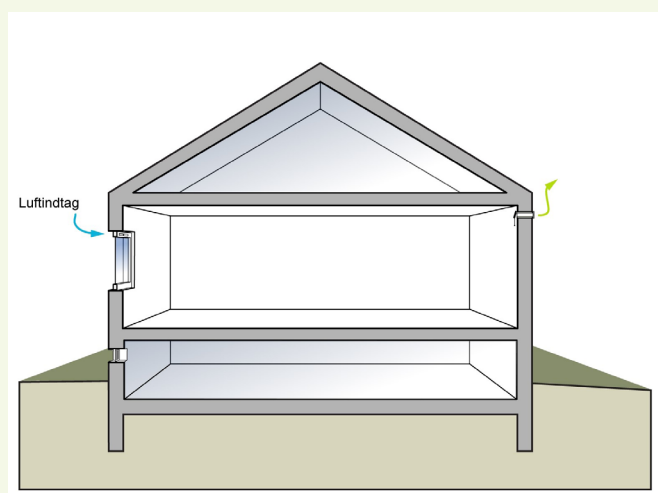


## Øget luftskifte i kælder og beboede rum (1/2)

Hvis man i rum med meget radon øger luftskiftet ved at tilføre udeluft, vil indholdet af radon blive fortyndet og ventileret bort. Ved at åbne et vindue opnår man ventilation i det tidsrum, vinduet står åbent. Konstant ventilation giver den bedste effekt. Et konstant luftskifte kan etableres ved at etablere luftindtag jævnt fordelt i ydervægge og vinduer. Det er en fordel at placere luftindtagene på to modstående sider af en bygning. På den måde drager man nytte af trykforskellen på bygningens vind- og læside, og det passive luftskifte bliver mest effektivt. Ventilation, der er mere effektiv end bygningsreglementet kræver, resulterer i unødigt energiforbrug.

**Effekt:** Konstant ventilation med udeluft gennem fx luftventiler og -aftræk, er en simpel måde at ventilere på. En sådan ventilation vil alt andet lige reducere radonindholdet i indeluften. Radonniveauet vil dog stige, så snart udluftningen ophører.

Tiltaget vil have effekt efter kort tid, og der kan opnås en reduktion af radon i indeluften på op til ca. 25 %<sup>1</sup>.



Ventilering med spalteventil og murventil, placeret i vinduesramme og mur.

**Anlægsbeskrivelse:** Undersøgelser har vist, at radonproblemet er mindre i boliger, hvor luftskiftet følger bygningsreglementets krav<sup>1</sup>.

Luftindtagene kan etableres på forskellige måder og med forskellig udformning. Det vigtigste er, at der skabes fri passage fra luftindtag til luftaftræk. Luftindtagene kan eksempelvis være spalteventiler placeret i vinduesrammerne eller cylindriske murventiler i ydermuren. Vælg en løsning, der ikke skaber unødigt støj og træk.

**Vedligehold:** Det er vigtigt at holde luftindtagene rene for at sikre luftskiftet. Desuden er det vigtigt, at de ikke lukkes, fordi en konstant tilførsel af udeluft er nødvendig for at mindske indholdet af radon i indeluften.

<sup>1</sup>Risø-R-979. Radon-95: En undersøgelse af metoder til reduktion af radonkoncentrationen i danske enfamiliehuse. Forskningscenter RISØ, 1997.

## Øget luftskifte i kælder og beboede rum (2/2)

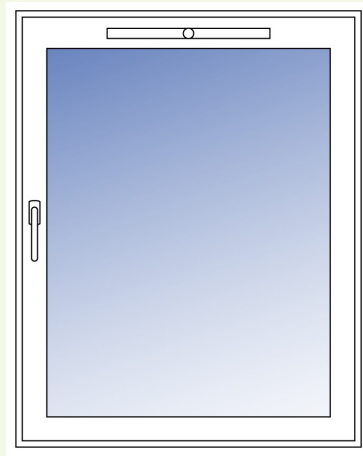
Etablering af øget luftskifte: Spalteventiler er typisk placeret i vinduesrammer. For at forhindre kuldenedfald og trækgener skal ventilen være forsynet med en regulerbar plade, som kan regulere strømmen af tilluft og sørge for tilstrækkelig og jævn opblending med rumluft. Spalteventiler kan monteres af en tømrer eller glarmester.

Murventiler er placeret i facaden. Ventilen installeres ved at bore et hul gennem ydervæggen og anbringe en præfabrikeret ventil heri. Murventiler er ofte cylindriske og visse ventiler kan reducere støj udefra. Ventilerne skal placeres tæt på loftet og skal kunne reguleres indefra, fx ved hjælp af snoretræk eller en justerbar tallerken. Murventiler kan monteres af en murer.

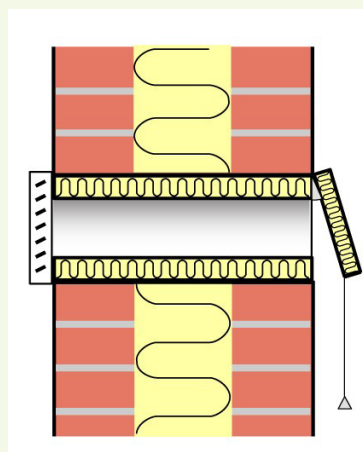
Alle luftindtag skal, hvis det er muligt, placeres over radiatorerne i huset eller tæt på en varmekilde. Selve luftindtaget skal have et areal på 60 cm<sup>2</sup> pr. 25 m<sup>2</sup> gulv. I nybyggede boliger udskiftes al luften i indeklimaet ca. hver anden time.

Hvis man ikke opnår den ønskede reduktion med naturlig ventilation, kan man erstatte nogle af luftindtagene med udsugningspunkter, der er tilsluttet en mekanisk ventilator, se tiltag 7, Mekanisk ventilation med udeluft.

**Bemærk:** Man kan opleve, at luftindtagene giver anledning til gener i form af træk og støj udefra.



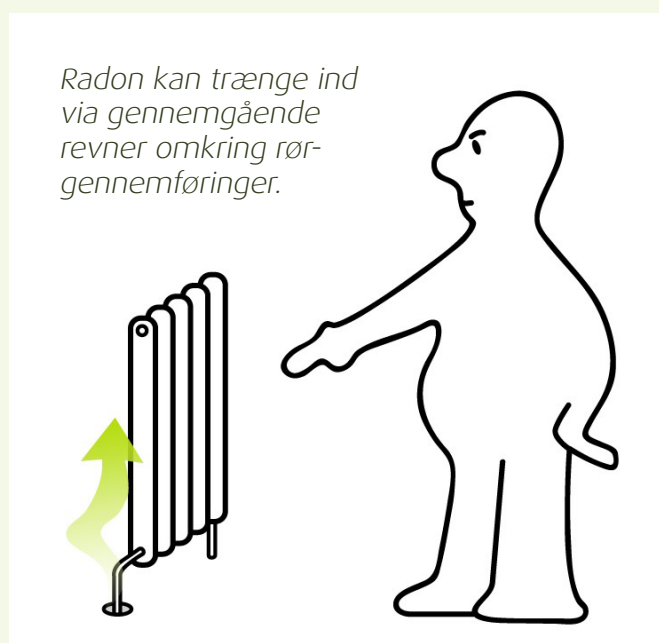
Spalteventil. Spalteventilen monteres i vinduesrammen.



Murventil. Murventilen placeres i facaden.

## Lufttætning af gennemføringer

Gennem terrændæk og etageadskillelser føres rør til varme, vand, kloak mv. Disse gennemføringer vil ofte udgøre en væsentlig transportvej for radon til indeluften. Er de ikke udført tilstrækkeligt lufttæt, vil radon fra jorden eller en underliggende etage strømme frit op langs gennemføringerne. Ved at lufttætte omkring gennemføringer kan man mindske indtrængning af radon.



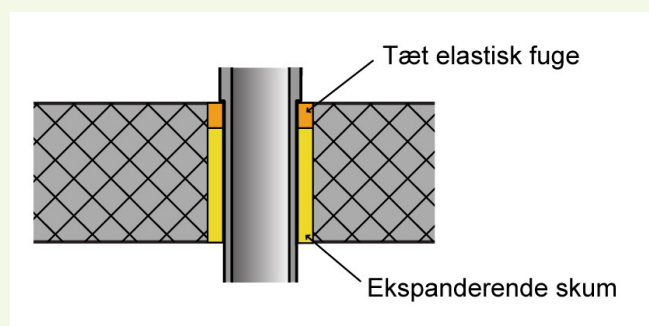
**Effekt:** Lufttætning af gennemføringer har effekt efter kort tid. Effekten i husets beboede rum afhænger af, om alle væsentlige gennemgående revner er lufttætnet. Erfaringer med bekæmpelse af jordforurening tyder på, at man med tiltaget kan opnå en lav til moderat reduktion af radon i indeluften<sup>1</sup>. Det svarer til, at radon i indeluften reduceres med op til ca. 20 %.

**Anlægsbeskrivelse:** Lufttætning kan eksempelvis ske ved indsprøjtning af ekspanderende skum. Efterfølgende udkradser man skummet, så man kan udføre en elastisk, lufttættende fuge.

Rørgennemføringer kan også lufttættes med manchetter. De er dog bedst egnede ved etablering af nye rørgennemføringer. Først bør man gennemgå alle rørgennemføringer i huset. Er der tegn på lufttætheder, bør de lufttættes.

Bemærk, at gennemføringer af varmerør meget ofte er lufttætte og derfor bør lufttættes. Årsagen til disse revner er, at temperaturvariationer mellem varme og kulde får

rørene til at udvide sig og trække sig sammen. Bevægelserne skaber lufttætheder, hvor konstruktionen er støbt mod røret. Derfor er det en god idé at benytte et fleksibelt tætningsmateriale, så lufttætningen følger rørenes bevægelser.



Lufttætning af rørgennemføring i betonplade. Først indsprøjter man ekspanderende skum. Det øverste skum fjernes, så man kan lægge en tilstrækkelig lufttæt, elastisk fuge.

Lufttætning af rørgennemføringer bør udføres i hele boligen og sammen med en generel lufttætning, se tiltagene 1, Lufttætning af betonplade i terrændæk, 2, Lufttætning af kælder-vægge og -gulve, 3, Lufttætning af etageadskillelse og 5, Lufttætning af adgangsvej til kælder og krybekælder.

**Vedligehold:** Det er vigtigt, at fugerne omkring gennemføringerne forbliver intakte. Tjek fugerne i forbindelse med almindeligt vedligehold af huset.

<sup>1</sup>Miljøprojekt nr. 750, 2003. Teknologiuudviklingsprogrammet for jord- og grundvandsforurening. Afværgekatalog – tidlig indsats overfor indeklima-påvirkning.

## Lufttætning af betonplade i terrændæk (1/2)

Man kan lufttætte en betonplade i terrændæk ved at tætte revner og fuger, når betonpladen er blotlagt og tilgængelig. Lufttætningen vil kunne reducere indtrængning af radon fra jorden under terrændækket.

**Effekt:** Lufttætning af betonpladen i terrændækket virker efter kort tid. Effekten afhænger dog af, om alle de gennemgående revner er tilstrækkeligt lufttætnet. Man kan opnå en reduktion af radon i indeluften på 10-50 %<sup>1</sup>. Revner kan lufttættes, selvom de stadig udvikler sig. Det kan dog blive nødvendigt at lufttætte dem igen efter et stykke tid.

Arbejdsindsatsen ved lufttætning af revner og fuger afhænger af tætningsmetode samt antal og længde af revner og fuger.

**Anlægsbeskrivelse:** Inden man reparerer en revnet betonplade, skal man vurdere, om revnerne udvikler sig, eller om de er i ro. Derfor bør man holde øje med, om revnerne ændrer sig over tid. Revnerne kan opstå, når betonen hærder. Hærdningen forløber over flere år. Disse revner kaldes også svindrevner.

Man kan forhindre svindrevner i at gå hele vejen gennem betonpladen ved at lægge svindarmering i betonpladen og ved at begrænse

pladens størrelse til et regulært areal på 25-30 m<sup>2</sup>. Svindarmering er et net af stålstænger, der lægges i betonpladen. Flere betonplader kan samles til én.

Betonpladerne samles med dilatationsfuger, som skal være elastiske og lufttætnende. Dilatationsfuger giver betonpladerne mulighed for at bevæge sig i forhold til hinanden uden at der dannes revner, der er gennemgående. Dilatationsfuger lægges typisk under indvendige vægge. Bemærk, at radon kan trænge op gennem dilatationsfuger, der ikke er lukket korrekt.

Omfanget af gennemgående revner afhænger af betonpladens tykkelse, armering, mængden af sten, grus og sand, betonens luftindhold og blandingsforholdet mellem cement og vand.

Gennemgående revner kan også skyldes konstruktionsfejl, fx at fundamentet har sat sig.

Man kan lufttætte revner ved at opkradse og udfylde dem med fugemasse eller ved at klæbe en membran over åbningen, fx asfaltpap eller væv med vævfylde. Membraner kan også bruges til at dække lufttætte dilatationsfuger, hvis man ikke vælger at lægge en helt ny fuge. Man kan også lufttætte revner ved injicering. Her udfyldes revnens hulrum med fugemasse. Betonpladen kan også lufttættes med et egnet membransystem<sup>2</sup>.

**Vedligeholdelse:** Man bør kontrollere tætningen af revner og fuger. Er der bevægelser i konstruktionen, er der risiko for, at lufttætningen ikke fungerer. Udviklingen af revner kan eksempelvis kontrolleres med en revneviddemåler.

Radon kan trænge ind via gennemgående revner i betonpladen.



<sup>1</sup>Miljøprojekt nr. 750. 2003. Teknologiudviklingsprogrammet for jord- og grundvandsforurening. Afværgekatalog – tidlig indsats over for indeklima påvirkning.

<sup>2</sup>Rasmussen & Cornelius. 2018. SBi-rapport 2018:06, Egnede Membransystemer til radonsikring - Vurdering af ti membransystemer.

## Lufttætning af betonplade i terrændæk (2/2)

Revner i betonpladen i terrændækket kan lufttættes. Hvis revnerne stadig udvikler sig, skal man forvente at skulle tætnes dem igen efter et stykke tid. Forud for lufttætning opkradses revnen, som derpå støvsuges og spules med vand. Det er vigtigt at arbejde på rene overflader. Opkradsningsdybden skal være mindst 2½ gange fugens bredde. Herefter fyldes revnen ud med en traditionel fuger eller en to-trins-fuge.

En traditionel fuger kan eksempelvis være en mørtelfuger. En to-trins-fuger udføres ved først at lægge en indvendig elastisk og lufttætnende fuger og derefter en udvendig fuger af eksempelvis mørtel. Hvis revnerne er store, kan det være nødvendigt med et fugestop. Hvis revnen stadig udvikler sig, og hvis man forventer betydelige ændringer, kan man i stedet for en opkradsning af fugen foretage en udfræsning. Bredden af det udfræsede spor skal fastsættes efter de forventninger, man har til fremtidige ændringer i revnen.

Man kan også lufttætnes revnen ved at påklæbe en membran, fx asfaltpap eller væv med vævfyllder. Det er vigtigt at vælge en membran, der er tilstrækkelig robust. En tyk membran vil typisk være sværere at rive itu eller perforere end en tynd membran.

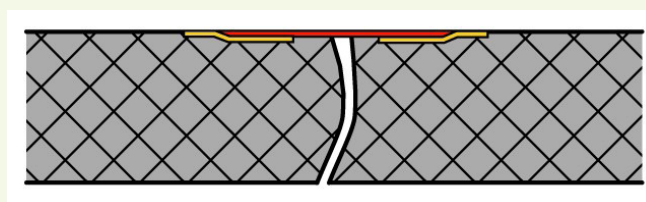
Endelig kan revnerne lufttættes ved injicering med fugemasse. Kun revner, der er i ro, kan injiceres. Man borer skråt ind skiftevis på hver side af revnen med 25-30 cm mellemrum eller direkte ind i revnen med samme afstand. Injiceringen fortsættes, til der presses fugemasse op af hullerne. Den overskydende fugemasse tørres væk, og der drysses evt. med sand. Afhængig af revnernes tykkelse kan man injicere med eller uden tryk. Små revner injiceres under tryk, mens større revner injiceres uden tryk.

Dilatationsfuger, der er lufttætte, udskiftes, injiceres eller lukkes ved at klæbe en membran til betonpladen over fugen. Materialet, der fyldes i revnerne, varierer alt efter revnernes størrelse. Man kan bruge fugemasse, reparationsmørtel eller skum.

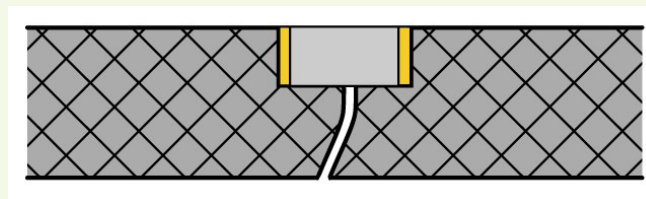
Hvis betonpladen har mange gennemgående revner, anbefales lufttætning med et egnet membransystem<sup>2</sup>. Et membransystem omfatter membraner og materialer til samlinger. Egnede membransystemer kan være baseret på membraner, der er flydende, faste eller formbare. Fælles for disse membraner er, at de skal kunne samles indbyrdes og slutte tilstrækkelig lufttæt til gennemføringer og de tilstødende konstruktioner. Man kan også lægge et nyt slidlag af

puds eller mørtel, der overfladebehandles med epoxy eller som beskytter et egnet membransystem<sup>2</sup>.

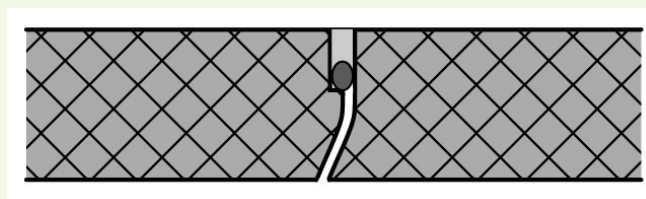
Inden man går i gang med at lufttætnes betonpladen, er det vigtigt at få årsagen til revnerne klarlagt. Er der sætningsskader, skal de udbedres.



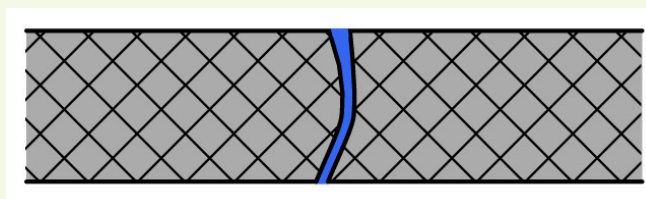
*Revne lukket med væv. Der er foretaget en ca. 2-3 mm dyb udfræsning omkring revnen. Herefter er der klæbet væv over revnen. Vævet er efterfølgende udfyldt med fx vævfyllder og pudset, så betonpladens overflade er jævn.*



*Udfræsset revne. Revnen er udfræsset, og der er lagt en lufttættende fuger langs alle kanter og efterfyldt med beton.*



*To-trins-fuger. Efter opkradsning af revnen er der lagt en lufttættende fuger i bunden af opkradsningen. På fugen er der lagt en traditionel mørtelfuger.*



*Injiceret revne. Revnen er lufttætnet ved at injicere fugemasse skiftevis på hver side af revnen.*

## Lufttætning af adgangsvej til kælder og krybekælder

I huse er der ofte adgang til kælder eller krybekælder gennem en trædør eller en lem i gulvet. Der kan være revner og lufttætheder i og omkring dør eller lem. Lufttætning af adgangsvejen begrænser spredning af radon til de beboede rum.

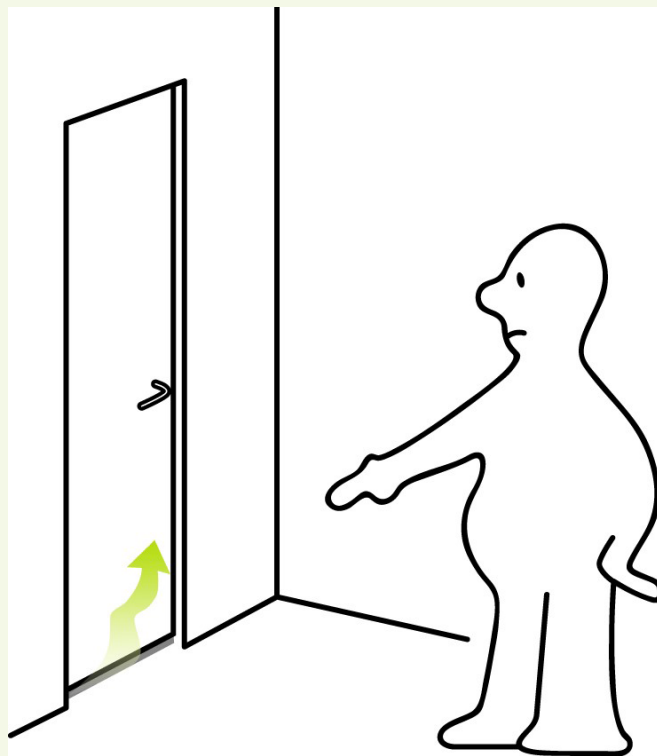
**Effekt:** Lufttætning af adgangsvejen til kælder eller krybekælder har effekt efter kort tid. Effekten afhænger dog af, om alle væsentlige gennemgående revner er lufttætnet. Erfaringer med bekæmpelse af jordforurening tyder på, at man med tiltaget kan opnå en lav til moderat reduktion af radon i indeluften<sup>1</sup>. Det svarer til, at radon i indeluften reduceres med op til ca. 20 %.

**Anlægsbeskrivelse:** Man kan lufttætnes synligt lufttætte karme ved at indsprøjte ekspanderende skum. Efterfølgende fjerner man det øverste skum, så man kan lægge en elastisk, lufttætnende fuge.

Man kan desuden montere en tætningsliste i døråbningen til kælderen mellem karm og dørplade. Omkring en lem til en krybekælder kan man også lufttætnes med et tætningsbånd mellem karm og lem.

Det er bedst at reducere radon i de rum, der er tættest på jorden. Dermed forhindrer man, at radon spredes til andre rum. Har man for eksempel meget radon i kælderen, kan det spredes via trappeskakten. Trappeskakter i huse med flere etager kan give anledning til spredning af radon direkte fra nederste etage til de øvrige etager. Her kan man lufttætnes selve trappeopgangen ved at beklæde undersiden af trappen med gipsplader. Efterfølgende lufttættes eventuelle revner og fuger med ekspanderende skum og elastisk fugemasse som beskrevet herover.

**Vedligehold:** Det er vigtigt jævnligt at tjekke, at lufttætningen forbliver intakt. Det kan være nødvendigt at foretage løbende vedligehold og udskifte tætningslister og lufttætte fuger.



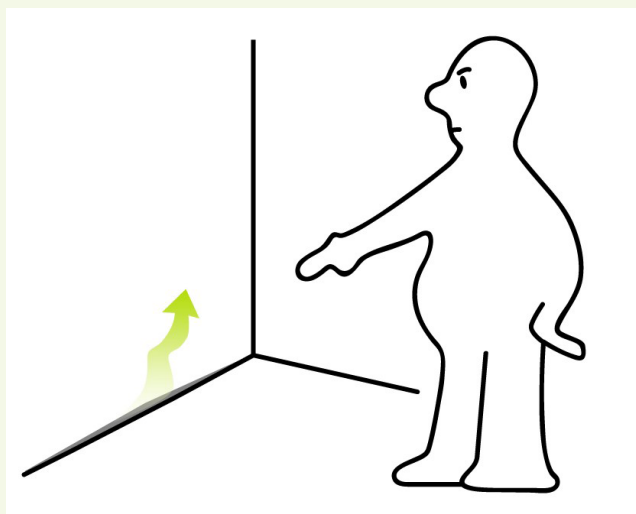
*Radon kan trænge ind via gennemgående revner omkring en kælderdoor, der ikke slutter tilstrækkeligt lufttæt til karm og dørtrin.*

<sup>1</sup>Miljøprojekt nr. 750, 2003. Teknologiuudviklingsprogrammet for jord- og grundvandsforurening. Afværgekatalog – tidlig indsats overfor indeklima påvirkning.



## Lufttætning af etageadskillelse

Radon kan sprede sig fra nederste etage op gennem en bygning. Man kan mindske spredningen ved at lufttætte etageadskillelsen over eksempelvis en kælder. En etageadskillelse kan bestå af en betonplade, flere betondækelementer eller en let konstruktion understøttet af bærende træbjælker. Det kaldes et træbjælkelag. Lufttætning af etageadskillelsen kan eksempelvis være aktuell, hvor man har kælder og gerne vil lufttætte mellem kælderen og en beboet stueetage.



*Radon kan trænge ind via gennemgående revner og fuger i etageadskillelsen.*

**Effekt:** Lufttætning af etageadskillelsen har effekt efter kort tid. Effekten afhænger dog af, om alle de væsentlige gennemgående revner er lufttættet. Erfaringer med bekæmpelse af jordforurening tyder på, at man med tiltaget kan opnå en lav til moderat reduktion af radon i indeluften<sup>1</sup>. Det svarer til, at radon i indeluften<sup>1</sup> reduceres med op til ca. 20 %.

**Anlægsbeskrivelse:** Hvis man har en etageadskillelse, der består af en betonplade eller betondækelementer, kan man anvende metoderne beskrevet i tiltag 1, Lufttætning af betonplade i terrændæk og tiltag 2, Lufttætning af kældervægge og -gulve. Hvis der er tale om et træbjælkelag, kan man vælge at udlægge et

egnet membransystem<sup>2</sup> som beskrevet i tiltag 9, Etablering af membransystem.

Membransystemer består af membraner og materialer til samlinger. Egnede membransystemer<sup>2</sup> kan være baseret på membraner, der er flydende, faste eller formbare. Fælles for disse membraner er, at de skal kunne samles indbyrdes og slutte tilstrækkelig lufttæt til gennemføringer og de tilstødende konstruktioner. Leverandørens anvisninger for montering bør følges. Der findes både diffusionsåbne og -lukkede membransystemer. Hvis man anvender et membransystem til lufttætning, bør man udføre tætningen i hele etageadskillelsen og kombinere den med generel lufttætning, se tiltagene 1, Lufttætning af betonplade i terrændæk, 2, Lufttætning af kældervægge og -gulve, 4, Lufttætning af gennemføringer og 5, Lufttætning af adgangsvej til kælder og krybekælder

**Vedligeholdelse:** Behovet for vedligeholdelse afhænger af det anvendte tætningsmateriale eller membransystem. Eksempelvis kan der være mekanisk slid, og fugematerialer kan svinde og udtørre med tiden.

<sup>1</sup>Miljøprojekt nr. 750, 2003. Teknologiudviklingsprogrammet for jord- og grundvandsforurening. Afværgekatalog – tidlig indsats overfor indeklimapåvirkning.

<sup>2</sup>Rasmussen & Cornelius. 2018. SBI-rapport 2018:06, Egnede Membransystemer til radonsikring - Vurdering af ti membransystemer.

## Lufttætning af kældervægge og -gulve

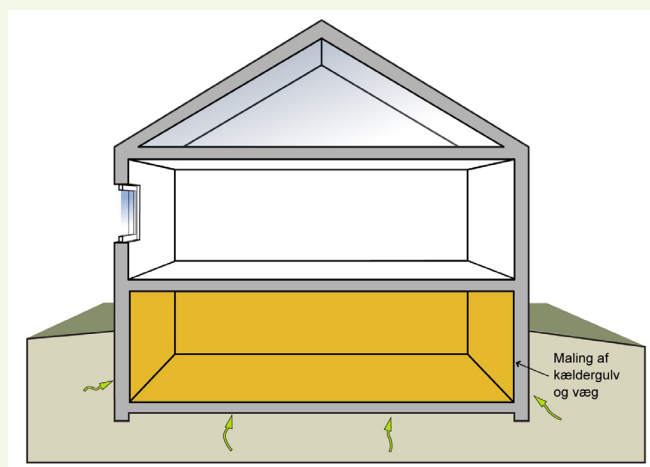
Man kan reducere indtrængning af radon gennem revner i kældervægge og -gulve. Lufttætning kan udføres ved hjælp af et egnet membransystem til radonsikring<sup>1</sup>. Ved at begrænse indtrængningen af radon til husets kælder vil man også begrænse muligheden for, at radon kan sprede sig til boligen over kælderen via fx kælderlem eller -dør.

**Effekt:** Tætning af kælderen har effekt efter kort tid. Virkningen i de beboede rum over kælderen afhænger af, om man har lufttætnet alle gennemgående revner. Man kan opnå en reduktion af radon i indeluften på 10-50 %<sup>2</sup>.

**Anlægsbeskrivelse:** Lufttætning af kældervægge og -gulv kan ske ved at anvende et egnet membransystem til radonsikring<sup>1</sup>. Membransystemer omfatter membraner og materialer til samlinger. Egnede membransystemer kan være baseret på membraner, der er flydende, faste eller formbare. Fælles for disse membraner er, at de skal kunne samles indbyrdes og slutte tilstrækkelig lufttæt til gennemføringer og de tilstødende konstruktioner. Leverandørens anvisninger for montering bør følges. En forudsætning for at anvende et membransystem på kældervægge og -gulve er, at disse udgør et fast underlag og er i god stand. De bør være udført



af fx beton eller mursten (vægge) og de må ikke være påvirket af fugt, fx opstigende grundfugt. Vær opmærksom på, at der findes diffusionsåbne og -lukkede membransystemer. Et egnet membransystem gør bygningen mere robust.



*Lufttætning af kældervægge og -gulv med fx smøremembran.*

Desuden bør man ikke foretage lufttætning med en smøremembran, før der er udført tætning af revner i kældervæggene og -gulvet, se tiltag 1, Lufttætning af betonplade i terrændæk.

En grundig rengøring er vigtig, før man påfører en smøremembran. Rengøringen kan ske ved at slibe og dernæst støvsuge de overflader, man ønsker at påsmøre. Efter grundig rengøring kan det være nødvendigt at grunde overfladen.

**Vedligeholdelse:** Membransystemet skal forblive intakt. Det gælder membranen, samlinger i membranen og samlinger omkring gennemføringer og til tilstødende bygningsdele. Almindelig slid kan gennembryde membranen.

<sup>1</sup>Rasmussen & Cornelius. 2018. SBI-rapport 2018:06, Egnede Membransystemer til radonsikring - Vurdering af ti membransystemer.

<sup>2</sup>Miljøprojekt nr. 750, 2003. Teknologiudviklingsprogrammet for jord- og grundvandsforurening. Afværgekatalog – tidlig indsats overfor indeklima-påvirkning.

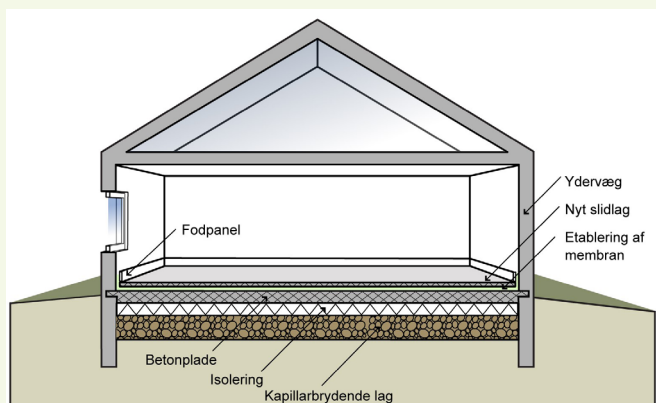


## Etablering af membransystem (1/2)

Med et egnet membransystem<sup>1</sup> kan man eksempelvis lufttætnes en betonplade. Tiltaget kan være en løsning, hvis radonniveauet skal reduceres betydeligt. Betonpladen i terrændækket udgør ofte den væsentligste barriere mod indtrængning af radon til indeluften. Indtrængningen af radon kan være stor, hvis betonpladen er meget utæt pga. revner, eller hvis terrændækket er opbygget helt uden betonplade. Lægger man nyt gulv, bør man overveje, om det vil være hensigtsmæssigt at etablere et egnet membransystem<sup>1</sup> under gulvet.

**Effekt:** Tætning med et egnet membransystem vil have effekt umiddelbart efter etablering. Man kan opnå en reduktion af radon i indeluften på 10-50 %<sup>2,3</sup>. Effekten afhænger af membransystemet og i høj grad af selve udførelsen<sup>1</sup>.

**Anlægsbeskrivelse:** Tætning af terrændækket med et membransystem kan være et selvstændigt tiltag på en eksisterende betonplade. Man kan også anvende et egnet membransystem på eller under en ny betonplade, se tiltag 8, Udsifting eller etablering af betonplade i terrændæk.



*Membransystem på den eksisterende betonplade. Membranen fastgøres til de bærende vægge.*

Det er meget vigtigt, at man udlægger membransystemet med stor omhu, så samlinger forbliver tilstrækkelig lufttætte, og membranen forbliver intakt. Mangelfuld montage kan i værste fald medføre, at den tiltænkte effekt udebliver.

Der findes flere forskellige typer membransystemer. Nogle typer skal pudses op, klæbes eller svejdes sammen, andre systemer er flydende og skal sprøjtes eller males på. For at sikre størst mulig lufttæthed, er det vigtigt, at membransystemet er robust, sejt og stærkt, så det ikke er let at gennembryde eller rive itu.

**Vedligehold:** Efter etablering er membransystemet vedligeholdelsesfrit. Det er dog vigtigt, at membransystemet ikke på et senere tidspunkt gennembrydes, fx ved gennemføring af afløb eller ved montage af installationer, der kræver forankring i gulvet. Gennembrydes membransystemet, bør man udbedre perforeringen for at forhindre radon i at trænge ind. Membranen kan evt. beskyttes med geotekstil eller fiberduk.

<sup>1</sup>Rasmussen & Cornelius. 2018. SBI-rapport 2018:06, Egnede Membransystemer til radonsikring - Vurdering af ti membransystemer.

<sup>2</sup>Miljøprojekt nr. 750, 2003. Teknologiuudviklingsprogrammet for jord- og grundvandsforurening. Afværgekatalog – tidlig indsats overfor indeklima påvirkning.

<sup>3</sup>WHO Handbook on indoor radon. A public health perspective. World Health Organization, 2009.

## Etablering af membransystem (2/2)

Etablering af membran: Der findes en lang række membransystemer, som kan bruges til lufttætning af terrændæk. Ikke alle membransystemer er dog lige velegnede til tætning af eksisterende terrændæk. Membranernes udseende, fleksibilitet og effekt er forskellig. Der bør anvendes et membransystem med egenskaber, der passer til bygningen, og som yder en tilstrækkelig beskyttelse mod indtrængning af radon.

Man kan også kombinere forskellige typer membraner, eksempelvis ved at udlægge en papmembran langs overgangen mellem væg og gulv og kombinere den med et membransystem af armeret polyethylen på selve gulvfladen. Anvender man flere forskellige membran typer, er det vigtigt, at samlingsmaterialet mellem disse giver god, lufttætning og varig vedhæftning på begge materialer.

Inden udlægning af et egnet membransystem<sup>1</sup> bør man sikre, at underlaget er jævnt, rent og uden skarpe kanter, der kan beskadige membransystemet. Er der revner i den eksisterende betonplade, bør disse tætnes, inden membransystemet etableres, se tiltag 1, Lufttætning af betonplade i terrændæk.

Man kan lægge en kraftig geotekstil eller fiberdug på begge sider af membranen. Dette kan beskytte membransystemet mod ujævnheder i membranens underlag og gulvbelægningen over membransystemet.

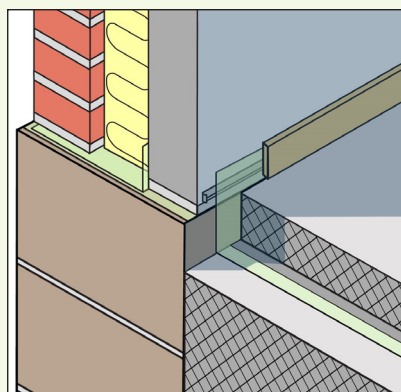
Selve membranen klæbes eller svejses sammen. Membranen skal klemmes eller klæbes fast til ydervægge og bærende indervægge og til vægge, som ikke fjernes. Man kan også benytte en flydende membran, der sprøjtes på, og som derfor er uden samlinger.

Visse membransystemer fastgøres på væggen med såkaldte klemmelister. Klemmelisterne fastgøres på væggen med skruer og fikserer derved membranen til væggen i en lufttætningssamling. I skruehullerne vil membranen blive perforeret. Disse huller tætnes ved at påsmøre en lufttætnende fugemasse på bagsiden af klemmelisterne. Efter montering tætnes toppen

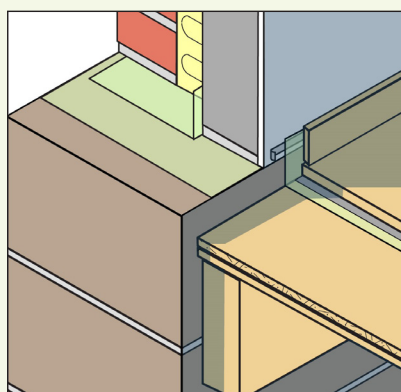
og bunden af klemmelisterne desuden med en lufttætnende fugemasse, og membranen klæbes til væggen.

Omkring alle rørgennemføringer i membransystemet monteres manchetter. Manchetterne købes oftest færdigstøbte. De skal slutte tilstrækkelig lufttæt til de enkelte rør og klæbes til membranen. Efter etablering af membransystemet er det nødvendigt at beskytte og afdække det med et slidlag og/eller et gulv.

**Bemærk:** Efter etablering af membransystemet er det vigtigt at sikre, at alle samlinger er lufttætnede. Er det ikke tilfældet, vil tiltaget ikke have den ønskede effekt. I værste tilfælde kan effekten helt udeblive. Lufttætheden kan i nogle tilfælde kontrolleres ved at injicere en sporgas under gulvet. Herefter kan man spore eventuelle luftindtrængningspunkter ved at måle med en detektor over gulvet. Vurderer man, at væggen er en væsentlig indtrængningsvej, bør den behandles, se tiltag 2, Lufttætning af kældervægge og -gulve.



*Egnet membransystem på den eksisterende betonplade. Over membransystemet er der udlagt et beskyttende slidlag.*



*Membransystemet kan beskyttes af en spånplade, geotekstil, fiberdug eller lignende.*

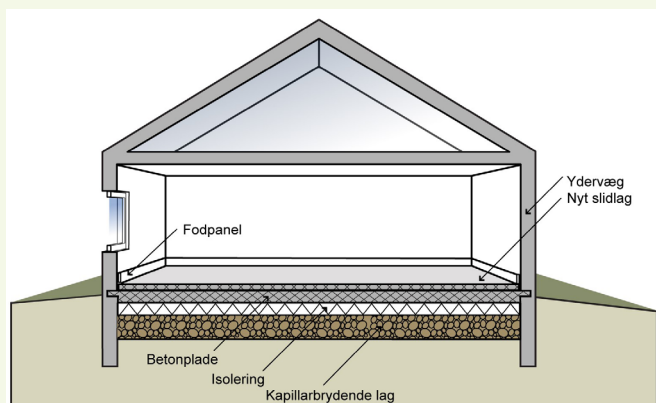
## Udskiftning eller etablering af betonplade i terrændæk (1/2)

Betonpladen i terrændækket udgør oftest den væsentligste barriere mod indtrængning af radon til indeluften. Indtrængningen af radon kan være stor, hvis pladen er forvitret, hvis der er gennemgående revner, lufttætte fuger, eller hvis terrændækket er opbygget helt uden betonplade. I sådanne tilfælde vil udskiftning eller etablering af en ny betonplade være en løsning, hvis radonniveauet skal reduceres betydeligt.

**Effekt:** Tiltaget vil have effekt efter kort tid, og man kan opnå en reduktion af radon i indeluften på 20-80 %<sup>1</sup>.

Arbejdsindsatsen er meget varierende, når det kommer til at udskifte eller etablere en ny betonplade i terrændækket. I nogle tilfælde skal et eksisterende terrændæk fjernes, før et nyt terrændæk med en armeret betonplade kan etableres. Udskiftningen kan medføre, at der er behov for at sikre husets stabilitet.

Dertil kommer fjernelse og genetablering af gulvbelægning. I den situation bør man undersøge, om det vil være muligt og mere hensigtsmæssigt at etablere et radonsug, se tiltag 10, Radonsug, eller eventuelt at lægge et egnet membransystem til radonsikring<sup>2</sup>, se tiltagene 2, Lufttætning af kældervægge og -gulve, 3, Lufttætning af etageadskillelse og 9, Etablering af membransystem.



*Etablering en ny betonplade i terrændæk. Det kan være nødvendigt også at etablere ny isolering og et nyt kapillarbrydende lag. Et suglag kan etableres i det kapillarbrydende lag.*

**Risici:** Når den oprindelige gulvkonstruktion fjernes, er det vigtigt, at man er opmærksom på bygningens stabilitet. Før man fjerner gulvet i store rum, kan det være nødvendigt at afstive bygningens hjørner midlertidigt.

**Anlægsbeskrivelse:** For at kunne etablere en ny betonplade skal det eksisterende terrændæk eller den eksisterende betonplade fjernes og bortskaffes. Herefter kan man opbygge et nyt terrændæk med en ny betonplade.

For at sikre korrekt gulvhøjde kan det være nødvendigt at udskifte hele terrændækket og foretage yderligere bortgravning.

Det nye terrændæk opbygges af et kapillarbrydende lag, et isolerende lag og en svindarmeret betonplade. Det anbefales, at der etableres et suglag i det kapillarbrydende lag. Suglaget kan bruges til at etablere et radonsug, se tiltag 10, Radonsug.

For at sikre lufttætningen i konstruktionen kan man eventuelt indbygge et egnet membransystem i konstruktionen, se tiltag 9, Etablering af membransystem.

Vedligehold: En ny betonplade skal ikke vedligeholdes og har typisk en levetid, der mindst svarer til husets levetid.

<sup>1</sup>Miljøprojekt nr. 750, 2003. Teknologiuudviklingsprogrammet for jord- og grundvandsforurening. Afværgekatalog – tidlig indsats overfor indeklima påvirkning.

<sup>2</sup>Rasmussen & Cornelius. 2018. SBI-rapport 2018:06, Egnede Membransystemer til radonsikring - Vurdering af ti membransystemer.

## Udskiftning eller etablering af betonplade i terrændæk (2/2)

Fjernelse af den eksisterende betonplade: Det kan være hensigtsmæssigt at fjerne hele det eksisterende terrændæk, når man fjerner den eksisterende betonplade. Dette gøres ved at bryde gulvet op og grave ud under konstruktionen. I forbindelse med at gulvet fjernes, er det vigtigt at sikre bygningens stabilitet.

I visse tilfælde kan man, af hensyn til stabiliteten, foretage en udstøbning på den eksisterende betonplade. Højden fra gulv til loft kan dog blive så lav, at det ikke vil være muligt at lave en udstøbning på den eksisterende betonplade.

Etablering af en ny betonplade: Det nye terrændæk bør opbygges med et kapillarbrydende lag, dernæst isolering, og herover en svindarmeret betonplade. Suglag etableres i det kapillarbrydende lag.

Langs alle kanter skal man lægge trykfast isolering som kantafrænsning. Kantafrænsningen er en lodretstående trykfast isolering. Når betonpladen er udstøbt, skal der langs alle vægge og over kantisoleringsen lægges en elastisk, lufttætnende fuger eller en membran, der klæbes til betonpladen og væggen. Er der tale om en kælder, kan man vælge at udstøbe en hulkel for at mindske indtrængning af radon mellem terrændæk og væg.

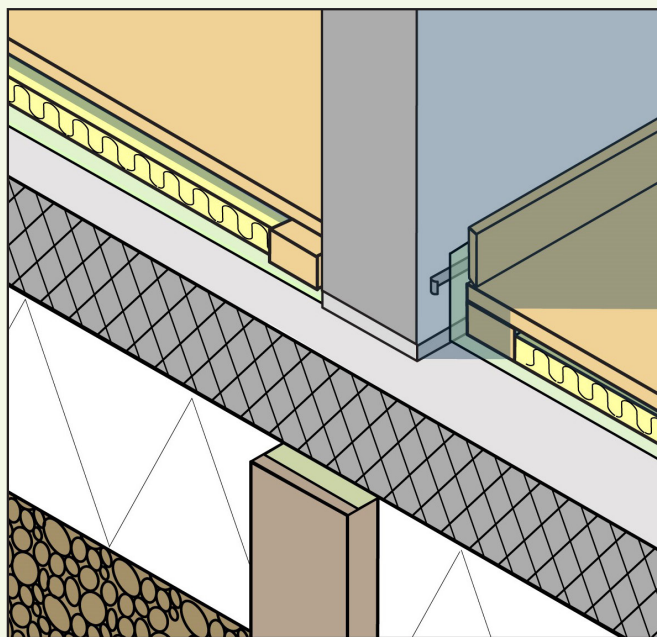
Betonpladens størrelse begrænses til regulære arealer på 25-30 m<sup>2</sup>. Er det enkelte rum større end dette, kan man udstøbe flere selvstændige betonplader. Betonpladerne samles herefter med elastiske og lufttætnende dilatationsfuger. Når man støber omkring gennemføringer, fx rørgennemføringer og gulv afløb, er det vigtigt at lufttætnes samlinger. Lufttætning kan ske med elastisk fuger eller ved hjælp af manchetter, se tiltag 4, Lufttætning af gennemføringer.

**Bemærk:** Det er vigtigt, at den nye betonplade opnår en tilstrækkelig, varig lufttæthed. Opstår der revner og lufttætheder langs vægge, rørgennemføringer og gennemgående svindrevner, kan radon trænge ind i huset. Effekten af tiltaget afhænger derfor af, om terrændækket er eta-

bleret korrekt, herunder om betonen er hærdet korrekt. Det betyder, at betonpladen efter udstøbning skal overdækkes i mindst fire døgn, for at den ikke udtørres og revner.

For at sikre, at betonpladen bliver tilstrækkelig lufttæt, kan betonpladen udføres efter følgende retningslinjer:

- Mindst 100 mm tyk (mindst beton 20)
- Vibrering efter udstøbning
- Mindst Ø5 mm armering i begge retninger med en maskevidde på 150 mm.
- Beskyttes mod udtørring i ca. fire døgn.



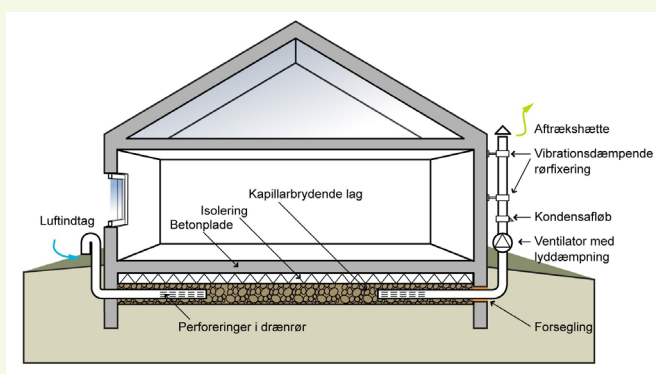
Ny betonplade med membran ved eksisterende bærende indervæg.

## Ventilation af suglag (1/2)

Ventilation af suglaget under husets nederste gulvkonstruktion er en effektiv metode til at nedbringe radon i indeluften. Det kan være en løsning, hvis radonniveauet skal reduceres betydeligt. Ventilation af suglaget vil fortynde og bortlede radonholdig luft. Ventilationen kan være passiv eller aktiv. Et suglag kan bestå af fx coatede, løse letklinker, nøddesten eller singels. Løsningen anvendes typisk i forbindelse med bekæmpelse af jordforurening. Ventilation af suglaget er et alternativ til radonsug, se tiltaget 'Radonsug'.

**Effekt:** Anlægget har effekt umiddelbart efter etablering. Man kan opnå en reduktion af radon i indeluften på 50-99 %<sup>1,2</sup>. Aktiv ventilation med en mekanisk ventilator vil have størst effekt. Anlæggets effekt afhænger af luftens evne til at flytte sig i suglaget. Jo lettere luften kan trænge igennem materialet, desto højere er effektiviteten. Da luften i suglaget trækkes langs gulvkonstruktionens underside, er der risiko for, at radon trænger ind til indeluften, hvorved effekten af tiltaget reduceres.

Effekten af et passivt sug afhænger af temperaturforskellen mellem inde og ude og vinden, der passerer hen over afkastkanalens overside. Effekten falder typisk om sommeren<sup>3</sup>. Et aktivt sug er mere effektivt.



*Aktiv ventilation i suglag med ventilator i bygningens ene side og luftindtag med svanehal i bygningens modsatte side.*

**Anlægsbeskrivelse:** Anlægget har oftest uden-dørs kanalføring. Det udføres ved at bore et eller

flere huller i fundamentet og presse perforerede drænrør ind under bygningen. Drænrørene lægges i et suglag under gulvkonstruktionen med en hældning mod bygningens midte på ca. 5 ‰. Hvis der er flere drænrør, kan disse samles i en aftrækskanal og føres til samme afkastkanal, der føres over terræn eller tag.

I et passivt anlæg kan afkastkanalen fx afsluttes med en vindhætte over tag. I en aktiv installation monteres ventilatoren typisk i et loftsrum eller udendørs i en vejrtæt kasse, der er tilsluttet en afkastkanal med aftrækshætte. En kanalventilator kan også benyttes. Ventilationen i suglaget kan sikres ved at etablere luftindtag. Disse kan udføres ved at føre perforerede drænrør gennem fundamentet til suglaget. Drænrørene etableres hver for sig og føres direkte til en svanehal eller en rist i fundamentet over terræn. Man bør sikre, at rørgennemføringen er lufttætnet.

Lufttæthed kan opnås ved almindelig tætning af rørgennemføringen, se tiltaget 'Lufttætning af gennemføringer'.

**Bemærk:** Passive anlæg bør have indvendig kanalføring for at sikre termisk opdrift. Desuden bør de udføres, så en ventilator let kan tilsluttes, hvis tiltaget ikke har den ønskede effekt. Aftrækskanaler bør have så få knæk og bøjninger som muligt for at minimere tryktab og støjgener fra en eventuel ventilator. Aftrækskanaler bør ikke monteres i en let indervæg, fordi evt. senere installation af en eldreventilator kan medføre vibrationer og støj. (fortsætter)

<sup>1</sup>Miljøprojekt nr. 750, 2003. Teknologiuudviklingsprogrammet for jord- og grundvandsforurening. Afværgekatalog – tidlig indsats overfor indeklimapåvirkning.

<sup>2</sup>WHO Handbook on indoor radon. A public health perspective. 2009. World Health Organization.

<sup>3</sup>Haker Høegh. B & Rasmussen. T. V. 2016. Effektivitet af naturligt drevne radontiltag året rundt.



## Ventilation af suglag (2/2)

Borer man gennem gulv- og loftsstrukturen, bør man sikre, at der ikke sker skader på konstruktionen eller på skjulte installationer, fx gulvvarmeanlæg eller forsyningskabler.

**Vedligehold:** Luftindtag skal holdes rene. I passive anlæg med vindhætte bør vindhætten løbende efterses. Aktive anlæg med ventilator kræver eftersyn af ventilatoren. Ventilatorer har en forventet levetid på fem år. Man må aldrig slukke ventilatoren, da kontinuerlig drift er nødvendig for at sikre høj effektivitet.

**Placering af anlæg:** Udsugningspunkter etableres ved at bore gennem fundamentet og indføre et eller flere drænrør til suglaget under gulvkonstruktionen. Den del af drænrørene, der ligger under huset terrændæk, skal være perforerede. Det er dog vigtigt, at rørene ikke er perforerede tæt på fundamentet, da der derved kan suges udeluft ind under selve huset.

Antal og placering af drænrør afhænger fx af fundamenter under indvendige vægge. Disse kan spærre for luftstrømmene i suglaget. Er det nødvendigt at etablere flere sug, samles disse i en aftrækskanal, som føres i eller uden for bygningen til en afkastkanal. Når flere sug samles i en aftrækskanal, skal man øge dimensionen af kanalen for at mindske tryktabet. Luftindtag installeres på den ene side af bygningen, mens sug installeres på den anden side. Luftindtag føres fra over terræn og gennem fundamentet. Over terræn er luftindtaget fx tilsluttet en svanehal eller rist.

Aftrækskanal føres til en ventilator. Ventilatoren installeres oftest i loftsrum, men kan også monteres udenfor eller i opholdsrum. Ventilatoren bør lyd-dæmpes. Ventilatoren kan være en kanalventilator.

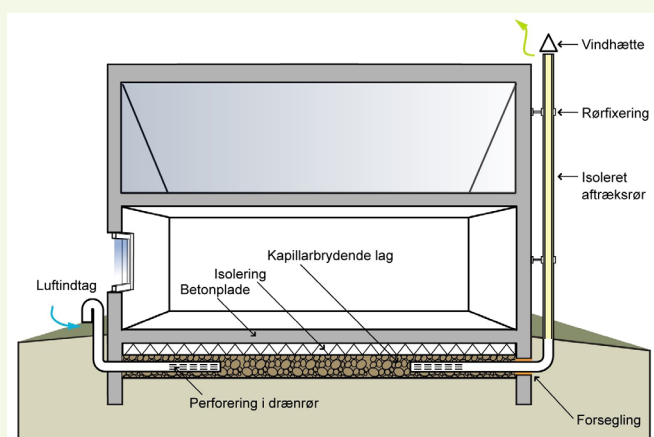
**Ventilatorstørrelse:** En ventilator har typisk en størrelse på 30-300 W og en kapacitet på 100-300 m<sup>3</sup>/h.

**Kanalføring:** Alle kanaler og samlinger skal være lufttætnet. Kanalføringer kan lyd-dæmpes og eventuelt skjules i konstruktionen. Afkastkana-

ler med passivt sug skal føres til over tag. Er der tale om mekanisk ventilation, kan afkastkanaler føres direkte til det fri, fordi det her er ventilatoren og ikke de termiske forhold og vind, der skaber suget. Bemærk dog, at afkastkanaler ikke må placeres, så afkastluft føres til indeluften via vinduer eller andre ventilationskanaler. I et aktivt anlæg skal kanaler have så få bøjninger og knæk som muligt for at mindske tryktab og støj.

Passive anlæg bør udføres, så en mekanisk ventilator let kan monteres. Aftrækskanaler bør ikke placeres i en let væg, fordi evt. senere installation af en eldreven ventilator kan medføre vibrationer og støj i væggen. Er anlægget passivt, skal kanaler udenfor eller i kolde loftsrum isoleres.

Tætning af gulvkonstruktion i stueetage: For at sikre tiltagets effektivitet bør man kontrollere, at gulvkonstruktionen er lufttætnet, og at rørgennemføringerne er tiltrækkelig lufttætte. Lufttætning kan ske efter de generelle tætningsprincipper, se tiltag 1, Lufttætning af betonplade i terrændæk og 4, Lufttætning af gennemføringer. Der kan også indbygges et egnet membransystem under gulvbelægningen, se tiltag 9, Etablering af membransystem.



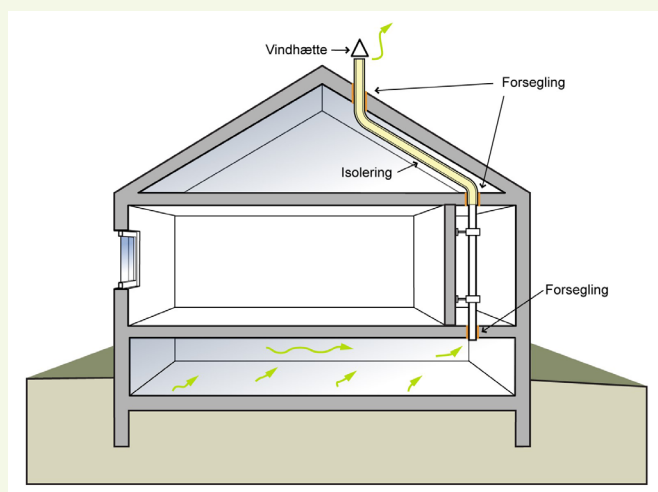
*Passiv ventilation i suglag. Aftrækskanalen er ført udendørs langs muren til en afkastkanal med vindhætte, der er ført over tag. Aftrækskanalen og afkastkanalen er isoleret og bør være placeret på solsiden af huset. Luftindtaget med svanehal er monteret i bygningens modsatte side.*



## Sug i krybekælder eller kælder (1/2)

Et sug i en krybekælder eller kælder kan effektivt nedbringe radon i husets indeluft. Det kan være en løsning, hvis radonniveauet skal reduceres betydeligt. Systemet skaber et lavt lufttryk i kælderen eller krybekælderen. Lufttrykforskellen mellem rummet over kælderen og kælderen bliver derfor mindre eller lavest i kælderen eller krybekælderen. Det betyder, at mindre luft suges ind i beboelsen gennem gulvkonstruktionen. Er lufttrykket i kælderen eller krybekælderen det samme som lufttrykket i beboelsen, vil lufttrykforskellen være nul. Det betyder, at der ikke suges radon ind. Lufttrykket i kælder eller krybekælder kan holdes lige under lufttrykket i rummet over kælderen. Lufttrykket i krybekælder eller kælder sænker man ved at føre en kanal fra krybekælder eller kælder til over tag. Via kanalen suges luft, så lufttrykket sænkes. Systemet kan være passivt eller aktivt. I et aktivt system med ventilator behøver man ikke at føre afkast over tag, da det er ventilatoren og ikke de termiske forhold og vind, der opretholder suget.

**Effekt:** Anlægget har effekt umiddelbart efter etablering. Effekten afhænger af, om det er passivt eller aktivt. Man kan opnå en reduktion af radon i indeluften på 0-50 % med et passivt sug<sup>1</sup> og 50-99 % med et aktivt sug<sup>1</sup>. Effekten af et passivt sug falder typisk om sommeren<sup>2</sup>.



Passiv installation med indendørs kanalføring, der afsluttes med et afkast med vindhætte over tagryggen. Ved denne type ventilation er det vigtigt, at alle kanaler og samlinger er lufttætnet. Desuden skal kanaler i kolde rum, fx loftsrum, isoleres.

**Anlægsbeskrivelse:** Anlægget udføres ved at etablere et eller flere udsugningspunkter i krybekælder eller kælder. Udsugningen føres via aftrækskanal til afkast. Aftrækskanalen kan føres indendørs eller udendørs. Udføres flere udsugningspunkter, kan disse samles og føres til en afkastkanal, som føres til over terræn (aktivt system) eller over tagryg (passivt system). I et passivt anlæg kan afkastkanalen afsluttes med en vindhætte over tagryg. I en aktiv installation monteres ventilatoren typisk i et loftsrum eller udendørs i en vejrtæt kasse. Kanaler og gennemføringer skal være lufttætnet, og gulvet i stueetagen skal være lufttætnet. Tætning kan udføres efter de generelle tætningsprincipper, se tiltag 3, Lufttætning af etageadskillelse og 4, Lufttætning af gennemføringer. Man kan eventuelt indbygge et egnet membransystem under gulvet i stueetagen for at sikre tilstrækkelig lufttæthed, se tiltag 9, Etablering af membransystem.

**Bemærk:** Passive anlæg bør have indvendig kanalføring for at sikre træk i kanalen. Desuden bør anlægget udføres, så en eventuel vindhætte nemt kan udskiftes med en mekanisk ventilator, hvis tiltaget ikke har den nødvendige effekt. Aftrækskanalen bør have så få knæk og bøjninger som muligt for at mindske tryktab og støj fra ventilatoren. Når man borer gennem gulvkonstruktionen, bør man sikre, at der ikke sker skader på konstruktionen eller på skjulte installationer, fx gulvvarmeanlæg eller forsyningskabler. Det er overordentlig vigtigt, at fugt ikke ophober sig i gulvkonstruktion, kælder eller krybekælder.

**Vedligehold:** Passive anlæg er vedligeholdelsesfri, men en eventuel vindhætte bør efterses. Aktive anlæg med ventilator kræver løbende vedligehold. Ventilatoren har en forventet levetid på fem år. Man må aldrig slukke ventilatoren, da kontinuerlig drift er nødvendig for at sikre høj effektivitet.

<sup>1</sup>WHO Handbook on indoor radon. A public health perspective. World Health Organization, 2009.

<sup>2</sup>Haker Høegh. B & Rasmussen. T. V. 2016. Effektivitet af naturligt drevne radontiltag året rundt. Høje Taastrup: InnoBYG v/ Teknologisk Institut.

## Sug i krybekælder eller kælder (2/2)

Placering af anlæg: Aftrækskanaler fra udsugningspunkter kan føres udendørs gennem vægge eller gennem huset til afkast over taget. Et passivt sug kan afsluttes med en vindhætte over taget. I et aktivt sug monteres ventilatoren oftest i loftsrummet, men kan installeres udendørs eller i de beboede rum. Ventilatoren bør lyddæmpes. En kanalventilator kan også benyttes.

Der kan være ét eller flere udsugningspunkter i krybekælderen eller kælderen. Indretningen af kælderen eller krybekælderen kan have betydning for udsugningspunkternes antal og placering.

Er det nødvendigt med flere udsugningspunkter, samles kanaler fra disse i én aftrækskanal. Når flere sug samles i en aftrækskanal, skal man øge dimensionen af aftrækskanalen og afkastkanalen for at mindske tryktab.

**Ventilatorstørrelse:** En ventilator har typisk en størrelse på 30-300 W og en kapacitet på 100-300 m<sup>3</sup>/h.

**Kanalføring:** Alle kanaler og samlinger skal være lufttætnet. Kanalføringen kan lyddæmpes og evt. skjules i konstruktionen.

En afkastkanal med passivt sug skal føres over tag. Er der tale om et simpelt mekanisk sug med ventilator, kan afkast føres direkte til det fri, fordi det her er ventilatoren og ikke de termiske forhold og vind, der skaber suget. Bemærk dog, at afkastkanalen ikke må placeres, så radonholdig luft føres til indeluften via vinduer eller andre ventilationskanaler.

Kanaler skal have så få bøjninger og knæk som muligt for at mindske tryktab og støj fra et aktivt anlæg.

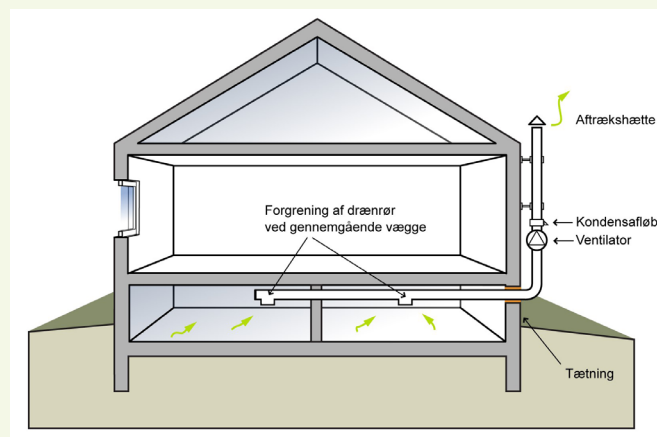
Passive anlæg bør udføres, så en mekanisk ventilator let kan monteres. Aftrækskanal bør ikke etableres i eller ved en let væg, fordi evt. senere installation af en eldreven ventilator kan medføre vibrationer og støj i væggen. I et passivt

anlæg bør man isolere rør, der sidder udendørs eller i kolde loftsrum.

Tætning af gulvkonstruktion i stueetage: For at sikre tiltagets effektivitet, bør man kontrollere om gulvkonstruktion og rørgennemføringer er lufttætnet. Lufttætning kan udføres efter de generelle tætningsprincipper, se tiltag 3, Lufttætning af etageadskillelse og 4, Lufttætning af gennemføringer.

Man kan også indbygge et egnet membransystem under gulvbelægningen, se tiltag 9, Etablering af membransystem.

Undgå fugtophobning i gulvkonstruktion, kælder eller krybekælder. Fugtophobning kan undgås ved at opvarme kælderen eller krybekælderen. Man kan også anvende en affugter med afløb til det fri.



*Aktiv installation med ventilator og udvendig føring af aftrækskanal. Ved denne type ventilation er det vigtigt, at alle kanaler og samlinger er lufttætnet.*

## Radonsug (1/3)

Et radonsug kan effektivt nedbringe radon i husets indeluft og kan være en god løsning, hvis radonniveauet skal reduceres betydeligt.

Suget virker ved at det sænker lufttrykket under den nederste gulvkonstruktion i bygningen. Derved bliver lufttrykforskellen mellem gulvkonstruktionens underside og overside mindre. Det betyder, at mindre jordluft bliver suget ind i huset. Skaber radonsuget et lufttryk under gulvkonstruktionen som er lig med lufttrykket over gulvkonstruktionen inde, er lufttrykforskellen nul. Er der ingen lufttrykforskel, vil der hverken blive suget radon eller jordluft ind.

Sænkes lufttrykket under gulvkonstruktionen til et lufttryk lavere end over gulv rettes luftstrømmen mod gulvkonstruktionens underside. I praksis er det tilstrækkeligt at lufttrykket under gulvkonstruktionen holdes lige under lufttrykket over gulv inde i bygningen. Man sænker lufttrykket under gulvkonstruktionen ved at suge luft via en kanal fra en brønd under gulvkonstruktionen. Den kan fx placeres i det kapillarbrydende lag eller et tilsvarende lag. En aftrækskanal herfra føres over husets tag.

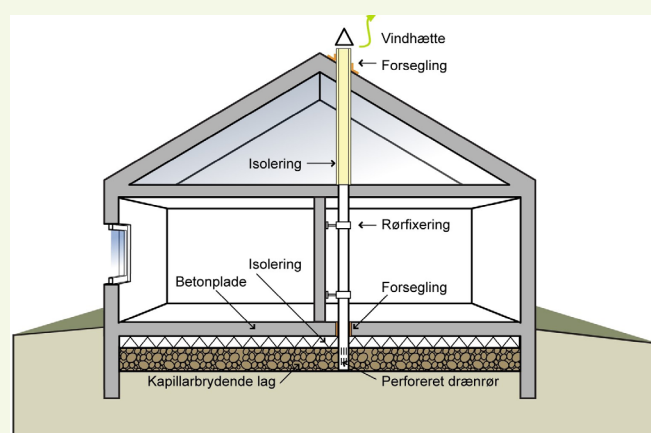
Systemet kan være passivt eller aktivt. I det passive system trækkes luften ud under gulvkonstruktionen ved hjælp af skorstenseffekten gennem aftrækskanalen og ud via afkastkanalen. I det aktive system er det en ventilator, der sørger for at jordluften transporteres gennem aftrækskanalen og ud via afkastkanalen.

**Effekt:** Anlægget har effekt umiddelbart efter opstart. Effekten afhænger af, om radonsuget er passivt eller aktivt. Et passivt radonsug kan reducere radon i indeluften med 30-70 %<sup>1,2</sup>.

Effekten af et passivt sug afhænger af temperaturforskellen mellem inde og ude og vinden, der passerer hen over afkastkanalens overside. Effekten af et passivt sug falder typisk om sommeren<sup>3</sup>. Et aktivt sug er mere effektivt og kan reducere radon i indeluften med 50-99 %<sup>1,2</sup>. Lufttrykket skal sænkes under hele gulvkonstruktionen. Det kan derfor blive nødvendigt at

etablere flere brønde.

**Anlægsbeskrivelse:** For at anlægget får størst mulig effekt, er det en god idé at placere brønden centralt i bygningen. En brønd kan konstrueres ved at bore et ca. 120 mm stort hul gennem gulvkonstruktionen og udgrave en brønd under gulvet. *(fortsætter på næste side)*



*Etablering en ny betonplade i terrændæk. Det kan være nødvendigt også at etablere ny isolering og et nyt kapillarbrydende lag. Et suglag kan etableres i det kapillarbrydende lag.*

<sup>1</sup>WHO Handbook on indoor radon. A public health perspective. 2009. World Health Organization.

<sup>2</sup>EPA 402/K-10/005 September 2010. Consumer's Guide To Radon Reduction. How to fix your home. United States Environmental Protection Agency.

<sup>3</sup>Haker Høegh. B & Rasmussen. T. V. 2016. Effektivitet af naturligt drevne radontiltag året rundt. Høje Taastrup: InnoBYG v/ Teknologisk Institut. 27 s.

## Radonsug (2/3)

---

Der findes industrielle løsninger, hvor brønden er integreret i et rør. Røret er perforeret i den ende, som udgør radonbrønden. Aftrækskanalen fra brønden kan føres i indvendige vægge eller i en installationsskakt, fx til over taget. Anlægget kan om nødvendigt etableres udendørs med kanalføring gennem fundamentet. Man kan udføre dette anlæg ved at bore hul i fundamentet og presse perforerede drænrør ind under bygningens gulvkonstruktion.

Er der flere brønde, kan disse med fordel samles i ét indendørs eller udendørs kanalsystem. Systemet skal være lufttætnet fra brønden under gulvkonstruktionen til afkast udendørs. Brønde skal etableres i et egnet suglag, fx coatede, løse letklinker, nøddesten eller singels.

**Bemærk:** Når man borer gennem gulv- og lofts konstruktion, bør man sikre, at der ikke sker skader på konstruktion eller på skjulte installationer, fx gulvvarmeanlæg eller forsyningskabler.

**Vedligehold:** Et passivt radonsug er vedligeholdelsesfrit, men etableres det med en vindhætte bør den løbende efterses. Aktive anlæg med ventilator kræver vedligeholdelse af ventilatoren, der typisk har en levetid på fem år. Man må aldrig slukke ventilatoren, da kontinuerlig drift er nødvendig for at sikre høj effektivitet.

Placering af anlægget: Normalt installerer man blot et enkelt radonsug centralt i huset. Et aktivt radonsug med mekanisk ventilator vil oftest have effekt over et areal på 150-200 m<sup>2</sup>. Effekten kan dog reduceres af fundamenter under indvendige vægge, som gennembryder suglaget under betonpladen i terrændækket.

Derfor er det vigtigt at undersøge sådanne konstruktionsmæssige forhold, inden man går i gang med tiltaget. Hvis det er nødvendigt at installere flere radonbrønde, føres kanaler fra disse til én afkastkanal. Samles flere radonbrønde i en aftrækskanal, skal man øge aftrækskanalens dimension for at mindske tryktabet.

**Brønd:** Brønden er et hulrum under gulvkonstruktionen, hvorfra der suges, og den skal være placeret centralt under bygningen. Brønden skal udføres, så den ikke kollapser og kan konstrueres af præfabrikerede elementer.

**Perforeret drænrør:** Anlægget kan etableres udefra med kanalføring gennem fundamentet. Dette kan ske ved at bore gennem fundamentet og indføre et drænrør til suglaget under gulvkonstruktionen. Den del af drænrøret, der ligger under huset, skal være perforeret. Det er dog vigtigt, at rørene ikke er perforerede for langt ud mod fundamentet for at sikre, at der kun suges luft fra under selve huset. Røret skal lægges med en hældning på ca. 5 ‰ mod bygningens midte. Det er vigtigt, at gennemføringen er lufttætnet.

**Ventilatorstørrelse:** Den typiske ventilator har en størrelse på 30-300 W og en kapacitet på 100-300 m<sup>3</sup>/h. En kanalventilator kan benyttes.

**Kanalføring:** Installationen skal være lufttætnet. Kanaler kan lyddæmpes og eventuelt skjules i konstruktionen. Afkastkanalen skal som hovedregel føres til over tag. Er der tale om aktivt sug med mekanisk ventilator, kan afkastkanalen blot føres til det fri, fordi det her er ventilatoren og ikke skorstenseffekten, der skaber suget. Bemærk dog, at afkastkanalen ikke må placeres, så afkastluft føres til indeluften via vinduer eller andre ventilationskanaler.

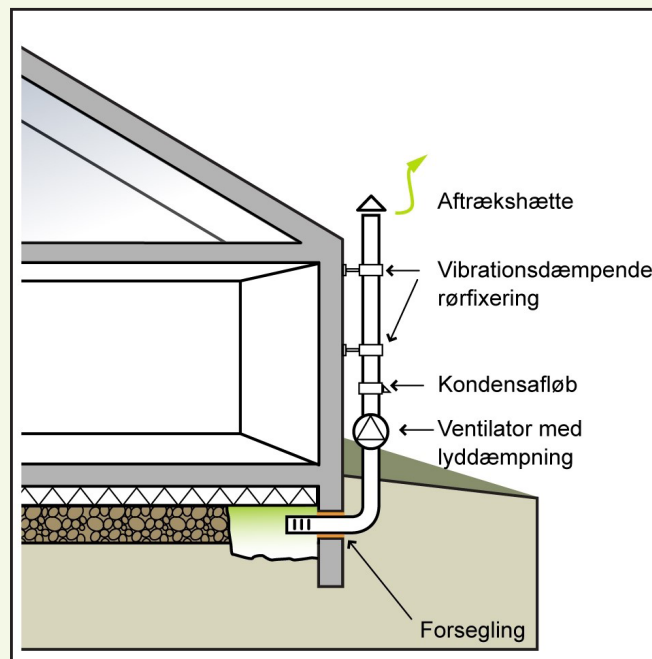
## Radonsug (3/3)

Kanaler skal have så få bøjninger og knæk som muligt for at mindske tryktab og støj i et aktivt anlæg.

Passive anlæg bør udføres, så man let kan montere en mekanisk ventilator og derved gøre radonsuget aktivt. Aftrækskanaler bør ikke monteres i en let indervæg, fordi evt. senere installation af en eldreven ventilator kan medføre vibrationer og støj. Desuden skal man isolere kanaler i et passivt anlæg, hvis kanalerne føres ude eller gennem et koldt loftsrum.

### **Tætning af gulvkonstruktion i stueetage:**

For at sikre radonsugets effektivitet skal man sørge for, at gulvkonstruktionen er tilstrækkelig lufttæt, og at gennemføringen til radonbrønden er lufttæt. Tætningen kan udføres efter de generelle tætningsprincipper, se tiltag 1, Lufttætning af betonplade i terrændæk og 4, Lufttætning af gennemføringer. Desuden kan man indbygge et egnet membransystem under gulvbelægningen, se tiltag 9, Etablering af membransystem. Når man lufttætnet, skal man tage højde for indtrængning af radon via gennemføringer, revner og fuger i betonpladen.



*Aktivt radonsug med kanalføring ude og ventilator. Kanalen til radonbrønden er udført ved at bore gennem fundamentet og grave ud til en brønd under gulvkonstruktionen.*

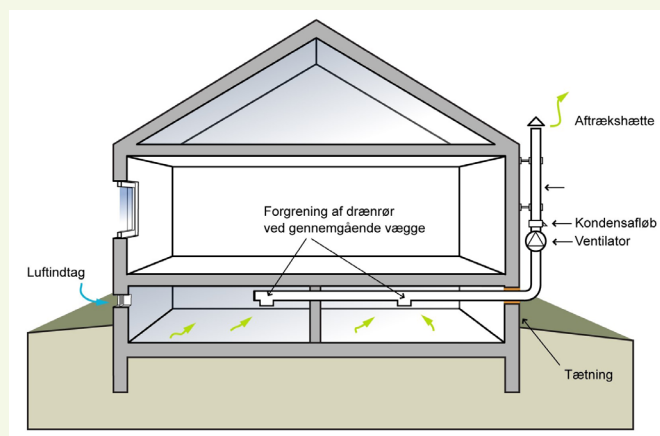
## Ventilation af kælder og krybekælder (1/2)

At ventilere en krybekælder eller kælder kan effektivt nedbringe radon i husets indeluft. Det kan være en løsning, hvis radonniveauet skal reduceres betydeligt. Ventilationen vil fortynde og bortlede radonholdig luft, inden det trænger op i de beboede rum. Systemet kan være passivt eller mekanisk.

**Effekt:** Anlægget har effekt umiddelbart efter etablering. Effekten afhænger af, om det er passivt eller mekanisk. Man kan opnå en reduktion af radon i indeluften på 0-95 % med passiv ventilation<sup>1, 2, 3</sup> og 50-99 % med mekanisk ventilation<sup>1, 2, 3</sup>. I et passivt anlæg er det de termiske forhold og vinden, der opretholder suget.

**Anlægsbeskrivelse:** Anlægget udføres ved at etablere et eller flere udsugningspunkter i krybekælder eller kælder. Udsugningspunkterne vil via en aftrækskanal blive drevet af et passivt sug eller en mekanisk ventilator.

Er der flere udsugningspunkter, kan disse samles og føres via aftrækskanal til én afkastkanal. Aftrækskanalen kan føres udendørs eller gennem huset til afkast op over taget. I et passivt anlæg kan afkastkanalen afsluttes med en vindhætte. I et mekanisk anlæg monteres ventilatoren typisk i loftsrummet eller udendørs i en vejrtæt kasse. En kanalventilator kan også benyttes. Ventilation i krybekælder eller kælder sikres ved at etablere luftindtag med riste, som er placeret i fundamentet over terræn. Luftindtagene skal give fri passage til udeluften, se tiltag 6, Øget luftskifte i kælder og beboede rum.



Mekanisk ventilation i krybekælder. Ventilatoren er placeret udendørs og luftindtaget er ført gennem soklen.

Kanaler og samlinger skal være lufttætnet. Gulvkonstruktionen i de beboede rum i stueetagen skal også være lufttætnet. Lufttætning kan udføres efter de generelle tætningsprincipper, se tiltag 3, Lufttætning af etageadskillelse og 4, Lufttætning af gennemføringer. Man kan eventuelt indbygge et egnet membransystem i gulvkonstruktionen, se tiltag 9, Etablering af membransystem.

**Bemærk:** Passive anlæg bør have indvendig kanalføring for at sikre termisk opdrift i røret. Desuden bør anlægget udføres, så en mekanisk ventilator nemt kan monteres, hvis tiltaget ikke har den nødvendige effekt.

Aftrækskanaler bør have så få knæk og bøjninger som muligt for at mindske tryktab og støj fra ventilatoren.

Når der bores gennem gulv- og lofts konstruktion, bør man sikre, at der ikke sker skader på konstruktionen eller på skjulte installationer, fx gulvvarmeanlæg eller forsyningskabler.

Undgå fugtophobning i gulvkonstruktion, kælder eller krybekælder.

**Vedligehold:** Luftindtag skal holdes rene. I passive anlæg bør en eventuel vindhætte efterses jævnligt. Mekanisk anlæg med ventilator kræver løbende vedligehold. Ventilatorerne har en forventet levetid på fem år. Man må aldrig slukke ventilatoren, da kontinuerlig drift er nødvendig for at sikre høj effektivitet.

<sup>1</sup>Miljøprojekt nr. 750, 2003. Teknologjudviklingsprogrammet for jord- og grundvandsforurening. Afværgekatalog – tidlig indsats overfor indeklima påvirkning.

<sup>2</sup>WHO Handbook on indoor radon. A public health perspective. World Health Organization, 2009.

<sup>3</sup>EPA 402/K-10/005 September 2010. Consumer's Guide To Radon Reduction. How to fix your home. United States Environmental Protection Agency.

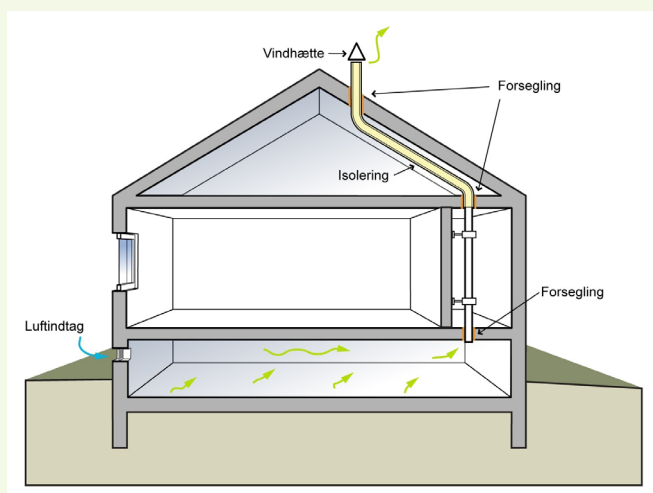


## Ventilation af kælder og krybekælder (2/2)

Placering af anlæg: Aftrækskanal fra udsugningspunkterne kan føres udendørs gennem væggen eller gennem huset til afkast over taget. I en passiv installation kan afkastkanalen afsluttes med en vindhætte. I en mekanisk installation monteres ventilatoren oftest i loftsrummet, men kan installeres udendørs eller i de beboede rum. Ventilatoren bør lyddæmpes. En kanalventilator kan også anvendes.

Luftindtag føres fra det fri og gennem fundamentet til krybekælderen eller kælderen. Der kan udføres ét eller flere luftindtag og udsugningspunkter i krybekælderen eller kælderen. Det er som regel en god idé at indbygge flere luftindtag end udsugningspunkter. Indretningen af kælderen eller krybekælderen kan have betydning for udsugningspunkternes antal og placering.

Er det nødvendigt med flere udsugningspunkter, samles og føres kanaler fra disse til én afkastkanal. Aftrækskanaler kan føres udendørs eller gennem huset til afkast over tag. Når flere sug samles i en kanal, skal man øge dimensionen af kanalen for at mindske tryktabet.



*Passivt anlæg med kanalføring i loftsrum. Aftrækskanalen er ført til en afkastkanal, der er afsluttet med en vindhætte over taget. Luftindtaget er placeret i bygningens modsatte side.*

**Ventilatorstørrelse:** En ventilator har typisk en størrelse på 30-300 W og kapacitet på 100-300 m<sup>3</sup>/h.

**Kanalføring:** Alle kanaler og samlinger skal være lufttætnet. Kanalføringen kan lyddæmpes og eventuelt skjules i konstruktionen. Afkastkanaler med passivt sug skal føres til over tag. Er der tale om et mekanisk anlæg, kan kanalen føres direkte til det fri, fordi det her er ventilatoren og ikke de termiske forhold og vind, der skaber suget. Bemærk dog, at afkast ikke må placeres, så radonholdig luft føres til indeluften via vinduer eller andre ventilationskanaler.

Passive anlæg bør udføres, så en mekanisk ventilator let kan monteres. Aftrækskanaler bør ikke etableres i eller ved en let væg, fordi evt. senere installation af en mekanisk ventilator kan medføre vibrationer og støj i væggen. I et passivt anlæg bør man isolere rør, der sidder udendørs eller i kolde loftsrum.

Lufttætning af gulvkonstruktion i stueetage: For at sikre tiltagets effekt, bør man kontrollere, at gulvkonstruktion og rørgennemføringer er lufttætnet. Lufttætning kan udføres efter de generelle tætningsprincipper, se tiltag 3, Lufttætning af etageadskillelse og 4, Lufttætning af gennemføringer. Man kan også indbygge et egnet membransystem i gulvkonstruktionen, se tiltag 9, Etablering af membransystem.

**Bemærk:** Undgå opfugtning af gulvkonstruktion, kælder eller krybekælder. Opfugtning kan undgås ved at opstille en affugter eller ved at opvarme kælderen eller krybekælderen. Luften kan ligeledes affugtes inden den tilføres kælderen eller krybekælderen.

## Mekanisk ventilation (1/2)

Mekanisk ventilation kan sikre et konstant og tilstrækkeligt luftskifte ved hjælp af en mekanisk ventilator. Ventilering af et hus med udeluft, vil indeluftens indhold af radon blive fortyndet.

Den mekaniske udskiftning af indeluften kan ske ved, at man ved balanceret mekanisk ventilation styrer både indblæsning (tilluft) og udsugning (fraluft). Det betyder, at man også styrer lufttrykforholdene i huset. Typisk genanvender man varmen i fraluft til opvarmning af tilluft. Dette kaldes varmegenvinding. Varmegenvinding kan reducere energiforbruget i bygningen.

Den balancerede ventilation kan køre med både et neutralt lufttryk og et lidt lavere lufttryk inde i forhold til ude. Et neutralt lufttryk indebærer, at man opnår omtrent det samme lufttryk inde, som der er i atmosfæren ude. Den simple mekaniske ventilation, hvor en ventilator sikrer konstant fraluft, vil altid køre med lavere lufttryk inde end ude. Vælger man simpel mekanisk ventilation, skal man være opmærksom på, at man i mindre grad kan kontrollere lufttilførslen, og at man ikke kan tilknytte varmegenvinding.

**Effekt:** Tiltaget vil have effekt efter kort tid. Man kan med mekanisk ventilation opnå en reduktion af radon i indeluften på 30-70 %<sup>1,2</sup>. Den største reduktion opnås med balanceret mekanisk ventilation og den laveste med simpel mekanisk ventilation. Det forudsætter, at luftskiftet er i overensstemmelse med bygningsreglementets krav om et luftskifte på ca. 0,5 gang i timen, og at lufttrykket er neutralt eller lidt lavere inde end ude.

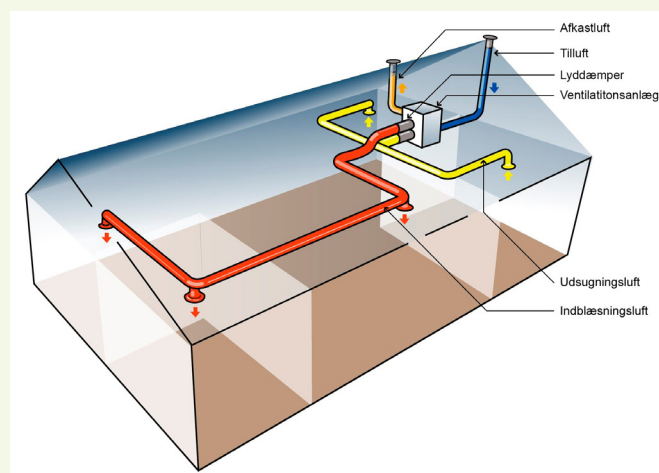
**Risici:** Skaber anlægget et lavere lufttryk inde i huset i forhold til ude, kan det bevirke, at der trænger jordluft med radon ind i huset. Forskellen mellem lufttrykket inde og ude kan minimeres ved at anvende balanceret mekanisk ventilation.

**Anlægsbeskrivelse:** Har huset allerede balanceret mekanisk ventilation, bør man kontrollere, om systemet er indreguleret, så forskellen i lufttryk mellem inde og ude minimeres. Hvis der er forskel, skal lufttrykket være lavest inde.

Etablering af balanceret mekanisk ventilation: Balanceret mekanisk ventilation etableres med en centralt placeret mekanisk ventilator. Man kan tilknytte varmegenvinding til den mekaniske ventilator og der-

med overføre varmen i udsugningsluften (fraluft) til indblæsningsluften (tilluft) via en varmepumpe. I de varme måneder kan processen vendes, så indblæsningsluften afkøles. Den mekaniske ventilationsenhed kan evt. placeres i et loftsrum. Rørføringerne til indblæsning og udsugning kan føres i etageadskillelsen eller i loftsrummet. Rørføringen skal udføres i vakuumeegnede rør. Indblæsnings- og udsugningsarmaturer kan placeres i loftet eller i vægge. Som udgangspunkt etablerer man både indblæsning og udsugning i alle husets rum, så lufttrykforholdene i hele huset er ens. Anlægget bør indstilles til et neutralt lufttryk eller et lidt lavere lufttryk inde i forhold til ude.

**Bemærk:** Det er vigtigt, at den balancerede mekaniske ventilation ikke skaber et højere lufttryk inde i huset, da der derved presses varm fugtig indeluft ud i konstruktionen. Ved den simple mekaniske ventilation sker der en udsugning, men ingen indblæsning. Derfor er der ikke risiko for at skabe et overtryk i huset. Desuden skal man sikre, at luftfugtigheden ikke bliver for høj. Den relative luftfugtighed bør ikke overstige 45 % om vinteren og 60-70 % om sommeren.



*Fordeling af luft med balanceret mekanisk ventilation. Ventilationen er etableret med varmegenvinding. Den brugte luft sendes ud som afkastluft.*

<sup>1</sup>Miljøprojekt nr. 750, 2003. Teknologiuudviklingsprogrammet for jord- og grundvandsforurening. Afværgekatalog – tidlig indsats overfor indeklimapåvirkning.

<sup>2</sup>WHO Handbook on indoor radon. A public health perspective. World Health Organization, 2009.

## Mekanisk ventilation (2/2)

Etablering af simpel mekanisk ventilation: Simpel mekanisk ventilation kan udføres ved at etablere luftindtag og mekanisk udsugning i vinduer eller ydervægge. Udsugningen foregår samtidig med, at der passivt tilføres luft, fx gennem spalteventiler i vinduer eller murventiler. Dette kan give anledning til træk, fordi man ikke kan kontrollere lufttilførslen gennem luftindtagene. Den simple, mekaniske ventilation kan derfor være særlig egnet i rum, hvor man sjældent opholder sig, fx i bryggers og vaskerum.

Udsugning sker ved hjælp af en eller flere mekaniske ventilatorer, som kan have omdrejningsregulator og timetæller. Udsugningspunkterne skal have direkte forbindelse til udeluften. Udsugning og luftindtag placeres, så luften kan strømme frit mellem dem, og så der ikke opstår uventilerede zoner i huset.

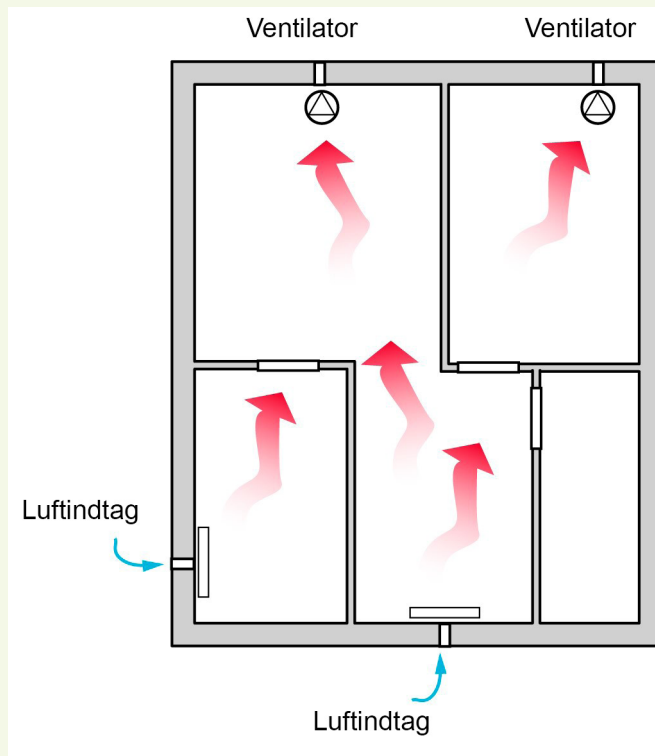
Luftindtag placeres så vidt muligt over en radiator for at minimere risikoen for træk. Udformning af luftindtag er vist i tiltag 6, Øget luftskifte i kælder og beboede rum.

**Bemærk:** Ved etablering af det simple anlæg er det vigtigt, at luftskiftet ikke bliver så højt, at man oplever træk. Lufthastigheden må lokalt ikke overstige 0,15 m/s.

**Vedligehold:** Når anlægget med balanceret mekanisk ventilation er indreguleret, er der efterfølgende minimalt vedligehold. Vedligehold består typisk af filterskifte to til fire gange årligt.

Vedligehold af den simple mekanisk ventilation består i at sikre, at luftindtag og udsugningspunkter ikke er tildækkede eller lukkede.

En simpel mekanisk ventilator har typisk en levetid på fem år. Et anlæg til balanceret ventilation med varmegenvinding har derimod en levetid på op til 25-30 år.



*Simpel mekanisk ventilation. Det er vigtigt, at luften kan passere frit fra rum til rum.*

# Radonbrønd

En radonbrønd er en større installation, designet til at sænke radonkoncentrationen i flere tætliggende bygninger. Det kan være en løsning, hvis radonniveauet skal reduceres betydeligt. Radonbrønde kan benyttes i grusede og sandede jorde, hvor luft let kan trænge igennem. Radonbrønden virker ved at lufttrykket i jorden sænkes betydeligt. Det lave lufttryk forplanter sig over et større område, og suger radonholdig jordluft til sig. Systemet installeres uden for huset.

**Effekt:** Anlægget har effekt umiddelbart efter etablering. Man kan opnå en reduktion af radon i indeluften på 60-95 %<sup>1</sup>, afhængig af de lokale jordforhold.

**Risici:** Afhængig af vandspejlets beliggenhed kan der være risiko for, at det lave lufttryk, som ventilatoren skaber, trækker vand op i brønden. Er det tilfældet, kan ventilatoren tage skade og brøndens ydelse blive nedsat. Desuden er der risiko for, at der kan blive trukket atmosfærisk luft fra jordoverfladen ned i brønden. Det kan betyde, at der ikke sker den nødvendige udbredelse af suget i jorden.

**Anlægsbeskrivelse:** For at sikre anlæggets effekt, bør man lufttætte terrændækkene i de omkringliggende huse. Der kan eventuelt etableres et egnet membransystem under gulvbelægningen, se tiltag 9, Etablering af membransystem.

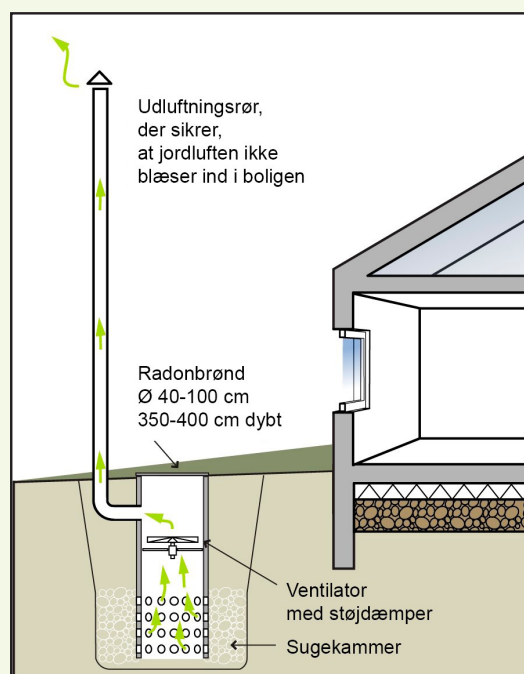
Man konstruerer en radonbrønd ved at grave en 4,0-4,5 m dyb udgravning, hvori man placerer et brøndrør, der er 3,5-4,0 m langt og 0,4-1,0 m i diameter. Røret skal være perforeret i den nederste halvdel for at tillade lufttransport. Øverst lukkes brønden med en lufttætnet lukning, der tillader inspektion og udskiftning af ventilatoren om nødvendigt. Udgravningens nederste halvdel fyldes med meget luftgennemtrængeligt fyld, fx grus, sten eller letklinker. Udgravningens øverste del fyldes op med jord fra udgravningen. Man kan sikre bedre fordeling af suget i jorden ved at fylde den øverste del op med en jordart med lav luftgennemtrængelighed, fx fed ler. I selve brønden installeres en mekanisk ventilator tilsluttet el. En aftrækskanal fører jordluften til et afkast over terræn.

**Ventilatorstørrelse:** Den typiske ventilator har en størrelse på 1-2 kW og en kapacitet på 100-300 m<sup>3</sup>/h.

**Kanalføring:** Kanal, samlinger og brønd skal monteres, så kanalføring og brønddæksel i terræn er lufttætnet. Systemet kan lyddæmpes. Jordluft fra anlægget skal føres via en aftræks- og afkastkanal. Afkastkanalen skal være udformet som en skorsten eller svanehals og skal placeres, så der ikke er risiko for, at jordluften føres til indeluften via vinduer eller andre ventilationskanaler.

**Vedligehold:** Det er nødvendigt at efterse ventilatoren løbende. Ventilatorer har en forventet levetid på fem år. Man må aldrig slukke ventilatoren, da kontinuerlig drift er nødvendig for at sikre effektiviteten.

**Bemærk:** Der er ingen danske erfaringer med denne type anlæg. Anlægget er brugt i eksempelvis Finland og Sverige. Effekten af anlægget afhænger af de lokale jordforhold. De geotekniske forhold bør indgå i overvejelserne før installation af en radonbrønd. Man bør søge professionel rådgivning for at sikre, at installationen bliver optimal.



Radonbrønd med aftrækskanal og afkast over terræn.

<sup>1</sup>WHO Handbook on indoor radon. A public health perspective. World Health Organization, 2009.