mensor Series 6100 Digital Pressure Transducer.
- Measured airflow is volumetric only at standard air density of 1.2041 kg/m<sup>3</sup>.



The Energy Conservatory • 2801 21st Ave. South • Suite 160 • Minneapolis, MN 55407  
 (612) 827-1117 phone • (612) 827-1051 fax • info@energyconservatory.com • www.energyconservatory.com

Figur 5.5 – Eksempel på kalibreringscertifikat for en blæser DB-CE 1770 fra producenten.

## Udstyr til luftlækagesøgning

Samtidig med, at der laves en trykprøvning, kan andre metoder, såsom termografi, anvendes til identifikation og/eller visualisering af utætheder og lækagesøgning. I dette afsnit beskrives udstyr, der kan bruges til dette formål. Anvendelse af dette udstyr til luftlækagesøgning bliver yderligere beskrevet og illustreret med eksempler i Del 2 af denne vejledning.

### Termografiudstyr

Termografering kan bruges til at visualisere mulige utætheder, og foretages ved hjælp af et termografikamera. For at kunne anvende et termografikamera skal der være en temperaturforskel mellem inde og ude på min. 5 °C og gerne mere, hvorfor det bedst udføres i vinterhalvåret.

### Varmetrådsanemometer

Et varmetrådsanemometer kan bruges til at måle luftstrømningshastigheder ved utæthederne.

En af fordelene med varmetrådsanemometer og vindmålinger er at når der er skabt et undertryk i bygningen, kan en måling af vindhastigheden sammenlignes rundt i bygningen året rundt.

### Røg

Røg kan bruges til at lokalisere/visualisere mindre utætheder, samt større utætheder da røgen kan benyttes til at finde føringsvejen fra observeret hul til hul i tæthedsplanet. Der findes forskellige typer af røgudstyr fra de små enkelte røgpenne (se Figur 5.7) til store røgkanoner. Ens for dem er, at når man har udlagt røgen i det område man vil undersøge for utætheder, vil luftstrømmene få røgen til at bevæge sig, se Figur 5.7.



Figur 5.6 – Illustration af varmetrådsanemometer.



Figur 5.7 – Røgpenne til visualisering af mindre utætheder.

Ved anvendelse af røg er der en række gode råd:

- Vær forsigtig ved anvendelse af røgampuller, da røgen fra disse kan danne syrer (svovlsyre), som kan angribe overflader nær utætheden. Undgå at inhalere røgen og undgå at få røgmaterie på huden.
- Brug ikke farvet røg, da det kan misfarve overflader i rummet.
- Sæt altid røgmaskine/røgkanon på et underlag af fx pap, dette for at undgå tilsmudsning fra bl.a. parafin, fedt o.l.
- Luft altid grundigt ud efter en undersøgelse med røg

# Materialer

---

## Etablering af tæthedsplan

Definitionen af tæthedsplan er beskrevet i afsnittet Tæthedsplan. Etablering af et robust tæthedsplan, der sikrer en langtidsholdbar lufttæthed, forudsætter gennemprojekterede og bygbare løsninger, ligesom det forudsætter hensigtsmæssig planlægning af byggeprocesser, således at materialerne til sikring af tæthedsplanet ikke senere i udførelsesfasen bliver utætte ved fx gennembrydninger.



Figur 6.1 – Eksempel på etableret tæthedsplan med tape fra forskellige leverandører.

Til etablering af tæthedsplanet kan der anvendes forskellige materialer. Her er det vigtigt at vælge materialer, der er langtidsholdbare, spiller sammen med andre materialer i tæthedsplanet og er de rigtige ift. den efterfølgende drift. Fælles for valg af materialer til etablering af tæthedsplanet er, at man ved projektering arbejder med et samlet tæthedsplan og holder sig til en systemløsning. I Figur 6.1 er der vist et eksempel på et tæthedsplan, hvor der er brugt tape fra min. 3 forskellige leverandører.

Der vil i denne vejledning ikke blive gennemgået, hvordan tæthedsplanet i en bygning opsættes med forskellige produkter. I følgende afsnit beskrives i stedet kort de forskellige materialer til etablering af tæthedsplanet. Samtidig henvises til tilgængelig viden om emnet, se afsnittet Relevant baggrundsviden.

Det skal dog understreges, at når man etablerer sit tæthedsplan anbefales det, at der anvendes en systemløsning og at man følger producentens anvisninger for det givne system. Ligeledes, at man følger almen teknisk fælleseje, herunder Byg-Erfa blade samt SBI-anvisninger mv.

## Membraner

Der bliver i byggeriet brugt forskellige typer membraner til etablering af tæthedspånet. De forskellige membraner har forskellige egenskaber, og kan kategoriseres som følgende:

- Plastdampspærre
- Alu-baserede dampspærre
- Bitumenbaserede membraner
- Fugtadaptive dampspærre

Tilfælles har de, at samlingerne skal sikres og de skal beskyttes mod beskadigelse, hvilket kan gøres ved at placere dem inde i konstruktionen. Det anbefales, at membranen bliver placeret ca. 1/3 inde i isoleringen (fra den varme side). Dette er med til at sikre, at den ikke bliver perforeret ved fx rørføringer, opsætning af ting på væggene mv. Ligeledes har det vist sig, at levetiden øges pga., at den er placeret ved lavere temperatur end det varme indeklima. Derudover mindskes risikoen for, at membranen "klaprer"/larmer i blæsevejr pga. trykforskelle, ligeledes kan membranens tæthed kontrolleres før diverse installationer af fx vand, el osv. påbegyndes. Man skal dog have for øje, at der ved montering af membraner er grænser for, hvor tætte samlingerne kan blive, fx vil der være folder samt træk i membranen, der gør, at opsatte membraner vil have mindre utætheder, se Figur 6.2.

Empirisk kan der i dag ved opsætning af membraner regnes med følgende tæthedsværdier på baggrund af BYG-ERFA (99) 20 04 27 [15].

- PE-folier 0,08 l/s pr. m<sup>2</sup>-klimaskærm
- Fugtadaptive membraner 0,027 l/s pr. m<sup>2</sup>-klimaskærm



Figur 6.2 – Mindre utæthed af membran pga. folder ved tapet samling.

### Plastdampspærre

De fleste anvendte plastdampspærre er fremstillet af polyethylen (PE), også kaldet PE-folier. Afhængigt af krav til robusthed og damptæthed (diffusionsmodstand), fremstilles de i forskellige tykkelser og med eller uden armering. Det er vigtigt at de anvendte dampspærre er tilstrækkelig robuste til at kunne blive håndteret på en byggeplads uden at der sker skader på disse. Ligeledes er det vigtigt at leverandøren dokumenterer foliens egenskaber samt at der anvendes systemløsninger, som også er beskrevet ovenfor.

### Alu-baserede dampspærre

Alu-baserede dampspærre er opbygget med et tyndt lag aluminiumsfolie, også kaldet Alu-folie eller Alu-kraft. Alu-folien er limet til et bærelag i de fleste tilfælde et kraftigt papir. Ubeskyttet Alu-folie kan nedbrydes i alkaliske miljøer fx ved kontakt med fugtige cementbaserede

materialer. Alu-folie bliver ikke brugt i samme omfang i byggeriet som tilbage i 1960-70'erne.

### **Bitumenmembraner**

Bitumenmembraner bliver oftest brugt i forbindelse ved store fugtbelastninger eller i fx varmtagskonstruktioner. Ved anvendelse af bitumenmembraner er det nødvendigt med et fast underlag hvorpå membranen kan påvejses eller klæbes.

### **Fugtadaptive dampspærre**

Fugtadaptive dampspærre eller intelligente dampspærre er betegnelsen for specialdampspærre, hvor den omkring liggende relative luftfugtighed har indvirkning på dampspærrens diffusionsmodstand. Ved en lav relativ luftfugtighed vil dampspærren have en høj damptæthed (på niveau med traditionelt dampspærre), hvorimod ved en høj relativ luftfugtighed er diffusionsmodstanden lav og dermed tillader fugt at passere.

### **Plader**

Ligesom for membraner kan lufttæthed skabes ved anvendelse af plademateriale. Her er det vigtigt at pointere, at et materiale sagtens kan være lufttæt, men diffusionsåbent. Dvs. at der ikke kan ske luftgennemtrængning, men fugt på dampform kan diffundere igennem pladen fx gips. Desuden kan et plademateriale visuelt se lufttæt ud uden at være det, fx kan en standard OSB-plade ikke anses for at være tæt, se Figur 6.3. Såfremt man ønsker at anvende plader til at skabe tæthedspånet, er det vigtigt at kontrollere, at materialet lever op til gældende krav og kan skabe den fornødne tæthed for både damp og luft.

Ved anvendelse af plademateriale er det vigtigt, at samlinger får både en tætningsmasse og en tape i samlingerne. Benyttes kun tape, vil der komme små huller pga. pladens ujævne struktur. Benyttes derimod kun tætningsmasse, vil der, hvis fugen ikke er 100 % fyldt, være mulighed for, at luft følger fibrene i pladen, hvilket kan give anledning til utætheder.



Figur 6.3 – Eksempel på tæthedsmåling af en OSB-plade.

## **Samlinger**

På trods af, at arbejdet med dampspærre og lufttæthed har stået på i over 15 år, ses der stadig byggerier, hvor man helt fejlagtigt benytter akryl- eller silikonefugemasser til tætning på PE-folier. Det anbefales på det kraftigste at der alene benyttes systemløsninger, udført i forhold til producentens anvisninger. Dette underbygges af forskningsresultater fra BUILD ved Aalborg Universitet, som har udgivet resultater fra større forskningsprojekter, hvor dampspærre og samlinger kontrolleres, som beskrevet i [16] og [17]. I forlængelse af udgivelsen har BUILD udgivet en pressemeddelelse [18] hvori de oplyser, at det er de tapede samlinger af dampspærren, der er det svage led.

Dette er på baggrund af den samlede rapport, hvor der er afprøvet dampspærresamling før og efter ældning. Rapportens resultater har fremhævet på de for tætheden væsentlige parametre, at tapens bærelag slipper klæber- en ved ældning, dvs. klisteret sidder fint på membranen, men selve tape-“kroppen” falder af og derved er forbindelsen ved en samling væk, hvormed tætheden forringes med en faktor 2-4.

# Relevant baggrundsviden

---

Flere kilder opstiller en række fokusområder, samt udfordringer ved forskellige materialer og konstruktionsopbygninger ift. etablering af tæthedsplanet.

## **BYG-ERFA**

Relevante BYG-ERFA blade:

- (31) 20 04 29 Vinduesmontering i skalmure [19]
- (99) 20 04 27 Bygningers lufttæthed [15]
- (39) 11 11 22 Dampspærresamlinger og tætningsmidler [20]
- (27) 19 09 04 Fugtadaptive dampspærre i uventilerede paralleltag [21]
- (39) 18 12 12 To dampspærre - ved nybyggeri og renovering [22]
- (99) 16 08 31 Lufttæthed i ældre bygninger – efter renovering og fornyelse [14]
- (39) 15 12 29 Dampspærre – monteringsdetaljer [23]
- (39) 15 12 28 Dampspærrematerialer og fugttransport – væg- og loftkonstruktioner [24]

## **SBi-anvisninger**

Relevante SBi-anvisninger:

- SBi-anvisning 224 – Fugt i bygninger [8]
- SBi-anvisning 177 – Facadefuger [25]
- SBi-anvisning 77 – Ydervægen som klimaskærm [26]

SBi-anvisning 177 beskriver nogle definitioner på 1- og 2-trinstætninger af fuger, som også kan anvendes på andre konstruktionsopbygninger, som der også er beskrevet i både SBi-anvisning 77 og 224.

## **MEMBRAN-ERFA**

Membranerfa.dk [27] er et løsningskatalog med detaljer, til bl.a. opsætning af dampspærre, samt detaljer til fx radonsikring, opsætning af undertag og vindspærre.





# Litteraturliste

---

- [1] D. Standard, »DS 418 - Beregning af bygningers varme-tab 7. udgave,« Dansk standard, Charlottenlund, 2011.
- [2] »BR18,« 2021. [Online]. Available: <https://bygning-reglementet.dk/>.
- [3] G. Christensen og N. E. Andersen, SBI-anvisning 77 Ydervægen som klimaskærm 1. udgave, Statens Byggeforskningsinstitut, 1972.
- [4] H. Zachariassen, A. Brandt og A. Kjær, SBI-anvisning 177 Facadefuger 1. udgave, Statens Byggeforskningsinstitut, 1993.
- [5] E. Brandt, T. Bunch-Nielsen, G. Christensen, C. Gudum, M. H. Hanse og E. B. Møller, SBI-anvisning 224 - Fugt i bygninger, Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet, 2013.
- [6] D. Standard, »DS/EN 13829 - Bygningers termiske ydeevne - Bestemmelse af luftgennemtrængelighed i bygninger - Prøvningsmetode med overtryk skabt af ventilator 1. udgave,« Dansk Standard, Charlottenlund, 200½.
- [7] D. Standard, »DS/EN ISO 9972 - Bygningers termiske ydeevne - Bestemmelse af bygningers luftgennemtrængelighed - Prøvningsmetode med overtryk skabt af ventilator 1. udgave,« Dansk Standard, Charlottenlund, 2015.
- [8] S. Aggerholm, SBI-anvisning 213 - Bygningers energibehov 6. udgave, Statens Byggeforskningsinstitut , 2018.
- [9] D. Standard, »DS 447 - Ventilation i bygninger - Mechaniske, naturlige og hybride ventilationssystemer,« Dansk Standard, Charlottenlund, 2013.
- [10] D. Standard, »DS/EN ISO 7730 - Ergonomi inden for termisk miljø - Analytisk bestemmelse og fortolkning af termisk komfort ved beregning af PMV- og PPD-indekser og lokale termiske komfortkriterier,« Dansk Standard, 2006.
- [11] H. Hansen, P. Kjerulf-Jensen og O. B. Stampe, Danvak Grundbog - Varme- og klimateknik, Danvak ApS, 2013.
- [12] H. L. Poulin, L. T. Nielsen, B. B. Nøhr, L. Due og J. B. Nielsen, Vejledning i bygningstermografi, Teknologisk Institut, 2015.
- [13] U. Thrane, K. C. Olsen, E. Brandt, N. E. Ebbehøj og L. Gunnarsen, SBI-anvisning 274 - Skimmelsvampe i bygninger - undersøgelse og vurdering 1. udgave, Statens Byggeforskningsinstitut, 2020.

- [14] T. V. Rasmussen, SBI-anvisning 233 - Radonsikring af nye bygninger 2. udgave, Statens Byggeforskningsinstitut, 2015.
- [15] T. V. Rasmussen, SBI-anvisning 247 - Radonsikring af eksisterende bygninger 2. udgave, Statens Byggeforskningsinstitut, 2016.
- [16] T. V. Rasmussen, SBI-anvisning 270 - Måling af radon i bygninger 1. udgave, Statens Byggerforskningsinstitut, 2018.
- [17] TBST, »Energimæssig betydning af tæthed,« 2020. [Online]. Available: [https://eksempelsamling.bygningsreglementet.dk/energimaessig\\_betydning\\_taethed](https://eksempelsamling.bygningsreglementet.dk/energimaessig_betydning_taethed).
- [18] BYG-ERFA, »(99) 16 08 31 Lufttæthed i ældre bygninger - efter renovering og fornyelse,« BYG-ERFA, 2016.
- [19] »Videncenter for Energibesparelser i Bygninger,« 2021. [Online]. Available: <https://byggeriogenergi.dk/>.
- [20] BYG-ERFA, »(99) 20 04 27 Bygningers lufttæthed,« BYG-ERFA, 2020.
- [21] E. B. Møller, »SBI-rapport 2020:10 Afprøvning af dampspærresamlinger - før og efter ældning,« 2021. [Online]. Available: <https://sbi.dk/Assets/Afproevning-af-dampspaerresamlinger/SBI-2020-10.pdf>.
- [22] T. V. Rasmussen, T. K. Hansen, J. K. Nielsen, F. R. Steenstrup, L. M. Ottosen, L. G. Petersen, M. H. Hansen og Y. Shashoua, »SBI-rapport 2020:06 Materialeegenskaber - test af polyethylenmembraners egenskaber før og efter accelereret ældning,« 2021. [Online]. Available: <https://sbi.dk/Assets/Materialeegenskaber/SBI-2020-06.pdf>.
- [23] R. Peuhkuri, BUILD - Aalborg Universitet, 25 08 2020. [Online]. Available: <https://www.build.aau.dk/Nyheder/nyhed/de-tapede-samlinger-i-en-dampspaerre-er-det-svage-led.cid480882>.
- [24] BYG-ERFA, »(31) 20 04 29 Vinduesmontering i skalmure,« BYG-ERFA, 20.
- [25] BYG-ERFA, »(39) 11 11 22 Dampspærresamlinger og tætningsmidler,« BYG-ERFA, 2011.
- [26] BYG-ERFA, »(27) 19 09 04 Fugtadaptive dampspærre i uventilerede paralleltag,« BYG-ERFA, 2019.
- [27] BYG-ERFA, »(39) 18 12 12 To dampspærre - ved nybyggeri og renovering,« BYG-ERFA, 2018.
- [28] BYG-ERFA, »(39) 15 12 29 Dampspærre - monteringsdetaljer,« BYG-ERFA, 2015.
- [29] BYG-ERFA, »(39) 15 12 28 Dampspærrematerialer og fugttransport - væg- og loftkonstruktioner,« BYG-ERFA, 2015.
- [30] MEMBRAN-ERFA, »MEMBRAN-ERFA - Bygningers tæthed,« 2021. [Online]. Available: <https://membran-erfa.dk/>.

