



Måling av bygningers luftlekkasje Trykkmetoden

Byggforskserien

Byggforvaltning – august 2012

720.035

0 Generelt

01 Innhold

Denne anvisningen beskriver måling av bygningers luftlekkasjer etter trykkmetoden, også kalt differanse-trykkmetoden. Måling av luftlekkasjer gjøres blant annet for å bestemme en bygnings lekkasjetall. Lekkasjetallet beskriver hvor lufttett en bygning er. Anvisningen tar for seg måleprinsipper, forberedelse, framgangsmåte ved måling, vurdering og rapportering, inkludert beregning av samlede luftlekkasjer og lekkasjetall. Dessuten inneholder anvisningen en oversikt over støttemålinger som med fordel kan kombineres med måling etter trykkmetoden. Det forutsettes at den som utfører målingen, har lest og kjenner NS-EN 13829 og grunnprinsippene den bygger på.

02 Bakgrunn

En bygningens lufttetthet kan ha vesentlig betydning for:

- bygningens energibehov
- brukernes komfort
- konstruksjonenes bestandighet

Utsiktede utettheter gjør energibehovet til oppvarming unødvendig høyt. Trekk fra luftlekkasjer er en av de vanligste grunnene til klage på termisk komfort, se Byggdetaljer 421.501. Luftlekkasjer kan i enkelte tilfeller medføre mugg, råte eller andre skader, se Byggdetaljer 421.132.

1 Krav og begreper

11 Generelle krav

Krav til bygningens lufttetthet gjelder i utgangspunktet for bygningen som helhet. Det kan også stilles krav til hver enkelt bruksenhet, for eksempel rekkehus og blokkleilighet.

Luftlekkasjer mellom leiligheter er uønsket og kan gi lyd-, lukt- og brannspredning. Hvis slike interne luftlekkasjer forekommer, må de vurderes spesielt.

12 Krav til lufttetthet

TEK10 stiller krav til bygningers lufttetthet ved maks tillatt lekkasjetall. Ved dokumentasjon av energieffektivitet ved energiltak kan lekkasjetallet for småhus ikke være større enn 2,5 luftvekslinger per time ved trykkforskjell på 50 Pa. For øvrige bygninger tillates det maksimalt 1,5 luftvekslinger per time ved trykkforskjell på 50 Pa. Generelt gjelder et minstekrav til lekkasjetall på maks 3,0 luftvekslinger per time ved trykkforskjell på 50 Pa.



13 Begreper

131 *Lekkasjetall.* Til å angi bygningens lufttetthet er betegnelsen lekkasjetall mest brukt i Norge. Lekkasjetallet vil si antall luftvekslinger ved 50 Pa trykkforskjell, n_{50} .

$$n_{50} = \frac{\dot{V}_{50}}{V} \quad (\text{h}^{-1})$$

hvor:

- $\dot{V}_{50}$ er samlet lekkasjeluftmengde (m^3/h) ved 50 Pa
- V er innvendig volum (m^3), se pkt. 44. Innvendig volum er det samme som oppvarmet volum i NS 3031.

132 *Andre verdier beregnet fra samlet lekkasjeluftmengde.* Et alternativ til å bruke lekkasjetall er å beregne verdien for samlet lekkasjeluftmengde, og fordele den på bygningens overflate, q_{50} , eller på golvarealet, w_{50} . Denne tilnærmingen brukes først og fremst ved sammenlikning av flere bygninger, der man ønsker å korrigere for variasjon i størrelse på bygningene, eller der man vil sammenlikne dataene med andre lands dokumentasjonsmåter.

2 Målemetoder

21 Måleprinsipp

Deler av eller hele bygningen trykkeses med en vifte. Samtidig registrerer man den luftmengden som kreves for å oppnå gitte trykkforskjeller. Samme luftmengde som passerer vifta, må gå gjennom utetthetene i bygningen.

Sammenhengen mellom luftmengder og oppnådd trykk gir tall som karakteriserer bygningens eller bygningsdelens lufttetthet, se fig. 21.

Til trykksetting og måling kan man benytte en transportabel vifte beregnet til formålet, se pkt. 22, eller man kan trykke og måle ved hjelp av bygningens ventilasjonsanlegg, se pkt. 23.

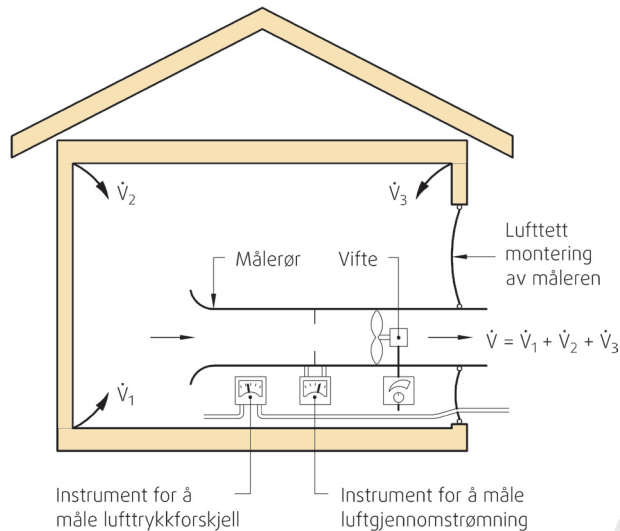


Fig. 21
Trykkmetoden, måleprinsipp

22 Måling med transportabel vifte

- 221 *Måleutstyret består av følgende deler, se også fig. 21:*
- målerør med vifte med turtallsregulator og instrument for registrering av luftgjennomstrømning (manometer og blende e.l.)
 - ramme med plastduk eller annen anordning for tett innmontering av vifte i åpning i ytterkonstruksjonen, se også fig. 222 a
 - utstyr for registrering av trykkforskjeller
- 222 *Vifta bør ha kapasitet til å påføre et trykk på omkring 100 Pa når bygningen som skal prøves har forventet lufttetthet. Eksempel (se fig. 75): Vifta bør ha kapasitet på rundt 300 m³/h ved 100 Pa mottrykk, hvis den skal benyttes til å måle lufttetthet til en leilighet med volum 100 m³. Et lekkasjetall på 1,5 h⁻¹ gir en lekkasjeluftmengde på 150 m³/h (100 m³ · 1,5 h⁻¹ = 150 m³/h) ved 50 Pa trykkforskjell. Skal man ta høyde for å kunne måle med trykkforskjell på 100 Pa må vifta ha kapasitet på 300 m³/h ved 100 Pa mottrykk.*

Vifter for måling i henholdsvis boliger / andre mindre bygninger og i store bygninger er vist i fig. 222 a og b.

23 Måling ved hjelp av bygningens ventilasjonsanlegg

- 231 *Generelt.* Måling ved hjelp av bygningens ventilasjonsanlegg setter vanligvis noen begrensninger for målingene. Det trenger likevel ikke å være avgjørende for bruk av resultatene.
- 232 *Måling i store bygninger.* Moderne yrkesbygninger har ofte et ventilasjonsanlegg som gjør måling av luftlekkasjer relativt enkelt. Ofte er turtallsregulerte vifter og målestasjon for angivelse av luftmengde en del av aggregatets automatikk og styring, se fig. 232.



Fig. 222 a
Vifte og ramme med plastduk til måling av lufttetthet i boliger og andre mindre bygninger. Foto: SINTEF Byggforsk



Fig. 222 b
Vifte til måling av lufttetthet i store bygninger. Foto: SINTEF Byggforsk

Ved måling bør en fagperson som kjenner anlegget, bistå med å sikre at tilluftsdelene av anlegget er stengt, for eksempel ved å tette inntaksspjeld og koble fra automatikk til trykkvakter. Trykkforskjell over bygningens fasade, må registreres med medbrakt mikromanometer.

Ved måling der man bruker ventilasjonsanlegget, er det vanlig å bare måle innvendig undertrykk.

- 233 *Eksempel på måling i mindre bygninger.* Ved å måle summen av luftmengdene som passerer gjennom avtrekksventilene, får man en brukbar pekepinn på lufttetheitsegenskapene til mindre bygninger eller leiligheter, se fig. 233. Vanligvis vil slik måling bare utføres ved noen få trinn på anlegget. Trykkforskjeller over fasaden måles samtidig for hvert trinn. Framgangsmåten gir bare lekkasjeluftmengder ved innvendig undertrykk. Omregning til lekkasjetall forutsetter vanligvis interpolering eller ekstrapolering etter gitt formelgrunnlag. Nøyaktigheten blir ikke så god som ved full måling i henhold til NS-EN 13829. Men i mange tilfeller kan målingen indikere om man må sette i gang mer nøyaktige undersøkelser.



Fig. 232
Moderne ventilasjonsaggregat med frekvensregulator for turtallsstyring og målestasjon. Foto: SINTEF Byggforsk



Fig. 233
Eksempel på måling av avtrekksluft gjennom ventil i våtrom i mindre bygning ved bruk av spesialutstyr. Foto: SINTEF Byggforsk

3 Relevans i forhold til virkelige belastninger

31 Varierende trykk

- 311 *Trykkforskjeller generelt.* For at det skal oppstå luftlekkasje gjennom en utetthet i konstruksjonen må det være trykkforskjell mellom ute og inne. Trykkforskjellen er størst ved sterk vind, men temperaturforskjeller og ven-

tilasjonsvifter kan også forårsake betydelige trykkforskjeller. I utette hus medfører luftlekkasjer økt varmetap ved unødvendig stor luftgjennomstrømning, spesielt i den kalde årstiden. Trykkforskjellen mellom ute og inne blir større både med økende temperaturforskjell og med økende høyde på bygningen. Derfor kan fleretasjes bygninger på kalde steder med lave vindhastigheter være like utsatt for luftlekkasjer som bygninger på varmere steder, men med høye vindhastigheter. Se pkt. 33.

- 312 *Relevans.* Trykkmetoden utsetter en bygning for andre trykkforhold enn de bygningen vanligvis utsettes for. Ved at man påfører samme trykk over hele klimaskjermen fanger metoden likevel opp de viktigste formene for luftlekkasjer og er derfor svært relevant i forhold til trykkbelastninger mot bygningen.

32 Trykkforskjell på grunn av vind

- 321 *Virkelige belastninger.* Vind påfører bygningen et overtrykk på lovart side, og det oppstår undertrykk på lesiden. Trykkforholdene vil også variere over flatene. De fleste steder blåser det betydelig mindre enn frisk bris mesteparten av tiden. Samtidig vet vi at konstruksjonene i perioder kan utsettes for betydelig større trykkforskjeller.

- 322 *Relevans.* Trykkforskjellen som knyttes til lekkasjetallet, 50 Pa, tilsvarer trykket mot en fri vegg når det blåser frisk bris på 9 m/s mot den. Følgende ideelle formel gjelder for trykkforskjellen:

$$\Delta p_v = \frac{\rho \cdot v^2}{2} \quad (\text{Pa})$$

hvor:

- v er vindhastighet (m/s)
- ρ er luftas densitet (ca. 1,2 kg/m³ ved normalforhold)

Variasjoner i trykkforholdene over flatene, se pkt. 321, kan man ta høyde for ved å korrigere formelen for trykkforskjell med formfaktorer.

33 Trykkforskjell på grunn av temperatur

- 331 *Virkelige belastninger.* Når det er kaldere ute enn inne, oppstår det trykkforskjeller over bygningens klimaskjerm. Vanligvis betyr det innvendig overtrykk høyt i bygningen og innvendig undertrykk lavt i bygningen.

- 332 *Relevans.* Trykkforskjell som følge av termisk oppdrift kan beregnes med følgende formel:

$$\Delta p_T = \rho \cdot g \cdot z \cdot \frac{(\theta_i - \theta_u)}{(273 + \theta_m)} \quad (\text{Pa})$$

hvor:

- ρ er luftas densitet (ca. 1,2 kg/m³ ved normalforhold)
- g er tyngdens akselerasjon (ca. 9,81 m/s²)
- z er høyde (m), se fig. 332
- θ_i er lufttemperatur inne (°C)
- θ_u er lufttemperatur ute (°C)
- θ_m er middeltemperatur av ute og inne (°C)

Romhøyden må være mer enn 30 m for å oppnå en trykkforskjell på 50 Pa, selv når det er 20 °C inne og -20 °C ute, for eksempel i en høy glassgård. Disse trykkforskjellene er ofte merkbare, selv om trykkforskjellene fra termisk oppdrift vanligvis er betydelig lavere enn dette.

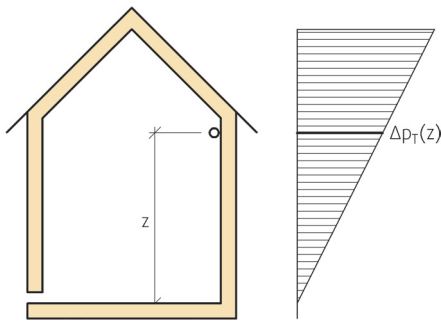


Fig. 332

Når det er varmere inne enn ute, øker det innvendige overtrykket, $\Delta p_T(z)$, i en bygning med høyden, z , i forhold til et nivå med trykkutjevning (her vist med en «stor» luftlekkasje).

34 Trykkforskjell på grunn av ventilasjon

En så høy trykkforskjell som 50 Pa kan opptre, for eksempel i høye hus eller der man vil ha spesiell kontroll på luftstrømmer, som i sykehus, industri eller liknende. I leiligheter med mekanisk avtrekksventilasjon er det ikke uvanlig med et nokså stort konstant undertrykk, selv om det sjelden er så høyt som 50 Pa. Ved balansert ventilasjon er det vanlig med et veldig lite innvendig undertrykk.

35 Anblåsning

351 *Anblåsning i forhold til gjennomblåsning.* Ved gjennomblåsning strømmer luft gjennom hele klimaskjermen, det vil si både vindspærre og dampspærre. Vanligvis stoppes gjennomblåsning gjennom vindsperra av en godt montert dampspærre og innerkledning. Ved anblåsning vil luft strømme gjennom åpninger i vindsperra og inn i isolasjonen ett sted, og ut igjen gjennom åpninger i vindsperra et annet sted. Denne typen luftlekkasje skyldes varierende vindtrykk langs vindsperra, og fører til økt varmetap på grunn av luftbevegelser i isolasjonen. På steder der det er vanskelig å montere en kontinuerlig dampspærre, for eksempel ved mellombjelkelag, kan vindsperra være det eneste tettesjiktet som gir fullgod beskyttelse mot uønsket varmetap.

352 *Relevans.* Trykkmetoden måler luftgjennomgang gjennom hele ytterkonstruksjonen og fanger dermed ikke opp alle luftlekkasjer i bygningers klimaskjerm. Selv om det oppnås relativt lave lekkasjetall på gjennomblåsning, vil et hus likevel kunne tappes for ekstra varme under vinterstormer.

Figur 352 viser et eksempel der kald luft får strømme inn på knekott på lovart side (vindpåkjent side) og strømme gjennom bjelkelaget over på knekottet på lesiden og gjennom skråhimling opp til loft. Et annet eksempel på anblåsning vil være luftlekkasjer gjennom kanalene i huldekkeelement, fra én fasade over til den motsatte.

4 Forberedelser før måling

41 Værpåvirkning

I målinger ved vind sterkere enn 6 m/s (læber bris og sterkere) er det vanligvis vanskelig å få gode måleresultater. Å støtte seg til et detaljert værvarsel er derfor

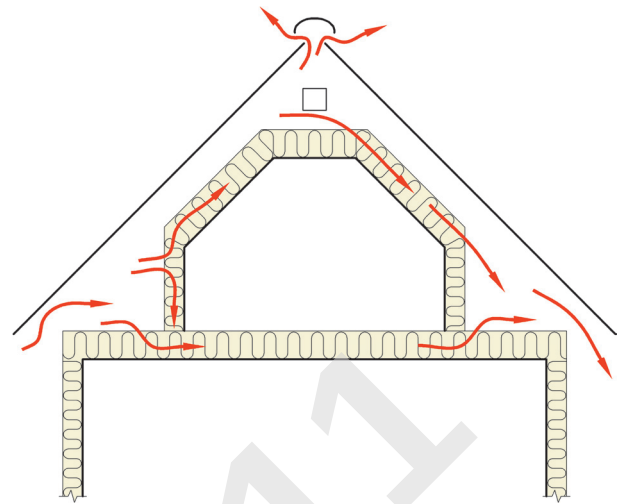


Fig. 352

Eksempel på konstruksjon som kan gi større varmetap enn det målt lekkasjetall indikerer

verdifullt. Lokale vindforhold kan enkelte ganger gi gunstigere forhold enn det meteorologiske data for området tilsier.

42 Uferdige løsninger kan påvirke måling

Bygningens tilstand må være klarlagt før måling. Man må være klar over at det i mange tilfeller er bortkastet å måle tetthet i en uferdig bygning. Unntak er dersom man bevisst måler i tidlig vindtett fase, se pkt. 52.

For eksempel vil måling av lufttetthet ha liten verdi i boliger der det er åpen løsning ned til underetasje med vegger av lettklinkerblokker som står helt eller delvis upusset. I tilfeller hvor beboerne eller håndverkere har foretatt provisoriske endringer og åpnet ytterkonstruksjonene, kan en stor del av lekkasjene skyldes dette. Resultatet av måling vil i slike tilfeller ikke være representativt for bygningen.

43 Målsatte tegninger

Når man planlegger måling, må man ha målsatte tegninger av bygningen. Tegningene danner grunnlag for utregning av volum, som i sin tur gir mulighet til å vurdere om vifta man skal benytte har tilstrekkelig kapasitet.

Tegningene trengs også til å angi posisjon for eventuelle spesielle observasjoner under målingen.

I bygninger med skrå himling er det nødvendig med snittegninger eller -skisser, mens plantegninger og oppgitt romhøyde er tilstrekkelig i bygninger med horisontal himling.

44 Beregning av innvendig volum

Innvendig volum, V , (m^3), er volumet av luft inne i den målte bygningen eller i en del av bygningen. Innvendig volum beregnes som luftvolum, over oppvarmet del av bruksareal (BRA) etter NS 3940, målt mellom golvet overkant og underkant av overliggende dekkekonstruksjon. Ved nedfôret himling skal volumet mellom nedfôret himling og overliggende dekkekonstruksjon ikke trekkes

fra. Volum som er opptatt av innvendige etasjeskillere, skal ikke tas med.

45 Klargjøring av bygningen

Før selve målingen utføres, er det viktig å klargjøre og kontrollere forholdene i bygningen. Følgende forholdsregler gjelder:

- Hold ytterdører, vinduer, loftsluker og liknende lukket. Hold innvendige dører åpne.
- Hold lukket alle åpninger som kan lukkes på vanlig måte, det vil si spalteventiler, klaffeventiler osv. jf. NS-EN 13829 metode B.
- Lukk ovns- og peisdører med tilhørende trekkåpninger. For åpne peiser er lukkede peisspjeld sjelden tilstrekkelig. Til ekstra tetting av åpen peis kan man bruke en «knebel» av plastpose fylt med et elastisk materiale eller en oppblåsbar gummiblære.
- I bygninger med mekanisk avtrekksventilasjon er det vanlig å slå av anlegget, teipe tett alle avtrekksventiler og teipe kjøkkenventilatorer i hette eller stuss.
- I bygninger med balansert ventilasjon er det vanlig å sette kanalene ut og inn av aggregatet inne i aggregatet.
- Fyll vannlåser med vann.

5 Gjennomføring

51 Generelt

Måling av bygningers luftlekkasje følger NS-EN 13829. Metodens ulike deler skal sikre så god kvalitet på resultatet som mulig.

Der det er vanskelig å oppfylle alle kravene i standarden, skal man gjøre oppmerksom på og begrunne avvik. Selv om standardens krav ikke følges på alle punkter, vil måleresultatene vanligvis fremdeles være verdifulle.

52 Måling i tidlig vindtett fase

For å avdekke mulige lekkasjepunkter på en bygning, kan man utføre lufttetthetsmåling tidlig i byggeprosessen. Det vil si når vindtettingen av bygningen er ferdig og vinduer er satt inn, men før isolasjon, dampsperre og innvendig kledning er montert. Da er eventuelle lekkasjepunkter lett tilgjengelige og kan lokaliseres med enkle hjelpemidler, se pkt. 62.

Ved beregning av lekkasjetall er det innvendig volum (for ferdig bygning), V , se pkt. 44, som legges til grunn.

53 Plassering av transportabel vifte

Det er vanlig å plassere vifta i en døråpning, gjerne i en balkongdør e.l. Vifta plasseres i en ramme med plastduk som slutter tett mot dørkarmen, se fig. 222 a.

Plastslange til å måle lufttrykket ute legges slik at innvirkningen fra vinden omkring bygningen er så liten som mulig. Målesikkerheten øker hvis slangeenden kan legges nær bakken inne i busker som verken er i lo eller le for bygningen.

54 Prøvekjøring av transportabel vifte

For å kontrollere at bygningen er klargjort og ramma med plastduk er tilfredsstillende montert, kan man prøvekjøre vifta. Vifta prøves vanligvis først ved antatt maksimalt undertrykk under måling, og man kan da

kontrollere for utilsiktede luftlekkasjer. Ved å kjenne etter med hånda eller bruke røykampulle vil man raskt oppdage om plastdøra er montert riktig.

Prøvekjøringen avdekker hvor store trykkforskjeller man kan oppnå i bygningen med den vifta man har valgt. En erfaren måler vil på dette tidspunktet allerede ha en viss formening av tettheten til bygningen.

55 Bestemmelse av trykkforskjeller

Det bør måles ved en rekke ulike trykkforskjeller, Δp , og disse bør fordeles mest mulig jevnt opp til valgt eller mulig maksimalverdi. Det er vanlig å måle godt i overkant av 50 Pa. I enkelte store bygninger kan det være vanskelig å oppnå dette. Oppnår man om lag 25 Pa, regnes det som akseptabelt i forhold til NS-EN 13829. I mindre bygninger kan man vurdere å måle opp til 100 Pa trykkforskjell. Dermed sikrer man seg et godt beregningsgrunnlag som er minst mulig påvirket av for eksempel vind.

56 Måling av trykkforskjell over ytterkonstruksjonen

Målingen utføres med midlertidig tett vifte, Δp_0 . Trykkforskjell over ytterkonstruksjonen er viktig ved senere beregning av lekkasjeegenskapene til bygningen. Verdien kan også si litt om det er store lekkasjer høyt eller lavt i bygningen. Variasjon i trykkverdien sier noe om hvor stor måleusikkerhet man kan få på grunn av vind under målingen.

57 Trykksetting og måling ved valgte trykkforskjeller

Vifta åpnes, settes i drift og kjøres til første valgte trykkforskjell. Man venter til vifta har stabilisert seg før man leser av hvor mye luft som går igjennom vifta. Verdien noteres ned sammen med trykkforskjellen. Samme prosedyre gjentas for alle etterfølgende trykkforskjellene.

Det er vanlig å snu vifta og gjenta målingene med motsatt luftstrøm og dermed motsatt trykkforskjell. Ofte velger man først å måle en serie med innvendig undertrykk og deretter en serie med innvendig overtrykk, spesielt hvis målingen kombineres med termografering, se pkt. 64.

58 Kontroll av trykkforskjell over ytterkonstruksjonen

Trykkforskjellen med midlertidig tett vifte måles på nytt og kontrolleres mot verdien fra starten, Δp_0 , se pkt. 56.

59 Kalkulasjon i felt

Nedtegnede verdier danner utgangspunktet for beregningsarbeidet som gir lekkasjetallet. Hvis man har valgt en måling med trykkforskjell nær 50 Pa og har beregnet innvendig volum på forhånd, kan man få en indikasjon på lekkasjetallet med litt kalkulatorarbeid i felt. Denne verdien vil bare være en pekepinn, men kan være nyttig når man går i gang med støttemålinger, se pkt. 6.

6 Støttemålinger

61 Generelt

Det kan være ønskelig å finne ut mest mulig om lokalisering, omfang og type luftlekkasjer som til sammen

gir oppnådd lekkasjetall. Ved et påført innvendig undertrykk vil lekkasjeluft utenfra strømme inn gjennom lekkasjene i ytterkonstruksjonene, og disse lekkasjene kan studeres kvalitativt ved for eksempel bruk av varmekamera (termografering), se pkt. 64.

62 Lokalisering av lekkasjer

Lokalisering av lekkasjene kan være viktig, i tillegg til å vurdere betydningen de har. Lekkasjene kan ofte kjennes med hånda, men røykappuller gir en tydelig visualisering. En erfaren måler vil vite hvor han skal lete og danne seg et omtrentlig bilde av lekkasjene.

63 Lufthastighet i lekkasjer

I forbindelse med komfortvurdering kan man måle lufthastigheten i lekkasjepunktene. Målingen må utføres i komfortsonen. For golvtrekk vil det si 600 mm fra ytterkonstruksjon. Målemetode og utstyr avgjør i høy grad hvilke verdier man oppnår. Måling må derfor utføres i henhold til relevant metode, se Byggdetaljer 421.501.

Man skal være svært erfaren før man kan bruke resultatene til en omtrentlig vurdering av lekkasjene. Selv om man oppnår tallverdier på maksimal lufthastighet, vil subjektiv tolkning være helt avgjørende. Måling av lufthastighet kan bare benyttes som et hjelpemiddel til omtrentlig rangering av enkeltlekkasjer, når man har en tallverdi for samlede lekkasjeluftmengder.

64 Termografering

Termografering er en meget slagkraftig metode i kombinasjon med tetthetsmåling. Hvis lekkasjelufta har annen temperatur enn omgivelsene ellers, kan endringen i overflatetemperatur ses som karakteristiske «flammer». Se eksempel på termogram i fig. 64. Vanligvis ønsker man minst 5 °C lavere utetemperatur enn innetemperatur for å ha utbytte av metoden. Termografering er nærmere beskrevet i Byggforvaltning 720.032.

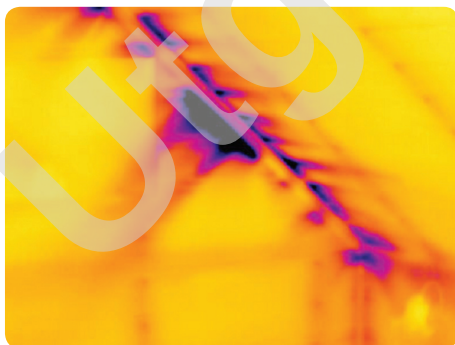


Fig. 64
Termogram
Luftlekkasjer i overgangen mellom yttervegg og himling vises som karakteristiske mørke «flammer». Foto: SINTEF Byggforsk

65 Trykkmåling av enkelte bygningsdeler

Trykkmåling kan utføres hvis man ønsker en kvantitativ dokumentasjon av størrelsen på lekkasjene til for eksempel en bygningsdel eller et bygningselement. Grunnprinsippet er at det bygges en lufttett boks som monteres tett mot konstruksjonene rundt bygningse-

len. Så trykkes boksen. Se Annex A til ISO 9972. Et eksempel er vist i fig. 65.



Fig. 65
Utstyr for å måle lufttettheten til en enkelt bygningsdel, i dette tilfellet tettheten til et vindu. Foto: SINTEF Byggforsk

66 Bestemmelse av nøytralnivå

Nøytralnivået er det nivået i bygningen hvor det ikke er trykkskjell over konstruksjonen. Beliggenheten av nøytralnivået kan gi en indikasjon på hvor de største lekkasjene befinner seg, se fig. 66. Store lekkasjer høyt i bygningen vil gi nøytralnivået en høy beliggenhet osv. Vurderingen kan foretas når bygningen ikke er påført kunstig trykk og når forskjellen i temperatur mellom ute- og inneluft er tilstrekkelig til å skape merkbar «skorsteinseffekt». Formelen i pkt. 33 kan benyttes.

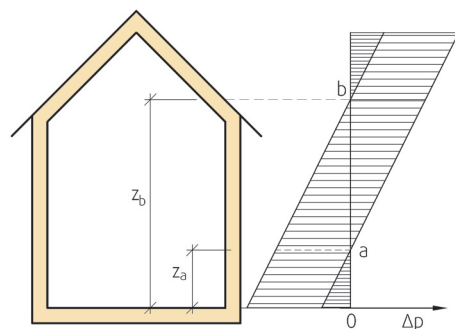


Fig. 66
Trykfordeling og nøytralnivåets beliggenhet
Bygning med relativt store lekkasjer henholdsvis lavt (a) og høyt (b) i bygningen

7 Vurdering av måleresultater

71 Tabell med innsamlede data

Tabell med nedtegnede par av trykkforskjeller for bygningen og avleste målesignaler fra målevifta danner grunnlaget for å regne ut bygningens samlede lekkasjeluftmengder.

72 Omregning til luftmengde

Viftesignalet er vanligvis et trykksignal som regnes om til luftmengde ved hjelp av formler som gjelder for den enkelte vifta. Signalet må også korrigeres til normaltilstand for lufta (temperatur 20 °C og atmosfæretrykk 1 013 hPa), siden atmosfæretrykk og temperatur kan variere fra den ene målingen til den neste.

73 Opptegning av målekurve

Måling av trykkforskjeller skjer vanligvis et annet sted enn ved bygningens naturlige nøytralnivå, se pkt. 66. Hvis alle registrerte trykkforskjeller korrigeres for trykkforskjell ved lukket vifte (Δp_0 legges til eller trekkes fra), nærmer man seg de trykk-/luftmengdeparene som gjelder for nøytralnivået. Når parene med trykkforskjeller og luftmengde tegnes opp som x-y-kurve, oppdager man at kurven får en karakteristisk krum form, se fig. 75. Kurven kan tilpasses følgende formel:

$$\dot{V} = C_L \cdot \Delta p^n \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

hvor:

- $\dot{V}$ er lekkasjeluftmengde (m^3/h)
- C_L er mengdeavhengig konstant
- Δp er trykkforskjell over konstruksjonen (Pa)
- n er karakteravhengig konstant

Formelen gjenspeiler fysisk lovmessighet for luftstrøm gjennom lekkasjer. Verdien til n kan teoretisk bare variere mellom 0,5 og 1,0, for henholdsvis ren turbulent og ren laminær strøm. Luftlekkasjer i bygninger er en blanding av forskjellig type strømning, og dermed vil n ofte ligge på omkring 0,7. Verdien for C_L og n bestemmes matematisk ved regresjonskurve, med minste kvadraters metode. Verdier for innvendig over- og undertrykksmåling bestemmes separat.

74 Samlet lekkasjeluftmengde og lekkasjetall

741 Samlet lekkasjeluftmengde ved 50 Pa trykkforskjell, $\dot{V}_{50}$, bestemmes for over- og undertrykk ved at $\Delta p = 50$ Pa settes inn i regresjonsformlene.

742 Lekkasjetall, n_{50} , beregnes som middelverdi av samlet lekkasjeluftmengde ved henholdsvis 50 Pa over- og undertrykk dividert på målevolumet.

75 Beregningseksempel

Målingene i fig. 75 er fra en blokkleilighet i en bygning der 10 % av enhetene skal kontrolleres ved måling, og der målsettingen for lufttetthet er et lekkasjetall på $n_{50} = 1,5 \text{ h}^{-1}$. Etter at målekurver for over- og undertrykk er tegnet opp, tilpasses kurvene til formelen i pkt. 73. Ved å sette inn trykkforskjell på 50 Pa i formlene, får man lekkasjeluftmengder på 197 m^3/h og 126 m^3/h for henholdsvis over- og undertrykksmålingene. Middel av disse verdiene gir en samlet lekkasjeluftmengde, $\dot{V}_{50}$, på omkring 162 m^3/h .

Leiligheten i eksemplet har et målevolum på 101 m^3 . Divideres samlet lekkasjeluftmengde ved 50 Pa trykkforskjell på målevolumet, får vi et lekkasjetall på $n_{50} = 1,6 \text{ h}^{-1}$ med en usikkerhet på mindre enn $\pm 0,2 \text{ h}^{-1}$, som i dette tilfellet er under 15 %. Leiligheten har dermed samlede lekkasjer som ligger litt over målsettingen.

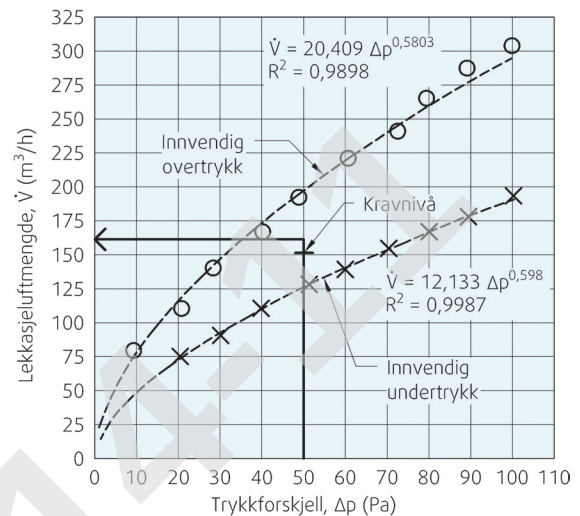


Fig. 75
Eksempel på resultat fra trykkmåling av blokkleilighet
Stiplede linjer angir kurver etter formelen for lekkasjestrøm.
Heltrukket linje angir samlet lekkasjeluftmengde ved 50 Pa trykkforskjell beregnet ut fra formelene.

76 Vurdering av resultater

761 Behov for tiltak. Nødvendigheten av tiltak avhenger av hvor mye fastsatt mål for lufttetthet er overskredet. Følgende veiledende retningslinjer kan følges:

- Inntil 10 % overskridelse: Bare svært enkle tiltak anbefales.
- Mellom 10 og 50 % overskridelse: Det anbefales å utarbeide en liste med prioriterte tiltak for en egen, uavhengig utbedringsprosjektering. Kontrollmåling etter at tiltakene er utført betraktes ikke som nødvendig.
- Over 50 % overskridelse: Det anbefales å utarbeide en liste med prioriterte tiltak. Kontrollmåling etter at tiltakene er gjennomført anbefales. Hvis gjentatte tiltak og kontrollmålinger ikke fører fram til mål, kan energimessig konsekvens av luftlekkasjer beregnes i henhold til NS 3031.

Ved vurdering av behov for tiltak er det viktig å være klar over at det er enklere å få til et lavt lekkasjetall i store bygninger enn i små, og at bygninger med stor overflate i forhold til volum har større risiko for luftlekkasjer enn bygninger med mer kompakt form.

762 Konsekvenser. Ved vurdering av hvilke konsekvenser som måleresultatene kan ha for bygningens energibehov, brukernes komfort og konstruksjonens bestandighet, må man ta i betraktning det aktuelle ventilasjonssystemet. Luftlekkasjer kan ha mindre konsekvenser for energibehovet i bygninger med enkle tilluftsventiler plassert i fasade enn i bygninger med godt gjennomtenkt balansert ventilasjonssystem med varmegjenvinning.

77 Vurdering av beregningseksempel

771 Informasjon fra målekurver. En viktig hensikt med oppteg-

ning av kurver som vist i fig. 75 er at man raskt oppdager eventuelle feil. Jo flere punkter man har med, jo bedre statistisk grunnlag oppnås. Det kan også kompensere for påvirkning fra vind eller gi et mer nøyaktig resultat ved for eksempel litt for grovt måleutstyr.

Krumningen på kurven forteller noe om typen lekkasjer. Forskjellen mellom verdier ved over- og undertrykk er nærmere omtalt i pkt. 772.

- 772 *Nærmere undersøkelse.* Bygningen fra eksemplet der målingen foregår er svært vindutsatt. Derfor måler man også ved så høye trykkforskjeller som 100 Pa. Mens måling pågår, øker vinden, og dette ses som større avvik mellom målepunkter og regresjonslinjen ved overtrykk enn ved undertrykk.

Det er vanlig med litt høyere lekkasjer ved overtrykk enn ved undertrykk. I eksemplet er denne forskjellen uvanlig stor, så stor at det må være en spesiell grunn. Støttemåling viser at det er merkbare luftlekkasjer mellom dørblad og -karm til dør mot oppgang, der vinduer er satt åpne under måling. Aktuell leilighet har utadslående dør. Øvrige målte leiligheter har innadslående dører, og her er undertrykksverdiene de høyeste.

Hovedsvakheten ved de målte leilighetene viser seg å være lekkasjer rundt inngangsdører. Lekkasjene er enkle å justere. Siden lekkasjetallene er svært nær målsettingen for lufttetthet, blir konklusjonen at leilighetene har tilfredsstillende lufttetthet, men det blir anbefalt å justere dørene.

8 Rapportering

81 Målerapport

Målerapport i henhold til NS-EN 13829 skal inneholde et minimum av informasjon, blant annet entydig identifikasjon av måleobjektet, målebetingelser, referanse til måleutstyr, delresultater, sluttresultater (lekkasjetall) og angivelse av usikkerhet.

82 Usikkerhet

Usikkerheten i sluttresultatet vil ved vindstille måling vanligvis være under $\pm 15\%$, men ved mye vind kan usikkerheten komme opp i $\pm 40\%$. Selv ved stor usikkerhet kan man anta at man har dokumentert reell verdi for luftlekkasjer.

83 Kurver

Sammenhengen mellom trykkforskjell og lekkasjeluftmengde framstilles i et dobbeltlogaritmisk aksesystem i henhold til NS-EN 13829, se fig. 83. Sammenhengen blir da rettlinjet. Verdier fra over- og undertrykksmåling flyter over i hverandre, men framstillingen hjelper oss til å estimere samlede lekkasjeluftmengder ved lavere, vanlige trykkforhold. Hvis vi i fig. 83 antar et undertrykk på ca. 5 Pa som «vanlig», resulterer det i en lekkasjeluftmengde på omkring 42 m³/h.

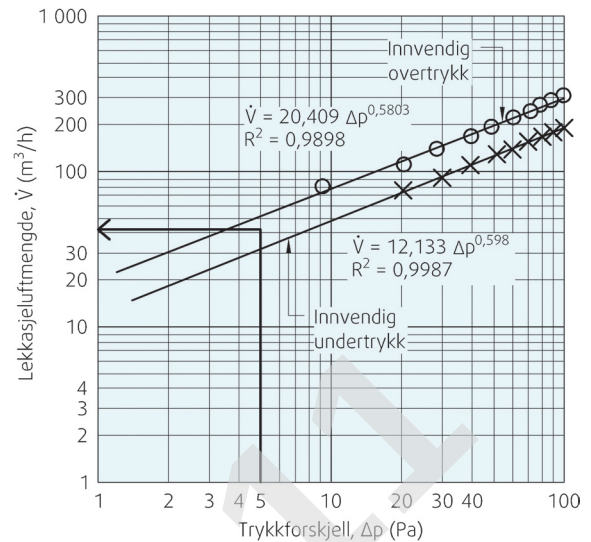


Fig. 83
Sammenheng mellom trykkforskjell og lekkasjeluftmengde for en bolig opptegnet i dobbeltlogaritmisk graf
Pil angir lekkasjeluftmengde ved 5 Pa trykkforskjell, en mye brukt verdi for opptredende trykkforhold.

9 Referanser

91 Utarbeidelse

Denne anvisningen er revidert av Tormod Aurlien og oppdatert av Anna Svensson. Den erstatter anvisning med samme nummer, utgitt i 2007. Prosjektleder har vært Brit Roald. Faglig redigering ble avsluttet i juli 2012.

92 Byggforskserien

Byggdetaljer:

421.132 Fukt i bygninger. Teorigrunnlag

421.501 Temperaturforhold og lufthastighet. Betingelser for termisk komfort

Byggforvaltning:

720.032 Termografering av bygninger

93 Lover og forskrifter

Lov om planlegging og byggesaksbehandling (pbl)

Forskrift om tekniske krav til byggverk (TEK10) med veiledning

94 Standarder

NS 3031 Beregning av bygningers energiytelse – Metode og data

NS 3940 Areal- og volumberegning av bygninger

NS-EN 13829 + NA Bygningers termiske egenskaper – Bestemmelse av bygningers luftlekkasje – Differansetrykkmetode (ISO 9972 modifisert)

ISO 9972 Thermal performance of buildings – Determination of air permeability of buildings – Fan pressurization method