FASADER I GLASS

som holder hva vi lover

Glass i fasader og

LUFTTETTHET

Forskningsrådet

Samarbeid med forskningsinstitusjonene og støtte fra Forskningsrådet gir oss inngående kunnskap og forståelse om å bygge miljøriktig!

Ida H. Bryn, Erichsen & Horgen AS

Grip sjansen til å bli en vinner i miljøvennlige løsninger!

2015 blir et viktig år for forskning og utvikling i på miljøvennlige løsninger i byggsektoren. Hundretalls millioner ligger i potten for å utvikle løsninger for mer effektiv energibruk. Grip sjansen til å få relevant forskning for din bedrift.

ENERGIX er Forskningsrådets store program for miljøvennlig energi som støtter FoU hos bedriftene. Næringslivet kan også samarbeide med forskningsinstitusjoner i kompetanseprosjekter og forskerprosjekter.

Neste år vil ENERGIX kunne tildele over 450 millioner kroner til nye forskningsprosjekter som bidrar til en bærekraftig omstilling av energisystemet. En stor del av dette vil gå til prosjekter der næringslivet er aktivt med.

I sin nye nasjonale strategi har Energi21 pekt ut seks satsingsområder, der energieffektivisering og fleksible energisystemer er blant disse. Strategien vil være retningsgivende for hvilke prosjekter som får støtte fra ENERGIX.

Forbered prosjektsøknaden som ledd i bedriftens strategi før utlysningen våren 2015. Søknadsfristen er normalt september/oktober.

TA KONTAKT MED:

Spesialrådgiver
Ane Torvanger Brunvoll
i Forskningsrådet.

atb@forskningsradet.no
22 03 74 97 / 97 77 90 89
forskningsradet.no/energix

«FASADER I GLASS SOM HOLDER HVA VI LOVER»

Prosjektet «Fasader i glass som holder hva vi lover» er eiet av Erichsen & Horgen AS og Glass og Fasadeforeningen. Prosjektet har vært støttet av Norges Forskningsråd.

Prosjektets mål har vært å gi en vesentlig forbedret beskrivelse av fysikk og komfort rundt fasader i glass og å sannsynliggjøre hvordan dette påvirker energibruken. Vi vil vise hvordan en kan ivareta både termisk og visuell komfort samtidig som en oppnår lav energibruk. Prosjektet illustrerer også hvordan fasadens egenskaper som U-verdi, g-verdi og dagslysforhold varierer med varierende uteklima samt type og styring på solskjerming. Prosjektet gir grunnlag for forbedret termisk og energimessig kravspesifisering og dokumentasjon av fasader.

Medvirkende og deltakere i prosjektet har også vært:

- **Avantor AS** har stilt bygg til rådighet for prosjektet og **Geir Vaagan** har bidratt aktivt i møter og med tilrettelegging for målinger på byggeplass.
- **Entra Eiendom** har også bidratt med å stille bygg til rådighet og **Rune Pedersen** har tilrettelagt for målinger feltarbeid.
- **Erichsen & Horgen AS** har hatt prosjektledelsen sammen med **Glass og Fasadeforeningen**. Prosjektleder har vært **Ida Bryn**. I tillegg har Bryns kollegaer, **Axel Bjørnulf, Søren Gedsø, Arnkell Petersen** og **Marit Smidsrød** gjort feltarbeid, skrevet tekster og artikler. Erichsen & Horgen har også holdt kurs og konferanser om temaet og undervist på **Arkitekthøgskolen i Oslo** og **HiOA.**
- Høgskolen i Oslo, HiOA, ved **Line Karlsen**, har bidratt med målinger i laboratoriet, skrevet rapporter og holdt foredrag.
- Glass og Fasadeforeningen har, ved **Sverre Tangen**, deltatt i prosjektledelse. Foreningen har i tillegg bidratt med stoff til rapporter og et regneprogram for beregning av korrekte U-verdier ved forskjellige klimaforhold og derav følgende kaldras. GF har holdt kurs og foredrag om temaet for medlemsbedrifter og andre i byggebransjen.
- **Nytt Sykehus i Østfold** har stilt prosjektet til rådighet for beregninger, tester og bidratt i prosjektet ved **Kai Martin Lunde**.
- **Omega Termografering AS** har bidratt med målinger og underlag til rapporter. Deres representant i prosjektet har vært **Hans Olav Vestli**.
- **Saint Gobain Bøckmann**, ved **Jørgen Slydal**, har bidratt i prosjektet med fasadeberegninger og vurderinger av prosjekt.
- **Sapa Buildingsystem AS** har bidratt med kunnskap om fasader på generelt grunnlag. Selskapet har laget illustrasjoner og bidratt til rapportutarbeidelse. Deres representant har vært **Øystein Havik**.
- Solskjermingsgruppen, ved **Rune Klementsen** og **Hans Otto Häger**, har bidratt med materiale omkring solskjerming til bruk i rapporten.

«Fasader i glass som holder hva vi lover» har vært omtalt i fem artikler i Glass & Fasade. Prosjektet har vært omtalt gjennom temaene «bakgrunn og formål», «luftttetthet», «kuldebroer», «løsninger for solavskjerming» og «effekten av solavskjerming».

Prosjektet avsluttes med utgivelsen av tre veiledere, hvorav dette er Veileder «Glass i fasader og luftttetthet». De to øvrige veilederne har disse titlene:
Veileder **«Glass i fasader – kuldebroer»**
Veileder **«Glass i fasader – solskjerming»**

Veilederne finnes også digitalt på **www.glassportal.no** og **www.erichsen-horgen.no**

VEILEDER
«GLASS I FASADER – LUFTTETTHET»

Utgitt av:
Erichsen & Horgen AS og
Glass og Fasadeforeningen.
Utgivelsen er støttet av ENOVA
og Forskningsrådet.

Redaktør:
Ida Bryn, Erichsen & Horgen AS

Forfattere:
Axel Bjørnulf, Erichsen & Horgen AS
Ida Bryn, Erichsen & Horgen AS

Distribusjon:
Bilag med «Glass & Fasade» som sendes personlig til 2 100 arkitekter, og 544 arkitektkontorer. 1350 sendes til entreprenører, bygningstekniske konsulenter, rådgivende ingeniører, utdanningsinstitusjoner, medier, eiendomsselskaper, eiendomsutviklere og byggherrer. 1200 distribueres internt til deltakerne i prosjektet.

Grafisk formgivning:
Member Media AS

Trykk:
Nr 1 Trykk Grefslie

erichsen horgen

Glass og Fasadeforeningen

Innholdsfortegnelse

1. INNLEDNING **7**

2. BYGNINGERS LUFTTETTHET **8**
2.1 Definisjon av lekkasjetallet, n_{50} 8
2.2 Tetting av klimaskjermen 9
2.3 Luftinfiltrasjon 9
2.4 Måling av lekkasjetall i ferdig bygg 10
2.5 Måling av lekkasjetall under byggeperiode 11
2.6 Teoretiske beregninger av tetthet 12

3. GLASSELEMENTERS LUFTTETTHET **14**
3.1 Valg av produktløsninger for dører, vinduer 14
3.2 Laboratorietesting og klassifisering av glasselementer 16
3.3 Laboratorietest av bygningskomponent eller bygningsdel 17
3.4 Lekkasjemåling på byggeplass av ferdig monterte elementer 18
3.5 Lokalisering av lekkasjer i bygget 18
3.6 Tetting av fuge rundt vinduer, dører og glassfasader 20

4. KRAV TIL TETTHET FOR GLASS I FASADER I ANBUDSBESKRIVELSER **24**
4.1 Krav til elementer 24
4.2 Krav til fuger og montering 25
4.3 Bevaring av lufttetthet i driftsfasen 25

1. Innledning

Hensikten med dette notatet er å gi innspill til hva man bør ha fokus på under prosjektering og hvordan kravspesifikasjoner bør utformes for å sikre at glassfasader og vinduer leveres i henhold til det som beskrives. Notatet inneholder forslag til krav og tester, og målet er å danne et grunnlag for utarbeidelse av beskrivelsestekster til komponenter og målinger som sikrer leveranse av den fasaden som ønskes. Dette notatet omhandler problemstillinger knyttet til tetthet for vinduer, dører og glassfasader spesielt, samt forhold knyttet til grensesnittet mellom disse produktene og byggets konstruksjon for øvrig. Hvilke løsninger som velges for vinduer, dører og glassfasader har særdeles stor betydning for bygningens samlede lufttetthet. Målet med dette notatet er å gi innspill til kravsetting og oppfølging slik at bygget oppfyller de krav som er satt til energi og produktkvaliteter.

Å lage tette bygg er viktig av hovedsakelig følgende grunner:

- ENERGIBRUK; Hindre uønsket varmetap på grunn av luftlekkasjer, hindre kald luft i konstruksjoner og ubalanse i ventilasjonsanlegg.
- KOMFORT; Unngå trekk, kald luft og kalde overflater.
- FUKTSKADER OG MUGG I KONSTRUKSJONER; Hindre fuktig inneluft inn i konstruksjoner, eller vanninntrengning fra nedbør.
- SPREDNING AV LUKT OG FORURENSING; Hindre interne luftlekkasjer i bygget.

2. Bygningers lufttetthet

2.1 DEFINISJON AV LEKKASJETALLET, n_{50}

Kravet til bygningers tetthet blir satt gjennom lekkasjetallet n_{50} som angir luftlekkasje gjennom klimaskallet i relasjon til bygningens oppvarmede volum. Lekkasjetallet angir hvor mange ganger byggets oppvarmede luftvolum lekker ut gjennom klimaskallet per time når det er 50 Pa trykkforskjell over klimaskjermen;

$$n_{50} = \frac{\dot{V}_{50}}{V} \; [h^{-1}]$$

hvor;

- $\dot{V}_{50}$ er samlet lekkasjeluftmengde [m^3/h] ved 50 Pa trykkforskjell.
- V er volum [m^3] av lekkasjemålt bygningsdel.

Volum av målt del refererer til oppvarmet volum i bygningen, eller bygningsdelen som testes, slik det er definert i NS 3031.

Mengden av luftlekkasjer er relativ til arealet av byggets klimaskjerm, mens lekkasjekrav i TEK 10 settes gjennom lekkasjetallet n_{50} som relaterer seg til bygningens innvendige volum. Det har derfor stor betydning hvor kompakt bygningen er, dvs. forholdet mellom fasadeareal og volum, for hvilke tetthetskrav som må settes til klimaskallet. For bygninger med stort fasadeareal i forhold til volumet vil det være nødvendig å sette meget strenge krav til klimaskallets tetthet, mens for kompakte bygninger vil kravet til klimaskallets tetthet kunne være mindre strengt for å klare kravet til lekkasjetallet n_{50}.

Bygningers vindusareal har også stor betydning for hvilket lekkasjetall som kan oppnås. Vinduer er normalt mindre lufttette enn tett yttervegg, slik at økt vindusareal vil gi økt infiltrasjon i bygget. Videre så er dårlig utførelse av tilslutningsfugen rundt vinduer ofte en kilde til ekstra luftlekkasjer.

I teknisk forskrift og diverse andre sammenhenger settes det ulike krav til byggets tetthet for ulike bygningstyper. En oversikt over de viktigste tetthetskrav for bygninger er følgende:

	BOLIGER	NÆRING	SMÅHUS
TEK 10, minstekrav energirammemetoden	3,0 h^{-1}	3,0 h^{-1}	3,0 h^{-1}
TEK 10, tiltaksmetoden	1,5 h^{-1}	1,5 h^{-1}	2,5 h^{-1}
Lavenergihus etter NS 3700, NS 3701	1,0 h^{-1}	1,5 h^{-1}	-
Passivhus etter NS 3700, NS 3701	0,6 h^{-1}	0,6 h^{-1}	-

Figur 2.1: *Krav til lekkasjetall for ulike bygningstyper.*

2.2 TETTING AV KLIMASKJERMEN

Luftlekkasjer gjennom ulike deler av klimaskjermen kan, tilsvarende som kuldebroer, grovt sett deles inn i følgende undergrupper:

- Arealavhengige luftlekkasjer gjennom vegg-, gulv- og takflater, som f.eks.;
  - *Glassfasader, vinduer, dører*
  - *Jevnt fordelte luftlekkasjer i yttervegger, tak og gulv, for eksempel på grunn av luftgjennomgang i vindsperre og omlagte skjøter i dampsperre.*
- Lengdeavhengige luftlekkasjer gjennom fuger og tilslutninger, for eksempel;
  - *Fuger rundt glassfasader, vinduer, dører*
  - *Gesims, sokkel og andre tilslutninger/skjøter mellom ulike konstruksjoner*
- Punktvise luftlekkasjer, for eksempel;
  - *Elektriske føringer gjennom tettesjikt*
  - *Ventilasjonskanaler, vann- og avløpsrør gjennom tettesjikt*
  - *Bærekonstruksjoner som bjelker eller søyler gjennom tettesjikt*

I bindingsverksvegger er det vind- og dampsperre i kombinasjon som gir veggen tilstrekkelig lufttetthet og fuktsikkerhet. Veiledningen til TEK 10 angir følgende preaksepterte løsninger til krav om konstruksjoners sikkerhet mot fukt fra inneluft:

- Det skal være et luft- og damptett sperresjikt på varm side av isolasjonen som hindrer at fukt tilføres fra inneluften.
- Det skal være et vindsperresjikt med lufttette skjøter på utsiden av isolasjon. Vindsperresjikt skal være vanntett, men mest mulig dampåpent slik at konstruksjonen har en selvuttørkingsevne.

I dampsperresjiktet benyttes det mer lufttette produkter enn i vindsperresjiktet, og dampsperresjiktet er i praksis den største bidragsyteren til byggets lufttetthet. I prosjektering og utførelse er det viktig å hindre at svakheter i vind- og dampsperre forekommer på samme sted, slik at konstruksjonene blir mindre sårbare for svakheter i de ulike sperresjiktene. Særlig ved punkter hvor det er vanskelig å få til en kontinuerlig tetting av vindsperren, er det viktig at dampsperren blir ført kontinuerlig – eller omvendt.

For lufttette konstruksjoner som f.eks. betong og sandwichelementer av metall og isolasjon, så er det tettingen av fuger og gjennomføringer som er i fokus. Tettinger skal være permanent og varig tette under forventede temperatur- og lastbevegelser i prosjektert levetid.

Tetting av vind- og dampsperre rundt vinduer er særlig viktig for en bygnings tetthet siden de fleste bygninger har et relativt stort antall løpemeter med vindusfuger, og omtales nærmere i avsnitt 3.6.. Slike detaljer kan være geometrisk vanskelige og er i skjæringspunktet mellom ulike fagområder.

2.3 LUFTINFILTRASJON

Luftlekkasjer gjennom klimaskjermen oppstår når det er trykkforskjeller mellom ute og inne, og disse trykkforskjellene har følgende drivkrefter:

- Vind
- Temperaturforskjeller
- Mekanisk genererte trykk fra ventilasjon

Lekkasjetallet måles ved 50 Pa trykkforskjell, men normalt er trykkforskjellen over klimaskallet som skapes av vind, temperatur og ventilasjonsanlegg lavere enn dette i størstedelen av året. Særlig vindeksponerte bygninger kan likevel ha et betydelig antall timer i året med en trykkforskjell større enn 50 Pa.

For øvrig er det en rekke faktorer som i praksis påvirker infiltrasjonmengden i bygninger, men som ikke påvirker byggets målte lekkasjetall. Slike faktorer kan altså ignoreres når det er snakk om forskriftkravet til tetthet, men kan ha stor betydning for bygget energibruk, innekomfort og faren for fuktskader:

- I høye bygninger kan det oppstå større trykkforskjeller over klimaskjermen p.g.a. termiske effekter, samt ved at toppen av bygget ligger høyere i vindens grensesjikt og er utsatt for høyere vindhastigheter.
- Ved skarpe hjørner, langs buede og vingeformede fasader og annen ugunstig geometri kan det oppstå ekstremt høye vindsug som øker luftlekkasjene.
- Fordelingen av åpninger og utettheter på ulike fasader i forhold til fremherskende vindretninger og lokale aerodynamiske forhold kan ha betydning for mengden luftlekkasjer.

2.4 MÅLING AV LEKKASJETALL I FERDIG BYGG

For å dokumentere byggets tetthet er det er pålagt å måle lekkasjetall, n_{50}, med en trykktest etter tetting av bygget.

Figur 2.2: *"Blower Door" montert i døråpning. Foto: Omega Termografering AS.*

Trykktesting av bygget brukes til å dokumentere f.eks. én eller flere av følgende forhold:

- Krav til lekkasjetall TEK 10
- Krav til lekkasjetall for å defineres som passivhus eller lavenergihus etter NS 3700 eller NS 3701
- For å oppnå energimerke A må lekkasjetall dokumenteres med en test
- Enova krever trykktesting før utbetaling av støttebeløp for de støtteprogrammene hvor byggets tetthet er relevant

Lekkasjetallet n_{50} måles for hele bygningen, eller en representativ del av bygget, etter tetting av bygget. Kravet til en bygnings lekkasjetall gjelder for hele bygningen som én enhet, men dersom det er vanskelig eller faglig vurdert mindre gunstig å måle hele bygningen, kan en representativ sone (for eksempel branncelle) måles som dokumentasjon for hele bygget.

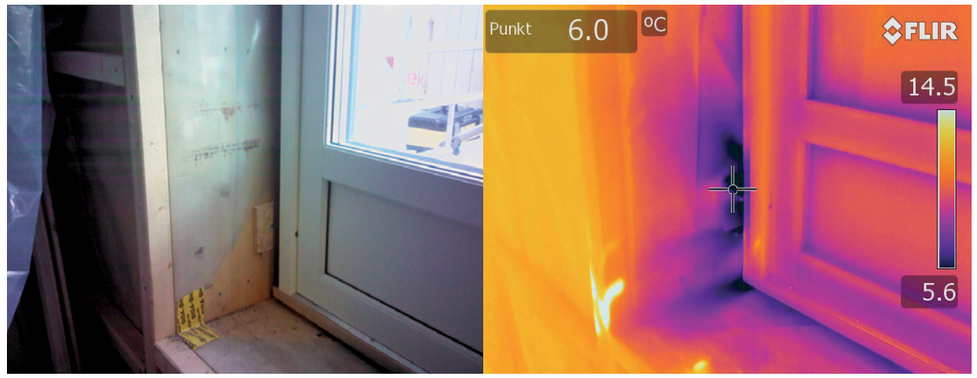
Målingen utføres ved å skape 50 Pa trykkforskjell over klimaskallet med en transportabel vifte eller ved hjelp av byggets ventilasjonsanlegg. Det anbefales å måle med både over- og undertrykk siden for eksempel innadslående vinduer kan forårsake større luftlekkasjer ved undertrykk enn overtrykk, og utadslående vinduer vice versa.

2.5 MÅLING AV LEKKASJETALL UNDER BYGGEPERIODE

For å kontrollere underveis i byggeprosessen om bygget vil kunne oppnå det lekkasjetallet som er ønsket, kan det være nyttig å teste en representativ sone eller hele bygget etter vindtetting av bygget. Å lekkasjeteste etter at vindsperre og vinduer er montert, men før klimaskjermen er isolert og lukket fra innsiden, gir muligheter til å avdekke uventede svakheter og korrigere disse på et så tidlig tidspunkt at endringer uten store ekstrakostnader fortsatt er mulig.

I ferdige bygg er det normalt dampsperresjiktet som gir det største bidraget til tetthet, men ved å lekkasjeteste før dampsperre og isolasjon er montert får man testet vindsperresjiktets tetthet. Man kan da avdekke lekkasjepunkter i vindsperren på et så tidlig tidspunkt at utbedringstiltak er relativt billige, samt at lekkasjepunkter for anblåsning blir avdekket.

Det kan være utfordrende å få testet hele bygget som råbygg på grunn av fremdrift på byggeplass osv., men det er også mulig å velge representative soner av bygget for testing.



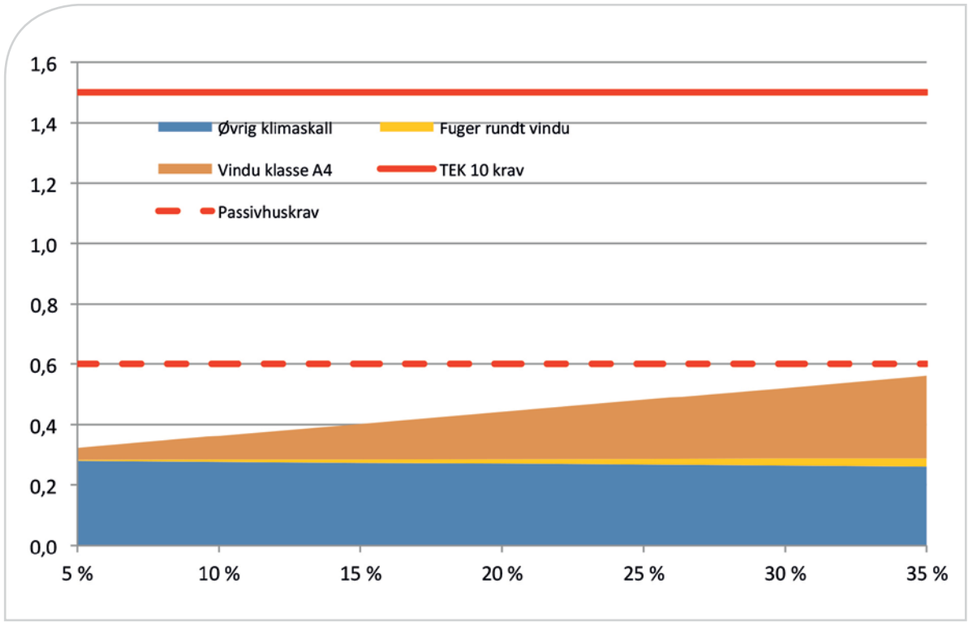
Figur 2.3: *Termografering av vindushjørne før isolering og lukking av vegg. Foto: Omega Termografering AS.*

2.6 TEORETISKE BEREGNINGER AV TETTHET

Endelig dokumentasjon på hvor tett en bygning er får man først ved en lekkasjetest etter byggets tettet, men etter at bygget er tettet kan det være ekstremt kostbart å gjøre utbedringer av tettheten hvis lekkasjemålingen viser at krav ikke er oppfylt. Det ville derfor være fordelaktig å kunne lage beregninger av byggets tetthet i prosjekteringsfasen for å vite hvilke tetthetskrav det er nødvendig å kreve for hver enkelt komponent, men det eksisterer per i dag ingen veletablerte metoder for dette. Hvilke tetthetskrav som bør settes til klimaskallets ulike komponenter vil være avhengig av mange faktorer.

SINTEF har utarbeidet en prosjektrapport som omhandler en metode for teoretisk beregning av lekkasjetallet for trehus. I følge SINTEFs prosjektrapport 66 så er det hovedsakelig tre ulike metoder som kan benyttes til å lage en teoretisk beregning av en bygnings lekkasjetall:

- GROVE ESTIMATER FOR KJENTE LØSNINGER;
  Etter lekkasjetesting av flere bygninger med tilsvarende byggeteknikk kan det utarbeides estimater på denne bygningstypens tetthet.
- PROGNOSTISERE TETTHET VED REGRESJON;
  Ved å lekkasjeteste flere bygg med lignende byggeteknikk, så kan det forsøkes å fordele byggenes lekkasje per arealer, fugelengder osv. for å se om det er noen sammenheng mellom disse mengdene og byggets tetthet.
- BEREGNE SAMLET LEKKASJE AV ENKELTKOMPONENTERS MÅLTE LEKKASJE;
  Klimaskallets enkeltkomponenter som for eksempel vinduer, bindingsverksvegg, fuger osv. kan lekkasjetestes i et laboratorium, og på bakgrunn av mengden av de ulike komponentene i klimaskallet kan lekkasjetallet beregnes.



Figur 2.4: *Beregning av lekkasjetall for en referansebygning med vinduer i tetthetsklasse 4, avhengig av mengden glass i fasaden som andel av oppvarmet BRA.*

SINTEF prosjektrapport 66 omtaler et forsøk på beregning av en bygnings lekkasjetall med en komponentmetode som tar utgangspunkt i lekkasjetall for hver enkelt komponent i klimaskallet. Metoden behandler luftlekkasjer analogt med beregningsmetoden for kuldebroer. Beregninger av lekkasjetall basert på lekkasjetall for enkeltkomponentene er teoretisk presis, men i praksis kan det være vanskelig å finne pålitelige tall på komponentenes lekkasjer på grunn av store variasjoner i kvalitet og praksis på håndverket.

For bygninger hvor klimaskallet produseres som modulelementer eller i store prosjekter hvor det kan lages testfasader (”Mock up”) kan det gjennomføres lekkasjetester med aktuelle material-kombinasjoner, detaljløsninger og samme håndverkere som skal utføre klimaskallet. På den måten har man relativt gode forutsetninger for å kunne beregne hva byggets lekkasjetall kommer til å bli.

3. Glasselementers lufttetthet

3.1 VALG AV PRODUKTLØSNINGER FOR DØRER, VINDUER

Størrelsen på en bygnings glassareal vil ha betydning for bygningens tetthet siden elementer med glass generelt har dårligere tetthet enn annen yttervegg. Generelt bør det settes krav til at profiler i vinduer, dører og glassfasader bør baseres på konstruksjonsprinsipper hvor det er minst totrinns tetting.

Valget av type glasselementer kan ha stor betydning for hvilken tetthet som kan oppnås for klimaskallet. Som eksempel kan det nevnes at skyvedører og skyvedørsautomatikk normalt er mindre tette enn for eksempel slagdører, slik at utstrakt bruk av slike løsninger vil kunne gjøre det vanskeligere å oppfylle strenge lekkasjekrav. Valg av produktløsninger for glasset i fasaden er derfor viktig, og for de ulike produktgruppene bør blant annet følgende vurderes:

VINDUER

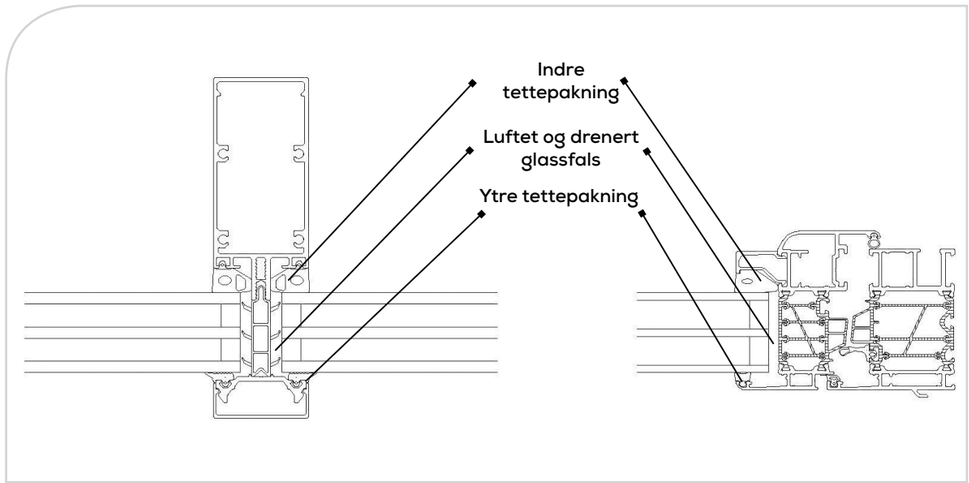
Vinduer har på generell basis bedre tetthet enn dører og skyve- og foldeelementer, men dårligere tetthet enn glassfasader. Glasset er festet til karm eller ramme med ytre og indre pakninger eller toppforseglinger. Den indre tettingen utgjør i hovedsak vindtettingen siden glassfalsen har drensåpninger gjennom det ytre tettesjiktet.

Åpningsvinduer er normalt mindre tette enn faste glass på grunn av den ekstra falsen mellom karm og ramme, selv om det er en utbredt praksis blant leverandører å utarbeide en felles dokumentasjon for en produktserie uten å skille mellom åpningsvarianter. Innadslående er gunstig ved vindsug, mens utadslående er gunstig mot vindtrykk og slagregn.

Produksjonskvaliteten på elementer kan ha stor betydning på vinduselementers tetthet. Størst betydning har pakningsskjøter og glasslister. For blant annet aluminiumvinduer er glasslisten som holder indre pakning/toppforsegling også viktig siden glipper i denne vil forårsake lekkasjeåpninger. Tettepakninger bør ha overlengde og være stuket når den monteres på profiler, slik at eventuell krymping ikke forårsaker åpninger i skjøter.

DØRER

Dører har normalt dårligere tetthet enn vinduer blant annet på grunn av at de har større formater det ofte er færre låsepunkter relativt til størrelsen som klemmer dørbladet til karmen. Det kan oppnås bedre tetthet på hengselsiden ved å montere flere hengsler slik at avstanden mellom dem ikke blir for stor, og på låsesiden er det mulig å velge flerpunktslåser for å få bedre tettet mellom karm og dørblad. Særlig høye dører bør alltid utstyres med ekstra låsepunkter. Men ofte er det mange funksjonskrav til beslagene som for eksempel rømningsbeslag, elektriske sluttstykker, dørautomatikk o.s.v. som begrenser valgmulighetene til å velge tettest mulig beslagsløsning. Vindusdører med omløpende karm er normalt tettere enn ordinære dører med dørbeslag og terskel.



Figur 3.1: *Totrinns tetteprinsipp i henholdsvis glassfasadeprofil (t.v.) og vindusprofil (t.h.).*

Ved PVC- og metalldører og spesielle materialkombinasjoner må det tas hensyn til temperaturbevegelser, slik at dørblad og låsepunkter må være utformet på en slik måte at blant annet temperaturforskjeller mellom varm og kald side av dørbladprofilen ikke forårsaker deformasjoner.

SKYVE- OG FOLDEDØRER

Skyve- og foldedører beveger seg på skinner og er vanskeligere å gjøre tette enn åpningsvarianter hvor åpningsramme klemmes mot karm. Mange skyve- og foldedører bør unngås i særlig vind- og slagregneksponerte fasader.

INNGANGSDØRER MED AUTOMATIKK I OFFENTLIGE OG KOMMERSIELLE BYGNINGER

I offentlige og kommersielle bygninger med høy persontrafikk gjennom dører vil det i mange situasjoner være åpningsautomatikk og betydelig tid med åpne dører. For å redusere luftlekkasjer gjennom åpne dører kan det etableres sluser med tilstrekkelig avstand mellom dørene eller karuselldører som forhindrer direkte åpning mellom ute.

GLASSFASADER

Glassfasader har normalt betydelig bedre tetthet enn vindu- og dørselementer, men det kan være mer utfordrende å lage gode overganger til tett vegg sammenlignet med vinduselementer.

God statisk dimensjonering er også viktig for glassfasaders tetthet siden de kan ha store formater og deformasjoner kan skape glipper mellom glass og pakninger som forårsaker luftlekkasjer.

3.2 LABORATORIETESTING OG KLASSIFISERING AV GLASSELEMENTER

I tillegg til måling av lekkasjetall finnes det en rekke metoder for å teste lufttettheten til bygningskomponenter. Hvilken metode som vil være mest hensiktsmessig for å teste og/eller dokumentere tettheten vil kunne avhenge av blant annet type prosjekt, byggemetode, når i prosjektet testen gjennomføres og hvilken informasjon som søkes.

Glassfasader skal testes etter prosedyrene fastlagt i NS-EN 12153 og klassifiseres etter NS-EN 12152. Prøveelementet monteres etter prosedyrene i åpningen på et trykkammer i full brukbar stand inklusive eventuelt lås, beslag, osv. og trykktestes skrittvis med 50 Pa opptil 300 Pa, og derifra i 150 Pa skritt til maksimum trykk for både overtrykk og undertrykk. Bredden på prøveelementet skal være minimum to typiske feltbredder, og høyden minst like stor som avstanden mellom innfestingene til bakenforliggende konstruksjon.

Det skal lages en testrapport med blant annet detaljerte opplysninger om testelementet og resultatene fra testen. Fra testresultater skal det beregnes luftlekkasje per fasadeareal m^3/hm^2, eller alternativt luftlekkasje per lengde av fals/fuge rundt elementer i m^3/hm. Lufttettheten til påhengsfasader skal klassifiseres i følgende klasser etter lekkasje per areal eller alternativt etter lekkasje per fugelengde rundt felter:

KLASSE	STØRSTE TRYKK, P_{MAX} [Pa]	LUFTSTRØM PER AREAL [m^3/m^2h]	LUFTSTRØM PER FUGELENGDE [m^3/mh]
A1	150	1,5	0,5
A2	300	1,5	0,5
A3	450	1,5	0,5
A4	600	1,5	0,5
AE	> 600	1,5	0,5

Figur 3.2: *Tetthetsklasser for glassfasader og andre påhengsfasader.*

Vinduer og dører skal testes etter prosedyrene fastlagt i NS-EN 1026 og klassifiseres etter NS-EN 12207. NS-EN 1026 angir at vindu-/dørelementet som testes skal være i full brukbar stand inklusive lås og beslag, og klar til bruk. Prøveelementet monteres i åpningen på et trykkammer og trykksettes med både overtrykk og undertrykk i skrittvis 50 Pa opptil 300 Pa, og derifra i 150 Pa skritt til 600 Pa.

Det skal lages en testrapport med blant annet detaljerte opplysninger om testelementet og resultatene fra testen. Fra testresultater skal det beregnes luftlekkasje per vindu-/dørareal m^3/hm^2, eller alternativt luftlekkasje per lengde av falsen rundt åpningsramme/dørblad i m^3/hm.

Lufttettheten til vinduer og dører skal klassifiseres i følgende klasser:

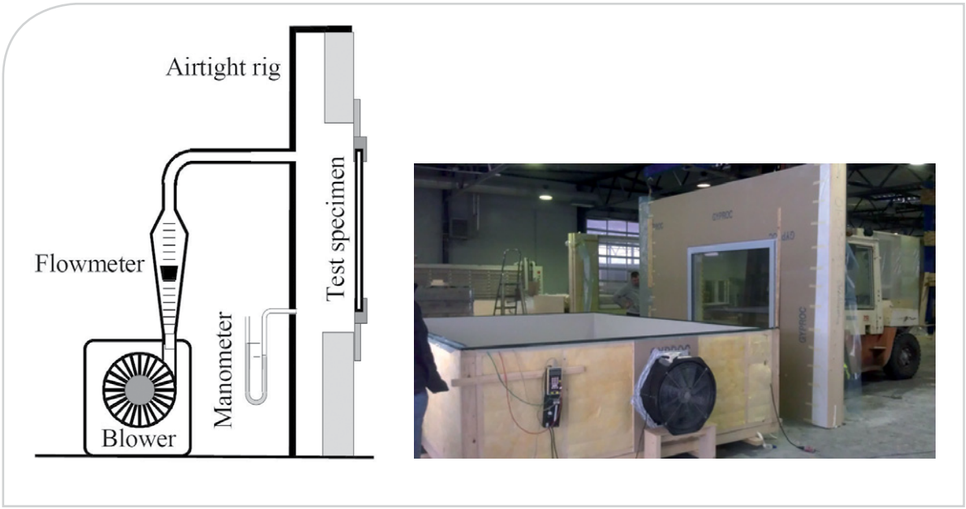
KLASSE	STØRSTE TRYKKDIFFERANSE, P_{MAX} [Pa]	LUFTSTRØM PER AREAL VED 100 Pa TRYKKDIFFERANSE [m^3/m^2h]	LUFTSTRØM PER FUGELENGDE VED 100 Pa TRYKKDIFFERANSE [m^3/mh]
0	Ikke prøvd	Ikke prøvd	Ikke prøvd
1	150	50	12,5
2	300	27	6,75
3	600	9	2,25
4	600	3	0,75

Figur 3.3: *Tetthetsklasser for vinduer og dører.*

3.3 LABORATORIETEST AV BYGNINGSKOMPONENT ELLER BYGNINGSDEL

I liket med laboratorietesting av enkeltprodukter som vinduer, dører og glassfasader, så kan større fasadeutsnitt som inneholder flere fasadeelementer testes for lufttetthet i en testrigg. Særlig aktuell er denne metoden hvis fasaden består av prefabrikkerte elementer hvor et representativt utvalg av fasadeelementene kan testes, men også plassbygde fasadetyper kan testes ved at det bygges en ekstra testfasade for testing i en testrigg. Prefabrikkerte veggelementer eller testfasader som testes skal være komplette og funksjonsdyktige tilsvarende slik de vil være på bygget. Testen skal utføres etter retningslinjene i NS-EN 12114, og dokumenteres med en testrapport som angir lekkasje-koeffisientene C og n. Luftlekkasjen, V, gjennom elementet kan derav beregnes ved trykkforskjell, p, med følgende formel:

$$V = C \times \Delta p^n$$



Figur 3.4: *Testrigg for lekkasjetesting fasadeelement. T.v.: Skjematisk fremstilling i NS-EN 12114. Foto: Termografi og måleteknikk AS*

Testriggen skal ha plass til hele testelementet og skal kunne generere en kontrollert trykk-differanse over testelementet. Det skal genereres hurtige trykkvariasjoner innenfor definerte grenser og apparatur skal kunne måle luftlekkasjer med en nøyaktighet på ± 5 %, kalibrert etter referanseforhold (20 °C, 101 325 Pa og 50 % RF). Hvis testriggen ikke er lufttett skal hjelpemidler til å tette alle fuger og spalter på testelementet, som f.eks. klebebånd eller heldekkende folie, benyttes for å teste testriggens tetthet før testing av fasaden.

Slike tetthetstester bør gjennomføres på et så tidlig tidspunkt i byggeprosessen at endringer i fasadeløsningen er mulig hvis testresultatene er utilfredsstillende. En evt. produksjon av en testfasade bør være en del av anbudsbeskrivelsen for fasadeleveransen.

3.4 LEKKASJEMÅLING PÅ BYGGEPLASS AV FERDIG MONTERTE ELEMENTER

Enkeltelementer som for eksempel vinduer kan også lekkasjemåles etter at de er montert i bygg.

Ved lekkasjetesting av komponenter eller bygningsdeler etter at de er ferdig montert i bygget får man etterprøvd at de leverte komponentene overholder den dokumenterte tetthet også etter innbygging. Videre har man muligheten til å teste tilslutningsdetaljer til det aktuelle element-et med innfestingen av elementet, at håndteringen på byggeplass ikke har påført skader, samt arbeider fra andre fag og den håndverksmessige kvaliteten.

Særlig aktuell kan en slik metode være til å måle tilslutninger som for eksempel fuge mellom vindu og vegg. Denne metoden krever en god del rigging og har potensielt større feilkilder ved blant annet sideveis luftlekkasjer enn alternative metoder.

3.5 LOKALISERING AV LEKKASJER I BYGGET

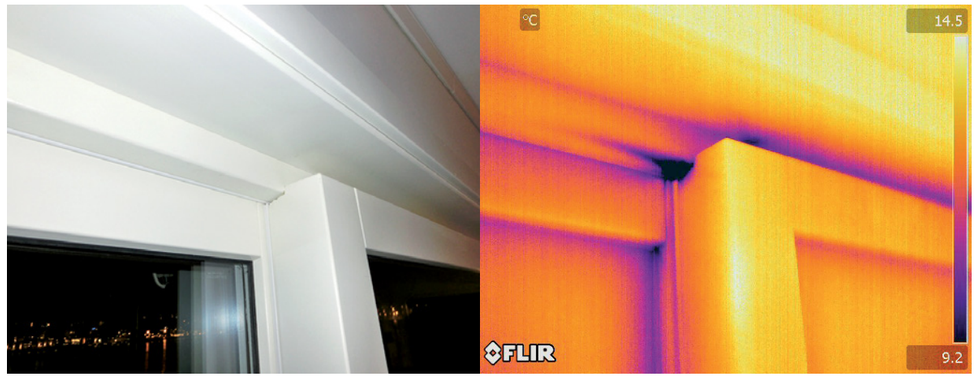
For å kunne utbedre luftlekkasjer vil det være avgjørende å lokalisere og vurdere størrelsen på disse. Hvis man ønsker å lokalisere utettheter i klimaskjermen og vurdere den relative størrelsen på enkeltlekkasjer, så finnes det et utvalg av metoder. Det er hovedsakelig fire ulike metoder som kan benyttes, og felles for alle metodene er at det bør være en trykkforskjell mellom inne og ute:

SUBSTRAKSJONMETODEN:

Ved lekkasjetesting av hele eller soner av bygninger, så kan enkeltkomponenter eller seksjoner av klimaskallet tildekkes med tett folie når lekkasjetallet måles. Hvis lekkasjetallet i etterkant måles uten at den aktuelle seksjonen er tildekket med folie, så kan luftlekkasjen måles som differansen mellom de to målingene.

TERMOGRAFERING:

For lekkasjesøk med termografikamera angis det i NS-EN 13187 hvordan slike tester skal gjennomføres. Ved lekkasje-undersøkelser bør det være en trykkdifferanse på minst 5 Pa mellom ute og inne, men vanlig praksis er å generere 50 Pa trykkdifferanse. Det skal være overtrykk inne ved termografering fra utsiden, og undertrykk inne ved termografering fra innsiden. Varmebildene må tolkes av fagperson med nødvendig kompetanse på termovisjonskameraer, byggeteknikk og bygningsfysikk.



Figur 3.5: *Termografering av luftlekkasjer rundt skyvedør. Foto: Omega Termografering AS.*

OBSERVERE RØYKBEVEGELSE:

Hvis det er liten temperaturforskjell mellom ute og inne vil en termografering være resultatløs og luftbevegelser kan derfor i stedet visualiseres ved å generere røyk. Det genereres en under- eller overtrykk i bygningen tilsvarende det som benyttes ved termografering, og ved å generere riktig mengde røyk kan en fagperson med praktisk erfaring i dette identifisere lekkasjer og luftens bevegelsesveier.

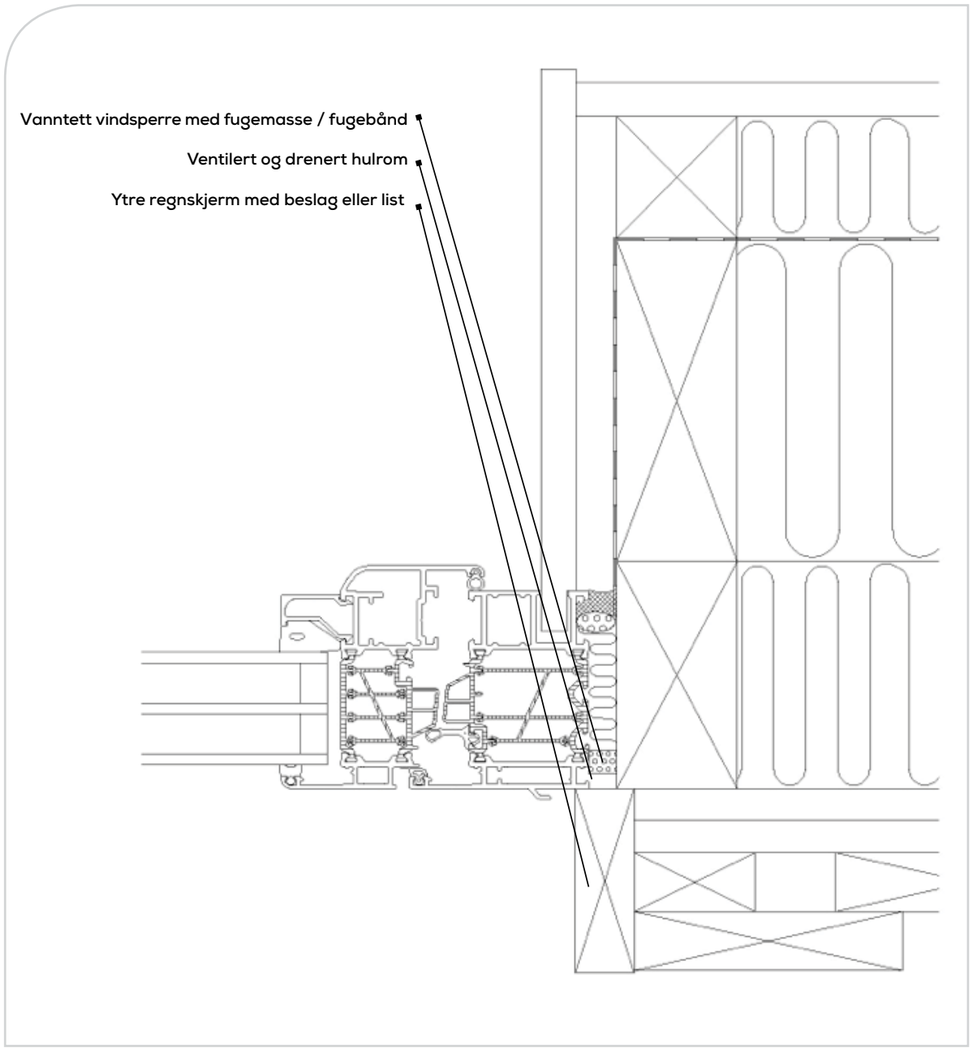
MÅLINGER MED LUFTHASTIGHETSMÅLER:

Luftlekkasjer kan også lokaliseres ved å måle luftbevegelser med en lufthastighetsmåler ved punkter som mistenkes for lekkasje når det er en trykkforskjell mellom ute og inne. Denne metoden er likevel mindre brukt enn alternativene nevnt over.

3.6 TETTING AV FUGE RUNDT VINDUER, DØRER OG GLASSFASADER

Fugen mellom vindu/dør og vegg kan være en betydelig kilde til luftlekkasjer ved feil utførelse, og er derfor et meget viktig punkt for bygningers tetthet.

- Bruk av anerkjente detaljløsninger og anerkjente arbeidsmetoder og materialer.
- Utarbeide gode detaljtegninger og beskrivelser av kritiske detaljer. Vanskelige detaljer anbefales å tegne i perspektiv med angivelse av arbeidsrekkefølge.



Figur 3.6: *Prinsipp for totrinns tetting av fuge mellom vindu og vegg for å sikre god slagregntetthet.*

Fugen mellom vindu og isolert vegg skal videreføre samme prinsipp for lufttetthet og fuktsikkerhet som for klimavegger med vind- og dampsperre:

- Vindusfuger bør utformes etter prinsippet om totrinns tetting for god beskyttelse mot slagregn. Fugen bør være beskyttet av en ytre avdekning som beskytter tettemiddelet mot direkte værekseponering og eventuell UV-stråling.
- Ytre tetting skal være lufttett og bør i likhet med andre deler av klimaskallet helst være minst 10 ganger så dampåpen som tettingen mot varmt rom. Ofte kan det likevel være forsvarlig å benytte damptette ytre fuger for eksempel hvis vindusfugen har tørkemuligheter via tilliggende vegg.
- Alle hulrom mellom indre og ytre tetting av vindusfugen skal dyttes med isolasjon for å gi best mulig isolasjonsevne. Dytten hindrer uønskede bevegelser av kald luft og kan også redusere effekten av eventuelle utettheter.
- Tetting mellom vindu og dampsperre mot varmt rom skal være helt vind- og damptett. Vinduskarmer er ofte de kaldeste overflatene på innsiden av klimaskjermen og dermed det mest utsatte punktet med hensyn til kondens og soppdannelse. Luftlekkasjer her kan føre til kondens og sopp både i fugen og på innsiden av profiler.
- Trevinduer har relativt små temperaturbevegelser, mens for store elementstørrelser av metall- og PVC-vinduer vil det være nødvendig å øke fugebredden for å ta hensyn til større temperaturbevegelser.

Testing og klassifisering av slagregntetthet foregår etter andre standarder enn lufttettheten. Viktig for regntette detaljer er prinsippet om totrinns tetting, og dette prinsippet er lagt inn som en anbefaling i veiledningen til TEK10. Totrinns tetting kan etableres på følgende måte:

- Ytre regnskjerm med beslag eller list
- Ventilert og drenert hulrom
- Vanntett vindsperre med fugemasse/fugebånd

Tettingen av fugen mellom vindu/dør og vegg kan hovedsakelig gjøres på en av følgende måter:

FUGEMASSE PÅ BUNNFYLLING:

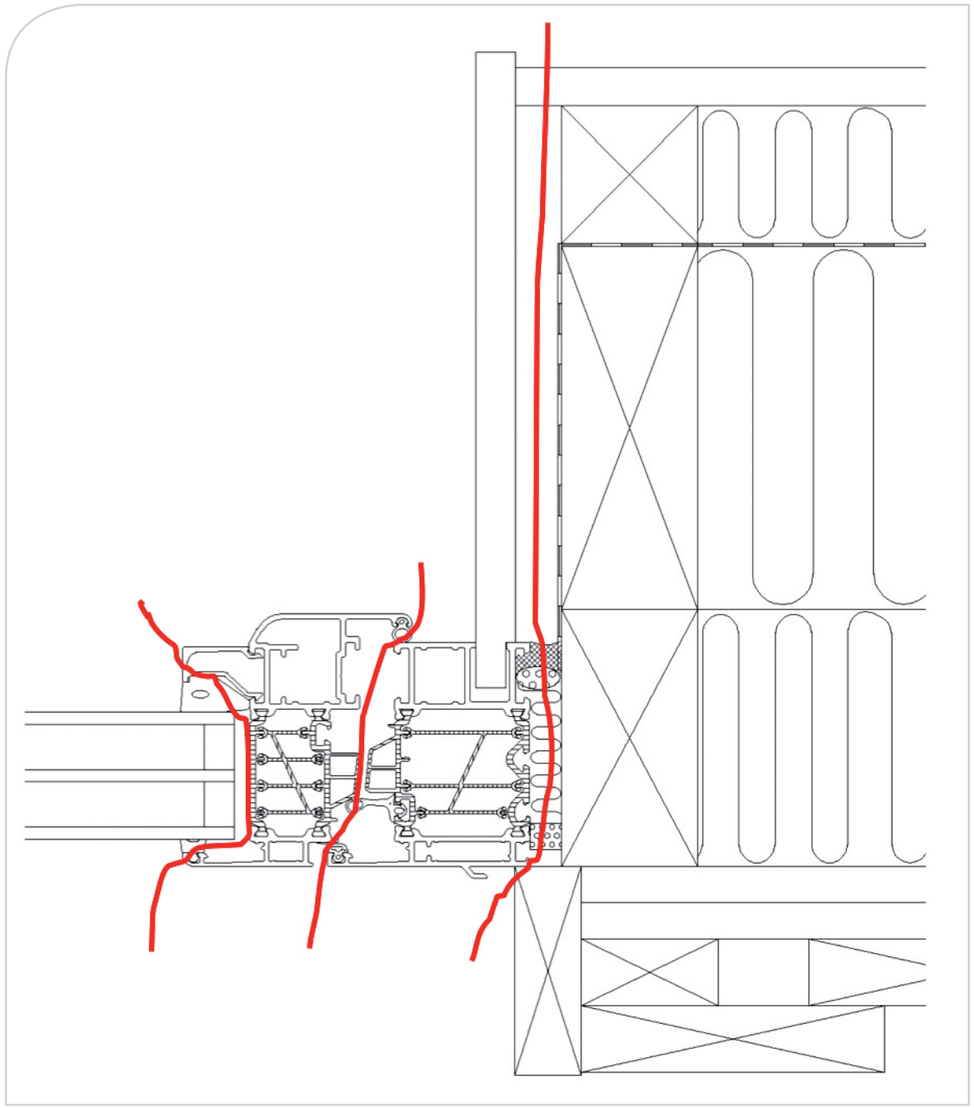
Hvis fuger skal tettes med fugemasse så er det en forutsetning med god heft mot de materialoverflater det skal tettes mellom. Videre stilles det krav til fugens utforming ved størrelse og forhold mellom bredde og høyde, samt at man sørger for at fugemassen kun hefter på to sider med bunnfyllingslist eller heftbrytende teip.

En riktig utført fuge vil være damptett og godt egnet til tetting av dampsperresjiktet. Det er viktig at fugemassen er permanent elastisk for forventede bevegelser og har materialegenskaper som sørger for at den holder sine egenskaper i forventet levetid.

EKSPANDERENDE FUGEBÅND:

Det finnes flere typer ekspanderende fugebånd på markedet som er tilpasset ulike bruksområder. Til tettinger av fuger i vindsprerresjiktet anbefales lufttette men dampåpne varianter, men til tettinger i dampsperresjiktet anbefales damptette fugebånd.

Ekspanderende fugebånd er raskt og enkelt å arbeide med ved for eksempel montasje av vinduer, og siden det kun skal ha heft på én flate kan båndet festes på vinduskarmer før de kommer til byggplass. Ekspanderende fugebånd bør ikke være direkte værekseponert og bør beskyttes av en ytre regnskjerm for å sikre to trinns tetting mot slagregn.



Figur 3.7: *Eksempler på lekkasjeveier gjennom vindusfuge og vindusprofiler.*

FUGESKUM:

Andre tettealternativer bør normalt foretrekkes, men fugeskum kan være fordelaktig å bruke ved vanskelig geometri eller dårlig tilgjengelighet. Det må tas hensyn til at fugeskum ekspanderer og kan skape uønskede spenninger og deformasjoner mellom konstruksjoner, slik at det viktig å følge retningslinjer til blant annet hvor mye som kan fuges av gangen.

Fugeskum har lukkede porer og er helt luft- og damptett hvis det har god heft mot tilliggende materialer. Etter at skummet har størknet, så er det så stivt at temperaturbevegelser i materialer eller vindlastdeformasjoner o.l. ikke kan kompenseres og dermed kan utettheter oppstå over tid.

TEIP, MEMBRANER OG MANSJETTER:

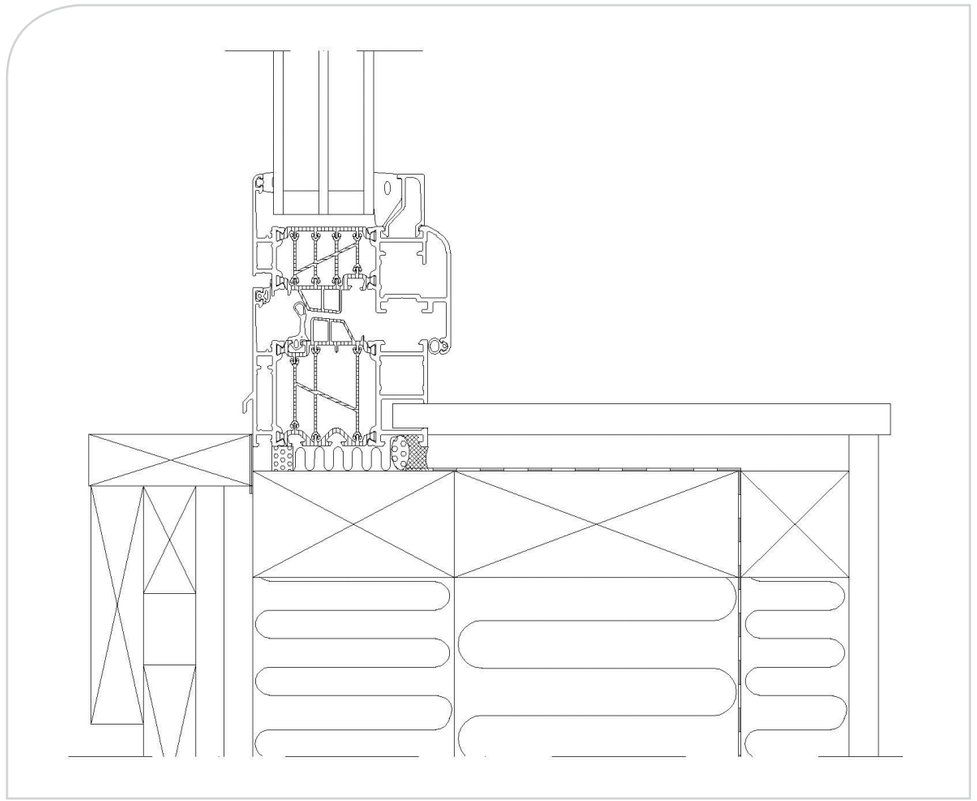
I sammenheng med skjerpede krav til lufttetthet er økende bruk av teip og andre membraner og mansjetter til tetting rundt vinduer og dører. Videre er teip godt egnet til å reparere skader og feil på vind- og dampsperre.

Det finnes en rekke ulike typer teip på markedet tilpasset ulik bruk:

- Vindsperreteip som er vind- og vanntett, men dampåpen.
- Dampsperreteip som er damptett.
- Teiper og membraner som er tøyelige og kan tolerere bevegelser i fuger.
- Butylteip som er damptett, litt tøyelig og permanent plastisk slik at det hefter ved underlaget selv etter bevegelser.

Det er viktig å bruke produkter som har dokumentert varige egenskaper og heft.

Noen leverandører har spesialtilpassede mansjetter eller membraner for tetting rundt sine produkter, og har laboratorietester som dokumenterer tettheten og nøyaktige anvisninger hvordan fugen skal utføres.



b) Teiping av vindsperre til karm.

4. Krav til tetthet for glass i fasader i anbudsbeskrivelser

Hvilke krav som bør settet til glasselementer i fasader er avhengig av hvilket lekkasjetall som ønskes oppnådd for bygget som helhet.

4.1 KRAV TIL ELEMENTER

Etter standardteksten i NS 3420-R angis krav til dør- og vinduselementers tetthet målt etter NS-EN 12207.

Klasse 0	Bygg uten fast oppvarming.
Klasse 1	Temporært oppvarmet bygg, med generell varme < 18 °C
Klasse 4	Konstant oppvarmet rom > 18 °C

Figur 4.1: *Krav til tetthethetsklasser for vinduer etter NS 3420-R.*

Klasse 1	Bygg uten fast oppvarming.
Klasse 2	Næringsbygg, institusjon, skole, flerfamiliehus, boligblokk, m.m.
Klasse 4	Boliger.

Figur 4.2: *Krav til tetthetsklasser for dører etter NS 3420-R.*

For glassfasader er det ikke angitt noen anbefalte tetthetsklasser i NS 3420-R, men generelt har glassfasader betydelig bedre tetthet enn vinduer og dører.

Videre kan følgende krav settes til glasselementer for å sikre kvaliteten:
- Krav til skjøter av gummipakninger, eller at det skal være hele pakningsrammer, mellom karm og ramme, for å hindre utettheter ved krymp og sig i pakninger.
- Beslagsløsning med ekstra låsepunkter for dører og vinduer med store dimensjoner.
- For elementer som kan være utsatt for store temperaturforskjeller (f.eks. soleksponering) kan tiltak for å utligne termiske bevegelser slik at tettheten bevares beskrives.
- Deformasjoner fra vindlaster øker elementers luftlekkasjer. Ved vindeksponerte bygg med strenge krav til tetthet kan det settes strengere krav til statisk dimensjonering mot vindlast for vinduer, dører og påhengsfasader.

4.2 KRAV TIL FUGER OG MONTERING

Fugen rundt glasselementer er et grensesnitt mellom ulike fagdisipliner og det er derfor viktig å avklare hvem som har ansvar for de aktuelle arbeidene. I beskrivelse av isolert yttervegg bør det være klart definert hvordan vindusnisjer skal overlates til vindusmontører. Det bør foreligge detaljtegninger av tilslutningsfuger, eller henvisning til detaljer, som viser elementets posisjon i veggen, hvordan vind- og dampsperre skal tilsluttes og tettes rundt elementet, hvilke festemidler og materialer som skal inngå, samt beslagstilslutninger.

Innsetting av glasselementer i vegg innbefatter normalt dytting og tetting rundt elementet. Fuger rundt glasselementer i yttervegg skal tettes på en slik måte at vanninntrengning og akkumulering av fukt unngås, ved siden av tilstrekkelig lufttetthet.

Innfestingen skal være slik at de forutsatte funksjonskrav med hensyn til tetthet og stabilitet også tilfredstilles også under belastninger fra vind, betjening osv.

Fugematerialet mellom karm og vegg skal være så elastisk at forventede temperatur-bevegelser, etterjusteringer av forbindelsesmidler kan foretas uten at tettingen ødelegges. Videre må plast- og metallkomponenter som er benyttet i monteringen utføres slik at de kan oppta forventede bevegelser i konstruksjonen.

Ved utvendig fugetetting med fugemasse skal fugematerialet beskyttes av utvendig kledning eller beslag. Hvis ikke fugen er tildekket skal utvendig fugetetting med fugemasse skal være UV-bestandig.

Montering av klassifiserte komponenter skal skje i overensstemmelse med anvisning fra produsenten. Montasjeanvisningen skal være tilgjengelig på byggeplassen.

4.3 BEVARING AV LUFTTETTHET I DRIFTSFASEN

Vedlikehold av særlig dører og vinduer kan ha stor betydning for produktenes tetthet over tid. Det er viktig at de er riktig dimensjonert og robuste nok til den aktuelle bruken:
- Renhold og vedlikehold av pakninger vedlikehold ved for eksempel fetting og utskifting om nødvendig er viktig for at pakninger skal bevare sin elastisitet og tetteevne.
- Justering av hengsler, låsepunkter og andre beslagsdeler kan ha stor betydning for vinduer og dørers tetthet. Beslag bør kontrolleres og justeres etter at vindu/dør er montert i vegg, og kontrolleres med jevne mellomrom i driftsfasen da beslag kan sige eller deformeres under bruk.

Lastpåkjenninger og miljøpåvirkninger kan medføre deformasjoner i vinduer og dører som vil redusere elementenes tetthet. De viktigste lastene det bør tas hensyn til er:
- Deformasjoner fra vindlaster.
- Temperaturutvidelser i materialer, særlig der det er kombinasjoner av materialer med ulike egenskaper.
- Nyttelaster og slitasje. Hard eller hyppig bruk kan medføre materialdeformasjoner og –brudd eller slitasje som svekker elementenes tetthet over tid, og det bør derfor settes krav til holdbarhet ved gjentatt åpning og lukking særlig for elementer med stor bruk.
- Aldring av materialer og UV-bestandighet.

REFERANSER

STANDARDER:

NS 3031	Beregning av bygningers energiytelse – Metode og data.
NS 3700	Kriterier for passivhus og lavenergibygninger. Boligbygninger
NS 3701	Kriterier for passivhus og lavenergibygninger. Yrkesbygninger.
NS-EN 13829	Bygningers termiske egenskaper. Bestemmelse av bygningers luftlekkasje. Differansetrykkmetode.
NS-EN 1026	Vinduer og dører. Luftstrøm. Prøvingsmetode.
NS-EN 12207	Vinduer og dører. Luftstrøm. Klassifisering.
NS-EN 12153	Påhengsvegger. Luftstrøm. Prøvingsmetode.
NS-EN 12152	Påhengsvegger. Luftstrøm. Klassifisering.
NS-EN 12114	Bygningers termiske egenskaper. Bygningskomponenters og bygningsdelers luftpermeabilitet. Prøvingsmetode.
NS-EN 13187	Bygningers termiske egenskaper. Kvalitativ metode for å oppdage termiske uregelmessigheter i bygningers klimaskjermer. Infrarød metode.

BYGGFORSKSERIEN:

573.105	Tettlister. Egenskaper og materialvalg.
573.121	Materialer til luft- og damptetting.
733.301	Vedlikehold av vinduer og ytterdører av tre.
720.035	Måling av bygningers luftlekkasje. Trykkmetoden.
720.032	Termografering av bygninger.
520.401	Lufttetting av bygninger. Fremgangsmåte for å oppnå lavt lekkasjetall.

ANDRE PUBLIKASJONER:

- Blom, P., Uvsløkk, S. — Bygg tett! SINTEF Byggforsk Prosjektrapport 98.
- Relander, T.-O., Holøs, S. B. — Testing a component method to estimate the airtightness of windtightened wood-frame houses. SINTEF Project Report 66.
- Sikander, Eva — ByggaL – Metod för byggande av lufttäta byggnader

Foto: LPO arkitekter

STØTTE TIL UTVIKLING AV EKSISTERENDE EIENDOM OG NYE BYGG

Ta energismarte valg når du skal utvikle eksisterende eiendom eller bygge nytt. Du kan skape varige verdier gjennom lavere energikostnader, forbedret omdømme og økt konkurransekraft.

Enova gir deg og din virksomhet økonomisk støtte og råd til å velge grønne, framtidsrettede energiløsninger.

Les mer og søk på www.enova.no/stotte eller ring Enova Svarer på 08049

Husk å søke før dere begynner!

Enova er et statlig foretak som skal drive fram en miljøvennlig omlegging av energibruk, fornybar energiproduksjon og ny energi- og klimateknologi.

enova