



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Aalborg Universitet

Lufttæthed af materialer til radonsikring

Testmetode

Rasmussen, Torben Valdbjørn; Buch-Hansen, Thomas Cornelius

Publication date:
2016

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Rasmussen, T. V., & Buch-Hansen, T. C. (2016). *Lufttæthed af materialer til radonsikring: Testmetode*. (1 udg.) SBI Forlag. SBI Nr. 2016:21

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

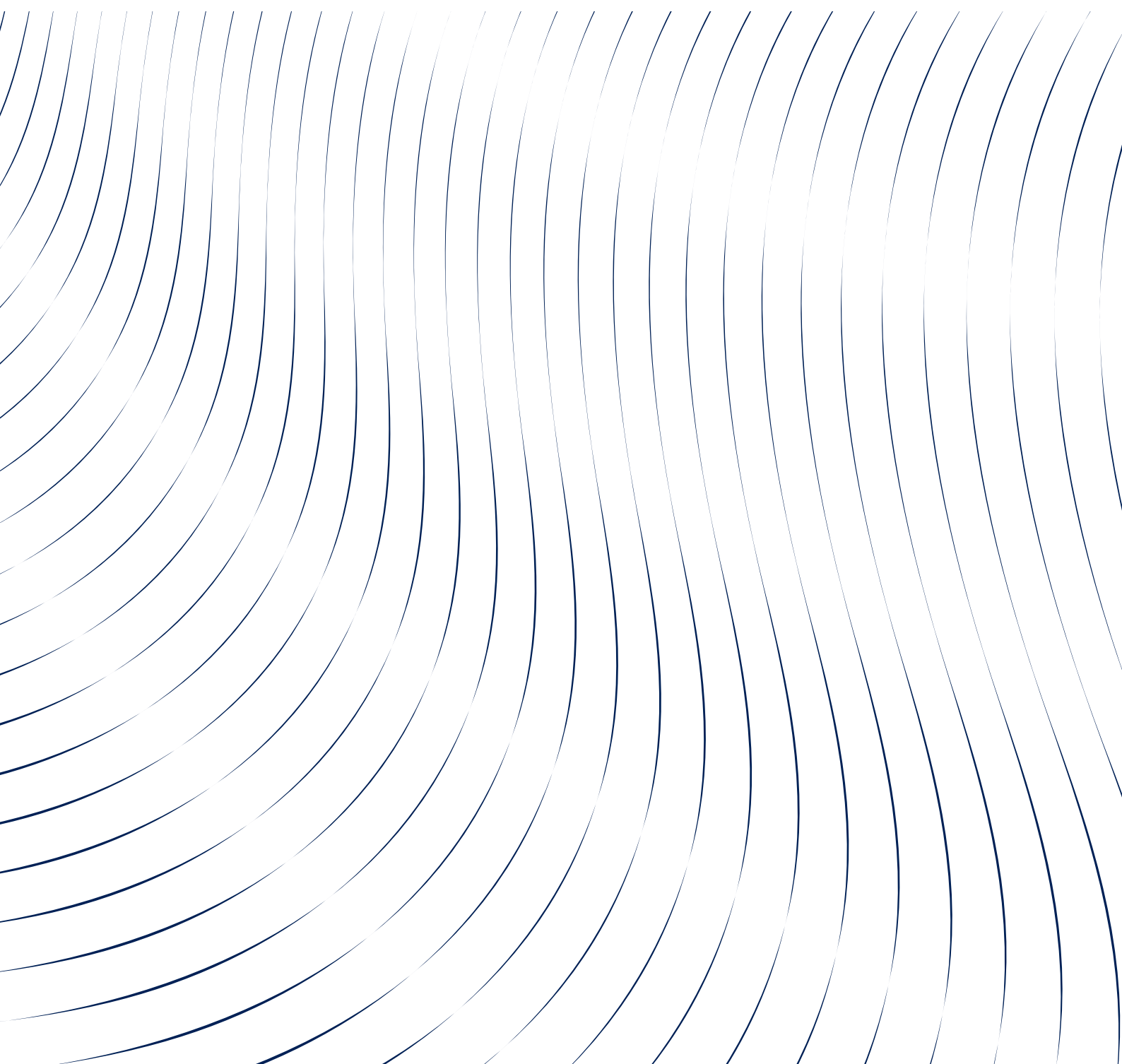


STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

LUFTTÆTHED AF MATERIALER TIL RADONSIKRING

TESTMETODE

SBI 2016:21



Lufttæthed af materialer til radonsikring

Testmetode

Torben Valdbjørn Rasmussen
Thomas Cornelius

Titel	Lufttæthed af materialer til radonsikring
Undertitel	Testmetode
Serietitel	SBi 2016:21
Udgave	1. udgave
Udgivelsesår	2016
Forfatter	Torben V. Rasmussen, Thomas Cornelius
Fagfælle- bedømmer	Bjørn Petter Jelle
Redaktion	Lise Lotte Beck Raunkjær
Sprog	Dansk
Sidetæl	27
Litteratur- henvisninger	Side 27
Emneord	Radon, tæthed, test metode, måling
ISBN	978-87-563-1794-8
Tegninger	Bo Amstrup Vestergaard
Fotos	Thomas Cornelius
Udgiver	Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet, A.C. Meyers Vænge 15, 2450 København SV E-post sbi@sbi.aau.dk www.sbi.dk

Der gøres opmærksom på, at denne publikation er omfattet af ophavsretsloven



Indhold

Forord	4
Indledning	5
Baggrund	5
Mål	5
Metodens anvendelsesområde.....	6
Testmaterialer	6
Sammenfatning	7
Prøvning.....	7
Konklusion	7
Anbefalinger til øvrige krav	8
Prøvningsmetode	10
Anvendelsesområde	10
Prøvning.....	10
Apparatur	14
Angivelse af resultat	16
Eksempel.....	18
Diskussion	21
Konklusion	26
Litteratur	27

Forord

Rapporten præsenterer et forslag til en standardiseret metode til prøvning af materialer til radonsikring ved lufttætning af vægge og gulve, inklusiv lufttætning omkring gennemføringer i form af rør og riste. Metoden omfatter ligeledes indad- og udadgående hjørner. Metoden omfatter ikke radonindtrængning i bygninger ved diffusion.

Projektet er gennemført, da undersøgelser har vist, at eksisterende bygninger opført efter tidligere bygningsreglementer end Bygningsreglement 2010 (Erhvervs- og Byggestyrelsen, 2010) ikke nødvendigvis opfylder de nye anbefalinger til et acceptabelt indhold af radon i indeluften.

Bygningsreglement 2010 og Bygningsreglementet 2015 (Trafik og Byggestyrelsen, 2015) tilstræber så lavt et radonindhold i indeluften som muligt og har defineret den øvre grænse for et acceptabelt indhold af radon i indeluftenindhold til et lavt niveau på 100 Bq/m^3 . Derfor vurderes det, at der er manglende viden om nødvendige og tilstrækkelige egenskaber for de materialer, der anvendes til radonsikring af bygninger, hvor radonsikringen udføres ved at gøre konstruktioner mere lufttætte, fx mod jord eller mod kælder/krybekælder. Radonsikring af bygninger udføres for at opnå et lavt og acceptabelt indhold af radon i indeluften.

Der er gennem projektet opnået en bedre forståelse af nødvendige og tilstrækkelige krav til materialer anvendt til radonsikring, hvor radonsikringen udføres ved at gøre konstruktioner mere lufttætte mod undergrunden. Der bør stilles krav til materialeegenskaber, når materialer anvendes i forbindelse med radonsikring af bygninger. Kravene kan stilles for at sikre, at en bygning opfylder bygningsreglementet 2010's krav til et tilstrækkeligt lavt radonindhold i indeluften for nye bygninger og det tilsvarende anbefalede acceptable niveau for radon i indeluften i eksisterende bygninger.

Statens Byggeforskningsinstitut (SBI), Aalborg Universitet, har udarbejdet testmetoden på baggrund af prøvningsmetoden SINTEF Byggeforsk, NBI 167/02, "Radonmembran: Prøving av lufttetthet", Februar 2016. (SINTEF Byggeforsk, 2016) og etableret testudstyret med økonomisk støtte fra Grundejernes Investeringsfond og Landsbyggefonden. SBI takker for bidragene.

Rapporten er fagfællebedømt af Chief Scientist, Ph.D. Bjørn Petter Jelle, SINTEF, Norge.

Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet
Afdelingen for Byggeteknik og proces
September 2016

Ruut Peuhkuri
Forskningschef

Indledning

Baggrund

Radon er en naturlig forekommende radioaktiv gas, der findes overalt i jorden. Radon trænger ind i bygninger med poreluft fra jorden, jordluft, som suges ind gennem lufttætheder, som revner og sprækker, i konstruktioner mod jord fx kældergulv, -væg og terrændæk og fordeles i bygningen med luftstrømmene inde. Radon kan også trænge gennem lufttætte konstruktioner ved diffusion. Ligeledes kan byggematerialer indeholde radon, og radon kan frigives fra vand som føres ind i bygningen.

Den primære kilde til radon i indeluften stammer fra jordluftindtrængning fra undergrunden gennem lufttætheder i konstruktioner mod jord. Der vil også være et bidrag fra diffusion gennem lufttætte konstruktioner mod undergrunden, byggematerialer og forstøvning af vand, som ved manglende luftsifte kan resultere i uacceptable høje niveauer af radon i indeluften. Bidrag fra diffusion gennem lufttætte konstruktioner mod undergrunden, byggematerialer og forstøvning af vand er dog begrænset.

Det er almindeligt kendt at radon i indeluften forøger risikoen for lungekræft. Verdenssundhedsorganisationen, WHO, anbefaler, at radioaktiviteten i bygninger ligger under 100 Bq/m^3 (becquerel per kubikmeter luft). Indånding af radon er ifølge WHO den vigtigste årsag til udvikling af lungekræft hos mennesker næst efter rygning. Rygning øger risikoen for udvikling af radonrelateret lungekræft (Zeeb and Shannoun, 2009).

Bygningsreglement 2010 (Erhvervs- og Byggestyrelsen, 2010) følger WHO's anbefalinger om, at den tilladte radioaktivitet i bygninger fra naturlige kilder bør ligge under 100 Bq/m^3 . Bygningsreglement 2010 stiller krav til radonindholdet i indeluften i nybyggeri og angiver anbefalinger til niveauet for et acceptabelt radonindholdet i indeluften i eksisterende bygninger. Bygninger skal udføres, så det sikres, at indholdet af radon i indeluften ikke overstiger 100 Bq/m^3 . For eksisterende bygninger anbefales, at der etableres enkle og billige foranstaltninger, hvis indholdet af radon i indeluften ligger mellem 100 Bq/m^3 og 200 Bq/m^3 . Måles indholdet af radon i indeluften til over 200 Bq/m^3 , anbefales det, at der iværksættes mere effektive foranstaltninger til reduktion af radon i indeluften. Kravet til nye bygninger og anbefalingerne til eksisterende bygninger er videreført i Bygningsreglement 2015 (Trafik- og Byggestyrelsen, 2015)

Mål

Formålet med metoden er at vurdere lufttætheden af materialer, som ønskes anvendt til radonsikring af bygninger. Vurderingen af materialerne er sket med udgangspunkt i en konstruktion, der er typisk for et enfamiliehus, og som har et realistisk antal indadgående og udadgående hjørner, forhøjninger og gennemføringer. Lufttætheden af materialet vurderes, fordi radonholdig luft, som føres med luftstrømme, kan have afgørende betydning for indholdet af radon i indeluften.

Metodens anvendelsesområde

Metoden er egnet til at prøve, hvor godt et materiale er til at lufttætte en flade med indadgående hjørner, udadgående hjørner og forhøjninger samt omkring gennemføringer i form af rør og riste, når materialet anvendes til at tætte mod indtrængning af radon til indeluften via konvektion. Antal løbende meter med indadgående hjørner, udadgående hjørner, forhøjninger og gennemføringer skal simulere de udfordringer, der vil være ved udførelse af radonsikring af et hus på ca. 100 m² grundareal. Metoden omfatter ikke indtrængning af radon ved diffusion.

Testmaterialer

Der findes en lang række materialer, der kan anvendes til at radonsikre bygninger ved at gøre konstruktioner mere lufttætte, fx membraner, der er flydende, faste eller formbare hydraulisk afbindende.

Ved udviklingen af testmetoden er følgende materialer anvendt:

- En fast membran, bitumen baseret radonspærre fra Icopal
- En hydraulisk afbindende vådrumsmembran tec 822 fra Saint-Gobain Weber.
- En hydraulisk afbindende armeret hæftemørtelpuds af typen Multi 280 fra Saint-Gobain Weber.
- En hydraulisk afbindende mørtelmembran i form af en mørtel af typen KC50/50/700 fra Saint-Gobain Weber.

Sammenfatning

Prøvning

Ved udvikling af nærværende prøvningsmetode er der gennemført prøvning på fire forskellige membraner. Prøvningerne resulterede i følgende luftstrømsmålinger for membranerne ved en lufttryksforskel over membranen på 30 Pa, angivet ved q_{30} :

Icopal bitumen baseret radonspærre:

$$q_{30} = 0,83\sqrt{30} = 4,5 \text{ l/min}$$

Saint-Gobain Weber vådrumsmembran tec 822:

$$q_{30} = 1,87\sqrt{30} = 10 \text{ l/min}$$

Saint-Gobain Weber armeret hæfte mørtelpuds af typen Multi 280:

$$q_{30} = 5,50\sqrt{30} = 30 \text{ l/min}$$

Saint-Gobain Weber mørtel af typen KC50/50/700:

$$q_{30} = 7,88\sqrt{30} = 43 \text{ l/min}$$

Da målingerne er udført under udvikling af prøvningsmetoden, skal der tages et vist forbehold for resultaterne, som det fremgår af diskussionen. Dette vedrører især målingerne på vådrumsmembranen tec 822 fra Saint-Gobain Weber og den uarmerede puds mørtel KC50/50/700 fra Saint-Gobain Weber.

I udviklingen af prøvningsmetoden har det vist sig relevant at kalibrere resultaterne efter et middellufttryk i prøvningsstanden i forhold til atmosfæren. På den måde opnås en mere præcis angivelse af den bestemte værdi for materialets lufttæthed til det angivne referencelufttryk på 30 Pa, da lufttætheden af materialet er afhængig af variationen af lufttrykket i prøvestanden. Denne kalibrering er indarbejdet i prøvningsmetoden.

Konklusion

En standardiseret metode til prøvning af materialer, der ønskes anvendt til radonsikring, er præsenteret. Prøvningsmetoden kan anvendes til materialer, når radonsikringen udføres ved at reducere luftindtrængning til indeklimaet. Prøvningen inkluderer tætning omkring gennemføringer i form af rør og riste samt tætning af indad- og udadgående hjørner.

Metoden kan anvendes til at vurdere en membrans modstand mod luftindtrængning i et typisk énfamiliehus på 100 m².

Prøvningsmetoden er en videreudvikling af prøvningsmetoden SINTEF Byggforsk, NBI 167/02, "Radonmembran: Prøving av lufttetthet", Februar 2016 (SINTEF Byggforsk, 2016). Den præsenterede prøvningsmetode tager højde for parametre som inhomogen lufttrykudbredelse i prøvevolumenet og målenøjagtighed ved lav luftindtrængning. Yderligere styres differenslufttryk-

ket, lufttryksforskellen, over membranen automatisk, og sammenhørende værdier af differenslufttryk og luftstrøm logges automatisk ved hjælp af en PC.

Med de indførte justeringer af prøvningsmetoden SINTEF Byggforsk, NBI 167/02, "Radonmembran: Prøving av lufttæthed", Februar 2016 (SINTEF Byggforsk, 2016), fås robuste og reproducerbare resultater af prøvninger. Metoden omfatter ikke indtrængning af radon ved diffusion.

Anbefalinger til øvrige krav

Et materiales brandtekniske egenskaber er ikke en del af prøvningen. Der stilles ikke specifikt brandtekniske krav til materialer anvendt til radonsikring. Materialer anvendt til radonsikring skal være egnede, uopløselige og kemisk forenelige indbyrdes og med de eksisterende materialer. Anvendes flere forskellige membrantyper, skal samlingsmaterialet hæfte godt, tæt og varigt på begge membrantyper. Man skal være specielt opmærksom på, om materialerne kan opløse eller nedbryde hinanden. De bør desuden være miljøvenlige, når de opbevares og håndteres, mens bygningen bruges og senere rives ned, så materialerne kan bortskaffes. For at undgå indeklimaproblemer, må de anvendte materialer ikke afgive lugt eller kemiske forbindelser, der kan forringe indeklimaet.

Materialerne skal kunne arbejde sammen indbyrdes og med de oprindelige materialer og konstruktioner under de temperatur- og fugtpåvirkninger, som måtte opstå under arbejdet og i bygningens brugstid. Derudover skal de kunne fungere i hele bygningens levetid eller let kunne udskiftes. Eventuel udskiftning af komponenter, der sikrer radonsikringens ydeevne, bør være behandlet i en plan for drift og vedligehold. Det gælder fx udskiftning af fuger eller behovet for at gentage overfladebehandling efter en tid pga. almindeligt slid. Materialer, der indgår i radonsikring, skal være tilstrækkeligt robuste, så de også kan håndteres under vanskelige forhold uden at blive beskadiget. Producentens og leverandørens anvisninger bør følges. Eksempelvis skal eksisterende betonoverflader, der skal støbes mod, renses og primes, inden ny beton eller mørtel udstøbes.

Behovet for vedligeholdelse afhænger af de materialer, der anvendes. Mechanisk slid, fugt, udtørring, temperatur og UV-belastning kan medføre nedbrydning af radonsikringen.

Faste membraner samles typisk ved at tape eller klæbe membranerne sammen. Samlingerne skal være fri for spændinger. Tapede samlinger bør derfor udføres med fast tape, fordi elastisk tape kan trække sig sammen efter montering, så samlingen åbner sig. Fast tape er tape, som ikke strækkes, når den monteres. Samlinger skal udføres på fast underlag.

Flydende membraner kan anvendes til sammenhængende flader og til at udfylde udsparinger og gennemgående revner. En flydende membran kan være en elastisk tætningsmasse, en smørremembran eller en hydraulisk afbindende masse.

Det er en fordel at anvende godkendte systemløsninger, fordi de er testet som en samlet løsning og viser om komponenterne i systemet er forenelige og kan opfylde kravet til lufttætning ved en radonsikring af et hus med et grundareal på ca. 100 m². I Danmark er der i dag ikke krav om, at der skal anvendes godkendte systemløsninger, eller at materialerne skal være specielt godkendt til radonsikring. I Danmark er der et ydeevnekrav til bygninger opført efter Bygningsreglement 2010 eller senere, om at radonindholdet i indeluften ikke må overstige 100 Bq/m³.

Til tætning omkring gennemføringer kan faste manchetter med fordel anvendes. Ligeledes kan elastisk fuge, elastiske gummiringe, propper, fugebånd eller flexbånd sammen med en flydende-, formbar - eller fast membran anvendes.

For visse membraner, herunder flydende, formbare eller faste, er det relevant at udvide prøvningen til også at omfatte forskellige egenskaber, som har betydning for radonmembranens tæthed. For flydende og formbare membraner foretages prøvningen for den afbundne, tørre membran. Egenskaber, der har betydning for radonmembranens tæthed, er egenskaber som rivestyrken, brudtøjning, brudstyrke, skæresejhed, modstand mod slag og modstand mod statisk belastning.

Metoden beskrevet i denne rapporten omfatter ikke indtrængning af radon ved diffusion.

Følgende standarder er relevante, når materialeegenskaber, som har betydning for radonmembranens tæthed, skal bestemmes:

- DS/EN 12310-2:2000 om rivestyrke (Dansk Standard, 2000)
- DS/EN 12691:2006 om modstand ved slag (Dansk Standard, 2006)
- DS/EN 12317-2:2010 om forskydningsstyrken af samlingen (Dansk Standard, 2010)
- DS/EN 12311-2:2013 om trækstyrke og forlængelse af en membran (Dansk Standard, 2013)
- DS/EN 12730:2015 om modstand ved statisk belastning (Dansk Standard, 2015).

Prøvningsmetode

Metoden går ud på at vurdere luftgennemstrømningen gennem materialet, som ønskes anvendt til sikring mod indtrængning af radon.

Anvendelsesområde

Metoden kan anvendes til at vurdere et materiale, der ønskes anvendt til beskyttelse mod indtrængning af radon, når materialet er placeret mod fast underlag, lodrette flader og dæk. Det faste underlag er udført med forhøjning og gennemføringer. Sikringen mod indtrængning af radon vurderes i forhold til, at materialet til radonsikring skal kunne føres over forhøjninger samt omkring rørgennemføringer og udsparinger. De lodrette flader er udført som flader samlet i indadgående og udadgående hjørner.

Prøvning

Prøvningen er en videreudvikling af prøvningsmetoden SINTEF Byggforsk, NBI 167/02, "Radonmembran: Prøving af lufttæthed", Februar 2016 (SINTEF Byggforsk, 2016). Prøvningsmetoden er videreudviklet i forhold til det lufttryk, resultatet angives ved. Lufttrykket ved denne reviderede metode er bestemt ud fra lufttryksmålinger foretaget over membranen flere steder i prøvestanden. Under prøvningen styres lufttryksforskellen automatisk for at opretholde en konstant lufttryksforskel. Der logges automatisk sammenhørende værdier af lufttryksforskellen mellem det lukkede volumen i prøvestanden og atmosfæren samt den tilhørende luftstrøm.

Princip

Prøvningen udføres ved at materialet til radonsikring monteres på indersiden af en prøvestand, som er udformet som en kasse. Prøvestanden fyldes derpå med trykfast isoleringsmateriale til varmeisolering. Over den trykfaste isolering lægges materialet til radonsikring. Materialet til radonsikring lukker dermed prøvevolumenet i prøvestanden ved at samle den indvendige radonsikring i prøvestanden med den radonsikring, der er lagt over den trykfaste isolering langs hele randen af prøvestanden. Randen er den kant, som omkranser prøvestandens øvre kant og danner en vandret monteringsflade for samlingen af materialet anvendt til radonsikring.

Materialet til radonsikring vendes ved monteringen i prøvestanden, således at materialets overside vender ind i prøvevolumenet.

Radonsikringens placering i konstruktionen

Beskyttelsen mod indtrængning af radon kan placeres forskellige steder i en konstruktion, se SBI-anvisning 232, *Radon – kilder og måling* (Rasmussen & Wraber, 2011), SBI-anvisning 233, *Radonsikring af nye bygninger* (Rasmussen, 2015) og SBI-anvisning 247, *Radonsikring af eksisterende bygninger* (Rasmussen, 2016).

Radonsikringen kan lægges under bygningen. Derved laves en tætning i hele bygningens grundplan.

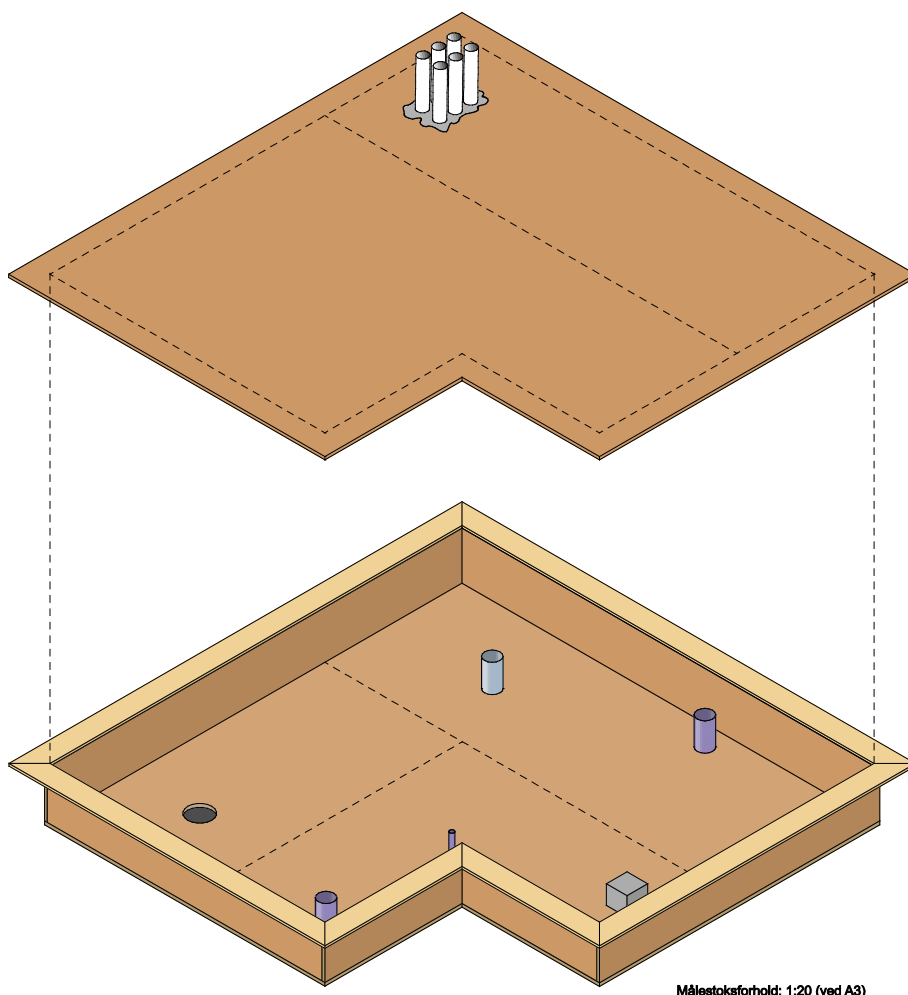
Radonsikringen kan lægges lige under den lastfordelende betonplade i terrændækket eller i det isolerende lag i terrændækket. Derved fores isoleringen i terrændækket i hele bygningens grundplan.

Radonsikringen kan lægges mod indvendige overflader på stabile plane overflader, fx på en afrettet betonplade.

Faste membraner

Faste membraner til radonsikring monteres i bunden af prøvestanden, på siderne og på oversiden ovenover den trykfaste isolering og samles derefter langs randen. Membranen lagt i bunden og på oversiden af prøvestanden skal begge monteres med hver sin langsgående samling. En tværgående samling skal ligeledes udføres i membranen lagt i bunden af prøvestanden, således at der udføres en T-samling med den langsgående samling. I sin helhed skal der udføres omtrent 20 løbende meter samlinger inklusiv samlingen langs prøvestandens rand. På prøvestandens rand udføres samlingen mellem membranen lagt i prøvestandens indvendige volumen og på prøvestandens overside, som til sammen omslutter prøvevolumenet i prøvestanden. Samlingerne placeres som vist med stiplede linje, se Figur 1.

Har den faste membran en banebredde mindre end 2 meter, må der udføres tilsvarende flere meter samlinger.



Figur 1. Prøvestand til måling af lufttætheden af materialer anvendt til radonsikring med samlinger i membranen vist med stiplede linjer. Prøvestanden er vist med placeringen af hjørner og gennemføringer.

Flydemembraner og formbare membraner

Flydemembraner og formbare membraner til radonsikring kan lægges på fiberdug i prøvestanden, der er etableret forud for montering af membranen. Fiberdugen lægges i prøvestanden og på prøvestandens vandrette rand. Fiberdug lægges også på oversiden af den trykfaste isolering. Der udføres en

samling mellem membranen i prøvestandens bund og på prøvestandens overside på prøvestandens rand, som til sammen lukker prøvevoluminet i prøvestanden. Samlingen placeres som vist med den stiplede linje, som følger oversidens ydre kant, se Figur 1.

Gennemføringer

Følgende gennemføringer er monteret i bunden af prøvningstanden:

- Plastrør med en diameter på 32 mm
- Plastrør med en diameter på 110 mm
- Plastrør ved kanten af prøvestandens inderside med en diameter på 110 mm
- Stålrør med en diameter på 110 mm.

Membranen, som lægges i bunden af prøvestanden, monteres omkring disse gennemføringer, og leverandøren udfører tætningen eksempelvis ved brug af manchete omkring gennemføringerne. Yderligere skal materialer anvendt til radonsikring af indvendige overflader mod gulv også testes for tæthed omkring en udsparing til en rist i bunden af prøvestanden med en diameter på ca. 175 mm. Her monteres membranen enten op til eller under en ring med efterfølgende montering af tætningsmiddel fra leverandøren.

Efter membranen er monteret på prøvestandens overside, monteres 6 tæt placerede gennemføringer i form af elektrikerplastrør hver med en diameter på 32 mm. Denne samling tættes efterfølgende med tætningsmiddel fra leverandøren.

Hjørner

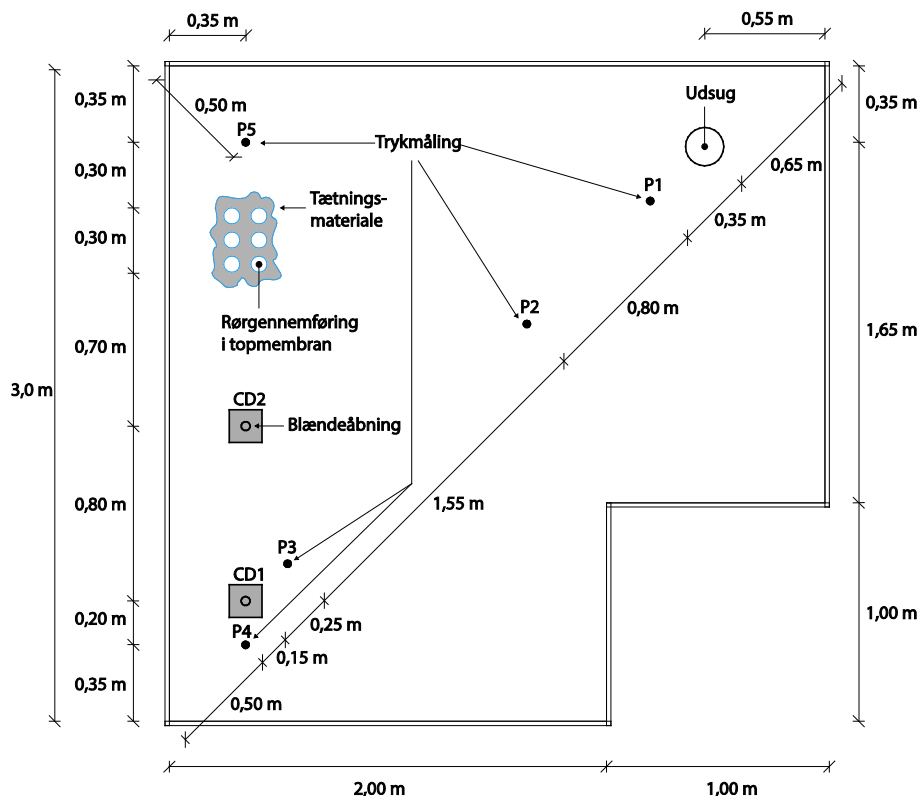
Hjørner kan udgøre et problem for nogle materialer. Hjørnerne kan forsegles med tape eller andet tætningsmateriale, hvis udførelsesteknik, stivheden af materialet eller andet gør, at montering af hjørner bliver urimeligt problematisk i forhold til lufttæthed langs overkanten.

Måling af lufttæthed

Der monteres et udsug i membranen på prøvestandens overside i materialet til radonsikring ovenover den trykfaste isolering. Udsuget anvendes til at pumpe luft ud af prøvevolumenet. Herudover monteres fem slanger, som kobles til lufttrykdifferensmåler, således at lufttryksforskellen mellem luften inde i prøvevolumenet og luften udenfor prøvevolumenet, atmosfæren, kan bestemmes. Ved udpumpning reguleres luftstrømmen, indtil lufttryksforskellen har stabiliseret sig til de for prøvningen valgte niveauer. Herefter registreres luftstrømmen og den opnåede lufttrykforskel. Der gennemføres målinger ved flere lufttrykforskelle.

I membranen på prøvestandens overside monteres en blændeskive med 4 åbninger, som kan åbnes og lukkes. Åbningerne har en diameter på henholdsvis 7, 10, 14 og 20 mm. Proceduren til bestemmelse af sammenhørende værdier for luftstrøm og differenslufttryk gentages for forskellige åbninger.

Luftudsuget og blændeskiven (CD1) placeres langs den lange diagonal i prøvningsstanden med en indbyrdes afstand på ca. 3 m, se Figur 2.



Figur 2. Placering af luftudtag, blændeskiver med forskellige åbninger og punkter til måling af lufttryk.

De fem slanger til måling af lufttryk (P1 til P5) monteres i prøvestandens øvre membran som vist på Figur 2. Forsøget styres efter lufttrykmålingen nærmest udsuget (P1), mens de fire andre målinger af lufttryk anvendes til at kalibrere resultatet i forhold til det udbredte lufttryk i det omsluttede prøvelumen, da trykket i prøvestanden ikke er homogent fordelt i prøvelumenet, se afsnittet *Angivelse af resultat*.

Luftstrømmen ved en lufttryksforskel, mellem luften i prøvelumenet og luften udenfor prøvelumenet, atmosfæren, på 30 Pa bestemmes ved interpolation, se afsnittet *Angivelse af resultat*.

Prøvetagning

Materialer bruges som leveret.

Leverandørens anvisninger følges.

Klargøring af prøvning

Materialet til radonsikring monteres i prøvestanden med de hjørnesamlinger og med den samlingsmetode, som anvises af leverandøren.

Måling af lufttæthed skal tidligst starte 40 timer efter montering af materialet er gjort færdigt i prøvestanden. Selve prøvningen påbegyndes tidligst 40 timer efter montering for at sikre, at de anvendte materialerne og samlingerne mellem materialerne er spændingsfrie.

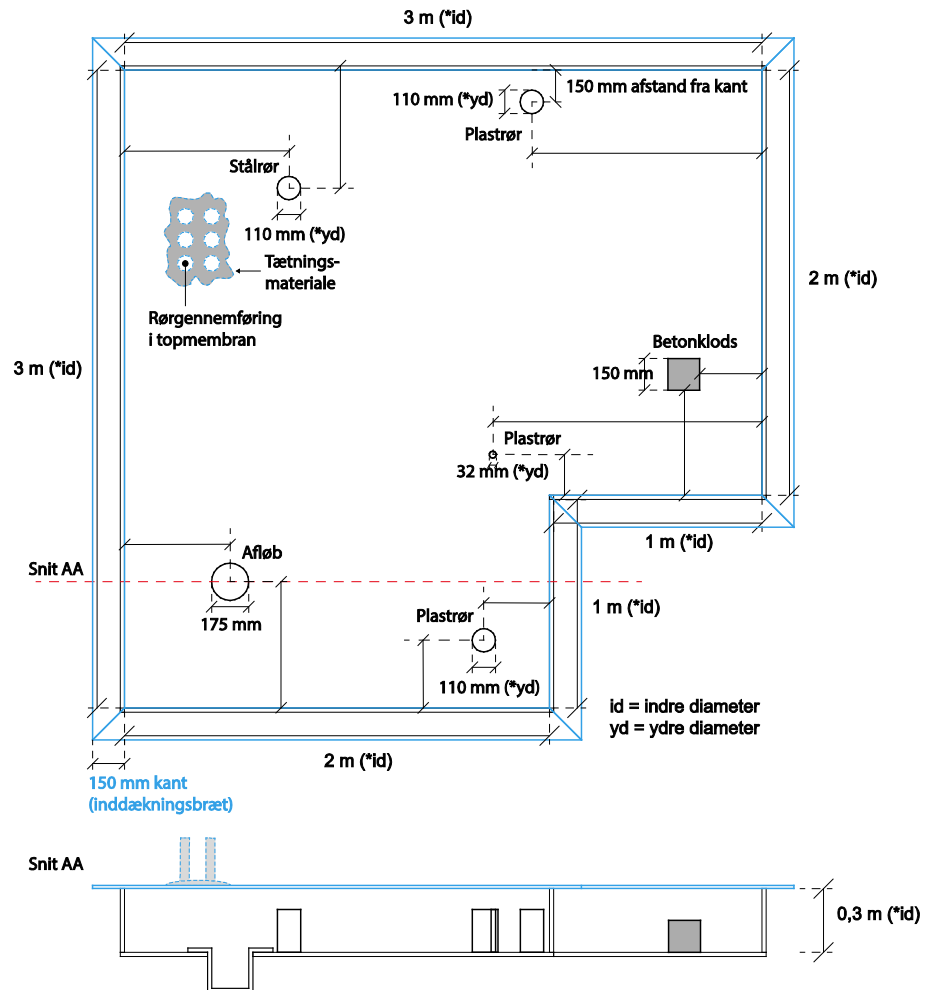
Udførelse af prøvning

Prøvestanden placeres på et fast, plant og vandret underlag.

Der stilles ikke specielle klimatiske krav i forbindelse med prøvningen, men prøvningen bør gennemføres i et tørt tempereret rum. Et tørt tempereret rum kan være et rum med begrænset opvarmning og uden fugtstyring. Et sådan rum har typisk en temperatur på mellem 17 og 25 grader celsius og en relativ luftfugtighed på mellem 15 og 65 %, med kortere perioder med mindre afvigelser af temperaturer og relativ luftfugtighed ud over de angivne intervaller.

Apparatur

Prøvestand til måling af lufttætheden af materialer anvendt til radonsikring er vist i Figur 1. Samlinger er vist med stiplede linjer. Ligeledes er placeringen af hjørner og gennemføringer vist. Prøvestanden er vist i målfast vandret og lodret snit i Figur 3.

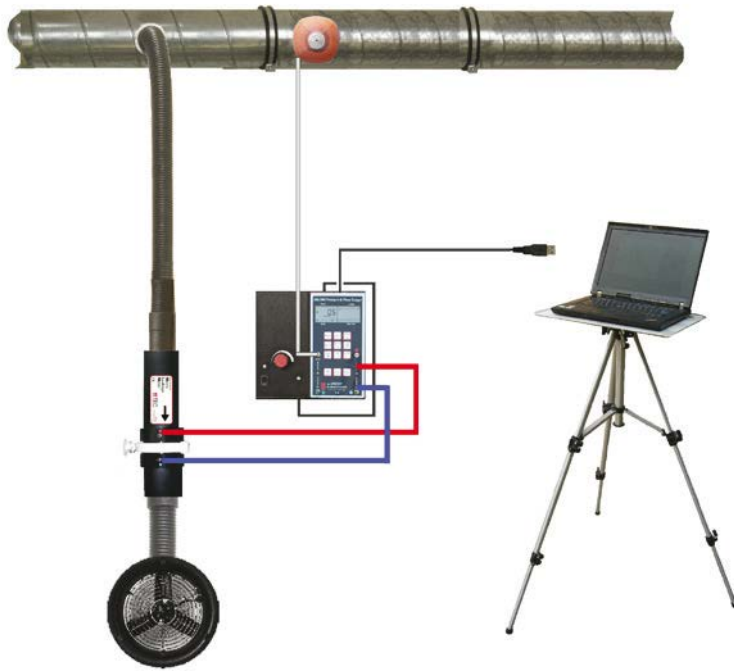


Figur 3. Prøvestand til måling af lufttætheden af materialer anvendt til radonsikring vist i vandret og lodret snit med anførte mål på placeringen af rør og afløb.

Udpumpning af luft fra prøvevolumenet foretages med en ventilator, hvis rotation styres ved hjælp af en PC. Registrering af sammenhængende værdier for luftstrøm og differenslufttryk, lufttryksforskellen mellem luften i prøvevolumenet og den omgivende luft, atmosfæren, foretages ved hjælp af en PC tilsluttet en differensstrykmåler. PC programmet der anvendes er TECLOC3 fra BlowerDoor GmbH.

Yderligere består apparaturet af:

- En ventilator
- En differensstrykmåler monteret foran ventilatoren, der benyttes til at bestemme lufthastigheden gennem ventilatoren, se Figur 4
- Differensstrykmåler der monteres til det fri, atmosfæren, og til prøvevolumenet i prøvestanden, og måler lufttryksforskellen mellem det fri, atmosfæren, og lufttrykket i prøvevolumenet placeret i prøvestanden, differenstryk måles i 5 punkter (P1 til P5), se Figur 2.
- Slanger, der til sammen udgør Minneapolis Micro Leakage Meter, typen FD E51-767, se Figur 4 og Figur 5. Minneapolis Micro Leakage Meter, typen FD E51-767 kan måle luftmængder fra 0,09 til 79 m³/h.



Figur 4. Minneapolis Micro Leakage Meter, type FD E51-767.



Figur 5. Enhed til bestemmelsen af luftstrømmen der pumpes ud af prøvevolumenet. Luftstrømmen over blænden måles.

Derudover består apparatet af:

- Lufttæt monteringsstape
- Blændeskiver foran ventilator med hulstørrelsen 3,8; 8,0; 20 og 45 mm, se Figur 5.
- En blændeskive (CD1) monteret i prøvestandens øvre membran med hulstørrelsen henholdsvis 7; 10,14 og 20 mm, se Figur 2.

Blændeskiver anvendes til at regulere lufthastigheden gennem prøvestand. Foran ventilatoren er én af de 4 blændeskiver placeret, se Figur 5. Ved prøvning af meget tætte membraner anvendes større blænde for mere nøjagtigt resultat. Der skal anvendes den samme blænde ved ventilatoren under hele prøvningen.

I prøvestandens øvre membran skal der placeres en blændeskive med fire hulstørrelser (CD1, se Figur 2), så der kan gennemføres målinger ved forskellige åbninger op til et åbent areal på ca. 600 mm², se Figur 6. Der gen-

nemføres prøvninger med flere forskellige åbninger i prøvestandens øvre membran, se afsnit angivelse af resultat.



Figur 6. Blændeskive placeret i prøvestandens øvre membran. De enkelte huller kan blændes med tape, hvorved forskellige kombinationer af åbninger kan etableres.

Angivelse af resultat

Resultatet angives som luftstrømmen i l/min ved en lufttrykforskel, differenslufttryk, mellem lufttrykket inde i prøvevolumenet i prøvestanden og lufttrykket i prøvestandens omgivende luft, atmosfæren, på 30 Pa.

Da der er stor forskel på membraners tæthed, vil der være en vis usikkerhed ved fastlæggelsen af luftstrømmen. Følgende procedure benyttes derfor til bestemmelse af luftstrømmen.

Luftstrømmen bestemmes ved 4 forskellige differenslufttryk, lufttrykforskel mellem lufttrykket inde i prøvevolumenet i prøvestanden og lufttrykket i prøvestandens omgivende luft, atmosfæren. Det kan fx være et differenslufttryk på 30, 50, 70 og 90 Pa, styret ved lufttrykmåleren placeret i P1, se Figur 2.

For hvert niveau af lufttrykforskel foretages fire målinger, hvor der etableres forskellige supplerende åbninger ved at åbne åbninger i blændeskiven (CD1). Dette benyttes til at kalibrere tætheden.

Under alle de 16 målinger angivet ovenfor registreres åbningen (A [mm^2]) med sammenhørende målte lufttryk i alle målepunkter (P1 til P5 [Pa]) samt luftstrømmen (q [l/min]) gennem udsuget.

Det samlede areal A af åbningen bestemmes som summen af arealerne af de blænder, der er åbnet i blændeskiven CD1:

$$A = \sum A_i \quad (1)$$

hvor

$$A_i = \pi/4 \cdot d_i^2 \quad (2)$$

, diameteren $d_i = 7, 10, 14$ og 20 mm

Randdifferenslufttrykket P_R i prøvningstanden bestemmes af:

$$P_R = \frac{1}{3}(P_3 + P_4 + P_5) \quad (3)$$

Middeldifferenslufttrykket P_M i prøvningstanden bestemmes af:

$$P_M = \frac{1}{9}(P_1 + 3 \cdot P_2 + 5 \cdot P_R) \quad (4)$$

Den relative luftstrøm $q/\sqrt{P_M}$ er lineær proportional med åbningernes areal A:

$$\frac{q}{\sqrt{P_M}} = cA + b \quad (5)$$

Hvor,

- c er et udtryk for prøvningsstandens strømningsmodstand
- b er den relative luftstrøm gennem membranen

De målte relative luftstrømme ved de udførte forskellige differenslufttryk, afbildes i et diagram som funktion af tilhørende åbningsarealer og ved hjælp af regression bestemmes skæringen med y-aksen, b.

Der gennemføres en regression for hvert differenslufttryk, der måles ved. Det vil sige i alt fire regressioner.

Skæringen b for de fire lufttrykniveauer afbildes herefter som funktion af lufttrykket, og der bestemmes et udtryk for skæringens trykafhængighed:

$$b = \alpha P_M + b_0 \quad (6)$$

hvor,

b_0 svarer til den relative luftstrøm ved ingen lufttrykforskel over membranen

Ved meget tætte membraner kan den statistiske usikkerhed resultere i en negativ værdi af b_0 , i så tilfælde udføres en ny regression, hvor den relative luftstrøms trykafhængig fastsættes som:

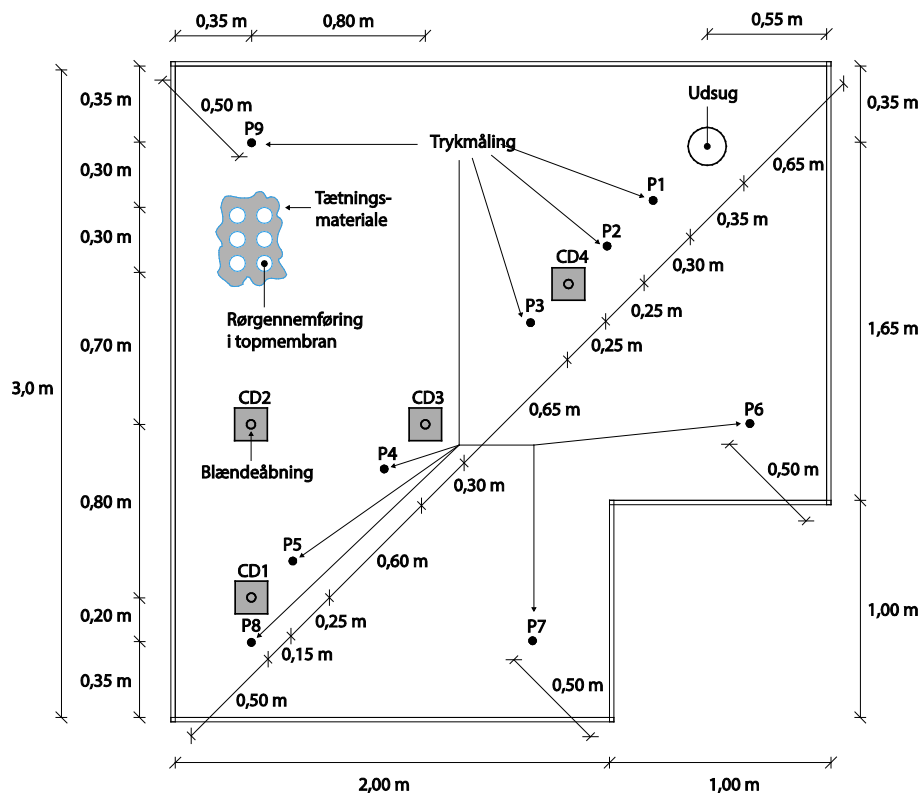
$$b = \alpha P_M \quad (7)$$

Resultatet af prøvningen angives som luftstrømmen i liter per minut (l/min) ved 30 Pa bestemt af:

$$q_{30} = b\sqrt{30} = (\alpha 30 + b_0)\sqrt{30} \quad (8)$$

Eksempel

I dette eksempel er der gennemført en måling på en membran udført med armeret puds. På prøvestandens øvre membran er der monteret 4 blænder med hver fire åbninger. En af blænderne er placeret som vist i Figur 2, mens de tre resterende blænder er placeret med to langs diagonalen og en væk fra diagonalen. Alle var placeret tættere på udsuget end blænde CD1, for at undersøge effekten af blændernes placering i prøvestandens øvre membran. Ligeledes er der placeret lufttrykmålere med henblik på at fastlægge en mere retvisende værdi for et repræsentativt differenslufttryk over membranen i hele prøvestanden og for at give et overvejende mere nøjagtigt billede af lufttrykvariationen i prøvestanden til brug for kalibrering af prøvingsmetoden, se Figur 7.



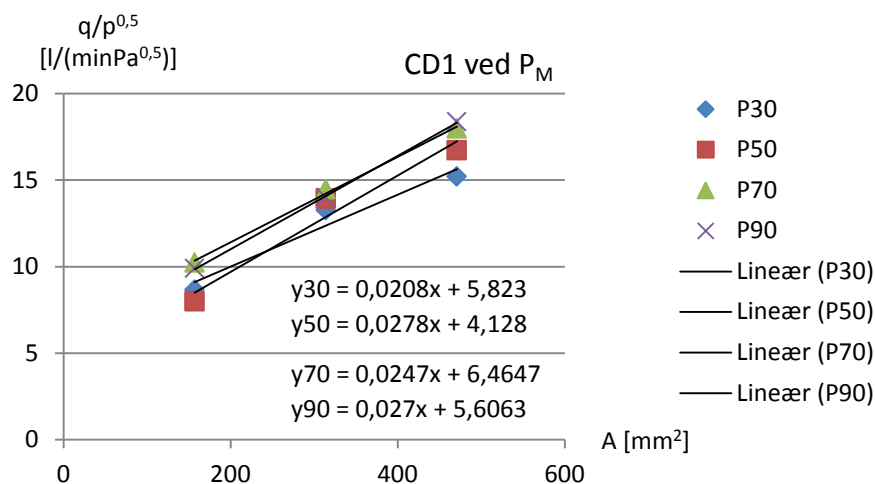
Figur 7. Placering af luftudtag, blændeskiver med forskellige åbninger og punkter for lufttrykmåling på prøvestandens øvre membran af armeret puds.

Luftstrømmen q bestemmes ved måling af differenslufttrykket p_o over luftstrømsenheden for det anvendte udstyr, se Figur 4 og Figur 5, i denne afprøvning ved kalibreringsudtrykket¹:

$$q = 16,7 \cdot 5,639 p_o^{0,49}$$

Der blev gennemført en måling alene med blænde CD1 åben med det formål at bestemme luftflowet gennem membranen. Den relative luftstrøm som funktion af åbningsarealerne er vist i Figur 8.

¹ Kalibreringsudtryk ved anvendelse af disk 1 jf. manual for Minneapolis Micro Leakage Meter, oktober 2014, side 46.



Figur 8. Relativ luftstrøm målt ved forskellige differenslufttryk, lufttrykforskelle mellem lufttrykket inde i prøvevolumenet i prøvestanden og lufttrykket i prøvestandens omgivende luft, atmosfæren og forskellige blændeåbninger, A, for en membran af armeret puds.

I eksemplet er anvendt en blændeåbning på henholdsvis 14 mm, 20 mm og en kombination af 14 mm og 20 mm. Hvor såvel 14 mm og 20 mm blændeåbningen er anvendt fås et areal, A, på:

$$A = \sum A_i = \frac{\pi}{4} (14^2 + 20^2) \approx 470 \text{ mm}^2$$

Ved et lufttryk bestemt ved P1, jf. Figur 7, på ca. 50 Pa og en blændeåbning på 157 mm² blev følgende målinger af differenslufttryk foretaget:

P1	P3	P5	P8	P9
49,2 Pa	44,8 Pa	44 Pa	44,6 Pa	45,5 Pa

Som resulterer i følgende randtryk, P_R:

$$P_R = \frac{1}{3} (44 + 44,6 + 45,5) = 44,7 \text{ Pa}$$

og heraf et middeltryk, P_M:

$$P_M = \frac{1}{9} (49,2 + 3 \cdot 44,8 + 5 \cdot 44,7) = 45,2 \text{ Pa}$$

Ved samme differenslufttryk over prøvestandens membran blev der målt et differenslufttryk over udsuget på:

$$p_o = 0,32 \text{ Pa}$$

Heraf bestemmes luftstrømmen for denne måling til:

$$q = 16,7 \cdot 5,639 \cdot 0,32^{0,49} = 53,9 \text{ l/min}$$

og det relative luftstrøm i den aktuelle måling kan bestemmes som:

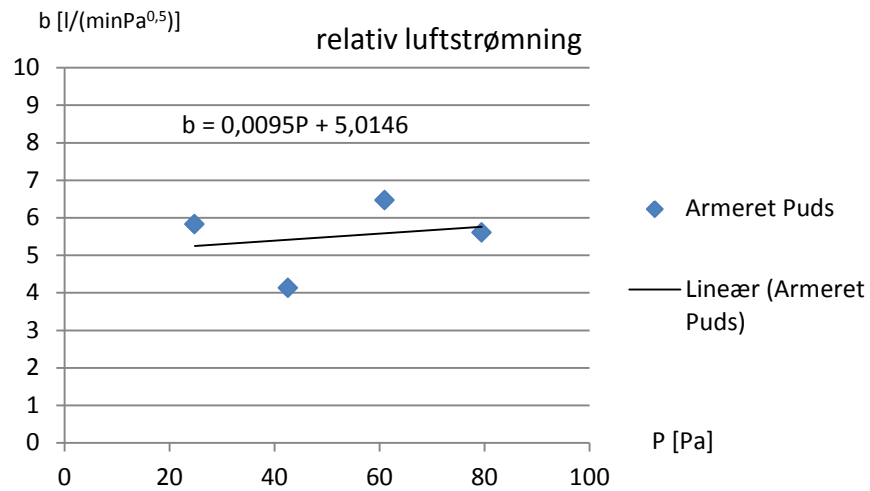
$$\frac{q}{\sqrt{P_M}} = \frac{53,9}{\sqrt{45,2}} = 8,01 \text{ l/(min Pa}^{0,5}\text{)}$$

Alle resultaterne er vist i Figur 8 og af regressionsanalysen ses, at skæringen med y-aksen, b, for de forskellige lufttrykdifferenser bliver:

$$b = 5,82; 4,13; 6,46; \text{ og } 5,61 \text{ l/(min Pa}^{0,5}\text{)}$$

Der udføres en regression på disse relative luftstrømme, da der er en vis trykafhængighed, som i henhold til Figur 9 bestemmes til:

$$b = \alpha P_M + b_0 = 0,0095P_M + 5,01$$



Figur 9 Regression af den relative luftstrøms trykafhængighed i den armerede pudsmembran.

Resultatet af prøvningen angives ved et differenslufttryk på 30 Pa og hermed fås luftstrømmen gennem den afprøvede membran til:

$$q_{30} = (0,0095 \cdot 30 + 5,01)\sqrt{30} = 29 \text{ l/min}$$

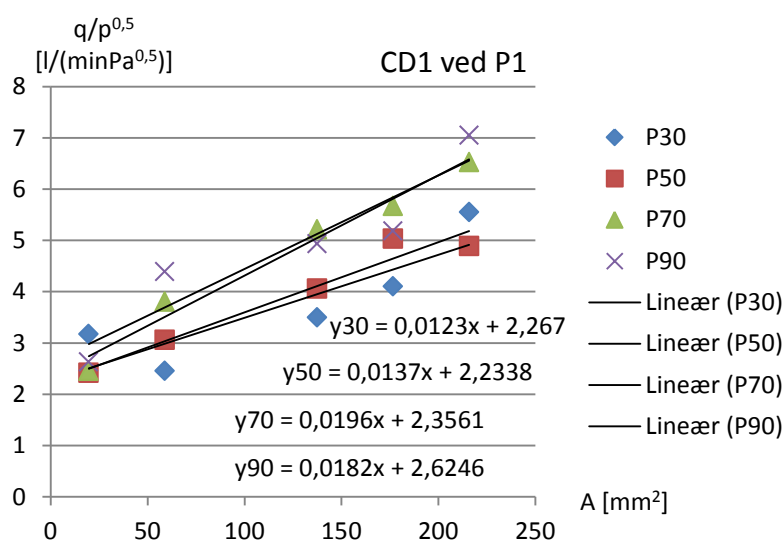
Af forsøgstekniske årsager udføres prøvningen ved høje differenslufttryk, men den faktiske luftstrømning i l/min ved lavere tryk kan for denne membran bestemmes af udtrykket:

$$q_{30} = (0,0095P + 5,01)\sqrt{P}$$

Hvor P indsættes med enheden pascal, Pa.

Diskussion

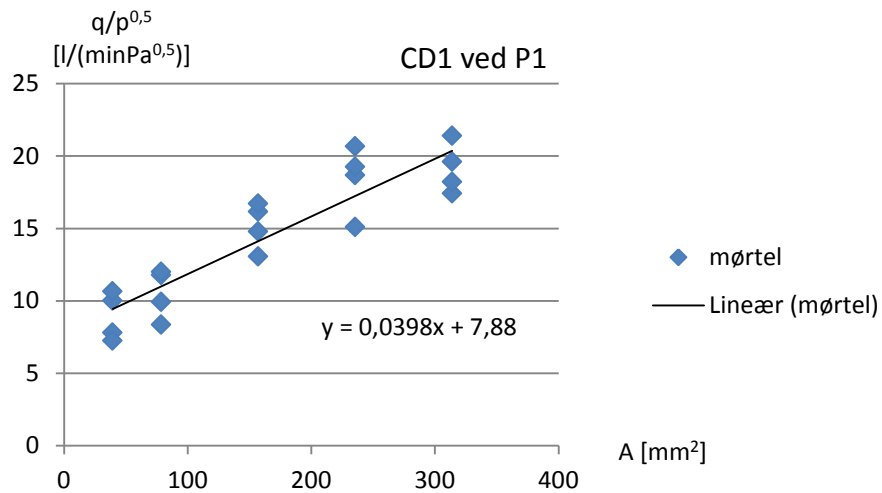
I forbindelse med prøvningen af den første membran, blev der gennemført en række indledende forsøg med henblik på at optimere selve monteringen af blændeåbninger, hvilket også har medført en relativ stor usikkerhed på de indledende observerede data. Derfor skal de viste data for de indledende forsøg med prøvningen tages med et vist forbehold. For de indledende forsøg er der ligeledes ikke kalibreret i forhold til middel differenslufttrykket, da dette ikke blev målt ved de indledende prøvninger. Resultatet af prøvningen er medtaget og vist for fuldstændighedens skyld, se Figur 10.



Figur 10. Relativ luftstrøm gennem prøvestandens øvre membran, der typisk anvendes som vådrumsmembran.

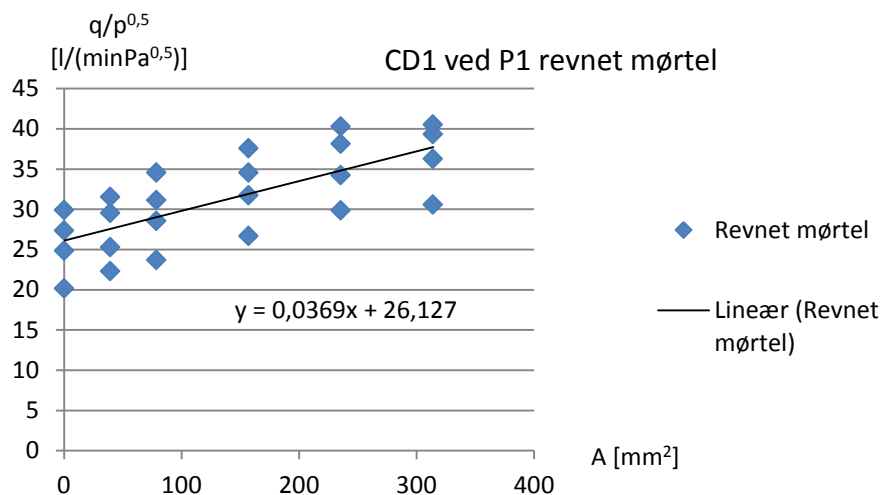
Undersøgelserne af vådrumsmembranen viste, at der er forskel på resultater målt med blænde CD1 henholdsvis blænde CD2, hvilket kan forklares ved åbningens afstand fra udsugningen. Afstanden har indflydelse på den strømningsmodstand der måles, og dette ses ud fra hældningen på kurven, som ændrer sig med blændens placering. Denne effekt viste sig at være mindre ved høje tryk, hvilket indikerer, at der i prøvningsmetoden skal benyttes blænde CD1.

Der blev gennemført en prøvning med en mere åben membran og mørtel (KC50/50/700) for nærmere at undersøge indflydelsen af forskellige typer blænde og deres placering i prøvestandens øvre membran på prøvningens resultater. Mørtlen er ikke umiddelbart egnet til at pudse på det underlag, der udgør prøvestandens indvendige overflade, hvorfor der opstod nogle revner i mørtlen. Revnerne blev udbedret med acrylfuge for at gennemføre prøvningen på den urevnedede mørtel anvendt som membran. Resultatet på den udbedrede membran uden synlige revner er præsenteret i Figur 11.



Figur 11. Relativ luftstrøm målt på mørtel uden synlige revner.

Den revnede mørtel blev ligeledes testet inden udbedring af synlige revner og havde som forventet en noget større luftstrøm gennem membranen, men det var til gengæld muligt at måle luftstrømmen uden brug af blændeåbninger i den øvre membran, hvilket viser, at metoden er konsistent, som det yderligere ses af Figur 12. I de øvrige prøvninger er de anvendte membraner for tætte til, at der kan måles en luftstrøm over membranen alene, da der uden brug af blænder opstår for stor usikkerhed på målingerne af luftstrømmen med det anvendte apparatur. De målte luftstrømme er for små og tæt på apparaturets mindste kapacitetsgrænse.

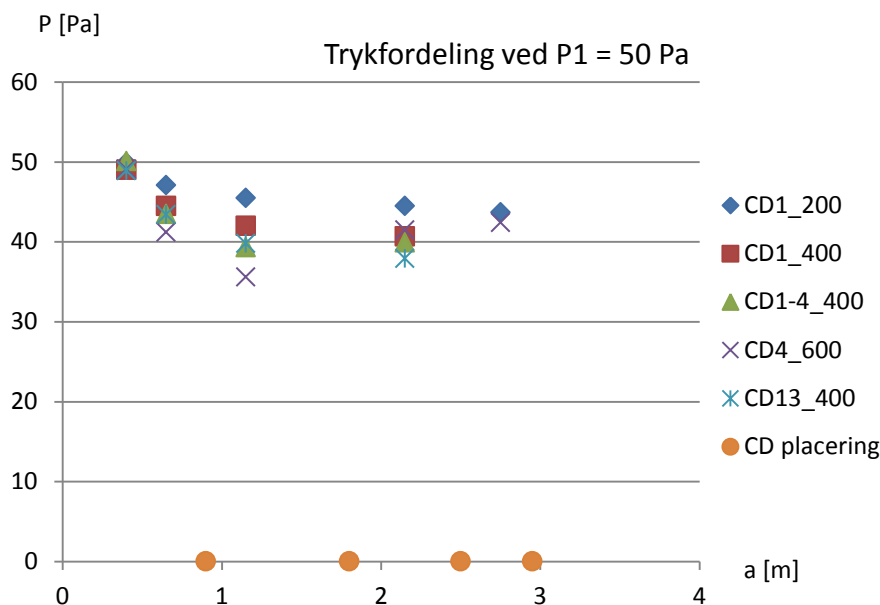


Figur 12. Relativ luftstrøm målt på membran med synlige revner.

Det ses, at der er meget stor spredning på dataene i såvel den urevnede mørtel puds, Figur 11, og den revnede mørtel puds, Figur 12, som kan forklares ved en variation i lufttrykket i prøvningsvolumenet, hvilket er uddybet nedenfor, hvor dette blev nøjere undersøgt på den armerede pudsede membran.

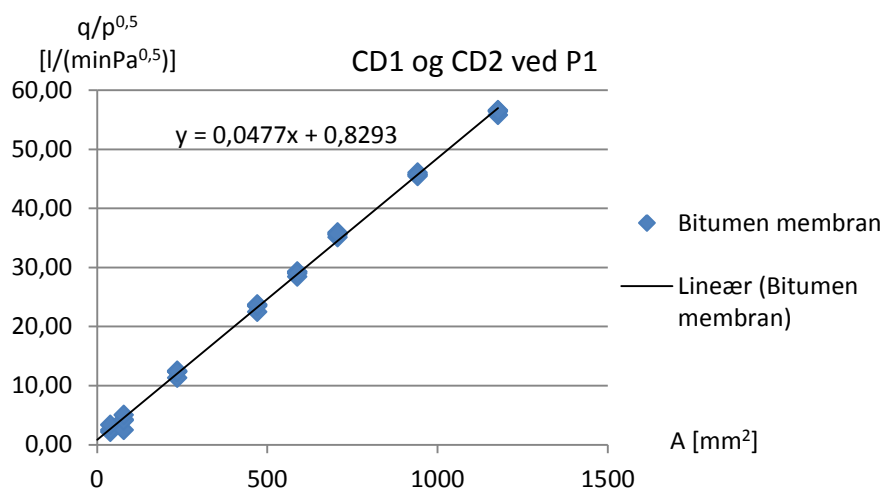
Ved første prøvning af den armerede puds anvendt som membran, hvor den relative luftstrøm blev kalibreret i forhold til lufttrykket målt ved P1, var der en bemærkelsesværdig og stor variation på resultaterne, ligesom det blev observeret på den uarmerede pudsmembran, derfor blev der indført flere differenslufttrykmålere med henblik på at undersøge variationen af differenslufttrykket, lufttrykudbredelsen, i prøvningsstanden ved den armerede pudsmembran og samtidig blev blænden placeret i forskellige afstande fra udsuget, se Figur 7.

Figur 13 viser, at differenslufttrykket varierer i prøvningsstanden såvel afhængig af blændens placering i afstanden, a, fra udsuget samt af blændens størrelse.



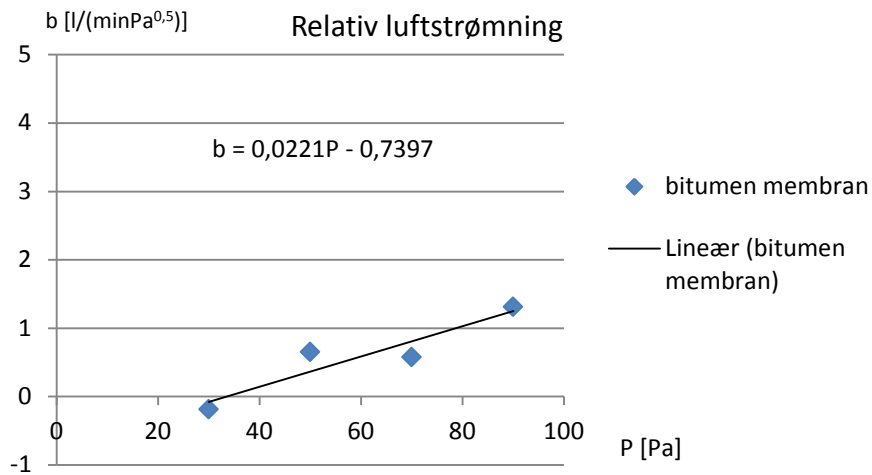
Figur 13. Lufttrykfordeling i prøvningsstanden ved prøvning af en membran af armeret puds ved forskellige placering af blænde og som funktion af afstanden, a, fra udsuget.

Yderligere blev der gennemført en prøvning med en forventet meget tæt membran baseret på bitumen. Det fremgår af Figur 14, at denne membran har en meget lille luftstrøm gennem membranen sammenholdt med de øvrige afprøvede membraner. Samtidig ses det, at der er meget lille variation på de foretagne målinger, selvom denne membran alene er kalibreret ud fra differenslufttrykket ved P1. En tæt membran er således ikke på samme måde følsom overfor differenslufttrykvariationer i prøvningsvolumenet omsluttet af membranen lagt i prøvningsstanden.



Figur 14. Relativ luftstrøm målt på membran baseret på bitumen.

Ved en regression ved forskellige differenstryk over den meget tætte membran baseret på bitumen, se Figur 15, blev der fundet en negativ værdi for den relative luftstrøms differensstrykafhængighed.

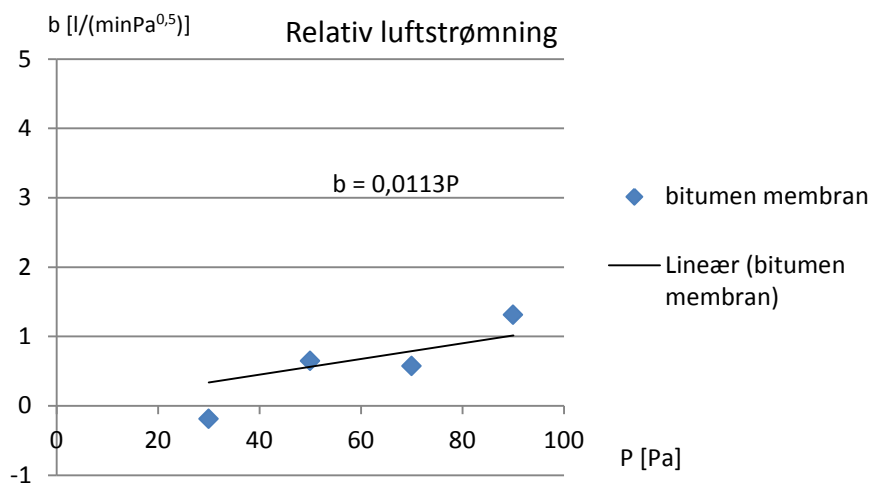


Figur 15 Regression af den relative luftstrøms differensstrykafhængighed ved en meget tæt bitumen baseret membran.

Ved den lineære regresion kan en negativ luftstrøm bestemmes for det tilfælde, at der ikke er lufttrykforskel over membranen. Da det ikke er fysisk muligt at have en negativ luftstrømning, når differenslufttrykket over membranen er nul, antages det negative resultat af regresionen derfor at skyldes almindelig statistisk usikkerhed, forårsaget af at membranen er meget tæt. Differensstrykafhængigheden kalibreres derfor i stedet ved udtrykket:

$$b = \alpha P_M = 0,011P$$

som vist i Figur 16.



Figur 16 Regression af den relative luftstrøms differensstrykafhængighed ved en meget tæt bitumen baseret membran med tvungen nul værdi for nul differensstryk over membranen.

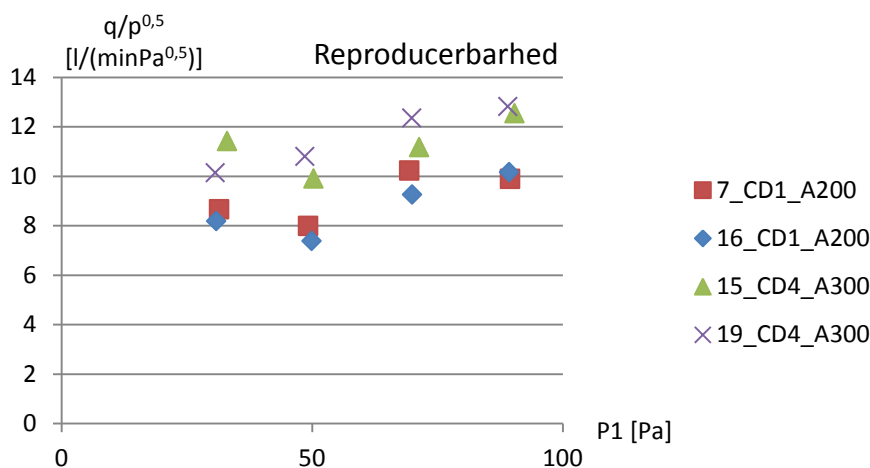
Det vurderes at prøvningsmetoden skal kalibreres efter differenslufttrykvariationen og differenslufttrykkets udbredelse i prøvningsvolumenet, differenslufttrykudbredelsen i prøvningsvolumenet givet ved en midling af differenslufttrykket, med henblik på at minimere variationen i målingen, hvilket er begrundelsen for udviklingen af udtrykket til bestemmelse af middeldifferenslufttrykket P_M :

$$P_M = \frac{1}{9}(P_1 + 3 \cdot P_3 + 5 \cdot P_R)$$

Middeldifferenslufttrykket fremkommer af, at differenslufttrykket udbredes fra udsuget som ringe i prøvestanden, Randdifferenslufttrykket P_R viser sig ved forsøg at være det mest dominerende ved bestemmelsen af middeldifferenslufttrykket.

Af Figur 13 ses ligeledes, at variationen af differenslufttrykket i prøvestanden afhænger af blændens placering. Eksempelvis er differenslufttrykket relativt lavere i målingen hvor der er anvendt en blænde (CD4) placeret tæt på udsuget. Ligeledes er der også en effekt af antallet af blænder, hvor differenslufttrykket er lavere hvis der anvendes flere blænder (CD1- CD4) selvom åbningsarealet er det samme. Det har ikke været en del af nærværende projekt at gennemføre en nærmere kalibrering af antallet og placeringen af blænder (svarende til en membran med mange mindre huller placeret flere steder, i forhold til en membran med en enkelt utæthed). En kalibrering i forhold til blænder og deres placering vil kræve flere prøvninger og variationsanalyser. For at kortlægge den fulde betydning af blænder og deres placering kræver at der udføres yderligere prøvninger med netop dette for øje, hvilket må forventes at resultere i en mere konsistent prøvningsmetode. De allerede udførte variationsanalyser vurderes tilstrækkelige til at kunne konstatere variationen og kunne tage højde for usikkerheden ved anvendelsen af middeldifferenslufttrykket, P_M .

Disse prøvninger viser dog, at variationen på målingerne er relativt små, når der måles på en prøvestand hvor blænden er placeret relativt langt fra udsuget. Ligeledes er det vist, at prøvningsmetoden er robust og giver stabile resultater med en god reproducerbarhed. Der blev gennemført flere gentagne målinger ved såvel forskellige blænder og forskellige differenslufttryk. I Figur 17 ses, at ved blænde langt fra udsug (CD1) er der en tilfredsstillende reproducerbarhed af målingerne. Mens ved målinger med blænde placeret tæt på udsug er der en større usikkerhed, men dog en rimelig reproducerbarhed på bestemmelsen af membraners lufttæthed.



Figur 17. Reproducerbarhed af målinger på membran bestående af armeret puds.

Med forbehold for de begrænsede målinger ses der endvidere en vis afhængighed af differenslufttrykniveauet, der måles ved. Dette kan sandsynligvis forklares ved placeringen og antallet af blænder anvendt i den afprøvede membran. For en nøjere udredning er det nødvendigt med yderligere prøvninger.

Der blev under udviklingen af prøvningsmetoden også udført en prøvning på en kalkcement mørtel (KC50/50/700) anvendt som membran for at undersøge en membran med en forventet større lufttæthed. Målingen viste en større variation, hvilket indikerer, at der har været flere utætheder i membranen, men membranen havde på trods af dette en rimelig tæthed, se Figur 11.

Konklusion

En standardiseret metode til prøvning af materialer, der ønskes anvendt til radonsikring ved lufttætning af vægge og gulve er præsenteret. Prøvningen kan anvendes for materialer, hvor radonsikringen udføres ved at reducere indtrængning af poreluft fra jord til indeklimaet. Prøvningen inkluderer tætning omkring gennemføringer i form af rør og riste samt tætning af indadgående udadgående hjørner.

Infiltrationen af radon fra poreluft i jord til indeklimaet kan reduceres ved at lufttætte konstruktioner mod jord, fx terrændæk, kældervæg eller kældergulv, eller lufttætte konstruktioner, der adskiller opholdsrum fra eksempelvis kælderrum. Metoden kan vurdere en membrans modstand mod luftindtrængning, når den anvendes i et typisk énfamiliehus på 100 m².

Radonsikring af bygninger udføres for at opnå et acceptabelt indhold af radon i indeluften. Bygningsreglement 2010 (Erhvervs- og Byggestyrelsen, 2010) og Bygningsreglement 2015 (Trafik og Byggestyrelsen, 2015) anbefaler et så lavt indhold af radon i indeluften som muligt og har defineret den øvre grænse for et acceptabelt lavt niveau svarende til 100 Bq/m³. Metoden omfatter ikke radonindtrængning i bygninger ved diffusion.

Prøvningsmetoden er en videreudvikling af prøvningsmetoden SINTEF Byggforsk, NBI 167/02, "Radonmembran: Prøving af lufttetthet", Februar 2016 (SINTEF Byggforsk, 2016). Prøvningsmetoden er videreudviklet, så den tager højde for parametre som en inhomogen differenslufttrykudbredelse i prøvevolumenet, målenøjagtighed ved lav infiltration, og at differenslufttrykket, lufttryksforskellen, over membranen styres automatisk, samt at sammenhørende værdier af differenslufttryk og luftstrøm logges automatisk. Det er parametre, der har vist sig at have betydning for prøvningens resultat.

Af hensyn til parameteren, der tager højde for inhomogen differenslufttrykudbredelse i prøvevolumenet, bestemmes et middeldifferenslufttryk i prøvevolumenet ud fra 5 differenslufttryk.

Af hensyn til parameteren, der tager højde for målenøjagtighed ved lav luftindtrængning, bestemmes den faktiske luftindtrængning gennem membranen set i forhold til den luft, der tilføres gennem blænder i membranen. Blænder i membran skal placeres længst væk fra udsuget, da det giver mest konsistente målinger.

Differenslufttrykket over membranen styres automatisk ved anvendelse af Minneapolis Micro Leakage Meter, typen FD E51-767 som sammen med tilhørende software til PC logger sammenhørende værdier af differenslufttryk og luftstrøm automatisk. Med de indførte justeringer af prøvningsmetoden: SINTEF Byggforsk, NBI 167/02, "Radonmembran: Prøving af lufttetthet", Februar 2016 (SINTEF Byggforsk, 2016), fås robuste og reproducerbare resultater af prøvninger.

Litteratur

Dansk Standard. (2000). *Fleksible membraner til fugtisolering - Bestemmelse af rivestyrke - Del 2: Plast- og gummimembraner til tagdækning* (DS/EN 12310-2:2000). Danmark.

Dansk Standard. (2006). *Fleksible membraner til fugtisolering - Tagpap, plast- og gummifolier til tagdækning - Bestemmelse af modstand over for slagpåvirkning* (DS/EN 12691:2006). Danmark.

Dansk Standard. (2010). *Fleksible membraner til fugtisolering - Bestemmelse af samlingers forskydningsstyrke - Del 2: Plast- og gummifolier til tagdækning* (DS/EN 12317-2:2010). Danmark.

Dansk Standard. (2013). *Fleksible membraner til fugtisolering - Bestemmelse af trækstyrkeegenskaber – Del 2: Plast- og gummimembraner til tagdækning* (DS/EN 12311-2:2013). Danmark.

Dansk Standard. (2015). *Fleksible membraner til fugtisolering – Bitumen-, plast- og gummifolier til tagdækning – Bestemmelse af modstand over for statisk last* (DS/EN 12730:2015). Danmark.

Erhvervs- og Byggestyrelsen. (2010). *Bekendtgørelse om offentliggørelse af bygningsreglement 2010 (BR10)*. København: Erhvervs- og Byggestyrelsen. Lokaliseret på:

<https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=132697>

SINTEF Byggforsk, NBI 167/02, "Radonmembran: Prøving av lufttæthed", Februar 2016. Norge: SINTEF Byggforsk. Lokaliseret på:

<http://www.byggforsk.no>

Rasmussen, T.V., & Wraber, I. (2011). *Radon – kilder og måling* (SBI-anvisning 232). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet. Lokaliseret på: <http://anvisninger.dk/232>

Rasmussen, T.V. (2015). *Radonsikring af nye bygninger, 2. udgave* (SBI-anvisning 233). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet. Lokaliseret på: <http://anvisninger.dk/233>

Rasmussen, T.V. (2016). *Radonsikring af eksisterende bygninger, 2. udgave* (SBI-anvisning 247). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet. Lokaliseret på: <http://anvisninger.dk/247>

Trafik- og Byggestyrelsen. (2015). *Bekendtgørelse af offentliggørelse af bygningsreglement 2015 (BR15)* (BEK nr. 1601 af 14/12/2015). København: Trafik- og Byggestyrelsen. Lokaliseret på:

<https://www.retsinformation.dk/forms/R0710.aspx?id=174471>

Zeeb, H., Shannoun, F. (ed). (2009). *WHO Handbook on indoor radon – a public health perspective*. World Health Organization. Geneva. 94 p.

Radon trænger ind i bygninger gennem lufttætheder i konstruktioner mod jord, fx kældergulv, -væg og terrændæk. En radonspærre skal holde den radioaktive gas radon ude af bygningen.

Denne rapport beskriver en prøvningsmetode, der kan anvendes til at afprøve effektiviteten af radonsikringsmaterialer. I forbindelse med udarbejdelsen af prøvningsmetoden er der testet fire forskellige typer materialer til radonsikring, og det er sket i samarbejde med de pågældende producenter/leverandører.

Prøvningsmetoden kan anvendes til at vurdere en membrans modstand mod luftindtrængning i et typisk énfamiliehus på 100 m² og er en videreudvikling af prøvningsmetoden SINTEF Byggforsk, NBI 167/02, Radonmembran: Prøving av lufttetthet, Februar 2016. Prøvningen inkluderer tætning omkring gennemføringer samt tætning af indad- og udadgående hjørner.

1. udgave, 2016
ISBN 978-87-563-1794-8