Karl H. Grimnes

BYGGTERMOGRAFERING

EN PRAKTISK HÅNDBOK

Innhold

1 7
Hva er det kameraet ser? 7
Tolkning av et termogram 10
Hjørneeffekt 11
2 12
Det elektromagnetiske spektrum Refleksjon + Emisjon + Transmisjon 12
Emisjon, refleksjon, transmisjon 14
Stråling fra en overflate 15
Hva påvirker emisjonsfaktoren? 17
Beregne en emisjonsfaktor 19
3 21
Måleutstyr og måleteknikk Å måle er ikke bare å måle 21
Måle lufthastighet 21
Måle temperatur berøringsfritt 21
Måling av trykk 22
Måle fukt 22
Andre måleinstrumenter 23
4 26
Luftlekkasjer 26
Bildekomposisjon 27
5 29
Lyd, støy og lukt fra naboer 29
Lukt 30
6 32
Varme i gulv 32
Fremgangsmåte 32
7 35
Fukt i tak 35
8 38
Termogram 38
9 67
Blowerdoor 67
Tetthetskontroll av bygninger 67

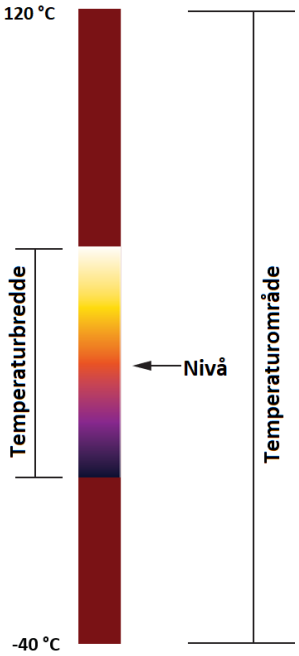
Fremgangsmåte 70
11 72
NS-EN ISO 9972 - Trykkstandarden 72
Dagens standard (2023) - Kommentarer 72
6.2 Beregning av lekkasjetall etter NS-EN 9972 76
12 79
Beauforts vindskala 79
Kjennetegn innlandet: 79
Kjennetegn fjellet: 80
Kjennetegn sjøen: 81
13 82
Termografistandarden – NS-EN 13187 82
Historikk 82
Kommentarer til punkter i standarden 82
14 95
Bygningsfysikk 95
15 96
Klimaskjermen 96
16 101
Isolasjonsmaterialer 101
Varmeledning 101
Forskjellig typer isolering som brukes 101
17 104
Beregne u-verdier 104
18 113
Veggtemperaturer 113
19 118
Trykk 118
Trykkforskjeller kan oppstå på flere måter 119
DRØBAK KIRKE 121
20 124
Fukt 124
21 127
Relativ fuktighet 127
22 132
Kaldras 132

23 138
Lufthastighet 138
Hvilke lufthastigheter er akseptable/ikke akseptable? 138
24 143
Byggeforskriftene TEK17 143
25 146
Rapportering 146
Eksempel på rapportside 153
26 155
Ord og uttrykk 155
Takkonstruksjoner 156
Etterord 165
Referanseliste 166

1

Hva er det kameraet ser?

Varmekameraet viser ikke et bilde av temperaturer på en overflate. Det viser strålingsintensitet fra en overflate i et bestemt bølgeområde. Bildet kalles et termogram. Alle kameraer arbeider innenfor et eller flere temperaturområder. De rimeligste kameraene har ett temperaturområde, de mer kostbare har flere. Et ganske vanlig temperaturområde for et kamera, er fra -40 til +120 °C. Kameraet registrerer mye mer stråling enn det du ser i bildet. Illustrasjonen forklarer tre viktige begreper i termografien:

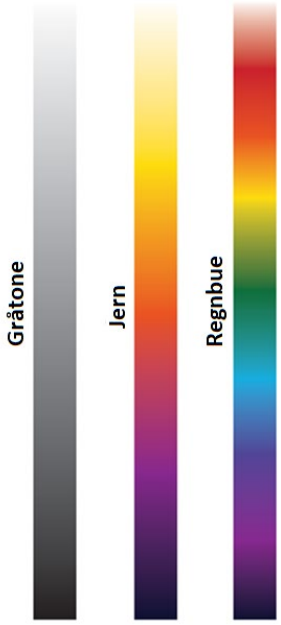


1. Temperaturområde
2. Nivå
3. Temperaturbredde

Når et bilde lagres, er all informasjon fra hele målområdet med, ikke bare det som synes i termogrammet. Termogrammet som presenteres har en **temperaturbredde**. Temperaturbredden er forskjellen mellom topp- og bunntemperatur på skalaen på siden av bildet. Kalles ofte bare bredde. Den kan termograføren endre.

Termograføren kan endre fargen på temperaturene, men temperaturen (egentlig strålingsintensiteten) kan ikke endres. Det betyr at for eksempel gul farge kan bety forskjellig temperatur i forskjellige bilder.

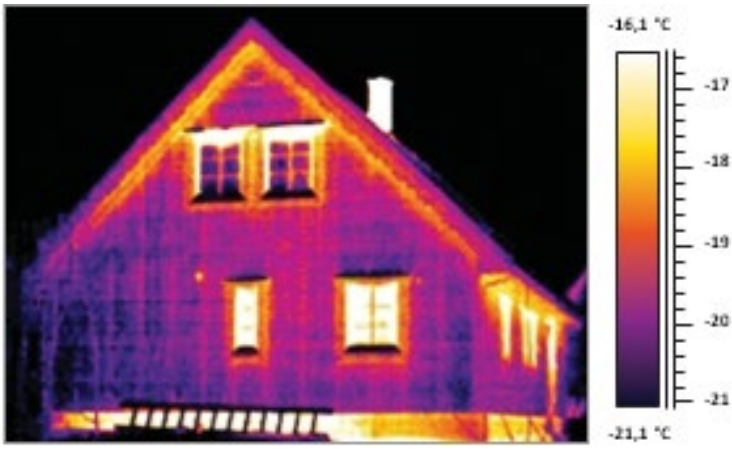
Nivået er midttemperaturen mellom topp- og bunntemperaturen. Alle temperaturer som er høyere enn skalaen viser, blir hvite og alle temperaturer lavere enn det skalaen viser, blir sorte. Dette kan være forskjellig fra leverandør til leverandør. Fargene er falske, det vil si man velger en fargepalett og bruker den for å presentere bildet. De fleste kameraer har flere fargepaletter og programvaren som brukes har enda flere paletter. Palettene kan ha litt forskjellige navn avhengig av produsent, men de tre vanligste er gråtone, jern og regnbue.



Gråtonepaletten er den opprinnelige fra før fargepalettenes tid. Gråtonepaletten brukes fortsatt i mange sammenhenger, blant annet ved fly, helikopter og droneovervåkning, redning etc. Jernpaletten var den første fargepaletten og ganske lik gråtoneskalaen. Jernpaletten har den fargen jern har fra det er kaldt, svart, og til det er flytende, hvitt. Jernpaletten kom før det var vanlig med fargeskrivere og fargekopiering. Når man kopierte bilder med jernpalett på en gråtonekopieringsmaskin, ble det bra gråtonebilder. Etter hvert er det kommet flere fargepaletter. En av de er regnbuepaletten som gir store fargekontraster ved relativt små temperaturforskjeller.

De neste termogrammene viser det samme huset, men med forskjellige temperaturbredder og paletter:

Mange kameraer har forskjellig type automatikk. En måte å ta termogrammer på, er å få kameraet selv til å velge nivå og bredde på skalaen til høyre. Da vurderer kameraet høyeste og laveste temperatur i termogrammet og lager et termogram ut fra det. Skalaen i dette termogrammet viser temperaturer mellom -47 °C og -0,4 °C. Kameraet tar hensyn til den kalde himmelen. Dette gjør at temperaturbredden blir alt for stor og det er få detaljer som er synlige på husets vegger.



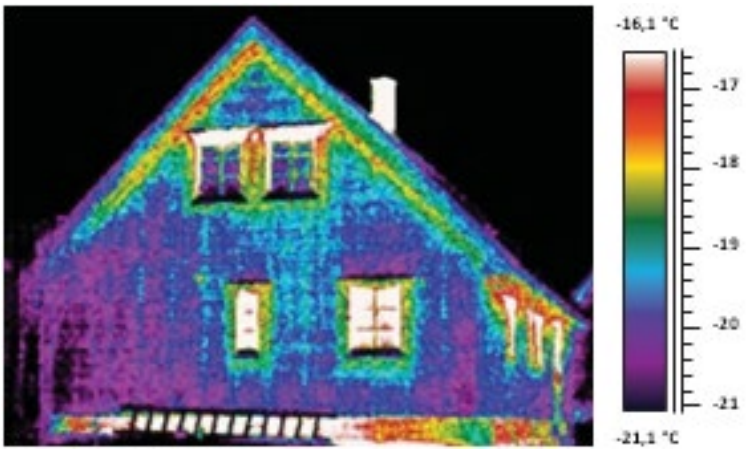
Ved å endre skalaen manuelt, kan man få frem et langt mer detaljert temperatur-mønster av ytter-veggene. Her må man prøve seg frem til man får et tilstrekkelig detaljert termogram av husveggen. På dette termogrammet er det valgt å bruke -16,1 °C opp til -21,1 °C. Temperaturbredden er vesentlig mindre enn på foregående termogram, og detaljene på veggen trer dermed mer tydelig frem. På dette termogrammet er det valgt et temperaturområde rundt veggtemperaturen.

Av og til kan det være aktuelt å bruke den omvendte fargeskalaen for bedre å få frem temperaturforskjeller i termogrammet.

På dette termogrammet er det brukt samme bredde og nivå som på foregående termogram (-16,1 °C og -21,1 °C). Her er det varmeste punktet svart, mens det kaldeste punktet er hvitt.

På dette termogrammet er skalaen endret for lettere å se hva som skjer i de varme områdene over vinduene i 2.etasje. Det blir tydelig at det går varm inneluft ut gjennom spalteventilene over vinduene.

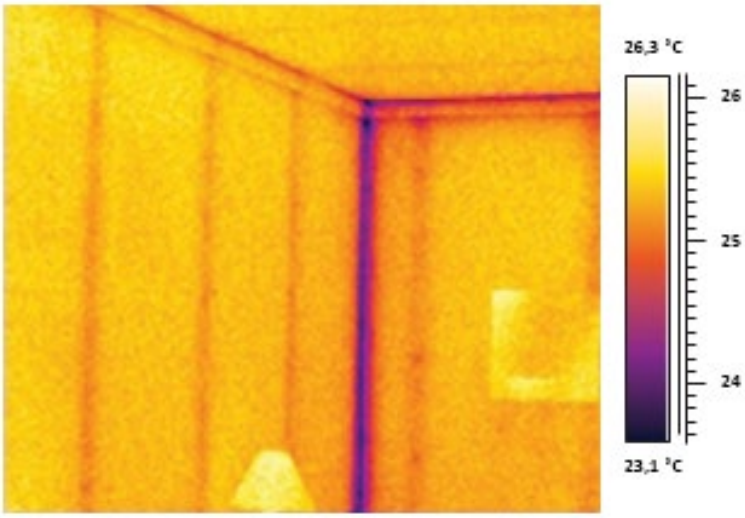
De første kameraene som ble solgt hadde ikke muligheter for å presentere farge-bilder. Temperaturen ble vist i en gråtone-palett. Det er en palett som er selvforklarende idet sort er kaldt og hvitt er varmt. Av og til kan man få frem flere detaljer i et termogram ved å bruke gråtonepaletten.



Regnbuepaletten brukes av mange. Den er særlig vanlig i USA. Hva man skal bruke av paletter er noe smak og behag og hva man er blitt vant med å bruke. Regnbuepaletten gir store fargekontraster på relativt små temperaturforskjeller. Det kan av og til være vanskelig å se hva bildet viser. (Denne paletten er lite egnet for kopiering i svart/hvitt).

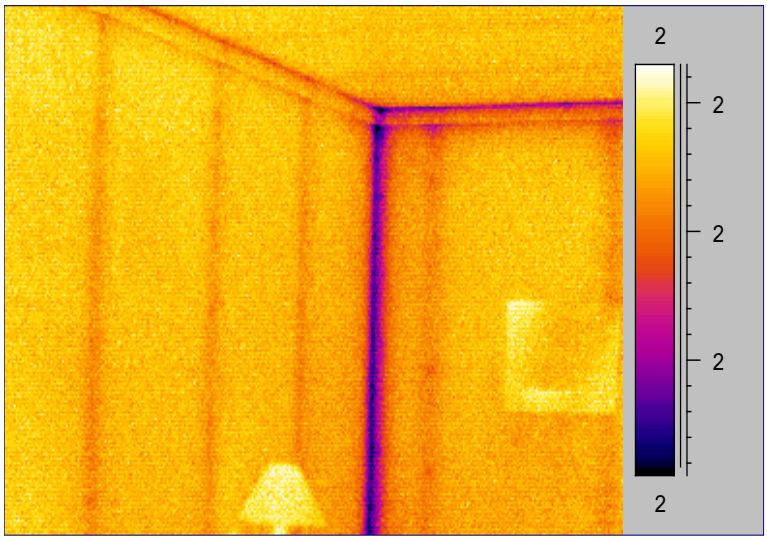
Man kan i de aller fleste kameraer, og/eller tilhørende software få fram temperaturer hvor som helst i bildet og dermed få frem ytterligere informasjon.

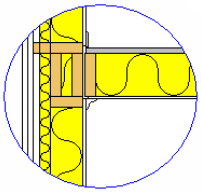
Tolkning av et termogram



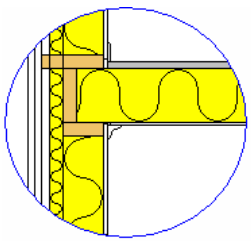
Termogrammet til venstre er tatt fra varm side av to ytter-vegger med et hjørne. Det er kaldt loftsrom over og det er kaldt ute. Dette er et eksempel på hvordan en feilfri veggkonstruksjon skal se ut. Stenderverket er synlig som kuldebroer (mørke, kalde vertikale striper). Det samme er bjelkelaget. Stiften som fester veggplater til stenderne, er synlige som mørke prikker på stenderne. Fargen mellom stenderne er helt jevn. Det betyr at isoleringen er helt jevn. På veggen til høyre henger det et bilde. Det henger litt inn fra selve veggen og får dermed en noe høyere temperatur.

En tommelfingerregel er at det bør være en temperaturforskjell på minst 10 °C mellom ute/inne for å få gode termogrammer slik at man kan se isoleringsfeil.

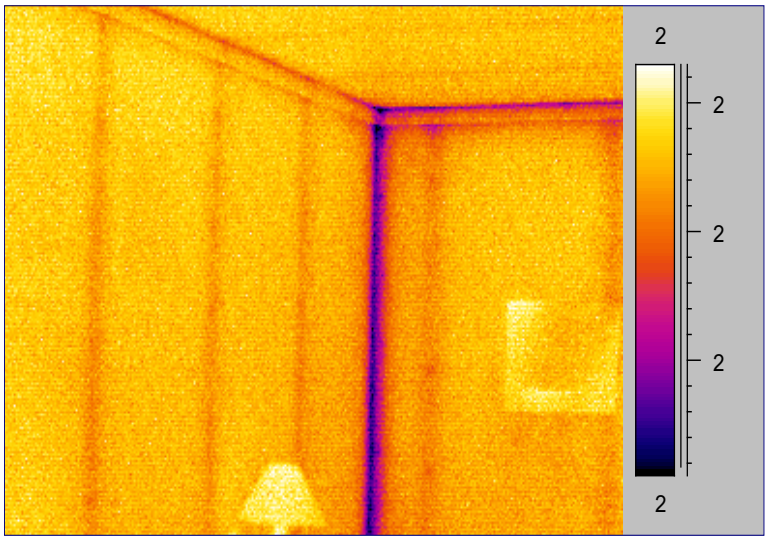


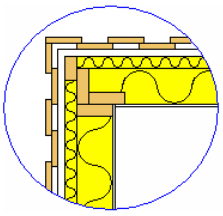


Termogrammet viser temperaturmønsteret i bindingsverket. I overgangen mellom yttervegg og himling på høyre side i termogrammet er det kaldere enn tilsvarende langs veggen på venstre side. Dette skyldes konstruksjonen. Det er mer treverk i overgangen på høyre side. Parallelt med bjelkelaget er det lagt inn mer treverk i ytterveggen, slik at den skal krympe like mye som langveggene. Trevirke krymper mye på tvers av fibrene og lite langsmed fibrene. At det er noe kaldere, mørkere, i denne overgangen er altså forventet.



På termogrammet er det noe kaldere i overgangen mellom vegg/himling på veggen til venstre, men ikke så kaldt som langs overgangen til høyre. Også her er det mer trevirke i overgangen.





Hjørneeffekt

Det som varmer opp en vegg er varm luft som stryker langs veggen, og stråling fra omgivelsene. Etter hvert som man nærmer seg hjørnet vil en større og større del av strålingen komme fra naboveggen, som er kaldere enn omgivelsene i rommet. Det gir mindre stråling. I hjørnet er det mer stillestående luft, det er mer treverk og det er mer ytterflate i hjørnet i forhold til en slett vegg. Alt dette til sammen gir mindre stråling fra hjørnet.

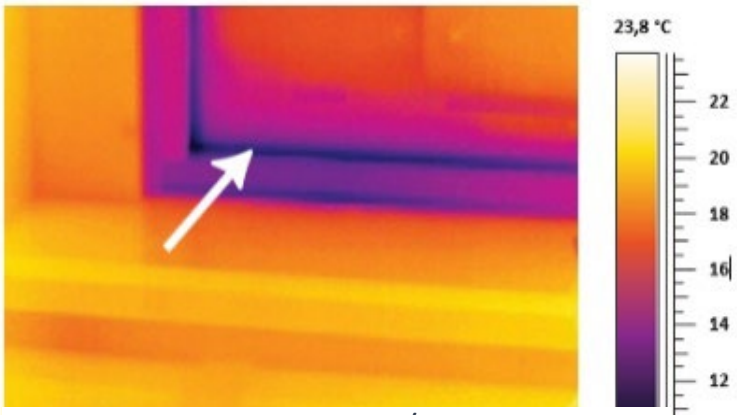
Vi kaller det en <u>hjørneeffekt.</u>

Det er forventet og normalt at det ser kaldere ut i hjørnet. Så lenge det mørkere området ser jevnt ut, er det ingenting å bemerke til dette.

Som en tommelfingerregel bør man måle veggtemperaturen minst 30 cm fra hjørnet for å være sikker på ikke å bli «påvirket» av hjørneeffekten.

4

Luftlekkasjer



DET TREKKER INN MELLOM GLASS OG KARM 1,4 M/S, DETTE SYNES IKKE FORDI TREKKEN INN KJØLER IKKE NOEN FLATE.

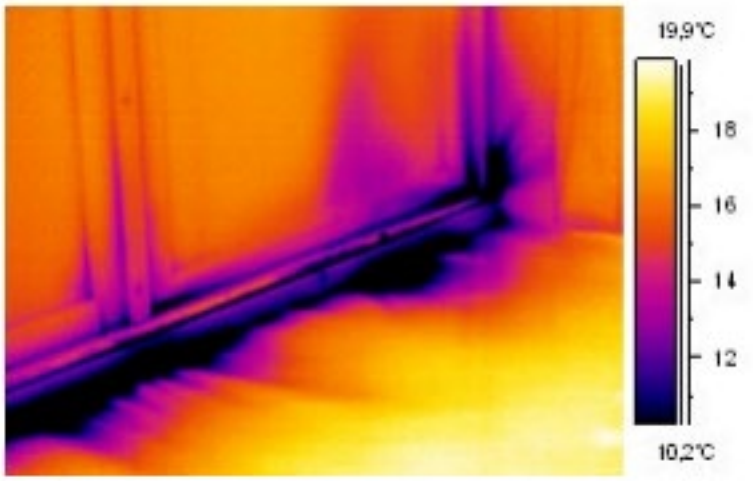
Kan vi se luftlekkasjer med et varmekamera?

Nei.

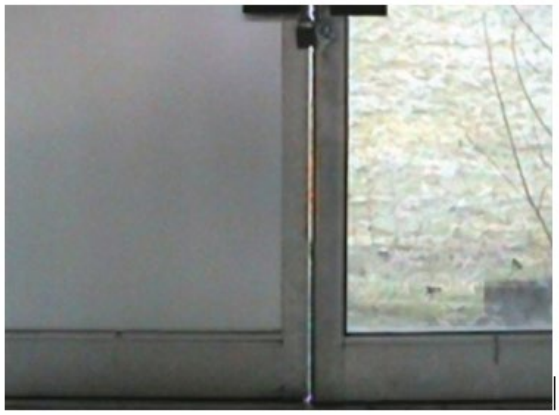
Vi kan ikke se luftlekkasjer i det hele tatt med et varmekamera. Det er resultatet av luftlekkasjer vi ser. For å kunne "se" luftlekkasjer må det komme inn en luftstrøm som stryker langs en flate. Denne flaten blir så enten avkjølt eller oppvarmet av luftstrømmen. Strålingen fra denne flaten registreres av kameraet. Mønsteret er med på å avgjøre om det er luftlekkasjer. Det er ikke nødvendigvis noen sammenheng mellom mengde luft som kommer inn og areal som blir nedkjølt. En liten mengde kald luft kan stryke over en ganske stor flate som blir nedkjølt. Det i seg selv kan gi ubehag ved at det blir en stor kald flate, men betyr kanskje ikke så mye for energiforbruket.

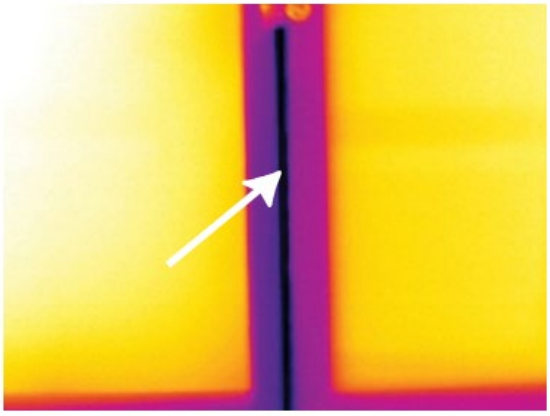
Et stort hull eller en sprekk kan slippe inn ganske store mengder kald luft uten å kjøle ned noen flate. Dette synes kanskje ikke på et termogram i det hele tatt.

Den kalde luften kan føre til økt energiforbruk, og kan gjøre at ventilasjonen fungerer dårlig og at inneklimaet blir forringet. Det er derfor viktig å se på både hvor stor en slik åpning er og måle hvor stor hastighet det er på lufta som kommer inn.



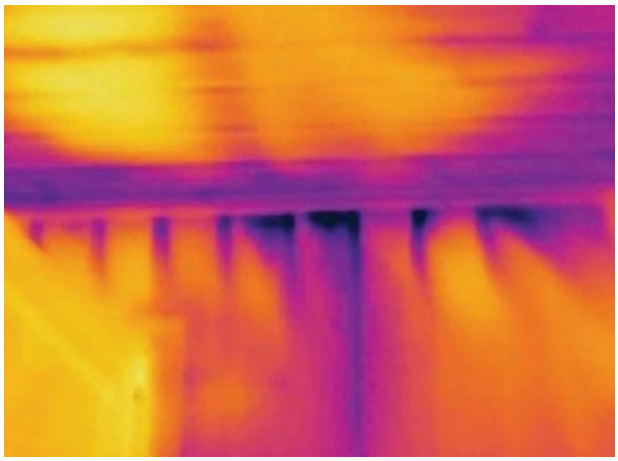
Termogrammet til venstre er et eksempel på hvordan luftlekkasjer kan se ut i et termogram. Termogrammet er av nederste del av en to-fløyet dør. De mørke tungene som trekker inn over gulvet fra døra er spor etter kald luft som trekker inn mellom terskel og gulv.



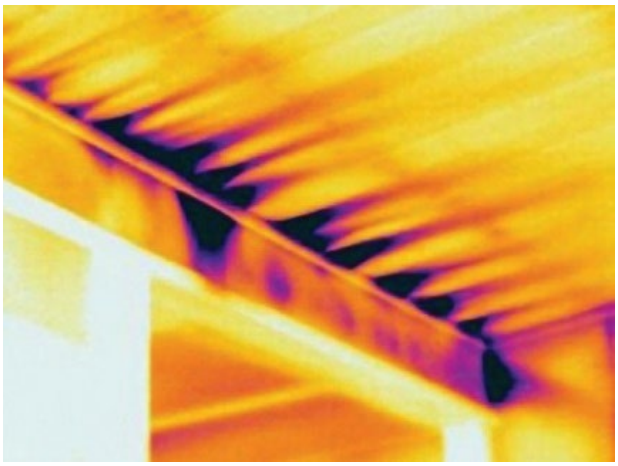


På bildene over kan vi se at det nederst mangler tettelist mellom de to dørbladene. Det er undertrykk inne på ca 20 Pa og det er en temperaturforskjell mellom ute/ inne Δt = 20 °C. Trekken gjennom sprekken mellom de to dørbladene er målt til 4,5 m/s. På termogrammet til høyre sees sprekken som en jevn kald stripe. Dette vil vi forvente selv om det hadde vært en tettelist, da tettelisten gir lite isolering og derfor vil være kald. Det er ingen typiske mønstre etter luftlekkasjer.

Bildekomposisjon



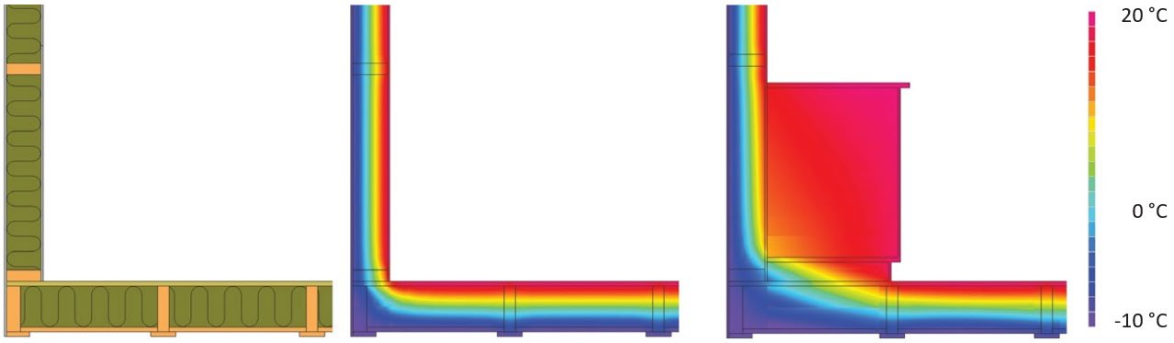
BEGGE TERMO-GRAMMENE ER AV OVERGANG VEGG/ HIMLING. DE LANGE MØRKE TUNGENE VISER AT DET ER UTETT OG HVOR DET ER UTETT.



Når man skal ta termogram av luftlekkasjer, kan det være smart å se på lekkasjene mest mulig fra siden og ikke rett forfra. Lekkasjene blir tydeligere sett fra siden. Man ser hvor langt inn over en flate de strekker seg, og det er lettere å vise hvor stor del av overgangen som er utett. Det kan også være smart å ta slike bilder på litt avstand for å vise at det er et større område som har luftlekkasjer.

Fastmontert innredning

Soverom, særlig for to personer, er et av de rommene hvor det lett oppstår mugg på innsiden av yttervegger. Dette er rom som ofte har relativt lav lufttemperatur og høy relativ fuktighet. Når det er lave utetemperaturer, er det ofte liten ventilasjon i disse rommene, både fordi vinduer er igjen og fordi man har stengt ventiler, samtidig som man har lite varme på i rommet.

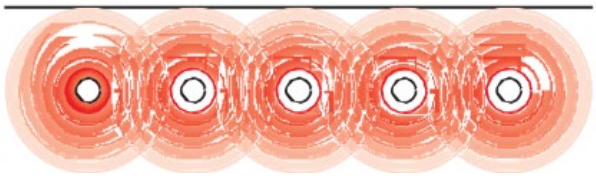


Skissene viser et snitt av overgang mellom vegg og gulv. Det er 15 cm isolasjon i veggen og 20 cm isolasjon i gulvet. Skissen til venstre viser et vanlig snitt av konstruksjonen. Den midterste skissen viser temperaturfordelingen i en slik konstruksjon når utetemperaturen er -10 °C og innetemperaturen er +20 °C. Skissen til høyre viser at det kan bli kuldegrader inne i et benkeskap ved -10 °C, selv om konstruksjonen er perfekt utført. (Teoretisk beregning utført med softwareprogrammet HEAT 2,0).

Det er ganske vanlig at det er skap med klær på yttervegger i soverom. Klær = isolering. Dybden på skap er gjerne 60 cm. Er skapet fullt av klær vil dette gi et isoleringstilskudd til veggisoleringen som kan være betydelig. Det betyr at man flytter nullpunktet i veggen innover og den kan havne på innsiden av diffusjonssperren. Hvis man tenker seg at varmemotstanden til et skap med klær er omtrent halvparten av varmemotstanden til veggen, vil isoleringen i ytterkonstruksjonen og klærne øke isoleringseffekten kraftig. Duggpunktet flyttes innover mot og inn i skapet. Det kan bli rim i skapet, uten at det er noe feil på konstruksjonene.

6

Varme i gulv



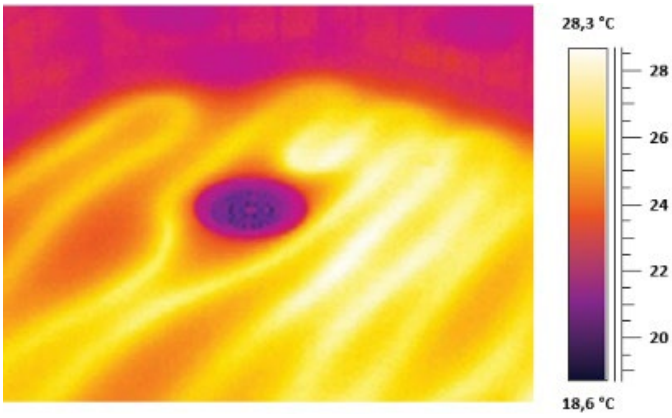
SNITT AV GULV SOM VISER HVORDAN VARMEN SPRER SEG SIRKULÆRT RUNDT RØRENE. ETTERHVERT SPRES VARMEN FRA DE FORSKJELLIGE RØRENE SLIK AT DET BLIR TILNÆRMET JEVN OVERFLATETEMPERATUR I GULVET.

I mange av dagens gulv er det varme. Den består enten av:

1. Varmekabler lagt direkte i flislim, i avrettingsmasse eller innstøpt i betong,
2. Varmt vann som ligger i slynger i gulvet, som regel i en eller annen form for støp.

Det kan være aktuelt å lokalisere varmekabler fordi det skal festes noe i et gulv. Så sant det er varme i kablene er de enkle å oppdage med varmekamera.

Fremgangsmåte



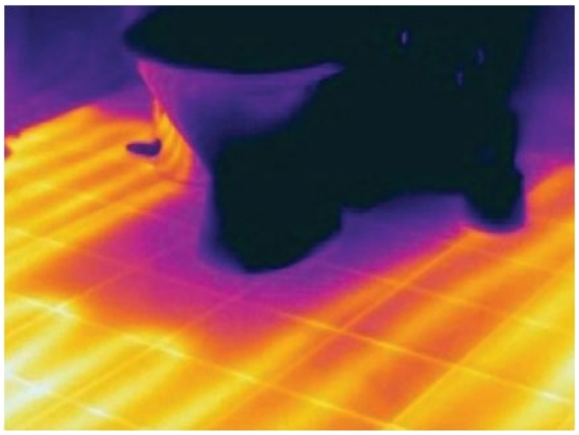
VARMEKABLER RUNDT ET SLUK I EN DUSJ

For å kunne se varmekabler eller varmtvannsrør er det viktig å starte med kaldt gulv. Varmen i gulvet bør stenges dagen før kontrollen skal foregå og settes på når kontrollen starter. Hvis det er varmt vann, er det aktuelt å øke varmen på vannet samt å øke hastigheten på vanngjennomstrømningen. Begge deler gjør at vannrøret varmes raskere og det vil være lettere å se det enkelte røret.

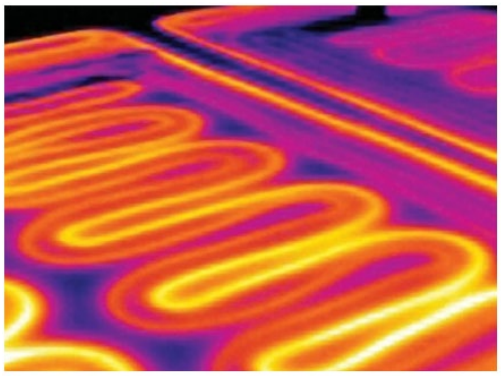
Hvor raskt varmen fra varmekablene synes på overflaten av gulvet er avhengig av flere forhold. Som en tommelfingerregel kan følgende brukes: Elektriske varmekabler vil begynne å bli synlige etter

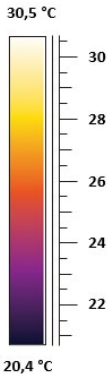
- 4 – 5 minutter hvis de ligger i flislim
- 10 – 15 minutter hvis de ligger i avrettingsmasse, men kan også skje raskere
- 20 – 40 minutter hvis de ligger i betong på 4 - 6 cm dyp
- Det tar lengre tid hvis kablene ligger dypere.

For varmtvannsrør tar det vanligvis lengre tid før du ser de avtegnet på overflaten, fordi temperaturen på varmtvannet i rørene ofte er lavere enn for varmekabler.

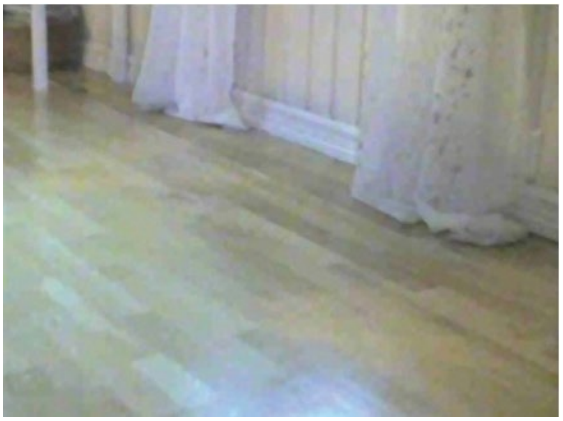


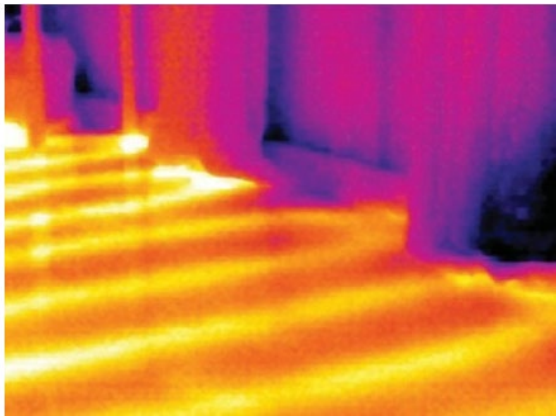
Det er ganske vanlig at man legger varmekabler utenom der WC skal stå. Toalettet festes med bolter i gulvet og for å unngå å treffe varmekablene plasseres kablene utenom dette området. Dette kan medføre at det blir kaldere på gulvet der man har bena når toalettet brukes.





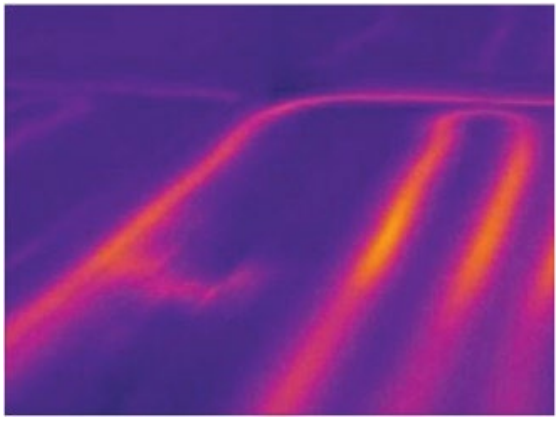
Varmtvann i betonggulv. Bildet er tatt på ca 20 meters avstand.





Av og til blir det diskutert hvor nær varmekablene ligger ytterveggen. I dette tilfelle taler IR-bildet for seg selv. Bildet er tatt under et vindu. Det mangler varmekilde under vinduet. Varmekabler stopper ikke kaldras fra vindu. For å stoppe kaldras må man enten ha glass med meget lav u-verdi, eller en varmeovn under vindu.

Brudd/hull i varmtvannsrør i gulv



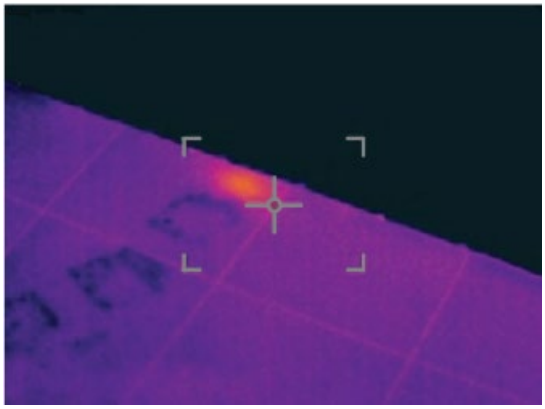
VANNRØR I GULV. LEKKASJE

Hvis det er brudd eller hull på et varmtvannsrør, kan det være vanskelig å finne lekkasjen. I verste fall er hullet i slangen på undersiden av slangen. Det vannet som kommer ut, kan følge slangetrasseén på undersiden av slangen. Dette sees ikke med varmekamera direkte. Da må betingelsene endres:

- Steng anlegget
- La det stå til alt vann er kaldt
- Åpne vannet på turen slik at det kommer trykk på røret.
- Steng returen

Hvis denne fremgangsmåten følges, kan varmen i slangen følges frem til bruddstedet, mens det er kaldt videre derfra. Ofte vil det varme vannet presses ut i betongen rundt slangen og kan dermed oppdages. Av og til kan det være en fordel å la vannet stå på under fullt trykk noen timer, for så å stenge det helt og foreta en kontroll dagen etterpå. Da ligger det noen ganger varme igjen i de fuktige feltene i betongen. Det kan også være at fuktigheten begynner å fordampe og dermed oppstår det kaldere områder der dette skjer.

Brudd i varmekabler



VARMT PUNKT I GULVET FREMPROVOSERT VED HJELP AV LYSBUE.

For å finne varmekabler når det er brudd i kabelen må det brukes tilleggsutstyr og foretas omkoplinger. Kablene koples om slik at det går strøm fra selve kabelen til jord. Deretter settes det på kraftig kortvarig spenning. Det vil bli en lysbue i bruddstedet. Denne lysbuen er så varm at den lager et varmt punkt (hot spot) i gulvet, og dermed kan selve bruddstedet bli synlig. Dette krever spesielt utstyr og spesiell kompetanse og er ikke noe emne for denne boka.

10

Blowerdoor – Store bygninger

I NS-EN ISO 9972 står det om hvilke trykkforskjeller man må bruke. I store bygg må man ikke ha en trykkforskjell helt opptil 50 Pa, men man må ha en trykkforskjell på minst 25 Pa for at målingen skal godkjennes. Det er vanlig å bruke flere vifter når bygget er stort for å oppnå 50 Pa trykkforskjell.

Store bygninger tetthetskontrolleres på samme måte som småhus.
Når store bygg skal kontrolleres, må det undersøkes om det er spesielle krav til tetthet for eksempel i en kontrakt. Badeland og svømmehaller har ofte meget strenge krav til lekkasjetall, helt ned til n_{50} = 0,3 omsetninger pr. time ved 50 Pa trykkforskjell. I slike bygg er det svært høye temperaturer, og svært mye fukt i innelufta. Fukt som kommer inn i konstruksjonene kan føre til nedsatt isolasjonsevne, muligheter for korrosjon på metaller og utvikling av sopp og råte. Enkelte bygg har enda strengere krav. Nasjonalmuseet i Oslo hadde et krav til tetthet n_{50} = 0,1.

Fire vifter montert i to døråpninger i et badeland.

Eksempel
Et badeland med volum 65 000 m³, har et krav til tetthet n50 = 0,4 (ifølge kontrakt). Da er det nødvendig med en viftekapasitet på minst
65 000 · 0,4 = 26 000 m³/time
En vifte i et trykkprøvesystem kan trekke ut ca 7 500 m³/time.
26 000/7 500 = 3,5 systemer
Da bør man ha tilgjengelig 4 systemer.

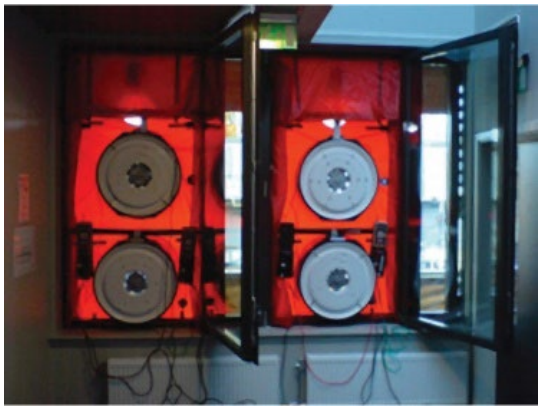
Fremgangsmåte

Volumet som skal kontrolleres, må beregnes.
Viftene plasseres sentralt. I kontorbygg kan de plasseres i 1. etasje i forbindelse med trappegang, slik at man kan få tilgang til alle etasjene via trappegangen. Viftene styres manuelt og det er viktig å ha full oversikt over alle viftene samtidig.

- Ventilasjonen i bygget må stenges. Vanligvis gjøres dette sentralt. Systemet skal stenge med spjeld ved inntak og uttak.

- Før test må alle vinduer og ytterdører lukkes, eventuelt låses.

Alle innvendige dører holdes åpne. Kjør systemet med høyeste trykk, alternativt 50 Pa, og kontrollér flere steder i bygget at 50 Pa oppnås (maksimum ±10 % avvik). Om det er store variasjoner i trykket i bygningen, kan det skyldes store utettheter i enkelte deler av bygningen. Da kan det være aktuelt å flytte viftene nærmere lekkasjestedene for derved å oppnå jevnere trykk.



- Kontroller at ingen vinduer eller dører har åpnet seg.

Notér om det er spesielle midlertidige tettinger som er gjort for å få tilfredsstillende målinger. Når testen foretas, er det viktig at viftene kjører med omtrent samme hastighet, slik at det går omtrent like mye luft gjennom hver av dem. Ellers kan det skje at det går luft inn gjennom en vifte og ut gjennom en annen.

Testen foretas deretter etter NS-EN ISO 9972.

FIRE VIFTER MONTERT I TO VINDUER I ET SKOLEBYGG

14 VIFTER MONTERT I EN PORTÅPNING.

11

NS-EN ISO 9972 - Trykkstandarden

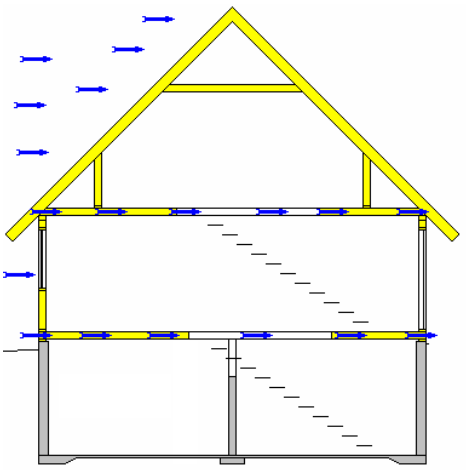
Trykktesten er en metode som gir svar på hvor tett en bygning er, men ikke hvor utetthetene er. Skal man utføre tester etter trykkstandarden, er det helt nødvendig å kjenne til standarden. Det gjelder både for selve utførelsen og ikke minst hvis det skulle bli nødvendig å forsvare det man har målt i en tvistesak.

Dagens standard (2023) - Kommentarer

I 2015 kom den standarden som brukes i dag. Selve måten å utføre kontrollen på, har vært den samme siden 1981. Den siste standarden *NS-EN ISO 9972* (EN = Europeisk Norm) er felles for hele Europa. Standarden heter: *Bygningers termiske egenskaper. Bestemmelse av bygningers luftlekkasje, Viftetrykkmetode (ISO 9972:2015).* Dessverre finnes den bare på engelsk (2023). Måten å utføre testen på i de enkelte land i Europa og i den enkelte boenhet eller bygning, er den samme. Hva resultatet av målingene vurderes mot, kan variere fra land til land.

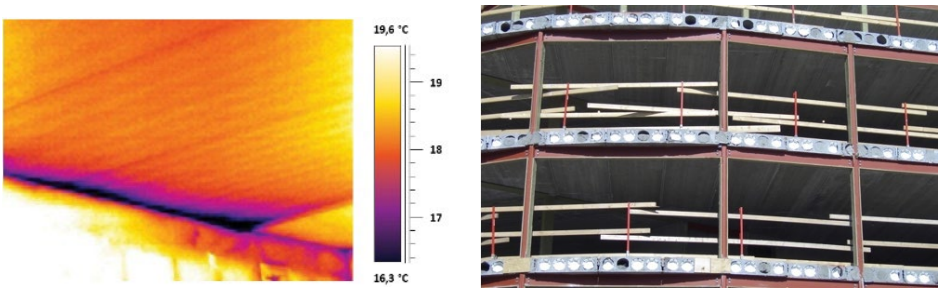
Det er noen punkter man bør merke seg spesielt i standarden
(Teksten referert til i standarden er oversatt fra engelsk av forfatteren).

Under kapitlet: Orientering i standarden, står det i nest siste avsnitt:



«Viftetrykkmetoden, brukt på målinger av luftstrøm gjennom konstruksjonen fra utsiden til innsiden eller omvendt. Den gjelder ikke for luftmengdemålinger utenfra gjennom konstruksjonen og tilbake til utsiden».

Hvis for eksempel et hulldekkelement er utett i begge ender, kan det blåse luft gjennom dette elementet uten at det påvirker lekkasjetallet for boligen/ bygningen. Likevel kan gulvet i etasjen over, og himling i etasjen under elementet, bli nedkjølt slik at det kan være vanskelig å opprettholde et godt inneklima i disse etasjene. Energiforbruket må økes for å kompensere for denne lekkasjen.



Bildet er av undersiden av et hulldekkelement som danner etasjeskiller. Det er varmt i etasjen over, men det trekker kald luft gjennom samtlige hull i hulldekkelementet, fordi det blåser ute og elementet er utett i begge ender. Denne lekkasjen påvirker ikke lekkasjetallet.

Orientering - Siste avsnitt:

*«Riktig bruk av den internasjonale standarden krever kunnskap om prinsippene for luftstrøm- og trykkmålinger. Ideelle forhold for testen beskrevet i den internasjonale standarden, er små temperaturforskjeller og lave vindhastigheter. For tester utført i felt, må det erkjennes at feltforholdene kan være mindre enn ideelle. Allikevel bør sterk vind og store temperaturforskjeller mellom innendørs/utendørs (ΔP) unngås»***.**

Under *Kapitel 5.1.1* står det:

«Måleprosedyre – Generelt
Det er likegyldig om man tester ved overtrykk eller undertrykk.

Note 2:
Hvis produktet av differansen mellom inne- og utetemperatur, i K (Kelvin), multiplisert med høyden av klimaskjermen, i m, gir et resultat større enn 250 m · K. Da er det lite sannsynlig at en tilfredsstillende naturlig trykkdifferanse oppnås».

Eksempel
Hvis man har en enebolig i to etasjer med full kjeller og åpen trappeløsning, samt skråhimlinger inne i 2.etasje, kan byggets høyde komme opp i 12 meter. Om det er -10°C ute og +20 °C inne får man en temperaturforskjell Δt = 30 °C = 30 K. 12 · 30 = 360 m·K. Dette er mer enn 250 m·K. Det bør oppgis i rapporten som skrives. Dette er skjerpet krav fra tidligere standarder.

«Note 3:
Hvis vindhastigheten nær bakker blir mer enn 3 m/s eller den meteorologiske vinden blir mer enn 6 m/s eller 3 på Beauforts skala, er det lite sannsynlig at tilfredsstillende baseline måling kan oppnås».

Meteorologisk vind
Gjennomsnittsverdi av vinden i en 10 minutters perioden målt i en høyde på 10 meter. Dette er et skjerpet krav fra tidligere standarder.

Under kapittel *Kapitel 5.1.2 over notene* står det: *«Enkelte deler av en bygning kan måles separat, f.eks. kan hver leilighet i en boligblokk måles individuelt. I tolkningen av resultatene skal det imidlertid tas hensyn til at den lekkasjeluftmengde som måles på denne måten, kan omfatte luftstrøm gjennom utettheter til tilstøtende deler av bygningen».*

Note 1
Det er mulig at en boligblokk oppfyller kravene til lufttetthet, men at én eller flere enkeltleiligheter ikke gjør det.
Kommentar til Note 1
Det er vanskelig (umulig) å vinne gehør for dette argument når den enkelte beboer har flyttet inn og eventuelt klager på trekk, utettheter og/eller høyt energiforbruk. En beboer vil ikke godta at hans leilighet ikke holder tetthetskravet. Hvis naboens leilighet er tettere enn kravet, må han likevel godta dette, fordi kravet gjelder for hele bygningen og ikke for den enkelte leilighet. Hvis leieboere ikke har flyttet inn, kan det være fornuftig av entreprenør å foreta kontroll av for eksempel en hel etasje under ett, det vil si ta flere leiligheter samtidig.

Note 2
God praksis krever at det fremkalles tilsvarende måletrykk i tilgrensende områder som loft og kjeller eller tilstøtende leiligheter, siden prøvingsmetoden kan forårsake luftstrøm fra eller til disse områdene.

Kommentar til Note 2
Velger man en slik metode, må man ha en vifte i tilstøtende leiligheter og passe på å ha samme trykk som i den leiligheten som skal måles. Da vil det ikke komme "falsk" luft fra tilstøtende leiligheter og man er sikker på at det bare er klimaskjermen som måles. I praksis i boligblokker, rekkehus og tilsvarende, er det vanlig å stole på at brannseksjoneringen mellom leilighetene er tette. Det er imidlertid ikke krav til at brannseksjoneringen skal være røyktett (2023). Det kan skje at en leilighet ikke oppfyller tetthetstallet, men at man med termografering finner at klimaskjermen er tett. Da må utetthetene ligge i avgrensninger mot naboleiligheter og liknende. Dette kan gi problemer ved brann og det kan gi lyd- og luktproblemer ved at det siver inn lukt fra naboer.

Eksempel:

I en leilighet settes det undertrykk (50 Pa).

Det kan komme luft fra nabo-leilighetene. Lekkasjetallet blir feil, det blir for høyt. Kravet til tetthet gjelder bare for ytterveggene.

Ved å etablere samme trykk i naboleilighetene vil det ikke komme luft mellom leilighetene. Da er det bare luftlekkasjene gjennom ytterveggene som måles.

Husk at du også muligens må skape undertrykk i leilighetene over og under.

«5.1.3 Måletidspunkt

Målingen kan bare finne sted etter fullføring av klimaskallet til bygningen eller delen av bygningen som skal testes».

Note
En foreløpig tetthetsmåling av bygningens vindsperre under bygging, kan gjøre det lettere å finne lekkasjer i vindsperra enn etter at bygningen er ferdigstilt.

I en del tilfeller er det ønskelig å måle tettheten på vindsperren. Da foretas trykktesten før isolering og innvendig diffusjonssperre er på plass. Dette kan gi en god test på om vindsperren er tett. For å minimalisere eventuelle kostnader ved en eventuell utbedring, er det ønskelig fra utbyggers side å kunne foreta en test på et så tidlig tidspunkt som mulig.
I store bygg kan det være aktuelt å avgrense et område langs klimaskjermen med midlertidige, tette vegger på innsiden. Dette arealet settes under undertrykk. På den måten kan deler av klimaskjermen testes. Dette kan avdekke systematiske mangler på et tidlig tidspunkt.

6.2 Beregning av lekkasjetall etter NS-EN 9972

Først måles den naturlige trykkforskjellen mellom ute/inne, den såkalte baseline. Deretter måler man luftgjennomgangen gjennom vifta ved forskjellige trykk. Disse trykkene justeres for baselinetrykket. Etter å ha målt hvor mye luft i m^3/time som går gjennom vifta ved de forskjellige trykkforskjeller mellom inne/ute, settes dette inn i et dobbelt logaritmisk diagram. Det betyr at både x-aksen og y-aksen er logaritmisk. Standarden sier at det skal måles ved minst fem forskjellige trykk mellom ute og inne.

I diagrammet over er det målt ved fem forskjellige trykk. Fra disse målingene skal c og n finnes i en formel som ser slik ut:

$$V = c \cdot \Delta P^n$$

c kalles *luftstrømskoeffisienten* og *n* kalles *eksponenten* i formelen.

Det trekkes en linje gjennom målepunktene. Den strekkes nedover til venstre ned til der trykkforskjellen mellom ute/inne er 1 Pa. Den avleste verdien på y-aksen tilsvarer verdien c i formelen og oppover til den verdien mellom ute/inne er 100 Pa.
Deretter leser man av den verdien man ville fått om trykkforskjellen hadde vært 10 Pa og den verdien man ville fått om trykkforskjellen hadde vært 100 Pa. For å få frem eksponenten *n* brukes følgende formel:

$$n = \log_{10}(\Delta P_{100}/\Delta_{10})$$

Eksponenten kan nå beregnes. Den skal være mellom 0,5 og 1,0.

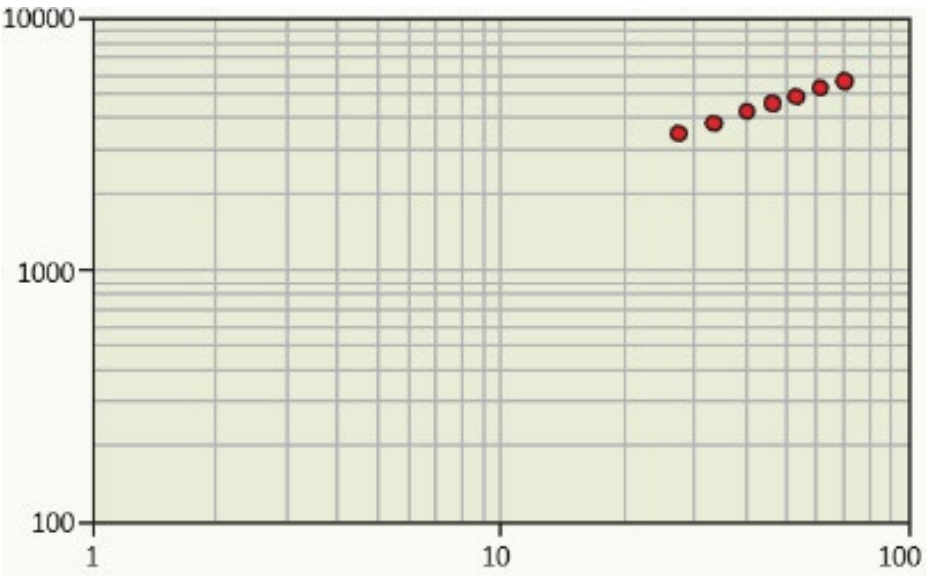
Formelen som fremkommer er spesiell for denne bygningen. Man kan nå regne ut hvilken verdi i m^3/time som er nødvendig får å lage en trykkforskjell på 50 Pa. Ved å dividere med det volumet som er undersøkt får man frem lekkasjetallet for bygningen.

Eksempel

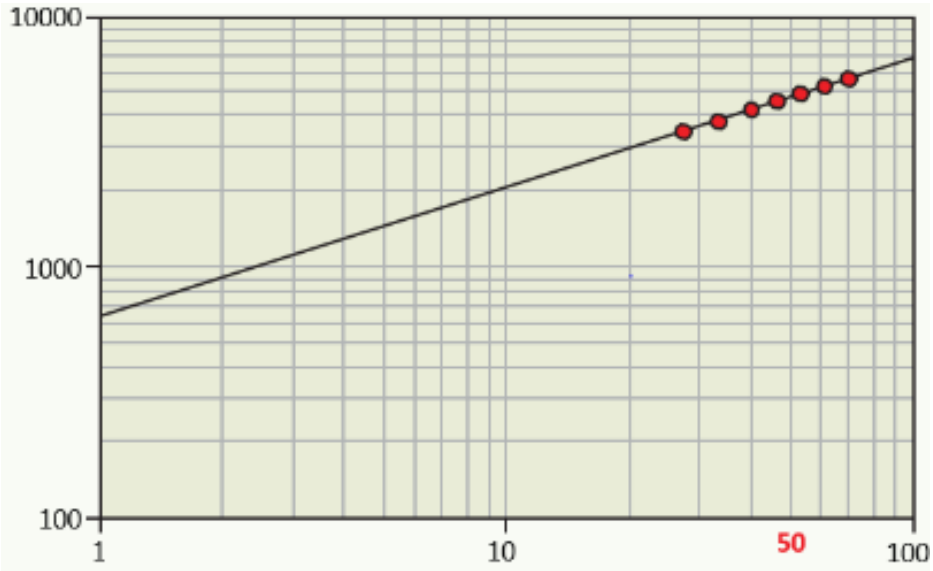
Det er foretatt en trykktest ved undertrykk og følgende målinger er gjort. Luftstrømmen er korrigert for forskjell i temperatur mellom ute og inne.

Hvert trykk, ΔP, er et gjennomsnitt av 100 enkeltmålinger. Pga av blant annet vind vil trykket variere noe, og et trykk på 69,3 Pa er et gjennomsnitt av 100 målinger. Teoretisk skulle det vært 70 Pa.

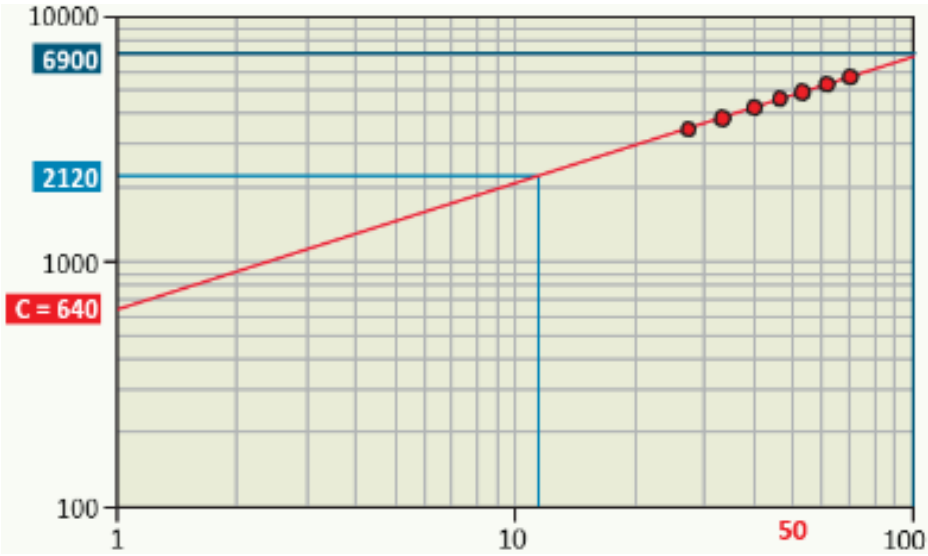
ΔP	m^3/time
69,3	5548
60,9	5188
52,6	4819
46,4	4527
40,3	4222
33,3	3838
27,4	3478



Hvert enkelt målepunkt markeres i et dobbelt-logaritmisk diagram. X-aksen er trykkforskjellen mellom ute og inne og y-aksen er m³/t luft som går gjennom vifta for å lage trykket.



Deretter trekkes en linje gjennom alle målepunktene. Linjen forlenges til venstre til trykkforskjellen er 1 Pa på x-aksen. Til høyre forlenges linjen til trykkforskjellen er 100 Pa på x-aksen.



Verdien der den røde linjen går gjennom den vertikale linjen ved 1 Pa trykk-forskjell viser 640 m³/t. Det er verdien C i formelen. Den kalles luftstrøms-koeffisienten. C = 640.

For å finne eksponenten, n, leses det av på y-aksen hvor mange m³/t det blir ved en trykkforskjell på 10 Pa og 100 Pa. Dette settes inn i formelen for *n*:

$$n = \log_{10}(6900 / 2120) = 0{,}513$$

For å beregne luftstrømmen ved 50 Pa, settes verdiene inn i formelen:

$$V_{50} = c \cdot \Delta P_{50}^{n}$$

Formelen vil se slik ut og den er spesiell for dette huset:

$$V_{50} = 640 \cdot 50^{0{,}513} = 4762\ m^3/time$$

Deretter divideres denne verdien med husets volum (undersøkt volum):

$$n_{50} = v_{50} / v_{\text{undersøkt volum}}$$

I eksempelet er undersøkt volum 8922 m³. Verdiene settes inn i formelen:

$$n_{50} = 4762/8922 = 0{,}53$$

0,5 er et lavt tall som er innenfor kravet i for eksempel TEK17.
Der er kravet til tetthet for bygninger 0,6.

Lekkasjetallet, eller tetthetstallet oppgis med en desimal. Det sier noe om nøyaktigheten på målingene.

7 Testrapport

Her står hva en rapport minimum skal inneholde. Det finner du mer om i kapitel 25 Rapportering.