

Tema om tæthed

Det er svært at rette op på utætheder i et byggeri, når først det står færdigbygget. Derfor er det vigtigt, at man tænker tætheden ind tidligt i byggeprocessen. Ofte opstår utætheder i selve byggefasen. Det sker fx i forbindelse med, at man fører elkabler eller ventilationskanaler igennem dampspærre/dampbremser.

Mange problemer med utæthed kan undgås ved byggeteknisk omhu. Andre kan undgås ved, at man vælger de rette materialer.

Bestemmelserne herom

Kommunen kan stille krav om, at der foretages måling i den færdige bygning til dokumentation af, at kravet til lufttæthed er opfyldt.

For bygninger der opfylder mindstekravene i BR 10 skal der stilles krav i mindst 5 pct. af byggesagerne.

For bygninger, der opføres efter lavenergiklasse 2015 eller bygningsklasse 2020, skal der altid foreligge dokumentation for tætheden.

Kravene til tæthed er, at luftskiftet ikke må overstige 1,5 l/s pr. m² opvarmet etageareal ved trykprøvning med 50 Pa: resultatet ved af trykprøvningen består af gennemsnittet af måling ved over- og undertryk. For bygninger med høje rum, hvor klimaskærmens overflade divideret med etagearealet er større end 3, må luftskiftet ikke overstige 0,5 l/s pr. m² klimaskærm og for lavenergibygninger 0,3 l/s pr. m².

For lavenergibygning klasse 2015 må luftskiftet ikke overstige 1,0 l/s pr m² opvarmet etageareal ved trykprøvning med 50 Pa.

For bygningsklasse 2020, må luftskiftet ikke overstige 0,5 l/s pr. m² opvarmet etageareal.

Såfremt et firma gennem sin kvalitetskontrol og måling af tæthed er sikker på, at bygningerne har et lavt luftskifte ved trykprøvning og dokumenterer dette efterfølgende, kan firmaet benytte denne tæthed i forbindelse med eftervisning af, at energirammen er overholdt.

Grundlaget for tæthedskravet

Måling af tæthed sker på grundlag prøvning efter DS/EN 13829 Bygningers termiske ydeevne. Bestemmelse af luftgennemtrængelighed i bygninger, der opføres med overtryk skabt af ventilator.

Måling kan foretages for en hel bygning. For etageboliger kan trykprøvningen dog også foretages for en eller flere boliger. Ved trykprøvning heraf kan eventuelle utætheder imidlertid også vise sig at skyldes mangelfuld lydisolering og brandtætning mod tilstødende boliger. Konstatation af dette kan ligeledes være positivt i en fase, hvor fejlene kan rettes.

Hvem kan måle

I bygningsreglementet er der ikke særskilte krav til de virksomheder, der foretager tæthedsmåling. Det er imidlertid væsentligt, at de personer, der foretager målingerne, har den tilstrækkelige viden om tæthedsmåling, er i stand til at tolke måleresultaterne og anvender kalibreret måleudstyr, der måler korrekt.

Hvordan opnås tætheden?

I lette vægge og loftskonstruktioner kan tætheden med fordel opnås ved at placere membraner, så de ikke beskadiges som følge af ændringer i elinstallationer, stikkontakter og lampeudtag eller indbygning af spots.

Såfremt tætheden er opnået med membraner, er det vigtigt at sikre, at samlingerne er tætte og at levetiden af tæthedsløsningen svarer til levetiden for den konstruktion, løsningen er indbygget i. Anvendes fx tapesamlinger, hvor der kan være usikkerhed ved hæftningen på langt sigt, bør løsningen suppleres med klemte samlinger.

Måling i større bygninger

En række firmaer har erfaringer med måling af tæthed i meget store bygninger. Her er det vigtigt, at det sikres, at bygningen er klargjort hertil. Prøvningen sker typisk med et større antal ventilatorer. I større etageejendomme stiller nogle kommuner krav til måling af tæthed i enkelte boliger. Her vil en tæthedsmåling udover utætheder i klimaskærmen også kunne vise, om der er mangelfuld tæthed af etageadskillelse eller vægge til tilstødende boliger. Mangler der både har betydning for lydisolation og brandsikring.

Det kan også være hensigtsmæssigt at analysere eventuelle mulige risici og håndtere dem. Er der fx facadepartier med stor gentagelseeffekt, kan en tæthedsprøvning af et facademodul være fordelagtig, så eventuelle problemløsninger ikke gentages 1000 gange.

Kan tætheden opretholdes i bygningens levetid?

Erfaringer med robustheden af tætte bygninger er ret begrænsede. Ved måling er det konstateret, at et lavenergihus opført ved Danmarks Tekniske Universitet omkring 1980 stadig 30 år efter var meget tæt.

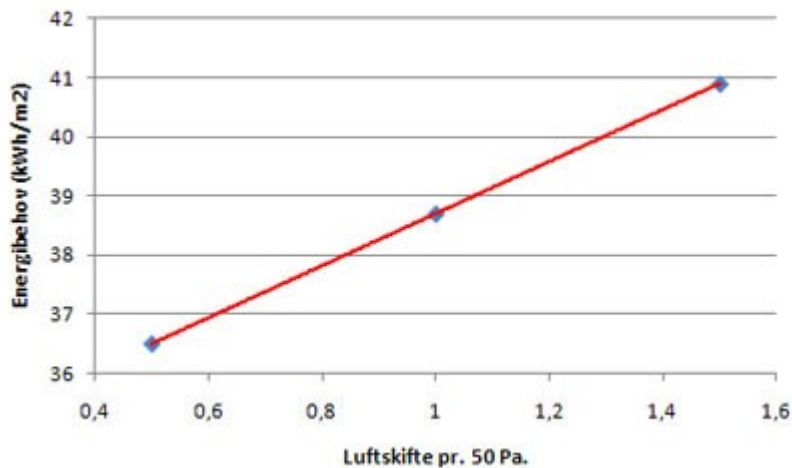
En svensk undersøgelse gennemført af SP viste, at 10 år efter opførelse af 20 lavenergirækkehuse var de fortsat uforandret tætte. Imidlertid var der i bebyggelsen efterfølgende installeret paraboler og antenner. Gennembrydning af membraner var imidlertid foretaget på en sådan måde, at tætheden ikke var blevet forringet i dette byggeri. I nyt byggeri bør fremtidige gennembrydninger forberedes, så de kan ske uden store lækager.

Almindelig vedligeholdelse med tjek af tætningslister på døre og vinduer er ligeledes nødvendige for at sikre en fortsat lufttæthed.

Energimæssig betydning af tæthed

Er byggeriet utæt, vil infiltration medføre indtrængen af koldt luft i boligen, som kræver opvarmning fra husets almindelige varmekilder. Hvis disse i forvejen er projekteret med en for lille sikkerhedsmargin, vil en øget infiltration, i forhold til forudsætningen i beregningerne, hurtigt kunne medføre problemer med opvarmning af boligen.

For at illustrere denne problematik beregnes energibehovet for en 149,6 m² bolig opført efter energibestemmelserne som lavenergibygning 2015 med ekstra tæthed svarende til bygningsklasse 2020. Dernæst sammenlignes samme hus opført med samme klimaskærm, men udført med en tæthed, hvor utæthederne giver et dobbelt så stort luftskifte ved trykprøvning, og endelig beregnes energibehovet i samme hus men med utætheder svarende til et 3 gange så stort luftskifte ved trykprøvning. Det svarer til kravet for huset opført efter BR 10. Den eneste parameter, der varieres i beregningen, er således infiltrationen i vinterperioden (dvs. opvarmningssæsonen).



Resultatet er vist i figuren. Her fremgår det, hvor vigtig tætheden af boligen er, når energibehovet beregnes. Er huset utæt med høj infiltration, vil det hurtigt kunne mærkes på energiregningen til opvarmning. På figuren er medtaget infiltration for samme hus med 3 tæthedsniveauer. Forbedringen af tætheden resulterer i en årlig besparelse på 4,4 kWh/m² pr. år med bygningsklasse 2020 tæthed i forhold til BR 10 kravet.

Tidligere er der i mange boliger målt luftskifter, der er 6 gange højere end kravet til bygningsklasse 2020. Det betyder så et ekstra energiforbrug på mere end 8 kWh/m².

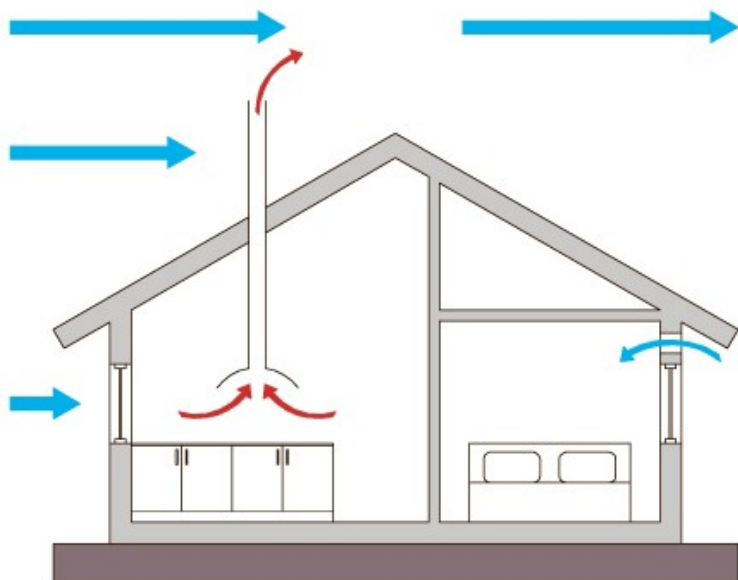
Tæthed i byggeri

En bygnings tæthed afhænger bl.a. af, at alle parter er opmærksomme på, hvordan man opnår, at bygningen bliver tæt. F.eks. vil en korrekt opsat dampspærre i et loft let kunne ødelægges, hvis de efterfølgende håndværkere ikke er opmærksomme på at tætte gennembrydninger.

I projektering og den overordnede styring af byggeriet er det derfor vigtigt at vide, hvem der skal sørge for, at tætheden hele tiden reetableres, så den projekterede tæthed også er til stede i det færdige byggeri.

Husets klimaskærm

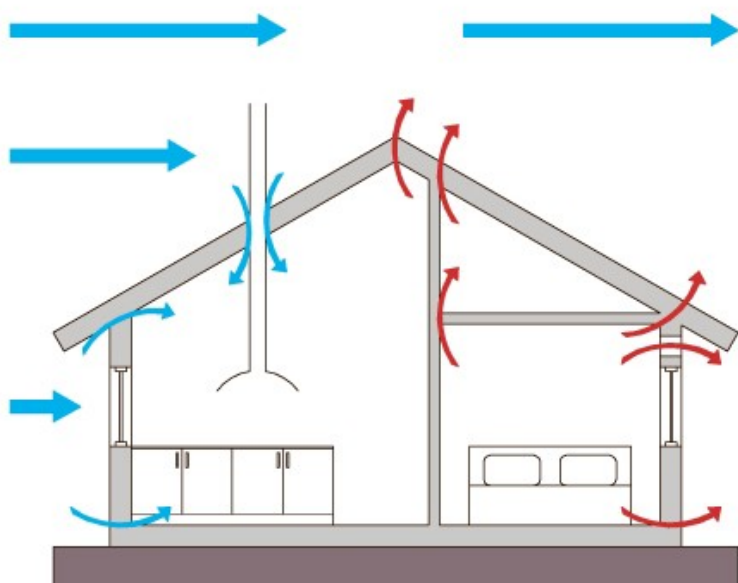
Klimaskærmen er husets skærm mod det omkringliggende klima. Klimaskærmens formål er at beskytte mod fx vind og regn. For at opnå tæthed i klimaskærmen er det vigtigt, at tætheden tænkes ind tidligt i byggefasen. Ved projektering af tæthed i klimaskærmen er det vigtigt at forholde sig til bygningens ventilation.



I et hus med en tæt klimaskærm kan ventilationen styres efter behov. Den ventilationsluft, der kommer ind i boligen, kommer ind gennem egnede udeluftventiler.

En utæt klimaskærm kan føre til byggeskader.

Når et hus påvirkes af vind, opstår der et overtryk på forsiden af huset (den luv side) og et undertryk på bagsiden af huset (den læ side). Det ændrer luftstrømmen og medfører, at luften trænger ind ved alle utætheder som vist. Når det sker, kan ventilationen ikke længere kontrolleres.



I vinterhalvåret er der risiko for, at varm fugtig luft kan kondensere på sin vej ud igennem utætheder i klimaskærmen og dermed give fugtophobning i konstruktionen. Det skaber gode betingelser for skimmelsvamp og i værste fald nedbrydning pga. råd og svamp.

Typiske fejl, der skaber utæthed

Et dårligt projekteret byggeri kan ikke reddes med tape og klæbematerialer. Derfor er det vigtigt, at tætheden er tænkt ind tidligt i byggeriet.

Det er ofte i selve udførelsesfasen, at utæthederne opstår. Det kan fx ske ved, at et nyt hold håndværkere gennembryder en konstruktion, der skulle have været tæt.

Den type fejl sker typisk i forbindelse med:

Elkabler, der føres igennem en dampspærre/dampbremse installation af halogenspots. Der findes tætte installationsbokse, men de anvendes desværre ikke altid ved gennemføring af ventilationskanaler, aftrækskanaler fra badeværelser og køkken samt opsætning af skorsten i forbindelse med gasfyr, oliefyr eller brændeovn.

Nogle af problemerne kan forebygges, andre må løses ved byggeteknisk omhu.

Måling af tæthed

Hvem kan måle?

I bygningsreglementet er der ikke særskilte krav til de virksomheder, der foretager tæthedsmåling. Det er imidlertid væsentligt, at de personer, der foretager målingerne, har den tilstrækkelige viden om tæthedsmåling, er i stand til at tolke måleresultaterne og anvender kalibreret måleudstyr, der måler korrekt.

For at højne kvaliteten og pålideligheden af firmaernes målinger er der etableret to certificeringsordninger, der hver for sig certificerer virksomheder, der kan foretage tæthedsmåling. De certificerede firmaer er underlagt kontrol med, at de har de nødvendige kompetencer, at de har deres kvalitetssikring i orden, og at de får deres måleudstyr kalibreret løbende.

De to certificeringsordninger er etableret af:

- Byggeriets Kvalitetskontrol A/S og
- Dansk Standard.

Alle virksomheder, der opfylder betingelserne, kan blive certificeret af en af de to udbydere. Ingen af de to ordninger er indtil videre akkrediteret af DANAK.

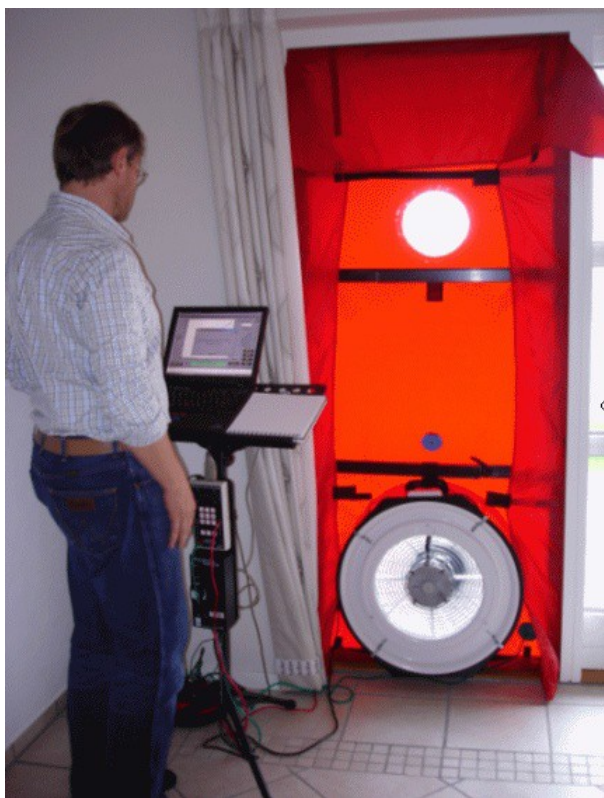
Måling i større bygninger

En række firmaer har erfaringer med måling af tæthed i meget store bygninger. Her er det vigtigt, at det sikres, at bygningen er klargjort hertil. Prøvningen sker typisk med et større antal ventilatorer. I større etageejendomme stiller nogle kommuner krav til måling af tæthed i de enkelte boliger. Ved at måle i de enkelte boliger hver for sig bliver måleresultatet et udtryk for utæthederne i både klimaskærmen og i skillevægge og etageadskillelser mellem boligerne. Tæthedsmålingen vil derfor også kunne vise, om der er mangelfuld tæthed af etageadskillelse eller vægge til tilstødende boliger. Mangler, der kan være årsag til, at lydisoleringen mellem boligerne ikke er i orden, og der kan være risiko for brandspredning i tilfælde af brand.

Byggeteknisk kan det være hensigtsmæssigt at analysere eventuelle mulige risici og håndtere dem tidligt i byggeprocessen. Er der fx facadepartier med stor gentagelseeffekt, kan en tæthedsprøvning af et facademodul være fordelagtig, så eventuelle problemløsninger ikke gentages 1.000 gange.

Sådan måles tæthed

Man kan måle lufttætheden i en bygning ved hjælp af en ventilator placeret i en dør ind til huset, også kaldet "blower door". Målingen foretages efter en europæisk standard, hvor huset prøves under tryk og vakuum på 50 Pa. Ved de værdier må luftskiftet ikke overstige 1,5 l/s pr. m² opvarmet etageareal.



Inden målingen bliver udført, skal man sørge for at forsegle alle udeluftventiler og aftrækskanaler, der indgår i husets ventilationssystem. På den måde bliver målingen et udtryk for husets tæthed.

Tre metoder til at finde utætheder

Der er tre forskellige metoder til at finde utætheder. Man kan bruge en røgampul eller et anomometer, eller man kan vælge at bruge et termovisionskamera til at registrere de områder, der er særligt afkølede som følge af luftgennemgangen. Termovision er den dyreste løsning.

Måling af tæthed med en røgampul.



Måling ved samling med et anomometer.



Måling med et termovisionskamera.



Utætte steder kan fx forekomme i samlinger mellem væg og loft og ved lampeudtag i loftet. Hvis bygningen er sat i undertryk, kan det medføre, at kold luft trækker ind alle steder, hvor bygningen er utæt. Termografering med et termovisionskamera afslører de utætte områder som blå striber/"tunger".

Hvis man vælger at bruge termografering i forbindelse med "blower door" test, bør der være en temperaturforskel på mindst 5 grader mellem ude og inde.

Sådan sikres tætheden

Der er flere tiltag man kan gøre for at sikre tætheden i byggeri. Nedenfor kan man læse mere om sikring af tætheden i enkelte områder i et byggeri.

Huse med trækonstruktioner

En dampspærre bruges til at opnå tæthed i loftskonstruktioner og i træskeletvægge.

Traditionelt udfører man dampspærre med klemte samlinger. Det er imidlertid ikke nok til at sikre en lufttæt konstruktion, og derfor anbefaler det tyske Passiv Haus Institut og det svenske forsknings- og prøvningsinstitut (SP), at samlinger tapes.

Danske erfaringer med tæthedsafprøvning af huse bygget med klemte samlinger understøtter de udenlandske

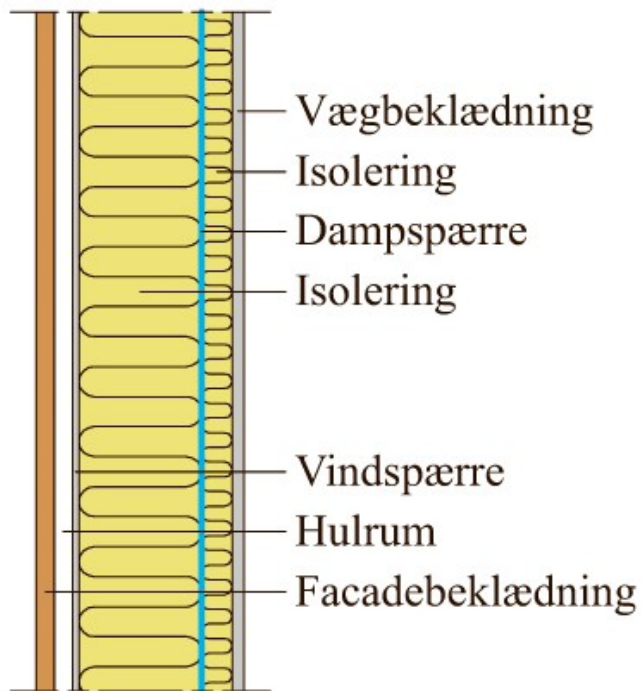
anbefalinger. Det vurderes, at det ikke er muligt at lave et træhusbyggeri med klemte samlinger, der kan klare kravene til lufttæthed.

Det er vigtigt, at man undersøger, om tape og dampspærre kan fungere sammen, og om limen har en tilstrækkelig holdbarhed.

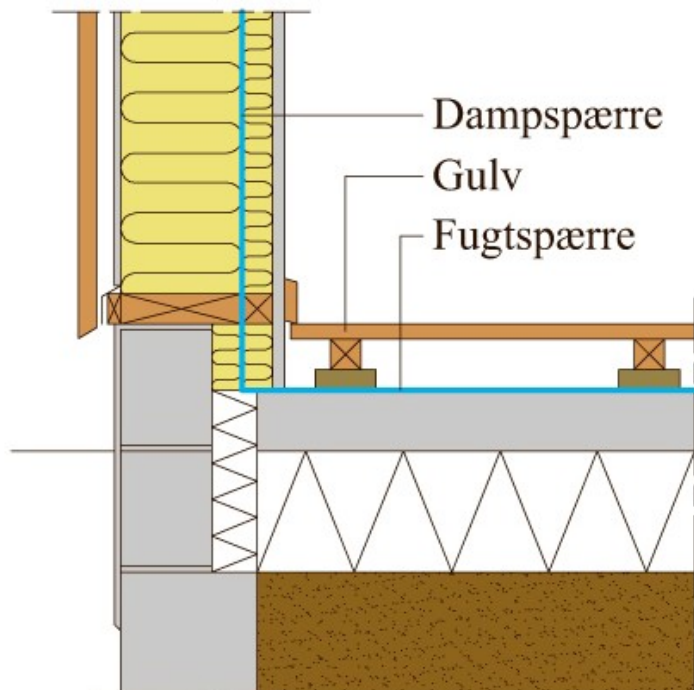
Træskeletvægge

I træskeletvægge er der flere muligheder for at sikre tætheden. Her kan man fx placere dampspærren inde i isoleringen, uden at det giver arbejdsmiljøproblemer.

Let ydervæg med to lag gipsplader, lægter med isolering imellem, føringsmulighed for elkabler, dampspærre/dampbremse med tape overlæg, som er placeret inde i konstruktionen, så man kan trække elkabler uden at ødelægge tætheden.



Lækage ved fodrem er et typisk problem, der giver fodkulde og træk. Det kan løses som vist på skitsen:

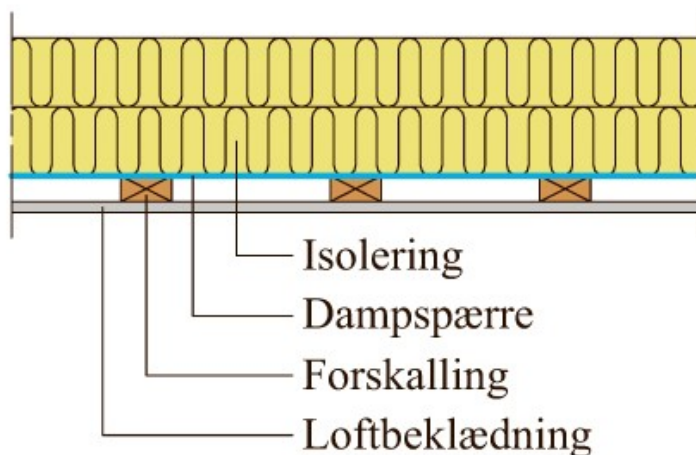


Fundamentsdetalje ved fodrem. Membranen føres fra fodremmen ned langs fundamentet og ud på gulvet, hvor den klæbes fast.

Dampspærre/dampbremsere i loftkonstruktioner

Det kan være ubehageligt at arbejde med isolering over hovedhøjde. Derfor er det bedst at vælge løsninger, der ikke indebærer isolering.

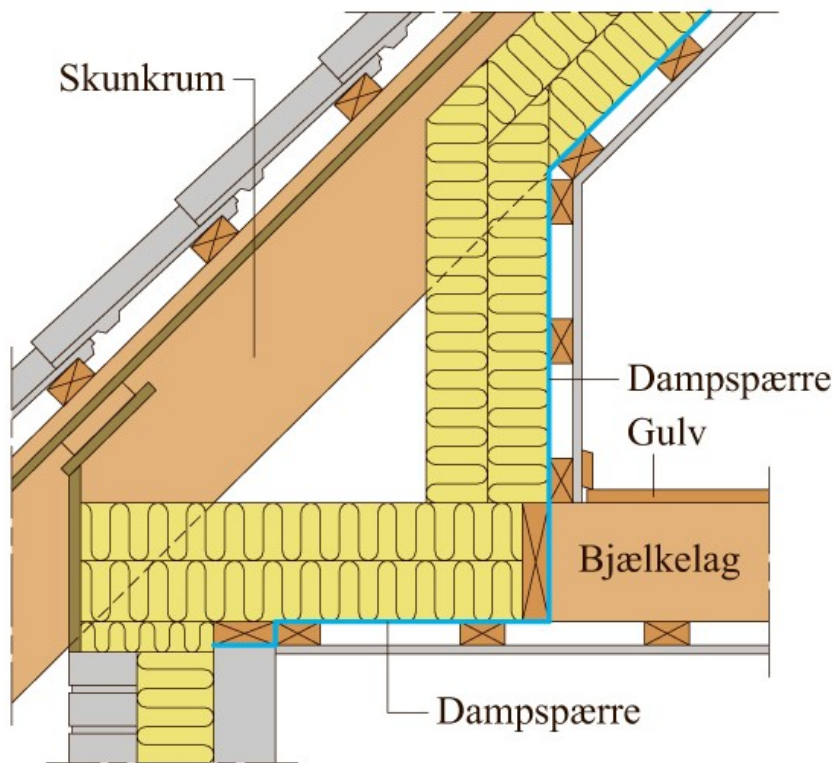
Det er fx muligt at placere loftsdåser og trækning af kabler under dampspærren/dampbremsen, hvis man vælger en loftsopbygning, der nedefra består af 2 x 13 mm gipsplader og 25 mm spredt forskalling, dampspærre/dampbremse og spærkonstruktion med isolering mellem og over spærfødder.



Tæthed ved skunkvægge

I bygninger med udnyttet tagetage er det ofte kompliceret at opnå en tilstrækkelig tæthed nederst ved skunkvæggen, hvor skunk og loftskonstruktion mødes. Selv med tape er det vanskeligt at opnå en god tætning ved spærfoden.

Tegningen viser en løsning, hvor der er placeret færdigtilskårne plader mellem spærfødderne som underlag for tætningen.



Lodret snit på tværs af huset ved skunkvægge.

Vinduers tæthed

En række producenter, der er tilsluttet Dansk Vindues Verifikation baserer tætheden af deres vinduer på erfaringer med placering af tæthedslister. Er firmaet tilsluttet Dansk Vindues Verifikation bliver der foretaget uvildige kontrolbesøg, hvor en kontrol af vinduernes tæthed indgår, men der må ikke angives en tæthedsklasse, med mindre den er dokumenteret ved en typeprøvning.

Den europæiske standard for vinduer indebærer, at vinduesproducenter fremover enten kan deklarerer tætheden på grundlag af en typeprøvning eller oplyse, at egenskaben ikke er bestemt. Det er herefter op til bygherren at sikre sig, at eventuelle mangler bliver udbedret, hvis det viser sig, at et vindue uden deklaration er for utæt.

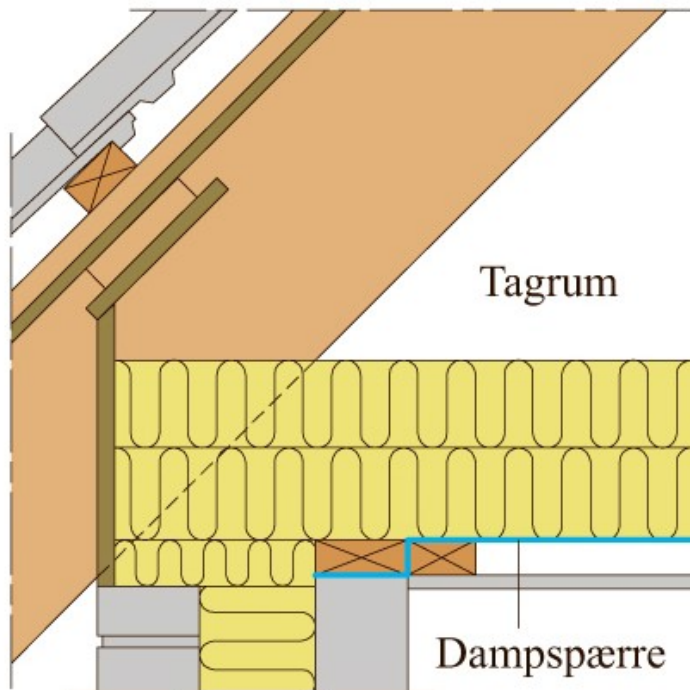
Eventuelle krav til vinduers tæthed og klassifikation bør vurderes i forhold til den konkrete anvendelse og bygningens geografiske beliggenhed. Er der tale om et byggeri, hvor der stilles skrappe krav til tæthed, fx til et bygningsklasse 2020 byggeri, kan det være relevant at stille krav om tætningsklasse 4 jf. produktstandarden for vinduer DS/EN 14351-1.

Nye eller renoverede vinduer kan gøre en bygning meget tæt. Det er derfor vigtigt også at se på, om den nødvendige ventilation kan opnås på rimelig måde, eller der skal findes en egnet løsning her på.

Samling mellem væg og loft i tungt byggeri

Samlingen mellem tung bagmur og loft er ofte mangelfuldt projekteret og derfor også mangelfuldt udført. Det kan medføre en betydelig lækage.

Tegningen nedenfor viser, hvordan man kan udføre en tæt samling. Dampspærren/ dampbremsen klæbes ovenpå bagvæggen, bukes op og tapes på dampspærren/ dampbremsen i loftsstrukturen.



Utæthed ved væg/sokkel i tungt byggeri

Afhængig af radonsikringens placering kan der optræde en luftlækage ved fundament/væg. En løsning er at anvende en membran, der svejses på fundamentet.

En stiv membran er vanskelig at have med at gøre, da den vanskeligt kan bøjes ved døre m.m. Man kan udføre en tilpasning omkring spring ved døråbninger, vinduespartier og hjørner i soklen med asfalt eller anden flydende membran. Husk at tage højde for tørre- og hærdetid.

Et alternativ kan være en flydende membran, der påføres betondæk og fundamentets inderside. Pt. er der ingen erfaringer med denne løsning.

Minimer gennembrydning af dampspærre/dampbremse

Man kan begrænse antallet af gennembrydninger ved at placere dampspærren/dampbremsen oppe i loftsstrukturen eller inde i vægstrukturen.

Det gør det samtidig muligt at trække elinstallationerne inden for dampspærren/dampbremsen.

Gennembrydninger i dampspærre/dampbremse

Nogle installationer skal nødvendigvis igennem dampspærren/dampbremsen. Til de situationer kan man få specielle klæbemanchetter til fx el- og antennekabler, ventilationsrør og armaturer.

Materialievalg

Det er vigtigt at vælge materialer, som har en dokumenteret holdbarhed. Det gælder også for fx tape og fugematerialer. Det er også vigtigt at sikre, at materialerne kan anvendes sammen.

Man kan få de nødvendige data hos producenten.

Dampspærre og plademateriale

Dampspærre:

Dampspærre er produkter med en høj diffusionsmodstand, der hindrer vanddamp i at trænge ind i konstruktionerne.

Der benyttes især to typer dampspærre:

1. **Plastfolie af polyethylen (PE):** Her skal man sikre sig en vis robusthed. Dampspærre skal være CE-mærket efter DS/EN13984 Fleksible membraner til fugtisolering og DS/EN 13859-1 Fleksible membraner til fugtisolering. Efter standarderne skal producenten blandt andet angive produktets rivningsstyrke, og produktet bør have bestået en ældningstest. Yderligere vejledning om dampspærre i loft og ydervægge findes i BYG-ERFA bladene 97 07 03. Fugttransport og materialer 97 07 04 Udførelse og detaljer.
2. **Alu-baserede dampspærre:** Det er en god idé at vælge armerede alu-baserede dampspærre. Produkter, der ikke er armerede, er nemlig sårbare og vanskelige at opsætte.

Dampbremser:

Dampbremser virker ved at tillade en minimal fugttransport og gør det dermed muligt for konstruktioner at optage og afgive fugt. Der er en række betingelser, der skal være opfyldt, for at en dampbremse virker. Det betyder også, at dampbremser ikke kan anvendes i alle konstruktionstyper.

Bygningspap:

I Tyskland bruger man Baupappe (bygningsspap). Materialets egenskaber er dokumenteret efter de tyske standarder, og i Tyskland er disse produkter klassificeret som miljørigtige. De anvendes også primært i byggerier, der har fokus på miljø og bæredygtighed.

Plademateriale:

Plademateriale anvendes især i lavenergihuse. Der er mange fordele ved at anvende et plademateriale. Det er fx robust, hvilket kan beskytte mod utilsigtede gennembrydninger. Plademateriale giver en god styring og fiksering af installationer og tætning ved gennembrydninger. Det giver også veldefinerede hjørner og kanter, som kan fuges/tapes.

Klæbemidler og fugemasser

Tape

Det er ikke alle typer tape, som er lige velegnede til de dampspærre/dampbremser, som findes på markedet. Derfor er det vigtigt at sikre sig, at tape og dampspærre/dampbremse kan bruges sammen, og at tapen også har en god klæbeevne på langt sigt.

Det anbefales, at man kombinerer mekanisk klemning og tapening af overlæg over fast underlag, eller at man på anden måde sikrer en fast kontakt af tapen. Den anbefaling gælder også ved kombinationer af membran og flydende membran ved sokler.

Klæbemidler og fugebånd

Klæbemasser og butylbånd kan bl.a. anvendes til at klæbe dampspærre/dampbremse til andre konstruktionsdele. I den forbindelse er det vigtigt at sikre, at produktet har de rette egenskaber, så det kan klæbe på forskellige materialer.

Manchetter

Til gennembrydning af dampspærre/dampbremser findes der specielle klæbemanchetter til elkabler og ventilationskanaler mm.

Fugemasser

Fugemasser bruges til at tætte fuger om blandt andet vinduer og døre samt i eventuelle elementsamlinger. Valg af fugemasse og udformning af fuger har stor betydning for bygnings tæthed.

Bemærk, at det kun er plastiske fugemasser, der kan anvendes på PE-folier.

Typiske fejl, der skaber utæthed

Et dårligt projekteret byggeri kan ikke reddes med tape og klæbematerialer. Derfor er det vigtigt, at tætheden er tænkt ind tidligt i byggeriet.

Det er ofte i selve udførelsesfasen, at utæthederne opstår. Det kan fx ske ved, at et nyt hold håndværkere gennembryder en konstruktion, der skulle have været tæt.

Den type fejl sker typisk i forbindelse med:

Elkabler, der føres igennem en dampspærre/dampbremse installation af halogenspots. Der findes tætte installationsbokse, men de anvendes desværre ikke altid ved gennemføring af ventilationskanaler, aftrækskanaler fra badeværelser og køkken opsætning af skorsten i forbindelse med gasfyr, oliefyr eller brændeovn.

Nogle af problemerne kan forebygges, andre må løses ved byggeteknisk omhu.