



Tæthedskontrol af membraner til indeklimasikring vha. sporgas

Af Claus Larsen og Per Loll,
DMR A/S, Tage V. Bote, COWI,
Mariam Wahid og Arne
Rokkjær, Region Hovedstaden

Der er i en årrække anvendt en lang række forskellige metoder til indeklimasikring på forurenede grunde. En af de tidligere mest anvendte metoder har været etablering af membraner i gulvkonstruktioner, med det formål at hindre en indtrængning af flygtige forureningskomponenter fra jorden under bygningen.

Baggrund og problemstilling

I den seneste tid er der opstået utryghed omkring anvendelsen af membranløsninger til indeklimasikring, da erfaringerne har vist, at etablering af en membran ikke altid medfører de forventede fald i indeklimakoncentrationerne. Region Hovedstaden anser ikke længere membranen som en egentlig afværgeforanstaltning, idet der hersker usikkerhed om, om funktionaliteten kan bevares gennem hele byggeriets levetid. Når Region Hovedstaden derfor fortsat anvender membraner i forbindelse med indeklimasikringsprojekter, er det udelukkende med det formål at kunne styre luftstrømningerne i det etablerede passive eller aktive ventilationsanlæg.

Rent teknisk er selve membranen diffusionstæt nok, og laboratorietest på membraner af typen som Monarflex RAC viser således i hovedsagen de egenskaber, som fabrikanterne hævder af deres materialer, hvorimod de udførte applikationer i fuld skala med membraner generelt desværre tit ikke lever op til forventningerne /1, 2, 3 og 4/. At der ikke altid opnås den forventede tæthed af membranen skyldes, at det rent håndværksmæssigt kan være vanskeligt at lave fuldstændig tætte samlinger mellem de enkelte membranbaner samt mellem membran og fundamenter, rørgennemføringer m.v.

På trods af ovenstående anvender COWI, DMR og andre rådgivere dog stadig membraner som en del af konceptet til indeklimasikring på forurenede ejendomme. Membranerne anvendes oftest i kombination med ventilation på undersiden af gulvkonstruktionen, dels som en tætning af terrændækket og dels for at opnå en fysisk veldefineret afgrænsning og tætning af det hulrum eller drænlag som ventileres. En tæt membran er derfor fortsat en vigtig forudsætning for at opnå en så effektiv foranstaltning som muligt. Vi anbefaler derfor altid, at der foretages en tæthedskontrol af membranen umiddelbart efter etablering så eventuelle utætheder kan udbedres, og så det dokumenteres, at membranløsningen er tilstrækkelig tæt på etableringstidspunktet. I denne artikel beskrives, hvordan en aktiv sporgasmetode, jf. /4/, kan anvendes til at udføre tæthedskontrol på en membran eksemplificeret med en konkret sag.

Kort om membraners virkemåde

Membraner fås i mange typer og kvaliteter. Mange består af en dug i flere sammensvejsede lag, der købes i baner á la gulvtæpper. Disse baner svejses sammen eller limes sammen med fugemasser eller specialtape og fastgøres til fundamenter med klemskinner tætnet med fugemasse. Omkring div. rørgennemføringer tætnes med specielle manchetter, hvor samlingerne med membraner ligeledes tætnes. Den praktiske udførelse af disse tætninger er afgørende for membranløsningens sluttæthed.

Membranernes funktion kan principielt deles op i forhold til, hvilken transportmekanisme de skal begrænse eller eliminere, hhv. den trykdrevne og den diffusive transport. Den trykdrevne transport sker via revner i betonkonstruktion, revner omkring gennemføringer af diverse rør osv. I forbindelse med radonprojekterne udført af Risø i 90'erne blev der gennemført en række modelsimuleringer af indtrængning i bygninger. Disse viste i hovedtræk, at revners bredde skal ned på få brøkdele af en millimeter ($< 0,5$ mm), før det er modstanden i revnen og ikke modstanden i den underliggende jord, der sætter begrænsning for transporten. Omsat til situationen, hvor der er udlagt membran for at hindre transport af forureningsdampe til indeklimaet, betyder det, at selv meget beskedne utætheder i membranen i praksis ikke vil hindre den trykdrevne transport.

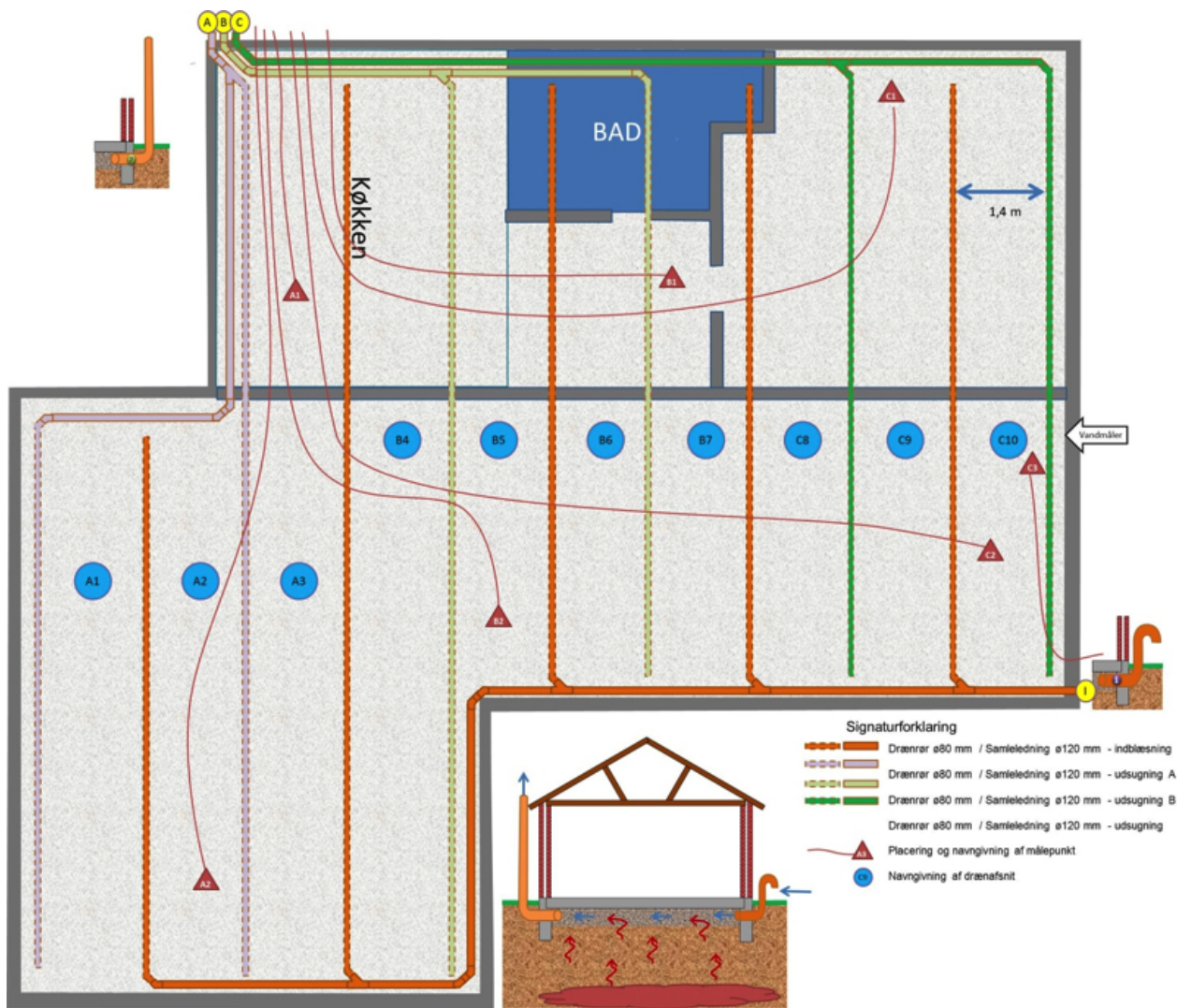
Diffusiv transport er styret af koncentrationsforskelle og finder sted igennem materialets indre hulrum, der typisk er luft- eller væskefyldte. Plasticmembraner kan i denne sammenhæng betragtes som væskefyldte med et organisk 'opløsningsmiddel'. Gennemtrængeligheden udtrykkes ved materialets diffusionskoefficient, der for beton er i størrelsesordenen $2 \cdot 10^{-8}$ m²/s for radon og dampe af flygtige organiske forureningskomponenter /5, 6/. Membraner der udelukkende er konstrueret af plast (typisk polyethylen og/eller propylen) har oftest diffusionskoefficienter for radon på størrelsesordenen $1 \cdot 10^{-11}$ m²/s /2, 7, 8, 9/, mens membrantyper, der har et indlagt lag af alufolie, kan have diffusionskoefficienter på mindre end $5 \cdot 10^{-14}$ m²/s /6/. Ved at sammenligne ovenstående diffusionskoefficienter kan det således sluttes, at plasticmembraner er ca. 2.000 gange mere diffusionstætte end beton, mens membrantyper med indlagt alufolie kan være op mod > 400.000 gange mere diffusionstætte end beton.

Den konkrete lokalitet

Ejendommen er en tidligere erhvervsejendom, hvor der tidligere har været bl.a. forkromningsanstalt. Ejendommen anvendes i dag som parcelhus. Undersøgelser har vist, at ejendommen udover en tungmetalforurening også er forurenede med klorerede kulbrinter specielt triklorethylen (TCE), der sandsynligvis stammer fra et trikar eller utætte kloakker. Et egentligt hotspot for forureningen har ikke kunnet lokaliseres, men indeklimate målinger viste, at koncentrationerne af TCE overskred Miljøstyrelsens afdampningskriterier, hvorfor Region Hovedstaden prioriterede, at der skulle udføres afværgeforanstaltninger på ejendommen til sikring af indeklimaet.

Indeklimasikringen er udført med Region Hovedstaden som bygherre, COWI har været projekterende og tilsynsførende rådgiver, entreprenørfirmaet Frisesdahl har været udførende entreprenør, og DMR har udviklet og gennemført tæthedskontrol af membranen. Foranstaltningen udføres som ventillerede dræn med seks indlagte kontrol-/poreluftmålepunkter, jf. figur 1, hvor over der er udlagt 300 mm isolering, og på denne isolering er der etableret en membran af typen Monarflex RAC, der er en seks-lags-membran på 0,8 mm. Det diffusionsbegrænsende lag er en 12 µm aluminiumsfolie, der ligger indlejret i lag af polyethylenfolie og polyester forstærkningsvæv. Formålet med opbygningen er at skabe en membran, der både har mekanisk styrke, langtidsholdbarhed, og som samtidig er diffusionstæt.

FIGUR 1 - PLACERING AF VENTILATIONSDRÆN OG BELIGGENHED AF MONITERINGSPUNKTER



Membranen er udlagt i baner, som er sammensvejset. Langs ydermurene og den langs-gående mur inde i bygningen, der er en tidligere ydermur, er membranen påhæftet de støbte betonfundamenter med en klemskinne. Samlingerne er tætnet med fugemasse af typen PU 2637 fra Bostik. Ved skillevæggene ved badeværelset er membranen indstøbt mellem væggen og fundamentet og efterfølgende svejset sammen med den øvrige membran, som det ses i figur 2.

FIGUR 2 - INDSTØBNING AF MEMBRAN I SKILLEVÆG, HHV. FØR OG EFTER SAMMENSVEJSNING



Der er kun foretaget gennemføring af afløbsinstallationer igennem membranen i fire punkter i bad og køkken samt gennemføring til rent vand i ét punkt. Samtlige øvrige rør (varme, el m.v. føres igennem sokkel over membranen). Gennemføringerne er udført med specielle gummi-manchetter. På figur 3 ses fotos af den udlagte membran, svejsninger og manchetter omkring afløb i køkken.

FIGUR 3 - SAMMENSVEJSNINGER AF MEMBRANBANER OG GUMMI-MANCHET OMKRING KØKKENAFLØB



Sporgasmetoden som tæthedskontrol

Tæthedskontrollen er udført med brint (H_2) som sporgas, jf. /4/. Den anvendte sporgas består af 5 % brint og 95 % nitrogen/kvælstof (N_2), som blæses ud under membranen via de etablerede ventilationsdræn. Brint anvendes da gasarten er lettere end luft og derfor søger opad. Metoden egner sig derfor specielt godt til at identificere vertikale spredningsveje nedefra og op. Når sporgassen indblæses i drænlaget, vil brinten søge op igennem isoleringslaget til undersiden af membranen. Hvis der er utætheder i membranen eller i samlinger, vil sporgassen søge gennem disse revner og op i luften over membranen, hvor den kan detekteres. Anvendelsen af sporgassen foregår således passivt uden anvendelse af trykpåvirkninger fra f.eks. en blowerdoor, eller ved at der pumpes overtryk i drænlaget.

Brint som sporgas har desuden den fordel, at der er tale om et meget lille molekyle, som vil kunne penetrere gennem mindre revner og sprækker end de typisk større molekyler, som forureningen består af. De små molekyler gør også, at gassen har en forholdsvis høj diffusionshastighed, og dermed spredes hurtigt i de hulrum, man ønsker at undersøge.

Som detektor anvendes Digitron DGS-10, der er en håndholdt gasdetektor. Gasdetektoren giver et semikvantitativt måleresultat i form af klik-lyde og visuel markering, hvor lamperne grøn, gul og rød tændes afhængigt af den målte koncentration. Grøn/kliklyde med ca. 1/2 sekunds mellemrum er baggrundsniveau, og i takt med at koncentrationerne stiger, øges intensiteten i kliklydene og henholdsvis den gule og den røde lampe tændes.

Detektoren, der sidder for enden af en ca. 40 cm lang bøjelig arm, er følsom over for brændbare gasser, men er også følsom over for bl.a. vanddamp. Der er tale om en uspecifik detektor, hvorfor der kan forekomme baggrundsudslag på forskellige kemikalier, f.eks. afdampning fra de anvendte fugemasser inden hærdning.

Resultater af den indledende tæthedskontrol

Inden udførelsen af tæthedskontrollen foretages en indledende screening af baggrundsværdierne, jf. /4/. Formålet er at sikre mod falske positive udslag under testen, dvs. at identificere, om der kan konstateres udslag allerede inden, der udledes sporgas under membranen. Under den indledende screening foretages en gennemmåling af alle samlinger m.v., som tænkes testet ved den efterfølgende sporgaskontrol. I forbindelse med dette indledende check blev der konstateret et udslag på gult niveau i hjørnet, hvor friskvandsforsyningen kommer ind i huset. Dette skyldes sandsynligvis afdampning fra tætningsfugen, idet der i dette område er anvendt meget tætningsfuge. Ingen andre steder blev der konstateret udslag over baggrundsniveau i forbindelse med den indledende screening.

Tæthedskontrollen er opdelt så den følger opdelingen af drænsystemet, se figur 1. Indledningsvist blæses sporgassen fra en trykflaske ned i drænsystemet. Efter ca. 2-5 minutter tjekkes det, at sporgassen er spredt i drænsystemet ved at måle koncentrationerne i de kontrolpunkter, der er etableret i drænlaget. Når der er etableret rødt sporgasniveau under membranen, stoppes indblæsningen af sporgas, og kontrollen af samlingerne startes, samtidigt med at drænlaget lukkes med henblik på at mindske

TABEL 1 - DATA OG RESULTATER AF TÆTHEDSKONTROL

Kontrolpunkter	Konstaterede utætheder
PL2 Rød PL5 Rød	U1 Utæthed ved hushjørner i tilbygning. Rødt udslag i hjørnet, gult udslag længere ud mod siderne U2 Utæthed ved klemskinne, rød + gul U3 Utæthed ved hushjørner i tilbygning. Rødt udslag i hjørnet, gult udslag længere ud mod siderne
PL1 Rød PL4 Rød	U4 Utætheder ved hushjørne i tilbygning. Rødt udslag i hjørnet, gult udslag længere ud mod siderne U5 Utæthed i svejsning af manchete ved afløb i køkken U6 Utæthed på vægen ved afløb i køkken, rød + gult U7 Utæthed på vægen ved vandrør på badeværelse, rød + gult Måling i kloak viser henholdsvis rødt og gult niveau
PL3 Rød PL6 Rød PL7 Rød	U8 Utæthed i hjørne ved rent vand, rød

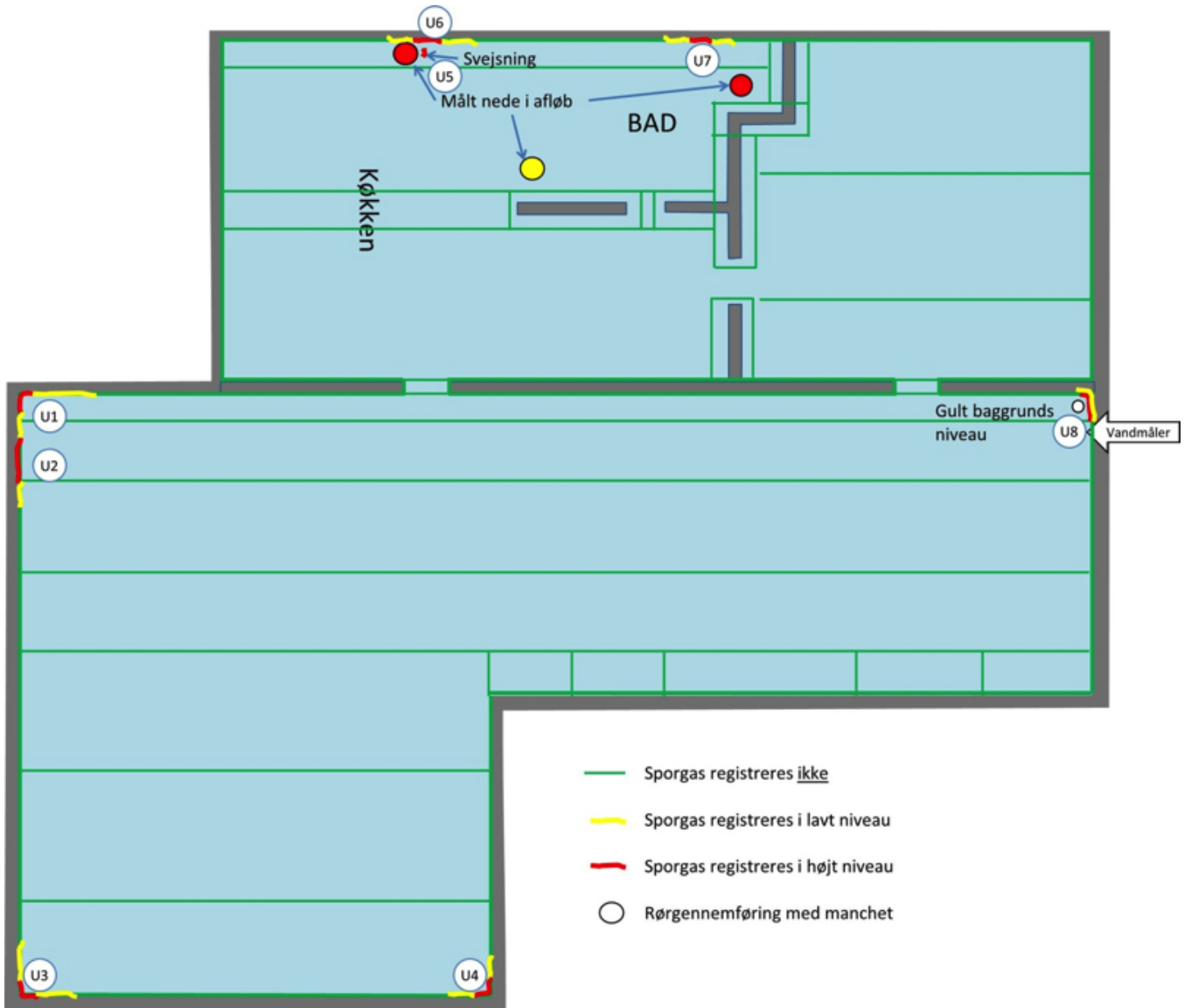
bortventilleringen. Hvis der under tæthedstesten konstateres utætheder, markeres området på tegningen med henholdsvis gul/rød markering afhængig af udslaget på detektoren. Ligeledes markeres området med farvekridt på væggen og/eller på membranen. Afsøgte områder uden indtrængning markeres med grønt på situationsplanen. Resultaterne fra testen er angivet i tabel 1, og de markerede områder fremgår af figur 4.

Supplerende kontrol

På baggrund af den første tæthedskontrol blev der efterfølgende udført tætning af de steder, hvor samlinger og påhæftninger var påvist utætte. Dels blev svejsningen af manchetten udbedret, dels blev der lagt ekstra fugemasse bag membranen, mens der blevet glittet over klemskinnen og fugen.

Efter ca. en uge blev der forsøgt udført en fornyet tæthedskontrol – efter fugemassen i de reparerede områder havde haft tid til at hærde. Her viste en ny kontrol af baggrundskoncentrationerne, at afdampningen fra fugemassen nu var aftaget så meget, at det ville være muligt at identificere eventuelle fortsatte utætheder. Et enkelt sted (U4) viste baggrundsmålingerne dog gult niveau. I tabel 2 er angivet data for den supplerende test og resultaterne af testen.

FIGUR 4 - GRAFISK PRÆSENTATION AF RESULTATERNE AF SPORGASTESTEN



TABEL 2 - DATA OG RESULTATER AF SUPPLERENDE TÆTHEDSKONTROL

Kontrolpunkter	Konstaterede utætheder
PL2 Rød	U1 Ingen utæthed påvist
PL5 Rød	U2 Ingen utæthed påvist
	U3 Ingen utæthed påvist
PL1 Rød	U4 Ingen utæthed påvist, dog fortsat gult i hjørnet som ved baggrundsmålingen
PL4 Rød	U5 Ingen utæthed påvist
	U6 Ingen utæthed påvist
	U7 Ingen utæthed påvist



Vurdering af metoden

Ved anvendelse af den aktive sporgastest på den konkrete sag blev der fundet en række utætheder ved den første tæthedskontrol; utætheder som det ikke var muligt at se ved en rent visuel kontrol af membranen. På baggrund af denne kontrol blev der efterfølgende udført tætning de steder, hvor samlinger og påhæftninger var påvist utætte. Dels blev svejsningen af manchetten udbedret, dels blev der lagt ekstra fugemasse bag membranen, mens der blev glittet over klemskinnen og fugen. Herefter blev der ikke konstateret utætheder.

I det konkrete tilfælde tog denne proces en uge, hvilket hænger sammen med, at den anvendte fugemasse havde en forholdsvis lang udhærdningstid. Det var således nødvendigt, at vente med udførelsen af den supplerende tæthedskontrol indtil baggrundsudslaget på detektoren var på grønt niveau, eller meget tæt på grønt niveau. Det vurderes, at der kan findes typer af fugemasse, der har en væsentlig hurtigere udhærdningstid, således at den supplerende tætningskontrol kan udføres 1-2 dage, efter der er foretaget en supplerende tætning.

Resultaterne understreger, at det er nødvendigt både at stille krav til design og kontrol i forbindelse med anvendelse af membraner på forurenede ejendomme, og at en visuel kvalitetssikring af membranen ikke er tilstrækkelig til at vurdere om membranen slutter tæt.

Da selv små utætheder kan forringe effekten af membranen væsentligt, anbefales det derfor, at der altid udføres en egentlig tæthedsprøvning af membranløsningen, inden den resterende gulv-konstruktion etableres, da det kan have store konsekvenser for effekten af indeklimasikringen og dermed store økonomiske konsekvenser, hvis en mangelfuld effekt af membranen først opdages, når hele gulvkonstruktionen er etableret.

Sporgasmetoden vurderes at være et godt alternativ til at foretage tætningskontroller af udlagte membraner med. I forhold til f.eks. trykdrevne tests (eksempelvis med blowerdoor) vurderes det at være en fordel, at alle utætheder kan detekteres i én arbejdsgang, hvor trykdrevne metoder ofte vil lide under, at de største utætheder detekteres først, og at mindre utætheder først vil vise sig ved efterfølgende tests, når

der er foretaget en tætning af disse. Til gengæld kan der med blowerdoor foretages en ny test umiddelbart efter eftertætning, hvor der kan være problemer med baggrundsudslag fra afgang fra fugemasser med sporgasmetoden. Der kan dog anvendes fugetyper, som giver minimalt udslag på detektoren under ophærdning.

Vores øvrige erfaringer med sporgasmetoden viser, at den ligeledes med fordel kan anvendes til at spore utætheder, der ikke er relateret til membranen, og som kan fungere som spredningsveje for transporten af forureningsstoffer fra undersiden af gulvkonstruktionen til indeklimaet, f.eks. via hulmure, elektriskerrør, revner i vægge mv. Sådanne uopdagede spredningsveje kan reducere effekten af et dyrt etableret indeklimasikringsystem.

At detektoren reagerer både med lyd og forskellige farvede lamper giver en god 'visualisering' af, hvor der er utætheder. Det er svært at argumentere imod detektorens intensiverede og insisterende klikkelyde samtidigt med, at både gule og eventuelt røde lamper tændes. Man er ikke i tvivl, hvis der er en utæthed. Det er vores erfaring, at man opnår langt bedre kvalitet i tætning af membranen, hvis den entreprenør, som skal udbedre utæthederne, deltager i testen med sporgassen og med egne øjne kan 'se' utæthederne.

Referencer

- /1/ Denman, A.R., Phillips, P.S., Groves-Kirkby, C.J., Crocket, R.G.M. (2005): Do radon-proof membranes reduce radon levels adequately in new houses?. Proceedings of the Seventh International Symposium of the Society for Radiological Protection.
- /2/ Andersen, C.E., Bergsøe, N.C., Brendstrup, J., Damkjær, A., Gravesen, P., Ulbak, K. (1997): Radon-95: En undersøgelse af metoder til reduktion af radonkoncentrationen i danske enfamiliehuse. Forskningscenter Risø.
- /3/ Sebastian, W. (2009): Kontrol af indeklimasikring ved termografi med undertryk. Indlæg på Temadag Poreluft og indeklima – hvordan er de to koblet, ATV Vintermøde 2009.
- /4/ Miljøprojekt nr. 1352, 2010. Sporgasundersøgelser til fastlæggelse af aktive transportveje til indeklimaet. P. Loll, P. Larsen, M. Grøn, T. Jensen og C. Larsen.
- /5/ Miljøstyrelsens JAGG-model version 1.5. http://www.mst.dk/Virksomhed_og_myn-dighed/Jord/EDB-vaerktoejer+til+vurdering+af+jord/JAGG-programmet/.
- /6/ Effective Radon diffusion coefficient. <http://web.ead.anl.gov/resrad/datacoll/radon.htm>
- /7/ Datablad for Radon Footprint Membrane og Type N Site Sealer Membrane: <http://www.cavitytrays.co.uk/pdf/59-Type-N-Membrane.pdf>
- /8/ Datablad for Corden EPS Radon Membrane Barrier: <http://www.corden-bssp.co.uk/124.html>
- /9/ Datablad for Icopal R.M.B. 400 Membran: <http://www.icopal.dk/upload/Products/DED94C6FD888B2EC125724A003375DC/Icopal%20RMB%20400.pdf>