



TRYKPRØVNING AF BYGNINGER

Del 2 Udførelse af en trykprøvning

**Titel**

Trykprøvning af bygninger - Udførelse af en trykprøvning

Udgivelsesår

2022

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



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**



Dansk **Infrarød**
INSPEKTION

ISOLINK
BlowerDoor • Termografering

Indhold

Forord	4
Indledning	6
Baggrund	8
Udførelse af trykprøvning – Småhuse	10
Udførelse af trykprøvning – Store bygninger	18
Udførelse af trykprøvning – Høje bygninger	24
To, tre eller fler-zone-test	38
Rapportering	44
Andre anvendelsesmuligheder	50
Litteraturliste	64
Bilag	66

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 hvormed volumenstrømmen kan beregnes og sammenholdes med gældende krav. Det er derfor vigtigt, at disse test udføres korrekt og så vidt muligt ensformigt efter fastsatte og standardiserede metoder. 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

I forbindelse med udarbejdelse af vejledningens indhold er der i samarbejde med brancheorganisationen Danske Bygningskonsulenter – Faggruppen Klimaskærm, modtaget input primært fra:

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

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

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

Vejledningen er støttet af Realdania og TBST (Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen).





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 naturlig ventilation sker ved manuel 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 for virksomheder, der udfører trykprøvninger af bygninger, hvormed der så vidt muligt kan sikres en standardiseret målemetode, fælles

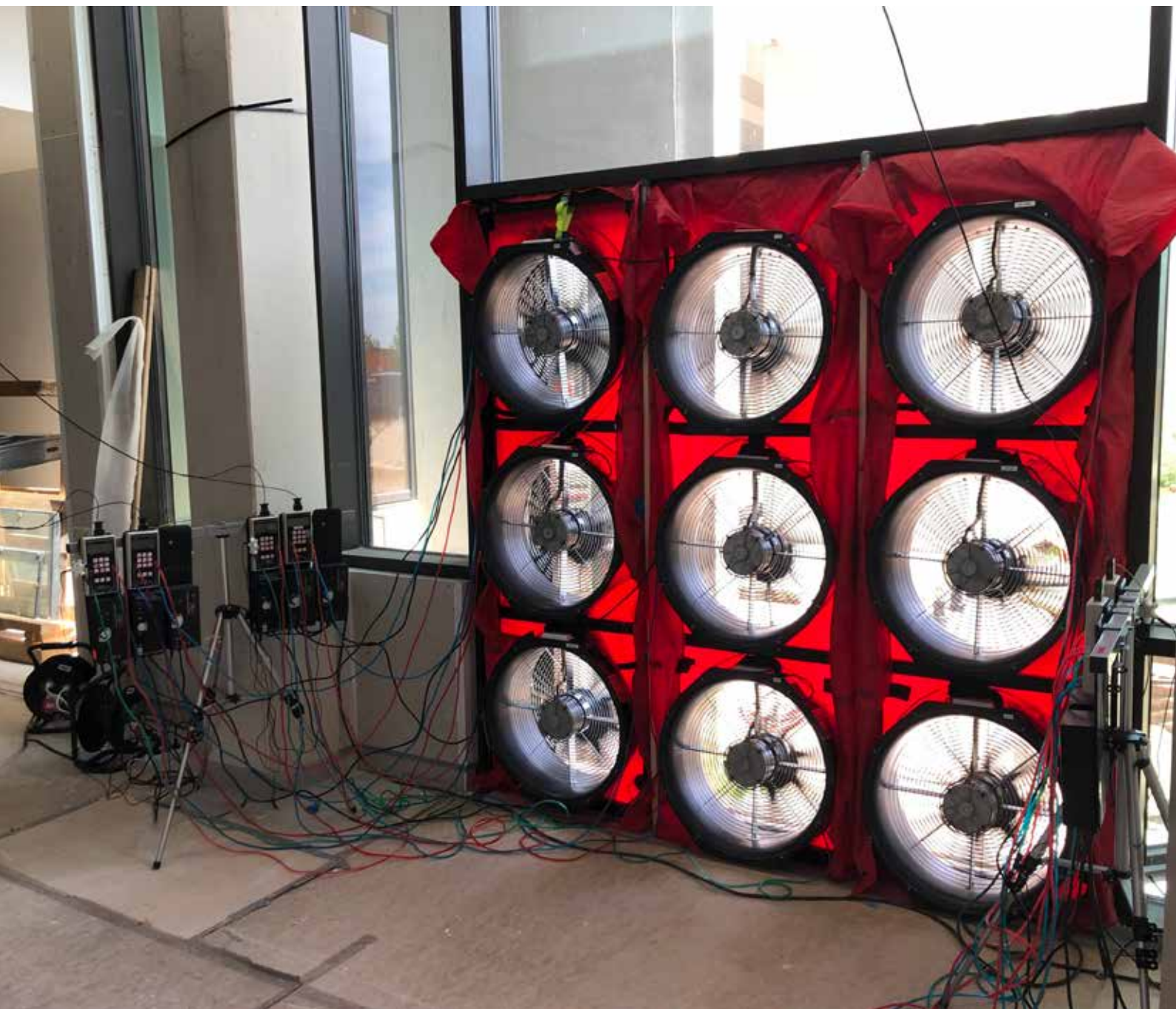
forståelse og ensartet kvalitet af udførte trykprøvninger i bygninger fx huse, etageejendomme, kontorbyggeri m.m.

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 at risikoen for fugtrelaterede skader i konstruktionerne mindskes.

Derudover skal vejledningerne sikre et ensartet grundlag for tæthedsmålinger, som både 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 disse undersøgelser. Derudover vil professionelle bygherrer samt andre aktører kunne anvende vejledningerne til kvalitetssikring, herunder præcisere de krav, der stilles til en konkret udført trykprøvning af en given bygning.



Baggrund

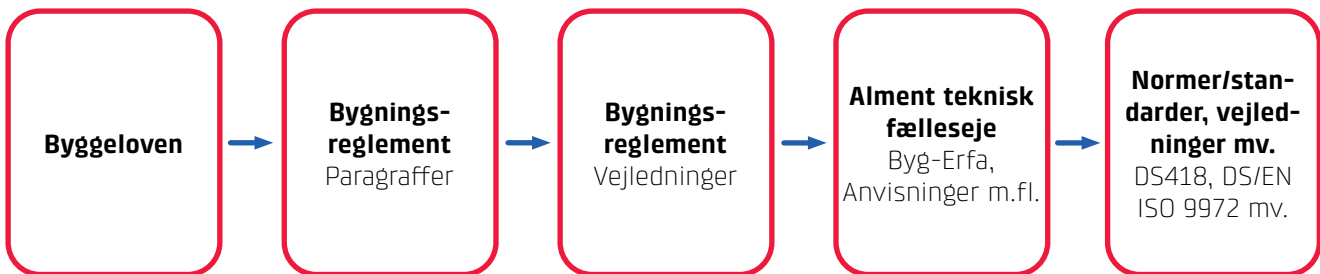
Byggeriets hierarki

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

Den overordnede 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 vælge at bruge andre løsninger. Det kræver dog, at man skal kunne dokumentere, at de trufne valg er velbegrundet, og 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 og 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.

Uvildighed for udførende

For gennemførelse af tæthedsmålinger er der i denne vejledning angivet følgende anbefalinger til uvildighed for de udførende firmaer der laver trykprøvning:

- Udbyderen skal udføre tæthedsmålinger upartisk og skal aktivt modvirke trusler mod sin upartiskhed. Det omfatter såvel trusler mod upartiskhed, der hidrører fra virksomhedens forhold som trusler hidrørende fra medarbejderes og ledelsens forhold.
- Udbyderen, dens ledelse og det personale, der er ansvarligt for at udføre tæthedsmålinger,
 - skal være uafhængig af kunden og andre med interesse i udfaldet af tæthedsmålingerne, herunder bygherre, køber, eller bruger af de bygninger, som dets tæthedsmålinger vedrører;
 - skal ikke have deltaget i projektering eller udførelse af byggearbejder i forbindelse med de bygninger, som dets tæthedsmålinger vedrører;
 - må ikke deltage i aktiviteter, som kunne være i strid med deres objektivitet og integritet i forbindelse med de tæthedsmålinger, som de udfører, herunder rådgivning;
 - skal ikke have relationer, der kan drage deres upartiskhed i tvivl, herunder familieforbindelser eller nære personlige relationer til personer, der har de roller eller udfører de aktiviteter, der er nævnt under ovenstående underpunkter;
- Udbyderen skal ikke indgå aftaler, hvor honorar for tæthedsmålinger kan afhænge af udfaldet af målingerne. Aflønningen af ledelse og medarbejdere skal hverken være afhængig af antal eller udfald af tæthedsmålinger.
- Udbyderen og dens personale skal iagttage ubetinget tavshed med hensyn til alle oplysninger, der erhverves i forbindelse med tæthedsmålinger. Tavshedspligten gælder dog ikke overfor evt. certificeringsorganet, samt kompetente administrative myndigheder, eller hvor udbyderen er retligt forpligtet til at afgive oplysninger, dog jf. følgende:
 - Bliver udbyderen i forbindelse med tæthedsmålinger opmærksom på forhold, som efter udbyderens skøn indebærer risiko for væsentlige skadevirkninger på helbred eller miljø, bør udbyderen underrette kunden herom. Såfremt kunden ikke herefter, så hurtigt som forholdene tilsiger det, foretager det fornødne for at forhindre eller begrænse risikoen for væsentlige skadevirkninger på helbred eller miljø, er udbyderen berettiget til at videregive sin viden til relevante myndigheder.

Udførelse af trykprøvning – Småhuse

Trykprøvning af småhuse inkluderer trykprøvning af enfamiliehuse, rækkehuse og dobbelthuse, med en højde mindre end 10 m, samt opvarmet etageareal mindre end 1600 m².

Planlægning af test

Bestemmelse af målezone

Som udgangspunkt trykprøves det samlede opvarmede bruttoetageareal på småhuse ved hjælp af en 1-zone test. Såfremt det ønskes undersøgt om der er interne utætheder ved dobbelt- og rækkehuse kan dette undersøges ved 2-zone eller fler-zone test. Dette kan være med til at sikre at der ikke opstår lugt- og røggener osv. gennem interne utætheder ved dobbelt- og rækkehuse.

Inden udførelse af trykprøvningen registreres det opvarmede bruttoetageareal iht. gældende BBR-data eller med udgangspunkt i projektmateriale (fx oplyst areal fra byggetilladelsen, plantegninger, energi-rammeberegning osv.).

- Det er vigtigt at vurdere om oplyst opvarmet etageareal stemmer overens med de oplysninger rekvirenten giver gennem projektmateriale for bygningen. Såfremt der er uoverensstemmelser, skal dette synliggøres i trykprøvningsrapporten.
- Hvis ikke det er entydigt hvilket areal der gælder

som opvarmet etageareal, skal dette tydeligt beskrives i målerapporten.

- I tilfælde, hvor det ikke er muligt 'kun' at teste det opvarmede etageareal, fx i småhuse, hvor der mellem garagen og resten af huset ikke er en tæt adskillelse, bør dette også dokumenteres.

Forberedelse af bygningen

Som første step i forberedelse af bygningen inden trykprøvning gennemgås bygningen, og det kontrolleres om den er klar til test. DS/EN ISO 9972 [1] foreskriver, at trykprøvningen udføres når klimaskærmen er færdig. Dog kan enkelte mindre punkter som ikke er klar til test accepteres.

Ved forberedelse af bygningen til trykprøvning skal åbninger i klimaskærmen lukkes eller forsegles som angivet i Bygningsreglements vejledning til trykprøvning [2].

Indvendige døre skal dog sikres åbne under trykprøvning, fx ved anvendelse af kiler. Lukning og forsegling af åbninger jf. Bygningsreglements vejledning til trykprøvning indebærer at:

- Åbninger for naturlig ventilation, vinduer, døre, lemme og lignende i klimaskærmen bør lukkes.
- Øvrige åbninger, der ikke er beregnet til ventilation,

bør lukkes. Dette inkluderer fx vakuumentiler, eller afløb uden vandlås.

- Åbninger, der er beregnet til ventilation, fx i centrale ventilationsanlæg, og åbninger til mekanisk ventilation, der benyttes kortvarigt (fx emhætte), skal lukkes og forsegles, og anlæg skal slukkes under måling.

Udover disse, nævnt i Bygningsreglementets vejledning til trykprøvning, skal brændeovne og andre systemer som gennembrøder klimaskærmen, og som lejlighedsvis påvirker og bidrager til bygningens ventilation, lukkes og forsegles. Alle ovenstående punkter lukkes og forsegles lettest, hvis arbejdet udføres imens der med blæseren er etableret et undertryk på -50 Pa.

Tabel 3.1 giver et overblik over opmærksomhedspunkter, der skal tages i betragtning ved lukning og forsegling af forskellige typer åbninger/gennembrydninger i klimaskærmen.

Det er vigtigt, at alle lukninger og forseglinger foretages som forberedelse af bygningen inden trykprøvning noteres, og indgår i rapporteringen. Ligeledes skal afvigelser beskrives og dokumenteres med billedmateriale. Indvirkningen af disse evt. afvigelser skal vurderes i forhold til trykprøvnings resultat. Hvis muligt, beskrives også indflydelse af afvigelser på måleresultat.

Gennemførelse af test

Målekonditioner

Målekonditioner, dvs. vind-og vejrpåvirkning, har stor indflydelse på måleresultaterne (målingens nøjagtighed) ved udførelse af trykprøvning. Målingen er mest pålidelig, hvis der er omtrent den samme trykforskel mellem inde og

ude (over klimaskærmen) i hele bygningen, dvs. der skal sikres, at den målte bygning opfører sig som en enkelt zone under prøvningen. DS/EN ISO 9972 [1] kræver derfor en maksimal trykforskel pga. vind- og vejrpåvirkning over klimaskærmen på højst 5 Pa, dog gerne så lav som muligt, målt over et tidsinterval på minimum 30 sekunder (minimum 10 værdier). Denne dokumenteres normalt via beregning af gennemsnittet af nultrykmålinger (måling af den naturlige trykforskel over klimaskærmen) jf. punkt 5.3.3 i [1]. Disse udføres før og efter test, hvor ventilatoren er dækket til.

Ved småhuse vil der almindeligvis sjældent være udfordringer med trykforskelle ud over dem, som vind og vejr giver pga. beliggenhed, der giver udfordringer med målingens nøjagtighed og dokumentation af den naturlige trykforskel over klimaskærmen. Ofte vil vindforhold omkring 6 m/s bevirke, at den naturlige trykforskel over klimaskærmen overskrider ± 5 Pa. Er bygningens beliggenhed blot lidt beskyttet vil det dog som regel være muligt at gennemføre en test ved 8 m/s, men sjældent herover. Som trykprøvningsoperatør giver det derfor god mening at tjekke, kontrollere og følge vejrmedlingen meget tæt før måling. Ved kraftig vind er det ofte bedre at blive hjemme og udsætte til anden dag.

Ved måling af den naturlige trykforskel over klimaskærmen, skal som udgangspunkt måles mindst 5 m væk fra bygningen såfremt det er muligt, for at undgå turbulens fra blæseren, og indflydelse af trykket skabt omkring bygningen fra vind og vejr. Ligeledes er det vigtigt at beskytte den udførelse af trykprøvning mod vindpust, fx ved anvendelse af et eller flere T-stykker, som forlænger og fordeler slangen. På denne måde udlignes trykforskelle

Åbning	Hvordan kan den lukkes?
Ventilationsanlæg	Ventilationsanlæg kan lukkes af på selve anlægget, eller ved alle til- og fraluftventiler i alle rum. Ved sidstnævnte skal man være opmærksom på, at utilsigtede utætheder i rørføringen kan give problemer. Jf. DS/EN ISO 9972 [1] skal alle utætheder fra ventilation forsegles og elimineres, så det ikke indgår i måleresultatet. Som udgangspunkt skal rørføringer udføres således de er luft-/damptætte, systemet bør trykprøves iht. [4] afsnit 6.3 og 6.3.1 tæthedsprøvning inden ibrugtagning.
Emhætte	Emhætten er nogle gange koblet på ventilationsanlægget og andre gange med aftræk/afkast direkte til det fri. Emhætter, der benytter sig af afkast til det fri, skal forsegles. Emhætte koblet på ventilationsanlæg forsegles ikke. Emhætter med kulfilter skal ikke forsegles.
Brændeovn, pejs og div. kedler	Friskluftindtag samt aftræk til brændeovn/pejs og andre kedler skal forsegles. Der skal desuden meldes ud, at brændeovnen skal være kold ved aftalt tidspunkt til test. Har brændeovnen balanceret aftræk lukkes denne ikke af.
Afløb	Alle afløb skal sikres lukket enten ved etableret vandlås med vand i eller blindprop/tape/PE-folie. Det gælder toilet, vaske, gulvafløb, afløb til køkkenmaskiner, kondensafløb fra gasfyr, ventilation, vandvarmer osv. Mangler der en vandlås, og bliver der brugt en blindprop/tape/PE-folie til lukning af afløb, skal dette nævnes i rapporten som en afvigelse.
Andre opmærksomhedspunkter	<ul style="list-style-type: none"> • Låse og dørhåndtag i klimaskærmen er ofte ikke monteret på test-tidspunktet. Som udgangspunkt testes bygningen når klimaskærmen er færdige. Dog kan mindre punkter tapes til inden trykprøvningen. • Aftræk fra tørretumbler skal forsegles. Dette gælder dog ikke for kondensørretumblere. • Udeluftsventiler skal lukkes inden trykprøvning. Såfremt de er defekte, anbefales disse tapes ved trykprøvningen eller udskiftes. • I teknikrum/skab skal eventuelle tomrør til el-data, vand- og varme-rør osv. forsegles. • Tætninger omkring bl.a. fjernvarme- og jordvarmeslanger skal have særlig fokus. • Hvis naturgas kedel, oliefyrt og gaspejs har balanceret aftræk, skal disse ikke lukkes af. • Central støvsuger lukkes ikke af. • Garageporte lukkes på normalvis.

Tabel 3.1 – Opmærksomhedspunkter ved lukning af forskellige typer åbninger (baseret på [3]).

skabt af vindpust. Alternativt kan der anvendes en trykudligningsboks, hvori der løber forskellige slanger, se Figur 3.1.

I store og høje bygninger (se afsnit 4. og 5.), kan der også forekomme termisk opdrift pga. temperaturforskel mellem ude og inde, der har stor betydning for målingens nøjagtighed. I klimaområder med $-30 / -40$ grader (fx Grønland) vil termisk opdrift i mindre bygninger dog også have en indflydelse på målingens nøjagtighed.

Placering/opsætning af udstyr

Til udførelse af trykprøvning skal der anvendes udstyr egnet til trykprøvning, se Del 1 af denne vejledning. Udføres der en 1-zone test af småhuse, er det som regel nok at placere 1 blower door enhed. Denne placeres bedst på læsiden af bygningen. Som det fremgår af Figur 3.2 giver vindforholdene et forskelligt tryk over klimaskærmen, afhængigt af om det er på den luv- eller læside af bygning-



Figur 3.1 – Eksempel på trykudligningsboks. Her med 8 slanger fordelt ud på grunden. Det vurderes dog, at 2-4 slanger vil være rigeligt.

gen, og derved forskubbes hele baseline til den ene eller anden side, og derfor vil målingen variere lidt, alt efter på hvilken side blæseren opsættes. Her kommer kravet om max. 5 Pa baseline også ind, for med en baseline over 5 Pa, begynder forskellen at blive ret betydelig.

Indledende tjek

Der etableres undertryk i bygningen, og der laves en visuel gennemgang af bygningen for at se om der er overset noget under forberedelse af bygningen. Samtidig skal det tjekkes om alle afdækninger er lufttætte og ingen forseglinger har sluppet, dvs. om midlertidigt opsatte forseglinger kan holde til testen. Der kan med fordel anvendes termografi, hvis randbetingelser (temperaturforskel) er til stede. Jf. DS/EN ISO 9972 [1] skal et indledende tjek udføres ved højeste benyttet tryk under trykprøvningen. Det anbefales dog, at trykket køres op til det højeste tryk et kort øjeblik, men derefter sænkes til -50 Pa som fast niveau ved alle undersøgelser.

Ved det indledende tjek kontrolleres det desuden, om baselinebetingelserne kan overholdes med den valgte placering af udstyr under de gældende vejrforhold. Er dette ikke tilfældet, ændres placeringen af udstyr, og ved



Figur 3.2 – Trykforskelle på en bygning i forhold til vinden.

den nye placering tjekkes baselinebetingelserne igen. Kan baselinebetingelserne ikke opfyldes kan det blive nødvendigt at udsætte testen.

Endelige måling

Efter indledende tjek, kan den endelige måling foretages.

Følgende skal registreres/laves i forbindelse med den endelige måling:

1. Temperatur måles ude og inde før test.
2. Jf. BR [2] udføres der en undertryks- og overtryksmåling, hvor hele bygningen er under hhv. under- og overtryk. Måleresultater leveres derefter som et gennemsnit af begge målinger.
3. Jf. DS/EN ISO 9972 [1] skal målingerne starte ved enten den højeste værdi af den laveste trykforskel på 10 Pa (± 3 Pa) eller 5 gange baseline. Samtidig forskriver standarden dog, at trykket ved testen bør være så højt som muligt. Dermed modsiger de to forhold hinanden. Det er branchens erfaring, at trykket bør køres ved så højt tryk som muligt for at få den bedst mulige nøjagtighed.

Hvis en test udføres, med referencetryk på 10 Pa eller 20 Pa i stedet for et standard referencetryk på 50 Pa, bør det tilstræbes at målepunkterne ligger ligeligt fordelt over og under referencetrykket.

Herefter foretages minimum 5 målinger med max 10 Pa interval, ved hhv. undertryk- og overtryks-måling. Antallet af målepunkterne skal dog afstemmes med vindforholdene. For at opnå tilstrækkelig målenøjagt-

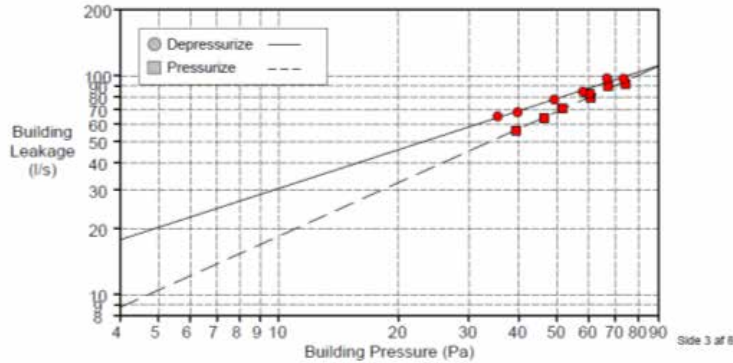
tighed kan det være nødvendigt med flere målepunkter. Den højeste trykforskel skal være minimum 50 Pa, dog anbefales det i DS/EN ISO 9972 at måle ved trykforskelle op til 100 Pa, for at opnå den bedste målenøjagtighed. I praksis anbefales dog prøvninger med trykforskelle op til maksimum 90 Pa, for at undgå skader på tæthedsplanen og bygningen ved påførelse af for store tryk. I nogle af softwareprogrammerne, der følger med den anvendte blower door enhed, er der desuden indstillet et trykloft ved 90 Pa. Kommer det påførte tryk over 90 Pa, slås udstyret straks fra.

4. Den erfarne operatør vil ofte kunne vurdere hvilken ring, der er hensigtsmæssig at starte med. Er man i tvivl kan man skønne det med en simpel beregning (bygningens areal X lovkrav = max flow), hvilket igen giver en indikation på hvilket flow, der er forventeligt.
5. Målingens nøjagtighed kontrolleres ved at tjekke i hvilken grad målepunkterne ligger på en linje. For denne regressionslinje skal eksponenten n overholde en værdi mellem 0,5 og 1, og korrelationskoefficienten $r^2 \geq 0,98$ (DS/EN ISO 9972, afsnit 6.2). I Figur 3.4 og Figur 3.5 vises et eksempel på hvordan målingens nøjagtighed skal tjekkes.
6. Er der opnået tilstrækkelig målenøjagtighed, afsluttes testen og resultatet indgår i den samlede af-rapportering. Er kravene til målenøjagtighed ikke opfyldt, kan følgende tiltag prøves for at forbedre målenøjagtigheden:
 - Prøv så vidt muligt at undgå at teste på dage,

Building Leakage Curve:

Air Flow Coefficient (C_{env}) l/s/Pa ⁿ	7.8 (+/- 43.6 %)	2.8 (+/- 48.4 %)
Air Leakage Coefficient (C_L) l/s/Pa ⁿ	7.9 (+/- 43.6 %)	2.8 (+/- 48.4 %)
Exponent (n)	0.589 (+/- 0.110)	0.815 (+/- 0.120)
Coefficient of Determination (r^2)	0.98219	0.98387

Test Standard: ISO 9972
 Test Mode: Depressurization and Pressurization
 Type of Test Method: Method 3 - Test of Building for a specific purpose
 Purpose of Test: BR 2018 $qF50 \leq 1.0$ lps/m²



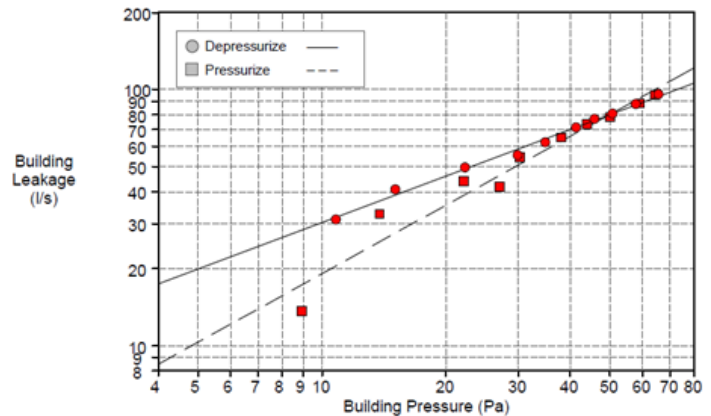
Figur 3.3 – Undersøgelse af målenøjagtighed fra trykprøvning under vanskelige vejrforhold. Målingen overholder dog krav til målenøjagtigheden, da korrelationskoefficienten r^2 (coefficient of determination) er $\geq 0,98$, og eksponent n ligger mellem 0,5 og 1.

Building Leakage Curve:

Air Flow Coefficient (C_{env}) l/s/Pa ⁿ	7.3 (+/- 13.9 %)	2.5 (+/- 58.4 %)
Air Leakage Coefficient (C_L) l/s/Pa ⁿ	7.6 (+/- 13.9 %)	2.5 (+/- 58.4 %)
Exponent (n)	0.603 (+/- 0.039)	0.889 (+/- 0.168)
Coefficient of Determination (r^2)	0.99362	0.94884

Test Standard: ISO 9972
 Test Mode: Depressurization and Pressurization
 Type of Test Method: Method 3 - Test of Building for a specific purpose
 Purpose of Test: Sluttest

Figur 3.4 – Undersøgelse af målenøjagtighed fra trykprøvning. Målingen overholder krav til målenøjagtigheden, da korrelationskoefficienten r^2 (coefficient of determination) er $\geq 0,98$, og eksponent n ligger mellem 0,5 og 1. Dog ses der en stor forskel mellem eksponent ved undertryk ($n = 0,976$) og ved overtryk ($n = 0,560$), hvilket indikerer, at der er et eller andet galt. I denne sag viste det sig, at utætheder i ventilationsrør var årsagen. Dvs. selv om ventilationen var lukket (ved alle til- og frakast), så var der i rør til udsugning så store utætheder i rørføringen, at denne utæthed "hjalp" ved undertryksmålingen og forværede overtryksmålingen.



hvor det blæser. Vindhastigheder over 8-10 m/s vil gøre det umuligt at opnå tilstrækkelig målenøjagtighed, selv på bygninger, der ligger meget beskyttet.

- Overvej om der skal anvendes et T-kryds til beskyttelse af slangen udenfor bygningen ifm. måling af den naturlige trykforskel over klimaskærmen, eller om der skal anvendes en trykudligningsboks (se afsnit 3.2.1. Målekonditioner).
 - Overvej om blæseren skal flyttes til en anden side af bygningen.
 - Øg antal målepunkter.
 - Sæt måleintervallet i det høje område fx fra ± 40 Pa til ± 80 Pa.
 - Øg antallet af målinger pr. punkt (fx fra 100 samples til 1000, eller ved at øge måletid pr. punkt).
 - Om nødvendigt tag en måling mere.
7. Vurdering af måleresultat, fx stor forskel mellem eksponenter osv.
- Ved måling i fx lejligheder kan der indimellem ses meget store afvigelser på eksponenten **n**. Dette kan skyldes, at det forseglede ventilationsanlæg ikke er tæt, dvs. utætheder i rørføring hjælper ved den ene test og modarbejder ved den anden test. Resultatet bliver, at stigningen for kurven (eksponenten) ved den ene måling bliver meget flad, og ved den anden meget stejl. Her kan man få et rimeligt estimat ved at tage et gennemsnit af de to eksponenter og oplyse dette som målingens eksponent.
 - Såfremt der er stor forskel mellem over- og

undertryk, skal dette bemærkes i testrapporten. Herefter det anbefales, at entreprenøren undersøger dette nærmere.

- Der findes en meget simpel tommelfingerregel for at estimere det målte hul i klimaskærmen: $A \text{ cm}^2 = (\text{Flow m}^3/\text{h}) / 2$ – meget simpelt og ikke meget præcist, men udregningen giver en meget god idé om hullets størrelse.

Eksempel

På en konkret bygning er en værdi af lufttætheden på 1,8 l/s pr. m² (bygningen er dumpet). Da loftet nedtages, opdages et åbent Ø100 ventilationsrør. I nedenstående eksempel er tommelfingerreglen anvendt til at vurdere om det åbne ventilationsrør alene er årsagen til resultatet af trykprøvningen.

Baggrundsviden

- Boligens areal 250 m²
- Q50 = 450 l/s
- Lovkrav er 1,0 l/s pr. m²
- Forskel er dermed 200 l/s som omregnes til m³/h (200 x 3,6) for meget = 720 m³/h
- Arealet for meget = 720 m³/h / 2 = **360 cm²**
- Hvor meget er 360 cm². Diameteren af hullet svarer til 21,40 cm (Ø 214 mm)
- Arealet af et Ø100 mm, $A = 5^2 \cdot \pi = 78,5 \text{ cm}^2$

Konklusion

Nej, ventilationsrøret alene er ikke skyld i det dårlige resultat. Der skal lokaliseres flere huller.

Ikke bestået bygning

Er bygningen ikke bestået, vil det være almindelig procedure at fortsætte med at få et indtryk og overblik over, hvorfor bygningen ikke er bestået. Dette kan bl.a. gøres ved hjælp af termografering, røg og måling af lufthastigheder, se også afsnit 8. Andre anvendelsesmuligheder. En oversigt over steder for utætheder er desuden givet i Del 1, afsnit 2.2 af denne vejledning.

Derudover bør fejlkilder overvejes. Ved en standardtest på et enfamiliehus er der normalt ikke så mange muligheder, men ved dobbelthuse, rækkehuse og lejligheder kan der være bidrag fra tilstødende opvarmede zoner.



Udførelse af trykprøvning – Store bygninger

Store bygninger er i denne vejledning defineret som bygninger med opvarmet etageareal over 1600 m² og en højde på højst 10 meter.

Generelt er det lettere for større bygninger at opfylde Bygningsreglementets tæthedskravet end små bygninger. Dels fordi der ofte bygges med beton og glas-alu, som er komponenter, der i sig selv er tætte. Dels fordi geometri og antallet/forholdet af installationsgennembrydninger i klimaskærmen er mindre end i de små bygninger.

For at sikre opfyldelse af tæthedskravet i store bygninger, er det dog vigtigt, at de valgte løsninger er bygbare, og at samlingerne udføres korrekt samt tætte ved både over- og undertryk. Der nævnes under spørgsmål til tæthed i store bygninger i Bygningsreglementet, at det for byggerier med stor gentagelseseffekt fx 250 ens facademoduler, kan være meget nyttigt at foretage afprøvning af tæthed på et par af de første moduler, så dårlige løsninger ikke gentages [4]. I afsnit "Andre anvendelsesmuligheder" i denne vejledning beskrives derfor testmuligheder for at forundersøge af tæthed af fx vinduer og klimaskærmskomponenter.

Planlægning af test

Ved test på større bygninger vil det største problem ofte være at fastsætte et tidspunkt, idet en trykprøvning vil kræve, at bygningen er tømt for folk og andre entreprenearbejder, da man skal sikre og være sikker på, at bygningen er lukket og forbliver lukket under hele testforløbet. Da testtidspunktet altid ligger lige omkring aflevering (færdig bygning) vil det ofte blive valgt at teste bygningen i weekenden, hvor det er lettere at holde bygningen tømt/fri fra andre entrepriser og folk.

Detaljernes bygningsprincip er som regel en gentagelse af facaden, dvs. ved at kontrollere den øvrige facade kan der fås et rimeligt estimat af den færdige detaljes tæthed, og bygningens klimaskærm kan betragtes som færdig, selv ved enkelte midlertidige ikke færdige materialeindgange. Er der, som nævnt ovenfor, flere indgange, som står ufærdige, skal disse lukkes bedst muligt, eventuelt kan måleudstyret opsættes her.

Alle disse forhold vil ofte kræve to-tre indledende gennemgange og møder. Eventuelle lukningsarbejder kan med fordel planlægges til udførelse i ugen op til testen.

Bestemmelse af målezone

Som udgangspunkt trykprøves det samlede opvarmede bruttoetageareal i store bygninger ved hjælp af en 1-zone test. I høje bygninger med flere boligenheder anbefales der dog, mindst 10 % af alle boligenheder testes selvstændigt udover test på hele opgangen, for at sikre, at der ikke opstår lugt- og røggener o.l. gennem interne utætheder. Boligenhederne, der skal testes, anbefales samtidig udpeget af en tredjepart (evt. kommune), for at undgå "nursing" af de valgte enheder.

I erhvervsbygninger ses det ofte, at der i stuetagen er restauranter og lignede. Her anbefales det, at der udføres selvstændige test og der op mod overliggende lejemål testes med røg for at sikre, at lugtgener fra restaurant ikke giver gener gennem et utæt etagedæk i de overliggende lejemål.

Inden udførelse af trykprøvningen registreres det opvarmede bruttoetageareal iht. BBR-data eller med udgangspunkt i projektmateriale (fx oplyst areal fra byggetilladelsen). Vær dog opmærksom på følgende:

- Registreres afvigelser, skal disse dokumenteres i målerapporten (fx ved hjælp af billeder). Det er dog ikke den udførende operatør af trykprøvningen, der har ansvar for at kontrollere hvorledes det opvarmede etageareal i BBR-registret evt. afviger fra projektmateriale eller virkeligheden. Man skal dog som operatør være indstillet på at korrigere det opvarmede etageareal, når energimærkningen, eller BBR-opmålingen kommer med korrigerende data.
- Hvis ikke det er entydigt hvilket areal, der gælder

som opvarmet etageareal, bør dette også tydeligt beskrives i målerapporten.

- I tilfælde, hvor det ikke er muligt 'kun' at teste det opvarmede etageareal, fx i store bygninger, hvor kælderen ikke kan lukkes fra pga. elevator, som ikke er udført luft- og damptæt, eller installationsskakter, bør disse afvigelser også beskrives i målerapporten.

Forberedelse af bygningen

Forberedelse af bygningen ved trykprøvning på store bygninger er i princippet det samme som for småhuse. Dvs. at der kontrolleres om bygningen er klar til test. Hvis dette er tilfældet, lukkes eller forsegles åbninger i klimaskærmen som angivet i Bygningsreglementet [2] (vejledning til trykprøvning). Dog kan dette være mere omfattende og komplekst pga. bygningsstørrelsen. Desuden skal der være særlig opmærksomhed på følgende vedr. store bygninger:

- Hvis ventilationen er centralt, kan bygningen relativt let lukkes direkte på anlægget, blot ved at spjæld i anlægget lukkes. Man skal dog være opmærksom på, at det ofte ses, at ventilationsanlæg er delt over 2 opgange. I så fald vil en lukning af selve anlægget ikke være nok, der skal også lukkes imellem de to opgange. Vær ligeledes opmærksom på, at når spjæld lukkes og anlægget er 100 % slukket vil brandspjæld åbnes automatisk. Man skal derfor også huske at lukke disse.
- Er ventilation decentral og placeret i hver lejlighed kan det være ret omfattende at lukke ventilationen, da det skal ske i hver lejlighed.

- Alle afløb skal lukkes. Dette kan med fordel gøres ved at lukke hovedkloakken med ballon, hvis testen udføres på et tidspunkt, hvor der endnu ikke er vand i bygningen.
- Vinduer og yderdøre med elektrisk styring skal være i lukket position under trykprøvningen.
- Er der elevatortårn til stede, skal udluftningen derfra også lukkes, såfremt den er ført igennem tæthedspanet.
- Er der et centrallager med sluse (ramper til aflæsning) til stede, bør disse normalt ikke lukkes af.

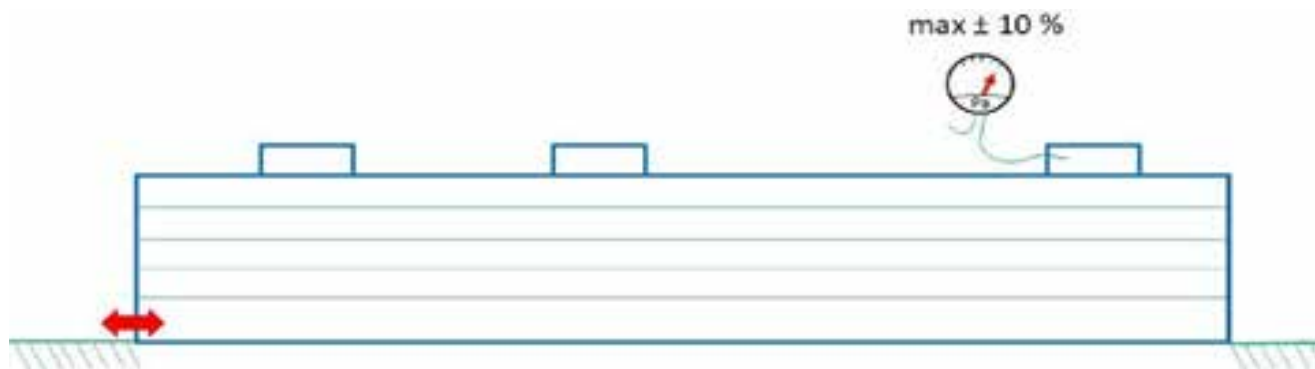
De mest gunstige forhold for en trykprøvning af en stor bygning er under rolige vindforhold og en lille ekstern til intern temperaturforskel over klimaskærmen. Da målingen imidlertid skal integreres i tidsplanen for byggepro-

cessen, er det generelt vanskeligt at finde et passende testpunkt, hvor disse forhold findes. Hvis det er teknisk muligt, kan det derfor være nyttigt at sænke temperaturforskellen mellem inde/ude i bygningen ved længerevarende, massiv ventilation. En effektiv køling af byggeri i beton kan dog være ret vanskelig pga. bygningens varmekapacitet og vil typisk kræve en hel uge medsænket temperatur, før der reelt sker noget.

Gennemførelse af test

Målekonditioner

Målekonditioner, dvs. vind-og vejrpåvirkning, har stor indflydelse på måleresultaterne (målingens nøjagtighed) ved udførelse af trykprøvning. Målingen er mest pålidelig, hvis der er omtrent den samme trykforskel mellem inde og ude (over klimaskærmen) i hele bygningen, dvs. der skal sikres, at den målte bygning opfører sig som en enkelt zone under prøvningen. DS/EN ISO 9972 [1] kræver derfor en maksimal trykforskel pga. vind-og vejrpåvirkning over klimaskærmen på 5 Pa, målt over et tidsinterval



Figur 4.1: Måling af trykfordeling i en stor bygning, med trykforskel inde/ude på 50 Pa i stueetagen. Den maksimalt tilladte afvigelse kontrolleres i det kritiske rum ved at måle trykforskellen til omgivelserne (se metode 1, afsnit 5). Termiske effekter spiller kun en mindre rolle, og skal ikke fratrækkes.

på minimum 30 sekunder (minimum 10 værdier). Denne dokumenteres normalt via beregning af gennemsnittet af nultrykmålinger (måling af den naturlige trykforskel over klimaskærmen) jf. punkt 5.3.3 i [1]. Disse udføres før og efter test, hvor blæseren er dækket til.

I høje bygninger opstår ofte termiske påvirkninger, der gør, at middelværdi for nultrykmålingerne allerede er større end 5 Pa. For store bygninger, dvs. bygninger med et stort volumen, der ikke er høje, fx skoler, er de termiske påvirkninger dog ubetydelige. Det skal dog aktivt sikres, at den anvendte målemetode og opsætning giver en ensartet og jævn trykfordeling i bygningen. Efter bestemmelse af nultrykmåling, kan dette kontrolleres ved at etablere et trykforskel på 50 Pa over klimaskærmen i stueetagen, og derefter måle trykforskel over klimaskærmen i det kritiske rum (mere detaljeret beskrivelse, se metode 1 i afsnit 5 Udførelse af trykprøvning – Høje bygninger). For at udelukke store trykforskelle, kan det være nødvendigt, at målinger i det kritiske rum udføres på forskellige facader. Der kontrolleres, at den registrerede trykforskel over klimaskærmen i det kritiske rum er mindre en 45 Pa (50 – 5 Pa).

Placering/opsætning af udstyr

Til udførelse af trykprøvning skal der anvendes udstyr egnet til trykprøvning, se afsnit 5 i Del 1 af denne vejledning.

Ved planlægning af test af store bygninger kan antal af

blowerdoor enheder beregnes relativt simpelt ved følgende formel:

$(\text{lovkravet [l/s]} \cdot \text{bygningens areal [m}^2\text{]} \cdot \text{l/s pr. m}^2) / \text{kapacitet på blower door [l/s]} = \text{antal blower door enheder}$

Placeringen bør, som ved småhuse, være på læsiden af bygningen. Dog har den interne trykforskel i store bygninger også betydning for placering af blower door enheder.

Generelt gør følgende sig dog gældende:

- Blowerdoor enhed(er) kan normalt installeres på stueetageniveau. Er det ikke muligt at opnå trykforskellen, der kræves til trykprøvningen (ensartet internt bygningstryk), skal der installeres yderligere blowerdoor enheder fordelt over bygningens højde. Fra stueetagen kan forskellige trappeopgange bruges til luftfordeling.
- Det er fornuftigt at installere flere målepunkter til differenstræk over klimaskærmen i stueetagen. Ved anvendelse af 1 blower door enhed i stueetagen kan dette gøres ved at udlægge et kapillarrør gennem vinduespakningerne i forskellige retninger/orienteringer, hvorefter en matematisk gennemsnit af værdierne betragtes under evaluering. Installerer flere blowerdoor enheder i stueetagen, kan disse placeres i forskellige retninger/orienteringer.
- For at kontrollere den krævede trykfordeling i bygningen under hele varigheden af trykprøvningen, kræves minimum et yderligere målepunkt på øverste etage/i det kritiske rum. Trykforskellen i det kritiske rum skal måles og værdien skal registreres i logfilen

under hele testforløbet, men indgår ikke som en del af baseline.

Ved test på store bygninger, hvor mange eller flere blæsere kører, bør man ikke begynde at sætte ringe på blæserne. Det kan blive meget uoverskueligt og let give fejl, ved at sætte en ring på en blæser, men i softwaren komme til at definere, at ringen er sat på en anden blæser.

Ved test, hvor man benytter flere blæsere, bør testen køres med max. åben position på alle benyttede blæsere. Når man er nede i det lave trykområde, kan en blæser helt tages ud og blændes af. Dette princip er lettere at håndtere korrekt.

Endelige måling

Efter indledende tjek, kan den endelige måling foretages.

Følgende skal registreres/udføres i forbindelse med den endelige måling:

- Der måles en (gennemsnitlig) rumtemperatur for stueetage og på øverste etage.
- Der skal udføres en undertryks- og overtryksmåling, hvor hele bygningen er under hhv. under- og overtryk. Til måling af undertryk, er det kun målepunkter, for hvilke der var opnået undertryk i hele bygningsvolumen, der må bruges (tilsvarende i tilfælde af overtryksmåling). Der udføres trykprøvning for minimum 5 målepunkter med max 10 Pa interval ved hhv. undertryks- og overtryksmåling.
- Målingens nøjagtighed kontrolleres ved at tjekke i hvilken grad målepunkterne ligger på en linje. For denne regressionslinje skal eksponenten (slope) **n** overholde en værdi mellem 0,5 og 1, og korrelationskoefficienten **r²** ≥ 0,98 (DS/EN ISO 9972, afsnit 6.2).



Udførelse af trykprøvning – Høje bygninger

Høje bygninger er i denne vejledning defineret 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]. Vær opmærksom på, at selv mindre bygninger i vinterhalvåret vil kunne komme ud for, at betingelsen for temperaturforskellen ikke opfyldes og derved skal beskrivelsen for test på høje bygninger følges.

For at sikre opfyldelse af tæthedskravet i høje bygninger, er det dog vigtigt, at de valgte løsninger er bygbare, og at samlingerne udføres korrekt. Der nævnes under spørgsmål til tæthed i store bygninger i Bygningsreglementet, at det for byggerier med stor gentagelseeffekt, fx 250 ens facademoduler, kan være meget nyttigt at foretage afprøvning af tæthed på et par af de første moduler, så dårlige løsninger ikke gentages [4]. I afsnittet "Andre anvendelsesmuligheder i denne vejledning beskrives derfor testmuligheder for forundersøgelse af tæthed af fx vinduer og klimaskærmskomponenter. Disse forundersøgelser kan ikke udgøre den endelige trykprøvning af bygningen.

Planlægning af test

Bestemmelse af målezone

Som udgangspunkt trykprøves det samlede opvarmede etageareal i høje bygninger ved hjælp af en 1-zone test. I høje bygninger med flere boligenheder anbefales der dog, at mindst 10 % af alle boligenheder testes selvstændigt udover test på hele opgangen, for at sikre, at der ikke opstår lugt- og røggener o.l. gennem interne utætheder. Boligenhederne, der skal testes, anbefales samtidig udpeget af en tredje-part, evt. kommune, eller tilfældigt udvalgt af testfirmaet.

Der skal være overensstemmelse mellem arealet i trykprøvningsrapporten og bygningens faktuelle areal. Trykprøvningsoperatøren kontrollerer, at det oplyste etageareal stemmer overens med eksempelvis byggetilladelsen, udleveret tegningsmateriale eller energirammeberegning.

- Hvis ikke det er entydigt hvilket areal, der gælder som opvarmet etageareal, bør dette også tydeligt beskrives i målerapporten.
- I tilfælde, hvor det ikke er muligt 'kun' at teste det opvarmede etageareal, fx i høje bygninger, hvor kælderen ikke kan lukkes fra pga. elevator, som ikke



er udført luft- og damp tæt, eller installationsskakter, bør disse afvigelser også beskrives i målerapporten.

Forberedelse af bygningen

Forberedelse af bygningen ved trykprøvning på høje bygninger er i princippet det samme som for småhuse. Dvs. at der kontrolleres om bygningen er klar til test. Hvis dette er tilfældet, lukkes eller forsegles åbninger i klimaskærmen som angivet i Bygningsreglementet [2] (§250-§298 vejledning om energiforbrug afsnit 1.10.). Dog kan dette være mere omfattende og komplekst pga. bygningsstørrelsen.

Desuden skal der være særlig opmærksomhed på følgende vedr. høje bygninger:

- Hvis ventilationen er central, kan bygningen relativt let lukkes direkte på anlægget, blot ved, at spjæld i anlægget lukkes. Man skal dog være opmærksom på, at det ofte ses, at ventilationsanlæg er delt over 2 eller flere opgange. I så fald vil en lukning af selve anlægget ikke være nok, idet der også skal lukkes imellem opgangene. Vær ligeledes opmærksom på, at når spjæld lukkes og anlægget er helt slukket, vil brandspjæld åbnes automatisk. Man skal derfor også huske at lukke disse.
- Er ventilation decentralt og placeret i hver lejlighed kan det være ret omfattende at lukke ventilationen, da det skal ske i hver lejlighed.
- Alle afløb skal som udgangspunkt vær færdige, monteret vandlås, inden der kan udføres en tæthedsprøvning.

- Vinduer og yderdøre med elektrisk styring skal være i lukket position og åbningsautomatikken skal være slukket.
- Er der elevatorårn(e) til stede, skal udluftningen derfra også lukkes, såfremt det er ført igennem tæthedsplanet.
- Er der et centrallager o.l. med sluse (ramper til aflæsning) til stede, bør disse normalt ikke lukkes af.

De mest gunstige forhold for en trykprøvning af en høj bygning er under rolige vindforhold og en lille ekstern til intern temperaturforskel over klimaskærmen. Målekonditioner. Da målingen imidlertid skal integreres i tidsplanen for byggeprocessen, er det generelt vanskeligt at finde et passende testtidspunkt, hvor disse forhold findes. Hvis det er teknisk muligt, kan det derfor være nyttigt at sænke temperaturforskellen mellem inde/ude i bygningen ved længerevarende, massiv ventilation. En effektiv køling af byggeri i beton kan dog være ret vanskelig pga. bygningens varmekapacitet og vil typisk kræve mindst en uge med sænket temperatur, før der sker en reel temperaturændring.

Gennemførelse af test

Målekonditioner

Ved test på høje bygninger, hvor betingelsen om $h \cdot \Delta T < m \cdot k$ ikke kan overholdes, er testen uden for betingelserne i DS/EN ISO 9972 [1] og kræver særlige tiltag og opsætning for at gennemføre en korrekt test. Ofte vil det være helt umuligt at overholde baseline betingelserne pga. termisk opdrift, samt højden af bygningen, hvilket medfører store trykforskel mellem stueetagen og øverste etage i højhuse.

Både vind og termisk opdrift giver relativt store trykforskelle i høje bygninger. Dette resulterer i en trykforskel, som langt overstiger betingelser defineret i DS/EN ISO 9972 og giver derfor ikke mulighed for at udføre trykprøvning under standardbetingelser beskrevet i standarden. Samtidig giver store trykforskelle indflydelse på fastlæggelse af baseline for testen.

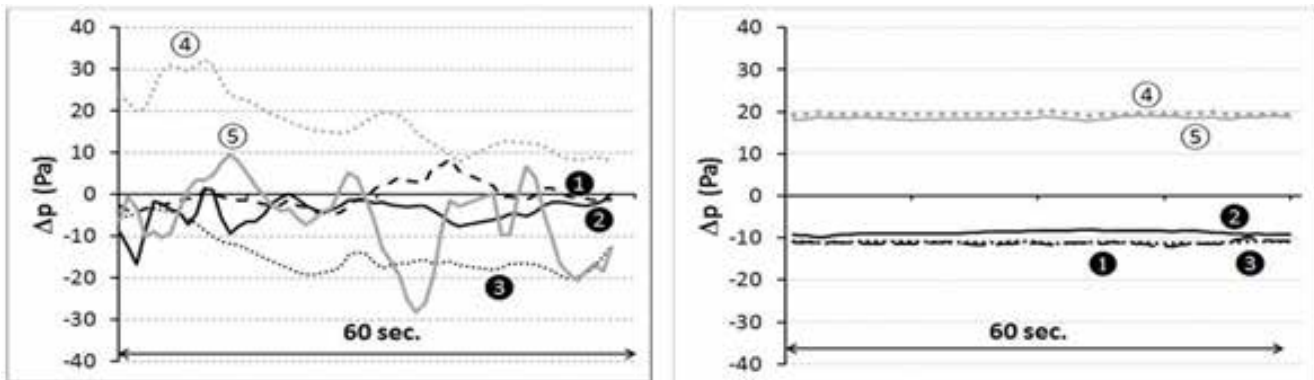
Erfaringer viser desuden, at vindpåvirkning kan resultere i meget ustabile trykforskelle over måleperioden, og at disse desuden afhænger af målingens placering, både ift. hvilken etage/højde og hvilken side af bygningen/verden-shjørne.

Definition af baseline

Som nævnt, kan termiske effekter og vindpåvirkning generere en stor trykforskel i høje bygninger. Derfor skal

der ved test på høje bygninger udføres en baselineanalyse. Her skal den naturlige trykfordeling inde i bygningen måles først, og derefter tages i betragtning ved bestemmelse af trykfordeling i bygningen under udførelse af selve trykprøvningen. Dvs. der skal afdækkes under hvilke tryk bygningen skal testes, også kaldt en baselineanalyse.

En baselineanalyse skal sikre, at der ved fx undertryk, også er undertryk over hele klimaskærmen i hele bygningshøjden. Hvis fx termisk opdrift giver et -10 Pa undertryk ved stueetagen og nulpunktet ligger halvvejs oppe på bygningshøjden, så vil der ved taget være $+10$ Pa og dermed, hvis målingens laveste tryk vælges til -15 Pa, så vil der øverst oppe være $+5$ Pa, hvilket er en alvorlig fejl. Laveste tryk vil som minimum skulle være forskellen mellem top og bund $+5$ Pa dvs. Laveste tryk skal være -25 Pa.



Figur 5.1 – Målinger af de naturlige trykforskelle i højhuset med 16 etager. Målinger på tre sider på den nederste etage (1, 2 og 3) og på to sider på øverste etage (4 og 5). Venstre: ca. 6-7 m/s, temperaturforskel 9 °C. Højre: under 1,5 m/s, temperaturforskel 14 °C. Reference [5]. Ud af graferne kan man læse 2 ting: 1) Vindpåvirkning har meget stor indflydelse på baseline og stabiliteten heraf. 2) Det ses, at alene temperaturforskellen giver en trykforskel på tæt ved 30 Pa mellem stueetagen og øverste etage.



Hvis man ved en fejl begynder med -15 Pa, så vil øverste del af bygningen være i overtryk og målingen bliver helt forkert. Pointen er, at ved høje bygninger er det vigtigt at sikre, at hele bygningshøjden også er i undertryk under hele testforløbet, også når vindpust ud over det termiske medtages i vurderingerne.

Ved testen er det yderst vigtigt, at der under hele testforløbet er undertryk i hele bygningshøjden. Er der den mindste tvivl undlades målepunktet. Ved overtryksmålingen gælder selvfølgelig det samme, men her skal man være opmærksom på, at hvis man står med måleområdet i stueetagen, kan der være et betydeligt overtryk på øverste etage. Har man fx 50 Pa overtryk i stueetagen vil der være 70 Pa overtryk på øverste etage, hvis vi holder fast i eksemplet med 20 Pa forskel mellem top og bund.

Kører man testen op til 75 Pa vil der reelt være 95 Pa på øverste etage og dermed stor risiko for at påvirke bygningen på en måde, hvor der kan ske skade.

Det er vigtigt at påpege, at trykforskelen kan være meget højere, og er den over $\Delta 50$ Pa vil det være nødvendigt enten at minimere termisk opdrift ved køling af bygningen eller undersøge om klimaskærmen kan klare et tryk over $90-100$ Pa uden der opstår skader.

Standarden anbefaler, at trykket køres helt op til 100 Pa, hvilket frarådes, da der ligger erfaringer med, at dampspærre trækkes ned – derfor max. 90 Pa.

Omvendt er høje bygninger ofte dimensioneret mere detaljeret og skal kunne modstå vindens dynamiske påvirkninger, og her er eksempler på facader, der er dimen-

sioneret til langt større trykpåvirkninger (250 – 300 Pa) og endog endnu kraftigere påvirkninger. Og her bør man udnytte disse forhold og køre testen på et relativt højt tryk.

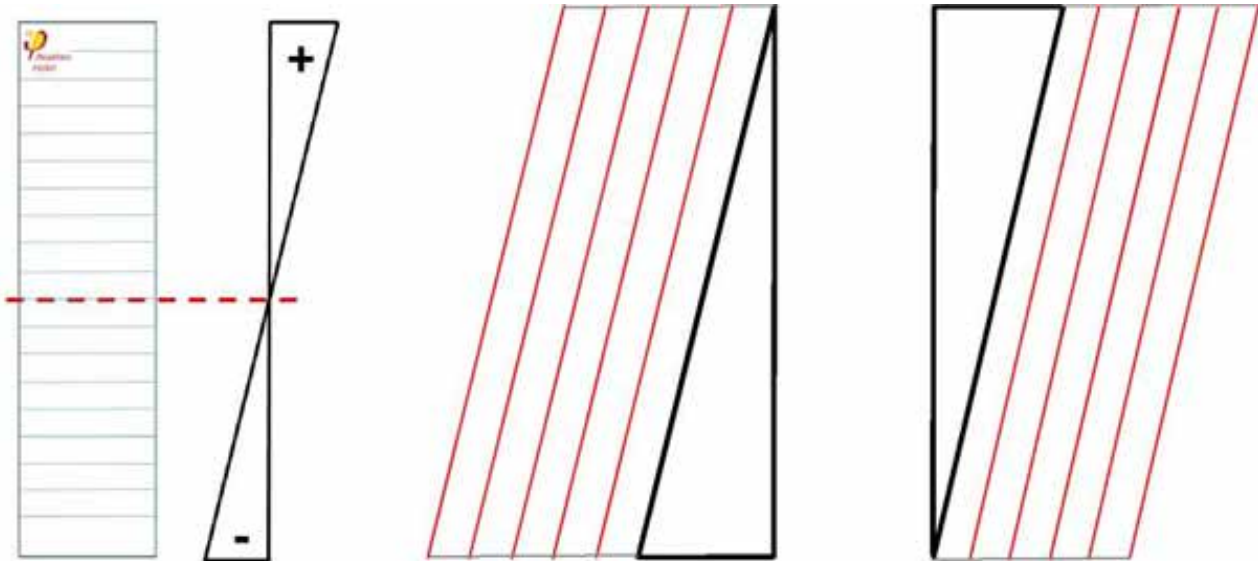
Ved test på høje bygninger, hvor betingelsen om $\Delta T \cdot h < m \cdot k$ overskrides er det et ufravigeligt krav, at bygningen testes med både over- og undertryk, da forskellene i tryk op igennem bygningen elimineres på den måde, at de to test udligner de uønsketigheder, der kommer som følge af trykforskellen.

Eksempel

Tages ovenstående i betragtning, ser et beregnings-eksempel ud som følgende:

Et højhus med en højde, $H = 120$ m, måles om efteråret med en temperaturforskel på $\Delta T = 15$ K mellem inde og ude. På grund af den termiske effekt oprettes en trykforskel på ca. 72 Pa over bygningens højde. Antages, at det trykneutrale niveau ligger halvvejs på bygningens højde, vil trykforskellen være -36 Pa i stueetagen og +36 Pa på øverste etage.

- Jf. DS/EN ISO 9972 skal målingerne starte ved fem gange den naturlige trykforskel, dvs. $5 \times (-36 \text{ Pa}) = -180 \text{ Pa}$, hvilket ikke er muligt med givet standard



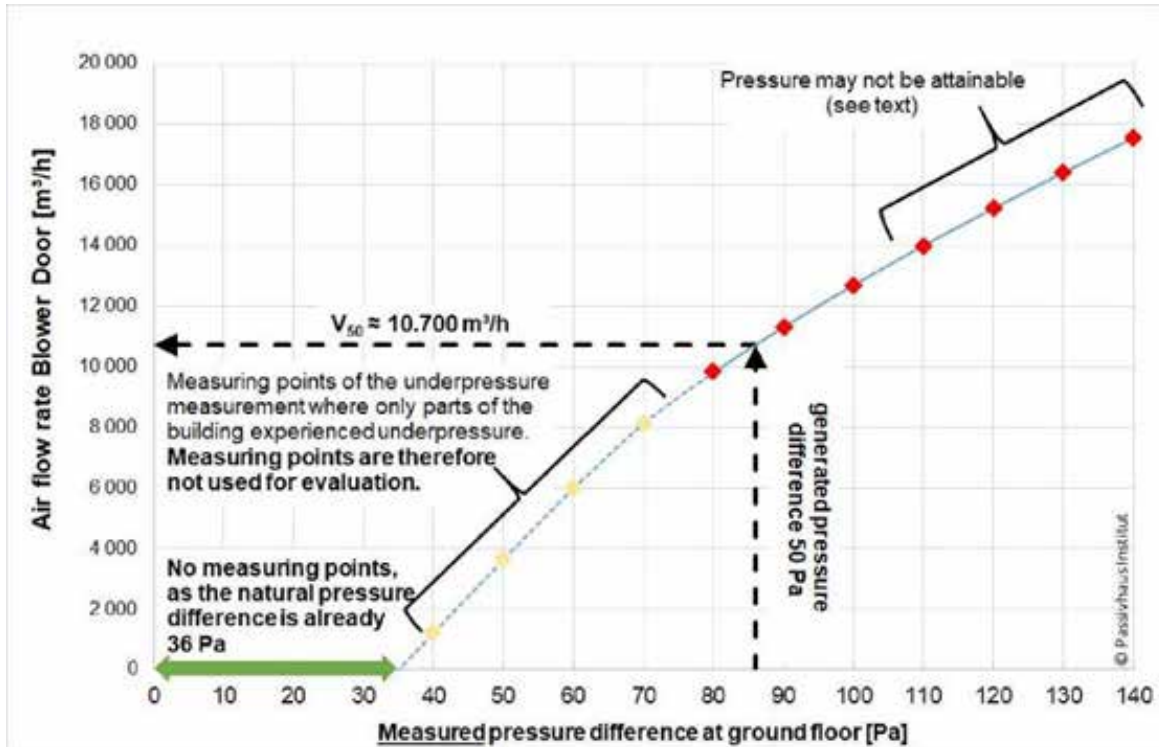
Figur 5.2 – Schematisk illustration af trykforholdene på en høj bygning på grund af de termiske forhold (til venstre), og i tilfælde af genereret under- og overtryk i hele bygningen (midt og højre). De røde fuldoptrukne linjer repræsenterer de forskellige trykniveauer i en måling med under- eller overtryk i hele bygningen, [14].

testudstyr. Derfor er det et krav, at test af hele bygningen sker ved under- og overtryk.

- Ved trykprøvning under undertryk, skal der sikres, at der også er undertryk på øverste etage. Anvendes en "sikkerhedsmargin" på 5 Pa skal der testes med genereret undertryk på
 - 72 Pa - 5 Pa = -77 Pa til
 - 72 Pa - 55 Pa = -127 Pa
 - på stueetage for at sikre et permanent un-

dertryk over hele bygningens højde. I dette interval opnås dermed en trykforskel på -5 til -55 Pa på øverste etage., og der kan registreres 5 måle-punkter med 10 Pa interval.

- Ved overtryksmåling skal blower door justeres, så seriens laveste trykmåling anvender et overtryk i stueetagen, fx +5 Pa. Højeste trykmåling foretages ved +55 Pa (dvs. total 5 målepunkter med 10 Pa interval). På øverste etage vil det resultere i følgende



Figur 5.3 – Eksempel på målekurve for undertryksmåling jf. det ovenover nævnte beregningseksempel. På grund af de termiske forhold er bygningen kun fuldstændig under undertryk fra ca. -72 Pa (målt i stueetagen), [14].

tryk pga. de termiske virkninger:

- $5 \text{ Pa} + 72 \text{ Pa} = 77 \text{ Pa}$ til
- $55 \text{ Pa} + 72 \text{ Pa} = 127 \text{ Pa}$

Internt bygningstryk

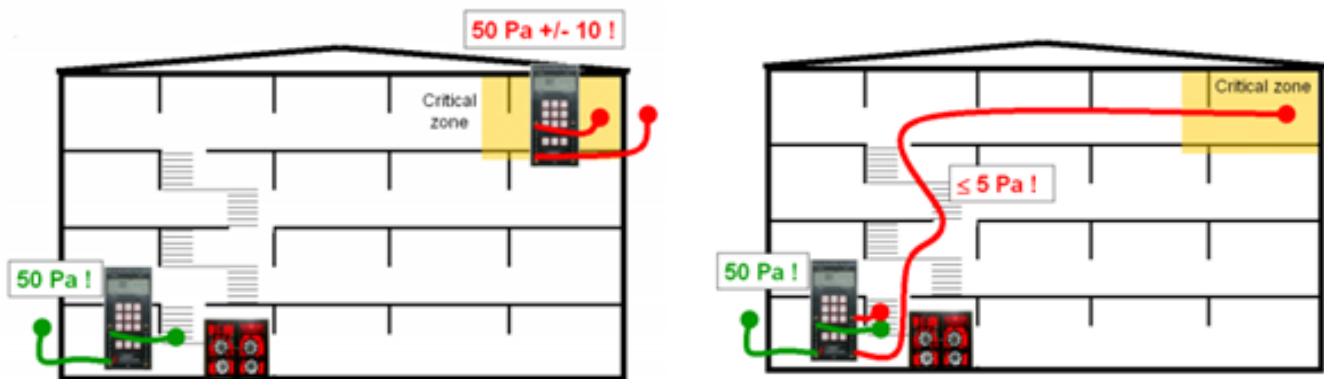
For at dokumentere en ensartet og jævn trykfordeling i bygningen under gennemførelse af trykprøvningen, skal der opsættes trykloggere, der måler trykforskelle mellem top og bund (det rum, der ligger længst væk fra primær opsætning af blæsere).

Dette kan kontrolleres ved to forskellige metoder, se Figur 5.4. Ved begge metoder etableres en trykforskel på 50 Pa over klimaskærmen i stueetagen. I metode 1 måles derefter trykforskel over klimaskærmen i det kritiske rum. I metode 2 måles derimod trykforskellen i bygningen (fra stueetagen til det kritiske rum). For at udelukke store trykforskelle, kan det for begge metoder være nød-

vendigt at udføre flere stikprøver for at bestemme hvor det kritiske rum ligger.

Metode 1:

- Der laves nultrykmåling/baseline med lukket blower door for at fastlægge den naturlige trykforskel på stueetage og i det kritiske rum på øverste etage. Sidstnævnte måles ved at placere et ekstra manometer i det kritiske rum. Et kapillarrør af metal med en rørforlængelse kan bruges til at måle trykforskellen over klimaskærmen. Det er muligt at klemme og bøje kapillarrøret igennem vinduets lukning, se Figur 5.5.
- Der etableres en trykforskel på 50 Pa over klimaskærmen i stueetagen.
- Trykforskellen over klimaskærmen i det kritiske rum registreres gennem aflæsning af målinger fra det ekstra manometer i det kritiske rum.



Figur 5.4 – To muligheder for måling af trykfordeling i en høj bygning, med trykforskel inde/ude på 50 Pa i stueetagen. Tv.: Metode 1. Den maksimalt tilladte afvigelse kontrolleres i det kritiske rum ved at måle trykforskellen til omgivelserne. Indflydelsen af de termiske effekter skal fratrækkes. Th.: Metode 2. Trykforskellen i bygningen måles med en trykslange fra stueetagen til det kritiske rum. Da slangen er placeret inde i bygningen, er der ikke behov for korrektion pga. termiske effekter her.



- Der kontrolleres, at den registrerede trykforskel over klimaskærmen i det kritiske rum er mindre end 45 Pa ($50 - 5$ Pa).

Metode 2:

- Der etableres en trykforskel på 50 Pa over klimaskærmen i stueetagen.
- Trykforskellen i bygningen, mellem stueetagen og det kritiske rum, måles. For at kunne måle denne, ledes et langt rør/tryksslange fra måleenheden i stueetagen til det kritiske rum. Ofte kan dette gøres ved at føre tryksslangen gennem trappehuset. Da den termiske indflydelse på slangen er den samme som for bygningens indre volumen, betragtes den termiske effekt ikke.
- Der kontrolleres, at den målte trykforskel er mindre end 5 Pa.

Placering/opsætning af udstyr

Til udførelse af trykprøvning skal der anvendes udstyr egnet til trykprøvning, se afsnit 5 i Del 1 af denne vejledning.



Figur 5.5 – Kapillarrør med slangetilslutning til måling af trykforskellen gennem en vinduespakning/forsegling, [14].

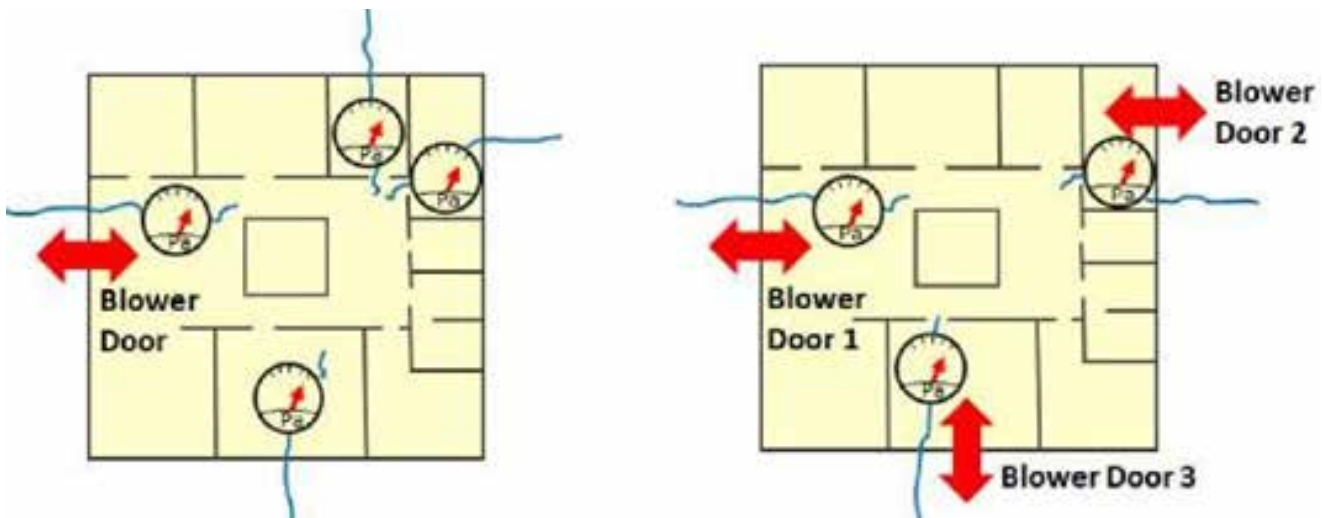
Hvor mange blower door enheder der skal til, samt hvor de placeres bedst, undersøges ved målinger af den interne trykforskel i bygningen, bestemme bygningens størrelse, samt gennemføre baselineanalysen beskrevet i nedenstående.

Generelt gør følgende sig dog gældende:

- Blower door enhed(er) kan normalt installeres på stueetageniveau. Det bør altid undersøges om det er muligt at minimere trykforhold op gennem bygningen med placeringen af blæserne, også selv om der er udført baselineanalyse og trykfordelingen er klarlagt.
- Som ved test på store bygninger bør referencer til det fri (baseline) altid være udført med flere målepunkter, helst en baseline ud til hver side af bygning-

en og enten med særskilt måling eller forbundet med T-stykker til en tryksensor. På Figur 5.6 ses en opstilling af baseline, der samles til en gennemsnitsbaseline for etagen. To metoder er skitseret.

- Baselineanalysen fortæller os ved hvilke tryk bygningen skal testes. For at kontrollere den krævede trykfordeling i bygningen under hele varigheden af trykprøvningen, kræves minimum et yderlige målepunkt på øverste etage/i det kritiske rum. Trykforskellen i det kritiske rum skal måles og værdien skal registreres i logfilen under hele testforløbet, men indgår ikke som en del af baseline. Baseline styres fra stueetagen eller der, hvor man har valgt at opsætte basiskapaciteten af blæserne.



Figur 5.6 – Plantegning med forskellige muligheder for at måle trykforskellen over klimaskærmen, [14]. Venstre: Målinger i fire retninger med fx kapillarrør gennem vinduespakninger. Højre: Måling med tre blower door enheder. Hver enhed har sin egen integrerede måling af trykforskellen inde/lude over klimaskærmen.



Indledende tjek

Der etableres undertryk i bygningen, og der laves en visuel gennemgang af bygningen for at se om der er overset noget under forberedelse af bygningen. Samtidig skal der tjekkes om alle afdækninger er lufttætte og ingen forseglinger har sluppet, dvs. om midlertidigt opsatte forseglinger kan holde til testen. Der kan med fordel anvendes termografi, hvis randbetingelser (temperaturforskel) er til stede. Jf. DS/EN ISO 9972 [1] skal en indledende tjek udføres ved højeste benyttede tryk under trykprøvningen.

Det anbefales dog, at trykket lige køres op til det højeste tryk et kort øjeblik, men derefter sænkes til et mindre tryk under kontrollen.

Der tjekkes ligeledes ved det indledende tjek om kravet til den naturlige trykforskel over klimaskærmen kan overholdes med den valgte placering af udstyr under de gældende vejrforhold. Er dette ikke tilfældet, justeres placering af udstyr, fx ved opsætning af en ekstra blower door, hvorefter dette tjekkes igen.

Endelige måling

Efter indledende tjek og udarbejdelse af baselineanalysen og bestemmelse af trykniveauet for baseline, kan den endelige måling foretages. Følgende skal registreres/laves i forbindelse med den endelige måling:

- Der opsættes en logger, der måler og dokumenterer trykforskellen skabt af vindpåvirkningen.
- Der måles en (gennemsnitlig) rumtemperatur for stueetage og på øverste etage.

- Der skal udføres en undertryks- og overtryksmåling, hvor hele bygningen er under hhv. under- og overtryk. Til måling af undertryk er det kun målepunkter, for hvilke der var opnået undertryk i hele bygningsvolumen, der må bruges (tilsvarende i tilfælde af overtrykmåling). Der udføres trykprøvning for minimum 5 målepunkter med max 10 Pa interval ved hhv. undertryks- og overtryksmåling.
- Målingens nøjagtighed tjekkes ved at se i hvilken grad målepunkterne ligger på en linje. For denne regressionslinje skal korrelationskoefficienten $r^2 \geq 0,98$ (DS/EN ISO 9972 [3], afsnit 6.2).
 - Da målinger ved høje bygninger er komplekse og kan være vanskelige, kan afvigelser være acceptable. Vær opmærksom på at da trykprøvningsmålinger i høje bygninger ofte er komplekse, kan der være behov for supplerende kontrolmålinger.
- Ved kraftig termisk opdrift vil det ligeledes være umuligt at holde eksponenten (slope) n mellem 0,5 og 1. Afvigelser vil forekomme, men da afvigelsen går hver sin vej ved under- og overtryk, vil gennemsnittet være udlignet. Eksponenten kan oplyses som et gennemsnit af de to målinger.



Note!! Når der bruges lange rør eller kapillarrør, kan det tage lang tid indtil faktiske målte værdier opnås igen efter den automatiske kalibrering af trykmålerenheden (trykmåleren Klikker). Derfor skal man vente tilstrækkeligt længe efter en automatisk kalibrering, før værdierne kan bruges igen.

Eksempel termisk opdrift

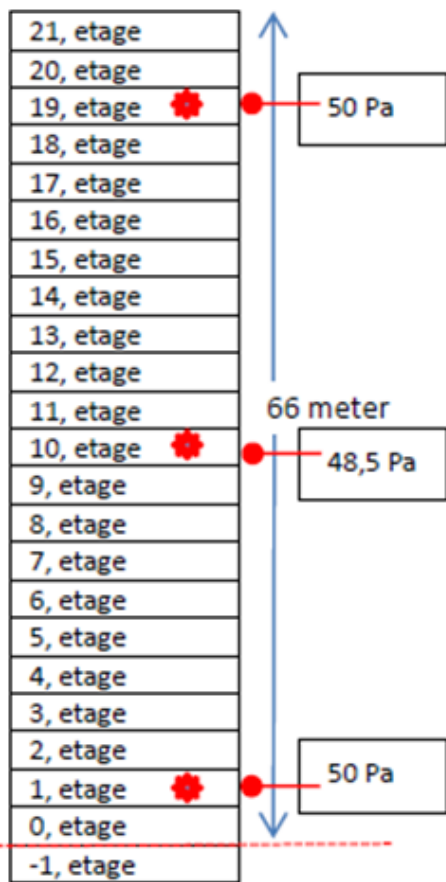
Test af kerne omkring brandelevator, trappe og kanal til fordeling af luften fra overtryksventilations (OTV) anlæg ønskes testet ved et overtryk på 50 Pa. Der blev i bygningen målt temperatur til 18 grader, både i trappe og uden for kernen.

Alle monterede døre er lukket af på normal vis, trykudligningsspjæld i toppen af huset er lukket af fra tagsiden med en træplade, dørhul til kælder er lukket af med blower door, spjæld mod kælder er lukket af med tape og plastik folie. Spjæld i kælder til OTV-anlæg er lukket af udvendigt, samt spjæld fra trappe mod teknik kælder.

Der er i Figur 5.7 vist en skitse af bygningen samt placering af blæsere fra blower door udstyret. Der er opsat blæsere på 1. etage, 10. etage og 19. etage. Til registrering af trykforskellen i kerne, mod resten af huset var der udlagt en slange hvor over trykforskellen blev målt, ved ovenstående etager.

Ved udførelse af måling af tætheden, ved bygninger med flere etager, skal man altid sikre sig at man kan overholde kravet på $\pm 10\%$ (5 Pa) fra bund til top, for at målingen er valid iht. Standarden: DS/EN ISO 9972.

Situation 1



Målt samlet utæthed: 5576 m³/h. 50 Pa.

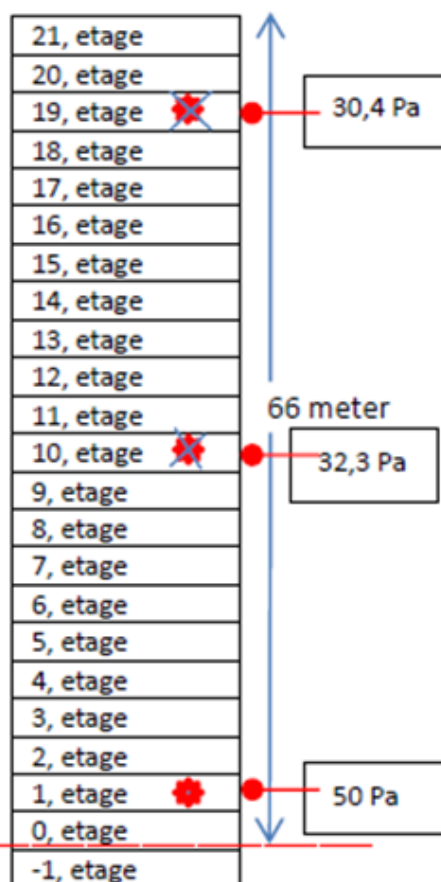
Difference: 5576 – 4899 = 677 m³/h ≈ 12 %

Alle 3 blæsere i brug.

Difference fra top/bund ± 5 Pa = 1,5 Pa

Difference er ok = Måling valid

Situation 2



Målt samlet utæthed: 4899 m³/h. 50 Pa.

Blæser på 1. etage i brug, andre blæsere lukket

Difference fra top/bund ± 5 Pa = 19,6 Pa

Difference ikke ok = Måling ikke valid

Figur 5.7 – Skitse af etage. Der er ingen skorstens effekt eller termisk opdrift der skal tages højde for ved målingen på grund af at der samme temperatur inde i kernen og uden for kernen. Casen viser også at man ikke kan lave en valid trykprøvning af høje bygninger, uden man måler trykket mindst i midten, toppen og bunden af bygningen. Ud fra målingerne vil det være nødvendigt at skulle have blæserne delt ud over bygningen på forskellige etager, for at kunne udføre en valid måling.

To, tre eller fler-zone-test

Der er i det følgende kapitel beskrevet metoder/eksempler på fler-zone-test. Dette kan fx anvendes til at bestemme udvekslingen mellem to forskellige zoner. Dvs. udover den zone, hvor man ønsker at måle, opsættes der en blæser mere i den tilstødende opvarmede zone. Reelt køres der derved 2 tests på samme tid, men kun den ene test benyttes (målezone).

Den tilstødende zone tryksættes blot for at eliminere bidrag gennem skillevæggen. Når der fx testes ved -50 Pa i målezone og -50 Pa i den tilstødende zone, så er der reelt 0 Pa imellem de 2 zoner og derved intet flow gennem eventuelle utætte områder. Testmetoden er særdeles effektiv, men der er dog grænser for hvor store utætheder, der kan være imellem zonerne.

Eksempel 1: Måling på lejligheder, hvor bidrag imellem lejligheder elimineres

På figur 6.1 ses en test på en lejlighed, hvor det ønskes undersøgt utætheder mellem de forskellige lejligheder. For at eliminere bidrag fra de overliggende og tilstødende lejligheder, var det nødvendigt at gennemføre en 4-zone-test.

Ved en almindelig trykprøvningstest (en-zone-test) til undersøgelse af tæthedskravet, vil det i et byggeri som dette ikke være muligt at sige, om der i en lejlighed ikke er utætheder fra de tilstødende. Såfremt trykprøvningstesten for den ene lejlighed består tæthedskravet med en-zone-test, opfylder den kravet med de utætheder der er mellem lejlighederne (de opvarmede zoner). Hvis trykprøvningstesten derimod viser at lejligheden ikke opfylder tæthedskravet, er lejligheden "dumpet" og man kan



Figur 6.1 – Foto af case, hvor én lejlighed testes for bidraget fra omkringliggende lejligheder.

ikke vurdere hvor stort bidraget til den samlede utæthed er fra de andre lejligheder (de opvarmede zoner).

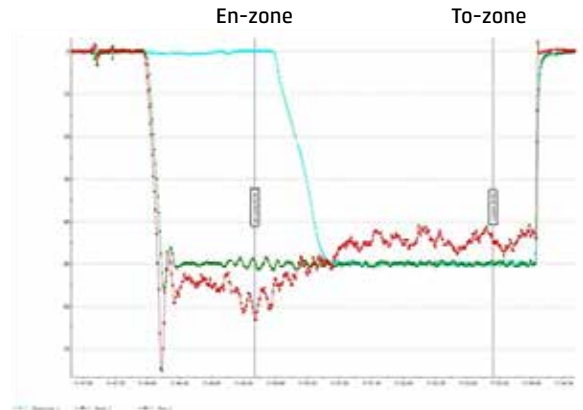
I Figur 6.2 kan det ses, at flow ændres mellem en-zone og to-zone test og det kan direkte aflæses, at utætheder imellem lejligheder ved $\Delta 50$ Pa er 7 l/s.:

- Flow ved en-zone = 45 l/s
- Flow ved to-zone = 38 l/s

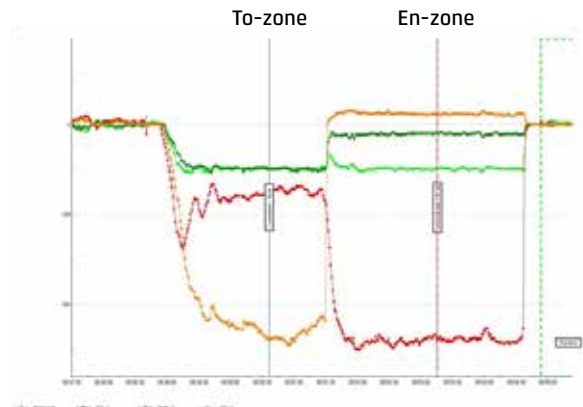
I Figur 6.3 kan utæthed imellem lejligheder ses, at den er meget stor:

- Flow en-zone-test = 90 l/s
- Flow to-zone-test = 45 l/s
- Utæthed mellem lejligheder ved 50 Pa er 45 l/s, hvilket er meget. Det kan også ses, at når der er 50 Pa undertryk i lejlighed 1 er der samtidigt tæt på 10 Pa undertryk i tilstødende lejlighed.

I Figur 6.3 ses det, at utæthederne imellem lejligheder er meget stor. Her skal man være opmærksom på, at en zone godt kan tage lidt over, især hvis man kører med forskellige ringe på blæseren. Her vil den blæser med stort flow stille og roligt opbygge og tage over, så størstedelen af flow tages fra en blæser.



Figur 6.2 – Graf 1. Grøn = trykket i målt i lejlighed, Turkis = trykket i nabo lejlighed og Rød = trykket over blæseren.



Figur 6.3 – Graf 2. Grøn og Lysegrøn = trykket i lejlighed 1 og 2 (baseline), Rød og Orange = trykket over de to blæsere

Eksempel 2: Tilbygning

Figur 6.4 viser en ny tilbygningen hvor omfanget af tilbygningen tilbygning, hvor omfanget tilbygningen er så stort, at bygningen defineres som selvstændig nybygning.

I ovenstående case er der udført 2 test på samme tid (2-zonetest). Opstilling 1 er i den nye bygning (måle-zonen) og opstilling 2 er i det gamle bygningsafsnit (modtryk-sætningszonen). Ved metoden får man elimineret alle bidrag fra det gamle bygningsafsnit, og målingen bliver dermed en ren måling på klimaskærmens tæthed i det nye bygningsafsnit (tilbygning). Der kan med fordel udføres 1-zone-test af tilbygningen inden de to bygninger sammenkobles, hvormed der er dokumentation for tilbygnings tæthed alene.

Eksempel 3: Test af mindre zone i større byggeri

Som det ses i figur 6.5, er der skabt et forkammer foran det egentlige testområde, som, når testen kører, tryksættes samtidigt med måle-zonen. Metoden er eneste mulighed for at få en ren måling på klimaskærmen. Ved større byggerier er der ofte mange installationer over nedhængte lofter, hvilket ofte gør det umuligt at sikre en tæt zone pga. de mange installationer. Men med 2/3-zone-test, som er benyttet her, elimineres dette bidrag af trykzonen.

Eksempel 4: Forskel på valid og ikke valid fler-zonetest

Der er i Figur 6.6 vist et eksempel på et forsøg på at lave en fler-zonetest, dog ved hjælp af en enkelt blower door. Lejlighederne er forbundet udvendigt med kloakrør. Dette vil dog ikke give en valid måling, da der ikke opnås ensar-



Figur 6.4 – Case med trykprøvning af tilbygning alene.



Figur 6.5 – Test af klimaskærmssektion.

tet og korrekt trykforhold i hver lejlighed. Dette vurderes ikke som en valid måling, da der ikke kan opnås ensartet og korrekt trykforhold i hver lejlighed. Derimod bør det udføres ved opsætning af trykprøvningsudstyr i hver enkelt lejlighed, for at opnå ensartet og korrekt trykforhold i hver lejlighed, se Figur 6.7.

Målingen af opstillingen i Figur 6.6 viste en samlet tæthed på 0,55 l/s pr. m² (362 l/s, samlet opvarmet etageareal 658 m²) når man anvender det opvarmede etageareal. Ved denne opstilling vil det ikke være muligt at udføre en tæthedsprøvning af flere sammenbyggede lejligheder, på grund af rørforbindelsen ikke vil sikre at man opnår samme trykforskel i alle lejlighederne, efter kravet i EN/DS ISO-9972 [1].



Figur 6.6 – Eksempel hvor samtlige lejligheder testes med én blæser, med luftsammenhængen gennem kloakrør. Dette vurderes ikke som en valid trykprøvning da der ikke opnås ensartet trykforhold i hver lejlighed.

Sættes derimod blæsere op i hvert enkelt lejlighed (4 forskellige zoner), se Figur 6.7, kan der sikres et korrekt trykforhold i hver lejlighed. Resultat af trykprøvningen for henholdsvis en-zone test og 4-zone test er angivet i Tabel 6.1. Det ses af tabellen, at ingen af lejlighederne vil bestå tæthedskravet hvis de er testet ved en-zone test, men ved en 4-zone test ville alle (på nær lejlighed 1) bestå tæthedskravet.



Figur 6.7 – Her er bygningen udført med 4-zonetest, hvilket er i henhold til standarden.

	Lejlighed 1	Lejlighed 2	Lejlighed 3	Lejlighed 4
Opvarmet etageareal [m ²]	167	162	162	167
Tæthed ved overtryk – En-zone [l/s pr. m ²]	1,96	1,98	1,94	1,54
Tæthed ved undertryk – En-zone [l/s pr. m ²]	2,07	2,22	2,11	1,69
Gennemsnit – En-zone [l/s pr. m ²]	2,02	2,10	2,01	1,61
Luftmængde – En-zone [l/s]	336	340	328	269
Tæthed ved overtryk – 4-zone [l/s pr. m ²]	1,65	1,36	1,38	1,28
Tæthed ved undertryk – 4-zone [l/s pr. m ²]	1,70	1,47	1,42	1,35
Gennemsnit – 4-zone-test [l/s pr. m ²]	1,67	1,42	1,40	1,32
Luftmængde – 4-zone [l/s]	280	229	226	220
Utæthed over lejlighedsskillet [l/s]	56	111	102	49

Tabel 6.1 – Resultat for trykprøvning af lejlighederne udført ved henholdsvis en-zone-test og 4-zone-test. Tæthedskravet for lejlighederne var 1,5 l/s pr. m².

Rapportering

Generelt

Der er i følgende afsnit beskrevet, hvad der som minimum skal være indeholdt i en trykprøvningsrapport for at leve op til krav i Bygningsreglementet [2] og DS/EN ISO 9972 [1], herudover gives en introduktion til en rapportgenerator, der er udviklet af Foreningen Danske Bygningskonsulenter.

Rapportgenerator

Foreningen Danske Bygningskonsulenter har udviklet en rapportgenerator. Formålet med rapportgeneratoren er at leverer et ensartet udtryk med entydig angivelse af måleresultater, samt indikation af at de parametre som angivet i bygningsreglementet er opfyldt.

Der er i generatoren indbygget egenkontrol, som forhindrer fejl. Alle indberettede rapporter ligger offentligt tilgængeligt og kan tilgås efter samme princip som energimærker.

Samtidig opbygges en statistisk database, hvor der via forskellige konstruktionstyper kan opnås et overblik over gennemsnitlig tæthed. Generatoren drives af klikafgift pr. adresse. Hvis bygningen dumper og skal gentrykprøves, er der ikke yderligere klikafgifter.

Tjekliste

Tabel 7.1 viser en tjekliste som angiver forslag til krav indeholdt i rapporter jf. BR [2] og DS/EN ISO 9972 [1], som dækker småhuse. Derudover er der i førnævnte rapportgenerator en tjekliste, som kan anvendes. For at dække særlige forhold i store og høje bygninger er der brug for yderligere dokumentation, se følgende afsnit.

Udover punkterne i tabellen anbefales det at rapporteringen indeholder:

- Et sammendrag af termograferingen med repræsentative billeder af de registrerede forhold.
- Måledata.
- Logfil fra under- og overtryksmålinger.

Resultatet skal fremgå på en af rapportens 2 første sider, og skal være angivet ud fra måledata for at give læserne overblikket. Hvis resultatet benyttes i energiberegningen og verificerer antal af solceller eller andre tekniske anlæg, leveres resultatet med 2 decimaler. Standardens krav til rapportering skal være indeholdt i måledata. I rapporteringen skal der være en redegørelse for, hvordan bygningen er klargjort til test og hvor blæseren/blæserne er opsat.



Figur 7.1 – Eksempel på forsiden af trykprøvningsrapport fra rapportgeneratoren, udviklet af Klimaskærm IT, i samarbejde med Fiona IT.

Krav til rapporter efter bygningsreglementet, herunder ISO 9972:2015	Opfyldt og fuldt dokumenteret JA/NEJ
<p>Jævnfør ISO9972:2015 kapitel 5.3.4: Der skal foretages minimum 5 trykmålinger ved forskellige tryk. Laveste tryk skal være 5*blindmåling eller max 10 Pa, den største af de 2 værdier skal anvendes. Det højeste tryk skal minimum være 50 Pa. Det anbefales, at højeste tryk er 100 Pa. Der må maksimalt være 10 Pa trykforskel mellem målingerne.</p>	
<p>Jævnfør ISO9972:2015 kapitel 5.3.3: Trykforskellen mellem ude og inde må ikke overstige ± 5 Pa.</p>	
<p>Jævnfør ISO9972:2015 kapitel 5.3.: Den laveste trykmåling må maksimalt være 10 Pa eller 5*blindmålingen.</p>	
<p>Jævnfør Bygningsreglementet kapitel 11 § 263 Resultatet skal afleveres i liter pr. sekund pr. m², ved 50 Pa aflæst ved gennemsnit mellem over- og undertryk, med 1 decimal.</p>	
<p>Jævnfør ISO9972:2015 kapitel 6.2: n (eksponent/slope) skal være mellem 0,5 og 1.</p>	
<p>Jævnfør ISO9972:2015 kapitel 6.2: r² (korrelationskoefficienten) skal være $\geq 0,98$.</p>	
<p>Jævnfør ISO9972:2015 kapitel 7: Registreringen af ude- og indetemperatur og lufttryk skal fremgå.</p>	
<p>Jævnfør ISO9972:2015 kapitel 7: Vindhastigheden udenfor skal registreres.</p>	
<p>Jævnfør ISO9972:2015 kapitel 7: Beskrivelse af afdækninger/midlertidige lukninger.</p>	
<p>Jævnfør ISO9972:2015 kapitel 7: Navn på bygningstester.</p>	

Krav til rapporter efter bygningsreglementet, herunder ISO 9972:2015	Opfyldt og fuldt dokumenteret JA/NEJ
Jævnfør ISO9972:2015 kapitel 7: Eventuelle afvigelser fra bygningsreglementet og standarden. (Eksempel: Gennemføringer til emhætte var ikke udført).	
Jævnfør ISO9972:2015 kapitel 7: Kopi af målerapport vedlægges som bilag.	
Jævnfør ISO9972:2015 kapitel 7: Adresse på teststed.	
Jævnfør ISO9972:2015 kapitel 7: Opgørelse/beskrivelse af testet areal.	
Jævnfør ISO9972:2015 kapitel 5.1.1 note 2 og Bygningsreglementet kapitel 11 vejledning 1.10: Bygninger over 10 m kan kun testes, hvis bygningshøjden gange temperaturforskellen mellem ude og inde er mindre end 500 m·K.	
Jævnfør ISO9972:2015 kapitel 7: Beskrivelse af anvendt udstyr.	
Jævnfør ISO9972:2015 kapitel 7 og Bygningsreglementet kapitel 11 § 263 stk. 5 Hvilken testmetode, der er anvendt. I DK skal metode 3 anvendes.	
Jævnfør ISO9972:2015 kapitel 7: Registrering af trykforskellen mellem ude og inde, før og efter undertryksmåling samt før og efter overtryksmåling (blindmåling /baseline).	
Jævnfør ISO9972:2015 kapitel 7: Dato for testens udførelse.	
Jævnfør ISO9972:2015 kapitel 7: Oplysninger om varme- og ventilationssystem.	
Jævnfør ISO9972:2015 kapitel 4.1: Udstyr kalibreres/kontrolleres jævnfør producenten.	

Store bygninger

Det anbefales, at rapportering fra store bygninger indeholder:

- Forside, hvor data og resultat trækkes frem til de 2 første sider.
- Jf. BR [2] angives trykprøvningsresultatet med én decimal. Dog kan der være enkelte behov for to decimaler ved dimensionering af solcelleanlæg.
- En beskrivelse af målingen:
 - Hvor er blæserne opsat.
 - Markering af, hvor baseline(s) er placeret.
 - Markering af, hvor og hvordan interne trykforskelle er målt.
 - Et udsnit af logfilerne med en beskrivelse af de forskellige grafer:
 - Eksempel med x-antal blæsere.
 - Grøn og lysegrøn graf er baseline.
 - Blå og lyseblå graf viser henholdsvis trykforskel mellem målezone og øverste fjerde hjørne og målezone og kælder.
 - Rød, gul og orange graf viser trykket i blæserne, som giver det samlede flow ved 50 Pa.

- En gennemgang og opstilling af de væsentlige afvigelser i forhold til standarden og hvordan de er håndteret.

Høje bygninger

Foruden ovenstående punkter beskrevet for test på store bygninger er der yderligere krav til rapporteringen for høje bygninger fx:

- DS/EN ISO 9972 beskriver basisbetingelser for rapportering og den struktur følges.
- Det skal fremgå af rapporten, at testen ikke er standard og afviger fra DS/EN ISO 9972.
- Baselineanalysen og konklusionen heraf skal indgå i rapporten.

Derudover skal baselinerapporten dokumenteres - analysen afdækker trykforholdene generet af vind og temperatur som primære forhold, men også bygningens design og beliggenhed kan have indflydelse. Husk at skrive afvigelser i forhold til DS/EN ISO 9972 [1] i rapporten, samt dokumenter evt. med billedmateriale.

Data vedrørende målingen i henhold til DS/EN ISO 9972

Punkt 4.2.4 Benyttet temperaturmåler	Benyttet temperaturmåler AT 7 varmetrådsanemometer, som opfylder betingelser om nøjagtighed på $\pm 1K$
Bygningsareal oplyst	56.500 m ²
Punkt 5.1.2 Målings omfang	
Bygningens opdeling	Er testet som en zone

Tilstødende Zoner Note 2	Igennem forbindelsesgang er der forbindelse til den gamle eksisterende bygning i kælder. Stue og 1. sal alle steder er der tætnet bedst muligt med tape og et eventuelt bidrag vurderes at være ekstremt lille.
Udetemperatur	16 °C
Indetemperatur	Ca. 21 °C
Bygningshøjde	Ca. 24 m
Punkt 5.1.4 ($\Delta K \cdot h \leq 200$)	Resultat $(21-16) \cdot 24 = 120$ Betingelsen er opfyldt, trykforskel mellem top og bund er målt flere steder inde i bygning som vist under beskrivelse.
Punkt 5.2.1 Bygningen er klargjort til test efter:	Metode 3 jf. Bygningsreglementet
Punkt 5.2.2 Trykforskel i zonen må max. afvige 10 % under hele test-forløbet	Trykforskel i bygningen er dokumenteret ved at trykmålere er opsat til at logge forskelle mellem top og bund, samt øst/vest af bygningen. Trykforskel kan ses i logfil vedhæftet BD-test data.
Punkt 5.2.3 Ventilationssystemer	Ventilationssystemet er slukket og alle brand-spjæld er lukket. På taget er alle afkast lukket med PE-folie og tape.
Punkt 5.2.5 Trykmålere	Trykforskellen er målt på stedet med reference til ude, 7 steder.
Punkt 5.3.1	Bygningens lukning er kontrolleret med termo-grafering. (ca. 320 IR-billeder ligger der i sags-mappen).
Punkt 5.3.4 punkt b) Store bygninger	Alle anbefalinger er 100 % fulgt. Bygningen er testet under de betingelser, der er ved store bygninger.
6.1 Referenceværdier	Ved testen er kun benyttet den nationale reference, som er opvarmet bruttoetageareal. Værdi for volumen er ligeledes indsat, men volumen er et groft skøn. Skal værdien benyttes i beregninger skal bygningens nøjagtige volumen oplyses.
8.2 Referenceværdi / nøjagtighed	Kendes ikke, arealet er oplyst.
ISO 9972 Øvrige punkter i standarden:	Er indeholdt i rapportering af måledata samt software fra det anvendte måleudstyr.

Andre anvendelsesmuligheder

En trykprøvningstest benyttes som dokumentation for at et specificeret tæthedskrav i Bygningsreglementet for den færdige bygning er overholdt.

For at sikre opfyldelse af tæthedskravet, og dette især i store eller høje bygninger, er det vigtigt, at klimaskærmens konstruktioner og samlinger er bygbare, kompatible, korrekt opbygget og tætte for vind og vejrlig. Der nævnes under spørgsmål til tæthed i store bygninger i Bygningsreglementet [4], at det for byggerier med stor gentagelseeffekt, fx 250 ens facademoduler, kan være nyttigt at foretage prøvning af tæthed på et eller flere af de første moduler eller bygningsafsnit, så dårlige og u hensigtsmæssige løsninger undgås.

Forundersøgelser er ofte effektive til at finde årsager til fejl og mangler i klimaskærmen og opdages de tidligt, kan de ofte rettes, før bygningen lukkes. Er den første del af facaden monteret, er det det også her muligt tidligt at få de første indikationer af den færdige bygnings tæthed.

Følgende 3 metoder kan med fordel anvendes til forundersøgelser:

1. Trykprøvning af et udsnit af klimaskærmen med opbygget kammer. Denne test kan udføres meget

tidligt i byggefasen, og kan udføres på et mock-up afsnit, som endnu ikke indgår som en permanent del af byggeriet.

2. Test af vinduer, døre, samlinger og klimaskærmskomponenter lufttæthed gennem trykprøvningsmembranmålinger. Denne test kan ligeledes udføres relativt tidligt, men kræver dog, at måleområdet er omsluttet af permanente eller midlertidige vægge.
3. Test af vandtæthed af facader lokalt

Derudover kan der udføres traditionel fler-zone test med 2, 3 eller flere ventilatorer. Metoden forudsætter dog, at bygningen er rimelig rumopdelt.

Herudover kan blower door anvendes sammen med andet måleudstyr fx til termografering og måling af lufthastigheder lokalt. Sammen med røg kan blower door anvendes til at kortlægge utætheder mens man foretager trykprøvning.

Kapitlet her beskriver, hvordan tæthedsmålinger på klimaskærmen med fordel kan inddrages meget tidligt i byggeriet. Det skal dog igen nævnes, at sådanne test på dette tidspunkt ikke kan anvendes som dokumentation for, at en bygning opfylder krav om lufttæthed i Byg-

ningsreglementet idet udgangspunktet i Bygningsreglementet er den færdige bygning.

Trykprøvning af udsnit af klimaskærmen

Beskrivelse af testmetode

Målingen udføres som en traditionel trykprøvning og med et opbygget kammer mod facaden i en del af bygningen, hvor facadens areal (måling på qE_{50}) er indsat i målingen i stedet for bruttoetagearealet/opvarmede etageareal (qF_{50}).

Lovkravet i Danmark til klimaskærmens tæthed er defineret i forhold til det opvarmede etageareal i bygningen med værdien 1,0 l/s pr. m² og benævnt qF_{50} , hvilket dikterer om indikerer, at målingen skal ske i forhold til et indvendigt/udvendigt tryk på 50 Pa.

I forbindelse med tæthedsmålinger på facaden er det uhensigtsmæssigt, at kravet er defineret i forhold til bygningens opvarmede etageareal.. En omregning er derfor nødvendig:

$$qF_{50} = 1,0 \text{ l/s pr. m}^2_{\text{opv. etageareal}} \cdot (\text{opv. etageareal} / \text{klimaskærmsareal})$$

Planlægning af test

Det er vigtigt, at målingerne udføres på det facadeudsnit, som vurderes som mest kritisk i relation til tæthed. Erfaringer viser, at hvis de mere udfordrende områder overholder qE_{50} værdien, så vil mere ensartede og enkle facader ligeledes overholde værdien, og dermed vil den samlede bygning antagelig også overholde værdien. En anden betragtning er, at forskelle i materialer og detaljer kan bevirke, at nogle dele af facaden er mere interessante at måle på end andre.



Figur 8.1 – Eksempel på en igangværende trykprøvning af synlig dampspærre er effektivt når der bygges med skrappe tæthedskrav.

Gennemførelse af test

Inden testen gennemføres er det vigtigt at sikre, at de vejrmæssige betingelser er opfyldt som ved traditionel trykprøvning på en hel bygning.

For den midlertidige opsatte kammer omkring klimaskærmsudsnittet, er det vigtigt at den er tæt, da alle utætheder her vil indgå i resultatet. Tætheden af kammeret kan inden den endelige test kontrolleres med fx en røgkanon.

Erfaringerne med metoden er særdeles gode. Målinger på facadeudsnit med kammer og udført tidligt i byggeriet har den fordel, at resten af bygningen ikke behøver at være færdigapteret.

Metoden er relativ simpel at udføre, og kan gennemføres af alle øvede operatører af blower door udstyr.

Figur 8.3 viser et eksempel på opbygning af kamre af forskellig størrelse der er opbygget foran et klimaskærmsudsnit. Målingen udføres som en traditionel trykprøvning, blot med facadens areal indsat i målingen i stedet for brutto-etagearealet (måling på qE_{50}).

I et af de ovenstående eksempler kunne værdien $1,0 \text{ l/s pr. m}^2_{\text{Etagereaal}}$ omregnes til en qE_{50} -værdi på $2,95 \text{ l/s pr. m}^2_{\text{Klimaskærm}}$, altså et resultat, som nødvendiggør en større, bedre og/eller mere omhyggelig indsats, hvis der i sidste ende skal opnås en effektiv lufttæthed i den aktuelle konstruktion.

Målingerne viste værdier på $1,14 \text{ l/s pr. m}^2_{\text{Klimaskærmsareal}}$, hvilket førte til forventninger om, at bygningen kunne gøres tæt, med en værdi på omkring $0,60 \text{ l/s pr. m}^2_{\text{Etagereaal}}$.

En efterfølgende trykprøvningstest på den færdige bygning viste således resultatet $0,66 \text{ l/s pr. m}^2_{\text{Etagereaal}}$.



Figur 8.2 – Eksempel på facader hvor der bør være fokus på facadesamlingernes tæthed.



Figur 8.3 – Øversy: Et eksempel fra en test i et relativt stort kammer. Nederst: Et eksempel fra en måling i et lidt mindre kammer.

Test af lufttæthed af vinduer, døre, klimaskærmskomponenter o.l. lufttæthed

Trykprøvninger på en hel bygning kan udvides med en metode, hvor der måles direkte (on-site) på en enkelt bygningskomponent fx vindue, dør etc. Derved er det muligt at vurdere tætheden af den enkelte komponent uden indvirkning fra eventuelle andre åbninger i klimaskærmen.

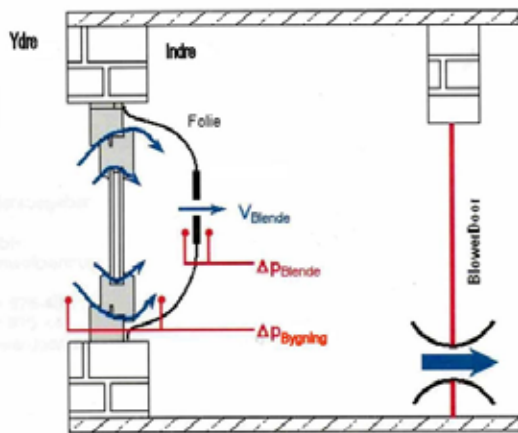
Der findes ikke en europæisk standard metode for on-site test af lufttæthed af vinduer, døre, klimaskærmskomponenter osv. Der forefindes dog en såkaldte 'on-site membran' testmetode, som er beskrevet i dette afsnit. Denne metode er efterhånden en anerkendt metode, der giver mulighed for at sammenligne on-site målte værdier for vinduer og dører med producentens værdier for lufttæthed af vinduer og døre gennem laboratorie test iht. DS/EN 1026 [7] og ikke mindst producentens klassificering af lufttætheden for det aktuelle vindues- eller dørprodukt iht. DS/EN 12207 [8].

Den væsentlige forskel mellem ovennævnte test udført i laboratorie, og on-site lufttæthedstest af vinduer og klimaskærmskomponenter, ligger i de benyttede tryk. Ved [7] og [8] benyttes tryk op til 600 Pa, og i nogle tilfælde over 600 Pa. Høje tryk bevirker, at vindueselementerne udsættes for deformationer. Ved testen on-site anvendes tryk op til 150 Pa. Hvis et vindue ikke består test med on-site-metoden må det ligeledes forventes at det ikke består ved fornyet kontrol efter [7] og [8].

Beskrivelse af testmetode

Der er i Figur 8.4 vist princippet for den anvendte testmetode. En ren og ny plastfolie med en måleblende fastgøres til rammen af det vindue/dør, der skal testes, og trykslanger anbringes som vist. Blower door udstyret opsættes i døren til det rum, hvor der ønskes at teste vindue/dør. Ved hjælp af ventilatoren i den opsatte blower door skabes et undertryk i rummet. Det er yderst vigtigt, at der i afrapportering beskrives hvad testen måler på, da det har betydningen på om man fx måler på karm eller lysningen. Dermed er beskrivelsen af plastfoliens placering yderst vigtigt, ligeledes skal vinduets indbygning og tætning ligeledes beskrives.

Utæthederne i det vindue/dør, der skal testes, vil langsomt fylde hulrummet mellem vinduet/døren og presentningen/plastfolien, som vil bule indad. Så snart hulrummet er fyldt med luft, kan målingen startes. Utætheden



Figur 8.4 – Princip for anvendt testmetode for bestemmelse af lufttæthed af vindue/dør on-site. (baseret på: [10])

af det testede element (vindue/dør) bestemmes ud fra den trykforskel (Δp_{Blende}), der er på hver side af plastfolien, sammenholdt med den i plastfolien indsatte måleblende med veldefineret skarpkantet diameter. For at kunne bestemme lufttætheden af sprækkerne langs kanten måles trykforskellen mellem det udendørs tryk og vindue/dør ($\Delta p_{\text{Bygning}}$): For at tilnærme sig de testforhold komponenten ved producentens kontrol har været underlagt, kan det anbefales ved testen at benytte en trykforskel svarende til 100-150 Pa mellem rummet og forholdene udenfor vinduet (Δp_{Room}).

Samme måleprincip kan benyttes, hvis man ønsker at teste en bygningsdetalje fx et blendparti, brystning mv. eller et større udsnit af en facade. Figur 8.5 viser en membran opsat på et facadeudsnit. Ved at overføre



Figur 8.5 – Princip for anvendt testmetode for bestemmelse af lufttæthed af vindue/dør on-site. (baseret på: [10])

princippet og ved hjælp af en opklæbet membran opnås en måling, som kun har bidrag fra facaden. Det er ikke nødvendigt, at den indvendige zone er tæt, dog er det nødvendigt, at der findes en zone, som er tæt nok til, at der kan etableres et tryk.

Planlægning af test

Lokalisering af utætheder ved termografering og måling af hastigheden af luftstrømninger

Efter lokalisering af mulige utætheder, samt identificering af relevante vinduer/døre for test, skal membranen opsættes og måleudstyr placeres.

- Montering af membranen kræver særdeles stor omhu, da den skal slutte tæt. Erfaringsmæssigt giver en dobbeltklæbning god tæthed i samlingen; en dobbeltklæbende tape opsættes, membranen trykkes fast, og efterfølgende tapes samlingen. Det er som regel nødvendigt at prime etagedækket for at opnå en god vedhæftning. Det kan være nødvendigt at kvalitetssikre tætheden af den opsatte membran ved hjælp af røgkanon/-pind. Ved røgkanonen er der en ulempe herved, at arbejdsrummet foran membranen (indvendige zone) fyldes med røg, når den egentlige måling sættes i gang. Der må således indregnes ventetid og udluftningstid, til der igen kan arbejdes i rummet.
- Montering af slanger/kanaler: Almindeligt udstyr til trykprøvningstest har to trykkanaler. Den ene kanal skal have forbindelse til det fri og til den indvendige side af facaden inde bag membranen. Den anden kanal skal have forbindelse til hver side af membranen.



Figur 8.6 – Membran opsat foran en facade klar til måling.

Gennemførelse af test

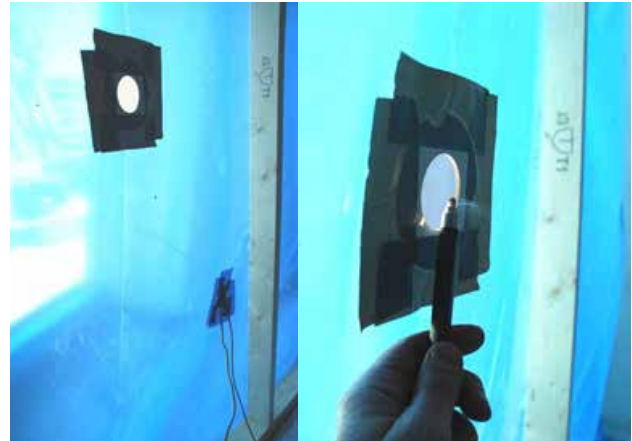
Da de målte luftstrømme normalt er små, anbefales det, at testen udføres, når der ikke er noget eller meget lidt vind for at opnå god nøjagtighed i resultaterne. Ligesom for 'almindelig' trykprøvning, anbefales en maksimum naturlig trykforskel mellem inde og ude på 5 Pa, målt over en periode på mindst 30 sekunder, med lukket måleblænde. Om nødvendigt, for eksempel når der er vind, kan det være nødvendigt at arbejde med flere baselines.

Endelig måling

- Først skal membran og rummet mellem membran og vindue fyldes. Dette klares manuelt eller ved blot at indstille blower dooren til at levere en jævn hastighed ved et givent tryk på x Pa. Afhængigt af

luftpermeabiliteten i vinduet/døren, tager det tid at opnå en konstant trykforskel ved vindue/dør. For meget lufttætte vinduer/døre vil denne fase tage længere tid end det vil tage for utætte vinduer/døre. Når de to trykforskelle (ved vindue/dør Δp Vindue / dør og ved mundingspladen Δp Blende) af et tryktrin er stabile, kan opstillingen godkendes og målingen begynde.

- Målingen styres traditionelt med styring af trykket over facaden i området mellem 70 og 25 Pa med min. 5 målinger. Det anbefales at måle mindst fem punkter med en tryktrin størrelse på 5 til 10 Pa. Hvis dette er umuligt på grund af meget utæt vindue/dørfuger og det medfølgende bånd skulle slippe rammen, reduceres trin størrelsen til 2 eller 3 Pa.
- Udover dette, skal der tages hensyn til følgende minimums- og maksimumtrykværdier:
 - Maksimal forskel på rumtrykket i rummet: Her sikres det, at trykforskellen mellem rummet og uden for (Δp_{Room}) ikke er større end 150 Pa
 $\Delta p_{\text{Rum}} = |\Delta p_{\text{åbning}}| + |\Delta p_{\text{Vindue / dør}}| < 150 \text{ Pa}$.
 - Minimum og maksimal trykforskel ved vindue/dør: Vindue- og dørtest skal starte med en trykforskel på ca. 10 Pa ved det testede vindue/dør. $|\Delta p_{\text{Vindue / dør}}| \geq 10 \text{ Pa}$.
 - De højeste trykværdier skal være mindst ca. 50 Pa, svarende til lufttæthedsprøverne på bygninger (DS/EN 13829 [9]), men det er muligt at opnå højere værdier, hvis båndet og folien er



Figur 8.7 – Test med ring E fra ventilatoren anvendt som måleblende.

stærk nok, og trykforskellen mellem rummet og ydersiden ikke overstiger 150 Pa.

- Minimum og maksimal trykforskel ved åbningspladen skal være mindst 3 Pa $|\Delta p_{\text{åbning}}| \geq 3 \text{ Pa}$. Hvis det ikke er muligt at nå denne værdi med den valgte åbningsplade, skal der anvendes en åbningsplade med en mindre centeråbning. Åbningen i måleblenden skal afpasses så trykket ligger mellem ca. 15 til 20 Pa. Det er muligt at opnå højere værdier, hvis der i stedet anvendes et stærkere klæbebånd, men andre materialer skal ske med ekstrem forsigtighed, da disse kan beskadige rammen på vinduet/døren (fx malingen).

Trykket over membranen reguleres efter den luftmængde, der skal igennem blenden. Til reguleringen benyttes måleblender med

forskellige hulstørrelser. Ved mere utætte konstruktioner kan ring E fra ventilatoren anvendes, som vist i Figur 8.7.

Test af vandtæthed af facade

Beskrivelse af testmetode

Metoden er effektiv til at lokalisere utætheder, som giver problemer med vandindtrængning.

Målingen er relativt simpel, men forudsætter, at der udvendig på bygningen/aktuelle facade anbringes et sprinklersystem, der under prøvningen simulerer regnpåvirkning og, at der skabes et undertryk med en blower door i bygningen, fx i rummet for den aktuelle facade eller det aktuelle bygningsafsnit, der er passende stort til at vand kan trækkes ind i utætheder i facaden.

På Figur 8.8 ses udvendigt en person i en lift med et opsat sprinklersystem, som simulerer kraftig slagregn. Hele bygningen er sat i -50 Pa undertryk for at simulere samme trykforhold som ved kraftig vindpåvirkning.

Gennemførelse af test

Målingen kræver de almindelige standardbetingelser, med ikke for meget vind og udetemperaturer på plussiden.

Da facaden skal påvirkes over det hele og i hele højden af facaden, anbefales det at benytte en lift, der kan styres fra jorden. Ofte skal man rundt om bygningen i hjørner og områder, hvor der skal udlægges køreplader.

Den udvendige vandpåvirkning skal foregå lodret, dvs. liftarmen bevæges lodret med ca. 10 min. i hver position oppefra og ned. Er der mistanke om særlige områder kan



Figur 8.8 – Undersøgelse med vandpåvirkning af facaden til lokalisering af utætheder.

liftarmen og vandpåvirkningen koncentrerer her i længere tid, men ofte viser det sig, at der ikke er sammenhæng mellem hvor vandet ses indvendigt og utætheder i facaden.

Termografi

Termografering kan benyttes til at synliggøre utætheder under trykprøvning af en bygning/bygningskomponent. Termografering kan udelukkende anvendes til at lokalisere utætheder og ikke til at bestemme utæthedernes omfang. Jf. DS/EN 13187 [10] bør der som minimum være et undertryk i bygningen på 5 Pa, hvis der skal kunne registreres utætheder med termografering.

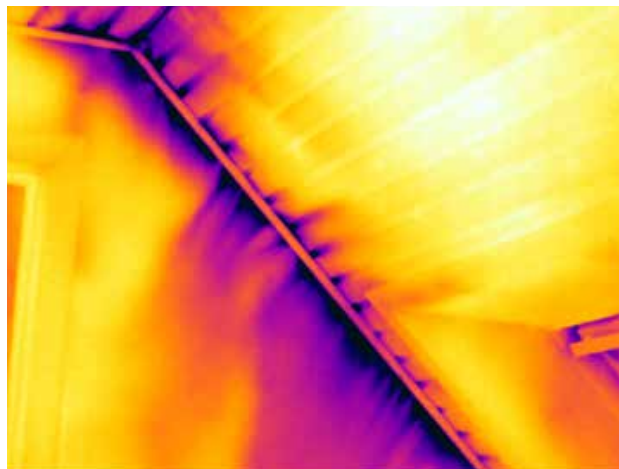
Når utætte områder kan ses med varmekameraet under trykprøvningen, så skyldes det, at området omkring utæthederne bliver kølet ned under trykprøvningen. Dvs. i praksis kan termograferingen startes, når der er opnået en effektiv afkøling af eventuelle utætte områder. Der vil dog forekomme områder, som ikke kan ses med varmekameraet, fx huler i rustfri stålfacader, blankpoleret aluminium og lignende. Her vil pga. materialets lave emissivitet ikke være en køling, som kan ses med varmekameraet. Huller med meget skarpe kanter vil også være svære at se. Det er et forhold man skal være opmærksom på, når undersøgelsen gennemføres. Det anbefales desuden, at termografering af utætheder altid foretages indefra, idet tæthedsundersøgelsen udføres med undertryk (varmestrømmens retning går derfor fra ude mod ind) og ofte anvendes til at lokalisere gener i indeklimaet. For mere info omkring udførelse af termografering, opmærksomhedspunkter, samt analyse/interpretation af målinger, se [11].

Måling af lufthastigheder

Måling af strømningshastighed kan anvendes til at undersøge trækgener de steder, hvor der er lokaliseret utætheder vha. termografering og/eller røg, da disse kun synliggør utæthederne, men ikke kan bruges til at afgøre om en utæthed er kritisk eller ej.

For at undgå træk skal middellufthastigheden i opholdszonen (0,6 m fra klimaskærmen) være mindre end 0,15 m/s jf. AT-vejledning [12].

For at sikre et mere nøjagtigt målingsresultat, kan strømningshastigheden derfor (i stedet for at blive målt i opholdszonen) måles ved utæthedens oprindelse (klimaskærmens overflade) under trykprøvning med et etable-



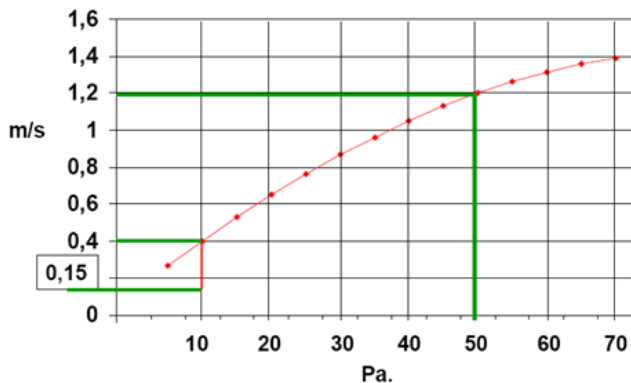
Figur 8.9 – Termografi af tagetagen i villa fra 1985. I perioden var der meget lidt fokus på tæthed, og den benyttede dampspærre er af en type, der ikke er ældningsbestandig og ligger nu som et krakeleret lag. PE-folien er helt hård. Utæthederne er markante. En restaurering alene med fokus på at skabe en tæt konstruktion vil resultere i store energibesparelser.

ret undertryk i bygningen på 50 Pa. Undertrykket medfører, at strømningshastighederne gennem utæthederne i konstruktionen øges, hvilket medfører, at påvirkningen fra omgivelserne (fx vind og bevægelser) reduceres.

Ved anvendelse af denne metode antages det, at normaltrykket i bygningen er på 10 Pa. For at undgå træk i opholdszonen medfører dette, at den maksimale middellufthastighed ved klimaskærmen må være 0,4 m/s ved normaltryk og 1,2 m/s ved et etableret undertryk på 50 Pa. Kriterierne for de 1,2 m/s er empirisk fastsat og er mere detaljeret beskrevet i BYGERFA (99) 21 02 06, [13].

Vurderingen af træk bør dog sammenholdes med følgende:

- Strømningsretningen.
- Vil luftstrømmen fra utætheden påvirke opholdszonen?
- Utæthedens størrelse. Vil den samlede luftmængde påvirke opholdszonen?



Figur 8.10 – Sammenhæng mellem målt luftstrømme ved forskelligt skabt undertryk. Det ses, at en lufthastighed på 0,15 m/s ved 10 Pa, svarer til 1,2 m/s ved 50 Pa undertryk.

På figur 8.10 ses det, at normalsituationen defineres ved, at der mellem ude og inde er 10 Pa – her måles i opholdszonen 0,15 m/s. Flyttes målingen helt ud til kilden (0,6 m) ved klimaskærmen måles ca. 0,4 m/s. Nu tændes for blower door-blæseren og trykket justeres fra 10 Pa til 50 Pa. Luftstrømmen ved klimaskærmen på 0,4 m/s ændres derved til ca. 1,2 m/s. dvs. at luftstrømme på 1,2 m/s målt ved klimaskærmen vil betyde, at man i normalsituationen kan risikere luftstrømme på 0,15 m/s i opholdszonen og dermed har påvist risiko for trækgener.

Metoden her er en meget kraftig forenkling af det at måle på luftstrømme, og i praksis skal der stadig rigtig meget vurdering til. Det man skal have for øje er, at man måler på den påvirkning et utæt område har på opholdszonen, dvs. 0,6 m fra klimaskærmen.

Et hul fra en udtaget skrue kan let give en strømningshastighed over 5 m/s, men den samlede luftmængde, der giver køling og træk, er så lille, at utætheden umuligt kan påvirke opholdszonen.

Omvendt vil det også være muligt at registrere luftstrømme under 1,2 m/s, men mængden af utætheder er så omfattende, at den samlede påvirkning kan give trækgener. I sådanne tilfælde kan området afgrænses med en membran og man kan måle den samlede luftmængde fra området. Membranmålemetoden forklares ikke yderligere i dette notat.

I praksis må det erkendes, at vurdering af utætheder ikke er nemt. Selv ved denne meget simple metoder ligger der et del vurdering.

Lufthastighedsmåling

Middellufthastigheden kan bl.a. måles med en varme-trådsanemometer.

De målte strømningshastigheder igennem huller som vist i Figur 8.11, vil ikke være den præcise måling for den højeste hastighed, da der ikke vil være ensartet strømningshastighed i hele hullet. Dette vil i praksis betyde, at det ikke er muligt at måle højeste værdi for strømningshastigheden.

Varmetrådsanemometer anvendes almindeligvis til måling af strømningshastigheder i kanaler, hvor det ikke vil være et problem at få måleåbningen fyldt med strømning. Når man måler på utætheder i klima-skærmen, har det



Figur 8.11 – Der måles 7,6 m/s, hvilket kun er muligt ved uhindret strømning. Går strømningen igennem isolering dæmpes den afhængigt af isoleringens densitet og kompression.

utætte område måske en åbning på 1 mm og en udstrækning på 30-40 cm. Her vil man opdage, at målingen er meget afhængig af om man holder på den ene eller anden måde. En lille drejning af målehovedet kan ændre målingen fra 0,4 m/s til 3 m/s. Det er derfor vigtigt at slå fast, at man ikke kan måle hvor stor strømmingen er, hvis målehovedet holdes stille. Måler man derfor mellem 0,4 m/s og 3 m/s, er det et udtryk for, at strømningshastigheden 3 m/s og de 0,4 m/s i samme område blot er et udtryk for, at strømmingen ikke går korrekt igennem målehovedet.

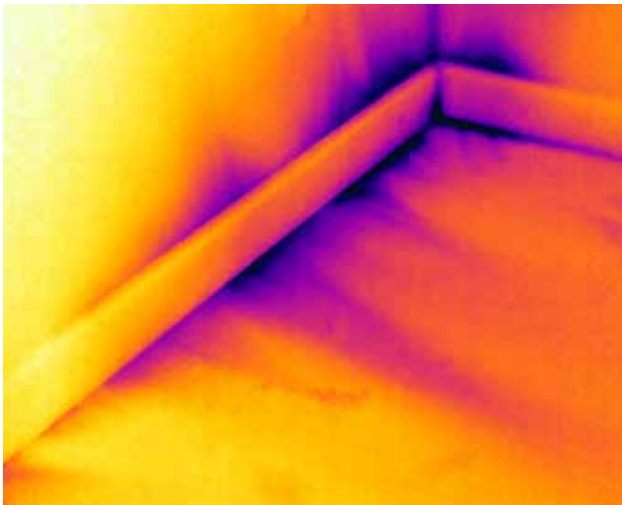
Et mindre hul, som vist ved Figur 8.14, hvor der måles ca. 5 m/s igennem et skruehul, vil fx ikke give anledning til trækgener, idet den samlede luftmængde er for lille.

Røg

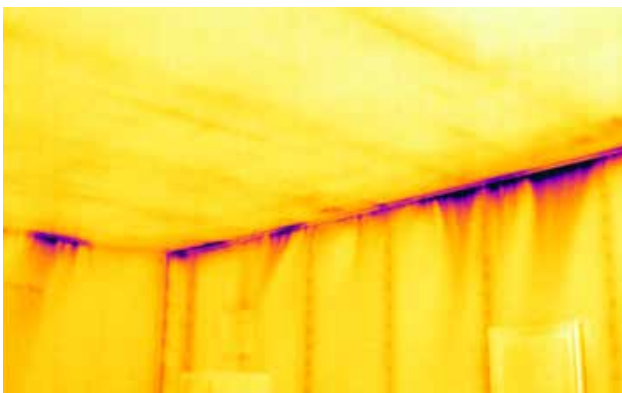
Trykprøvning i kombination med røg er særdeles effektivt til at lokalisere utætheder. Røg kan udelukkende anvendes til at lokalisere utætheder og ikke til at bestemme utæthedernes omfang. I Del 1 af denne vejledning beskrives kort noget af udstyret, der kan anvendes til lokalisering af utætheder med røg.

Den mest anvendte metode til lokalisering af utætheder vha. røg er ved at anvende en røgpind. En røgpind fås i mange forskellige udformninger, men fælles for dem alle er, at de genererer en lille røgsøjle, som kan bruges til at spore utætheder.

Alternativt er det muligt at lokalisere utætheder vha. et røgkammer etableret på klimaskærmens yderside (røgen kan bl.a. holdes inde vha. en presenning eller lignende) og et undertryk i bygningen. Derefter vil røgen langsomt sive



Figur 8.12 – Utæt langs fodpanel, strømningshastigheden er lige over 1,2 m/s. Her er uden tvivl kritisk grænse nået. Området har en vis størrelse (ca. 0,5 m) og luften ledes langs gulvet lige ind i opholdszone. Konkret måles der 1,28 m/s med varmetrådsanemometeret.



Figur 8.13 – En del utætheder langs facaden med kuldestrømningen ned langs væggen, egentlig ikke påvirker direkte opholdszone. I eksemplet her kræves luftstrømme over 1,2 m/s for, at man med sikkerhed kan sige, at forholdet er kritisk.



Figur 8.14 – Eksempel på en utæthed, hvor der måles 5,24 m/s, men det utætte område er et skruehul. Den luftmængde, der påvirker indeklimaet, er så lille, at det aldrig vil kunne påvirke indeklimaet.

ind gennem de utætheder, der vil være i klimaskærmen.

Utætheder kan også lokaliseres udefra ved at anvende røg og overtryk i bygningen. Røgen vil således komme ud gennem klimaskærmens utætheder. Der er dog ikke altid sammenhæng mellem hvor røgen kommer ud og hvor utætheden er, idet utætheden som oftest ligger på den indvendige side af konstruktionen (dampspærren). Hvis muligt, anbefales det derfor at lokalisere utætheder vha. røg indefra.

Trykprøvningsudstyr etablerer et undertryk og røg finder vej igennem utætheder og viser, hvor utætheder er. Metoden er velegnet til visualisering live, men vanskelig i forhold til skriftlig rapportering.

I Figur 8.16 vises en metode, som er meget effektiv til

test af en membrans tæthed. Dette er gjort ved, at der placeres en røgkanon inde i bygningen. Foran er placeret en rørventilator, som kan etablere 70-80 Pa. Herfra går en flexslange ud og igennem membranen/dampspærre.

Når der i bygningen er -50 Pa tryk og blæseren fører røgen ud på den udvendige side af membranen/dampspærren er det yderst effektivt at se, hvordan røgen finder hen og tilbage ind igennem utætheder i membranen. Hermed kan håndværkeren gå og tætte samtidigt med, at utætheden løbende kan kontrolleres via trykprøvningsudstyret. Dog er det en forudsætning, at testen gennemføres på et tidspunkt, hvor membranen/dampspærre er synlig.



Figur 8.15 – Undersøgelse med røg, hvor der udvendigt er skabt et røgfylt kammer foran facaden, hvor røgen så trænger ind i bygningen.

Figur 8.16 – Undersøgelse med røg, hvor der tilføres røg bag dampspærren samtidig med at der er undertryk i bygningen, hvormed utætheder i dampspærren kan lokaliseres.



Litteraturliste

- [1] DS/EN ISO, 9972, "Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings - Fan pressurization method," International Organization for Standardization (ISO), 2015.
- [2] »BR18,« 2021. [Online]. Available: <https://bygningreglementet.dk/>.
- [3] »FLiB,« 2015. [Online]. Available: https://www.flib.de/publikationen/Beiblatt/FLiB_Checkliste_Verfahren_B.pdf?m=1501769432&. [Senest hentet eller vist den 25 02 2021].
- [4] B. 2018, »Vejledning om energiberegning af hospitaler,« 2021. [Online]. Available: <https://bygningreglementet.dk/Tekniske-bestemmelser/11/BRV/Energiberegning-af-hospitaler/Taet>.
- [5] S. Rolfsmeier og P. Simons, »Airtightness measurement in a large and high passive structure (multi-family housing) in windy conditions and with thermal updraft (in German),« Proceedings of the 21st International Passive House Conference, 2017.
- [6] Sekretariat for Danske Bygningskonsulenter, »Tjekliste til trykprøvningsrapporter,« [Online]. Available: <https://danskebygningkonsulenter.dk/klimaskaerm/trykproevning/>.
- [7] DS/EN, 1026, »Vinduer og døre - Lufttæthed - Prøvningsmetode,« 2016.
- [8] DS/EN, 12207, »Vinduer og døre - Lufttæthed - Klassifikation,« 2016.
- [9] DS/EN, 13829, »Bygningers termiske ydeevne - Bestemmelse af luftgennemtrængelighed i bygninger - Prøvningsmetode med overtryk skabt af ventilator 1. udgave,« Dansk Standard, Charlottenlund, 2001.
- [10] DS/EN, 13187, »Bygningers termiske ydeevne. Kvalitativ sporing af termiske uregelmæssigheder i en bygningens klimaskærm. Infrarød metode,« 1999.
- [11] H. L. Poulin, L. T. Nielsen, B. B. Nøhr, L. Due og J. B. Nielsen, Vejledning i bygningstermografi, Teknologisk Institut, 2015.

[12] Arbejdstilsynet, »AT-Vejledning - Indeklima,« 2008. [Online]. Available: <https://at.dk/regler/at-vejledninger/indeklima-a-1-2/#:~:text=Om%20vinteren%20kan%20d%C3%A5rligt%20isolerede,0%2C15%20m%2Fsek..>

[13] BYG-ERFA, »(99) 21 02 06 Utætheder i klimaskærmen – måling, lokalisering og vurdering,« 2021.

[14] Søren Peper; Dr. Jürgen Schnieders. Passive House Institute, 2019. Airtightness measurement of high-rise buildings. Søren Peper; Dr. Jürgen Schnieders. Passive House Institute, 2019. Airtightness measurement of high-rise buildings.

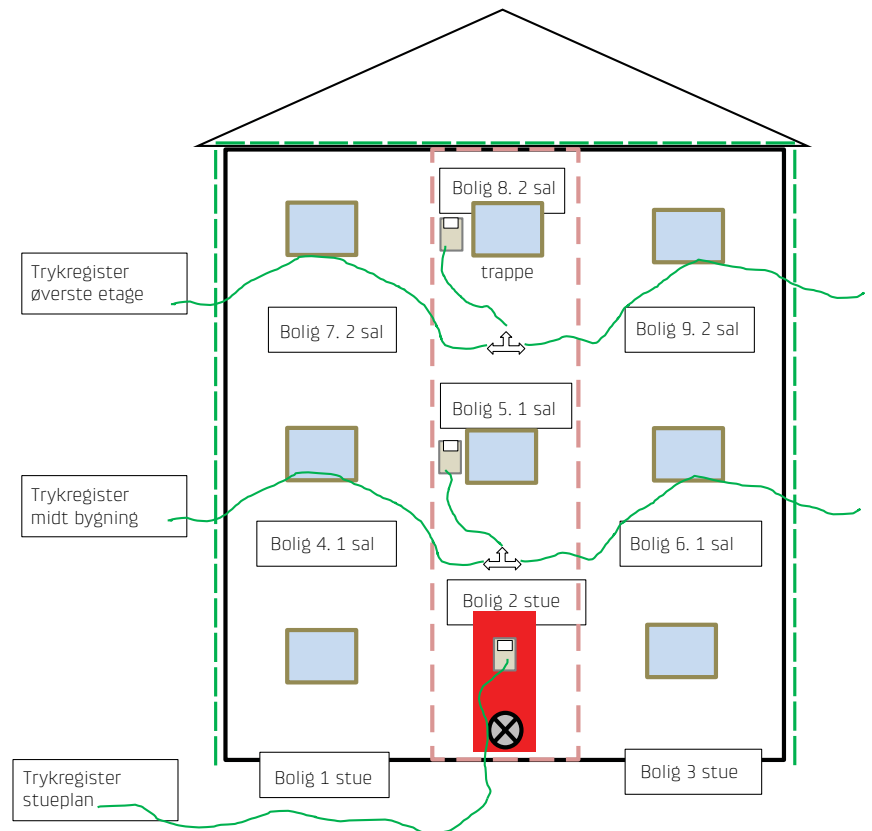
Bilag

Grøn stiplede linje markerer klimaskærmen, der skal testes iht. krav i BR18.

Brun stiplede linje markerer fælles trappeopgang.

Ved blower door test af sådan en bygning bør man, som minimum, dokumentere trykket over klimaskærmen ved stueplan, midt i bygningen samt i toppen for at en måling er valid og dermed retvisende (fra toppen til bunden må der maksimalt være en trykforskel på +/- 5 Pa).

Note: ved anvendelse af et T-stykke og to slanger til at måle trykforskellen over klimaskærmen, får man midelværdien, da der næsten altid vil være en eller anden vindpåvirkning, når man kommer lidt op i højden, vind på den ene facade og læ på modsatte facade dette.



Eksempel 1

I dette eksempel er der kælder under bygningen, hvor trappen går ned, kælderen kan ikke lukkes fra ved trappeskakten (her bør man tage kælderen med og inddrage arealet fra kælderen i det opvarmede areal ved testen). Husk at beskrive måleforholdene i den endelige rapport.

Eksempel 2

Havde der været en elevator, eventuelt en brandelevator ved højere bygninger, kan disse ikke lukkes fra. Derfor kan det være nødvendigt at inddrage kælderarealer i blower door testen.

