Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Thoronmålinger til identifikation af indtrængningsveje fra poreluft til indeklima

Miljøprojekt nr. 1453
Teknologiprogrammet for jord- og grundvandsforurening

Titel:

Thoronmålinger til identifikation af indtrængningsveje fra poreluft til indeklima

Redaktion:

Jesper Bruun Petersen, Henrik Engdal Steffesen, Mette Neerup Jeppesen, Niras A/S, VIA University College, Horsens, Børge Hvidberg, Region Midtjylland

Udgiver:

Miljøstyrelsen
Strandgade 29
1401 København K
www.mst.dk

År:

2012

ISBN nr.

978-87-92903-72-3

Ansvarsfraskrivelse:

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

FORORD 7

SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER 9

1.1 BAGGRUND OG FORMÅL 9
1.2 UNDERSØGELSEN 9
1.3 HOVEDKONKLUSIONER 10

SUMMARY AND CONCLUSIONS 12

1.1 BACKGROUND AND OBJECTIVE 12
1.2 THE INVESTIGATION 12
1.3 PRINCIPAL CONCLUSIONS 13

2 INDLEDNING 15

2.1 LÆSEVEJLEDNING 16

3 GENERELLE PROBLEMSTILLINGER 17

3.1 EMANATION 17
3.2 INDTRÆNGNING AF PORELUFT TIL INDEKLIMAET 18
3.2.1 Drivkræfter 19
3.3 DIFFUSIV OG ADVEKTIV TRANSPORT AF THORON 20
3.3.1 Diffusiv transportlængde 20
3.3.2 Advektiv transportlængde 22
3.3.3 Total migrationslængde 22
3.4 RADIOAKTIVE STOFFER I INDEKLIMAET 23
3.4.1 Bygningsmaterialer 24

4 METODE- OG UDSTYRSBESKRIVELSE 26

4.1 OVERORDNET METODEBESKRIVELSE 26
4.2 UDSTYR 26
4.2.1 RAD7 26
4.2.2 Trykdifferensmåler 28
4.2.3 Flowmåler 28
4.3 MÅLING I UDVALGTE PUNKTER 28
4.4 TOLKNING AF RESULTATER 29
4.5 USIKKERHEDER 31
4.5.1 Radon vs. thoron som tracer 32
4.6 INSTALLATION AF BLOWERDOOR 33

5 UNDERSØGELSESPROGRAM OG LOKALITETER 34

5.1 UNDERSØGELSESPROGRAM 34

6 UNDERSØGELSESRESULTATER 36

6.1 INDLEDENDE METODEUDVIKLING (DELUNDERSØGELSE 1) 36
6.2 RESULTATER FRA DELUNDERSØGELSE 2 37
6.3 RESULTATER FRA DELUNDERSØGELSE 3 38
6.3.1 Frederiksbjerg Torv 39
6.3.2 Østergade 40

7 VURDERING AF MÅLEDATA 43

7.1 OVERORDNEDE VURDERINGER 43
7.2 SAMMENFATNING, PÅVISTE INDTRÆNGNINGSPUNKTER 43
7.3 MÅLING UNDER NATURLIGT VARIERENDE FORHOLD 44
7.3.1 Variationer i trykdifferens 44
7.3.2 Varierende indtrængning i samme målepunkt 46
7.3.3 Indtrængning ved radiatorroset 48
7.4 MÅLING UNDER KONTROLLEREDE FORHOLD 48
7.4.1 Øget indtrængning ved øget trykdifferens 49
7.4.2 Forskelle i trykdifferens 49
7.5 METODEEVALUERING 50
7.5.1 Fejlkilder og fejlfortolkning 51
7.5.2 Opsamling 52

8 METODENS ANVENDELIGHED 54

8.1 THORON SOM SPORGAS FOR INDTRÆNGENDE PORELUFT 54
8.2 ANBEFALINGER FOR FREMTIDIG ANVENDELSE AF METODEN 55
8.2.1 Måleprogram 55

9 REFERENCELISTE 57

BILAGSFORTEGNELSE:

BILAG 1: Henfaldskæder

BILAG 2: Situationsplaner
- BILAG 2.1: Delundersøgelse 2, lille hus, Peder Kællers vej
- BILAG 2.2: Delundersøgelse 2, stort hus, Peder Kællers vej
- BILAG 2.3: Delundersøgelse 3, Frederiksbjerg Torv, Århus
- BILAG 2.4: Delundersøgelse 3, Østergade, Spøttrup

BILAG 3: Grafisk præsentation
- BILAG 3 Læsevejledning til bilag 3
- BILAG 3.1: Delundersøgelse 1
- BILAG 3.2: Delundersøgelse 2
- BILAG 3.3: Delundersøgelse 3
- BILAG 3.4: Delundersøgelse 3 – trykdata
- BILAG 3.5: Temablad: variation i målepunkt

BILAG 4: Fotos
- BILAG 4.1: Delundersøgelse 2, Peder Kællers vej
- BILAG 4.2: Delundersøgelse 3, Frederiksbjerg Torv, Århus
- BILAG 4.3: Delundersøgelse 3, Østergade, Spøttrup

BILAG 5: Datablade
- BILAG 5.1: Tryklogger GMSD 2,5 MR
- BILAG 5.2: Tryklogger Micatrone MF-P
- BILAG 5.3: Vindmåler SwemaAir 40

BILAG 6: Lokaliteter

Forord

Denne rapport har til formål at introducere og beskrive en metode til lokalisering af advektive spredningsveje for flygtig forurening fra poreluften under gulvet til indeklimaet. Metoden tager udgangspunkt i naturligt forekommende radioaktive isotoper, der findes i enhver jordart overalt i Danmark.

Projektet er gennemført i perioden september 2009 til maj 2010 og indeholder metodeudvikling og –afprøvning på en række forskellige lokaliteter. I projektet er benyttet lokaliteter som både er påvist påvirket i indeklimaet fra en underliggende forurening og lokaliteter uden forurening. I begge tilfælde vil der til stadighed forekomme indtrængning af den naturlige, radioaktive, kræftfremkaldende gasart radon, herunder en isotop af denne, thoron. Det er netop denne indtrængning, der i projektet anvendes til at spore indtrængningsveje.

Projektet er gennemført af NIRAS A/S for Region Midtjylland og er primært finansieret af Miljøstyrelsens Teknologipulje for jord- og grundvandsforurening. En del af projektaktiviteterne er gennemført ved hjælp af udstyr venligst udlånt af VIA University College v. lektor Inga Sørensen. Samtlige projektaktiviteter er udført af NIRAS A/S.

Sammenfatning og konklusioner

1.1 Baggrund og formål

I forbindelse med Miljøprojekt nr. 1094, 2006 /1/ og ATV's temadag "Poreluft og indeklima – Hvordan er de to koblet?" /2/ samt Miljøprojekt /3/ er der redegjort for, at radonmålinger kan anvendes til at fastlægge en dæmpningsfaktor for et givent betondæk. I /1/ er det endvidere konkluderet, at radon er en anvendelig indikator til at påvise poreluftindtrængning til indeklimaet, blandt andet fordi radon i poreluften forekommer i koncentrationer som er op til 10.000 gange højere end koncentrationer i udeluften. Desuden er det i litteraturen foreslået, at måling af thoron muligvis kan benyttes til sporing af luftbevægelser og transport af radon til indeklimaet /9/.

Thoron er en isotop af radon (^{222}Rn). Thoron (^{220}Rn) har en meget kort halveringstid ($T_{½\ 220Rn}$ = 56 s). Til sammenligning har radon en halveringstid på ca. 3,8 døgn. Ligesom radon findes thoron overalt i poreluften i højere eller lavere koncentrationer, afhængig af jordens beskaffenhed.

Grundet thorons korte halveringstid er stoffets diffusionslængde (se afsnit 3) meget kort, hvilket umuliggør en længere diffusiv transport af stoffet. En påvisning af thoron i indeklimaet vil derfor være et udtryk for at thoron trænger ind via advektive indtrængningsveje – revner, sprækker og andre utætheder hvor poreluften uhindret kan strømme fra undergrunden til indeklimaet.

Projektets primære formål er at udvikle og afprøve en metode til, vha. thoronmålinger, at lokalisere advektive indtrængningspunkter for poreluft til indeklimaet.

1.2 Undersøgelsen

Projektet har indledningsvist indeholdt en erfaringsopsamling fra allerede udførte målinger i andet projektregi, samt litteraturstudie af relevante internationale erfaringer. Desuden indeholder projektet feltmålinger af thoron og radon i indeklimaet på 21 lokaliteter. 17 af disse er enfamiliehuse med terrændæk. De resterende 4 lokaliteter er etagebyggeri hvor der er målt i nederste etage. 5 af de 21 lokaliteter er forurenet med olie eller chlorerede opløsningsmidler. Forureningssituationen og afværgeindsatsen på de 5 forskellige lokaliteter er alle beskrevet i selvstændige miljørapporter /28, 29, 43, 44, 46, 48, 49/.

Undersøgelsens feltarbejde er inddelt i 3 delundersøgelser hvis omfang er følgende:

Subproject 1. Indledende metodeudvikling, 17 lokaliteter
Subproject 2. Specifik metodeafprøvning, 9 lokaliteter
Subproject 3. Metodeafprøvning med supplerende målinger, 2 lokaliteter

Hvor delundersøgelserne 1 og 2 alene omfatter thoronmålinger, er der i delundersøgelse 3 tillige indeholdt samtidig måling vha. termografi, sporgas og PID-gasdetektoren ppbRAE. En samlet rapport med sammenligninger af de forskellige metoder for sporing af indtrængning af poreluft til indeklimaet findes i /54/.

Feltarbejde i forbindelse med denne undersøgelse er udført i perioden september 2009 til maj 2010.

Projektet er udført for Region Midtjylland af NIRAS A/S og indgår i Miljøstyrelsens Teknologipulje for jord- og grundvandsforurening.

1.3 Hovedkonklusioner

Thoron kan bruges som sporgas. Metoden inkluderer målinger af både radon- og thoronkoncentrationer, eller rettere; indholdet af polonium-radioisotoperne ^{216}Po og ^{218}Po i målepunktet. Det meget kortlivede henfaldsprodukt fra thoron, ^{216}Po, benyttes som den primære tracer, idet både thoron og henfaldsproduktet ^{216}Po har så korte halveringstider, at ^{216}Po ikke vil trænge ind i indeklimaet i større mængder. Det er således kun thoron og ^{216}Po, der vil afsætte et markant koncentrationsspor ved indtrængningsstedet, som ikke kan være en falsk-positiv. Radon og det henfaldsprodukt ^{218}Po har for lange halveringstider til med sikkerhed at indikere indtrængning, og bruges ved denne målemetode derfor mere som en verificering.

Målemetoden, som er benyttet i dette projekt, vurderes direkte at kunne benyttes til identifikation af indtrængningsveje af flygtige forureningsstoffer fra poreluft til indeklima.

Ved undersøgelserne er der primært fundet indtrængning af poreluft til indeklimaet ved rørgennemføringer og lignende installationer samt ved skader i gulvkonstruktionen. Det anbefales at der rettes et særligt fokus på disse risikopunkter ved fremtidige undersøgelser.

Ved undersøgelserne er det fundet, at indtrængning af poreluft primært er afhængig af trykdifferensen mellem indeluft og under gulv; et forhold styret af gulvkonstruktionens tæthed samt eksterne påvirkninger som temperaturer og vindforhold. Trykdifferensen er tidslig varierende. Det anbefales derfor, at der foretages en udvikling af en standardiseret metode til trykdifferensmåling til brug ved fremtidige indeklimamålinger.

Thoronmålinger, som udført i dette projekt, vurderes at give et godt billede af indtrængningsmønstre til indeklimaet. Under danske forhold vil der normalt være et svagt undertryk i bygninger i forhold til både udeluften og det kapillarbrydende lag. Trykforskellen mellem indeklimaet og det kapillarbrydende lag kan dog variere fra rum til rum og også over tid. Det er derfor vigtigt at registrere denne trykforskel i forbindelse med målingerne. En blowerdoor kan benyttes til at øge undertrykket og dermed indtrængningen af poreluft til indeklimaet, men ulempen er, at en blowerdoor kan generere en indtrængning af poreluft gennem indtrængningspunkter som normalt er inaktive eller mindre dominerende. Der kan dog forekomme situationer, hvor der ikke forekommer et relativt undertryk i den pågældende bygning, og hvor det således kan være en god ide at anvende blowerdoor, men det bør overvejes i den enkelte sag. Det anbefales, som dokumentation for trykforholdende på

den givne lokalitet, at registrere trykdifferensen mellem indeklima og forholdene under gulvet.

Summary and Conclusions

1.1 Background and Objective

In connection with the Danish Environmental Protection Agency's project no. 1094, 2006 /1/ and the ATV-foundation feature day "Soil Gas and Indoor Climate – how are the Two Connected?" /2/ it has been described that radon measurements can be applied to establish an attenuation factor for a given concrete floor. In /1/, it is further concluded that radon is a useful indicator for the detection of soil gas intrusion into indoor air, partly because radon in soil gas is present in concentrations up to 10,000 times higher than those in outdoor air. Moreover, it has been suggested that measurements of thoron may be used to track air movement and transport of radon to indoor air /9/.

Thoron is an isotope of radon (^{222}Rn) with a very short half-life ($T_{½\ 220Rn}$ = 56 seconds). In comparison, the half-life of radon is approximately 3,8 days. Like radon, thoron exists everywhere in the soil gas in higher or lower levels of concentration depending on soil conditions.

Due to the short half-life of thoron, its diffusion length (se section 3) is very short, thus impeding prolonged diffusive transport. Detecting thoron in the indoor air will hence indicate the intrusion of thoron via advective pathways; cracks and other leakages where soil gas flows freely from the subsurface to the indoor air.

The primary objective of this project is to develop and test a method using thoron measurements to locate advective intrusion pathways of soil gas into indoor air.

1.2 The investigation

Initially, the project included a compilation of experiences from already performed measurements in other project frameworks and a review of relevant international literature. Furthermore, the project contains field measurements of thoron and radon in indoor air at 21 locations, of which 17 are single family houses with concrete floors. The remaining 4 sites are multi-storey buildings where measurements were performed in the bottom floor. 5 of the 21 sites are contaminated with NAPLs.
The pollution situation and remedial actions taken at the 5 different sites are all described in separate environmental reports /28, 29, 43, 44, 46, 48, 49/.

The fieldwork of the project is divided into 3 substudies containing the following:

Substudy 1. Initial method development, 17 locations
Substudy 2. Specific method testing, 9 locations
Substudy 3. Method testing and additional measurements, 2 locations

Where sub study 1 and 2 comprised thoron measurements only, sub study 3 includes simultaneous investigations using thermography, tracer gas and PID-gas tracer ppbRAE measurements. A comprehensive report comparing the various methods for detecting intrusion pathways for soil gas to indoor air can be found in /54/.

Fieldwork for this project was carried out from September 2009 to May 2010. The project was carried out for Central Denmark Region by NIRAS A/S as a part of the Danish Environmental Protection Agency's Technology Fund for Soil and Groundwater Contamination.

1.3 Principal conclusions

Thoron can be used as a tracer gas. The method includes measurements of both radon and thoron concentrations, or rather, the content of the polonium-radioisotopes ^{216}Po and ^{218}Po at the measuring point. The very short-lived decay product of thoron, ^{216}Po, is used as the primary tracer since the short half-lives of both thoron and ^{216}Po make it impossible for ^{216}Po to enter the indoor air in large quantities. Thus it is only thoron and ^{216}Po which will leave a clear non-false-positive concentration trace at the point of intrusion. Radon and its decay product ^{218}Po are too long-lived to accurately indicate intrusion, and are used merely as verification when using the described technique.

The measurement methodology used in this project is estimated as suitable for the assessments of intrusion of volatile contaminants into a given indoor environment.

In the field tests, intrusion of soil gas into indoor air has primarily been found at pipe ducts and similar installations as well as by cracks in the floor construction. Emphasis on such points of elevated risk is recommended in future studies.

Intrusion of soil gas is found to be mainly dependent on the differential pressure of inside air versus sub slab soil gas. This pressure difference is governed by the structural density of the floor and external influences such as temperatures and wind conditions. The pressure difference is a temporal variable. Therefore, the development of a standardized method for measuring this pressure difference is recommended for future indoor air investigations.

Thoron measurements, as conducted in this project, present a good understanding of intrusion pathways to the indoor air. In Danish condition, the indoor air is typically depressurized relative to outdoor or sub slab air. The pressure difference between the indoor and sub slab air can vary in time and from room to room, stressing the need for pressure difference measurements during the investigation. A blower door may be used to scale the depressurization and thus the flow of soil gas to the indoor air. The disadvantage of using this technique, however, is that intrusion of soil gas may be forced through usually inactive or recessive pathways. A situation with no depressurized indoor air might arise, thus opting for a blower door installation, but this should be deliberated in the individual case. It is recommended to register the pressure difference between the indoor and sub slab air as documentation for pressure and flow conditions in the given case.

2 Indledning

Thoron (^{220}Rn) er en radioaktiv ædelgas, der formes af naturligt forekommende thorium (^{232}Th), der eksisterer overalt i Jordens lithosfære. Thorium er med en halveringstid på ca. 14 milliarder år svagt radioaktivt, og gennem en serie af henfald (henfaldskæde, se bilag 1) stabiliseres stoffet som en bly-isotop.

Et radioaktivt henfald forekommer, når en ustabil (radioaktiv) isotop omdannes til en mere eller mindre stabil isotop (datterprodukt), ved udsendelse af en subatomar partikel, eksempelvis en alfa- eller betapartikel. Thoron dannes, når isotopen ^{224}Ra med en halveringstid på 3,7 dage, henfalder ved udsendelse af alfastråling.

Thoron er en isotop af radon (^{222}Rn). Forskellen på de to stoffer er, at thoron indeholder to færre neutroner i atomkernen, hvilket medfører uensartede halveringstider for de to stoffer. Stofferne har herudover ens kemiske egenskaber. Ligesom radon henfalder thoron ved udsendelse af alfastråling, og ligesom for radon er thorons datterprodukter kræftfremkaldende ved eksponering i indeklimaet.

Hensigten med dette projekt er ikke at undersøge forhold af sundhedsmæssig karakter. Der findes flere udenlandske studier der beskæftiger sig med denne omstændighed. Hensigten er derimod at benytte den naturlige forekomst af thoron, som en sporgas til undersøgelse af porelufts indtrængning til indeklimaet i huse. På grund af thorons korte halveringstid vil gassen kun eksistere i umiddelbar nærhed af et indtrængningspunkt for poreluft fra jorden. I større afstand fra indtrængningspunktet vil gassen på grund af dens korte halveringstid være henfaldet og omdannet til det radioaktive metal polonium (^{216}Po). Til forskel fra litteraturens studier om thoron og distribution af thorondøtre i indeklimaet (eksempelvis /13 – 18/), måles der i dette projekt direkte på thorongassen. Det er derfor forekomst af thoron og ikke thorondøtre, der måles på, hvilket er essentielt, idet thoron pga. det hurtige henfald ulig radon ikke distribueres uniformt i indeklimaet, se afsnit 3. Dette gør, at thoronforekomst er indikation på utætheder, hvor der sker konventiv indtrængning af poreluft.

I Danmark findes mange lokaliteter, hvis undergrund er forurenet af menneskelige aktiviteter. Det kan eksempelvis være oliespild i forbindelse med utætte villatanke eller forurening med chlorerede opløsningsmidler på en gammel renserigrund. En sådan forurening kan på sigt give sundhedsmæssige problemer for indeklimaet i bebyggelserne på disse lokaliteter, idet flygtige organiske forureningskomponenter (VOC'er) via poreluften kan strømme fra undergrunden til indeklimaet. Denne indtrængningsmekanisme er identisk med indtrængning af radon /1, 3, 5/ og dermed thoron, hvorfor thoronmålinger teoretisk set kan benyttes til identifikation af disse indtrængningspunkter.

Såfremt simple thoronmålinger i praksis kan dokumenteres at kunne bruges til at identificere indtrængende poreluft, vil det være muligt i de specifikke sager, at forbedre grundlaget for vurderinger omkring spredningsveje. Endvidere vil

det være muligt at gennemføre en mere sikker risikovurdering i forhold til påvirkninger af indeklimaet fra en underliggende forurening, idet påvirkning fra andre kilder (brug af kemikalier i boligen, drift af oliefyr, rensning af tøj, rygning osv.) ikke påvirker måleresultaterne.

2.1 Læsevejledning

Rapporten indeholder først en gennemgang af de forskellige problemstillinger, der knytter sig til viden/forståelse omkring drivkræfter for indsivning af poreluft til indeklimaet og lign. (afsnit 3). Afsnittet indeholder ikke egentlige projektresultater, og afsnittet skal alene betragtes som relevant baggrundsviden for de, der ønsker en overordnet indsigt i de komplekse problemstillinger omkring drivkræfter.

Herefter følger en beskrivelse af det anvendte udstyr og måleprocedure (afsnit 4). Afsnittet indeholder desuden en vejledning i tolkning af måleresultater og fremhæver de væsentligste målepunkter til en eventuel fremtidig undersøgelse.

Afsnit 5 indeholder en beskrivelse af undersøgelsens måleprogram. En detaljeret beskrivelse af samtlige forsøgslokaliteter med gennemgang af lokaliteternes byggetekniske udformning og geologi kan findes i bilag 6. Afsnit 5 i rapporten samt bilag 6 kan læses i det omfang, hvor detailindsigt i de specifikke forhold på de enkelte forsøgslokaliteter er nødvendig.

Samtlige måledata gennemgås i afsnit 6, og resultater for hver enkelt lokalitet opstilles. Afsnittet efterfølges af en samlet diskussion af data og usikkerheder i afsnit 7, og projektets konklusioner er sammenfattet i afsnit 8.

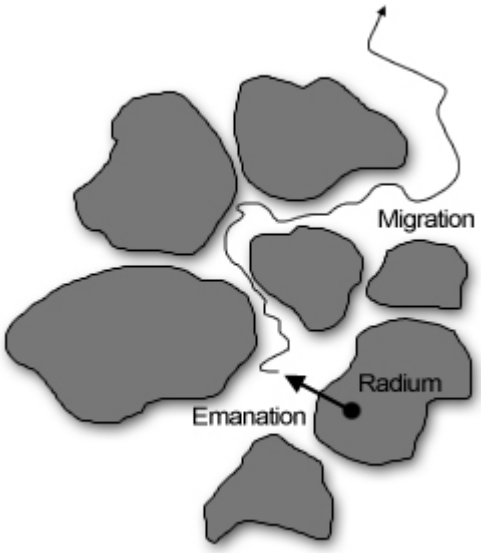
3 Generelle problemstillinger

Thoron og radon er almindeligt forekommende gasarter, der eksisterer naturligt overalt i alle jord- og bjergarter. Gasserne er radioaktive og hidrører fra henfald fra moderstofferne thorium og uran. Dette kapitel indeholder et litteraturstudie af generelle problemstillinger indenfor dannelse af gasserne i jorden og transport til indeklimaet. Kapitlet beskæftiger sig kun delvist med rapportens primære formål, men er et nødvendigt grundlag for forståelse af indvirkende processer.

3.1 Emanation

Thoron (^{220}Rn) og radon (^{222}Rn) oprinder fra henfald af radiumisotoperne ^{224}Ra og ^{226}Ra, som eksisterer i mineraler i jordpartikler. Radium (^{224}Ra eller ^{226}Ra) henfalder ved udsendelse af alfastråling og producerer herved hhv. thoron eller radon. Indholdet af thoron og radon i en given jord er afhængig af jordens geologiske beskaffenhed og indhold af moderstofferne, hhv. thorium ^{232}Th og uran ^{238}U. Indholdet af disse stoffer i jordens skorpe er normalt i intervallet 19-38 mg/m^3 (2 – 4 ppm) for uran og 114 mg/m^3 (ca. 12 ppm) for thorium. Selvom indholdet af thorium generelt er højere i jorden end indholdet af uran, er produktionen (emanationen) af radon og thoron nogenlunde den samme, idet halveringstiden for thorium (ca. 14 mia. år) er væsentligt længere end for uran (ca. 4,5 mia. år). Thorium og uran findes i alle jord- og bjergarter over hele verden /27/.

Emanation er et udtryk for den hastighed hvormed der dannes radon- eller thoronatomer i jordens porer. Emanation er en del af henfaldskæden for uran og thorium (bilag 1) og forekommer når radium ved henfald danner thoron/radon, altså når et metal omdannes til en gasart. Radon og thoron er de eneste stoffer, der optræder gasformig i henfaldskæderne. Emanationsraten er afhængig af indholdet af radiumisotoper i jorden (som dannes under henfald fra hhv. uran og thorium, se ovenfor) og vandindholdet i jordmatricen.



Figur 3.1: Emanation og videre migration af radon/thoron i poreluft.

Når radium henfalder udsendes alfastråling. Det medfører et alfarekyl som sender partiklen i den modsatte retning af strålingen /3/ og kan sammenlignes med rekylet fra en riffel. Rekylet giver moderatomet en energi proportionelt med forholdet mellem alfapartiklen og moderpartiklens vægt, ganget med

alfastrålingens energi. På denne måde kan thoron eller radon skubbes fri af jordpartikler og entrere den fri poreluft, se figur 3.1.

Emanationsraten fra en given jord er defineret som antallet af radon- eller thoronatomer (pr. sekund pr. kg jord) som undslipper fra faste partikler og er til rådighed for fri transport i poreluften /11/.

3.2 Indtrængning af poreluft til indeklimaet

Indtrængningen af thoron (og radon) til indeklimaet, er styret af et kompliceret system af variable drivkræfter og faktorer. Følgende afsnit indeholder en oversigt over problemstillingen med benævnelse af de indeholdte variable, men ikke en fuldstændig udredning af indtrængningsmekanismen. Flere studier er nødvendige for helt at forstå den individuelle sammenhæng mellem faktorerne.

Overordnet er indtrængningen af thoron og radon baseret på tre forskellige omstændigheder, hver især drevet af individuelle kræfter:

A. Drivkræfter for poreluft til indeklimaet
B. Størrelsen af influenszonen
C. Faktorer bestemmende for koncentrationen af thoron i den indtrængende poreluft

Hver især bidrager ovenstående til den totale indtrængning af thoron og radon til et indeklima. Thoron og radon transporteres i jorden via diffusion og via advektion som følge af konvektiv transport af poreluft i jorden. Poreluften vil agere som bæregas for thoron og radon, og er en sammensætning af forskellige koncentrationer af normalt forekommende gasarter i jordmatricen, bl.a.; O_2, CO_2, CH_4, H_2, N_2 og H_2S /30, 31/. Indholdet af thoron og radon i poreluften er bl.a. afhængigt af jordlagenes geologiske oprindelse og mineralogi. For en nærmere beskrivelse af faktorer bestemmende for koncentrationen af thoron og radon i den indtrængende poreluft se /3/.

Den konvektive transport af poreluft fra jordmatricen til indeklimaet er styret af at der sædvanligvis er et relativt undertryk i boligen, fremkaldt af indendørs-udendørs temperaturforskelle, ventilation af indeklimaet og vindpåvirkning af konstruktionen. Ovenstående faktorer har indflydelse på strømningsfeltet i jorden under og omkring bygningen som kaldes influenszonen. Størrelsen af zonen er afhængig af jordlagenes beskaffenhed, permeabilitet og vandindhold, som påvirkes af jordens udtørring under bygningen /1, 32/. Enhver gaspartikel indført i influenszonen vil føres via gasstrømmen ind til husets indeklima /1/.

Udover de nævnte tre omstændigheder, som driver thoron og radon fra jorden til indeklimaet, vil bygningens konstruktion yde en form for modstand mod den indtrængende luft. Antallet, form og størrelse af revner i betondækket, beskaffenheden af et eventuelt kapillarbrydende lag, rørgennemføringer mv. spiller alle en rolle for, hvor let poreluften passerer gennem barrieren og ind til indeklimaet. Modelberegninger viser, at revner og utætheder bredere end 0,5 mm i gulvkonstruktionen, giver poreluft fra undergrunden uhindret adgang til indeklimaet /33/. I tilfælde af en indtrængning gennem revner og utætheder spiller et kapillarbrydende lag under bygningen en væsentlig rolle for poreluftens adgang til indeklimaet, idet laget sørger for hurtig og let transport af opstigende poreluft til den nærmeste revne.

3.2.1 Drivkræfter

Transporten af poreluft til indeklimaet er primært drevet af kræfter der opstår på grund af variable tryk-, temperatur- og koncentrationsforhold mellem indeklimaet og udeluften. Drivkræfterne virker samtidigt men med varierende individuel styrke.
Overordnet set er der tale om følgende to transportmetoder:

- Diffusion
- Konvektion

Dette afsnit omhandler ovenstående drivkræfters opståen, og er yderligere omtalt i afsnit 3.3.

3.2.1.1 Diffusion
Diffusion er en transport af et stof på grund af variationer i stoffets termodynamiske potentiale. Diffusion er den dominerende transportmekanisme i poreluft og mikrofrakturer /30/ og drives af koncentrationsgradienter. Diffusion er allestedsnærværende såfremt en koncentrationsgradient eksisterer.

Thoron og radon diffunderer relativt let gennem materialer, idet de er enkeltatomare gasarter. De er dog imidlertid radioaktive, hvilket betyder at de på et givent tidspunkt henfalder, hvor diffusionsprocessen således ophører. Afstanden som gasarterne kan diffundere er betinget af stoffernes individuelle diffusionslængde, se afsnit 3.3.1.

3.2.1.2 Konvektion
Konvektion er transport af poreluft via eksterne påvirkninger som eks. tryk, vind og temperaturer. Svingninger i trykket vil skabe en strømning af luft til eller fra jorden, afhængig af geologien.

Opvarmning af et indeklima giver anledning til at luften i indeklimaet stiger til vejrs. Dette skaber et konstant relativt indendørs undertryk, som bestandigt trækker poreluft fra jorden op mod indeklimaet. Effekten kaldes skorstenseffekt, og størrelsen af det fremkaldte undertryk betegnes Δp, og er trykforskellen mellem ude- og indeklima. Størrelsen af undertrykket kan udregnes af nedenstående ligning (1) /6/.

$$\Delta p = C \cdot a \cdot h \cdot \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_i} \right) \qquad (1)$$

Hvor: Δp = trykdifferens [Pa]
C = 0,0342
a = atmosfærisk tryk [Pa]
h = højde af bygning [m]
T_0 = udendørs temperatur [K]
T_i = indendørs temperatur [K]

For et atmosfærisk normaltryk på 1013 hPa og en temperaturforskel mellem inde og ude på 20˚C (ved T_0 = 0˚C og T_i = 20˚C) fås af (1) en $\Delta p \approx 4$ Pa. Udendørs temperatursvingninger vil skabe variationer af størrelsen på temperaturforskellen og give anledning til svingninger i skorstenseffekten

mellem dag og nat. Denne tendens er registreret i nærværende projekt under delundersøgelse 3, se afsnit 7.2.1. Skorstenseffekten giver anledning til et samlet opadrettet flow og udledning gennem konstruktionens tag. Flowet kan beregnes ud fra ligning (2) /6/.

$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h \cdot \frac{T_i - T_o}{T_i}} \qquad (2)$$

Hvor: Q = flow gennem samlet indtrængningsareal [m^3/s]
A = Indtrængningsarealet (flow-området) [m^2]
C = udledningskoefficient (typisk 0,65 – 0,70)
g = tyngdeacceleration [9,82 m/s^2]
h = højde af bygning [m]
T_0 = udendørs temperatur [K]
T_i = indendørs temperatur [K]

Q er det samlede flow gennem indtrængningsarealet A i bygningens klimaskærm. Indtrængningsarealet udgør eksempelvis vindues- og døråbninger men også utætheder i gulvkonstruktionen og lignende lækager.

Vindpåvirkning af konstruktionen og mekanisk og manuel ventilation af indeklimaet, kan bidrage yderligere til dette undertryk.

Indtrængningsraten ved konvektiv strømning af poreluft vurderes for et almindeligt dansk parcelhus at være 0,1 – 1 m^3/h, proportionelt med størrelsen af det relative undertryk /1, 7/. Høje indtrængningsrater i enfamiliehuse med terrændæk kan kun forekomme ved konvektiv strømning /5/.

3.3 Diffusiv og advektiv transport af thoron

I følgende afsnit beskrives henholdsvis diffusiv og advektiv transport af thoron og radon til indeklimaet.

3.3.1 Diffusiv transportlængde

I et porøst medie (eksempelvis beton) vil der altid forekomme en diffusiv transport af radon på grund af molekylære bevægelser fra høj til lav koncentration. Til forskel fra forskellige andre gasarter er radon (og thoron) radioaktiv, hvorfor den på et tidspunkt vil henfalde og derved bringe diffusionstransporten til et stop, idet henfaldsprodukterne ikke er luftformige.

Diffusionslængden for et stof er en fysisk størrelse, som knytter sig til stoffets kemiske egenskaber og det materiale det diffunderer igennem. Diffusion til indeklimaet vil til enhver tid foregå fra materialer indeholdende radon, med andre ord både bygningsmaterialer og jorden under bygningen. Diffusiv indtrængning er beskrevet af Fick's lov og er afhængig af forholdet mellem koncentrationen under og over gulvkonstruktionen. Jo større forskel i koncentration, jo højere diffusiv flux af stoffet. Ved radioaktive stoffer (såsom thoron og radon) er stoffets diffusionslængde også afhængig af halveringstiden. Diffusion er desuden afhængig af stoffets opløselighed med det materiale, det skal diffundere igennem.
Det diffusive bidrag med radon til indeklimaet fra både bygningsmaterialer og jord afhænger i høj grad af porøsiteten af de materialer som gassen skal

diffundere igennem, beskrevet som D = pore diffusions koefficient [$m^2 \cdot s^{-1}$] /25/.

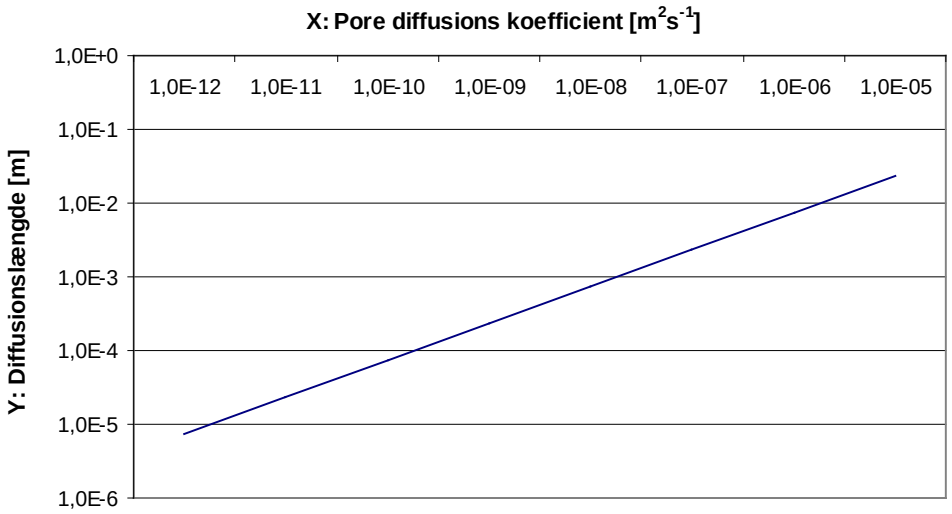
$$\frac{1}{L_D} = \left(\frac{\lambda}{D}\right)^{½} \tag{3}$$

Hvor: λ = henfaldskonstant (= $1/T_{½}$) [s^{-1}]
L_D = diffusionslængde [m]

Ligning 3 kan omskrives til:

$$L_D = \sqrt{\frac{D}{\lambda}} \tag{4}$$

Herefter kan diffusionslængden simpelt beregnes på baggrund af pore diffusions koefficientens størrelse, se figur 3.2.



Figur 3.2: Diffusionslængde Y udtrykt ved pore diffusions koefficient X.

I litteraturen er betonpladers effektive diffusions koefficient for radon (og thoron) fundet til $1{,}3 \cdot 10^{-6}$ til $6{,}8 \cdot 10^{-10}$ $m^2 \cdot s^{-1}$ /25, 26/. Radons diffusionskoefficient i luft benævnes D_0 = 0,1·10-4 $m^2 \cdot s^{-1}$ /25/.

Benyttes en yderst konservativ værdi (D_0), findes derfor thorons maksimale diffusionslængde fra beton til indeklima:

$$L_D = \sqrt{\frac{0{,}1 \cdot 10^{-4}}{1/56}} = 0{,}024\,\text{m}$$

Ovenstående må ses om den maksimale afstand thorongas kan diffundere fra bygningsmaterialer (eller jord) til indeklima, såfremt diffusionen sker fra materialets yderste overflade og diffunderer til og i stillestående luft. Selv en mindre overdækning af materialet som thoron skal diffundere ud fra, vil resultere i en væsentlig formindskelse af ovenstående afstand, jf. figur 3.2.

Diffusiv indtrængning af thoron og radon til et indeklima er jf. ligning 3 og 4 samt figur 3.2 primært bundet til gulvkonstruktionens porøsitet og tykkelse. Teoretisk udgør en betonkonstruktion en solid barriere, men i praksis kan beton være endog meget permeabel. I betonkonstruktioner udvikles mikrofrakturer som følge af udtørring og belastning. Disse mikrofrakturer kan udvikles til makrofrakturer; synlige revner i konstruktionen, eksempelvis sætnings- og svindrevner. Mikrofrakturer vil altid opstå i betonkonstruktioner, selv inden disse udsættes for stress, og giver anledning til en enklere diffusiv indtrængning af primært radon (på grund af stoffets lange halveringstid) som følge af interaktion mellem diffusiv og advektiv transport gennem betonlegemet.

Der er i dette projekt ikke set nærmere på den diffusive indtrængnings direkte betydning i de enkelte feltundersøgelser.

3.3.2 Advektiv transportlængde

Transport ved advektion kan udtrykkes ved hjælp af Darcy's hastighedsvektor q, som beskriver transporthastigheden for et stof i et givent medie.

$$L_A = \sqrt{\frac{q}{\eta \cdot \lambda}} \qquad (5)$$

Hvor

L_A = advektionslængden [m]

$$q = -\frac{k}{\mu} \cdot \Delta p \qquad (6)$$

k = gas permeabilitet for medie
η = gas porøsitet af medie
μ = dynamisk viskositet ($1{,}82 \cdot 10^{-5}$ Pa·s ved 20°C)
Δp = trykdifferens

3.3.3 Total migrationslængde

Den samlede transportvej i et givent medie, som thoron- og radonatomer bevæger sig forinden henfald til datterprodukter, kaldes migrationslængden. Størrelsen er et udtryk for den samlede rejselængde ved både diffusiv og advektiv transport. For radon og thoron er migrationslængden afhængig af stoffets halveringstid og er givet ved:

$$L_M = ½ \cdot \left(L_A + \sqrt{L_A + 4 \cdot L_D}\right) \qquad (7)$$

Hvor
L_M = Migrationslængden [m]
L_A = Advektionslængde [m]
L_D = Diffusionslængde [m]

Den samlede migrationslængde er således et udtryk for den afstand, et radon- eller thoronatom kan transporteres gennem et givent medie, som følge af diffusion samt advektiv transport med poreluften, førend atomet henfalder.

3.4 Radioaktive stoffer i indeklimaet

Radon og thoron emanerer fra jordmatricen og føres til indeklimaet via strømning af andre gasser. Udover denne indtrængning fra undergrunden, er indeklimaet påvirket af emanation og udånding af radioaktive stoffer fra bl.a. bygningsmaterialer. Dette afsnit beskriver indhold og distribution af radon, thoron og disses henfaldsprodukter i indeklimaet, og hvilke faktorer der volder indflydelse herpå, herunder tillæg fra bygningsmaterialer.

Indtrængende poreluft vil, afhængig af indtrængningsmekanismen (se afsnit 3.2 og 3.3), indeholde varierende koncentrationer af thoron og radon. Ved henfald i indeklimaet dannes datterprodukter som distribueres afhængig af deres individuelle halveringstider. I litteraturen er thoron- og radonkoncentrationer ofte målt med henblik på en evaluering af stoffernes farlighed ved menneskelig eksponering, hvor det er nødvendigt at give et udtryk for indholdet af henfaldsprodukter i et givent indeklima[1].

I nærværende projekt har fokus været på selve gasserne thoron og radon, og deres individuelle indtrængnings- og henfaldsmønstre. Det er vigtigt at forstå, at fordelingen af visse henfaldsprodukter i indeklimaet kan differentiere sig signifikant fra fordelingen af radon- og thorongas. Derfor er der i nærværende projekt benyttet alfaspektrometri (se afsnit 4.1.1) ved prøvetagning for at differentiere de enkelte radionuklider.

Forskellen i distribution af radon, thoron og henfaldsprodukter i indeklimaet, beror på stoffernes halveringstider og placering i henfaldskæden. Specielt interessant er følgende henfaldskæde:

$$\underset{T_{½}:\ 56\ s}{^{220}Rn} \xrightarrow[\alpha]{} \underset{T_{½}:\ 0{,}15\ s}{^{216}Po} \xrightarrow[\alpha]{} \underset{T_{½}:\ 11\ h}{^{212}Pb}$$

Thorongas (^{220}Rn) dannes kontinuerligt ved emanation i jorden, og føres ved advektion via revner, sprækker og andre utætheder til indeklimaet. Afstanden som gassen bevæger sig ved advektion er afhængig af poreluftens indtrængningshastighed. Under transporten henfalder en del af gassen. Ved henfald dannes den stærkt radioaktive polonium-isotop ^{216}Po, som øjeblikkeligt henfalder videre til blyisotopen ^{212}Pb. Både mængden og den relative placering af ^{216}Po i indeklimaet er således i ækvivalens med ^{220}Rn og vil primært findes ved indtrængningspunkter /34-41/ eller i tæt nærhed på bygningsmaterialer /19-24/. ^{212}Pb vil derimod fortsætte sin eksistens i timevis, idet stoffets halveringstid er væsentligt længere, og kan derfor distribueres nogenlunde uniformt i indeklimaet /13-18/.

$$\underset{T_{½}:\ 3{,}8\ d}{^{222}Rn} \xrightarrow[\alpha]{} \underset{T_{½}:\ 3{,}1\ m}{^{218}Po} \xrightarrow[\alpha]{} \underset{T_{½}:\ 27\ m}{^{214}Pb}$$

Ligeledes dannes radon, som via ens transportveje føres til indeklimaet. Radongas har imidlertid en væsentligt længere halveringstid end thorongas, hvorfor radon (A) kan tilbagelægge længere afstande i jordmatricen, og (B) vil have god tid til at fordele sig nogenlunde ligeligt i indeklimaet. En del af

[1] Sundhedsrisici forbundet med eksponering af radon og thoron er forbundet til inhalering af radioaktive aerosoler; mikropartikler i luften hvortil kemisk aktive radon- og thorondøtre bindes.

gassen vil dog til stadighed henfalde under transporten og indtrængningen, hvor radon omdannes til polonium-isotopen ^{218}Po. Dette stof vil, grundet sin væsentligt kortere halveringstid, findes i forhøjede koncentrationer i samme områder som radongas findes i høje koncentrationer – i relativ nærhed af indtrængningspunkter for poreluft til indeklima.

3.4.1 Bygningsmaterialer

Langt de fleste bygningsmaterialer indeholder koncentrationer af naturlige radioaktive stoffer. Koncentrationerne er primært styret af råprodukternes geologiske oprindelse, eksempelvis tegl som kan være formet af glacialt ler. Indholdet af radioaktive stoffer er således højest i sten-baserede materialer, med sand, cement og kalk i den lave ende /10/ og stigende radioaktivitet med indhold af knust granit. Endnu højere radioaktivt indhold forekommer ved brug af beton med indhold af alun skifter, såkaldt *blåbeton*, som primært er brugt i Sverige. Af andre stoffer der kan give anledning til forhøjet radioaktivt indhold i bygningsmaterialer kan nævnes eksempelvis beton indeholdende slagge fra jernproduktion samt gips formet af restprodukter fra gødningsproduktion.

Tabel 3.1 giver en oversigt over indholdet af radium og thorium i forskellige bygningsmaterialer.

Bygningsmateriale	^{226}Ra [Bq/kg]	^{232}Th [Bq/kg]
Træ	0,3-0,5	0,2-1,5
Naturlige byggesten	0,-400	1-350
Mursten, tegl	25-160	70-180
Mursten, kalk og sand	6-25	4-30
Cement	10-190	<4-110
Beton	5-160	3-390
Porebeton	7-130	4-150
Blåbeton	650-2600	20-80
Letklinker	120-140	110-180
Gips	2-11	<1-12
Fosforgips	590-630	<16-18

Tabel 3.1: Aktivitetskoncentrationer i forskellige bygningsmaterialer /10/.

Indholdet af thorium (^{232}Th) i ovenstående bygningsmaterialer, kan give et passivt bidrag til den indendørs thoronkoncentration. Indholdet er overordentligt varierende på grundlag af den geologiske oprindelse. Således kan thorium indholdet i bygninger i andre lande være afvigende fra danske forhold, idet sedimenters geologiske oprindelse er forskellig /12/.

Flere steder i litteraturen er beskrevet, at bygningsmaterialer er en vigtig kilde til indhold af thorondøtre i indeklimaet. På grund af thorons korte halveringstid henfalder det efter kort migration til ^{216}Po. På grund af ^{216}Po's yderst korte halveringstid på 150 ms, vil stoffet øjeblikkeligt herefter omdannes til ^{212}Pb. Dette stof vil herefter have god tid til distribution og plate-out i indeklimaet førend det henfalder med en halveringstid på 11 timer.

3.4.1.1 Diffusionstillæg fra vægge og gulve

Den gennemsnitlige radonkoncentration i danske enfamiliehuse er på 77 Bq/m^3 /8/ hvorimod radonkoncentrationen i etagebyggeri over terræn

gennemsnitligt ligger på ca. 20 Bq/m^3. Forskellen grunder i, at etagebyggeri over terræn ikke har direkte kontakt med den underliggende jord. Således er indsivning af poreluft, som indeholder en væsentligt højere koncentrationen af radon end indeluften, den primære årsag til forhøjede radonkoncentrationer i indeklimaet /11/. Der forekommer dog altid et bidrag fra bygningsmaterialer, og ifølge /11/ ligger dette bidrag på mindre end 10 Bq/m^3 for typiske danske bygningsmaterialer. Således vil et indeklima med et givent bidrag fra undergrunden på X Bq/m^3, alt andet lige have en indendørs radonkoncentration på < X + 10 Bq/m^3.

Bidraget fra bygningsmaterialer til thoronindholdet i indeluften er dog mere usikkert, specielt fordi thoron ikke kan bevæge sig særligt langt via diffusion på grund af den korte halveringstid (afsnit 3.3.1). Flere steder i litteraturen /13 – 18/ beskrives, at indholdet af thorium i bygningsmaterialer er en vigtig kilde til thorons datterprodukter i indeklimaet (primært ^{212}Pb). Her er det vigtigt at understrege, at indholdet af thorons datterprodukter i indeklimaet ikke er proportionelt med indholdet af thorongas i indeklimaet (afsnit 3.4). Datterprodukterne dannes ved udånding af thoron fra bygningsmaterialer og henfalder omgående til længere levende henfaldsprodukter til distribution i indeklima. Modellering af thorongas emanation fra bygningsmaterialer viser eksponentielt faldende thorongas koncentration med afstand fra vægge /19 – 24/ og målinger viser generelt meget lave eller ikke-eksisterende koncentrationer af thorongas i indeklimaet, eller meget varierende rumlige indhold, afhængig af målepunkternes placering /35/.

På baggrund af den gennemgåede litteratur må der forventes et meget lavt indhold af thorongas i indeklimaet som følge af udånding fra bygningsmaterialer. Det må yderligere forventes at såfremt et sådan indhold eksisterer, vil udåndingen fra bygningsfladerne være omtrentlig homogen, og ikke give anledning til forhøjede værdier i enkelte målepunkter.

4 Metode- og udstyrsbeskrivelse

Nedenfor beskrives forsøgsopstillingen, de udførte thoronmålinger og det anvendte udstyr. Desuden beskrives alternative udstyrsmuligheder, samt usikkerheder forbundet med målingerne.

4.1 Overordnet metodebeskrivelse

Thoronmålinger foretages med et radon måleudstyr, der kan foretage alfaspektrometri. I projektet er målingerne udført med et udstyr af typen *RAD7*. Ved alfaspektrometri analyseres og kategoriseres de enkelte radioaktive alfahenfald på baggrund af henfaldets unikke energi. Instrumentet kan derved bestemme hvilken specifik radionuklide henfaldet oprandt fra. Ved måling i et punkt, og kategorisering af de enkelte alfahenfald, kan udstyret over en given tidsperiode herved bestemme, hvor høj koncentrationen af de enkelte datterprodukter er.

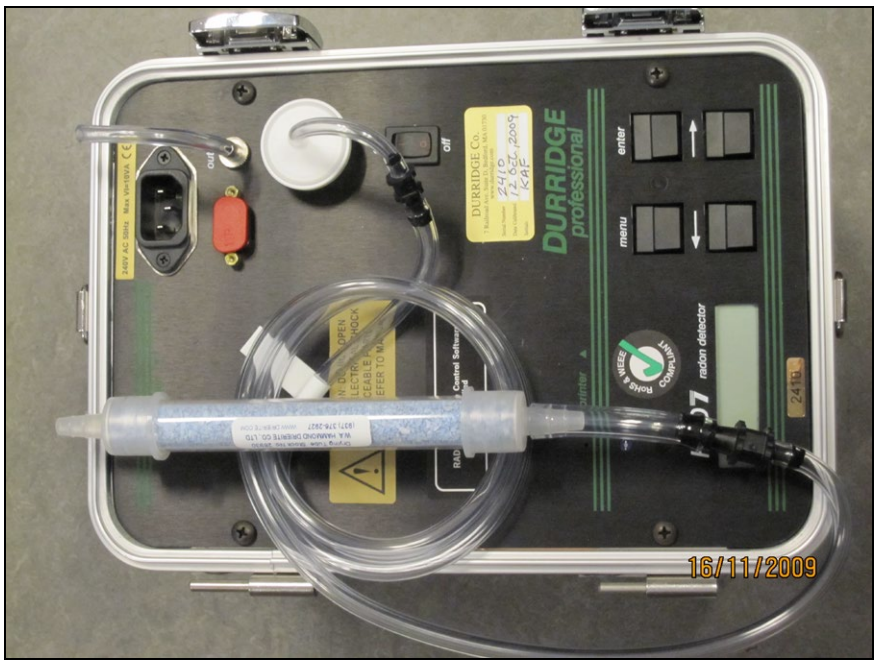
4.2 Udstyr

Samtidig med de udførte thoronmålinger i delundersøgelse 3, se afsnit 5.1, er der foretaget trykdifferensmålinger, samt spotmålinger af luftens flow op gennem revner og sprækker i konstruktionen. Disse undersøgelser er foretaget som led i en større undersøgelse af indtrængning af poreluft /54/. Samtlige udstyr er præsenteret herunder.

4.2.1 RAD7

Instrumentet RAD7, se figur 4.1, suger luft gennem flere filtre, der blokerer for vand, støv, aerosoler og radondøtre. Således trænger kun radon og thoron ind til instrumentets interne målekammer hvor målingen finder sted.

I midten af målekammeret, som er en 0,7 liters hemisfære, befinder sig en *solid-state, ion-implanted, planar, silicon* alfadetektor. Når radon og thoron henfalder inde i kammeret, drives de elektrisk ladede radon- og thorondøtre til alfadetektoren ved hjælp af et elektrisk felt, hvor de sætter sig fast. Når radon- og thorondøtrene herefter henfalder, produceres et elektrisk signal proportionelt med alfastrålingens energi. Dette signal opfanges af alfadetektoren, som filtrerer og sorterer signalerne, alt efter deres energiniveau (alfaspektrometri).



Figur 4.1; Udstyr af typen RAD7.

Ved thoronmåling søges kun efter to specifikke radionuklider; ^{218}Po (første radondatter) og ^{216}Po (første thorondatter), se bilag 1. ^{218}Po har en halveringstid på ca. 3 minutter, hvorimod ^{216}Po har en halveringstid på 150 ms. ^{216}Po vil derfor henfalde straks efter den er dannet fra ^{220}Rn. Svartiden på pludselige stigninger eller fald i thoronkoncentrationen er derfor øjeblikkelig, hvorimod svartiden for radon (^{218}Po) kan strække sig over flere minutter. Der vil dog uundgåeligt forekomme en forsinkelse, idet instrumentet via en slange transporterer luft fra målepunktet til sit interne målekammer. Passagen tager ca. 30 – 45 sekunder, hvorfor forhøjet thoronindhold i ét punkt kan trækkes med over i næste punkt. Dette forhold er nærmere beskrevet i afsnit 4.5.

4.2.1.1 Måleprocedure – RAD7

Da metoden er nyudviklet som en del af projektet, er der eksperimenteret med forskellige procedurer for at opnå størst mulig målesikkerhed. Den anvendte metode (konkluderede bedst egnede metode) er beskrevet nedenfor.

Når udstyret tændes gennemgår det først en cyklus på ca. 30 sekunder. Instrumentet er herefter klar til at påbegynde måling. Inden der måles i de udvalgte punkter, er det nødvendigt at foretage en referencemåling af evt. baggrundsindhold af thoron. Dette kan forekomme i særlige tilfælde hvor meget store lækager tillader en ekstrem indstrømning af poreluft til indeklimaet. Thoron kan her ekstraordinært spredes over længere afstande end normalt. Referencemålingen udføres derfor midt i rummet, eksempelvis på et bord eller en stol (minimum 1,25 m over gulvniveau).

Der skal foretages referencemåling først, i ca. 3x5 minutter. Hver måling sker over min 5 minutter. Efter endt referencemåling er apparatet flyttet til første målepunkt. Dette skal ske så hurtigt som muligt umiddelbart efter referencemålingens afslutning (med mindre målingen pauses).

Der skal udføres ny referencemåling, såfremt indeklimaets atmosfære ændrer sig betydeligt. Eksempelvis hvis der måles i både kælder og stueetage.

4.2.2 Trykdifferensmåler

I delundersøgelse 3 er foretaget trykdifferensmålinger på to uafhængige lokaliteter, og på hver lokalitet ved anvendelse af to forskellige typer udstyr. Målingerne er foretaget som målt trykdifferens mellem indeklima og under gulv/hulmur med tilgængeligt udstyr, se nedenfor afsnit 4.2.2.1 og 4.2.2.2. Til måling af trykdifferens mellem indeklima og udenfor, er benyttet udstyr tilknyttet blowerdoor, se afsnit 4.6.

4.2.2.1 GMSD 2,5 MR

Instrumentet indeholder en tryksensor, der måler den piezoresistive effekt af en indbygget halvleder (strain gage). Udstyret måler forskellen i tryk mellem to målepunkter i intervallet -199,9 til 250,0 Pa. Udstyret har en måleusikkerhed på 0,1 Pa. For en nærmere beskrivelse af udstyret, se databladet i bilag 5.1 eller /42/.

4.2.2.2 Micatrone MF-P

Instrumentet er en tryktransmitter der kan måle positivt, negativt og differentieret tryk. For differentieret tryk måler udstyret forskellen i tryk mellem to målepunkter i intervallet -50 til 50 Pa. Udstyret har en måleusikkerhed på 0,5 Pa. For en nærmere beskrivelse af udstyret, se databladet i bilag 5.2 eller /42/.

4.2.3 Flowmåler

I delundersøgelse 3 af de udførte undersøgelser, er foretaget uafhængige flowmålinger for flere af de udvalgte målepunkter. Vindmålingerne er foretaget for at dokumentere et luftflow op/ud gennem målepunktet. Målingerne er foretaget med en flowmåler af typen SwemaAir 40; et instrument der kan måle vindhastigheder og lufttemperatur i intervallerne 0,10-30,00 m/s og -20 til 80 °C. Instrumentet har en indbygget usikkerhed på ±0,04 m/s ved lufthastigheder mellem 0,1-2,0 m/s, og ±2 % for hastigheder i intervallet 2-30 m/s. For en nærmere beskrivelse af udstyret, se databladet i bilag 5.3. Målingerne er illustreret i bilag 4.2 og 4.3 og er ikke kommenteret yderligere i denne rapport.

4.3 Måling i udvalgte punkter

De målepunkter der anvendes til screening i indeklimaet ved thoronmåling, bør udvælges på baggrund af en grundig byggeteknisk gennemgang af konstruktionen med fokus på forventede spredningsveje /4/. Eksempler på hyppige indtrængningspunkter er listet nedenfor. Alle disse bør som udgangspunkt screenes ved en thoronmåling. Yderligere målepunkter lokaliseres ved den byggetekniske gennemgang. Guidelines for lokalisering af spredningsveje er nærmere beskrevet i /4/.

- Teknikskab(e)
- Gulvafløb
- Fodpaneler såfremt betonpladen ikke er støbt fuldt ud
- Radiatorer (ved gennemføring, gerne under "kappen", se bilag 4.1)
- Øvrige rørgennemføringer (vand, fjernvarme, ventilation, el mv.)
- Yderdøre, samlinger ved ydervæg
- "Gulv-til-loft" -vinduer, samlinger ved ydervæg
- Synlige revner/huller/utætheder i gulv- og/eller vægkonstruktion

Samlinger ved ydervægge kan desuden ofte give anledning til indtrængning, eksempelvis ved indtrængning af poreluft gennem samlingsdetaljen mellem fundament, ydervæg og gulvkonstruktion. Det er derfor vigtigt at måle flere steder ved konstruktionens ydervægge (ca. hver 2. m).

Samtlige målepunkter indtegnes på en plantegning over bygningen (inkl. referencemåling). Udstyret klargøres og placeres og en målerunde kan påbegyndes, se afsnit 4.2.

Målingen angives i CPM (*Counts Per Minute*) for ^{216}Po, som er et udtryk for, hvor mange af de registrerede henfald i målecyklussen, der oprinder fra ^{216}Po. Erfaringsmæssigt kan indhold > 0,7 CPM (målt over 5 min) indikere, at der er tale om et indtrængningspunkt. Registreringen betyder at der er registreret mere end 3 registrerede henfald af ^{216}Po over cyklussens 5 minutters interval. For at verificere målingen, måles i yderligere 2x5 minutter i samme punkt, og først herefter konkluderes hvorvidt målingen vurderes at indikere et indtrængningspunkt.

I det tilfælde at der er registreret forhøjet indhold af thoron i et målepunkt, er instrumentet efterfølgende flyttet til referencepunktet eller udendørs for "udluftning". Målet er at undgå at "slæbe" radon og thoron med til næste målepunkt og dermed skabe krydskontaminering. Udluftning af instrumentet er gennemført over en periode på minimum 2x5 minutter.

4.4 Tolkning af resultater

En typisk thoron målerunde indeholder ofte mange data. For at opnå overblik, er det derfor nødvendigt at foretage en klassificering af data ved en inddeling i flere undergrupper. Klassificeringen baseres primært på det målte indhold af ^{216}Po. Ved klassificeringen inddeles måleresultaterne i nedenstående 4 klasser:

1. Lavt thoron indhold (^{216}Po < 3)
2. Lavt thoron indhold (^{216}Po < 3) men forhøjet radonkoncentration
3. Thoron indhold (^{216}Po ≥ 3)
4. Thoron indhold (^{216}Po ≥ 3 målt ≥ 2 gange i samme punkt)

Klassificeringen beskrives uddybende nedenfor. Samtlige måleresultater i bilag 7.5 – 8.9 er vægtet efter ovenstående.

4.4.1.1 Klasse 1: Lavt thoron indhold (^{216}Po < 3)

Klasse 1 indeholder målepunkter med < 3 registrerede henfald af ^{216}Po over måletidsrummet på 5 minutter, se figur 4.2 nedenfor. Det formodes, på baggrund af afsnit 3.4, at enkelte thoronatomer kan frigøres fra bygningsmaterialer ved diffusion og dermed indgå som en del af målingen ved et specifikt målepunkt. For at negere denne falsk positive ved måling antages det, at > 3 ^{216}Po sandsynligvis kun vil forekomme i forbindelse med en direkte konvektiv indtrængning af poreluft i umiddelbar nærhed af det givne målepunkt. Vurderingen er dels baseret på studier gjort i forbindelse med udførelsen af delundersøgelserne 1 og 2, samt tidligere undersøgelser /52 og 53/.
Et målepunkt i klasse 1 er ikke et indtrængningspunkt.

4.4.1.2 Klasse 2: Lavt thoron indhold (^{216}Po < 3) men forhøjet radonkoncentration

Klasse 2 er tilsvarende målepunkter med < 3 registrerede henfald af ^{216}Po over måletidsrummet på 5 minutter, men dog et samtidigt forhøjet indhold af radon (radondatter ^{218}Po), se figur 4.2 nedenfor. Vurderingen er baseret på studier i forbindelse med udførelsen af delundersøgelserne 1 og 2, idet der ved et målepunkt kan forekomme en forhøjet koncentration af ^{218}Po uden en samtidig forhøjet koncentration af ^{216}Po. Et eksempel på et sådan punkt kan være en indtrængningsvej gennem eksempelvis afløb eller kloak. Transportvejen kan her tænkes at være fra jord via diffusion ind i afløbsrør og advektiv transport via kloakluft til indeklima – dermed for lang en migrationslængde for thorongas, se afsnit 3.3.3. Et målepunkt i klasse 2 kan udgøre et indtrængningspunkt, afhængig af omstændighederne.

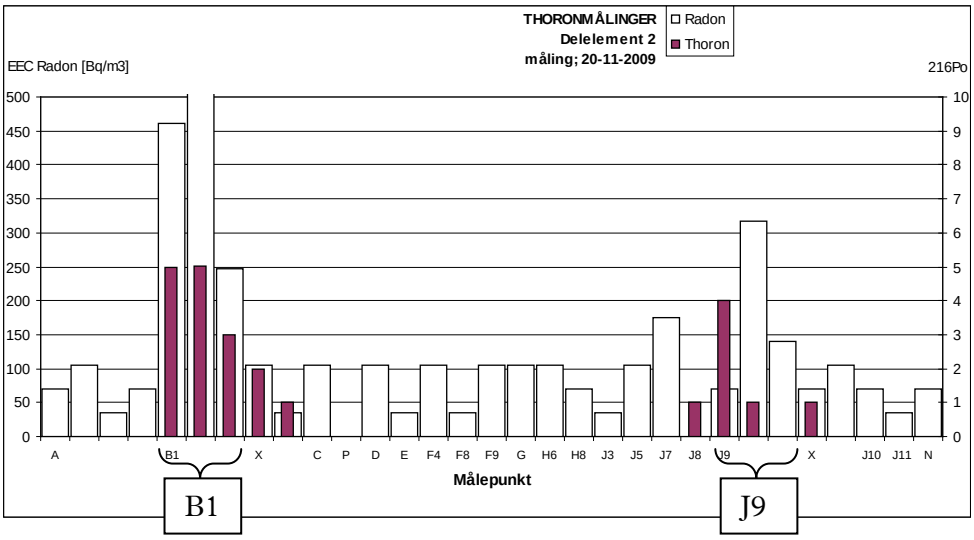
4.4.1.3 Klasse 3: Thoron indhold (^{216}Po ≥ 3)

Målepunkter i klasse 3 har ≥ 3 registrerede henfald af ^{216}Po over måletidsrummet på 5 minutter, se figur 4.2 nedenfor. Som regel følges dette indhold af et forhøjet indhold af ^{218}Po, men ikke nødvendigvis altid. Vurderingen er dels baseret på studier gjort i forbindelse med udførelsen af delundersøgelserne 1 og 2, samt tidligere undersøgelser /52 og 53/. Det formodes at et målepunkt i klasse 3 udgør et egentligt indtrængningspunkt.

For at dokumentere indtrængning ved et målepunkt hvor der er registreret ≥ 3 henfald af ^{216}Po over måletidsrummet på 5 minutter, gentages målingen i samme punkt i 2x5 minutter i umiddelbar forlængelse af første måling, se afsnit 4.3.

4.4.1.4 Klasse 4: Thoron indhold (^{216}Po ≥ 3 målt ≥ 2 gange i samme punkt)

Målepunkter i klasse 4 har ≥ 3 registrerede henfald af ^{216}Po over et samlet måletidsrum på ≥ 2x5 minutter, og kan påvises som følge af de supplerende målinger der foretages som følge af en måling i kategori 3. Det vurderes at et målepunkt i klasse 4 udgør et egentligt indtrængningspunkt. En præsentation af en måling i klasse 4 er vist på figur 4.2 nedenfor.



Figur 4.2; Eksempel på thoronmåling fra delundersøgelse 2. Enheden på højre y-akse er counts pr. minute af polonium-isotopen ^{216}Po.

Ovenstående figur er et eksempel på en thoronmåling taget fra bilag 3.2. Hver søjle illustrerer en måling på 5 minutter. Hvide søjler illustrerer det

registrerede antal henfald af ^{218}Po i måletidsrummet omregnet til en ækvivalent radonkoncentration (venstre ordinatakse), hvorimod farvede søjler illustrerer henfald af ^{216}Po (højre ordinatakse). Som illustreret på abscisseaksen er målt i alt i 22 målepunkter, hvoraf 1 er en referencemåling (målepunkt A måling i 4x5 minutter), og 2 er udluftning af instrumentet (målepunkt X, måling i 2x2x5 minutter). En forklaring af målepunkterne kan findes i bilag 3.2 og 3.5.

I målepunktet B1 måles i første måletidsrum en forhøjet radonkoncentration (i forhold til den indledende referencemåling) samt et samlet antal henfald af ^{216}Po på ≥ 3. Målingen er således en klasse 3 måling, og for at dokumentere en indtrængning fortsættes med 2x5 minutters målinger i samme punkt. Ved de to næste målinger påvises ligeledes et forhøjet radonindhold samt et samlet antal henfald af ^{216}Po på ≥ 3. Målepunktet B1 er derfor i klasse 4.

I målepunktet J8 måles et samlet antal henfald af ^{216}Po på < 3. Der foretages ikke en yderligere måling i punktet, som således tilhører klasse 1.

I målepunktet J9 påvises et samlet antal henfald af ^{216}Po på ≥ 3. Som datavalidering fortsættes med 2x5 minutters målinger i samme punkt. I anden måleperiode måles et samlet antal henfald af ^{216}Po på < 3, men samtidig forhøjet radonkoncentration (altså en måling i klasse 2). I tredje måleperiode registreres ingen henfald af ^{216}Po. Målepunktet J9 klassificeres derfor samlet som klasse 3 måling. Årsagen til den fluktuerende indtrængning i måleperioden ved målepunktet kan eksempelvis skyldes skiftende vindhastigheder og/eller – retning og disses øjeblikkelige betydning for trykforholdende i konstruktionen, og dermed skiftende vilkår for indtrængning, se afsnit 3.2.

4.5 Usikkerheder

Forhøjet thoronindhold i luften ved et målepunkt indikerer, at der forekommer et indtrængningspunkt relativt tæt på målingen. Afstanden afhænger af kildestyrken, men er begrænset af thorons hurtige henfald hvorfor indholdet af thoron i en måling drastisk minimeres med afstanden til indtrængningspunktet. Indtrængning af poreluft kan forekomme gennem forskellige advektive indtrængningsveje, beskrevet overordnet i afsnit 3.3. Der kan forekomme indtrængningsveje som ikke kan påvises med thoronindhold og ligeledes kan indtrængningsveje være forgrenede, eller overdækket af gulvbelægning, hvilket kan give anledning til, at den påviste indtrængning ikke sker lige ved målepunktet.

Det er vanskeligt at foretage en præcis måling af thoron gas ved et givent målepunkt, fordi indtrængning af thorongas er afhængig af variationer i tidslige faktorer. Thorongas trænger ind til indeklimaet via utætheder i konstruktionen og ved diffusiv emanation fra bygningsmaterialer, og henfalder kontinuerligt til sine datterprodukter. Gassens korte levetid gør, at koncentrationen i et rum varierer utroligt meget, afhængig af indeluftens bevægelser og turbulens, samt af eksterne påvirkninger der bidrager til øget eller mindsket indtrængning i måletidspunktet. Disse forhold gør målemetoden til et kritisk punkt ved en undersøgelse.

For målemetoden er konsistens i målingerne afgørende for målesikkerheden. Måleudstyrets (RAD7) interne pumpe skal køre med kontinuerligt og støt flow. Såfremt flowet ændres, vil målingen ændres, idet mere eller mindre luft derved suges gennem systemet. Tilsammen vil en del af den mængde

thorongas, der ved målepunktet suges ind i instrumentet, henfalde i udstyrets "luftveje". Det anbefales derfor at benytte et indsugningssystem med konsistente dimensioner, og at benytte samme flow fra målepunkt til målepunkt og måleserie til måleserie. Eventuelt kan benyttes et flowmeter i forbindelse med målingerne.

Måleudstyret (RAD7) beregner en thoron gas koncentration baseret på de registrerede henfald i udstyrets målekammer. Beregningen er en standard kalibrering indkodet i udstyret, og baserer sig på brugen af et standard RAD7 indløbsfilter, en standard 1 m lang og 0,48 cm indre diameter vinyl slange samt et standard 15 cm tørrerør fra Drierite. Afvigelser fra dette setup kan betyde, at de foretagne thoronmålinger ikke er korrekte. Benyttes eksempelvis en meget lang eller tyk slange fra måleinstrumentet til tørrerøret, vil en større del af den opsugede mængde thoron gas nå at henfalde under transporten i slangen. Thoronkoncentrationen ved instrumentets indløb (*inlet*) kan udtrykkes matematisk jf. følgende ligning /52/:

$$C_1 = C_0 \cdot e^{-L \cdot V_1 / q} \tag{8}$$

Hvor

C_0 = Den oprindeligt registrerede koncentration
V_1 = Samlet volumen af tørrerør, slange og filter (standard ca. 50 ml)
q = Flow (standard ca. 0,65 l/min)
L = Thorons henfaldskonstant (ca. 0,756 pr. min)

Den typiske værdi (standardkalibreringen) for ovenstående ligning bliver da C_1 = 0,94 = 94 %, hvilket betyder at den målte koncentration udgør ca. 94 % af den oprindelige koncentration af thoron gas i målepunktet.

Fra indløbet (*inlet*) til selve målekammeret i instrumentet sker tillige et konstant henfald af thorongas, som kan udregnes efter ligning (8). Fra indløb til udstyr (*inlet*) til indløb i selve målekammeret reduceres koncentrationen yderligere, og C_2 = 0,96 = 96 %. Inde i målekammeret bestemmes thoronkoncentrationen ud fra følgende formel /52/:

$$C_3 = \frac{C_2}{1 + L \cdot V_2 / q} \tag{9}$$

Hvor

V_2 = Volumen af internt målekammer (ca. 750 ml)

Sammenlagt for hele måleudstyret med standardopsætning, fås en koncentration i det interne målekammer på ca. 48 % af koncentration ved målepunktet. Den resterende koncentration af thoron, der var til stede i luften ved indsugningspunktet ved målepunktet, er henfaldet i transporten fra indsugningspunkt til detektion i instrumentets interne målekammer.

4.5.1 Radon vs. thoron som tracer

Metoden beskrevet i afsnit 4.3 og 4.4 baserer sig på at benytte thoron som den primære tracer, og radon til verifikation af målingerne. Ulempen ved at benytte thoron som tracer er, at det er nødvendigt at benytte udstyr, der kan

foretage alfaspektrometri. Der er dog måletekniske forhold, der gør, at brugen af blot radon som tracergas ikke anbefales.

Thorons henfaldsprodukt ^{216}Po har en væsentlig kortere halveringstid end radons henfaldsprodukt ^{218}Po. Det har to vigtige betydninger. For det første kan en ændring i koncentrationen hurtigere bestemmes, idet selve målingen sker i det øjeblik henfaldet sker. Et hurtigere henfald giver således en hurtigere måling. For det andet vil en registrering af et indtrængningspunkt ikke give samme efterslæb ved primært at benytte ^{216}Po som ved ^{218}Po. Den længere halveringstid gør, at der er større risiko for, at det endnu ikke henfaldne datterprodukt ^{218}Po, som allerede sidder på halvlederen i udstyret, se afsnit 4.2.1, giver udslag når man har passeret indtrængningspunktet. At bruge radons henfaldsprodukt ^{218}Po som primær tracer, vil derfor nødvendiggøre en længere efterfølgende udluftning af udstyret.

Usikkerhederne ved målemetoden, som omtalt i afsnit 4.5, gør, at det vurderes, at den optimale metode til sporing af indtrængningsveje ved thoronmålinger, er at gøre brug af både radons og thorons henfaldsprodukter.

4.6 Installation af blowerdoor

En blowerdoor anvendes typisk til at måle lufttætheden af bygninger. Udstyret består af en ventilator til at skabe et undertryk og måle en luftmængde, samt en tryksensor til måling af det af ventilatoren skabte lufttryk. En blowerdoor installeres i en eksisterende dørkarm.

I nærværende projekt er der anvendt blowerdoor i forbindelse med undersøgelserne i delundersøgelse 3. Formålet med her at anvende blowerdoor er at fastholde et givent undertryk i testboligen, og således undersøge forekomsten af thoron under "normale" forhold (uden blowerdoor) og under mekanisk frembragte forøgede undertryk (med blowerdoor) svarende til trykforhold i boligen under eksempelvis blæsevejr.

Der er foretaget thoronmålinger under 2 mekanisk frembragte undertryk på i alt 2 lokaliteter. Det blev i forvejen besluttet at foretage målinger under et forholdsvist normalt undertryk af størrelsesordenen ca. 5 Pa, samt et noget større undertryk på ca. 20 Pa. Det naturlige undertryk i boliger, fremkaldt af eksempelvis opstigende opvarmet indeluft, ligger sædvanligvis på ca. 1-3 Pa. Påvirkning af konstruktionen fra eksempelvis vind kan imidlertid give væsentligt større undertryk, og der er i flere forsøg fundet periodiske relative indendørs undertryk op til 40-50 Pa /3/.

Et relativt undertryk på 20 Pa, som er benyttet som maksimal værdi i dette forsøg, er derfor på ingen måde udtryk for en ikke-naturlig situation, men dog ikke normal tilstand under almindelige vejrforhold.

5 Undersøgelsesprogram og lokaliteter

Nedenfor præsenteres undersøgelsesprogrammet overordnet, og der gives en oversigt af de enkelte lokaliteter, der har været inddraget i projektet. En detaljeret beskrivelse af de enkelte lokaliteter kan findes i bilag 6.

5.1 Undersøgelsesprogram

Undersøgelsen er, som tidligere nævnt, inddelt i 3 delundersøgelser, som har følgende omfang:

Delundersøgelse 1. Indledende metodeudvikling, 17 lokaliteter
Delundersøgelse 2. Specifik metodeafprøvning, 9 lokaliteter
Delundersøgelse 3. Metodeafprøvning med supplerende målinger, 2 lokaliteter

Delundersøgelse 1 omfatter undersøgelser foretaget i forbindelse med en generel metodeudvikling og – afprøvning. Der er i denne fase foretaget feltarbejde på 17 lokaliteter.

Delundersøgelse 2 omfatter lokalitetsspecifikke (i alt 7 stk.) undersøgelser baseret på metodebeskrivelsen. Der er i denne fase foretaget målinger på 9 lokaliteter. Flere af de i delundersøgelse 1 indeholdte lokaliteter går igen i denne projektfase.

Delundersøgelse 3 omfatter udvidede undersøgelser på 2 selvstændige lokaliteter, forurenet af en underliggende jordforurening. Undersøgelserne er gennemført med samtidig montage af blowerdoor for at tydeliggøre indtrængningspunkterne i bygningen. Samtidig med thoronmålinger er der foretaget undersøgelser med termografi, sporgas og ppbRAE samt trykdifferensmålinger for [inde – ude] og [inde – under gulv]. De supplerende målinger er alle afrapporteret i et selvstændigt projekt /42/, men er delvist inddraget i nærværende undersøgelse for at påvise en eventuel overensstemmelse eller afvigelse mellem thoronmålinger og påviste indtrængningspunkter.

Tabel 5.1 herunder giver en samlet oversigt over projektets feltarbejde, inddelt efter ovenstående opdeling i delundersøgelser. I bilag 6 afsnit 1.2 er projektets lokaliteter i delundersøgelse 1 overordnet præsenteret. I bilag 6 afsnit 1.3 gives endvidere en præsentation af de supplerende lokaliteter der har været inddraget i delundersøgelserne 2 og 3. For hver lokalitet er præsenteret både byggetekniske og geologiske forhold såfremt de er tilgængelige.

Del	Lokaliteter	Indhold
1	Karolinegade, Skive Skovløkken, Tejn Dyrehavegårdsvej, Kolding Mornhøjvej, Studsgård Lindevej, Fredericia Lindevej, Horsens Peder Kællers vej, Horsens (11 lokaliteter)	Indledende thoronmåling med måling over 5 minutter pr. målepunkt, ca. 20 målepunkter pr. lokalitet. Samtidig med disse indledende forsøg er foretaget en metodeudvikling.
2	Peder Kællers vej, Horsens (9 lokaliteter)	Thoronmålinger efter nyudviklet metodebeskrivelse. Ca. 25 målepunkter pr. lokalitet.
3	Frederiksbjerg Torv, Århus Østergade, Rødding, Spøttrup	Udvidet undersøgelse. Thoronmålinger efter metodebeskrivelse, udført tre gange i samme målepunkter pr. lokalitet ved forskellige trykforhold afstemt med blowerdoor. Ca. 30 målepunkter pr. lokalitet. Herudover er foretaget undersøgelser med termografi, ppbRAE og sporgas.

Tabel 5.1: Oversigt over projektets feltarbejde og lokaliteter

I forbindelse med undersøgelserne udført i delundersøgelse 1 og 2, er følgende simple forholdsregler overholdt ved feltarbejdets udførelse:

- Vinduer og døre holdes lukkede
- Radiatorer og andre varmeapparater tændes
- Mekanisk udluftning aktiveres hvor det er muligt

Bevæggrunden for ovenstående forholdsregler er at skabe et så stort relativt undertryk i boligen som muligt uden brug af eksterne midler, som eksempelvis installation af blowerdoor. Ved at øge den indendørs temperatur samt udsugning via mekaniske installationer som emhætter og badeværelsesventilatorer, øges tryk- og temperaturdifferensen maksimalt uden større indgreb. Dette vil, alt andet lige, give anledning til en forøget indtrængning af poreluft til indeklima. For en nærmere uddybning se afsnit 3.

Ved undersøgelserne i delundersøgelse 3 blev installeret blowerdoor for således at skabe et konstant og veldefineret undertryk i boligen.

Ved samtlige undersøgelser undersøges primært ved rørgennemføringer af alle slags samt synlige revner og andre utætheder. For en specifik liste over undersøgelsespunkter mv., se afsnit 4.3.

For en detaljeret gennemgang af samtlige lokaliteter, se bilag 6.

6 Undersøgelsesresultater

Følgende afsnit indeholder en præsentation af data fra undersøgelserne med thoronmålinger i samtlige delundersøgelser. Resultaterne vil blive diskuteret og vurderet i afsnittene 7 og 8.

Der er foretaget i alt 28 individuelle thoron-undersøgelser på 21 lokaliteter. Undersøgelserne varierer i størrelse og omfang, afhængig af i hvilken delundersøgelse af projektet de er indeholdt. Målingerne er foretaget med et specialiseret radon måleudstyr (RAD7, nærmere beskrevet i afsnit 4.1). Selve måleproceduren er nærmere beskrevet i afsnit 4.2. Samtlige måleresultater samt målepunkternes placering er præsenteret i bilagene 2.1 – 2.4 (situationsplaner) samt 3.1 – 3.3 (måleresultater). Ved de gennemførte målinger er der påvist forhøjede thoron – og radonkoncentrationer i flere målepunkter, hvilket indikerer at der er påvist en række specifikke indtrængningspunkter for radonholdig poreluft.

6.1 Indledende metodeudvikling (delundersøgelse 1)

Undersøgelserne udført i delundersøgelse 1 omfatter en generel indledende metodeudvikling og – afprøvning. I denne delundersøgelse er foretaget thoronmålinger på 17 lokaliteter og målingerne er udført gennem 2009. Lokaliteterne er nærmere beskrevet i bilag 6 afsnit 1.2.1 – 1.2.7.

Metoden udsprang oprindeligt fra et projekt omhandlende brugen af radonmålinger som tracer for beregning af dæmpningsfaktorer over betongulv /51/. Til nævnte projekt blev indkøbt udstyr (RAD7) der har mulighed for at foretage alfaspektrometri, se afsnit 4.1. På baggrund af erfaringer fra dette projekt samt tidligere udenlandske erfaringer /52/ blev thoronmålinger første gang udført i foråret 2009. Målingerne blev udført efter en simpel målemetode med måling i udvalgte målepunkter over 5 minutter. Metoden er efterfølgende videreudviklet gennem målingerne ved de i delundersøgelse 1 inkluderede lokaliteter. I forbindelse med metodeudviklingen har der endvidere pågået tæt dialog med producenten af måleudstyret[2] samt en svensk entreprenør der i flere år har benyttet sig af thoronmålinger til påvisning af indtrængende radon til indeklimaet /53/.

Der er ikke i dette afsnit vist resultater fra målingerne foretaget under delundersøgelse 1, idet arbejdet i delundersøgelse 1 udgør grundlaget for den endelige metode, og målingerne differentierer sig dermed fra kategorierne i afsnit 4.4. Samtlige måleresultater samt målepunkternes placering er dog præsenteret grafisk i bilagene 2.1, 2.2 og 3.1. Målingerne er gennemført med 23 – 89 målepunkter på hver af de undersøgte i alt 17 lokaliteter. 7 af disse 17 lokaliteter er inkluderet i undersøgelserne i delundersøgelse 2. Vejrdata med temperatur- og trykforhold for et givent måletidspunkt er påskrevet bilagene såfremt de er tilgængelige.

[2] Durridge Inc., www.durridge.com

På baggrund af datagranskning er der på bilag 3.1 angivet mulige indtrængningspunkter for poreluft til indeklima, vurderet efter prioriteringsfølgen i afsnit 4.4. En vurdering af validiteten af de i delundersøgelse 1 udførte undersøgelser findes i afsnit 7.1.

På baggrund af studierne i delundersøgelse 1 er den endelige målemetode fastlagt. Metoden er nærmere beskrevet i afsnit 4.4. Fejlkilder og usikkerheder ved målingerne, som blev identificeret under undersøgelserne i delundersøgelse 1, er omtalt i afsnit 8.

6.2 Resultater fra delundersøgelse 2

Forsøgene udført i delundersøgelse 2 er udført efter metodebeskrivelsen i afsnit 4. Der er foretaget thoronmålinger på denne basis på 9 lokaliteter alle beliggende Peder Kællers vej, og målingerne er udført i december 2009. Lokaliteterne er nærmere beskrevet i bilag 6 afsnit 1.3.1. Undersøgelsen her er gennemført for at opnå et større datamateriale for vurdering af metoden.

Måledata er grafisk præsenteret i bilag 3.2. Samtlige målepunkters placering er præsenteret i bilagene 2.1 og 2.2. Målingerne er gennemført med 16 – 22 målepunkter i hver af de undersøgte i alt 9 boliger. Vejrdata med temperatur- og trykforhold for et givent måletidspunkt er påskrevet bilagene såfremt de er tilgængelige.

Samtlige klassifikationer ud fra målinger i delundersøgelsen er anført i tabellerne 6.1 og 6.2 herunder (og i bilag 3.2), vurderet efter prioriteringsfølgen i afsnit 4.4. I tabellerne er vandret angivet målepunkterne og lodret husnumre. Et tomt felt angiver at målepunktet ikke er benyttet i boligen.

En forklaring af målepunkterne ses på bilag 3.2, og målepunkterne er markeret på situationsplanerne i bilag 2.1 og 2.2. Fejlkilder og usikkerheder ved målingerne er omtalt i afsnit 8. En sammenligning mellem undersøgelser på sammenfaldende lokaliteter i delundersøgelserne 1 og 2 er beskrevet i afsnit 7.2 og i bilag 3.5.

Nr.*	B1	B2	B3	C	P	D	E	F1	F2	F4	F5	F6	F8	F9	G	H1	H3	H4	H5
15	2			1	1	1	1	1	1							1	1		
19		3		1	1	1	1	1	4							1	1		
21	1			1	2	1	1	1	1						1	1	1		
23	1			1	1	1	1	1	1	1					1	1	1		
24	4			1	1	1	1			1			1	1	1				
25	1			1	1	1	1		1	1	1				1		1		1
27	4			2	1	1	1	4	1	1	1	4			1		1	4	
29	1			1	1	1	1		4	1					1		1		2
31		4	4	1		1	1	1					1	1		1			

Tabel 6.1: Kategori-inddeling for delundersøgelse 2, målepunkter B1-H5.
* Nr. er lodret angivet med husnumre, og vandret med målepunkt nr.

Nr.*	H6	H8	I1	I2	I3	I4	J1	I2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	N
15			1	1	1		1		1		1							1
19			1	1	1		1	1	2		1							1
21			1	1	3		1	1	1		1							1
23			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						1
24	1	1							1		1		1	1	3	1	1	1
25			1	1	1		1	1	1	1	1							1
27			3	1	3		1	1		1	1							1
29			2	1	1		1	4	4		2							2
31									1		1		1	1	1		1	1

Tabel 6.2: Kategori-inddeling for delundersøgelse 2, målepunkter H6-N.
* Nr. er lodret angivet med husnumre, og vandret med målepunkt nr.

Ved undersøgelsen findes primært indtrængning ved rørgennemføringer, og gennemføringerne i teknikskabet (målepunkterne B1-B3) vurderes generelt som værende det sted i boligerne hvor den største indtrængning finder sted. Herudover er fundet indtrængning ved ydervægge, målt i udvalgte punkter hvor gulvkonstruktionen møder væggen.

6.3 Resultater fra delundersøgelse 3

I delundersøgelse 3 er foretaget udvidede undersøgelser på i alt 2 lokaliteter, Frederiksbjerg Torv og Østergade. Lokaliteterne er nærmere beskrevet i bilag 6 afsnit 1.3.2 – 1.3.3. Undersøgelserne er gennemført som beskrevet i afsnit 4, og er udført i perioden 28. april til 12. maj 2010. Ingen af de to lokaliteter har indgået i delundersøgelserne 1 og 2.

Måledata er grafisk præsenteret i bilag 3.3. Samtlige målepunkters placering er præsenteret i bilagene 2.3 og 2.4. Målingerne er gennemført med hhv. 21 og 26 målepunkter i de to undersøgte boliger. Vejrdata med temperatur- og trykforhold for et givent måletidspunkt er påskrevet bilagene såfremt data er tilgængelige. En tolkning af resultaterne for målingerne under forskellige trykforhold er beskrevet i afsnit 7.3.

Fejlkilder og usikkerheder ved målingerne er omtalt i afsnit 7.5.1.

De udvidede undersøgelser i delundersøgelse 3 er foretaget på 2 lokaliteter, forurenet af en underliggende jordforurening. Delundersøgelse 3 har inkluderet supplerende undersøgelser med montage af blowerdoor samt undersøgelser med termografi, ppbRAE - og sporgasmålinger, og trykdifferensmålinger. Samtlige supplerende undersøgelser er afrapporteret i selvstændigt projekt /42/. I dette projekt omtales primært de gennemførte thoronmålinger.

Det primære formål med de udvidede undersøgelser er at undersøge hvorledes thoronmålinger påvirkes under forskellige trykforhold. Således er undertrykket, genereret af den installerede blowerdoor, påført samtlige målesteder i delundersøgelse 3. Der er foretaget flowmålinger for enkelte målepunkter, se bilagene 4.2 og 4.3. Flowmålingerne er udført som dokumentation for indstrømning af poreluft. Målingerne er omtalt i kapitel 7.

Nedenfor ses fra hver af de to lokaliteter en nærmere præsentation af de gennemførte undersøgelser samt datapræsentation.

6.3.1 Frederiksbjerg Torv

Der er på lokaliteten gennemført i alt tre målerunder (M1-M3 i tabel 6.3) og målt i alt i 21 målepunkter. Der er målt under tre forskellige trykforhold. I målerunde 1 er målt under naturlige forhold, med varierende trykdifferens afhængig af eksterne påvirkninger (vind, temperatur mv.). Trykdifferensen i målerunde 1 er for måleperioden målt til ca. 0,6 Pa indendørs undertryk, målt som gennemsnit af trykdifferens mellem indeklima og under gulv i to målepunkter samt trykdifferensen mellem indeklima og hulmur i ét punkt.

I målerunde 2 og 3 er installeret blowerdoor og målt under forholdene 4 Pa indendørs undertryk (målerunde 2) og 20 Pa indendørs undertryk (målerunde 3). Disse undertryk er trykdifferens mellem indeklima og udenfor, etableret og målt via blowerdoor.

Målingerne på Frederiksbjerg Torv er grafisk illustreret i bilag 3.3 og resultaterne er herunder i tabel 6.3 inddelt kategorimæssigt efter den i afsnit 4.4 angivne skala. . I tabellen er vandret angivet målepunkterne og lodret målerunderne 1-3.

MP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
M1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1	2
M2	1	4	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	3	1	4	1	4
M3	1	4	4	4	1	1	1	3	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	4	1	4

Tabel 6.3: Kategori-inddeling for målepunkt MP 1-21, målerunde M1-M3 for lokaliteten Frederiksbjerg Torv, Århus, delundersøgelse 3.

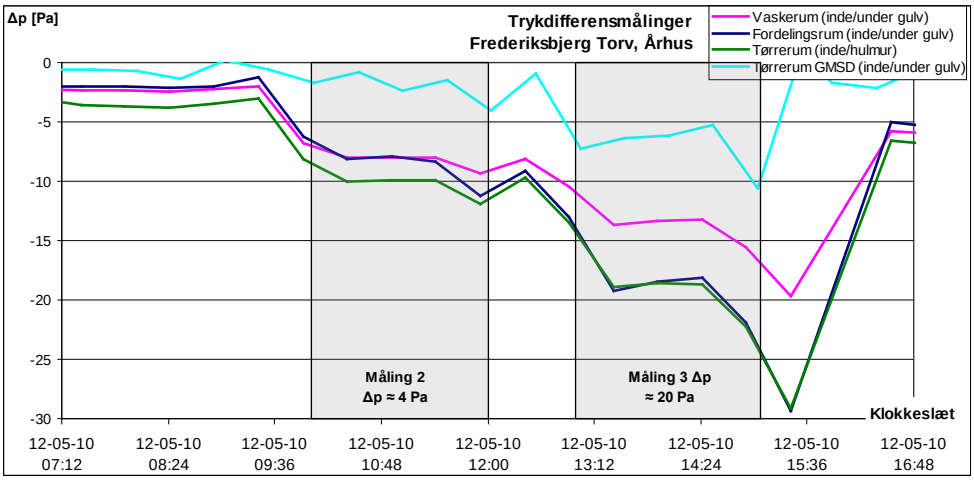
I målepunkt 2, 3, 4, 8, 9, 11, 12 og 21 sker der en vækst i målepunkternes kategori-inddeling ved stigende trykdifferens. Indholdet af radon i eksempelvis målepunkt 3 stiger nærmest lineært med voksende trykdifferens, med indhold i målepunktet på op til 880 Bq/m^3 ved 0,7 Pa, op til 1.660 Bq/m^3 ved 4 Pa, og op til 10.100 Bq/m^3 ved 20 Pa undertryk. Indholdet i thoron i den indtrængende luft er ligeledes synligt stigende med øget trykdifferens, primært i målepunkterne 2, 3, 19 og 21.

6.3.1.1 Trykdifferens

Der er endvidere målt trykdifferens i forskellige punkter i de to boliger i delundersøgelse 3. I boligen på Frederiksbjerg Torv er målt trykdifferens i fire punkter, placeret som vist på situationsplanen i bilag 2.3. Tre af disse fire målinger er benyttet som datagrundlag, for at sikre ensartede målinger (de tre målinger er foretaget med samme instrument MFP, se afsnit 4.1.2, og viser ensartede data, se figur 6.1). Der er målt trykdifferens i følgende rum:

- Fordelingsrum (Δp mellem indeklima og under gulv, MFP)
- Vaskerum (Δp mellem indeklima og under gulv, MFP)
- Tørrerum (Δp mellem indeklima og hulmur, MFP)
- Tørrerum (Δp mellem indeklima og under gulv, GMSD 2,5 MR)

Da lokaliteten alene består af ovennævnte 3 rum i kælderniveau, er der derved målt trykdifferens i samtlige lokaler på lokaliteten. En grafisk oversigt over udviklingen i trykdifferensen over de 14 dage hvor målingen gennemføres for de fire punkter er vist i bilag 3.4. Trykdifferensen for de fire punkter på måledagen med blowerdoor er vist herunder på figur 6.1.



Figur 6.1: Udvikling af trykdifferens på måledag m blowerdoor.
Negativ Δp på y-aksen betyder et relativt undertryk indendørs i forhold til under gulv.

6.3.2 Østergade

Der er gennemført tre målerunder (M1-M3) og målt i alt i 26 målepunkter. Der er målt under tre forskellige trykforhold. I målerunde 1 (M1) er målt under naturlige forhold, med varierende trykdifferens afhængig af eksterne påvirkninger (vind, temperatur mv.). Trykdifferensen i M1 er for måledagen gennemsnitligt 0,0 Pa.

I målerunde M2 og M3 er installeret blowerdoor og målt henholdsvis 5 Pa indendørs undertryk (M2) og 20 Pa indendørs undertryk (M3). Disse undertryk er trykdifferens mellem indeklima og udenfor, etableret og målt via blowerdoor.

Målingerne på Østergade er grafisk illustreret i bilag 3.3 og resultaterne er herunder i tabel 6.4 inddelt kategorimæssigt efter den i afsnit 4.4 angivne skala.

MP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
M1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M2	1	4	3	1	1	4	4	4	4	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2
M3	4	1	1	1	1	3	1	4	4	1	4	4	1	3	4	1	1	1	1

MP	20	21	22	23	24	25	26
M1	1	1	1	1	1	4	1
M2	1	3	1	1	4	3	1
M3	1	3	1	1	4	1	3

Tabel 6.4: Kategori-inddeling for målepunkt MP 1-26, målerunde M1-M3 for lokaliteten Østergade, Spøttrup, delundersøgelse 3.

I visse punkter sker en øgning af målepunkternes indhold af radon og thoron ved stigende trykdifferens, men det er ikke så udtalt som ved lokaliteten Frederiksbjerg Torv. Til gengæld sker der en aktivering af målepunkter ved højere trykdifferens. Således kan kun ét målepunkt tildeles kategori 4 i målerunde 1, hvilket stiger til 6 målepunkter i målerunde 2 og 7 målepunkter i målerunde 3. Ligeledes stiger antallet af kategori 3 punkter, fra hhv. 0 målepunkter i målerunde 1, 3 målepunkter i målerunde 2 til 4 målepunkter i målerunde 3.

Intensiteten af indtrængningen stiger ligeledes, hvilket tydeligt fremgår af figurerne for lokalitetens undersøgelse på bilag 3.3.

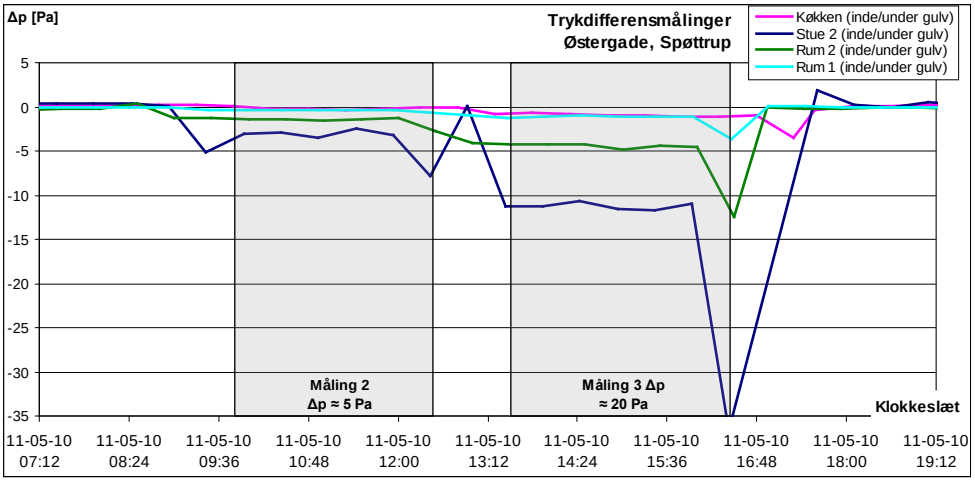
6.3.2.1 Trykdifferens

For lokaliteten på Østergade er tillige målt trykdifferens fire steder, også vist på situationsplan, bilag 2.4. På Østergade er alle trykdifferensmålinger foretaget med instrumentet af typen GMSD 2,5 MR. Der er ikke foretaget trykdifferensmålinger i samtlige lokaler. I lokaler hvor der ikke er målt en trykdifferens er denne fastlagt på baggrund af målinger i tilstødende lokaler. Lokaliteten på Østergade er inddelt i alt i 9 rum, som angivet i tabellen nedenfor, og som angivet på situationsplanen i bilag 2.4.

Rum	Baggang	Køkken	Kontor	Bad	Stue 1	Stue 2	Rum 1	Rum 2	Entré
Δp	Køkken	X	Rum 1	Køkken	Rum 1+2	X	X	X	Stue 2

"X": Lokalet har sit eget trykdifferens målepunkt
Tabel 6.5: Trykdifferens for Østergade, Spøttrup

Jf. tabel 6.5 har lokalerne Køkken, Stue 2, Rum 1 og Rum 2 sine egne trykdifferensmålepunkter. For de resterende lokaler er angivet hvilke trykdifferensmålepunkter der benyttes som reference. Således benyttes trykdifferensmålingen i Rum 1 som reference til kontoret, og gennemsnittet af Rum 1 og Rum 2 benyttes til Stue 1. Samtlige målinger er angivet på den grafiske præsentation af måledata i bilag 3.3.



Figur 6.2; Udvikling af trykdifferens på måledag m blowerdoor.

Herover er vist en grafisk præsentation af trykdifferens for lokaliteten Østergade, Spøttrup på måledagen med blowerdoor. En grafisk oversigt for udviklingen i trykdifferensen over de 14 dage målingen i de fire punkter varede, er vist i bilag 3.4. Efter måling 3 er foretaget målinger til projektet /42/ under forøgede trykforhold.

7 Vurdering af måledata

Dette afsnit indeholder generelle tolkninger af de indhentede data fra måleserierne i delundersøgelserne 1, 2 og 3, og en sammenfatning og oversigt over typisk påviste indtrængningspunkter. Desuden er indeholdt vurderinger i forhold til de individuelle undersøgelser, herunder naturlige varierende parametre og kontrollerede ændringer i trykdifferensen.

7.1 Overordnede vurderinger

Forsøgene i delundersøgelse 1 er udført med henblik på at opnå et erfaringsgrundlag for fastlæggelse af en konstruktiv målemetode med minimal måleusikkerhed.

Undersøgelserne er udført som enkelte målinger i enkelte boliger og viser generelt meget varierende måleværdier. Undersøgelserne er udført i boliger spredt over mange forskellige lokaliteter med forskelligartet geologi og således på lokaliteter med uens potentiale for radonindtrængning (uens indhold i jorden og uens tæthed i gulvkonstruktionen). Idet målingerne kun er foretaget som én målerunde per lokalitet, har det været essentielt i delundersøgelse 1, på forhånd at udpege de typiske målepunkter som ofte er indtrængningspunkter for thoron og radon. Undersøgelserne i delundersøgelse 1 er grafisk præsenteret i bilag 3.1. Et eksempel herfra er illustreret nedenfor på figur 7.1.

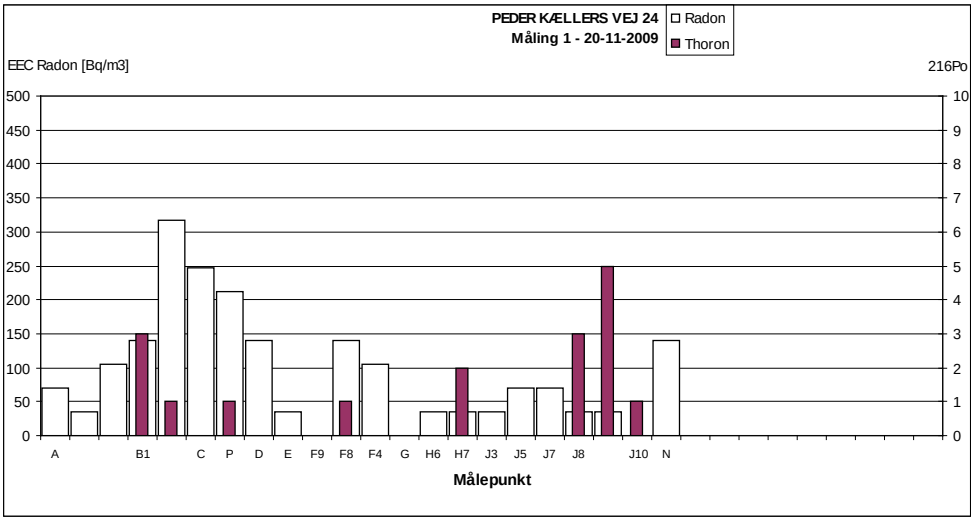
På baggrund af de praktiske erfaringer i delundersøgelse 1, er det fundet vigtigt at tilføje en referencemåling i en bolig forinden selve thoronmålingerne igangsættes. Referencemålingen udføres med henblik på at opnå en baggrundsværdi for radonindholdet i indeklimaet til senere grundlag for sammenligning efter endt måling. Det er desuden vigtigt at være opmærksom på varierende radonkoncentrationer i forbindelse med thoronmålingerne, idet forhøjet radonindhold kan forekomme i målepunkter uden væsentligt forhøjet indhold af thoron. Denne anormalitet skyldes sandsynligvis målepunktets afstand fra indtrængningspunktet, eller spredningsvejen fra poreluften til indtrængningspunktet.

Der er med baggrund i ovenstående udarbejdet en målemetode, hvor der tages højde for ovenstående problemstillinger, og en metode som tillader et mindre indhold af thorongas, uden nødvendigvis at klassificere målingen som værende tegn på et indtrængningspunkt. Målemetoden er nærmere beskrevet i afsnit 4.3 og 4.4.

7.2 Sammenfatning, påviste indtrængningspunkter

Ved undersøgelserne i forbindelse med samtlige delundersøgelser, er der primært fundet forhøjede koncentrationer af thoron ved rørgennemføringer i teknikskabe og ved radiatorer samt ved synlige skader på gulvkonstruktionen, eksempelvis revner eller huller (se bilag 3.3). Praksis følger derved litteraturen (se afsnit 3.4), hvor indtrængningen gennem disse punkter som regel er dominerende, og ofte meget tydeligt overskygger andre indtrængningspunker.

Desuden er fundet forhøjede koncentrationer ved "ikke-visuelle" indtrængningspunkter ved eksempelvis samlinger langs gulvflade og ydervægge. Der findes kun sjældent indtrængning gennem afløb og vandlåse.



Figur 7.1; Thoronmåling, Peder Kællers vej 24, delundersøgelse 1. Enheden på højre y-akse er counts pr. minute af polonium-isotopen ^{216}Po.

Ovenstående figur 7.1 illustrerer som eksempel thoronmålinger foretaget i en bolig under forsøgene i delundersøgelse 1. Temperaturforhold under undersøgelsen er præsenteret i bilag 3.1. Figuren illustrerer indholdet af radon og thoron i det givne målepunkt (et målepunkt per dobbeltsøjle). I den givne måling er fundet forhøjet indhold af thoron i målepunkterne B1 (teknikskab) og J8 (ydervæg i stue, se bilag 2.1 og 2.2). Der er foruden thoron også påvist en forøget radonkoncentration i teknikskabet. Der er i enkelte andre målepunkter (P, F8, H7 og J10) fundet mindre indhold af thoron, som ikke kan afvises at udgøre indtrængningspunkter, men ikke er undersøgt ved yderligere målinger. Lokaliteten præsenteret i figur 7.1 er yderligere undersøgt i delundersøgelse 2, se figur 7.5.

7.3 Måling under naturligt varierende forhold

Thorongassen spredes via poreluftens strømning gennem utætheder i gulvkonstruktionen til indeklimaet. Indstrømningen er afhængig af et indendørs undertryk (opadrettet trykdifferens over gulvet) skabt af temperaturforhold og vindpåvirkninger, se afsnit 3.2. Eftersom disse påvirkninger er varierende, er det nødvendigt at tage højde for, at målinger på samme lokalitet ikke nødvendigvis vil give enslydende resultater, idet indtrængningen er direkte påvirket af varierende faktorer. I delundersøgelse 3 er der foretaget målinger af denne trykdifferens for at påvise de naturligt forekommende variationer.

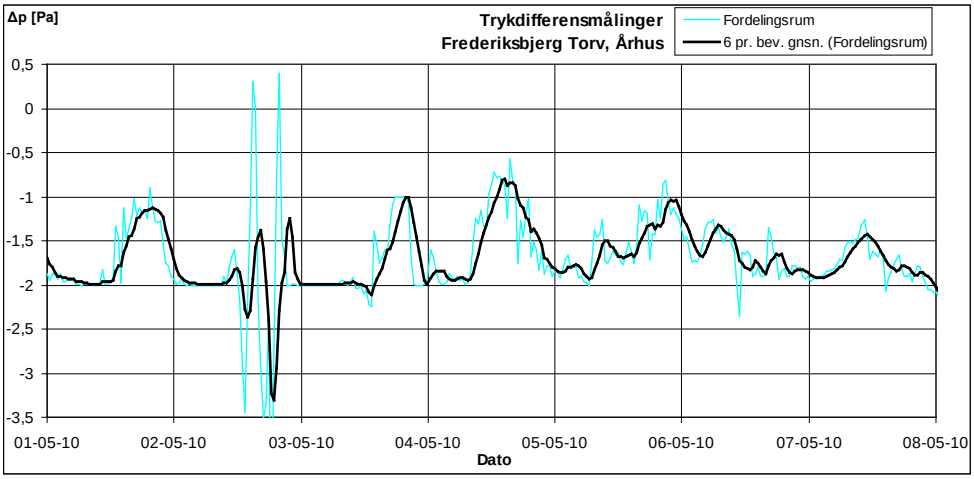
7.3.1 Variationer i trykdifferens

Forud for undersøgelserne i delundersøgelse 3 er trykdifferensen mellem indeklima og under gulvet moniteret over en forudgående 14 dages periode.

7.3.1.1 Frederiksbjerg Torv, Århus

For lokaliteten på Frederiksbjerg Torv i Århus er der ikke noget klart mønster i døgnvariationer af trykdifferens inde/under gulv. Målingen er vist herunder

på figur 7.2. Der ses dog døgnvariationer på grafen, med lokale svingninger som følge af en døgnrytme. For lokaliteten på Frederiksbjerg Torv vil denne rytme være påvirket af konstruktionen på en anden måde end for lokaliteten i Spøttrup, idet der her er tale om kælderetagen i etagebyggeri, kontra enfamiliehus i Spøttrup.

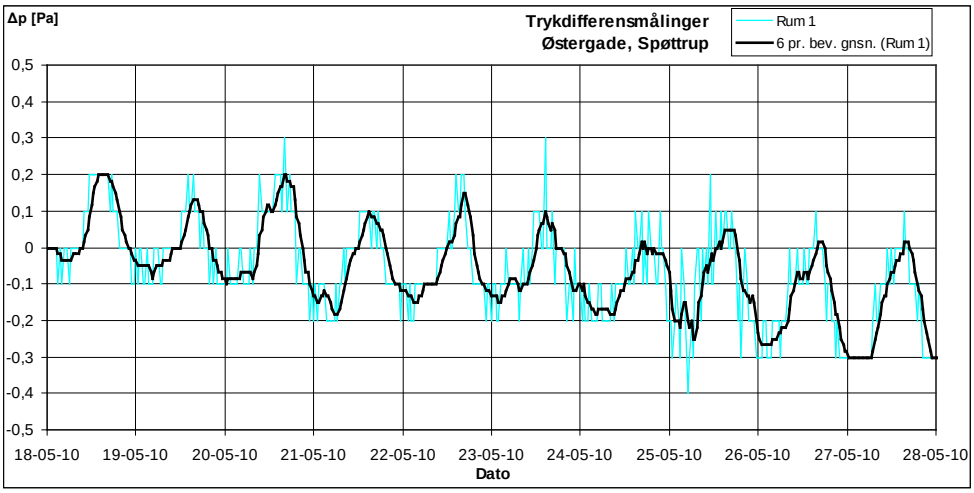


Figur 7.2; Udviklingen i trykdifferens, Frederiksbjerg Torv, Århus. Den sorte kurve viser et løbende gennemsnit over seks målinger.

For måleperioden illustreret på figur 7.2, er der generelt registreret minimal trykdifferens (mindste negative værdi) i eftermiddagstimerne. Størst trykdifferens (største negative værdi) findes generelt om natten eller i de tidlige morgentimer (lodrette gitterlinjer på kategoriakse skærer ved midnat). Der er i måleperioden påvist en gennemsnitlig variation i trykdifferensen på ca. 1 Pa mellem nat og dag. Målingerne er dog langtfra så homogene som for lokaliteten i Spøttrup. Eksempelvis ses store udsving i trykket den 2. maj om eftermiddagen. Årsagen til svingningerne er ukendte, men formodes at skyldes menneskelig aktivitet i kælderrummet, åbning af døre og vinduer, ventilation og lign. Årsagen kan også ligge i meteorologiske faktorer som eksempelvis øget vindpåvirkning af konstruktionen.

7.3.1.2 Østergade, Spøttrup

For lokaliteten på Østergade i Spøttrup varierer trykdifferensen entydigt med dag/nat temperatursvingningen. Målingen er vist herunder på figur 7.3. Fra litteraturen er det kendt, at koncentrationen af radon i et givent indeklima varierer over døgnet /ref. 8/. Det vurderes, at svingningerne i trykdifferensen er altoverskyggende årsag til disse variationer. Det vurderes yderligere, at svingningerne i trykdifferensen skyldes temperaturændringer som følge af den varmere udeluft i dagtimerne, og den modsatte nedkøling om natten. Dette vil give anledning til en større temperaturdifferens mellem inde og ude i løbet af natten, og dermed større relativt indendørs undertryk, hvilket stemmer pænt overens med de påviste variationer for trykdifferensen (figur 7.3).



Figur 7.3; Udviklingen i trykdifferens, Østergade, Spøttrup.
Hver lodret gitterlinje skærer kl. 0.00. Det ses, at den største opadrettede trykdifferens optræder mellem kl. 00-08. Ved negativ Δp er lavere tryk over gulv og højere tryk under gulv. Den sorte kurve viser et løbende gennemsnit over seks målinger

For måleperioden illustreret på figur 7.3, er der generelt registreret minimal trykdifferens (mindste negative værdi) i eftermiddags- og aftentimerne. Størst trykdifferens (største negative værdi) findes generelt om natten eller i de tidlige morgentimer. Der er i måleperioden påvist en gennemsnitlig variation i trykdifferensen på ca. 0,3 Pa mellem nat og dag. Det skal samtidig bemærkes at det relative tryk indendørs (kontra under gulv) her svinger mellem over- og undertryk afhængig af tidspunktet på døgnet. For den samlede periode ses endvidere en tendens til øget undertryk i indeklimaet. Det skal dog bemærkes, at der ikke er målt meteorologiske data for måleperioden (ude – og indetemperatur samt vinddata), og trykdifferensmålingerne kan således ikke sammenlignes med måledata for faktorer, der yder indflydelse på trykdifferensen.

7.3.2 Varierende indtrængning i samme målepunkt

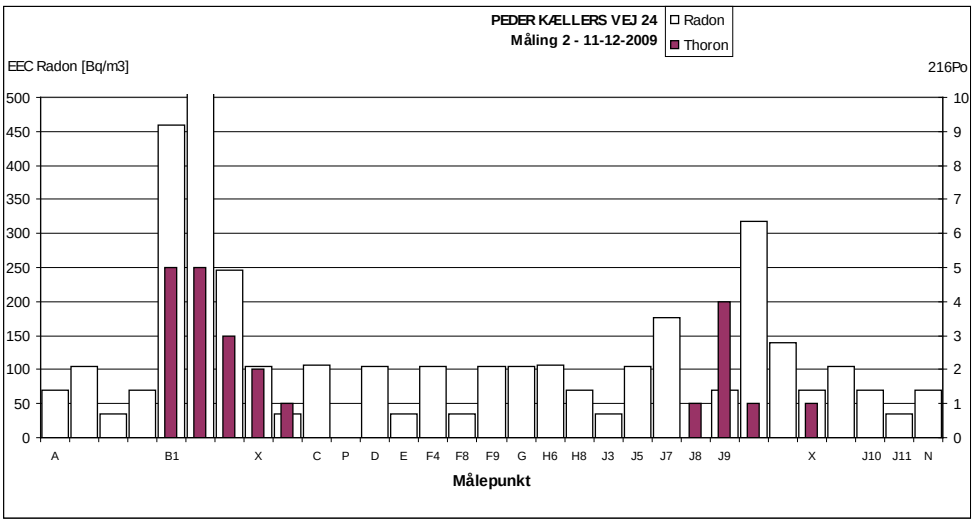
I delundersøgelse 2 er der foretaget målinger på et udvalg af lokaliteter indeholdt i delundersøgelse 1, for at undersøge en eventuel korrelation mellem målinger i samme boliger, men under naturligt varierende forhold. Målingerne er sammenholdt i bilag 3.5.

Indtrængningsraten for radon og thoron fra poreluft til indeklima er afhængig af følgende faktorer; mængden af radon og thoron der dannes i jorden, konstruktionens og jordens transportegenskaber (gennemtrængelighed) og de drivkræfter, der driver poreluft mod indeklimaet (trykdifferens over/under gulv genereret af eksempelvis temperaturforskelle ude/ide, vindpåvirkninger af konstruktionen mv.) Flere af disse faktorer giver anledning til fluktuerende tilstrømninger af poreluft (indeholdende radon og thoron) til indeklimaet. Alle ovennævnte forhold er nærmere beskrevet i afsnit 3.1 og 3.2.

Som det fremgår ovenfor er indholdet af thoron i indeklimaet i måleøjeblikket, derfor følsomt overfor den aktuelle målesituation og størrelsesordenen på de drivkræfter der i det aktuelle øjeblik indvirker på indtrængningsraten. For en måling i en bolig under "normale omstændigheder" (altså hvor der måles under de gældende trykforhold) skal det derfor understreges, at det er muligt at ikke alle indtrængningsveje til boligens indeklima er "aktive" i måleøjeblikket, eksempelvis på grund af varierende vindpåvirkninger, og

dermed varierende trykdifferens i specifikke rum i boligen. Der foreligger pt. ingen danske eller udenlandske undersøgelser der i detaljer afdækker hvor stor spredning der kan forekomme under varierende forhold. Hvis der ønskes et sikkert billede af alle indtrængningspunkter, vil det derfor være nødvendigt at foretage genmåling flere gange under varierende vejr- og temperaturforhold (samt eventuelt varierende beboeradfærdsmønstre).

Nedenstående figur 7.4 illustrerer en thoronmåling foretaget i en bolig under undersøgelserne i delundersøgelse 2. Lokaliteten er også undersøgt i delundersøgelse 1, se figur 7.1. Måleforhold under undersøgelsen er angivet i bilag 3.2. I den givne måling er fundet forhøjet indhold af thoron i målepunkterne B1 (teknikskab) og J9 (ydervæg i stue). Der er foruden thoron fundet en forøget radonkoncentration i teknikskabet.



Figur 7.4; Thoronmåling i delundersøgelse 2 (samme bolig som figur 7.1). Enheden på højre y-akse er counts pr. minute af polonium-isotopen ^{216}Po.

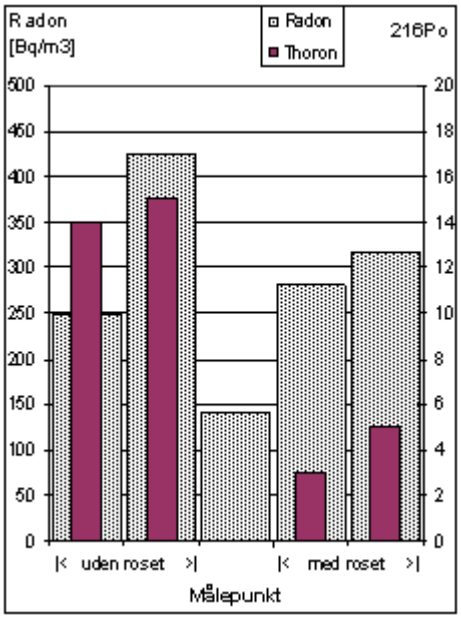
Ved undersøgelsen på samme lokalitet i delundersøgelse 1 (måling 1), blev fundet forhøjet indhold af thoron i målepunkterne B1 og J8 (afstanden mellem målepunkterne J8 og J9 er ca. 1 m). Måling 1 (under delundersøgelse 1) blev foretaget den 20. november 2009, og måling 2 (delundersøgelse 2), blev foretaget d. 11. december 2009. På trods af manglende informationer om eksempelvis trykforholdende i boligen (trykdifferens), vindpåvirkning og grundvandsstanden for måledagene, viser de to undersøgelser god overenstemmighed.

I delundersøgelse 2 ved måling i målepunktet J8, er der fundet mindre indhold af thoron i forhold til under målingen foretaget i delundersøgelse 1. Årsagen til det mindre indhold af thoron under 2. måling i forhold til 1. måling kan sandsynligvis tilskrives eksterne faktorers påvirkning af trykforholdende i boligen, og dermed indtrængningsraten i det enkelte målepunkt.

I delundersøgelse 2 finder vi, at målingerne fra delundersøgelse 1 generelt ikke er reproducerbare, og ofte giver 2. måling et andet billede end hvad der påvises ved 1. målerunde. Ofte ses dog mange sammenfaldende målinger, eksempelvis hvor en måling den ene måledag giver et højt udslag og næste dag et lidt mindre udslag, men stadig udslag. Det vurderes, at årsagen til dette er svingende tryk- og temperaturforhold, og dermed varierende indtrængningsrater i måleøjeblikket. Eftersom trykdifferensen mellem inde og

under gulvet er den afgørende drivkraft for radon og thoron til indeklimaet forventes det, at sammenfaldende trykdifferensmålinger for hovedparten ville kunne afklare afvigelserne.

7.3.3 Indtrængning ved radiatorroset



Figur 7.5; Thoron ved radiator. Enheden på højre y-akse er counts pr. minute af polonium-isotopen ^{216}Po.

Indtrængningen af thoron blokeres meget let i forhold til radon, idet thoron har en langt kortere halveringstid. Dette er tydeligt i forbindelse med undersøgelsen i delundersøgelse 2, hvor forskellen i måleværdierne ved måling ved radiatorgennemføring med og uden roset blev undersøgt, se figur 7.5 (rosetten af plastic ses øverst på billedet). Som det ses af figuren er indholdet af radon med og uden roset nogenlunde ens, mens indholdet af thoron i den undersøgte luft er væsentlige mere varierende, svarende til ca. en faktor 3. Dette betyder, at selv simple byggetekniske foranstaltninger kan være med til at bremse indtrængningen af thoron, idet transporttiden øges og gassen dermed når at henfalde.

7.4 Måling under kontrollerede forhold

I delundersøgelse 3 er der på to lokaliteter først gennemført én målerunde under naturligt varierende trykforhold og derefter to målerunder under kontrollerede trykforhold. Undersøgelsen er udført med henblik på at fastslå om der er væsentlige forskelle på indtrængningen af thoron og radon under hhv. naturligt varierende og kontrollerede trykforhold.
Undersøgelsesprogrammet er nærmere beskrevet i afsnit 5.1 og bilag 6.
Udover thoron og radon er der for hver lokalitet og måletidspunkt som supplement i forhold til delundersøgelse 1 og 2 målt trykforskellen mellem indeluften og under gulvet, og ved kontrollerede forhold desuden trykforskellen mellem ude og inde vha. en blowerdoor.

Målingerne i delundersøgelse 3 er grafisk illustreret i bilag 3.3 med tilhørende trykdifferens for de enkelte målepunkter. Trykdifferensen mellem indeklima og under gulv er præsenteret grafisk, mens trykdifferensen mellem indeklima og udenfor er præsenteret med tal på de enkelte grafer. Resultaterne fra måledagene er inddelt kategorimæssigt efter den i afsnit 4.4 angivne skala og vist i tabellerne 6.1 og 6.2. Den kontinuerte trykdifferens målt mellem indeklima og under gulv over en periode på ca. 14 dage, er grafisk illustreret i bilag 3.4 for begge lokaliteter.

7.4.1 Øget indtrængning ved øget trykdifferens

For begge lokaliteter er foretaget måling under forskellige trykforhold. Generelt giver større trykdifferens (indeklima/under gulv og indeklima/udenfor) anledning til en større koncentrationer af både thoron og radon i de individuelle målepunkter, hvilket bekræfter antagelsen om at der her vil ske en øget indtrængning af poreluft. De to lokaliteter giver imidlertid udtryk for forskellige tendenser ved måling under øget trykdifferens.

For lokaliteten på Frederiksbjerg Torv i Århus øges antallet af indtrængningspunkter og den individuelle signifikans af indtrængningen ved de enkelte målepunkter. Disse aflæses tydeligt af den grafiske fremstilling for lokaliteten på bilag 3.3.

For lokaliteten på Østergade i Spøttrup er situationen anderledes, idet signifikansen af de enkelte punkter ikke synes forøget med eskalerende trykdifferens. Dog øges den overordnede indtrængning ved et øget antal indtrængningspunkter. Lokaliteten i Spøttrup er imidlertid væsentlig mere utæt, idet det i forsøgene viste sig problematisk at forcere det relative indendørs undertryk. Som det kan aflæses af bilag 3.3 formår blowerdoor installationen ikke at oparbejde en trykdifferens mellem indeklimaet og under gulvet på 20 Pa i samtlige rum. Dette må skyldes utæthed i konstruktionen, og kan være årsag til, at signifikansen af de enkelte utætheder mod jorden ikke eskalerer.

7.4.2 Forskelle i trykdifferens

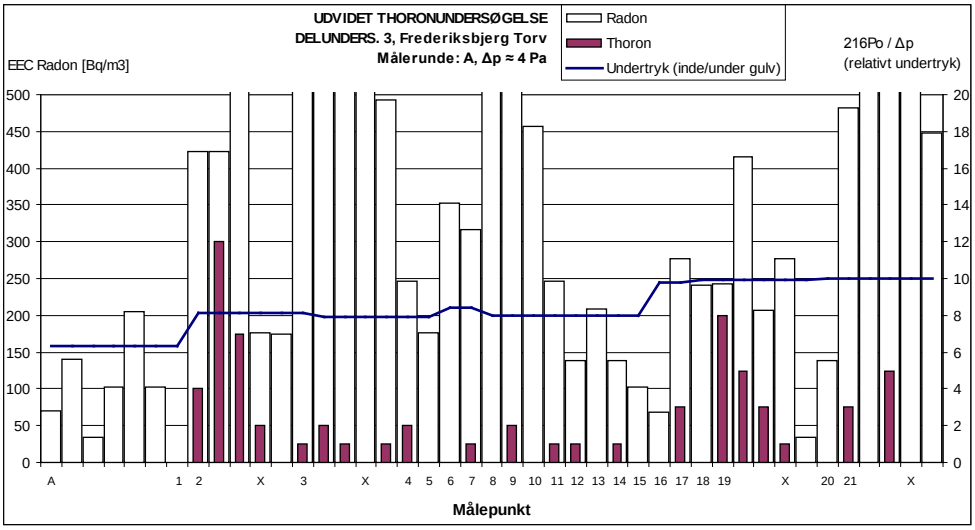
For lokaliteterne Frederiksbjerg Torv, Århus og Østergade, Spøttrup er foretaget målinger af trykdifferens i en række punkter. Indledende er målt trykdifferensen mellem indeklima og under gulvet for en længere periode, og i denne periode er foretaget en indledende thoronmåling (M1, afsnit 6.3). Herudover er for begge lokaliteter udført to ekstra målerunder under kontrollerede trykforhold (M2 og M3, afsnit 6.3). Generelt er det ved undersøgelsen tydeligt, at øget trykdifferens mellem indeklima og udenfor (ved anvendelse af blowerdoor), giver anledning til en øget trykdifferens mellem indeklima og under gulv – dog ikke nødvendigvis med sammenlignelige trykforhold.

Vigtigst er det at bemærke, at en given konstant trykdifferens inde/ude ikke giver anledning til samme konstante trykdifferens inde/under gulv. Dette vurderes at skyldes forskelle i gulv- og vægkonstruktionens tæthed mod jorden, hvor rum med tætte gulve har højere relative trykdifferenser inde/under gulv end mere utætte rum.

For lokaliteten i Århus er der for enkelte lokaler målt højere trykdifferens inde/under gulv end den samtidige trykdifferens inde/ude. Dette er illustreret på figur 7.6 herunder samt bilag 3.3 hvor trykdifferensen inde/under gulv er

vist med en kurve for et samtidigt undertryk inde/ude. For eksempel ses det, at trykdifferensen inde/under gulv varierer mellem 6-10 Pa for et samtidigt undertryk inde/ude på ca. 4 Pa. Årsagen til denne forskel kendes ikke, men kan formodentlig have oprindelse i temperaturforskelle mellem inde, ude og under gulv.

For lokaliteten i Spøttrup er trykdifferensen inde/under gulv væsentlig mere træg (varierer fra 0-5 Pa ved 5 Pa undertryk), hvilket må formodes at skyldes mere utætte gulv- og vægkonstruktioner. Dog har lokaliteten i Spøttrup en større klimaskærm der ved installation af blowerdoor skulle tætnes. Såfremt denne tætning ikke er udført tilstrækkelig kan det formodes, at det undertryk der skabes af blowerdoor hurtigt "uddør" inden det forplantes videre over boligens areal. Lokaliteten i Århus var væsentlig mindre og derved lettere at sikre tæthed overfor infiltration fra udeluften.



Figur 7.6; Delundersøgelse 3 målerunde 2, Frederiksbjerg Torv, Århus. Enheden på højre y-akse er counts pr. minute af polonium-isotopen ^{216}Po samt det relative indendørs undertryk i Pa.

7.5 Metodeevaluering

De udførte undersøgelser på i alt 21 individuelle lokaliteter i delundersøgelserne 1,2 og 3, har givet anledning til en indsigt i målemetodens anvendelighed under meget forskellige forhold.

Metoden er stadig ny, og har kun meget sjældent været benyttet udover undersøgelserne i dette projekt. Desuden er litteraturen knap med projekter der direkte belyser forhold omkring "indtrængning af thoron" og "vurderinger baseret på thoronmåling". Modsat dette forekommer der en del udenlandsk materiale, der beskriver thorons datterprodukter som mulige sundhedsskadelige stoffer på linje med radondøtre.

Dette afsnit vil summere op på usikkerheder der kan forekomme ved thoronmålinger.

7.5.1 Fejlkilder og fejlfortolkning

Der er flere aspekter i forbindelse med en thoronmåling, hvor der kræves opmærksomhed på mulige usikkerheder. Mange af disse er nævnt under afsnit 4.5, som opridser usikkerheder og fejlkilder i forbindelse med selve målingen og måleinstrumentet. Disse gentages kort herunder. Herudover er flere eksterne mulige fejlkilder som desuden skal tages højde for.

7.5.1.1 Fejlkilder forårsaget af drivkræfter for poreluftindtrængning
Som nævnt i afsnit 7.3 og 3.2 styres den konvektive indtrængning af poreluft af trykdifferens over gulv, skabt af primært temperatur og vindforhold. Disse forhold er tidsligt foranderlige og vil dermed variere, med varierende indtrængning til følge. Som eksempel herpå, er koncentrationen af radon i et givent indeklima generelt højere om vinteren end sommeren, idet temperaturforskellen mellem inde og ude her er højest, og idet der sjældnere ventileres med kold udeluft. Det er nogle af disse forhold, der er forsøgt undersøgt i delundersøgelse 3, hvor de målepunkter der under normale, naturlige trykforhold klassificeres som indtrængningsveje, også ofte øges i intensitet med øget undertryk. Der er dog flere punkter hvor dette ikke er gældende, og hvor et indtrængningspunkt fundet under "naturlige" forhold, ikke er gennemgående ved en efterfølgende måling i samme punkt. Et forhold der også afspejler sig i delundersøgelse 2, som netop gik ud på at undersøge de samme boliger to gange. Det vurderes på baggrund heraf, at målinger af trykdifferensen mellem indeluften og under gulv er essentielle i sammenhæng med thoronmålinger.

7.5.1.2 Fejlkilder forårsaget af undersøgelsesmetode
Alt andet lige, vil et øget indhold af thoron og radon i et målepunkt i indeklimaet vise, at der her sker en indtrængning af poreluft. Som omtalt i afsnit 4.5 er der dog flere faktorer det er nødvendigt at være opmærksom på ved udstyrets opsætning og ved metodens udførelse.

Det er vigtigt at sikre konsistens i målingerne og at sikre at det benyttede udstyr er kalibreret korrekt, også i forhold til måleprogrammets fysiske setup. Det anbefales at benytte et system med konsistente dimensioner, hvor udstyret er kalibreret i forhold til en standardopsætning. Det benyttede udstyr i dette projekt, er indstillet som angivet i afsnit 4.5, og afvigelser fra dette setup betyder, at målingen kan være behæftet med fejl. Benyttes et længere indsugningssystem, andre filtre eller lignende, kan det skabe fejl i udstyrets beregninger af gas koncentrationen. Dette er videre forklaret i /52/.

Som yderligere nævnt i afsnit 4.5, giver et standard udstyrs setup en thoronkoncentration i udstyrets interne målekammer på ca. 48 % af den oprindelige koncentration ved målepunktet. Den resterende koncentration af thoron, der var til stede i luften ved indsugningspunktet ved målepunktet, er henfaldet i transporten fra indsugningspunkt til detektion i instrumentets interne målekammer. Det vurderes, at dette forhold kan give problemer i forhold til "svage" indtrængningspunkter under naturlige trykforhold. Afhængig af indtrængningspunktets fysiske udformning kan det tænkes, at visse utætheder tillader større flow end andre. Utætheder der blot tillader et lavt flow og dermed en lille indtrængning af poreluft til indeklimaet, vil muligvis ikke indeholde tilstrækkeligt thorongas til en fuldstændig detektion ved målepunktet, såfremt drivkraften (undertrykket i indeklimaet) i måletidspunktet er lille, hvilket understreges af undersøgelserne i delundersøgelse 3.

En meget vigtig fejlkilde ved at benytte thoronmålinger til at lokalisere indtrængningspunkter, er at thoronmålinger, som foretaget i dette projekt, kun foretages i udvalgte målepunkter. Som metoden foreligger nu, måles ikke kontinuerligt over hele bygningsfladen, men i på forhånd udvalgte punkter som følge af en byggeteknisk gennemgang af bygningen. Det skal derfor gøres klart, at eftersom thoronmålinger ikke foretages overalt, kan der forekomme vigtige indtrængningspunkter som ikke identificeres ved undersøgelsen. Det er derfor vigtigt at forberede et grundigt måleprogram, hvor de erfaringsmæssigt hyppigste indtrængningspunkter gennemgås.

7.5.1.3 Fejlkilder forårsaget af de fysiske omstændigheder

Udover mulige fejlkilder ved udstyr og varierende indtrængningsmønstre for poreluft til indeklimaet, kan de fysiske omstændigheder ved målingen tillige forårsage kilde til usikkerheder.

En vigtig fejlkilde ved en undersøgelses fysiske omstændigheder, er omtalt i afsnit 7.3.2, hvor det illustreres at simple installationer (som rosetter) kan være medvirkende årsag til begrænset indtrængning af thorongas. Disse installationer vil ikke nødvendigvis standse indtrængning af hverken radon eller flygtige organiske forureningskomponenter, hvorfor det er en idé at holde sådanne installationer for øje ved en eventuel måling.

Som nævnt i afsnit 4.5 kan der forekomme målepunkter hvor en indtrængningsvej ikke påvises med øget thoronindhold, men hvor indholdet af radon vil være udslagsgivende. Det vurderes at byggetekniske forhold, som eksempelvis gulvbelægning over en sætningsrevne, kan give anledning til sådanne målinger, idet spredningsvejen fra jord til indeklima i så fald kan blive så lang, at indholdet af thoron når at henfalde forinden målepunktet. Derved sker indtrængningen ikke direkte i forbindelse med målepunktet, men andetsteds, og en eventuel senere tætning vil ikke have effekt, med mindre det oprindelige indtrængningssted lokaliseres.

Det forventes desuden, at enkelte kilder i indeklimaet kan bidrage til et thoronindhold i umiddelbar nærhed af objektet. Materialer af sten- og bjergarter som eksempelvis granitbordplader og lignende, kan forventes at indeholde uran og thorium i større mængder, og vil givetvis bidrage til en øget radonkoncentration i indeklimaet. Hvorvidt sådanne materialer bidrager til thoronmålinger vides ikke, men det anbefales at undgå målinger i umiddelbar nærhed af disse materialer. Desuden må det forventes, at bygningens konstruktion og materialevalg kan have betydning for målingerne (afsnit 3.4.1). Bygninger uden betondæk, eksempelvis med trægulv på strøer direkte på jord, må tillige formodes at give anledning til mere komplicerede forhold, idet der i sådanne tilfælde kan forventes et væsentligt forøget indhold af både radon og thoron i indeklimaet /57, 58/.

7.5.2 Opsamling

Overordnet set har projektet vist, at thoronmålinger kan benyttes til at registrere indtrængning af poreluft til indeklimaet. Undersøgelseselementerne i projektet har alle haft til hensigt at udvikle en målemetode og at finde og påvise usikkerheder ved målingen og de forhold og faktorer der gør sig gældende i måletidspunktet.

Det er tiltænkt at en thoronmåling fremover skal være en simpel metode til registrering af indtrængende poreluft fra jorden, og her er det vigtigt at minimere risikoen for fejlkilder og usikkerheder ved udførelse.

Den vigtigste usikkerhed ved målingerne udført under delundersøgelserne 1 og 2 er usikkerheden omkring trykforholdende på måletidspunktet. Som illustreret i delundersøgelse 3, er undertrykket i indeklimaet, forholdet mellem trykket i indeklimaet og under gulvet, afgørende for den mængde af poreluft der suges ind. Der er tidligere foretaget modelberegninger der viser, at indtrængningsraten er direkte proportional med størrelsen af undertrykket /7/. Undersøgelserne foretaget i dette projekt understøtter ikke konsekvent disse modelberegninger, men viser tydeligt, at indtrængningen primært styres af undertrykkets størrelse. Det er derfor tilrådeligt at registrere undertrykkets størrelse ved fremtidige målinger, for at vurdere indtrængningen under varierende forhold.

Det vurderes at thoronmålinger, som udført i dette projekt, giver et rimelig tilfredsstillende billede af poreluftens indtrængning til indeklimaet, selv hvis målingerne udføres under normale trykforhold. , eftersom sådanne vil give anledning til et relativt indendørs undertryk. En blowerdoor kan benyttes til at forcere indtrængning af poreluft til indeklimaet, men det vurderes ikke at være nødvendigt for at anvende thoronmålinger, fordi en blowerdoor genererer et relativt undertryk i boligen og dermed en indtrængning af poreluft, der ikke hører hverdagen til. Der kan dog forekomme situationer hvor dette undertryk ikke eksisterer, og hvor det således kan være en god ide at anvende blowerdoor. Dette bør overvejes i den enkelte sag, og bør understøttes med måling af trykdifferensen mellem indeklima og forholdene under gulvet.

8 Metodens anvendelighed

I dette afsnit diskuteres de gennemførte undersøgelseselementer indeholdt i projektet i forhold til en fremtidig anvendelse af thoron- og radonmålinger i forbindelse med undersøgelser og afværgestrategier på forurenede lokaliteter.

Måleresultaterne vurderes at have givet et væsentligt forbedret grundlag for fremtidige overvejelser om at anvende thoron og radon som sporgas i undersøgelses- og afværgesammenhæng.

Endvidere har projektet givet mulighed for ny dataindsamling, der kan anvendes i vurderinger omkring de processer og mekanismer, der spiller ind ved selve indtrængningen af poreluft der eventuelt kan indeholde forureningsstoffer.

8.1 Thoron som sporgas for indtrængende poreluft

Når indeklimaet i en bygning er varmere end den omgivende atmosfære, vil den opvarmede luft stige til vejrs, og forlade konstruktionen gennem utætheder i tag - og vægkonstruktion. Herved dannes et undertryk i bygningens lavere dele som vil tiltrække koldere luft udefra og fra jorden under bygningen.

Thoron dannes kontinuerligt i jorden og spredes via poreluftens strømning i influenszonen til indeklimaet. Strømningen foregår primært konvektivt, direkte afhængigt af undertrykkets størrelse. Givet et konstant undertryk vil thoron og radon altid føres ind i indeklimaet, via poreluftens konstante flow. Strømning af radon til et indeklima er styret af både advektiv og diffusiv transport hvorimod strømningen af thoron er styret af advektiv transport jf. afsnit 3.3.

Et betondæk konstituerer sædvanligvis barrieren mellem jord og indeklima. Dækket skal udføres så lavpermeabelt som muligt for at forhindre opstigende fugt og poreluft. Der vil dog typisk foregå en indtrængning af poreluft til indeklimaet, grundet gennembrydninger af betondækket af diverse installationer, rørgennemføringer, svind- og sætningsrevner samt skader på bygningens radonsikring i forbindelse med udførelsen. Sådanne utætheder vil oftest udgøre poreluftens spredningsvej fra jord til indeklima.

Et forhøjet indhold af thoron i et målepunkt, set i forhold til indholdet i referencepunktet, vil, alt andet lige, give antydning af en indtrængning af poreluft i umiddelbar nærhed af målepunktet. Indholdet af thoron i indeklimaet kan således benyttes som sporgas for poreluftsindtrængning til indeklimaet.

Thorons henfaldsprodukt ^{216}Po benyttes som den primære tracer, og radons henfaldsprodukt ^{218}Po som den sekundære. Årsagen er, at forhøjet indhold af ^{216}Po i indeklimaet kun kan oprinde fra advektiv indtrængning af thoron i umiddelbar nærhed af målepunktet, og derfor ikke kan anlede til en falsk-positiv måling. Desuden har ^{216}Po en væsentlig kortere halveringstid end

radons henfaldsprodukt, og muliggør derfor hurtigere målinger, idet en koncentrationsændring vil vise sig hurtigt. Målinger af indholdet af ^{218}Po vil bidrage til målingens validitet, og kan benyttes som en verificering af resultatet, men vurderes ikke at kunne stå alene.

8.2 Anbefalinger for fremtidig anvendelse af metoden

Samlet vurderes det, at påvisning af forhøjet indhold af thoron ved målepunkter i indeklimaet, kan benyttes som indikator for indtrængning af poreluft fra undergrunden. Metoden vurderes direkte at kunne knyttes til vurderinger omkring en eventuel indtrængning af flygtige forureningsstoffer. Metoden er afhængig af eksterne trykforhold, og det vurderes derfor, at der bør foretages samtidige målinger af trykdifferens mellem indeklima og under gulv i måleperioden.

8.2.1 Måleprogram

Thoronmålinger, som foretaget i dette projekt, har til formål at påvise indholdet af polonium isotoperne ^{216}Po og ^{218}Po i indeklimaet. Til dette formål skal benyttes avanceret måleudstyr, som beskrevet under afsnit 4.2. Disse isotoper er de eneste af relevant betydning for registrering af indtrængende poreluft, idet de er kortlivede og hurtigt henfalder til andre radioisotoper. Henfaldsprodukter senere i radons og thorons henfaldskæde vil spredes langt mere uniformt i indeklimaet, som følge af de længere halveringstider for bly isotoperne ^{212}Pb og ^{214}Pb, se afsnit 3.4.

Thoronmålingerne foretages ved måling i punkter i gulvniveau. Oftest vil der udvælges et antal målepunkter på forhånd. Samtlige indtrængningspunkter til indeklimaet kan sandsynligvis ikke påvises ved en gennemgang, men det vurderes at de væsentligste indtrængningspunkter kan registreres. Det er essentielt at måleprogrammet indeholder almindeligt forekommende utætheder, der oftest opstår i forbindelse med gennembrydende installationer. Det anbefales at programmet indeholder elementerne beskrevet i afsnit 4.

Herudover bør der foretages en byggeteknisk gennemgang til visuel vurdering af forhold omkring spredningsveje/indtrængningspunkter i indeklimaet /4/.

Indholdet af thoron og radon i jorden under bygningen fluktuerer (både tidsligt og rumligt) som følge af den lokale geologi samt temperatur og fugtforhold. Koncentrationen af både thoron og radon i jorden er generelt væsentligt højere end indholdet i indeklimaet. Varierende trykforhold giver anledning til væsentligt varierende indtrængningsmønstre. På baggrund heraf anbefales det at trykdifferensen mellem indeluft og under gulv på måletidspunktet registreres, for at vurdere validiteten af målingerne. Det anbefales at udføre flere samtidige målinger af trykdifferensen, idet denne kan variere over bygningsplanen.

9 Referenceliste

/1/ Poreluftprojekt – Styrende parametre for tidslige variationer af indholdet af klorerede opløsningsmidler i sand- og lerjorde. Miljøprojekt nr. 1094, 2006.

/2/ Poreluft og indeklima – Hvordan er de to koblet? ATV's temadag d. 9. marts 2009.

/3/ Radon som tracer ved indeklimaundersøgelser. Miljøprojekt af NIRAS, Region Midtjylland. Under udarbejdelse 2010.

/4/ Afværgekatalog – tidlig indsats overfor indeklimapåvirkning. Miljøprojekt nr. 750, 2003.

/5/ Entry of soil gas and radon into houses. C. Andersen, RISØ, 1992.

/6/ en.wikipedia.org: "stack effect". December 2010.

/7/ Metode til risikovurdering af gasproducerende lossepladser. Miljøprojekt nr. 648, 2001.

/8/ Radon i danske boliger. C. Andersen, RISØ, Sundhedsstyrelsen 2001.

/9/ Radon and its decay products in indoor air. W. Nazaroff & A. Nero, 1988.

/10/ Naturally Occuring Radioactivity in the Nordic Countries – Recommendations. De nordiske strålingsmyndigheder i Danmark, Finland, Island, Norge og Sverige, 2000.

/11/ Radon-222 Exhalation from Danish Building Materials: H+H Industri A/S results. C. Andersen, RISØ, 1999.

/12/ Radioaktive stoffer i danske byggematerialer. K. Ulbak, Statens Institut for Strålehygiejne, 1980.

/13/ The Thoron Issue: Monitoring Activities, Measuring Techniques and Dose Conversion Factors. C. Nuccetelli & F. Bochicchio, Italian Institute of Health, 1998.

/14/ Thoron Daughter Concentrations in UK Homes. K. Cliff et al. National Radiological Protection Board, 1992.

/15/ Environmental Radon Newsletter; Thoron in houses.

L. Proctor, UK Health Protection Agency, winter 2004 issue 41.

/16/ A Study of Indoor 220Rn and 222Rn Decay Product Concentrations in the UK.
L. Proctor. RWE NUKEM ltd. 2006.

/17/ Indoor Thoron and Radon Progeny Measurements.
K. Tu et al. US Department of Energy, 1992.

/18/ On the Dose Rate Indoors from Building Materials.
L. Quindos et al. New Mexico Institute of Mining and Technology, 1987.

/19/ A simple technique for determining the equilibrium equivalent Thoron concetration using a CR-39 detector: Application in mineral treatment industry.
C. Kranrod et al. National Institute of Radiological Sciences, Japan, 2009.

/20/ Measuring Thoron (220Rn) in Natural Waters.
W. Burnett et al. Royal Society of Chemistry, 1994.

/21/ Distributions of Thoron Progeny Concentrations in Dwellings.
T. Yamasaki et al. Department of Nuclear Engineering, Nagoya University Japan, 1995.

/22/ Simulation of the Concentrations and Distributions of Indoor Radon and Thoron.
W. Zhuo et al. Department of Nuclear Engineering, Nagoya University, Japan, 2001.

/23/ Thoron Exhalation from Building Material and Related Indoor Concentrations.
J. Tschiersch & O. Meisenberg. Institute of Radiation Protection Neuherberg, Germany, 2008.

/24/ Room Model with Three Modal Distributions of Attached 220Rn Progeny and Dose Conversion Factor.
D. Nikezic & N. Stevanovic. University of Kragujevac, 2006.

/25/ An Experimental Study on Diffusion and Exhalation of ^{222}Rn and ^{220}Rn from Buildings Materials.
K. Folkerts et al. Insitut f˙r Biophysik der Universität des Saarlandes, 1984.

/26/ Radon Generation, Entry and Accumulation Indoors.
L. Guiteras, Universitat Autónoma de Barcelona, 1997.

/27/ Handbook of Chemistry and Physics.
C. Hammond, CRC Press, 2004.

/28/ Tidligere renseri Frederiksbjerg Torv 8-10, Århus.
Supplerende undersøgelser samt afværgeprogram (revideret), NIRAS for Region Midtjylland. 6. februar 2008.

/29/ Orienterende forureningsundersøgelse, Østergade 5A og 5B, Rødding, Dansk Miljørådgivning A/S for Region Midtjylland. 10. november 2008.

/30/ Gas Geochemistry and 222Rn Migration Processes.
G. Martinelli, Servizio Cartografico e Geologico, Bologna, Italy, 1998.

/31/ Migration of Carrier and Trace Gases in the Geosphere: An Overview. G. Etiope & G. Martinelli. Instituto Nazionale de geofisica e Vulcanologia, Rome, Italy, 2001.

/32/ Tranport af gasformig forurening i umættet zone og i bygninger. COWI, AVJ, Teknik og Administration, nr. 7 2004.

/33/ Radon i danske boliger: Mekanismer, modellering, reduktion og kortlægning.
C. Andersen, RISØ. 2003.

/34/ Methods of safe disposal of zircon flour assessment of potential radiological exposure from cement aggregates and mixes containing zircon flour.
R. Strydom & J. Selby. South African Institute of Mining and Metallurgy, 2003.

/35/ Thoron in Swedish Buildings.
L. Mjönes et al. Swedish Radiation Protection Institute, 1995.

/36/ Long-Term Measurements of Indoor Radon and its Progeny in the Presence of Thoron Using Nuclear Track Detectors: A Novel Approach.
K. Amgarou, Universitat Autónoma de Barcelona, 2002.

/37/ Measurements of Thoron and Thoron Progeny Indoors in Sweden.
L. Mjönes et al. Swedish Radiation Protection Institute, 1992.

/38/ Encyclopeadia of Environmental Waste Pollution.
G. Chhatwal, 2002.

/39/ Thoron Gas Concentration and Aerosol Characteristics of Thoron Decay Products.
A. Reineking et al. Isotopenlaboratorium der Georg-August-Universität, Germany, 1992.

/40/ EML Thoron Gas Measurements.
E. Knutson et al. US Department of Energy, 1994.

/41/ Radon and Thoron Parallel Measurements in Hungary.
N. Kávási et al. Pannon University, Hungary. 2006.

/42/ Teknisk notat: Sporing af indtrængningspunkter for forurenet poreluft fra underside af hus til indeklima.
S. Kreilgaard, M. Langeland, Grontmij Carl Bro 17. december 2010.

/43/ Orienterende forureningsundersøgelse, Frederiksbjerg Torv 10, 8000 Århus.
Carl Bro for daværende Århus Amt. 8. oktober 2004.

/44/ Supplerende undersøgelser, Århus Amt, Frederiksbjerg Torv 10, Århus.
Carl Bro for daværende Århus Amt. 10. maj 2006.

/45/ Radonsikring i nybyggeri, dokumentation og teknologiudvikling.
NIRAS for Boligfonden Kuben og Miljøstyrelsen. Under udarbejdelse 2010.

/46/ Karolinegade 1, Skive. Supplerende undersøgelser og projektforslag.
NIRAS for Region Midtjylland, juli 2009.

/47 Byggeteknisk gennemgang og radonmålinger. Vurdering af mulige afværgeløsninger.
NIRAS for Bornholms Regionskommune. Notat af 21. oktober 2009.

/48/ Tidligere renseri, Dyrehavegårdsvej 7A-7S, Kolding. Indsats over for jordforurening. Afgrænsende forureningsundersøgelser samt byggeteknisk gennemgang.
NIRAS for Region Syddanmark, februar 2010.

/49/ Momhøjvej 8, Studsgård. Supplerende forureningsundersøgelser.
NIRAS for Region Midtjylland, marts 2009.

/50/ Lindevej 3, Taulov. Byggeteknisk gennemgang, radon og thoron undersøgelser.
NIRAS for Lotte Pia Uttrup, april 2009.

/51/ Radonmålinger som tracer.
J. B. Petersen, VIA University College 2008.

/52/ RAD7 Radon Detector user Manual.
Durridge inc. 2009.

/53/ Comnet AB Radonsanering v. Thomas Lindhe
www.radonsanering.se.

/54/ Metoder til sporing af konvektive indtrængningsveje for poreluft til indeklima.
Miljøprojekt af NIRAS, Region Midtjylland. Under udarbejdelse 2011.

/55/ Is diffusion, thermodiffusion or advection a primary mechanism of indoor radon entry?
L. Minkin, 2002.

/56/ Radon entry modelling – slab on grade.
K. Nielsen et al, 1991.

/57/ Increased Indoor Thoron Concentrations and Implication to Inhalation Dosimetry.
J. Tschiersch et al. Institute of Radiation Protection Germany, 2007.

/58/ Population Exposure to Indoor Radon and Thoron Progeny.
O. Iacob et al. Institute of Public Health Iasi, Romania, 2001.

BILAGSFORTEGNELSE:

BILAG 1: **Henfaldskæder**

BILAG 2: **Situationsplaner**
BILAG 2.1: Delundersøgelse 2, lille hus, Peder Kællers vej
BILAG 2.2: Delundersøgelse 2, stort hus, Peder Kællers vej
BILAG 2.3: Delundersøgelse 3, Frederiksbjerg Torv, Århus
BILAG 2.4: Delundersøgelse 3, Østergade, Spøttrup

BILAG 3: **Grafisk præsentation**
BILAG 3 Læsevejledning til bilag 3
BILAG 3.1: Delundersøgelse 1
BILAG 3.2: Delundersøgelse 2
BILAG 3.3: Delundersøgelse 3
BILAG 3.4: Delundersøgelse 3 – trykdata
BILAG 3.5: Temablad: variation i målepunkt

BILAG 4: **Fotos**
BILAG 4.1: Delundersøgelse 2, Peder Kællers vej
BILAG 4.2: Delundersøgelse 3, Frederiksbjerg Torv, Århus
BILAG 4.3: Delundersøgelse 3, Østergade, Spøttrup

BILAG 5: **Datablade**
BILAG 5.1: Tryklogger GMSD 2,5 MR
BILAG 5.2: Tryklogger Micatrone MF-P
BILAG 5.3: Vindmåler SwemaAir 40

BILAG 6: **Lokaliteter**

Bilag 1

Henfaldskæder

↓ Alfa henfald

↗ Beta henfald

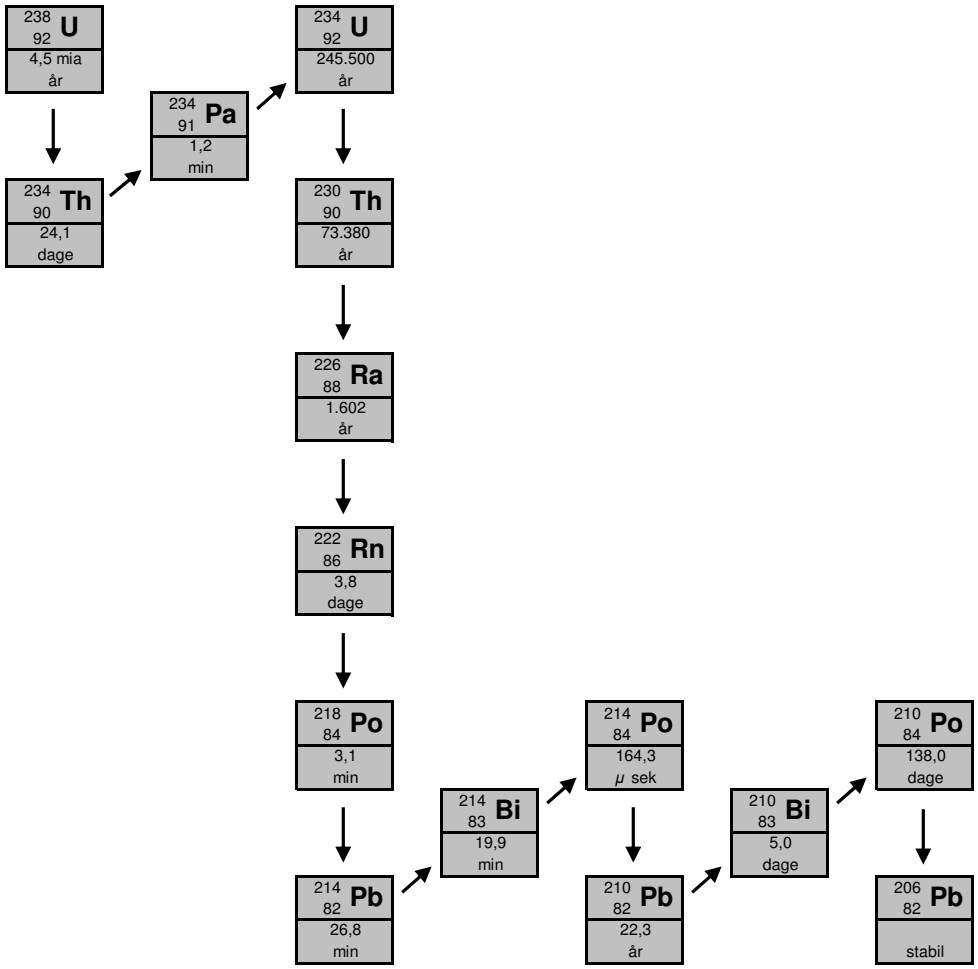
vægt nummer | 222 86 Rn | Symbol

Halverings-tid

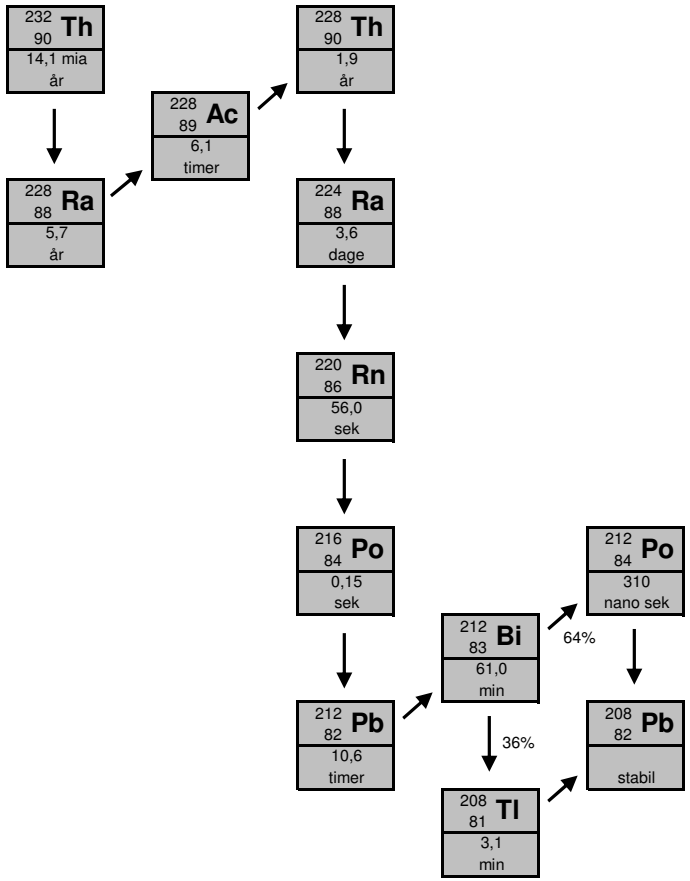
Grundstoffer:

U	Uran	Ac	Actinium	Tl	Thallium
Th	Thorium	Po	Polonium	Rn	Radon
Pa	Protactinium	Pb	Bly		
Ra	Radium	Bi	Bismut		

Radons (222Rn) henfaldskæde.



Thorons (220Rn) henfaldskæde.

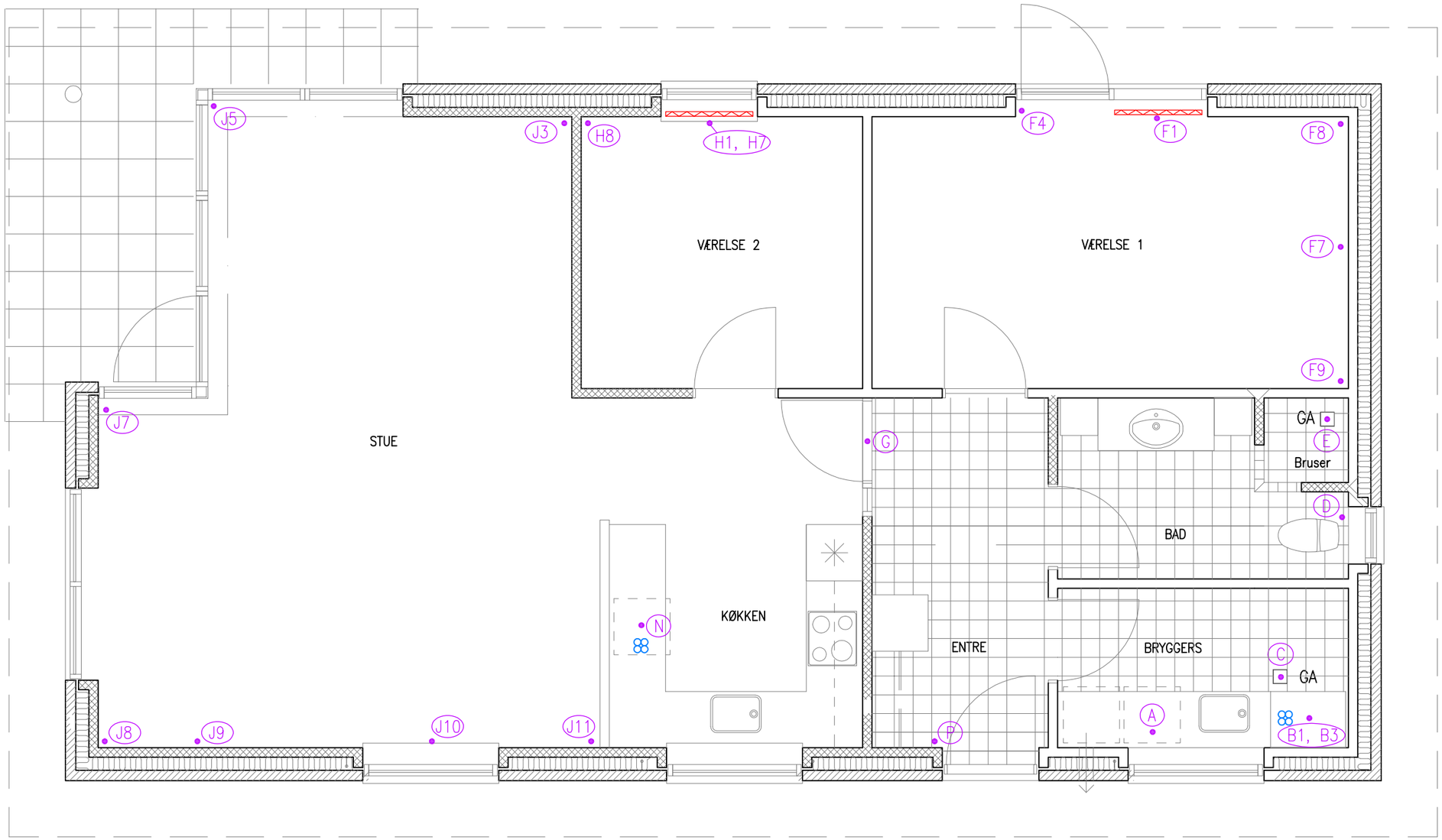


Bilag 2

Situationsplaner

Bilag 2.1

Delundersøgelse 2
Lille hus
Peder Kællers vej



Nr	Målepunkt
A	Ref
B1	Teknikskab
B2	Teknikskab hul 1
B3	Teknikskab hul 2
B4	Teknikskab afløb
C	Bryggers afløb
D	Toilet
E	Bad afløb
F1	Værelse 1 radiator
F2	Værelse 1 hjørne SV
F3	Værelse 1 hjørne SE
F4	Værelse 1 yderdør
F5	Værelse 1 ydervæg S
F6	Værelse 1 radiator under kappen
F7	Værelse 1 ydervæg N (lille hus)
F8	Værelse 1 hjørne NV (lille hus)
F9	Værelse 1 hjørne NE (lille hus)
G	Fodpanel bryggers - køkken
H1	Værelse 2 radiator
H2	Værelse 2 hjørne NE
H3	Værelse 2 hjørne SE
H4	Værelse 2 radiator under kappen
H5	Værelse 2 ydervæg E (- radiator)
H6	Værelse 2 hjørne NV (lille hus)
H7	Værelse 2 ydervæg (- radiator, lille hus)
H8	Værelse 2 hjørne SV (lille hus)
I1	Værelse 3 ydervæg
I2	Værelse 3 hjørne NE
I3	Værelse 3 hjørne NV
I4	Værelse 3 hjørne SE
J1	Stuevinduer N
J2	Stue ydervæg
J3	Stue hjørne NV
J4	Stuevinduer V
J5	Stue vindueshjørne
J6	Stue yderdør
J7	Stue hjørne S (lille hus)
J8	Stue hjørne SE (lille hus)
J9	Stue ydervæg E, 1 (lille hus)
J10	Stue ydervæg E, 2 (lille hus)
J11	Stue ydervæg E, 3 (lille hus)
N	Køkkenvask
P	Yderdør
X	Udluftning

SIGNATURER:

- J1 — Thoron målepunkt
- Rørgennemføringer
- GA — Gulvafløb
- Radiator

0 1 2m

Tegningen er baseret på affotograferet materiale og er ikke nødvendigvis målfast.

Bilag 2.1

Thoron målepunkter
Peder Kællersvej
Lille hustype (99,6 m2)

Situationsplan

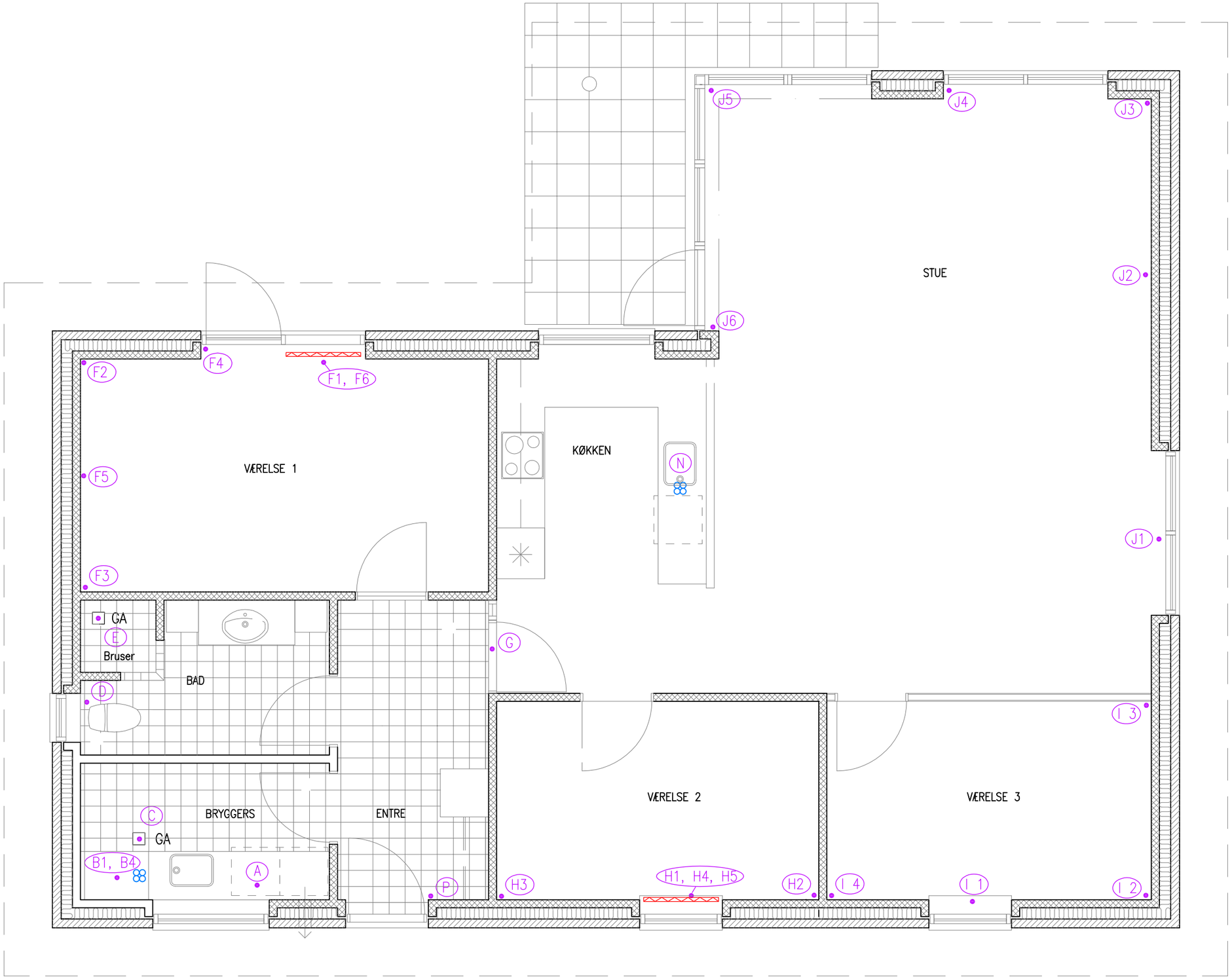
December 2010 1:50 Sag nr. 15.497.00

NIRAS

O:\SAG\15\497.00\TEGN\B2.1-151210.dwg

Bilag 2.2

Delundersøgelse 2
Stort hus
Peder Kællers vej



Nr	Målepunkt
A	Ref
B1	Teknikskab
B2	Teknikskab hul 1
B3	Teknikskab hul 2
B4	Teknikskab afløb
C	Bryggers afløb
D	Toilet
E	Bad afløb
F1	Værelse 1 radiator
F2	Værelse 1 hjørne SV
F3	Værelse 1 hjørne SE
F4	Værelse 1 yderdør
F5	Værelse 1 ydervæg S
F6	Værelse 1 radiator under kappen
F7	Værelse 1 ydervæg N (lille hus)
F8	Værelse 1 hjørne NV (lille hus)
F9	Værelse 1 hjørne NE (lille hus)
G	Fodpanel bryggers - køkken
H1	Værelse 2 radiator
H2	Værelse 2 hjørne NE
H3	Værelse 2 hjørne SE
H4	Værelse 2 radiator under kappen
H5	Værelse 2 ydervæg E (- radiator)
H6	Værelse 2 hjørne NV (lille hus)
H7	Værelse 2 ydervæg (- radiator, lille hus)
H8	Værelse 2 hjørne SV (lille hus)
I1	Værelse 3 ydervæg
I2	Værelse 3 hjørne NE
I3	Værelse 3 hjørne NV
I4	Værelse 3 hjørne SE
J1	Stuevinduer N
J2	Stue ydervæg
J3	Stue hjørne NV
J4	Stuevinduer V
J5	Stue vindueshjørne
J6	Stue yderdør
J7	Stue hjørne S (lille hus)
J8	Stue hjørne SE (lille hus)
J9	Stue ydervæg E, 1 (lille hus)
J10	Stue ydervæg E, 2 (lille hus)
J11	Stue ydervæg E, 3 (lille hus)
N	Køkkenvask
P	Yderdør
X	Udluftning

SIGNATURER:

- J1 Thoron målepunkt
- Rørgennemføringer
- GA Gulvafløb
- Radiator

0 1 2m

Tegningen er baseret på affotograferet materiale og er ikke nødvendigvis målfast.

Bilag 2.2

Delelement 2
Peder Kællersvej
Stor hustype (123,7 m2)

Situationsplan

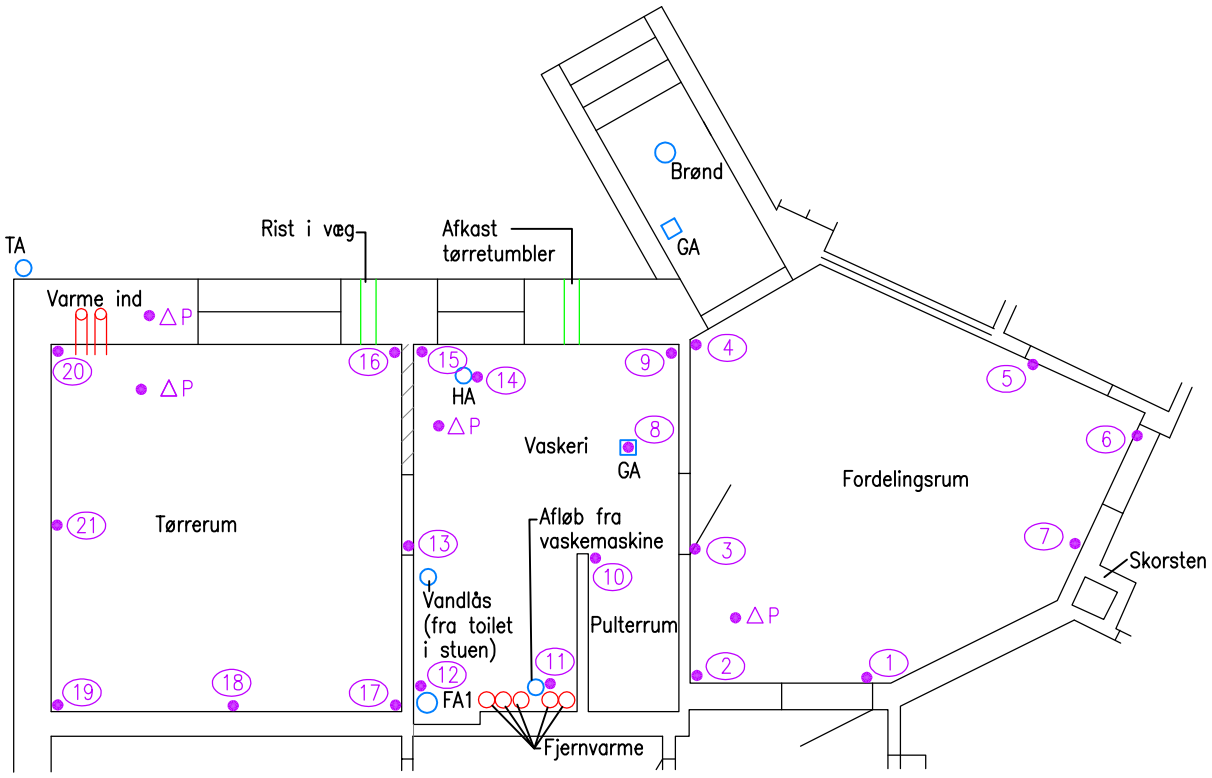
December 2010 1:50 Sag nr. 15.497.00

NIRAS

O:\SAG\15\497.00\TEGN\B2.2-151210.dwg

Bilag 2.3

Delundersøgelse 3
Frederiksbjerg Torv, Århus



SIGNATURER:

○	Afløbsrør	● (12)	Thoron målepunkt
○	Varmerør (fjernvarme)	Trykdifferens inde/under gulv:	
TA	Tagnedløb	● ΔP	Målepunkt
FA	Faldstamme		
GA	Gulvafløb		
HA	Afløb vask/håndvask		

0 1,5 3 m

Tegningen er baseret på affotograferet materiale og er ikke nødvendigvis målfast.

Bilag 2.3

Delelement 3
Frederiksbjerg Torv 8

Kælderplan

Juni 2011 1:75 Sag nr. 15.497.00

NIRAS

O:\SAG\15\497.00\TEGN\B2.3-060611.dwg

Bilag 2.4

Delundersøgelse 3
Østergade, Spøttrup

0 2 4 m

Tegningen er baseret på affotograferet materiale og er ikke nødvendigvis målfast.

SIGNATURER:

- (12) Thoron målepunkt

Trykdifferens inde/under gulv:

- ΔP Målepunkt
- Synlig revne i gulv v. målepunkt
- Radiator
- Rørgennemføring
- GA Gulvafløb

Bilag 2.4

Delelement 3
Østergade 5B, Spøttrup

Situationsplan

December 2010 1:100 Sag nr. 15.497.00

NIRAS

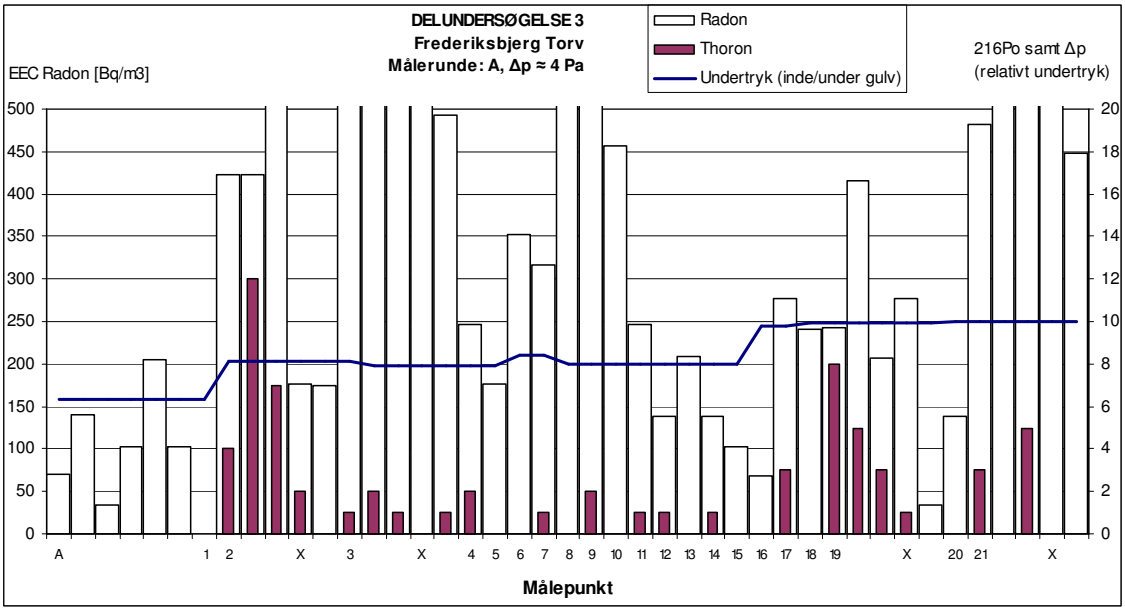
O:\SAG\15\497.00\TEGN\B2.4-221210.dwg

Bilag 3

Grafisk præsentation

Læsevejledning til Bilag 3

Herunder følger en kort læsevejledning til bilag 3.



Figur 2
Måletidspunkt 12-05-2010,
Målerunde 2 (M2),
Δp (inde/ude) ≈ 4 Pa

2	3	4
3, 9	17	2, 19, 21

Den grafiske fremstilling herover er thoronmålinger udtryk ved to måleparametre: Radon og thoron. Venstre kategoriakse udtrykker radon ved Bq/m^3, mens højre udtrykker antallet af målte henfald fra polonium isotopen ^{216}Po i måleintervallet (et udtryk for koncentrationen af thoron). Se evt. målemetode i afsnit 4. Samtlige thoronmålinger er klasseinddelt efter den i afsnit 4.4 angivne skala. Der er fire klasser i alt (1-4) med følgende angivelse:

1. Lavt thoron indhold (^{216}Po < 3)
2. Lavt thoron indhold (^{216}Po < 3) men forhøjet radonkoncentration
3. Thoron indhold (^{216}Po ≥ 3)
4. Thoron indhold (^{216}Po ≥ 3 målt ≥ 2 gange i samme punkt)

Med mindre andet er angivet er under hver fremstilling i en tabel præsenteret værdier for alle thoronmålinger i klasse 2, 3 og 4 (se tabel under figuren herover). Klasse 1 er ikke medtaget i tabellerne under de grafiske fremstillinger, idet denne klasse ikke antyder indtrængning. Under de grafiske fremstillinger er desuden angivet måletidspunkter og andre parametre, såfremt disse blev foretaget ved undersøgelsen. På figuren herover er således angivet måletidspunkt, målerunde og gennemsnittet af den relative trykdifferens mellem inde og ude på måledagen.

Relativ trykdifferens mellem inde/under gulv er i bilag 3.3 afbildet med kurve på grafen, der illustrerer størrelsen af det relative undertryk indendørs (se også figuren herover).

For Bilag 3.4 er angivet variationer i trykdifferens inde/ude. Negative værdier illustrerer et relativt indendørs undertryk og omvendt.

Bilag 3.1

Delundersøgelse 1

Målepunkter

Lokalitet: **Karolinegade, Skive**

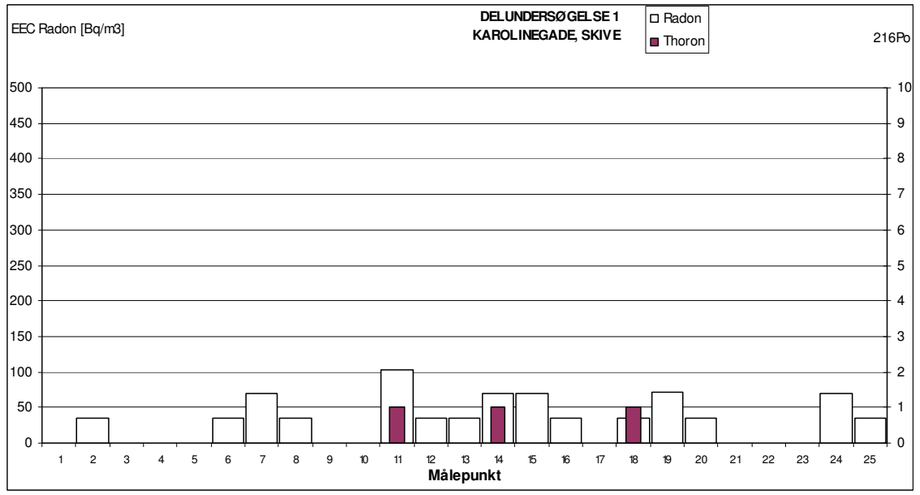
1	Badeværelse, afløb	21	Bryggers, hjørne ved ydervæg
2	Badeværelse, afløb	22	Bryggers, teknikskab, rørgennemføringer
3	Badeværelse, hjørne ved ydervæg	23	Gang/arbejdsværelse, døråbning
4	Badeværelse, vaskemaskine	24	Stue, gulv
5	Køkkenvask	25	Stue, hjørne ved ydervæg
6	Køkken/gang, hjørne ved ydervæg		
7	Gang, midt		
8	Gang, hjørne ved ydervæg		
9	Arbejdsværelse, hjørne ved ydervæg		
10	Arbejdsværelse, hjørne ved ydervæg		
11	Stue, ydervæg		
12	Stue, hjørne ved ydervæg		
13	Stue, hjørne ved ydervæg		
14	Stue, ydervæg		
15	Stue, hjørne ved ydervæg		
16	Soveværelse, hjørne ved ydervæg		
17	Soveværelse, hjørne ved ydervæg		
18	Soveværelse, ydervæg		
19	Soveværelse, hjørne ved ydervæg		
20	Bryggers, ydervæg		

Lokalitet: **Dyrehavegårdsvej, Kolding**

1		21	Ydervæg, radiator
2	Rørgennemføring, radiator	22	
3	Ydervæg	23	
4	Ydervæg	24	
5	Ydervæg	25	
6	Væg	26	
7	Væg	27	
8	Væg	28	Ydervæg, radiator
9	Væg, radiator	29	Ydervæg, radiator
10	Let væg	30	Ydervæg, radiator
11	Væg	31	
12	Ydervæg, radiator		
13	Radiator		
14	Ydervæg		
15	Ydervæg		
16	Radiator		
17	Radiator		
18	Ydervæg, radiator		
19	Ydervæg, radiator		
20	Ydervæg, radiator		

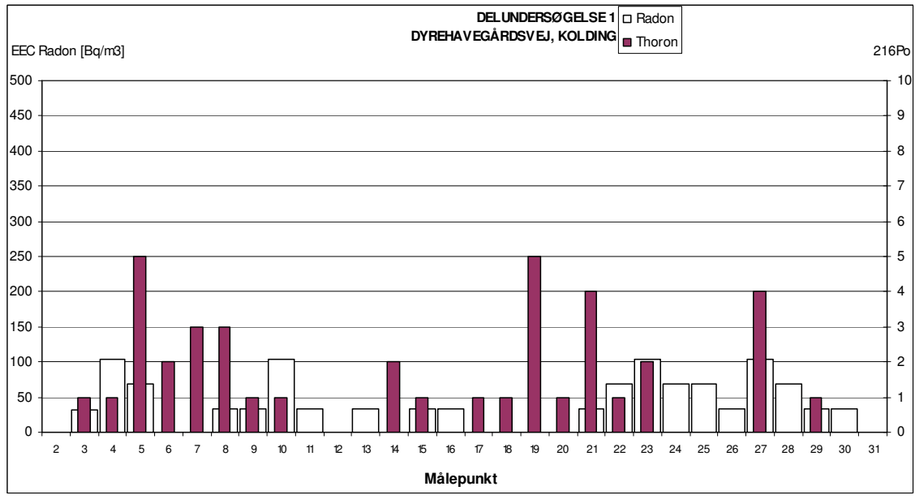
Resultater, delundersøgelse 1

Karolinegade, Skive



Figur 1
Måletidspunkt 17-03-2009,

Dyrehavegårdsvej, Kolding



Figur 2
Måletidspunkt 29-04-2009,

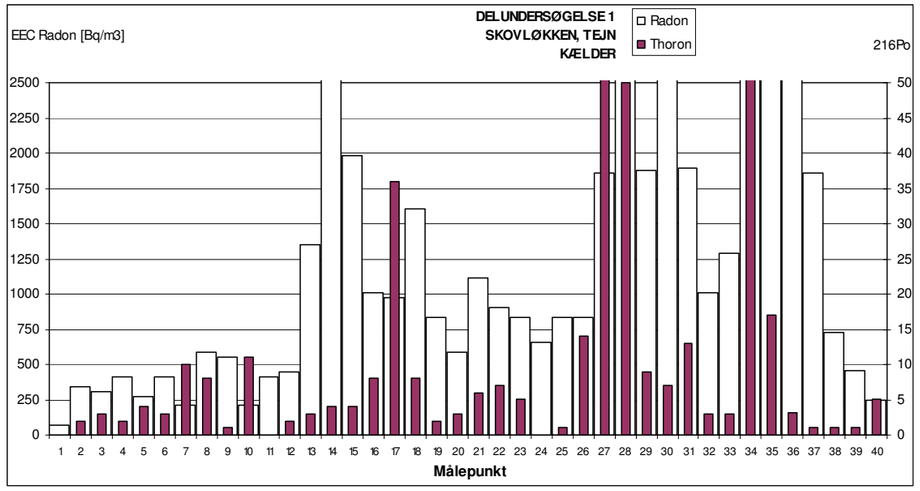
Målepunkter

Lokalitet: **Skovløkken, Tejn**

1	Opstart	51	Kælder opgang, trapperum
2	Kælder arkiv, ydervæg, dør	52	Kælder opgang, trapperum
3	Kælder arkiv, ydervæg, dør	53	Underetage, kontor, væg
4	Kælder arkiv, ydervæg, dør	54	Underetage, radiator
5	Kælder arkiv, ydervæg	55	Underetage, toilet, gulvafløb
6	Kælder arkiv, ydervæg	56	Underetage, gang, væg
7	Kælder arkiv, ydervæg	57	Underetage, kontor, væg
8	Kælder arkiv, ydervæg	58	Underetage, kontor, væg
9	Kælder arkiv, gulv	59	Underetage, kontor, væg
10	Kælder arkiv, ydervæg	60	Underetage, kontor, væg
11	Kælder arkiv, gulv	61	Underetage, kontor, væg
12	Kælder arkiv, gulv	62	Underetage, kontor, væg
13	Kælder arkiv, ydervæg	63	Underetage, kontor, væg
14	Kælder arkiv, væg, dør	64	Underetage, kontor, gulv
15	Kælder arkiv, væg	65	Underetage, kontor, væg
16	Kælder arkiv, væg	66	
17	Kælder arkiv, ydervæg revne	67	
18	Kælder arkiv, væg	68	
19	Kælder arkiv, væg	69	
20	Kælder sikringsrum, væg	70	
21	Kælder sikringsrum, væg	71	
22	Kælder sikringsrum, yderdør	72	
23	Kælder sikringsrum, yderdør	73	Underetage, arkiv, væg
24	Kælder sikringsrum, væg	74	Underetage, arkiv, væg
25	Kælder sikringsrum, gulv	75	Underetage, kontor, væg
26	Kælder opgang, adskillelse	76	Underetage, kontor, rørføring
27	Ingeniørgang, kloakbrønd	77	Underetage, kontor, væg
28	Ingeniørgang, gulv	78	Underetage, kontor, væg
29	Ingeniørgang, gulv	79	Underetage, kontor, væg
30	Ingeniørgang, gulv	80	Underetage, kontor, væg
31	Ingeniørgang, indgang	81	Underetage, kontor, væg
32	Ingeniørgang, gulv	82	Underetage, kontor, væg
33	Ingeniørgang, gulv	83	Underetage, kontor, væg
34	Ingeniørgang, gulv	84	Underetage, kontor, væg
35	Ingeniørgang, gulv	85	Underetage, kontor, væg
36	Ingeniørgang, svanehals	86	Underetage, kontor, væg
37	Kælder, opgang, gulv	87	Underetage, kontor, væg
38	Kælder, opgang, gulv	88	Underetage, kontor, væg
39	Kælder, rum, gulvafløb	89	Underetage, kontor, væg
40	Kælder, bagindgang, dør		
41	Kælder opgang, trapperum		
42	Kælder opgang, trapperum		
43	Kælder opgang, trapperum		
44	Kælder opgang, trapperum		
45	Kælder opgang, trapperum		
46	Kælder opgang, trapperum		
47	Kælder opgang, trapperum		
48	Kælder opgang, trapperum		
49	Kælder opgang, trapperum		
50	Kælder opgang, trapperum		

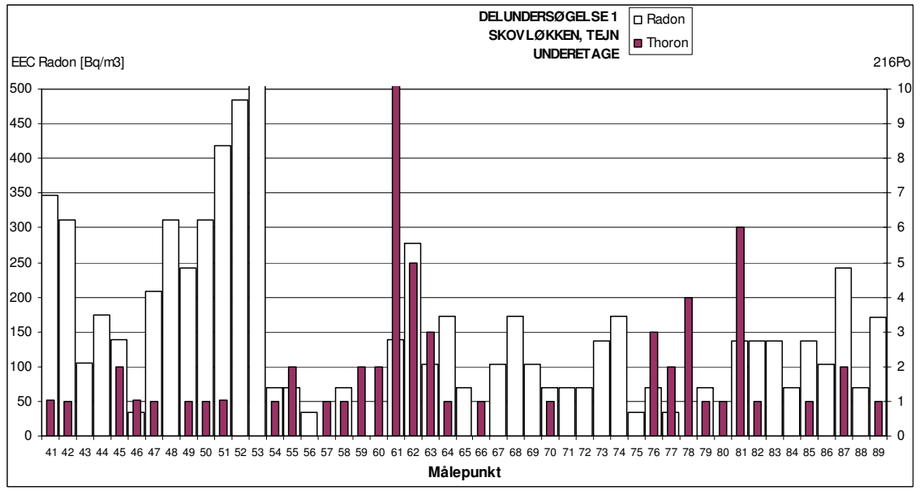
Resultater, delundersøgelse 1

Skovløkken, Tejn



Figur 3
Måletidspunkt 08-10-2009

Skovløkken, Tejn



Figur 4
Måletidspunkt 08-10-2009

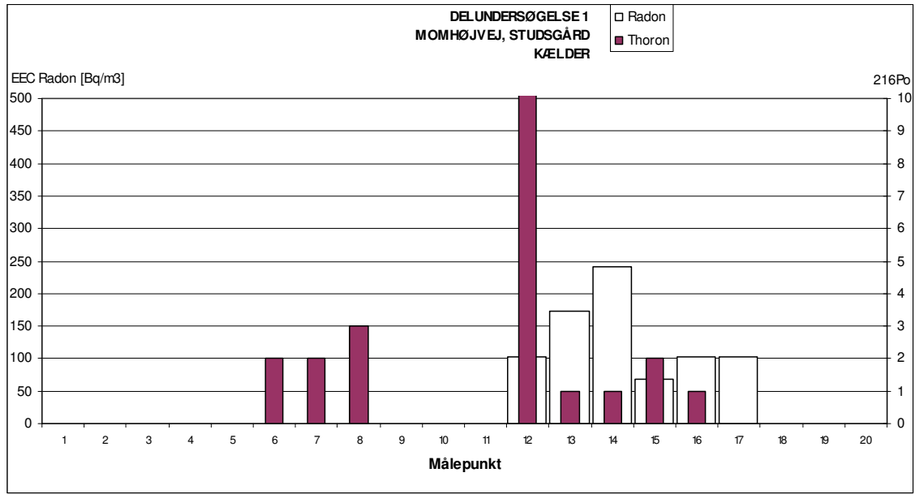
Målepunkter

Lokalitet: **Momhøjvej, Herning**

1	Kælder, toilet	21	Bryggers, gulvafløb
2	Kælder, toilet, rørføring	22	Bryggers, ydervæg
3	Kælder, toilet, rørføring	23	Bryggers, ydervæg
4	Kælder, toilet, gulvafløb	24	Bryggers, rørføring
5	Kælder, gang, rørføring	25	Stue, rum, trappeopgang
6	Kælder, gang, hul i væg	26	Stue, rum, hjørne
7	Kælder, gang, hul i væg	27	Stue, rum, radiator
8	Kælder, gang, hul i væg	28	Stue, rum, hjørne
9	Kælder, rum, gulvhjørne	29	Stue, køkken, hjørne
10	Kælder, rum, gulvhjørne	30	Stue, køkken, hjørne
11	Kælder, gang, hul i væg	31	Stue, køkken, radiator
12	Kælder, gang, hul i gulv	32	Stue, køkken, rørføring
13	Kælder, gang, gulvafløb	33	Stue, entré, radiator
14	Kælder, rum, hul i væg	34	Stue, entré, ydervæg
15	Kælder, rum, ydervæg	35	Stue, kontor, ydervæg
16	Kælder, rum, ydervæg	36	Stue, kontor, ydervæg
17	Kælder, rum, ydervæg	37	Stue, stue, radiator
18	Kælder, rum, ydervæg	38	Stue, stue, radiator
19	Kælder, rum, radiator	39	Stue, stue, ydervæg
20	Kælder, rum, gulvafløb	40	Stue, stue, ydervæg

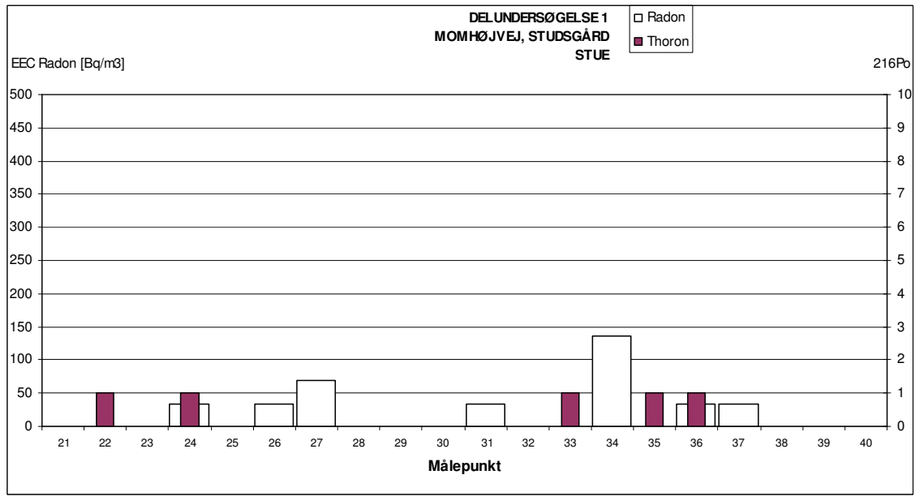
Resultater, delundersøgelse 1

Momhøjvej, Herning



Figur 5
Måletidspunkt 03-06-2009

Momhøjvej, Herning



Figur 6
Måletidspunkt 03-06-2009

Målepunkter

Lokalitet: **Lindevej, Fredericia**

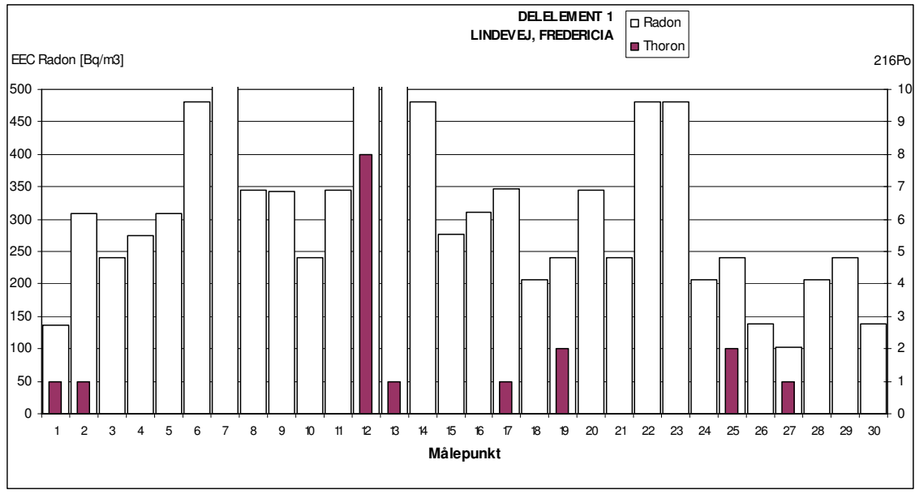
1	Bryggers rørgennemføring	21	Køkken radiator
2	Bryggers rørgennemføring	22	Køkken skab, rørføringer
3	Bryggers rørgennemføring	23	Gang radiator
4	Bryggers radiator	24	Stue ydervæg
5	Bryggers hjørne ydervæg	25	Stue radiator
6	Bryggers stikkontakt	26	Stue ydervæg bag sofe
7	Badeværelse afløb	27	Stue hjørne ved radiator
8	Badeværelse afløb i bad	28	Stue vindueskarm, radiator
9	Badeværelse toilet ydervæg	29	Stue hjørne ved dør, radiator
10	Badeværelse badekar afløb	30	Stue dørkarm
11	Badeværelse blandingsbatteri		
12	Soveværelse skab, hul i gulv		
13	Soveværelse radiator		
14	Soveværelse ydervæg		
15	Kontor radiator		
16	Kontor ydervæg hjørne		
17	Børneværelse radiator		
18	Børneværelse vindueskarm		
19	Børneværelse under skab		
20	Køkken skab u. køkkenvask		

Lokalitet: **Lindevej, Horsens**

1	Bryggers, gulvafløb	21	Rum, ydervæg
2	Bryggers, ydervæg	22	Rum, ydervæg
3	Bryggers, ydervæg	23	Rum, ydervæg
4	Køkken, revne i gulv		
5	Køkken, ydervæg		
6	Stue, revne i gulv		
7	Stue, revne i gulv		
8	Stue, gulv		
9	Stue, ydervæg		
10	Stue, konvektorgrav		
11	Stue, konvektorgrav		
12	Stue, konvektorgrav		
13	Stue, ydervæg		
14	Stue, ydervæg		
15	Stue, ydervæg		
16	Stue, revne i gulv		
17	Toilet, gulvafløb		
18	Rum, ydervæg		
19	Rum, ydervæg		
20	Rum, ydervæg		

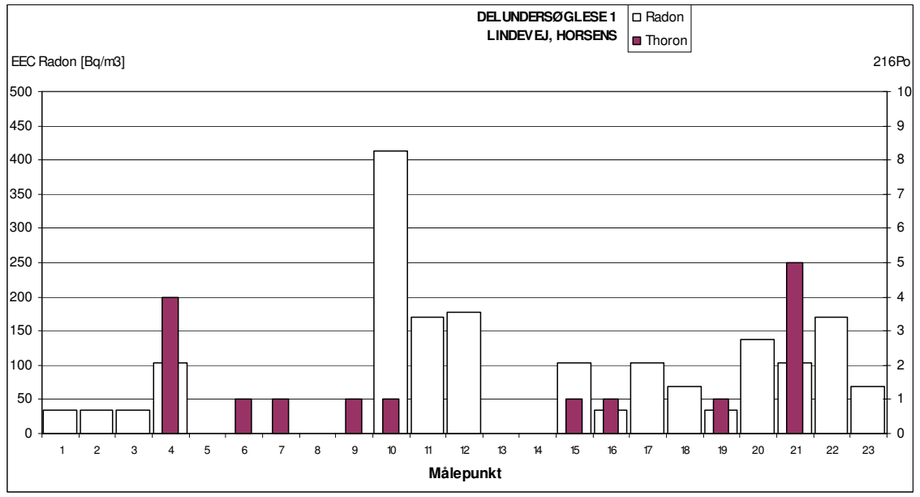
Resultater, delundersøgelse 1

Lindevej, Fredericia



Figur 7
Måletidspunkt 23-03-2009

Lindevej, Horsens



Figur 8
Måletidspunkt 15-03-2009

Målepunkter

Lokalitet: **Peder Kællers vej (11 lokaliteter)**

A	Reference	H5	Værelse 2 ydervæg E (- radiator)
B1	Teknikskab	H6	Værelse 2 hjørne NV (lille hus)
B2	Teknikskab hul 1	H7	Værelse 2 ydervæg (- radiator, lille hus)
B3	Teknikskab hul 2	H8	Værelse 2 hjørne SV (lille hus)
B4	Teknikskab afløb	I1	Værelse 3 ydervæg
C	Bryggers afløb	I2	Værelse 3 hjørne NE
D	Toilet	I3	Værelse 3 hjørne NV
E	Bad afløb	I4	Værelse 3 hjørne SE
F1	Værelse 1 radiator	J1	Stuevinduer N
F2	Værelse 1 hjørne SV	J2	Stue ydervæg
F3	Værelse 1 hjørne SE	J3	Stue hjørne NV
F4	Værelse 1 yderdør	J4	Stuevinduer V
F5	Værelse 1 ydervæg S	J5	Stue vindueshjørne
F6	Værelse 1 radiator under kappen	J6	Stue yderdør
F7	Værelse 1 ydervæg N (lille hus)	J7	Stue hjørne S (lille hus)
F8	Værelse 1 hjørne NV (lille hus)	J8	Stue hjørne SE (lille hus)
F9	Værelse 1 hjørne NE (lille hus)	J9	Stue ydervæg E, 1 (lille hus)
G	Fodpanel bryggers - køkken	J10	Stue ydervæg E, 2 (lille hus)
H1	Værelse 2 radiator	J11	Stue ydervæg E, 3 (lille hus)
H2	Værelse 2 hjørne NE	N	Køkkenvask
H3	Værelse 2 hjørne SE	P	Yderdør
H4	Værelse 2 radiator under kappen	X	Udluftning af udstyr

Ovenstående målepunkter og beskrivelse er gældende for samtlige undersøgelser på Peder Kællers vej. Der er foretaget målinger i 11 boliger på Peder Kællers vej i delundersøgelse 1.

Målingerne i de 11 boliger er, ligesom samtlige undersøgelser i delundersøgelse 1, foretaget for at udvikle en målemetode. Målingerne følger derfor ikke målemetoden omtalt i afsnit 4, men der er i disse 11 målinger på Peder Kællers vej inkluderet følgende tiltag; (A) referencemåling forinden start af målerunde, og (B) udluftning af udstyr efter måling af høj koncentration. Målingerne er foretaget med henblik på opfølgende måling, hvorfor målepunkterne er ens for samtlige boliger og følger skemaet ovenfor. Opfølgende målinger er foretaget i delundersøgelse 2, hvor 7 af de 11 boliger er inkluderet, se bilag 3.5.

Samtidig med thoronmålingerne er for hver bolig, for så vidt muligt, inkluderet målinger af inde - og udetemperaturen samt det atmosfæriske tryk. Målepunkterne er afbildet på situationsplaner i bilag 2.1 og 2.2, og endvidere grafisk afbildet herunder. Målingerne er vurderet og vægtet efter den i afsnit 4.4 givne skala (klasse 2-4 angivet), vist herunder.

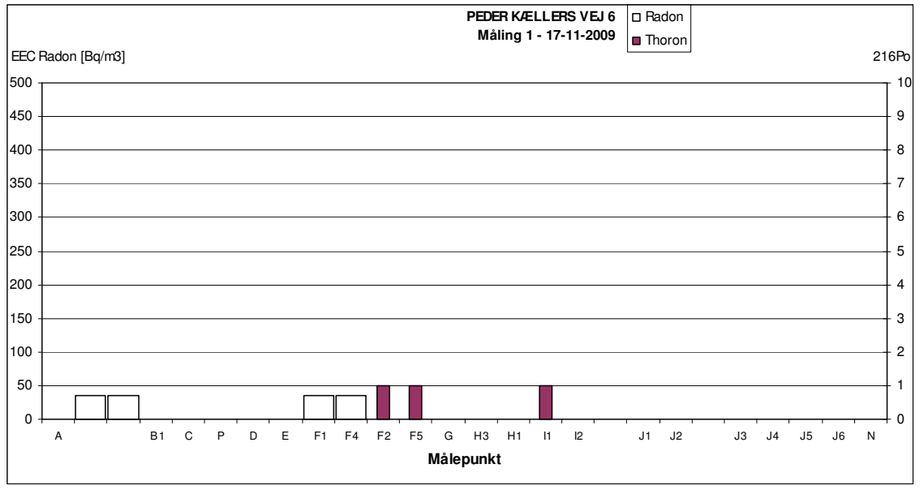
Klasser:

1. Lavt thoron indhold ($^{216}Po < 3$)
2. Lavt thoron indhold ($^{216}Po < 3$) men forhøjet radonkoncentration
3. Thoron indhold ($^{216}Po \geq 3$)
4. Thoron indhold ($^{216}Po \geq 3$ målt ≥ 2 gange i samme punkt)

Klasse 1 er ikke medtaget i tabellerne under de grafiske fremstillinger.

Resultater, delundersøgelse 1

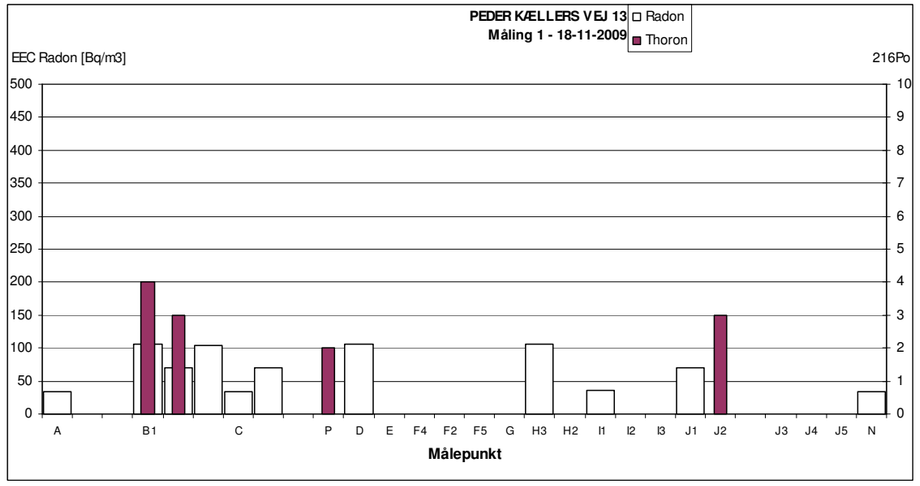
Peder Kællers vej 6, Horsens



Figur 9
Måletidspunkt 17-11-2009,
Temperatur ude: 9 °C, inde: 22 °C

2	3	4

Peder Kællers vej 13, Horsens

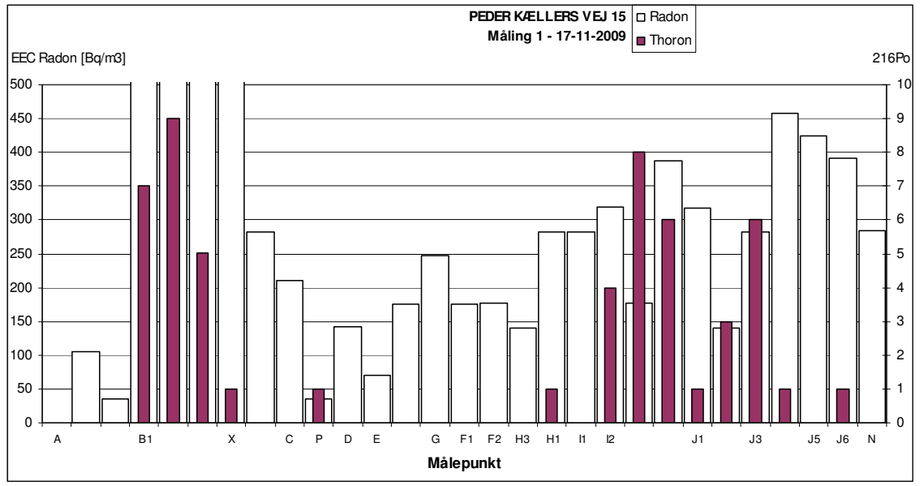


Figur 10
Måletidspunkt 18-11-2009,
Temperatur ude: 7-9 °C, inde: 20 °C

2	3	4
	J2	B1

Resultater, delundersøgelse 1

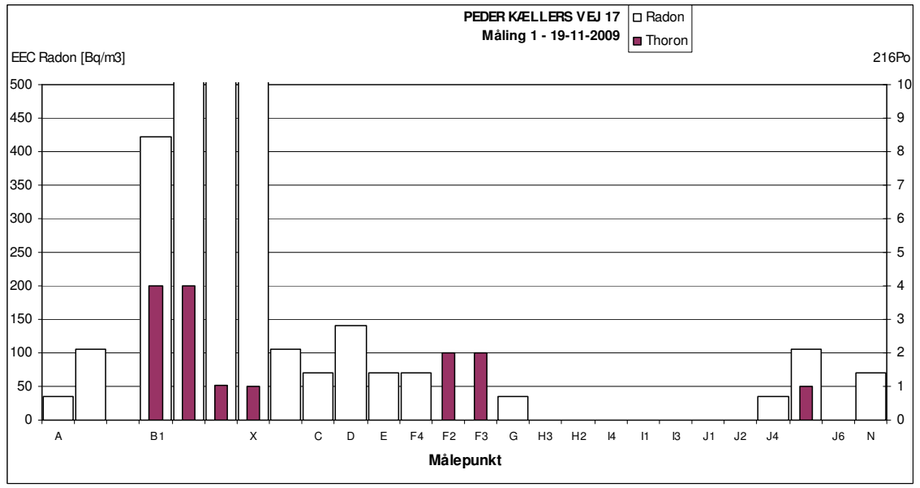
Peder Kællers vej 15, Horsens



Figur 11
Måletidspunkt 17-11-2009,
Temperatur ude: 8 °C, inde: 20 °C

2	3	4
J6	J1, J3	B1, I2

Peder Kællers vej 17, Horsens

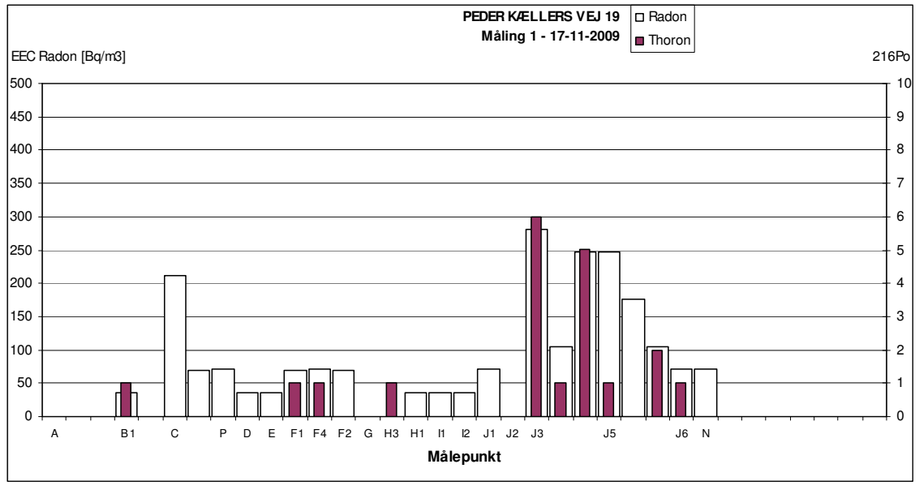


Figur 12
Måletidspunkt 19-11-2009,
Temperatur ude: 8-9 °C, inde: 20-22 °C

2	3	4
		B1

Resultater, delundersøgelse 1

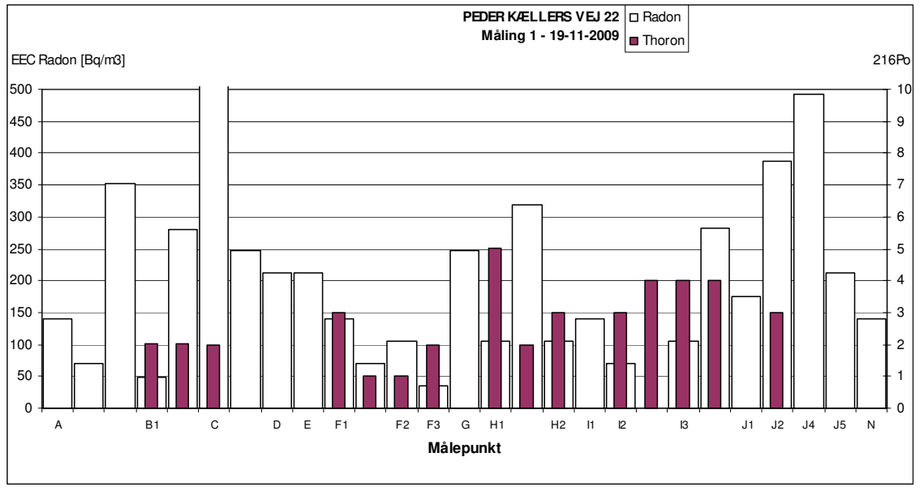
Peder Kællers vej 19, Horsens



Figur 13
Måletidspunkt 17-11-2009,
Temperatur ude: 10 °C, inde: 20 °C

2	3	4
		J3

Peder Kællers vej 22, Horsens

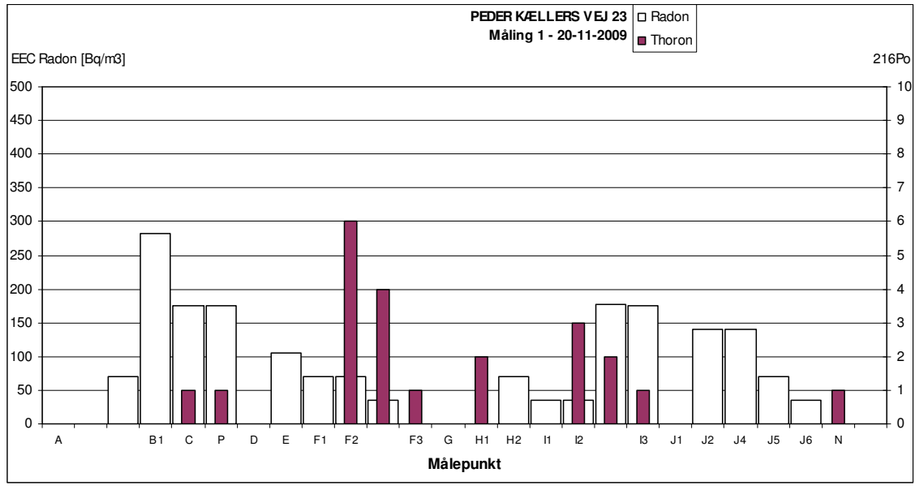


Figur 14
Måletidspunkt 19-11-2009,
Temperatur ude: 7-8 °C, inde: 20-22 °C

2	3	4
C	F1, H1, H2, J2	I2, I3

Resultater, delundersøgelse 1

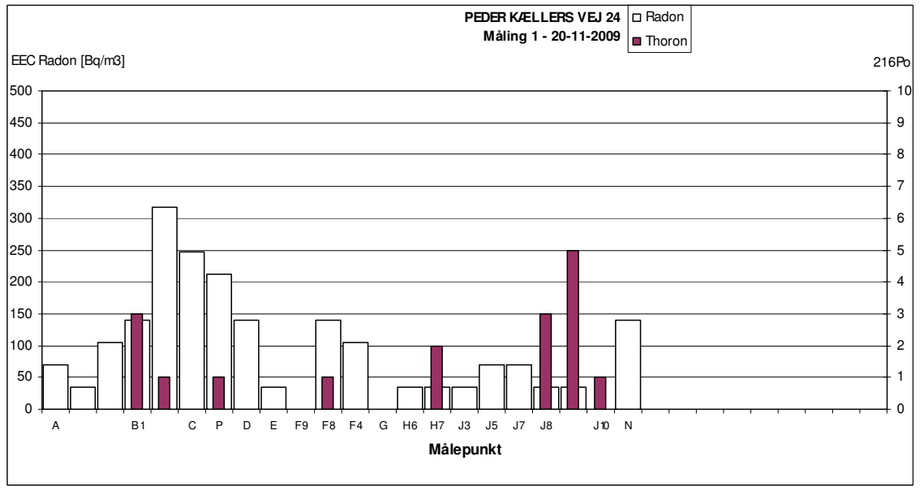
Peder Kællers vej 23, Horsens



Figur 13
Måletidspunkt 20-11-2009,
Temperatur ude: 10-12 °C, inde: 20-22 °C

2	3	4
	I2	F2

Peder Kællers vej 24, Horsens

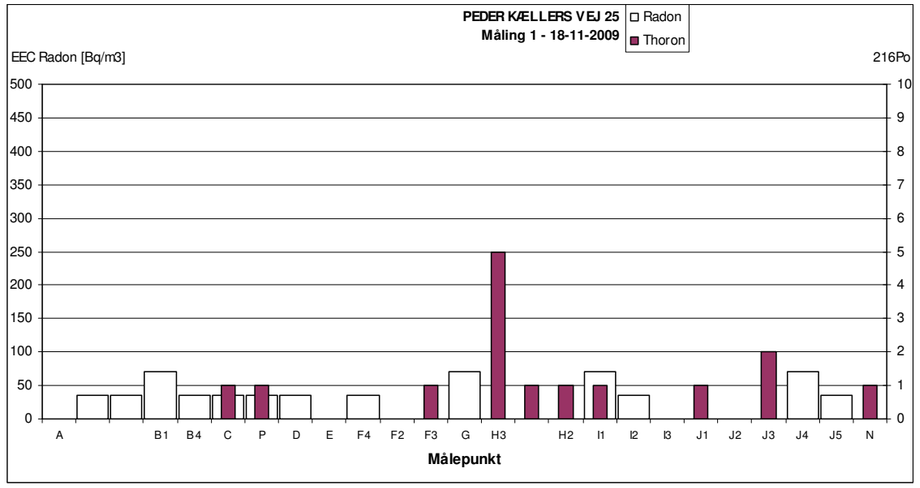


Figur 14
Måletidspunkt 20-11-2009,
Temperatur ude: 6-8 °C, inde: 20-22 °C

2	3	4
	B1	J8

Resultater, delundersøgelse 1

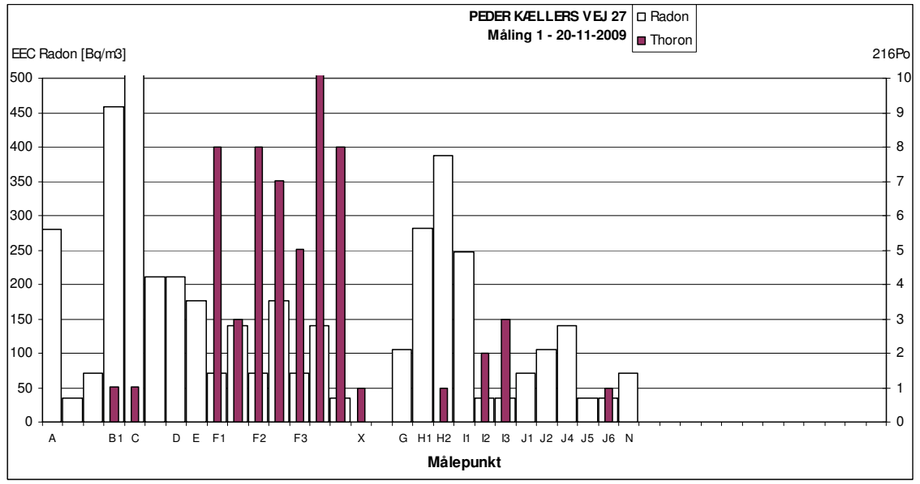
Peder Kællers vej 25, Horsens



Figur 13
Måletidspunkt 18-11-2009,
Temperatur ude: 9 °C, inde: 16-20 °C,
Atmosfærisk tryk: 982 hPa

2	3	4
	H3	

Peder Kællers vej 27, Horsens

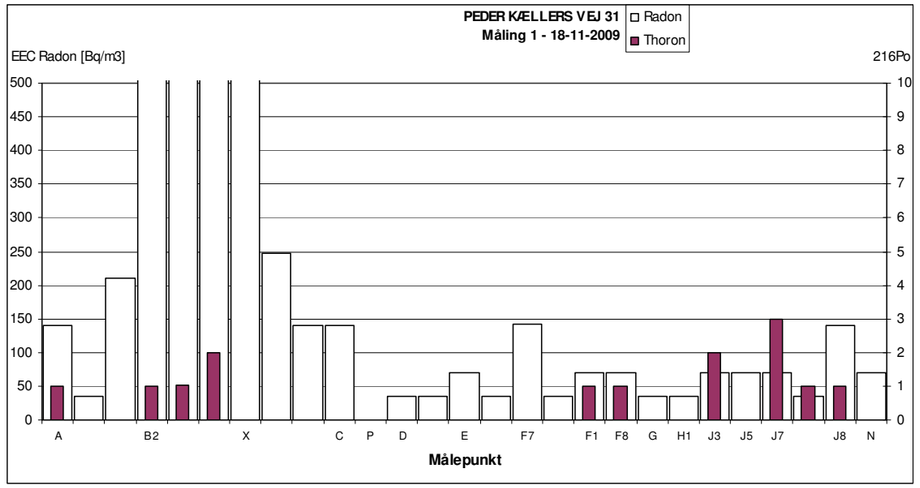


Figur 14
Måletidspunkt 19-11-2009,
Temperatur ude: 7-9 °C, inde: 20-22 °C

2	3	4
B1, C, H2	I3	F1, F2, F3

Resultater, delundersøgelse 1

Peder Kællers vej 31, Horsens



Figur 13
Måletidspunkt 18-11-2009,
Temperatur ude: 8-9 °C, inde: 20 °C,
Atmosfærisk tryk: 980 hPa

2	3	4
B2	J7	

Bilag 3.2

Delundersøgelse 2

Målepunkter

Lokalitet: **Peder Kællers vej (9 lokaliteter)**

A	Reference	H5	Værelse 2 ydervæg E (- radiator)
B1	Teknikskab	H6	Værelse 2 hjørne NV (lille hus)
B2	Teknikskab hul 1	H7	Værelse 2 ydervæg (- radiator, lille hus)
B3	Teknikskab hul 2	H8	Værelse 2 hjørne SV (lille hus)
B4	Teknikskab afløb	I1	Værelse 3 ydervæg
C	Bryggers afløb	I2	Værelse 3 hjørne NE
D	Toilet	I3	Værelse 3 hjørne NV
E	Bad afløb	I4	Værelse 3 hjørne SE
F1	Værelse 1 radiator	J1	Stuevinduer N
F2	Værelse 1 hjørne SV	J2	Stue ydervæg
F3	Værelse 1 hjørne SE	J3	Stue hjørne NV
F4	Værelse 1 yderdør	J4	Stuevinduer V
F5	Værelse 1 ydervæg S	J5	Stue vindueshjørne
F6	Værelse 1 radiator under kappen	J6	Stue yderdør
F7	Værelse 1 ydervæg N (lille hus)	J7	Stue hjørne S (lille hus)
F8	Værelse 1 hjørne NV (lille hus)	J8	Stue hjørne SE (lille hus)
F9	Værelse 1 hjørne NE (lille hus)	J9	Stue ydervæg E, 1 (lille hus)
G	Fodpanel bryggers - køkken	J10	Stue ydervæg E, 2 (lille hus)
H1	Værelse 2 radiator	J11	Stue ydervæg E, 3 (lille hus)
H2	Værelse 2 hjørne NE	N	Køkkenvask
H3	Værelse 2 hjørne SE	P	Yderdør
H4	Værelse 2 radiator under kappen	X	Udluftning af udstyr

Ovenstående målepunkter og beskrivelse er gældende for samtlige undersøgelser på Peder Kællers vej. Der er foretaget målinger i 9 boliger på Peder Kællers vej i delundersøgelse 2.

Målingerne i de 9 boliger er foretaget efter målemetoden omtalt i afsnit 4. Målingerne er foretaget som opfølgende målinger af de i delundersøgelse 1 udførte målinger på samme adresser, hvorfor målepunkterne er ens for samtlige boliger og følger skemaet ovenfor. 7 af de 9 boliger er gengangere fra delundersøgelse 1, se bilag 3.5.

Samtidig med thoronmålingerne er for hver bolig, for så vidt muligt, inkluderet målinger af inde - og udetemperaturen samt det atmosfæriske tryk. Målepunkterne er afbildet på situationsplaner i bilag 2.1 og 2.2, og endvidere grafisk afbildet herunder. Målingerne er vurderet og vægtet efter den i afsnit 4.4 givne skala (klasse 2-4 angivet), vist herunder.

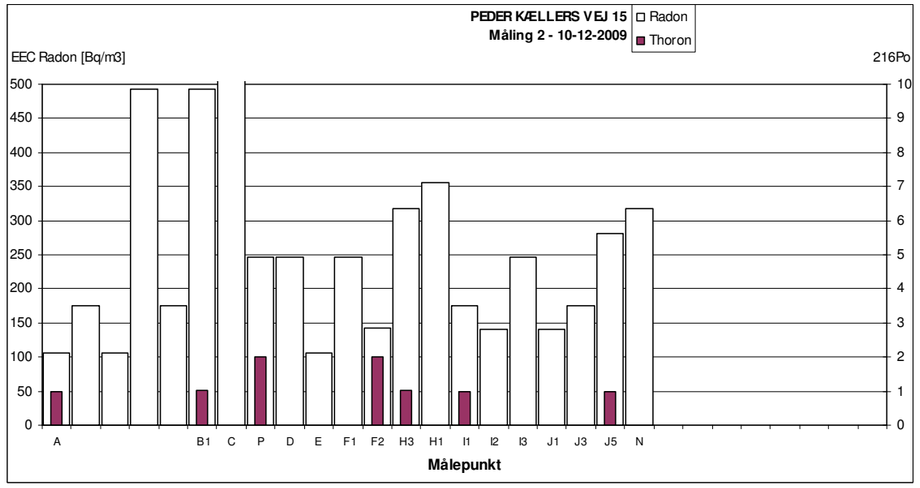
Klasser:

1. Lavt thoron indhold ($^{216}Po < 3$)
2. Lavt thoron indhold ($^{216}Po < 3$) men forhøjet radonkoncentration
3. Thoron indhold ($^{216}Po \geq 3$)
4. Thoron indhold ($^{216}Po \geq 3$ målt ≥ 2 gange i samme punkt)

Klasse 1 er ikke medtaget i tabellerne under de grafiske fremstillinger.

Resultater, delundersøgelse 2

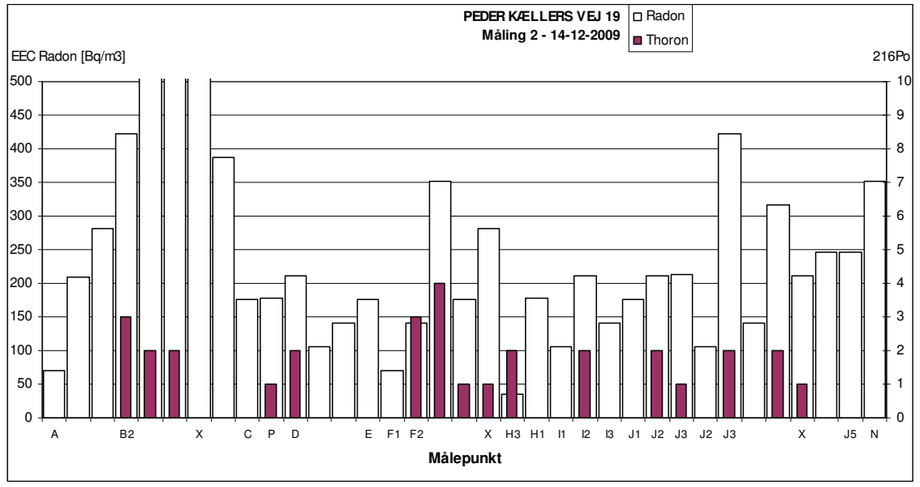
Peder Kællers vej 15, Horsens



Figur 1
Måletidspunkt 10-12-2009,
Temperatur ude: 6 °C, inde: 21 °C,
Atmosfærisk tryk: 1015 hPa

2	3	4
B1		

Peder Kællers vej 19, Horsens

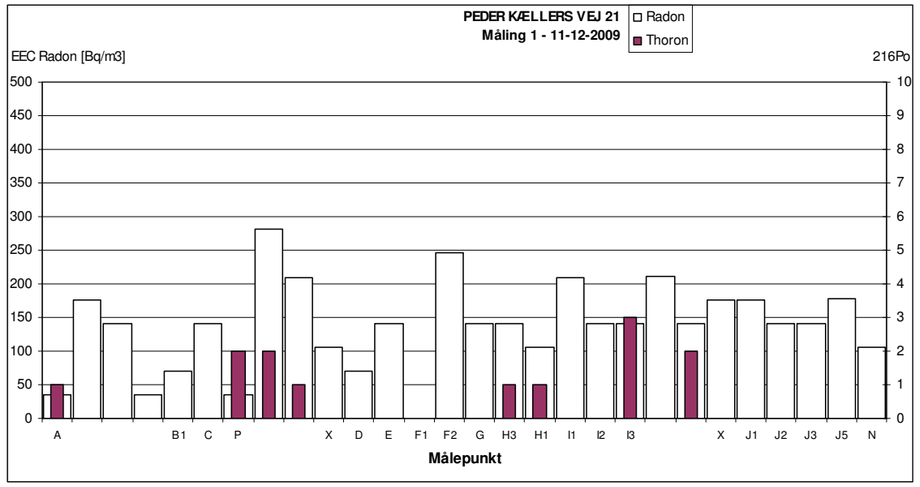


Figur 2
Måletidspunkt 14-12-2009,
Temperatur ude: -2 °C, inde: 16-20 °C
Atmosfærisk tryk: 1015 hPa

2	3	4
J3	B2	F2

Resultater, delundersøgelse 2

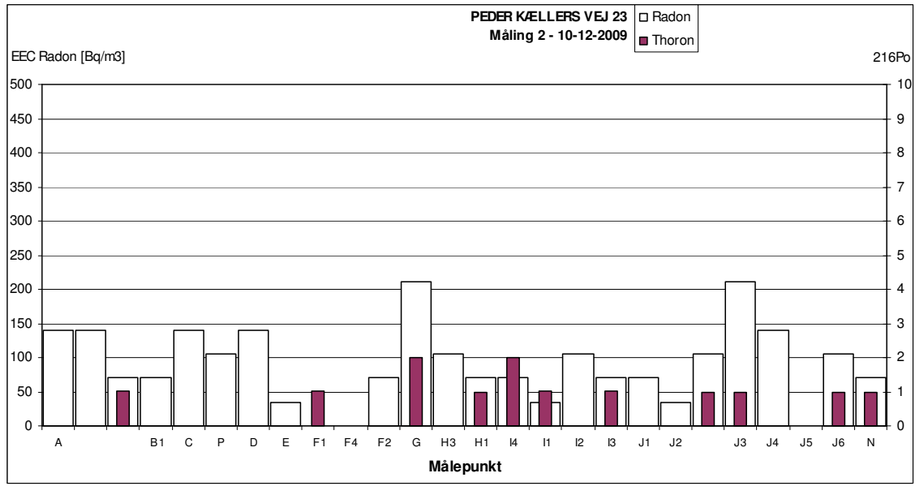
Peder Kællers vej 21, Horsens



Figur 3
Måletidspunkt 11-12-2009,
Temperatur ude: 5 °C, inde: 22 °C

2	3	4
P	I3	

Peder Kællers vej 23, Horsens

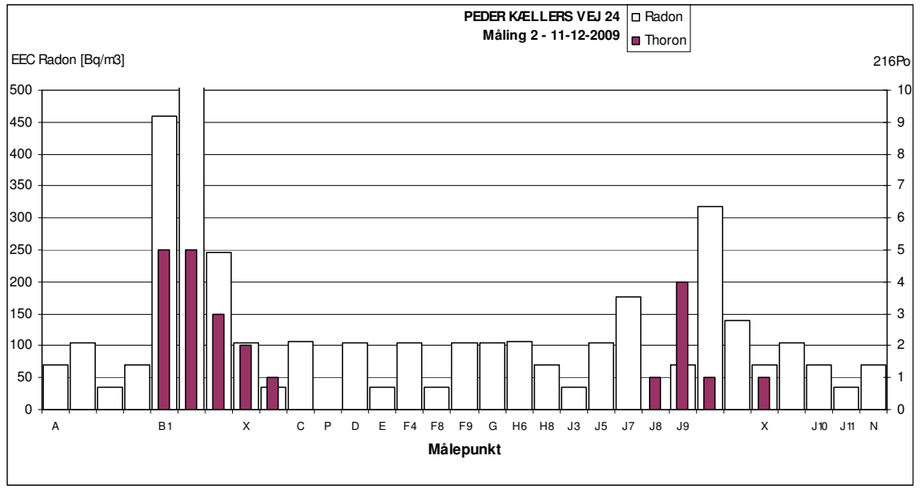


Figur 4
Måletidspunkt 10-12-2009,
Temperatur ude: 6 °C, inde: 22 °C,
Atmosfærisk tryk: 1012 hPa

2	3	4

Resultater, delundersøgelse 2

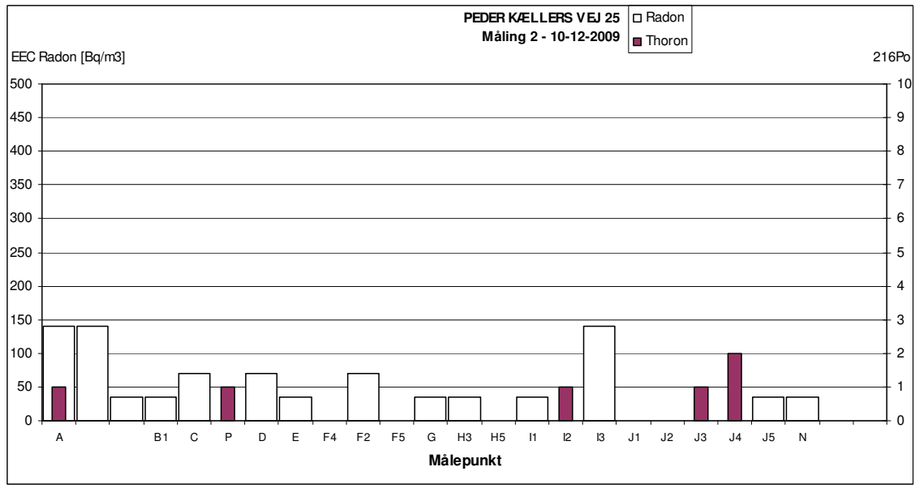
Peder Kællers vej 24, Horsens



Figur 5
Måletidspunkt 11-12-2009,
Temperatur ude: 6 °C, inde: 21 °C

2	3	4
	J9	B1

Peder Kællers vej 25, Horsens

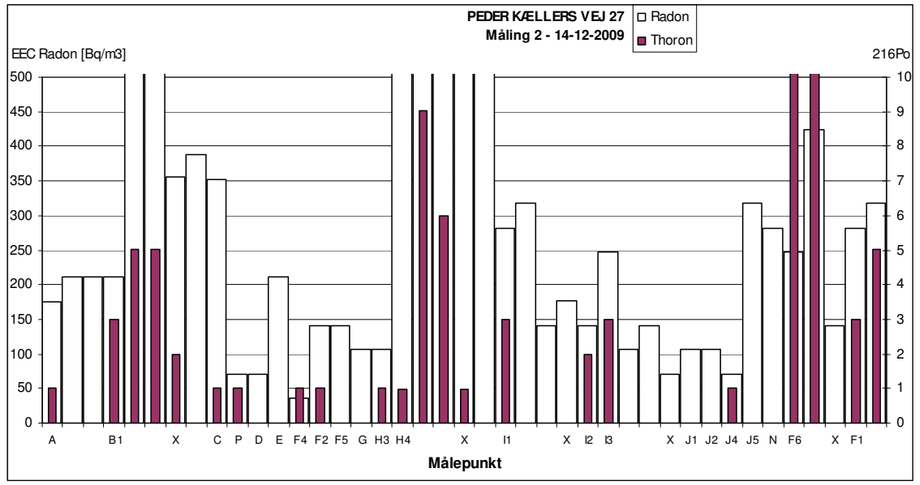


Figur 6
Måletidspunkt 10-12-2009,
Temperatur ude: 6 °C, inde: 19-21 °C,
Atmosfærisk tryk: 1015 hPa

2	3	4

Resultater, delundersøgelse 2

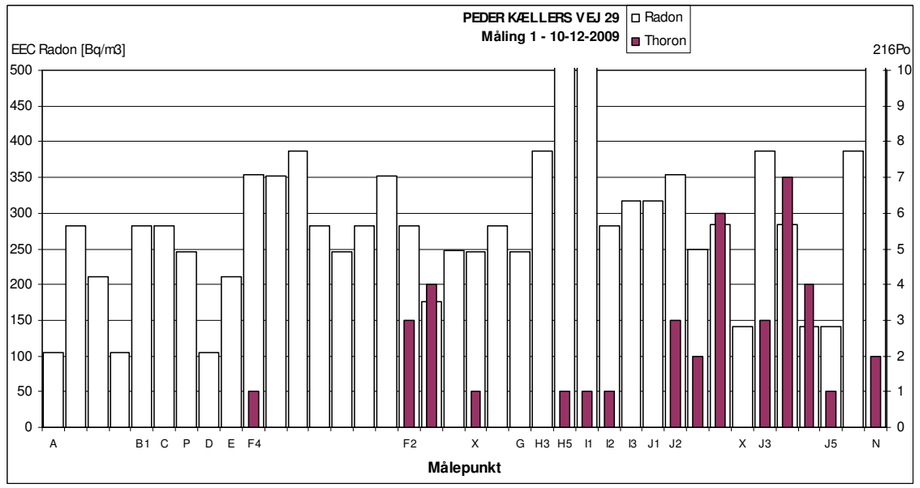
Peder Kællers vej 27, Horsens



Figur 7
Måletidspunkt 14-12-2009,
Temperatur ude: -2 °C, inde: 21 °C,
Atmosfærisk tryk: 1015 hPa

2	3	4
C	I1, I3	B1, H4, F1, F6

Peder Kællers vej 29, Horsens

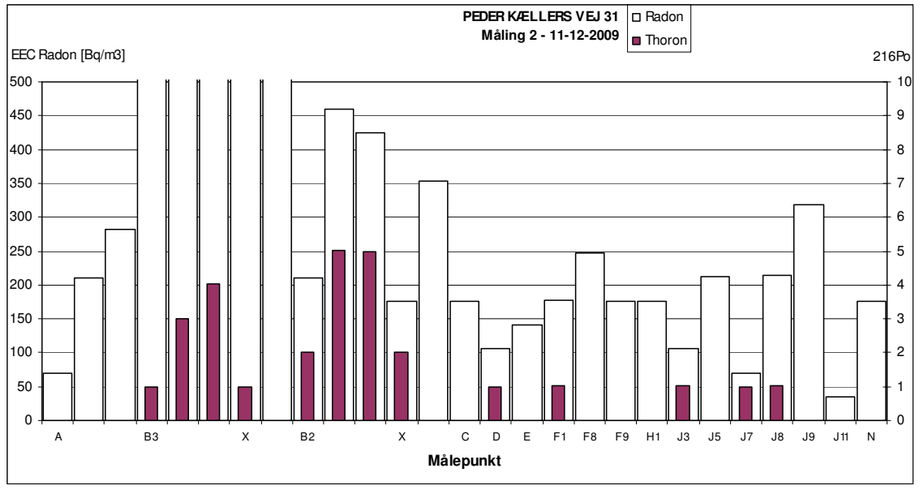


Figur 8
Måletidspunkt 10-12-2009,
Temperatur ude: 5 °C, inde: 18-22 °C,
Atmosfærisk tryk: 1012 hPa

2	3	4
H5, I1, J5, N		F2, J2, J3

Resultater, delundersøgelse 2

Peder Kællers vej 31, Horsens



Figur 9
Måletidspunkt 11-12-2009,
Temperatur ude: 6 °C, inde: 22 °C,

2	3	4
		B2, B3

Bilag 3.3

Delundersøgelse 3

Målepunkter

Lokalitet: **Frederiksbjerg Torv, Århus**

A	Reference	11	Vaskerum, rørføringer ved vaskemaskiner
X	Udluftning af udstyr	12	Vaskerum, rørføringer
1	Fordelingsrum, dørtrin, udgang	13	Vaskerum, dørtrin til tørrerum
2	Fordelingsrum, væg, hjørne	14	Vaskerum, rørføring fra vask
3	Fordelingsrum, dørtrin til vaskerum	15	Vaskerum, ydervæg, hjørne
4	Fordelingsrum, ydervæg, hjørne	16	Tørrerum, ydervæg, hjørne
5	Fordelingsrum, dørtrin til pulterrum	17	Tørrerum, væg, hjørne
6	Fordelingsrum, dørtrin til depotrum	18	Tørrerum, væg
7	Fordelingsrum, væg	19	Tørrerum, væg, hjørne
8	Vaskerum, gulvafløb	20	Tørrerum, ydervæg, hjørne
9	Vaskerum, ydervæg, hjørne	21	Tørrerum, væg
10	Vaskerum, gulv		

Ovenstående målepunkter og beskrivelse er gældende for undersøgelserne på Frederiksbjerg Torv i Århus, hvor der er foretaget udvidede thoronundersøgelser i forbindelse med delundersøgelse 3. Målingerne er foretaget efter målemetoden omtalt i afsnit 4, og programmet for delundersøgelse 3 er forklaret i afsnit 5.1.

Samtidig med thoronmålingerne er inkluderet målinger af trykdifferensen på det pågældende måletidspunkt. Trykdifferensen er øverst på figur 1 angivet som Δp (inde/under gulv) hvilket er den gennemsnitlige trykdifferens på måledagen. Den direkte målte Δp (inde/under gulv) på måletidspunktet for de individuelle målepunkter er angivet som kurve på figuren. Øverst på figur 2 og 3 er angivet Δp (inde/ude) målt med blowerdoor, hvor Δp (inde/under gulv) på måletidspunktet igen er angivet som kurve på figurerne.

Trykdifferens Δp er angivet som positive tal, men beskriver størrelsen af det relative undertryk i indeklimaet i forhold til ude eller under gulv.

Målepunkterne er afbildet på situationsplanen i bilag 2.3. Målingerne er vurderet og vægtet efter den i afsnit 4.4 givne skala (klasse 2-4 angivet), vist herunder.

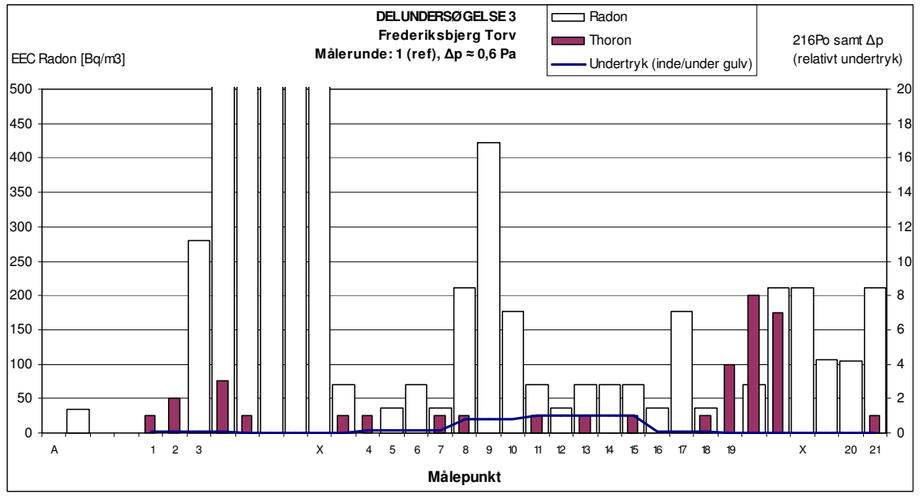
Klasser:

1. Lavt thoron indhold (^{216}Po < 3)
2. Lavt thoron indhold (^{216}Po < 3) men forhøjet radonkoncentration
3. Thoron indhold (^{216}Po ≥ 3)
4. Thoron indhold (^{216}Po ≥ 3 målt ≥ 2 gange i samme punkt)

Klasse 1 er ikke medtaget i tabellerne under de grafiske fremstillinger.

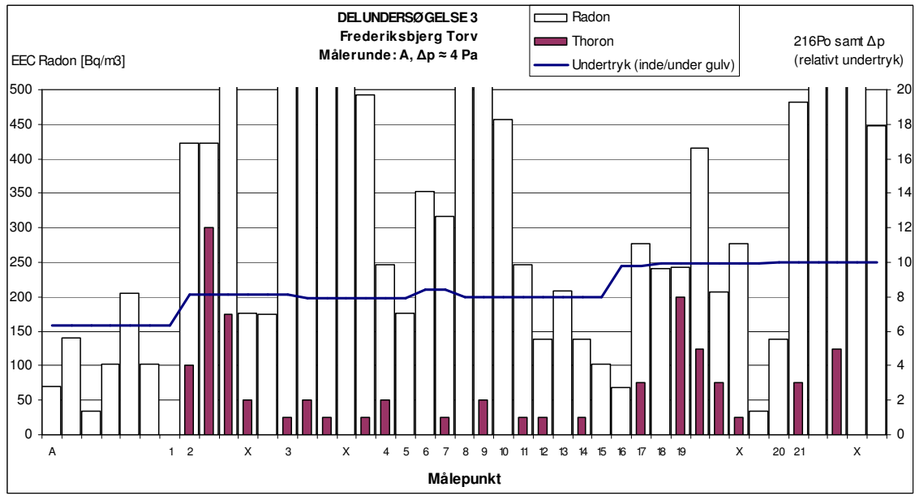
Resultater, delundersøgelse 3

Frederiksbjerg Torv, Århus



Figur 1
Måletidspunkt 29-04-2010,
Målerunde 1 (M1),
Δp (inde/under gulv) ≈ 0,6 Pa

2	3	4
3, 8, 21		19



Figur 2
Måletidspunkt 12-05-2010,
Målerunde 2 (M2),
Δp (inde/ude) ≈ 4 Pa

2	3	4
3, 9	17	2, 19, 21

Lokalitet: **Frederiksbjerg Torv, Århus**

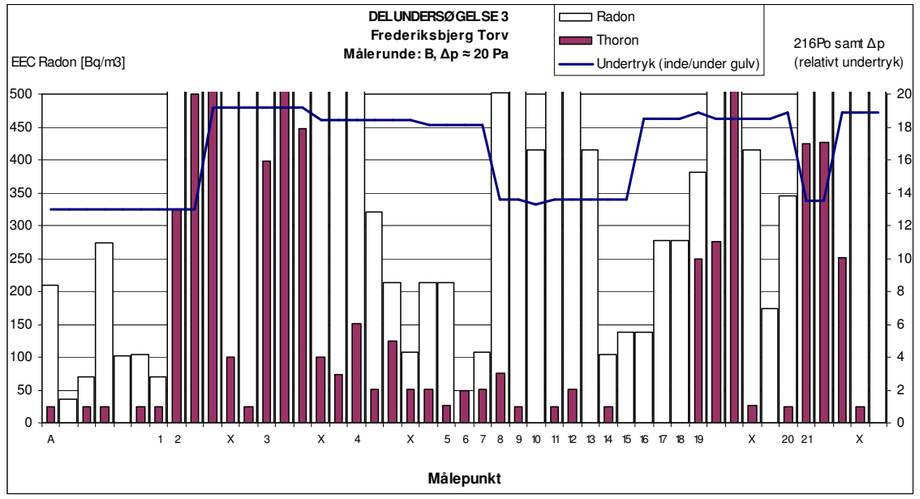
I målerunde 1 (figur 1) er det gennemsnitlige undertryk (indeklima/under gulv) over måleperioden på 0,6 Pa, målt med Micatrone MF-P trykdifferensmåler i to forskellige målepunkter. Der ses væsentligt forøget indhold af radon i målepunkt 3 (600-880 Bq/m3), hvilket er årsagen til den videre måling i dette punkt. Ligeledes er forøget radonindhold i punkt 8-9 samt 21, men det er her valgt ikke at foretage forlængede målinger. I målepunkt 19 er forhøjet koncentration af thoron i målepunktet, indikator for et indtrængningspunkt.

I målerunde 2 (figur 2) er det gennemsnitlige undertryk (inde/ude) over måleperioden på 4 Pa, målt med blowerdoor. Der ses generelt forøget indhold af radon i indeklimaet (A, referencemåling). I målepunkt 2 ses indtrængning af thoron samt forhøjede radonkoncentrationer. Målepunkt 3 har væsentligt forhøjede radonkoncentrationer (~ 1.600 Bq/m3). Ved målepunkt 9 ses forøget indhold af radon (op til 1200 Bq/m3). Der ses tydelig indtrængning af thoron i målepunkterne 2, 19 og 21 samt mindre indtrængning ved målepunkt 17. Målepunkt 3 har indtil videre ikke haft indhold af thoron, der giver mulighed for klassificering på niveau 3 eller 4.

I målerunde 3 er det gennemsnitlige undertryk (inde/ude) over måleperioden på 20 Pa, målt med blowerdoor. Der ses små indhold af thoron i referencepunktet, indikerende generelt hurtigt indtrængende poreluft. Der ses væsentlig indtrængning af thoron og radon i målepunkterne 2 og 3, med radonindhold op til 2.800 Bq/m3 for 2, og 10.100 Bq/m3 for 3 (dermed tilnærmet lineær sammenhæng i målepunkt 3 mellem radonkoncentration og trykdifferens). Der ses indtrængning i målepunkt 2, 3, 4, 19 og 21 samt mindre indtrængning ved målepunkt 8. Ved målerunde 3 begynder målepunkt 3 at have signifikant indhold af thoron, og kan nu klassificeres på niveau 4.

Resultater, delundersøgelse 3

Frederiksbjerg Torv, Århus



Figur 3
Måletidspunkt 12-05-2010,
Målerunde 3 (M3),
Δp (inde/ude) ≈ 20 Pa

2	3	4
9, 11, 12	8	2, 3, 4, 19, 21

Målepunkter

Lokalitet: **Østergade, Spøttrup**

A	Reference	16	Rum 1, ydervæg hjørne 1
X	Udluftning af udstyr	17	Rum 1, radiator
1	Baggang, rørføring 1	18	Rum 1, ydervæg hjørne 1
2	Baggang, rørføring 2	19	Stue 1, elkontakt
3	Køkken, radiator	20	Rum 2, radiator 1
4	Toilet, gulvafløb	21	Rum 2, radiator 2
5	Toilet, radiator	22	Rum 2, ydervæg hjørne
6	Kontor, revne i gulv	23	Stue 2, revne i gulv
7	Kontor, ydervæg, hjørne	24	Stue 2, radiator 1
8	Kontor, radiator	25	Stue 2, radiator 2
9	Kontor, ydervæg, revne	26	Entre, revne i gulv
10	Stue 1, revne i gulv 1		
11	Stue 1, radiator 1		
12	Stue 1, radiator 2		
13	Stue 1, væg		
14	Stue 1, revne i gulv 2		
15	Stue 1, revne i gulv 3		

Ovenstående målepunkter og beskrivelse er gældende for undersøgelserne på Østergade i Spøttrup, hvor der er foretaget udvidede thoronundersøgelser i forbindelse med delundersøgelse 3. Målingerne er foretaget efter målemetoden omtalt i afsnit 4, og programmet for delundersøgelse 3 er forklaret i afsnit 5.1.

Samtidig med thoronmålingerne er inkluderet målinger af trykdifferensen på det pågældende måletidspunkt. Trykdifferensen er øverst på figur 4 angivet som Δp (inde/under gulv) hvilket er den gennemsnitlige trykdifferens på måledagen. Den direkte målte Δp (inde/under gulv) på måletidspunktet for de individuelle målepunkter er ikke angivet på figur 4, da disse målinger ikke er foretaget i måletidsrummet, men senere på dagen. Øverst på figur 5 og 6 er angivet Δp (inde/ude) målt med blowerdoor, hvor Δp (inde/under gulv) på måletidspunktet er angivet som kurve på figurerne.

Trykdifferens Δp er angivet som positive tal, men beskriver størrelsen af det relative undertryk i indeklimaet i forhold til ude eller under gulv.

Målepunkterne er afbildet på situationsplanen i bilag 2.4. Målingerne er vurderet og vægtet efter den i afsnit 4.4 givne skala (klasse 2-4 angivet), vist herunder.

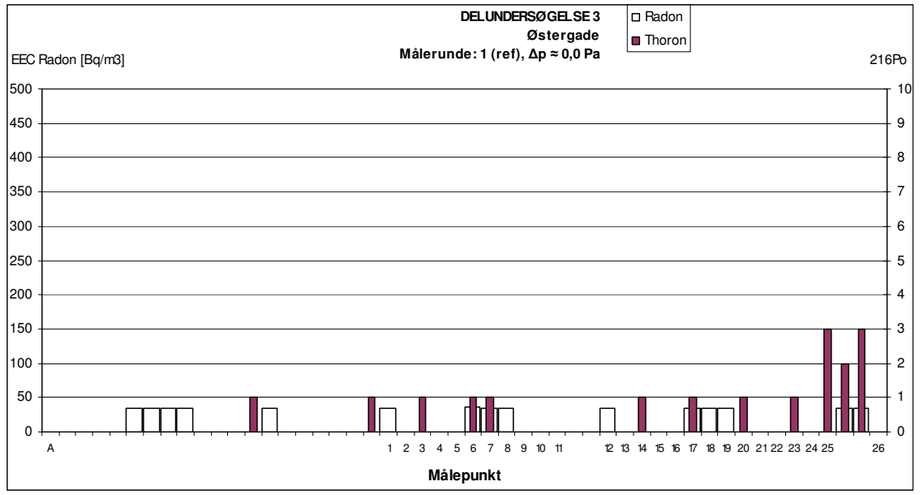
Klasser:

1. Lavt thoron indhold (^{216}Po < 3)
2. Lavt thoron indhold (^{216}Po < 3) men forhøjet radonkoncentration
3. Thoron indhold (^{216}Po ≥ 3)
4. Thoron indhold (^{216}Po ≥ 3 målt ≥ 2 gange i samme punkt)

Klasse 1 er ikke medtaget i tabellerne under de grafiske fremstillinger.

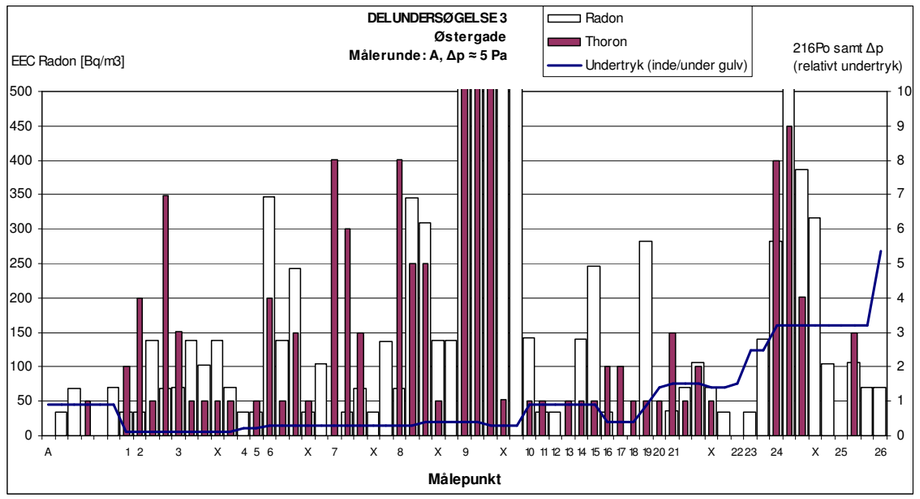
Resultater, delundersøgelse 3

Østergade, Spøttrup



Figur 4
Måletidspunkt 28-04-2010,
Målerunde 1 (M1),
Δp (inde/under gulv) ≈ 0,6 Pa

2	3	4
		25



Figur 5
Måletidspunkt 11-05-2010,
Målerunde 2 (M2),
Δp (inde/ude) ≈ 5 Pa

2	3	4
15, 19	3, 21, 25	2, 6, 7, 8, 9, 24

Lokalitet: **Østergade, Spøttrup**

I målerunde 1 (figur 4) er det gennemsnitlige undertryk (indeklima/under gulv) på måledagen (kl. 13-24, altså efter måletidsrummet) på 0,0 Pa, målt med GMSD 2,5 MR trykdifferenssensor i fire forskellige målepunkter. Det forventes at denne gennemsnitlige nuldifferens er årsag til det meget lave indhold af radon i indeklimaet. I målepunkt 25 er forhøjet koncentration af thoron i målepunktet, indikator for et indtrængningspunkt.

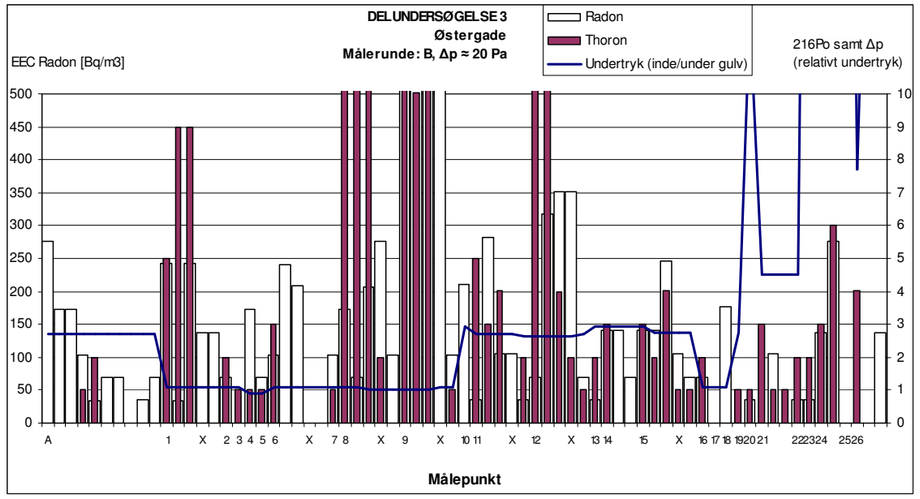
I målerunde 2 (figur 5) er det gennemsnitlige undertryk (inde/ude) over måleperioden på 5 Pa, målt med blowerdoor. Der ses markant forøget indhold af thoron og radon, sandsynligvis som følge af det større undertryk. Det mest markante indtrængningspunkt er målepunkt 9 (revne), med væsentligt forhøjet thoron og radonindhold (op til 3.300 Bq/m^3). Der ses tydelig indtrængning i målepunkterne 2, 6, 7, 8, 9 og 24 samt mindre indtrængning i målepunkterne 3, 21 og 25.

I målerunde 3 (figur 6) er det gennemsnitlige undertryk (inde/ude) over måleperioden på 20 Pa, målt med blowerdoor, og der ses igen markant forskel i radon og thoronindhold fra målerunde 1. Det mest markante indtrængningspunkt er igen målepunkt 9, med forhøjet indhold af thoron og radon (op til 1.200 Bq/m3). Indtrængningen ved målepunkt 9 er således nu enten svagere end ved målerunde 2, eller også sker en fortynding idet større mængder luft trænger ind ved indtrængningspunktet.

Der kan være andre indtrængningspunkter i nærheden som ikke er inkluderet i denne undersøgelsesgennemgang, og som er steget i intensitet under målerunde 3. Der ses tydelig indtrængning i målepunkterne 1, 8, 9, 11, 12, 15 og 24 samt mindre indtrængning i målepunkterne 6, 14, 21 og 26.

Resultater, delundersøgelse 3

Østergade, Spøttrup



Figur 6
Måletidspunkt 11-05-2010,
Målerunde 3 (M3),
Δp (inde/ude) ≈ 20 Pa

2	3	4
	6, 14, 21, 26	1, 8, 9, 11, 12, 15, 24

Bilag 3.4

Delundersøgelse 3 - trykdata

Trykdifferens

Lokalitet: **Frederiksbjerg Torv, Århus**

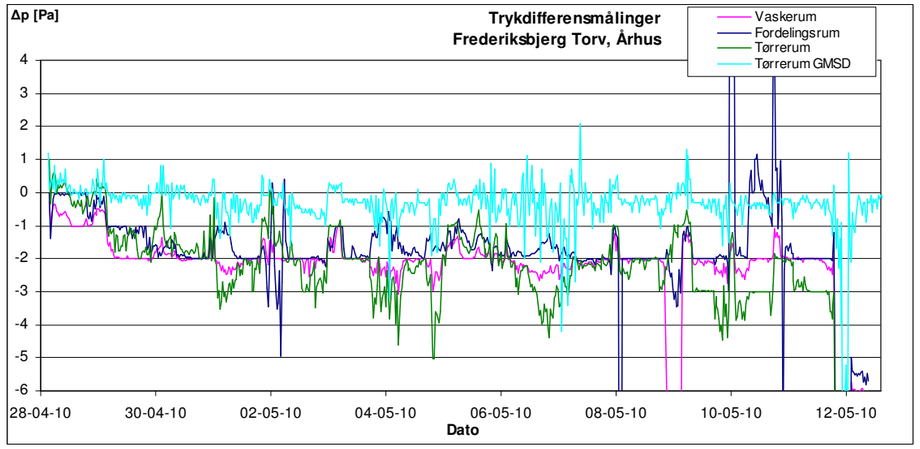
Figurerne til højre viser samlet trykdifferens for hele måleperioden på Frederiksbjerg Torv, samt trykdata for de individuelle måledage. Målingerne er foretaget i forbindelse med delundersøgelse 3. Samtlige figurer illustrerer trykdifferensen over/under gulv. Negativ Δp betyder lavere tryk over gulv, og højere tryk under gulv.

Den samlede oversigt (figur 1) med målestart d. 28-04-2010 til og med d. 12-05-2010 giver et gennemsnitligt undertryk i indeklimaet på hhv. -0,28 Pa (Tørrerum GMSD), og -1,5 til -2,1 for målingerne foretaget med MF-P trykloggerne (øvrige målinger). Samlet set giver det et gennemsnitligt undertryk for hele perioden (eksklusiv måledagen for målerunde 2 og 3 hvor undertrykket blev forceret) på 1,5 Pa i indeklima i forhold til under gulvet. Der er ikke målt meteorologiske data, hvorfor fluktuationerne i trykdifferensen ikke kan udredes, men det formodes at de primært skyldes vindpåvirkninger af konstruktionen samt temperatursvingninger. Det er bemærkelsesværdigt, at loggeren GMSD konsekvent måler en mindre relativ trykdifferens end MF-P loggerne. Årsagen til dette er ikke kendt, men efterfølgende er det valgt kun at medtage måledata for MF-P loggerne for de tre målerunder på denne lokalitet.

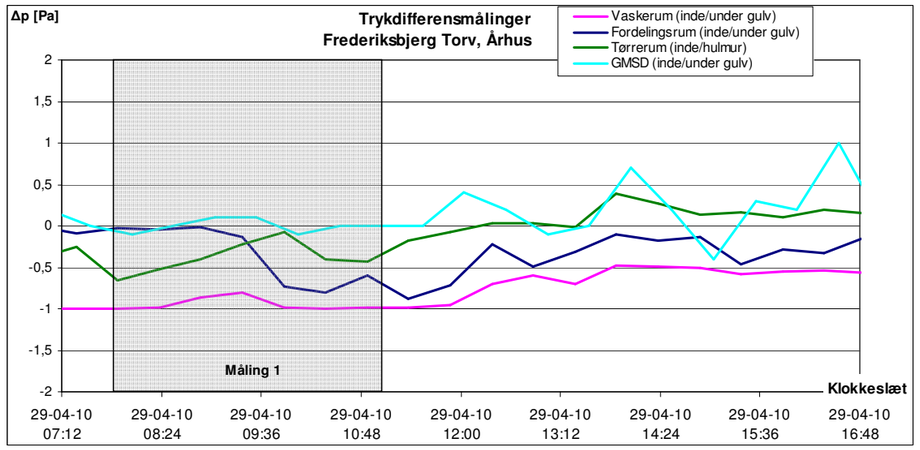
For figur 2 kan bemærkes, at trykdifferensen over dagen er svagt faldende (nærmer sig nul), hvilket vurderes at skyldes opvarmning af udeluften og deraf faldende temperaturdifferens inde/ude. For måletidspunktet for målerunde 1, er den gennemsnitlige trykdifferens inde/under gulv på ca. -0,6 Pa (0,6 Pa undertryk i indeklimaet), taget som gennemsnit af de tre MF-P målepunkter (GMSD udeladt for at benytte ens instrumenter). For måling 2 og 3 (figur 3) ses tydeligt blowerdoor'ens effekt. På bilag 3.3 er trykdifferensen mellem inde/ude angivet for hver målerunde, med konsekvenser for trykdifferensen mellem inde/under gulv. Samlet set, for de tre målepunkter med MF-P loggeren, ligger trykdifferensen (inde/under gulv) i målerunde 2 på gennemsnitligt -8,8 Pa, mens den for målerunde 3 ligger på gennemsnitligt -16,6 Pa (undertryk i indeklima).

Delundersøgelse 3, trykdifferens

Frederiksbjerg Torv, Århus



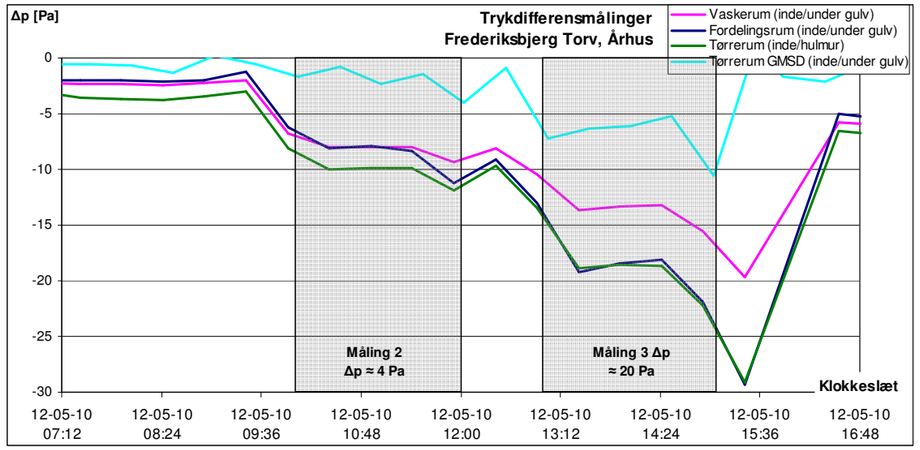
Figur 1
Måletidspunkt 28-04 – 12-05-2010,



Figur 2
Måletidspunkt 29-04-2010,
Markeret: målerunde 1 (M1),
Δp (inde/under gulv) ≈ 0,6 Pa

Delundersøgelse 3, trykdifferens

Frederiksbjerg Torv, Århus



Figur 3
Måletidspunkt 12-05-2010,
Markeret: målerunde 2 og 3 (M2, M3),
Δp (inde/ude) ≈ M2: 4 Pa, M3: 20 Pa

Trykdifferens

Lokalitet: **Østergade, Spøttrup**

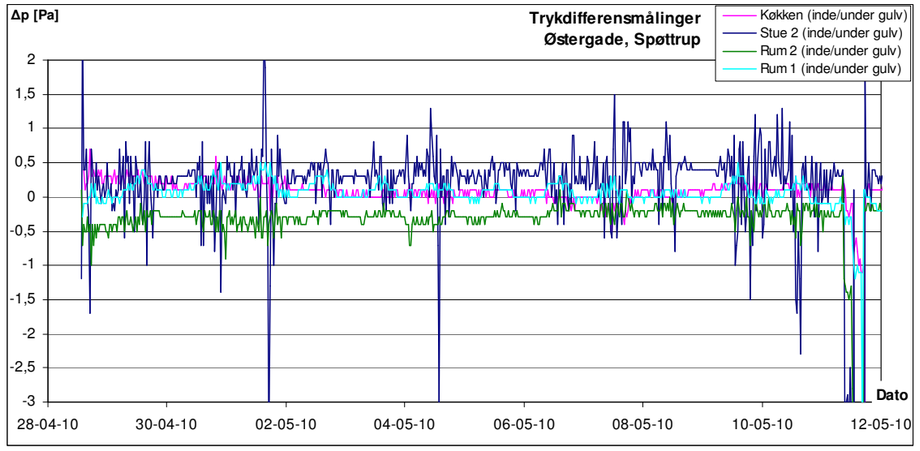
Figurerne til højre viser samlet trykdifferens for hele måleperioden på Østergade i Spøttrup, samt trykdata for de individuelle måledage. Målingerne er foretaget i forbindelse med delundersøgelse 3. Samtlige figurer illustrerer trykdifferens mellem indeklima/under gulv. Der er ikke foretaget måling af trykdifferens i tidsrummet for målerunde 1. Negativ Δp betyder lavere tryk over gulv, og højere tryk under gulv.

Den samlede oversigt (figur 4 og 5) med målestart d. 28-04-2010 til og med d. 28-05-2010 giver et gennemsnitlig undertryk i indeklimaet på hhv. -0,16 Pa (Køkken), -0,34 Pa (Stue 2), -0,18 Pa (Rum 2) og -0,01 (Rum 1). Samlet set giver det en gennemsnitlig trykdifferens for hele perioden (eksklusiv måledagen for målerunde 2 og 3) på +0,08 Pa trykforskel mellem indeklima og under gulvet, altså et lille gennemsnitligt overtryk i indeklimaet. Det formodes at dette svage overtryk er årsag til det meget lille indhold af radon i indeklimaet i målerunde 1. Der er ikke målt meteorologiske data, hvorfor fluktuationerne i trykdifferensen ikke kan udredes, men det formodes at de primært skyldes vindpåvirkninger af konstruktionen samt temperatursvingninger.

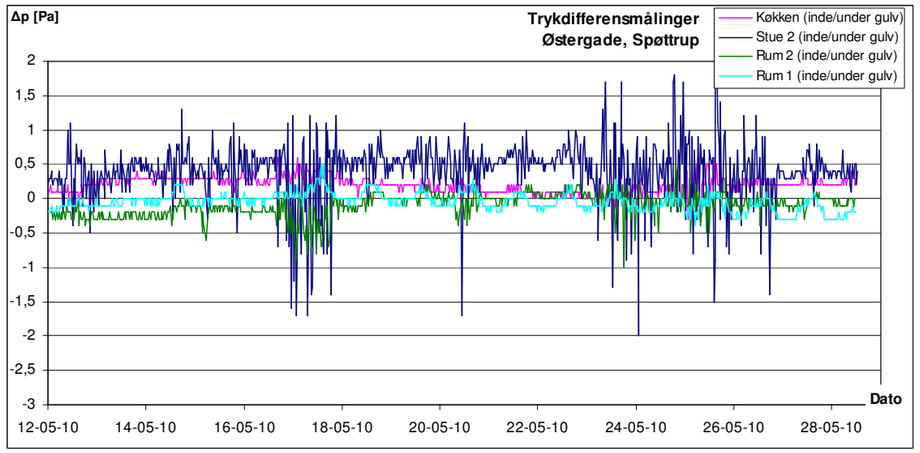
På måledagen for målerunde 2 og 3 (figur 6) ses tydeligt blowerdoor'ens effekt. På bilag 3.3 er trykdifferensen mellem inde/ude angivet for hver målerunde, med konsekvenser for trykdifferensen mellem inde/under gulv. Der ses tydelig forskel på trykdifferensen mellem de enkelte rum, hvor køkkenet og rum 1 oplever de mindste trykdifferenser og stue 2 oplever de største udsving. For målerunde 2 (med Δp inde/ude på 5 Pa) ligger det gennemsnitlige undertryk i indeklimaet for de fire målepunkter på hhv. -0,18 (køkken), -3,83 Pa (Stue 2), -1,63 Pa (Rum 2) og -0,38 (Rum 1). For målerunde 3 (med Δp inde/ude på 20 Pa) ligger det gennemsnitlige undertryk i indeklimaet for de fire målepunkter på hhv. -0,93 (køkken), -14,86 Pa (Stue 2), -5,56 Pa (Rum 2) og -1,46 (Rum 1). Samlet set, for de fire målepunkter, ligger trykdifferensen (inde/under gulv) i måling 2 på gennemsnitligt -1,51 Pa, mens den for måling 3 ligger på gennemsnitlig -5,7 Pa.

Delundersøgelse 3, trykdifferens

Østergade, Spøttrup



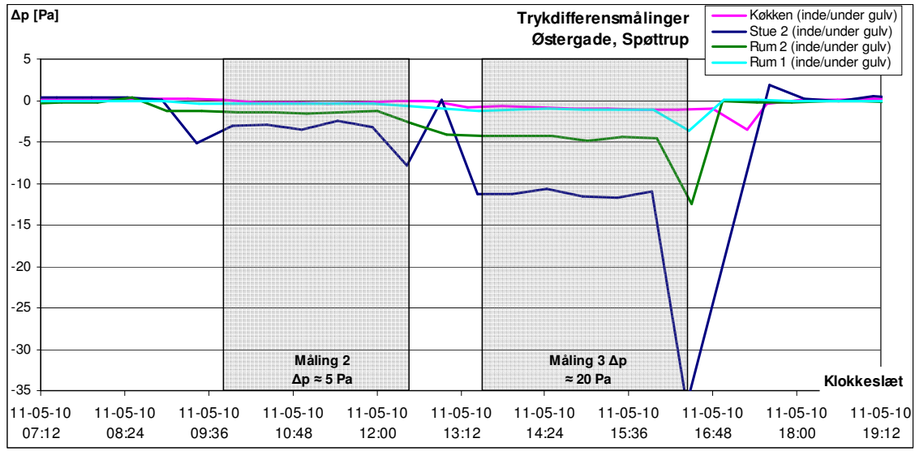
Figur 4
Måletidspunkt 28-04 – 12-05-2010,



Figur 5
Måletidspunkt 12-05 – 28-05-2010,

Delundersøgelse 3, trykdifferens

Østergade, Spøttrup



Figur 6
Måletidspunkt 11-05-2010,
Markeret: målerunde 2 og 3 (M2, M3),
Δp (inde/ude) ≈ M2: 5 Pa, M3: 20 Pa

Bilag 3.5

Temablad: variation i målepunkt

Temablade: Variation i målepunkt

Lokalitet: **Peder Kællers vej nr. 15, 19, 23, 24, 25, 27 og 31**
Delundersøgelse: **1 og 2**

I delundersøgelse 2 er der foretaget gentagne thoronmålinger på et udvalg af lokaliteter indeholdt i delundersøgelse 1 (Peder Kællers vej nr. 15, 19, 23, 24, 25, 27 og 31). Formålet med målingerne var at undersøge sammenhængen mellem indholdet af thoron og radon i undersøgte målepunkter over to målerunder.

Målingerne er afbildet herunder. Samtlige målinger er foretaget under naturlige trykforhold. Meteorologiske data er registreret for måletidspunktet og anført under figurerne.

Målingerne er inddelt i nedenstående klasser, jf. afsnit 4.4 i rapporten. Målinger i klasse 2-4 er anført under figurerne. Det skal bemærkes at klasse inddelingen er udført på baggrund af målemetoden (afsnit 4.2) og at denne metode var under udvikling i forbindelse med målingerne i delundersøgelse 1, hvilket skal erindres ved datasammenligning.

Klasser:

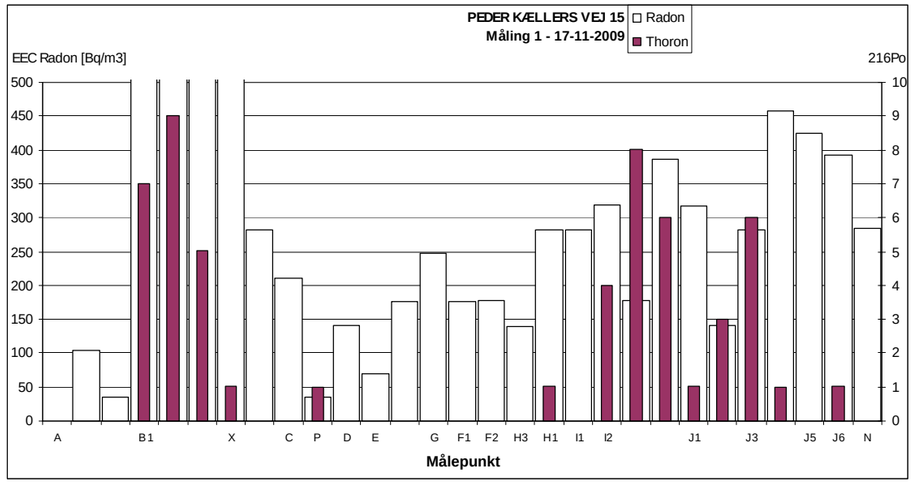
1. Lavt thoron indhold (^{216}Po < 3)
2. Lavt thoron indhold (^{216}Po < 3) men forhøjet radonkoncentration
3. Thoron indhold (^{216}Po • 3)
4. Thoron indhold (^{216}Po • 3 målt • 2 gange i samme punkt)

Beskrivelse af målepunkter (for placering se bilag 2.1 og 2.2):

A	Referencemåling	H5	Værelse 2 ydervæg E (- radiator)
B1	Teknikskab	H6	Værelse 2 hjørne NV (lille hus)
B2	Teknikskab hul 1	H7	Værelse 2 ydervæg (- radiator, lille hus)
B3	Teknikskab hul 2	H8	Værelse 2 hjørne SV (lille hus)
B4	Teknikskab afløb	I1	Værelse 3 ydervæg
C	Bryggers afløb	I2	Værelse 3 hjørne NE
D	Toilet	I3	Værelse 3 hjørne NV
E	Bad afløb	I4	Værelse 3 hjørne SE
F1	Værelse 1 radiator	J1	Stuevinduer N
F2	Værelse 1 hjørne SV	J2	Stue ydervæg
F3	Værelse 1 hjørne SE	J3	Stue hjørne NV
F4	Værelse 1 yderdør	J4	Stuevinduer V
F5	Værelse 1 ydervæg S	J5	Stue vindueshjørne
F6	Værelse 1 radiator under kappen	J6	Stue yderdør
F7	Værelse 1 ydervæg N (lille hus)	J7	Stue hjørne S (lille hus)
F8	Værelse 1 hjørne NV (lille hus)	J8	Stue hjørne SE (lille hus)
F9	Værelse 1 hjørne NE (lille hus)	J9	Stue ydervæg E, 1 (lille hus)
G	Fodpanel bryggers - køkken	J10	Stue ydervæg E, 2 (lille hus)
H1	Værelse 2 radiator	J11	Stue ydervæg E, 3 (lille hus)
H2	Værelse 2 hjørne NE	N	Køkkenvask
H3	Værelse 2 hjørne SE	P	Yderdør
H4	Værelse 2 radiator under kappen	X	Udluftning af udstyr

Tema: Variation i målepunkt

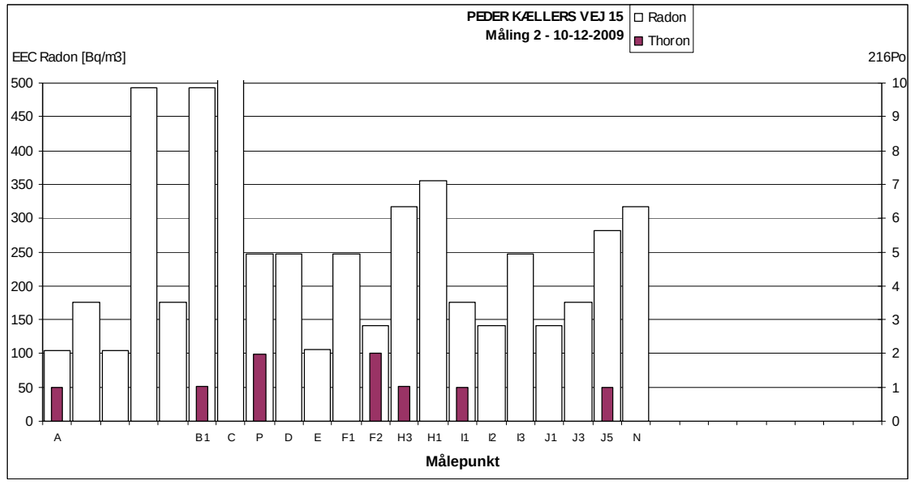
Peder Kællers vej 15: Delundersøgelse 1



Figur 1
Måletidspunkt 17-11-2009,
Temperatur ude: 8 •C, inde: 20 •C

2	3	4
J6	J1, J3	B1, I2

Peder Kællers vej 15: Delundersøgelse 2

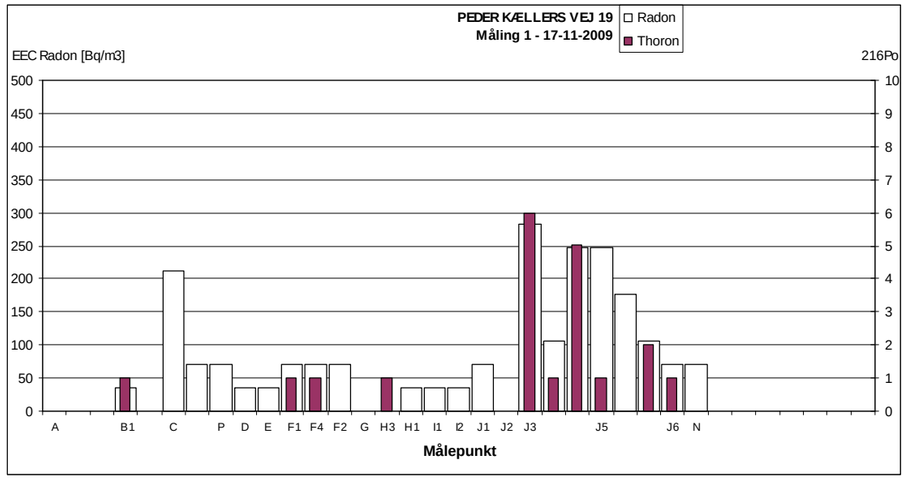


Figur 2
Måletidspunkt 10-12-2009,
Temperatur ude: 6 •C, inde: 21 •C,
Atmosfærisk tryk: 1015 hPa

2	3	4
B1		

Tema: Variation i målepunkt

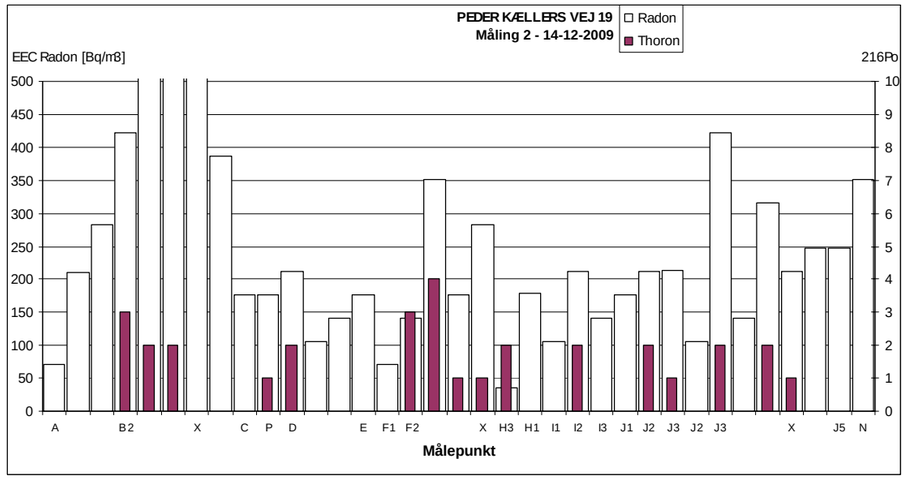
Peder Kællers vej 19: Delundersøgelse 1



Figur 3
Måletidspunkt 17-11-2009,
Temperatur ude: 10 •C, inde: 20 •C

2	3	4
		J3

Peder Kællers vej 19: Delundersøgelse 2

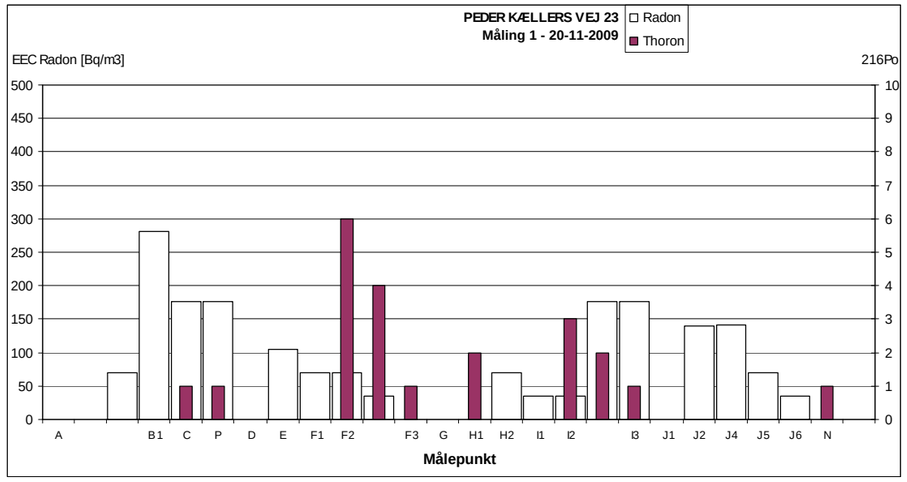


Figur 4
Måletidspunkt 14-12-2009,
Temperatur ude: 2 •C, inde: 16-21 •C,
Atmosfærisk tryk: 1015 hPa

2	3	4
J3	B2	F2

Tema: Variation i målepunkt

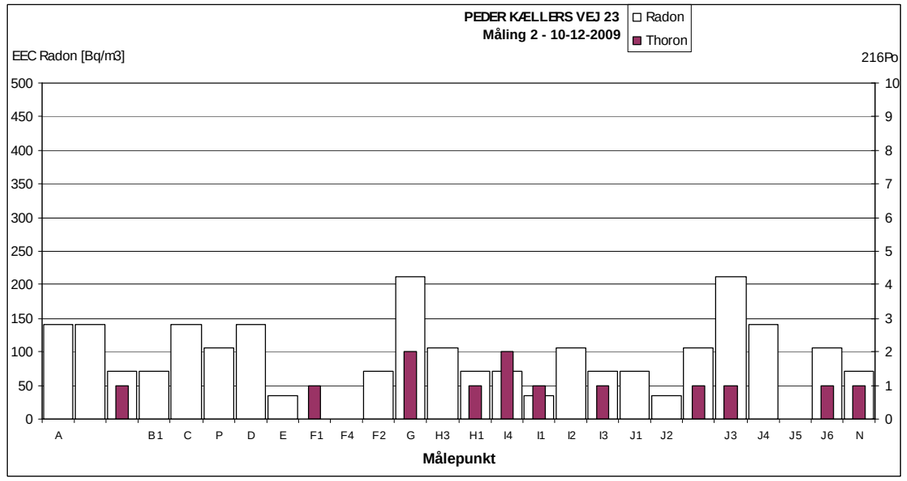
Peder Kællers vej 23: Delundersøgelse 1



Figur 5
Måletidspunkt 20-11-2009,
Temperatur ude: 10-12 •C, inde: 20-22 •C

2	3	4
	I2	F2

Peder Kællers vej 23: Delundersøgelse 2

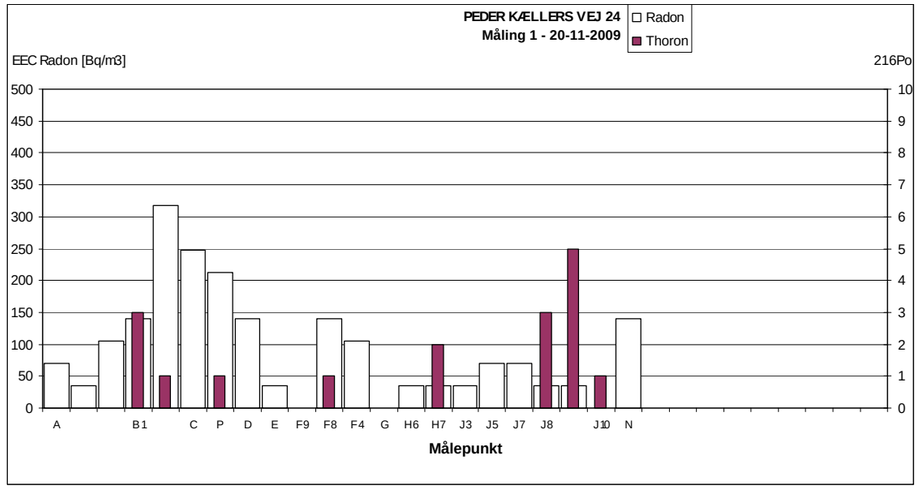


Figur 6
Måletidspunkt 10-12-2009,
Temperatur ude: 6 •C, inde: 22 •C,
Atmosfærisk tryk: 1012 hPa

2	3	4

Tema: Variation i målepunkt

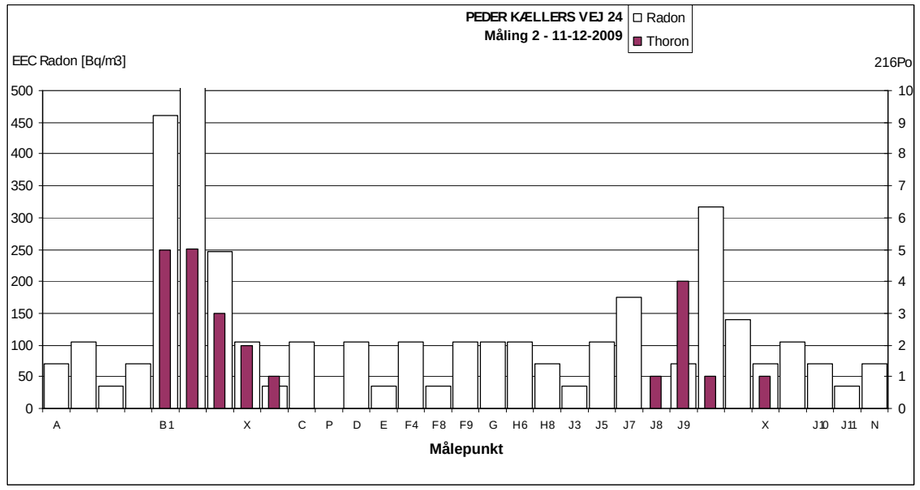
Peder Kællers vej 24: Delundersøgelse 1



Figur 7
Måletidspunkt 20-11-2009,
Temperatur ude: 6-8 •C, inde: 20-22 •C

2	3	4
	B1	J8

Peder Kællers vej 24: Delundersøgelse 2

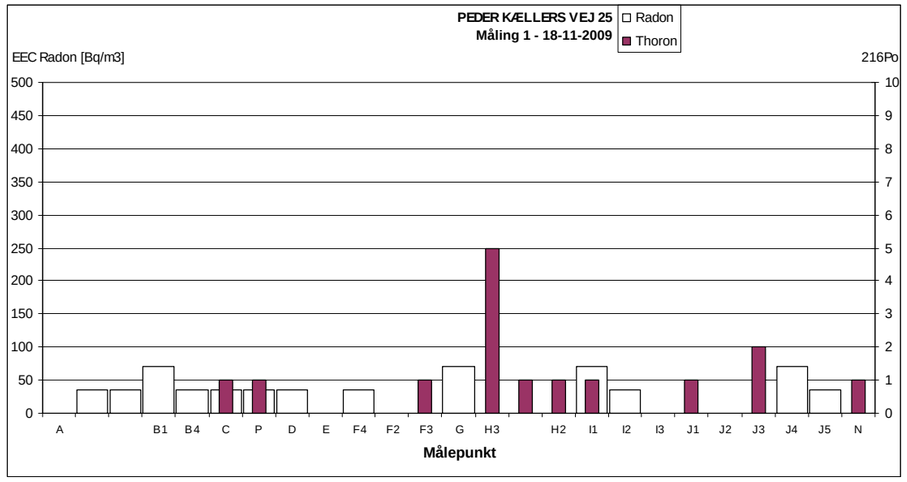


Figur 8
Måletidspunkt 11-12-2009,
Temperatur ude: 6 •C, inde: 21 •C

2	3	4
	J9	B1

Tema: Variation i målepunkt

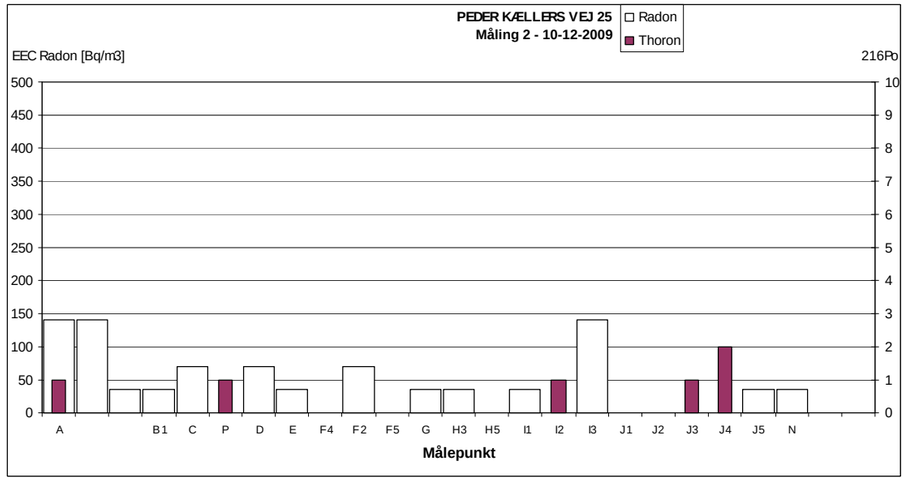
Peder Kællers vej 25: Delundersøgelse 1



Figur 9
Måletidspunkt 18-11-2009,
Temperatur ude: 9 •C, inde: 16-20 •C,
Atmosfærisk tryk: 982 hPa

2	3	4
	H3	

Peder Kællers vej 25: Delundersøgelse 2

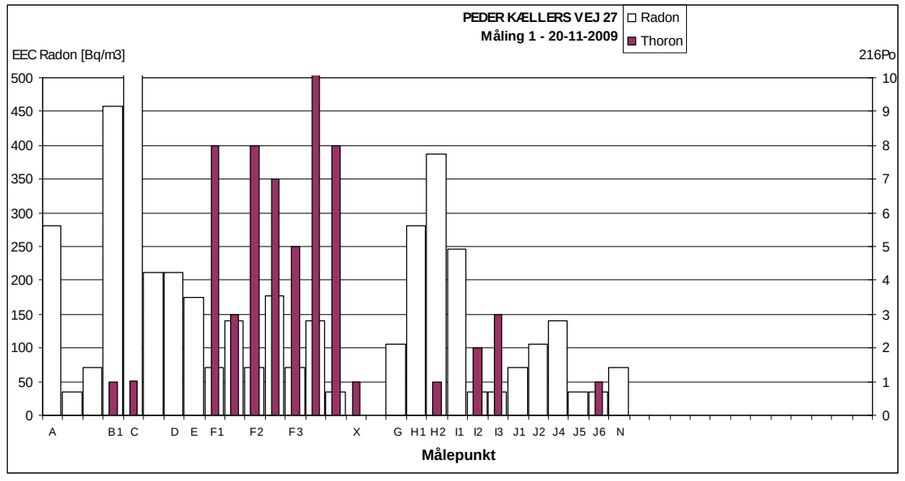


Figur 10
Måletidspunkt 10-12-2009,
Temperatur ude: 6 •C, inde: 19-21 •C,
Atmosfærisk tryk: 1015 hPa

2	3	4

Tema: Variation i målepunkt

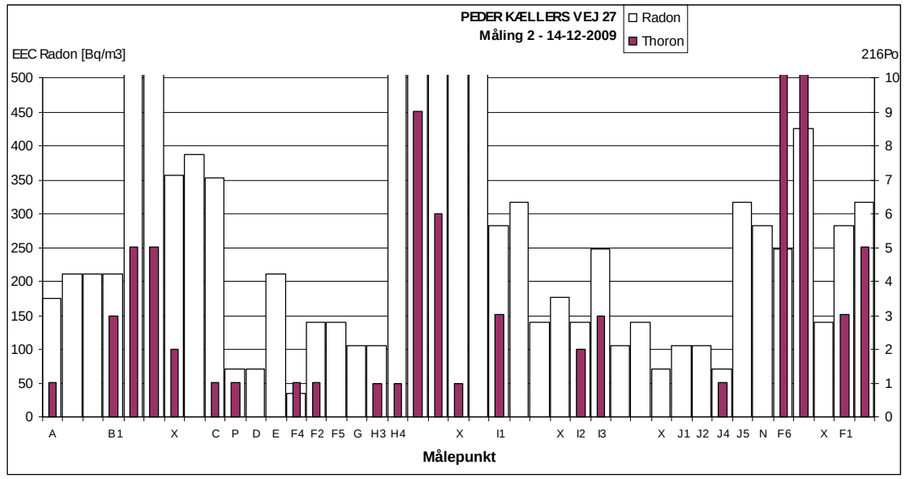
Peder Kællers vej 27: Delundersøgelse 1



Figur 11
Måletidspunkt 20-11-2009,
Temperatur ude: 7-9 •C, inde: 20-22 •C

2	3	4
B1, C, H2	I3	F1, F2, F3

Peder Kællers vej 27: Delundersøgelse 2

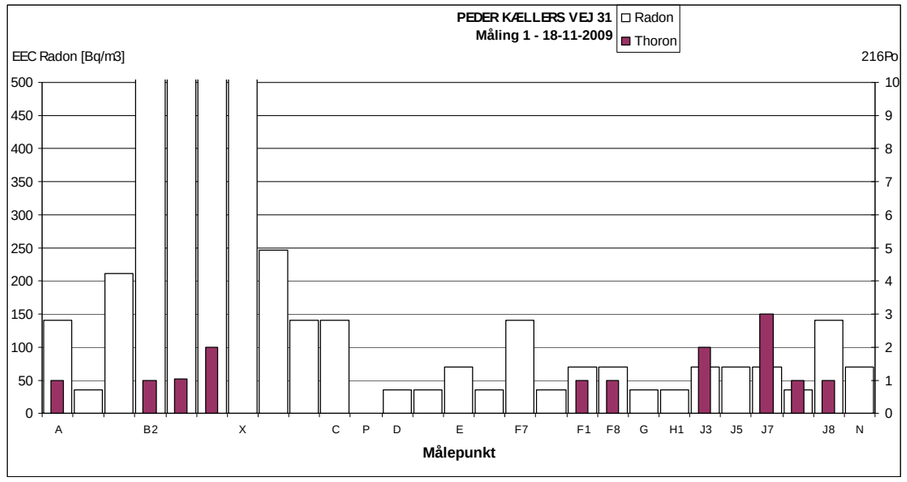


Figur 12
Måletidspunkt 14-12-2009,
Temperatur ude: -2 •C, inde: 21 •C,
Atmosfærisk tryk: 1015 hPa

2	3	4
C	I1, I3	B1, H4, F1, F6

Tema: Variation i målepunkt

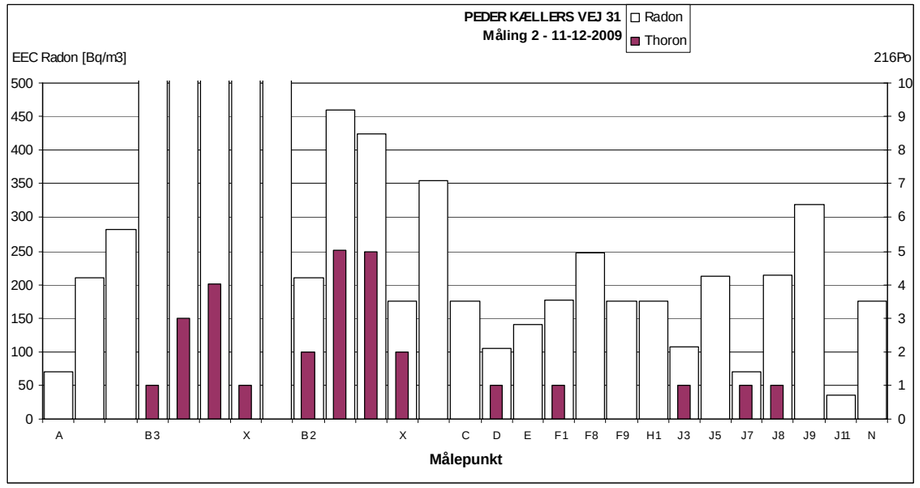
Peder Kællers vej 31: Delundersøgelse 1



Figur 13
Måletidspunkt 18-11-2009,
Temperatur ude: 8-9 •C, inde: 20 •C,
Atmosfærisk tryk: 980 hPa

2	3	4
B2	J7	

Peder Kællers vej 31: Delundersøgelse 2



Figur 14
Måletidspunkt 11-12-2009,
Temperatur ude: 6 •C, inde: 22 •C

2	3	4
		B2, B3

Bilag 4

Fotos

Bilag 4.1

Delundersøgelse 2
Peder Kællers vej

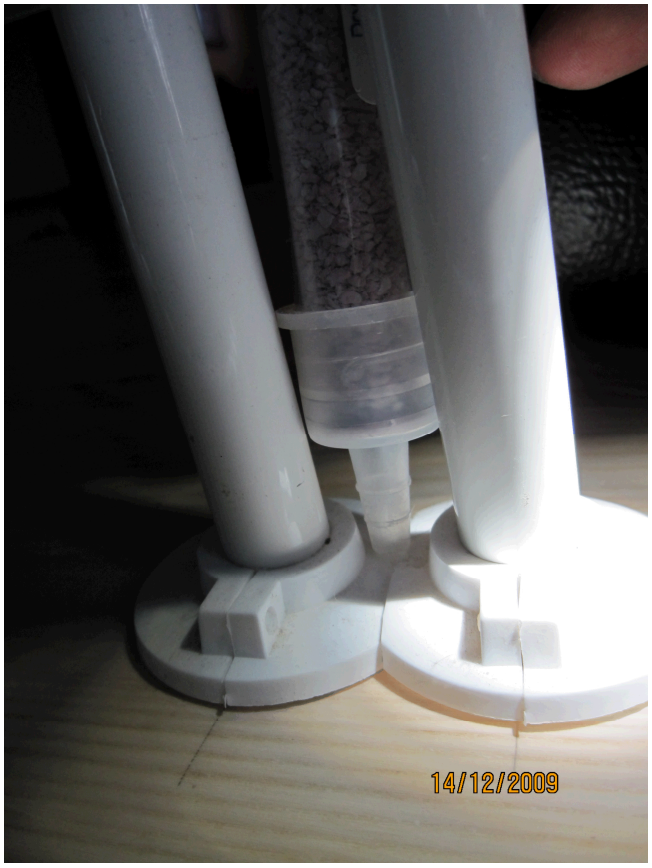
BILAG 4.1

Fotos: Delelement 2

Peder Kællers vej (#: hus nr.)

#27, radiator rørgennemføring uden roset

#27, radiator rørgennemføring uden roset



#27, radiator rørgennemføring med roset

#19, Rørgennemføringer i teknikskab

#19, Rørgennemføringer i teknikskab		#31, Rørgennemføringer i teknikskab

Bilag 4.2

Delundersøgelse 3
Frederiksbjerg Torv, Århus

BILAG 4.2

Fotos: Delelement 3

Frederiksbjerg Torv 8, Århus

(Thoron målepunkter markeret med rødt)

Ejendommen udefra

Fordelingsrum, Δp målepunkt

Vaskerum, Δp målepunkt

Tørrerum, Δp målepunkt

Tørrerum, Δp måletavle

Fordelingsrum, thoron målepunkt

Tørrerum, poreluftindtrængning ved thoron målepunkt 3 (0,10 m/s, målerunde 2)

Fordelingsrum, Δp målepunkt, samt poreluftindtrængning ved thoron målepunkt 2 (0,10 m/s, målerunde 2)

Blowerdoor installeret i fordelingsrum

Bilag 4.3

Delundersøgelse 3
Østergade, Spøttrup

BILAG 4.3

Fotos: Delelement 3

Østergade 5 B, Spøttrup

(Thoron målepunkter markeret med rødt)

Ejendommen udefra

Baggang, teknikskab

Baggang, rørgennemføring

Køkken, radiator

Toilet, gulvafløb

Toilet, radiator

Kontor

Rum 1

Stue 1

Stue 1, radiator

Stue 1, revner i gulv

Stue 1, revner og huller i gulv

Stue 1, radiator

Rum 1, rørgennemføring og radiator

Rum 2, radiator

Stue 2

Stue 2, revner i gulv

Stue 2, radiator

Stue 2, radiator

Entré, utætheder i gulv

Blowerdoor installeret i baggangen

Kontor, poreluftindtrængning ved thoron
målepunkt 9 (0,21 m/s, målerunde 2)

Kontor, poreluftindtrængning ved thoron
målepunkt 7 (0,12 m/s, målerunde 2)

Kontor, thoronmåling ved målepunkt 9

Kontor, poreluftindtrængning ved thoron
målepunkt 8 (0,80 m/s, målerunde 3)

Kontor, poreluftindtrængning ved thoron
målepunkt 9 (0,36 m/s, målerunde 3)

Bilag 5

Datablade

Bilag 5.1

Tryklogger
GMSD 2,5 MR

Pressure sensors: for use with GMH311x, GMH315x and GDUSB1000

Application:
- air and non-corrosive, non-ionising gases gases
- non-corrosive and non-ionising gases liquids.
- sensor are not suitable for water.

Relative pressure sensors: for measuring of over / under pressure and pressure difference

Specification:	GMSD 2,5 MR	GMSD 25 MR	GMSD 350 MR	GMSD 2 BR	GMSD 10 BR
Measuring range:	-1,999 ... +2,500 mbar	-19,99 ... +25,00 mbar	-199,9 ... +350,0 mbar	-1000 ... +2000 mbar	-1.00 ... +10.00 bar
Overload:	max. 200 mbar	max. 300 mbar	max. 1 bar	max. 4 bar	max. 10.34 bar
Resolution:	0,001 mbar (0,1 Pa)	0,01 mbar (1 Pa)	0,1 mbar	1 mbar	10 mbar
Accuracy: (typ. values)					
hysteresis and linearity	± 0,2 % FS	± 0,2 % FS	± 0,2 % FS	± 0,2 % FS	± 0,2 % FS
temperature influence from 0-50°C	± 1,0 % FS	± 0,5 % FS	± 0,4 % FS	± 0,4 % FS	± 0,4 % FS
Option higher accuracy available	no	no	yes	yes	yes

Absolute pressure sensors: for measuring of absolute pressure

Specification:	GMSD 1,3 BA	GMSD 2 BA	GMSD 7 BA
Measuring range:	0 ... 1300 mbar abs.	0 ... 2000 mbar abs.	0.00 ... 7,00 bar abs.
Overload:	max. 4 bar abs.	max. 4 bar abs.	max. 10,34 bar abs
Resolution:	1 mbar	1 mbar	1 mbar
Accuracy: (typ. values)			
hysteresis and linearity	± 0,2 % FS	± 0,2 % FS	± 0,2 % FS
temperature influence from 0-50°C	± 0,4 % FS	± 0,4 % FS	± 0,4 % FS
Option higher accuracy available	yes	yes	yes

General specification:

Sensor: piezoresistive pressure sensor.
Pressure connection: 2 connection pins for tubes 6 x 1 mm (6mm inside-Ø and 4mm outside-Ø)
Electronics: PC board with amplifier and data memory for sensor data (measuring. range/calibration etc.) integrated in sensor housing.
Working temperature: 0 ... +70 °C
Relative humidity: 0 ... +95 %RH (non-condensing)
Storage temperature: -40 ... +80 °C
Housing: ABS plastic with suspension eye, dimensions do not incl. conn. pin: 68 x 32,5 x 15 mm, dimensions with connection pin: 68 x 32,5 x 27,5 mm.
Device connection: 1m PVC connection cable, screened with integral 6-pin Mini-DIN-plug, lockable
Weight: approx. 75 g

Options, upcharges:

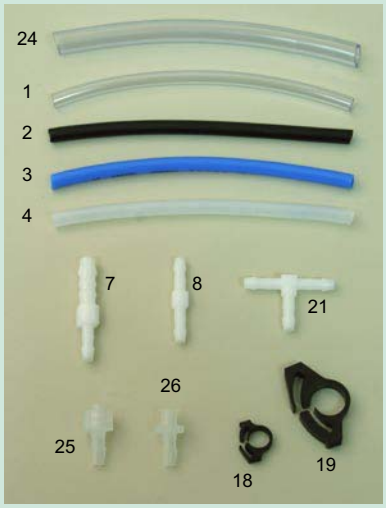
Special pressure ranges upon request

Probes for Ex-protection (EEx ib IIC T4)

Higher probe accuracy by multi point calibration
Additional individual linearisation points are stored in sensor memory.
(not possible for GMSD 2,5 MR and GMSD 25 MR !)

Certificate of calibration WPD5
(f. ISO9000 ff.) incl. several calibration points stored in probe calibration memory permanently,
certificate of calibration: 5 point increase, 5 point decrease.

Certificate of calibration WPD10
(f. ISO9000 ff.) incl. several calibration points stored in probe calibration memory permanently,
certificate of calibration: 10 point increase, 10 point decrease.



TUBE, TUBE CLIPS, ADAPTER, COUPLINGS, etc.

for GMH31xx, GMSD, GDH and pressure measuring transducers.

GDZ-01 = PVC-tube 6/4 (6 mm outside-Ø, 4 mm inside-Ø) (5 bar @ 23°C)
GDZ-24 = PVC-tube 10/7 (10 mm outside-Ø, 7 mm inside-Ø) (5 bar @ 23°C)
GDZ-02 = PE (polyethylene) 6/4 (6 mm outside-Ø, 4 mm inside-Ø) (10 bar @ 23°C)
GDZ-03 = PUR (polyurethane) 6/4 (6 mm outside-Ø, 4 mm inside-Ø) (9 bar @ 23°C)
GDZ-04 = PA (polyamide) 6/4 (6 mm outside-Ø, 4 mm inside-Ø) (25 bar @ 23°C)
GDZ-05 = Screw-type glanding for 6/4 tube with outside thread G1/8"
GDZ-06 = Increaser glanding for 6/4 tube with inside thread G1/8"
GDZ-07 = Double reducer for tubes with 6 inside-Ø to 6/4 tube
GDZ-08 = Double adapter for 6/4 tube to 6/4 tube
GDZ-09 = Coupling adapter (NW5) made of brass with inside thread G1/4" (suitable for GDZ-12)
GDZ-10 = Coupling adapter (NW5) made of brass for tube with 6mm inside-Ø (suitable for GDZ-12)
GDZ-11 = Coupling adapter (NW5) made of brass with outside thread G1/4" (suitable for GDZ-12)
GDZ-12 = Coupler socket (NW5) made of brass (single-hand use) with inside thread G1/4"
GDZ-17 = Screw-in connection for 6/4 tube with outside thread G1/4"
GDZ-18 = Tube clamp for 6/4 tube
GDZ-19 = Tube clamp for 8/6 tube (8mm outside-Ø and 6mm inside-Ø)
GDZ-21 = T-piece for 6/4 tubes
GDZ-25 = Luer-Lock male to 6/4 tube
GDZ-26 = Luer-Lock female to 6/4 tube
GOG-N = needle, Ø 0.9 mm - suitable to Luer-Lock male (5 pieces) (without picture)

for additional accessories refer to page 23

Bilag 5.2

Tryklogger
Micatrone MF-P

Micatrone®

Product data sheet

MicaFlex Microcontroller-based Differential pressure transmitter

MF-P

md-1322gb / 2008-10-15

Application

MF-P is a pressure transmitter designed for measuring of low positive, negative and differential pressure.

- ✓ **Output signal in Volt and mA**
- ✓ **Simple One-Key zero-setting**
- ✓ **Two selectable measuring ranges, full range or half range**
- ✓ **Selectable damping**
- ✓ **Calibration certificate attached**

Pressure connections

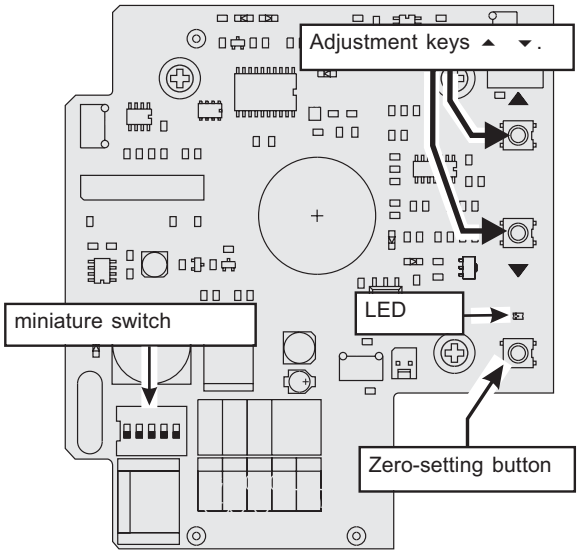
Pressure connections should be made with Micatrone mounting kits for safe and tight function. Connect the measurement outputs with HT-plastic tube 8/6 mm.

Zero adjustment

Press down the "zero-setting"-button until the LED turns off. Release the button and the zero-setting is finished.

Output signal setting

The Volt and mA output signal has different terminals.



Setting of damping

The MF-P offers a possibility to set different damping (time constant). At delivery the damping is set to 1,50 seconds damping. Setting is adjusted with the miniature switch.

Half measuring range

Place the miniature switch no 1 in position "OFF" for full measuring range (100%) or in position "ON" for half measuring range (50%).
NOTE! The accuracy is always for the full range.

Adjusting the measuring range

The measuring range can be adjusted to correct an measuring deviation. Instruction can be found on our web site, www.micatrone.se.

© AB MICATRONE 2008-10-15 [h: \ appdok \ typeset \ datablad \ md-1322gb_081015.vp]

Technical data

Supply voltage:	24 ± 15% VAC, 20...32 VDC 24, 115, 230 (with transformer), 50/60 Hz
Power cons.:	Max. 3 VA (24VAC) Max 6 VA (230VAC)
Range:	-50..50 Pa 0...50 (0...25*) Pa 0...100 (0...50*) Pa 0...200 (0...100*) Pa 0...500 (0...250*) Pa 0...1 (0...0,5*) kPa 0...2 (0...1,0*) kPa 0...5 (0...2,5*) kPa Other ranges on request. *) Half range using a miniature switch. Measuring range with zero-crossing can not be divided.
Max. load:	≤ 50 kPa
Output signal:	4...20 mA max R_L = 400 Ω 0...10 Volt R_i = 0 Ω
Ambient temp.:	0...55°C
Accuracy:	Max error ± 0,5% of the full range plus ± 0,5 Pa.
Temp.drift:	Max. 0,5 % per 10°C
Damping:	Selectable; 0.05, 0.7, 1.5 or 2.2 s
Degree of protec.:	IP 65
El. connections,	
-rigid cable:	1 x 2.5 mm^2 / terminal
-flexible cable:	1 x 1.5 mm^2 / terminal
Cable entries:	2 st threaded holes M16x1,5 (cable glands not attached)
Pressure. conn.:	8/6 mm HT-plastic tube
Dimensions:	WxHxD = 122x120x90 mm
Weight:	0,50 kg

EU Compliences:

EMC	SS-EN 50081-1 SS-EN 50082-2
LVD	SS-EN 610101-1

Service

MF-P needs normally no service, but we recommend to check the zero point once a year.

Cleaning

MF-P should be cleaned with a soft cloth and a light detergent. Do not use scouring-powder or dissolvent .

Transformer (Optional)

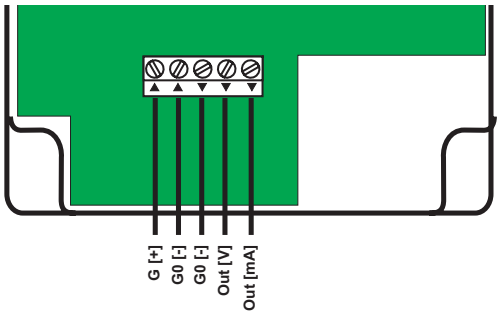
The output signal is normally NOT galvanically separated to the supply voltage. To obtain galvanic separation between the output signal and the supply voltage on a standard transmitter, the apparatus must be equipped with a plug-in transformer.

Accessories

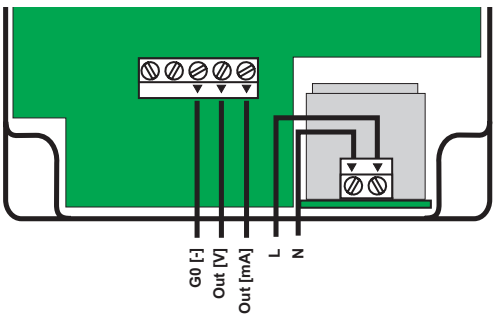
- **Mounting kit VR-DR**
- **HT-plastic tubing 8/6 yellow, per meter or roller 50 m**
- **Manifold valve 2-TK**
- **MFM-Panel (wall/cabin-door) mounting kit**
- **Mounting kit for DIN-rail**
- **Transformer 24, 115, 230 VAC, built in**

RoHS COMPLIANT

Connection 24 VAC / 20...32 VDC (without transformer)



Connection with transformer (Transformers available for 24/115/230 VAC)



AB Micatrone
Åldermansvägen 3
SE-171 48 SOLNA
SWEDEN

Telephone: +46 8-470 25 00
Fax: +46 8-470 25 99
Internet: www.micatrone.se
E-mail: info@micatrone.se

© AB MICATRONE 2008-10-15 [h: \ appdok \ typeset \ datablad \ md-1322gb_081015.vp]

web reference - http://www.micatrone.se/prod_detail.php?secID=2&lang=gb&id=60

Bilag 5.3

Vindmåler
SwemaAir 40

SwemaAir 50/40

SWEMA

Ventilation measurement instruments

SwemaAir 50 and 40 are highly accurate, professional thermoanemometers for air velocity, temperature and air flow*. The instruments are dynamically compensated for temperature and barometric pressure*. The design with protective aluminium casing and rubber ends gives a firm and comfortable grip. SwemaAir 50 and 40 are suitable for a wide range of measurements, such as ventilation balancing and checking, research, monitoring and documenting clean rooms and laminar air flow cabinets.

*only SwemaAir 50

SwemaAir 50 & 40:

- Selectable units: m/s or fpm, °C or °F. Time constant: 0.25, 0.5, 2 or 8 seconds, by push-buttons on SwemaAir 50 and PC-cable on SwemaAir 40.
- PC-port for online measurement output. Traceable calibration certificate.

Additional features of SwemaAir 50:

- Air flow measurements in l/s, m^3/h or CFM. The area is entered into the instrument directly as an area, as diameter or as height x width. When using metric units automatic compensation by a duct factor (k_2) can be selected.
- Built in barometer compensates the air density due to variation in weather and altitude. Selectable continuous display of barometric pressure.
- Actual or standard air velocity / flow.
  (Actual: fully density compensated. Standard: air at 1013hPa, 20°C, 68°F)
- Multiple-point measurements. Useful for duct and grill flow measurements.
- 100 multiple or single point measurements can be stored and transferred to PC.
- Average, max and min value.
- Automatic shut-off.
- Display light.

Part numbers:

762.620 SwemaAir 50 0,1...12 m/s
including certificate
763.000 SwemaAir 40 0,1...12 m/s
including certificate
763.010 Additional 12...30 m/s
15, 20, 30 m/s on certificate
763.050 220V adapter
763.060 Case to SwemaAir 50
763.040 PC-cable to SwemaAir 50
763.020 PC-cable converter to USB
763.200 Charger incl 4 NiMh batteries

Technical Data:

Velocity at 23°C:
±0,04 m/s at 0,1...2 m/s
±2% read value at 2...30 m/s
Velocity at 10...40°C:
±0,05 m/s at 0,1...2 m/s
±5% read value at 2...30 m/s
Temperature:
±0,2°C at 23°C
±1,0°C at -20...+80°C
Barometer (SwemaAir 50) at 23°C:
600...1200 hPa: ±2,0 hPa
Alkaline battery life at 1 m/s:
40 h, (15 h light on)
Weight 500 g
Telescope: ∅7...10, 660 mm long

SWEMA

Pepparv. 27, 123 56 FARSTA, SWEDEN
Phone: +46 8 94 00 90 Fax: +46 8 93 44 93
www.swema.com
E-mail swema@swema.com

Bilag 6

Lokaliteter

1 Lokaliteter

I dette bilag præsenteres undersøgelsesprogrammet overordnet, og der gives en gennemgang af de enkelte lokaliteter, der har været inddraget i projektet.

1.1 Undersøgelsesprogram

Undersøgelsen er inddelt i 3 delundersøgelser, som har følgende omfang:

Delundersøgelse 1. Indledende metodeudvikling, 17 lokaliteter
Delundersøgelse 2. Specifik metodeafprøvning, 9 lokaliteter
Delundersøgelse 3. Metodeafprøvning med supplerende målinger, 2 lokaliteter

De enkelte delundersøgelser er forklaret i afsnit 5.1 i rapporten.

Tabellen herunder giver en oversigt over projektets feltarbejde, inddelt efter ovenstående opdeling i delundersøgelser. I afsnit 1.2 er projektets lokaliteter i delundersøgelse 1 overordnet præsenteret. I afsnit 1.3 gives endvidere en præsentation af de supplerende lokaliteter der har været inddraget i delundersøgelserne 2 og 3. For hver lokalitet er præsenteret både byggetekniske og geologiske forhold såfremt de er tilgængelige.

Del	Lokaliteter	Indhold
1	Karolinegade, Skive Skovløkken, Tejn Dyrehavegårdsvej, Kolding Momhøjvej, Studsgård Lindevej, Fredericia Lindevej, Horsens Peder Kællers vej, Horsens (11 lokaliteter)	Indledende thoronmåling med måling over 5 minutter pr. målepunkt, ca. 20 målepunkter pr. lokalitet. Samtidig med disse indledende forsøg er foretaget en metodeudvikling.
2	Peder Kællers vej, Horsens (9 lokaliteter)	Thoronmålinger efter nyudviklet metodebeskrivelse. Ca. 25 målepunkter pr. lokalitet.
3	Frederiksbjerg Torv, Århus Østergade, Rødding, Spøttrup	Udvidet undersøgelse. Thoronmålinger efter metodebeskrivelse, udført tre gange i samme målepunkter pr. lokalitet ved forskellige trykforhold afstemt med blowerdoor. Ca. 30 målepunkter pr. lokalitet. Herudover er foretaget undersøgelser med termografi, ppbRAE og sporgas.

Oversigt over projektets feltarbejde og lokaliteter

1.2 Lokaliteter (delundersøgelse 1)

Nedenfor ses for hver lokalitet en gennemgang af de byggetekniske forhold, indledende vurderinger i forhold til spredningsveje samt en kort beskrivelse af de

geologiske forhold på lokaliteten. I det tilfælde at lokaliteten er forurenet, er dette ligeledes kort omtalt.

1.2.1 Karolinegade 1

Ejendommen på Karolinegade 1, Skive (indeholdende lejlighederne 1C, 1D og 1G) har huset et renseri i perioden 1963 – 1980. Driften af renseriet har medført en forurening af jorden under ejendommen med chlorerede opløsningsmidler. Lokaliteten er kortlagt på vidensniveau 2. Undersøgelser samt oplæg til afværge er afrapporteret i /46/. I forbindelse med /46/ er der foretaget en byggeteknisk gennemgang af lokaliteten samt foretaget en overordnet vurdering af de geologiske forhold. Undersøgelsen indeholdt i dette projekt er udført i lejligheden Karolinegade 1 C.

1.2.1.1 Byggeteknik

Ejendommen er opført i 1903 og gennemgik en større renovering i 2003. Ejendommen er uden kælder og består af stueetage (1C), 1. og 2. sal. Hver etage rummer én lejlighed. I 2003 er udført en mindre tilbygning til alle 3 lejligheder. I sammenbygningen er der etableret en dilatationsfuge.

Det oprindelige terrændæk i bygningen er et betondæk. Det vurderes at gulvet er uarmeret og af en tykkelse på 5-10 cm, støbt direkte på jorden. I forbindelse med renoveringen er støbt nye gulve i den oprindelige bygning og i tilbygningen. Det forventes at de nye gulve er min. 10 cm tykke og armerede. Desuden vurderes at gulv i tilbygningen er udlagt på et kapillarbrydende lag af sand.

Ydermure i den oprindelige bygning er opført uden hulmur. Det formodes at væggene er efterisoleret ved renoveringen. Det vurderes, at der ikke er kantmembran eller – isolering i støbeskellet mellem den oprindelige ydermur og gulvet i stueetagen.

Rørgennemføringer fra kloakken og vand sker ind gennem væggen. Fjernvarme og gulvvarme manifold kommer ind i skabet i entreen i stuelejligheden.

På baggrund af de udførte undersøgelser på ejendommen i forbindelse med forureningssituationen, er det vurderet, at indeklimaets påvirkning fra poreluften er størst i tilbygningen og herfra aftagende i østlig retning. Gulvkonstruktionen i stueetagen vurderes til at være i god stand og yde en relativ god tæthed mod den underliggende forurening. Der er ikke tydelige tegn på at der sker en konvektiv indtrængning. Det kan dog ikke udelukkes, at der sker en konvektiv transport i støbeskel mellem ydermur og gulv, da det ikke har været muligt at besigtige denne på grund af efterisolering. Der er i entreen to skabe, hvori der bliver ført installationer; dog var det ikke muligt at inspicere disse skabe grundigt. Det vurderes, at der kan ske en spredning af poreluft fra jorden og op igennem disse skabe. På baggrund af ovenstående vurderes den primære spredning at kunne ske, dels ved diffusion (begrænset på grund af god tæthed) og dels ved konvektiv spredning via installationsskabe og eventuelt ved støbeskel i den oprindelige bygning (ydermur/gulv).

1.2.1.2 Geologi

Lokaliteten er beliggende i kote ca. +15 m DVR90. Geologien vurderes generelt at være opbygget af ca. 5-10 m vekslende aflejringer af sand og ler underlejret af 5-10 m sand. Herunder vurderes at forekomme ler/tertiært ler. Der er ved tidligere undersøgelser fundet et terrænnært vandførende lag ca. 2,5 m u.t. Det primære grundvandsmagasin vurderes, på baggrund af potentialekort, at være lokaliseret ca. 12 m u.t.

1.2.2 Dyrehavegårdsvej 7A-7S

Ejendommen på Dyrehavegårdsvej 7A-7S har tidligere været sæbefabrik og renseri. I forbindelse med en forureningsundersøgelse udført af Vejle Amt i 1992, blev der på lokaliteten påvist indhold af uidentificerede opløsningsmidler i jorden. Efterfølgende er udført flere forureningsundersøgelser på grunden, senest /48/. I forbindelse med undersøgelserne er der foretaget en byggeteknisk gennemgang af den nuværende ejendom samt en undersøgelse af geologien i området.

1.2.2.1 Byggeteknik

Ejendommen på Dyrehavegårdsvej 7A-7S er et lejlighedskompleks opført i 1985 og består af 4 blokke med i alt 26 lejligheder. Samtlige blokke er opført i 2 plan; stueetage og 1. sal. Feltundersøgelserne i dette projekt er udført i blok nr. 4, primært i lejlighed 7A.

Undersøgelsen indeholdt i dette projekt er udført i lejlighedens stueplan, bygget med terrændæk uden kælder. Gulvkonstruktionen er opbygget af 3 cm afretning, 8 cm beton, 50 cm isolering og 15 cm ral. I lejligheden 7A er påvist flere sætningsskader.

I samtlige køkkener og badeværelser er eldreven ventilation. Installationsskakt er placeret i badeværelse, med rørgennemføringer omfattende faldstamme, fjernvarme, el og telefoni.

En uddybende beskrivelse af forureningsundersøgelsen med resultater og vurderinger af samtlige undersøgelser ses i /48/.

På baggrund af de udførte undersøgelser på ejendommen i forbindelse med forureningssituationen, samt observationer foretaget i forbindelse med dette arbejde, er det vurderet, at der sker en væsentlig indtrængning af poreluft gennem gulvene i lejlighederne. Indtrængningen af poreluft vurderes at forekomme på baggrund af udbredt revneforekomst og evt. på grund af manglende radonsikring ved kantmembran langs fundamenter.

1.2.2.2 Geologi

Lokaliteten er beliggende i kote ca. +7,5 m DVR90. Under et fyldlag af ler, muld, sand og murbrokker findes et sandlag til ca. 6 m u.t. Der er truffet et terrænnært sekundært grundvandsmagasin ca. 1,3 m u.t. Det primære grundvandsmagasin vurderes at være knyttet til smeltevandsgrus og – sandaflejringerne, der findes fra ca. 37 m u.t.

1.2.3 Momhøjvej 8

Ejendommen på Momhøjvej 8, Studsgård ved Herning er i oktober 2006 kortlagt på vidensniveau 2. Ejendommen er kortlagt på grund af en konstateret olieforurening to steder på ejendommen. Der er foretaget flere forureningsundersøgelser samt afværge mod forureningen. Samtlige undersøgelser er indeholdt i en selvstændig rapport /49/. I forbindelse med de udførte undersøgelser er forholdende på lokaliteten observeret og afrapporteret i /49/.

1.2.3.1 Byggeteknik

Der er ikke foretaget en byggeteknisk gennemgang i forbindelse med de tidligere udførte arbejder på ejendommen. Der er dog gjort flere observationer i samme forbindelse, som er beskrevet herunder.

I kælderen på ejendommen findes flere filtersatte boringer, og ved aftagning af hætter fremkommer der en kraftig olielugt fra disse boringer. Ved feltarbejdet i

forbindelse med undersøgelserne i /49/ blev iagttaget mange utætheder og brud i væg- og gulvkonstruktion i kælderen. Utæthederne forekommer langs kælderens sydøstlige væg og gulv. Desuden findes en del tegn på tidligere gennembrydninger af gulvkonstruktionen i forbindelse med tidligere undersøgelser. For yderligere informationer om lokaliteten samt situationsplan, se /49/.

1.2.3.2 Geologi

Der er ikke i forbindelse med rapporten foretaget en vurdering af den generelle geologi i området

1.2.4 Peder Kællers vej

Lokaliteten er en del af et projekt med radonsikring af nybyggeri. Området er på ca. 11.000 m^2 og blev udvalgt af BoligfondenKuben til opførelse af tæt/lav bebyggelse. På lokaliteten er opført 16 enfamiliehuse med fokus på brug og udførelse af forskellige forhåndsbestemte radonsikringer. Projektet er afrapporteret i en selvstændig rapport /45/. Følgende afsnit er udvalgte, og for nærværende projekt relevante, uddrag fra den tekniske udførelse af detaljer og radonsikringer i projektet /45/ samt den geologiske beskrivelse af nærområdet. I dette afsnit er kun omtalt radonsikringer indeholdt i de i delundersøgelse 2 omhandlende bygninger. For en komplet beskrivelse af hele lokaliteten med samtlige bygninger henvises til /45/. Situationsplaner af boligerne er inkluderet i bilag 2.1 og 2.2.

1.2.4.1 Byggeteknik

Delundersøgelse 2 omfatter målinger udført i 9 ejendomme på lokaliteten Peder Kællers vej, Horsens (husnumre 15, 19, 21, 23, 24, 25, 27, 29, 31). Der er ikke foretaget byggetekniske gennemgange af ejendommene, men der er i følgende afsnit indeholdt en overordnet beskrivelse af byggeriet samt en beskrivelse af de individuelle radonsikringer installeret i boligerne.

Samtlige enfamiliehuse på lokaliteten blev opført i 2006 – 2007. 5 yderligere enfamiliehuse samt et fælleshus var oprindeligt planlagt på grunden. Samtlige huse er identisk, dog opføres to størrelser. Af de 9 huse inkluderet i nærværende projekt, er 7 på 123,7 m^2 mens de resterende 2 (nr. 24 og 31) er på 99,6 m^2.

De grundlæggende konstruktionsforhold for byggeriet er listet herunder:

- Alle husene har tunge ydervægge med isoleret hulrum samt terrændæk med betonplade støbt på stedet.
- Alle huse har lette indervægge der monteres som færdige præfabrikerede elementer.
- Fundamentet øverst består af letklinkerblokke med midterisolering, og der er kuldebroafbrydelse mellem betonplade og blokke.
- Terrændæk er opbygget af 100 mm armeret beton på isolationslag af EPS udlagt på afretningssand. To ejendomme (nr. 23 og 31) har supplerende lag af 400 mm letklinker på grund af installeret ventilationsdræn i det kapillarbrydende lag.
- Ventilationsinstallationen opfylder bygningsreglementernes krav.
- Alle huse har i stuen "gulv-til-loft vinduer".
- Gulvbelægningen (tæppe, parket eller klinker) er valgfrit for køber og varierer derfor fra hus til hus.
- Alle huse er enfamiliehuse i ét plan uden kælder.
- Alle huse er opført af samme entreprenør og nogenlunde samtidigt.

Ejendommene er alle opbygget med særlig tanke for radonsikring, og er udført i fem forskellige kategorier af radontætning, som vist herunder.

Type	Hus nr.	Tætningsbeskrivelse
1	27	Fuld membran, tætnet rørgennemføring
2	15, 23	Kantmembran under beton, tætnet rørgennemføring
3	19, 21, 29*	Kantmembran over beton, tætnet rørgennemføring
4	25	Kantmembran under beton, traditionel rørgennemføring
5	24, 31	Kantmembran over beton, traditionel rørgennemføring

* Hus nr. 29 var oprindeligt tiltænkt denne kategori men blev opført uden kantmembran.

Tabel 5.2: Oversigt over projektets feltarbejde

Samtlige kantmembraner er af typen Icopal Murfolie RG. Stødsamlinger og hjørner er tætnet ved anvendelse Butyltape. Fuldmembranen er af typen Icopal RMB 400, og er opbygget af tre lag polyethylen omkring et armeret multifibernet. Membranen er udlagt løst med overlæg på min. 150 mm. Overlæg er klæbet med Butyl Fugebånd.

Traditionelle rørgennemføringer er tætnet i forbindelse med selve udstøbningen af betonpladen, hvor betonen svøber sig omkring rørene. Tætnede rørgennemføringer er udført ved hjælp af færdigfremstillede gummimanchetter hvor det har været muligt (af hensyn til plads), og ellers tætning ved fugning med Weber Superflex D 2 - en fleksibel svummemørtel ofte anvendt som vådrumsmembran.

Ovenstående metoder til tætning er indgående beskrevet i det selvstændige projekt /45/. Yderligere er der foretaget radonsikring ved installation af ventilationsdræn i det kapillarbrydende lag i to huse; nr. 23 og 31. I forbindelse med udførelsen af undersøgelsen i nærværende projekt har ventilationsdrænene været deaktiverede. Udførelse af drænene er ligeledes indeholdt i /45/.

1.2.4.2 Geologi

I forbindelse med opførelsen af bygningerne på grunden, er der foretaget geotekniske boringer. Den geologiske rækkefølge er her blevet beskrevet og er indeholdt i /45/. Følgende afsnit er uddrag fra denne rapport.

Lokaliteten er beliggende i kote ca. +40,5 til +44,0 DVR90. Jordlagene på området består øverst af et ca. 0,5 m muld- og fyldlag. Herunder er der truffet et ca. 1,5 – 3 m tykt senglacialt flydelerlag med varierende indhold af sand og silt. Lerlaget underlejres af siltet og sandet glacialt moræneler til boringernes bund 4 – 5 m u.t. I enkelte boringer er der truffet sand- og gruslinser af varierende tykkelse. I to boringer er truffet jordlag med indhold af glimmerler og/eller – sand.

Der er truffet et terrænnært sekundært grundvandsmagasin på lokaliteten, beliggende i intervallet ca. 2,2 – 4,2 m u.t. Mægtigheden af den umættede zone er svagt faldende mod nordnordøst med den største afstand til det sekundære grundvandsspejl længst mod sydsydvest. Beliggenheden af det primære grundvandsmagasin kan ikke præciseres af mangel på lokale dyberegående boringer.

1.2.5 Lindevej 3

NIRAS har på vegne af privat henvendelse udført en byggeteknisk gennemgang med radonmålinger på ejendommen på Lindevej 3, Fredericia. Undersøgelsen er

foretaget idet radonmålinger i indeklimaet har vist forhøjede koncentrationer. Undersøgelsen er afrapporteret i en selvstændig rapport /50/.

1.2.5.1 Byggeteknik
Ejendommen på Lindevej 3, Fredericia, er et fritliggende enfamiliehus uden kælder opført i 1969. Gulvkonstruktionen er udført med nederst et kapillarbrydende lag overlejret af støbt beton med en tykkelse på ca. 10 cm. Betonen er overlejret af et isolerende lag af letklinker på ca. 10-20 cm tykkelse med et afretningslag af beton øverst. Tilstanden af betongulvet kendes ikke.

I soveværelse er der skåret et hul igennem gulvbelægning og afretningslag med henblik på at foretage en direkte undersøgelse af gulvkonstruktionen. I børneværelset er ligeledes skåret hul, dog kun gennem gulvbelægningen.

Der er mekanisk ventilation i køkken og badeværelse. Der er ikke installeret udeluftventiler i ejendommen.

På baggrund af de udførte undersøgelser på ejendommen i forbindelse med radonsituationen, er det vurderet, at den primære spredningsvej for poreluft til indeklimaet, forgår via rørgennemføringer og gennem betondækket både konvektivt og diffusivt. Sekundære spredningsveje vurderes at være hulmur og afløb.

1.2.5.2 Geologi
Der er ikke i forbindelse med rapporten foretaget en vurdering af den generelle geologi i området.

1.2.6 Lindevej 7

NIRAS har på vegne af privat henvendelse udført en byggeteknisk gennemgang med radon- og thoronmålinger på ejendommen på Lindevej 7 v. Horsens. Undersøgelsen er foretaget idet radonmålinger i indeklimaet, tidligere har vist forhøjede koncentrationer.

1.2.6.1 Byggeteknik
Ejendommen på Lindevej 7 er et fritliggende enfamiliehus uden kælder opført i 1969. Gulvkonstruktionen er udført med nederst et kapillarbrydende lag (leca, ca. 10 cm) overlejret af støbt beton med en tykkelse på 5 - 10 cm og herover 2-4 cm glatsleben flydebeton. Betonpladen er delvist revnet og ligger i dag synlig i hele stueplan.

Der er mekanisk ventilation i køkken og badeværelse. Der er ikke installeret udeluftventiler i ejendommen.

På baggrund af de udførte undersøgelser på ejendommen i forbindelse med radonsituationen, er det vurderet, at den primære spredningsvej for poreluft til indeklimaet er via rørgennemføringer og gennem betondækket både konvektivt og diffusivt. Sekundære spredningsveje vurderes at være hulmur og afløb.

1.2.6.2 Geologi
De terrænnære jordlag i området er primært morænelers aflejringer.

1.2.7 Skovløkken

NIRAS har på vegne af Bornholms Regionskommune, Teknik og Miljø, Kommunale ejendomme, den 8. oktober 2009 udført en byggeteknisk gennemgang inkluderende radonmålinger af kælder og underetage på

kommunens kontor på Skovløkken i Tejn /47/. Undersøgelsen er foretaget, idet tidligere radonmålinger foretaget i forbindelse med en omrokering af medarbejdere har vist forhøjede koncentrationer. Samtlige undersøgelser er afrapporteret i en selvstændig rapport /47/.

1.2.7.1 Byggeteknik

Den oprindelige bygning er opført i 1974 og der er siden opført 2 tilbygninger i 1985. Ejendommen er opført i tre plan. Kælderetagen består af 2 sikringsrum, 2 ingeniørgange, trappeopgang, vaskerum og fyrrum. Kabler og rør føres i ingeniørgangene. I begge gange er observeret utætte rørgennemføringer til den overliggende etage. Der er ved besigtigelsen observeret flere utætheder, revner og sprækker i kælderetagen.

På baggrund af den byggetekniske gennemgang udført i /47/ vurderes den primære indtrængningsvej til kælderen at ske via utætte samlinger langs gulvet og ydermuren. Desuden vurderes kloakbrønde i ingeniørgange og samlinger op mod disse, revner i terrændæk og lignende at udgøre betydelige indtrængningsveje for poreluft til indeklima.

For den overliggende etage vurderes det i /47/ at der sker en konvektiv indtrængning langs ydervæggen mod nord grundet utætte samlinger. Gulve i tilbygningen vurderes at være af ringere kvalitet end den oprindelige bygning grundet øget forekomst af radon i disse. Generelt vurderes at ske en betydelig spredning af radon fra kælderen til den overliggende etage, både via trappeopgang og via diffusion og konvektiv transport gennem etageadskillelsen.

1.2.7.2 Geologi

Der er ikke foretaget en vurdering af den generelle geologi i området.

1.3 Lokaliteter (delundersøgelser 2 og 3)

Nedenfor gives en detaljeret bygningsbeskrivelse af lokaliteterne benyttet i forbindelse med undersøgelserne i delundersøgelserne 2 og 3. I de tilfælde hvor der med afsæt i tidligere undersøgelser på lokaliteten er udført en byggeteknisk gennemgang, er denne refereret ved de for nærværende undersøgelses relevante punkter. Foreliggende undersøgelse tager afsæt i indtrængning af poreluft til en konstruktion, hvorfor der ved eventuelle referater fra tidligere undersøgelser lægges vægt på netop dette punkt.

Desuden er for hver lokalitet beskrevet områdets generelle geologi.

1.3.1 Peder Kællers vej (delundersøgelse 2)

Under delundersøgelserne 2 og 3 er foretaget undersøgelser med thoronmålinger på lokaliteten Peder Kællers vej i følgende husnumre; 15, 19, 21, 23, 24, 25, 27, 29 og 31. For beskrivelse af byggeteknik og generel områdegeologi henvises til afsnit 5.2.4.

1.3.2 Frederiksbjerg Torv 8 (delundersøgelse 3)

Ejendommen på Frederiksbjerg Torv 8, 8000 Århus C er kortlagt på vidensniveau 2. Årsagen er, at der har været renseri i stueetagen på Frederiksbjerg Torv 10 fra ca. 1960-1985, og at dette har givet anledning til forurening. I 2004 og 2006 er udført undersøgelser /28, 43, 44/ som har påvist en omfattende forurening med chlorerede opløsningsmidler i poreluft, jord og grundvand. Undersøgelserne og forslag til afværge er afrapporteret i en selvstændig rapport /28/. I forbindelse med /28/ er der den 5. og 6. september

2007 foretaget en byggeteknisk gennemgang af ejendommen Frederiksbjerg Torv 8. Følgende afsnit er udvalgte, og for nærværende projekt relevante, uddrag fra den byggetekniske gennemgang i afværgeprojektet samt den geologiske beskrivelse af nærområdet. For den komplette rapport henvises til /28/. En situationsplan for området for den udførte undersøgelser er inkluderet i bilag 2.3.

1.3.2.1 Byggeteknik

Ejendommen ligger på et areal, der skråner mod baneterrænet nordvest for lokaliteten. Der er kælder i ejendommen som strækker sig ind under Schleppegrellsgade 1. Udendørsarealerne omkring bygningen er befæstede.

Ejendommen på Frederiksbjerg Torv 8 er opført i 1901 og renoveret i 1994. I forbindelse med renoveringen er der etableret en aftrækskanal op gennem hele bygningen, som er koblet på en ventilationspumpe i et loftsrum ved 3. sal. Ejendommen (bortset fra kælder) anvendes til beboelse.

Kælderetagen på Frederiksbjerg Torv 8 (A) og Schleppegrellsgade 1 (B), kan holdes adskilt ved lukning af eksisterende kælderdøre. Kælderen er indrettet med (A) tørrerum, vaskeri, værksted og fordelingsrum og (B) cykelkælder, teknikrum samt flere pulterrum. Der er indgang til kælderens fordelingsrum via en udvendig trappe fra gården, samt indgang til kælder via trappenedgange fra Frederiksbjerg Torv 8 og Schleppegrellsgade 1. Rumopdelingen, placering af døre og vinduer, aftrækskanaler mv. fremgår af situationsplanen i bilag 2.3. På situationsplanen er desuden indtegnet målepunkter for thoron.

Kælderens lofthøjde er på 1,85 - 2,40 m. Lofterne er enten pudsede eller gipslofter. Ydervægge og murede indervægge vurderes at være opmuret i tegl og herefter pudset og malet.

Gulvene er i størstedelen af kælderen ældre betongulve med en del ujævnheder og smårevner. I værkstedet, fordelingsrummet samt et mindre pulterrum er der nyere betongulve. Gulvene er malede, som dog flere steder er slidt af. Tykkelsen af kældergulvet er ifølge tidligere undersøgelser ca. 8 – 10 cm /28/. Det har ikke været muligt på baggrund af de byggetekniske tegninger at bestemme bygningens funderingsforhold.

I tørrerummet er opstillet en affugter og der er ventilationsrist i væggen. Der er desuden afkast fra tørretumbler i vaskerummet gennem ydermuren. Afkast og ventilationsrist, samt alle vinduer og døre blev lukket til i forbindelse med de udførte thoronmålinger.

Under trappenedgangene fra Frederiksbjerg Torv 8 og Schleppegrellsgade 1 er der et lille og meget fugtigt rum. Det vurderes at betongulvene i disse rum er meget tynde.

I kælderen er i alt tre faldstammer. En i vaskerummet (FA1), en i pulterkammeret ved fordelingsrummet (FA2) og en i depotet (FA3). Samtlige faldstammer er nyere ø110 faldstammer. Der er gulvafløb i teknikrum og vaskerum. Der er ikke kloaklugt i kælderen. Den underjordiske del af kloaksystemet (afløb fra FA1 og FA2 og sammenløb ud til skelgrænse) er renoveret i 1994 i forbindelse med renovationen af bygningen.

Varme- og afløbsrør, gulvafløb og faldstammer mm. er afbildet på situationsplanen i bilag 2.3. Fotos fra den byggetekniske gennemgang er vedlagt i bilag 4.2.

1.3.2.2 Indtrængningsveje

På baggrund af den gennemførte bygningstekniske gennemgang og de udførte undersøgelser i /28/ er foretaget en vurdering af spredningsveje i bygningen. Relevante uddrag af denne vurdering er indeholdt i følgende afsnit. For den komplette beskrivelse henvises til /28/. Der er kun foretaget thoronmålinger i tre rum i kælderen (tørrerum, vaskerum og fordelingsrum), hvorfor indtrængnings- og spredningsveje relevante for blot disse tre er indeholdt i nedenstående beskrivelse.

Ejendommen på Frederiksbjerg Torv 8 er udstyret med kælder, hvilket muliggør en poreluftsindtrængning gennem gulve og vægge i kælderen. Gulve i kælderen er af varierende alder og tilstand, men vurderes i /28/ at være af generelt rimelig god stand. Gulvet i trapperummet virker dog tyndere end det resterende gulv i ejendommen. Ved undersøgelserne i forbindelse med /28/ blev fundet forhøjet udslag ved ppbRAE målinger i trapperummet. Indtrængning af poreluft fra jorden kan således spredes via trapperum til det tilstødende fordelingsrum igennem eks. dør og – karm.

Der vurderes samlet set primært at ske en diffusiv indtrængning af poreluft gennem vægge og gulv, men en konvektiv transport kan ikke udelukkes.

Den underjordiske del af kloaksystemet fra faldstammen FA1 er renoveret i 1994, og det vurderes på baggrund af dette, at transport af poreluft fra jorden gennem eks. utætte samlinger er begrænset. Desuden optræder der ikke kloaklugt i ejendommen. En sådan lugt er ofte indikator på lækager og utætheder mellem bygning og kloaksystem.

Aftrækskanalen, som blev installeret ved renovationen i 1994, er udluftet over tagryggen, og vil derfor give undertryk. Aftrækskanalen, som er en udluftning af kloakken, vurderes derfor at give anledning til øget konvektiv/diffusiv indtrængning til kloaksystemet i bygningen.

1.3.2.3 Geologi

Der er i forbindelse med tidligere udførte undersøgelser på ejendommen /28, 43, 44/ foretaget en overordnet geologisk beskrivelse af området, på baggrund af udførte boringer i nærområdet. Placering af boringer samt boringsbeskrivelser er indeholdt i de selvstændige rapporter.

Lokaliteten er beliggende i ca. kote +14 DVR90. Geologien i området er generelt leret fra terræn ned til ca. 5 m u.t. med varierende indhold af sand og grus. Herunder træffes et sandlag som ikke er gennemboret ved 8 m u.t. Sandlaget er stedvis leret og/eller siltet i varierende grad. Der er truffet et lavtydende vandførende sandlag i 2 boringer på lokaliteten, som vurderes at tilhøre et sekundært grundvandsmagasin med vandspejl ca. 6 m u.t.

1.3.3 Østergade 5B (delundersøgelse 3)

Ejendommen på Østergade 5B, 7860 Spøttrup er kortlagt på vidensniveau 2. Årsagen er, at der har været elværk på ejendommen i en periode fra ca. 1914 til 1960 og dette har givet anledning til forurening. I 2008 er udført undersøgelser som har påvist en forurening med bl.a. kulbrinter, bly og PAH'er i poreluft, jord og overfladejord. Undersøgelserne er afrapporteret i en selvstændig rapport /29/. En situationsplan for den udførte undersøgelser er inkluderet i bilag 2.4.

1.3.3.1 Byggeteknik

På baggrund af den eksisterende redegørelse i /29/ samt en gennemgang af ejendommen Østergade 5B foretaget den 28. april 2010 i forbindelse med

nærværende rapport er der udarbejdet en byggeteknisk beskrivelse. Beskrivelsen er afrapporteret i følgende afsnit.

Ejendommen på Østergade 5B blev opført i 1914. Frem til ca. 1960 har der været elværk, hvorefter der blev etableret bolig på ejendommen. Boligen blev etableret i de eksisterende bygninger, og er en etplans villa med loft. I forbindelse med at arealanvendelsen blev ændret er der installeret fjernvarme. I 1969 blev der ved den nordøstlige gavl opført en tilbygning med køkken, baggang og badeværelse. Elværket, som var et jævnstrømsanlæg, anvendte flere motorer og batterier som var placeret i bygningen.

Fundamentsdybder og -typer er ukendte. Ejendommen er opført i røde mursten med eternittag. Fotos fra den byggetekniske gennemgang er vedlagt i bilag 4.3.

Gulvkonstruktionen består af betongulve etableret på en sandpude, med undtagelse af entréen, hvor gulvet er opbygget af letklinkerblokke, med fugede mellemrum. Fugerne mellem letklinkerblokkene mangler flere steder. Tykkelsen af betongulvene er varierende, idet de tidligere motorgrave er fyldt op med beton. Hvor der ikke findes motorgrave, estimeres tykkelse af betongulvet til ca. 5 cm. Gulvtykkelsen er vurderet på baggrund af gennemboring af gulvene i forbindelse med opsætning af en trykdifferensmåler. Kvaliteten og standen (revner mv.) af betongulvene er dårlig. I de rum hvor det har været muligt at fjerne gulvbelægningen (de to stuer og det tidligere kontor), er der påvist store gennemgående revner. Det har ikke været muligt at fjerne gulvbelægningen i de to værelser i den oprindelige bygning, men det vurderes at gulvene er i samme stand som i den resterende del af bygningen. I den nordøstlige tilbygning fra 1969, som er etableret med betongulve, kendes betongulvenes kvalitet heller ikke. Det vurderes dog at disse er i bedre stand end gulvene i den oprindelige del af bygningen.

Der blev ved gennemgangen observeret sætningsskader på flere vægge, bl.a. i badeværelset, se bilag 4.3. De revner der blev påvist i betongulvet i de to stuer var forsøgt repareret med beton. Reparationen var særdeles mangelfuld, og revnerne gennembryder gulvet i flere tilfælde. Revnevidden var op til ca. 5 mm. Der er desuden fundet revner og skader ved rørgennemføringer for radiatorer.

Badeværelse og køkken er indrettet med mekanisk ventilation. I forbindelse med den byggetekniske gennemgang blev radiatorerne og den mekanisk ventilation i køkkenet og badeværelset tændt.

1.3.3.2 Indtrængningsveje

På baggrund af den gennemførte bygningstekniske gennemgang og de udførte undersøgelser i /29/ samt undersøgelser udført i forbindelse med /42/ er foretaget følgende vurderinger af indtrængnings- og spredningsveje i bygningen.

I stueetagen er bygningen udført med en gulvkonstruktion af betongulve, bortset fra entréen som er udført af letklinkerblokke (se bilag 1). På baggrund af den byggetekniske gennemgang, vurderes det, at gulvkonstruktionen i størstedelen af bygningen er udført på et kapillarbrydende lag af sand. I den nordøstlige tilbygning fra 1969, som er etableret med betongulve, kendes betongulvenes kvalitet ikke, det vurderes dog at disse er i bedre stand end gulvene i den oprindelige del af bygningen.

Entréen med gulvkonstruktion af betonblokke direkte på jord muliggør en direkte poreluftsindtrængning igennem gulvene. De resterende betongulve i ejendommen forventes at være revnet på baggrund af visuel inspektion og screening. Der er desuden fundet revner og skader ved rørgennemføringer for radiatorer.

Samlet set vurderes der at ske en diffusiv indtrængning af poreluft til bygningen gennem betongulvene. Endvidere vurderes det at der sker en væsentlig konvektiv spredning gennem revner og utætte rørgennemføringer til den oprindelig del af bygningen. De utætte fuger i letklinkerblokkene i entréen vurderes desuden at udgøre en konvektiv indtrængningsvej for poreluft til indeklimaet. Da gulvet i tilbygningen er af bedre kvalitet end det resterende gulv vurderes det således at den konvektive transport op igennem gulvet i dette område vil være mindre.

Generelt vurderes gulvene i ejendommen at være af så dårlig kvalitet at de ikke yder nogen væsentlig tilbageholdelse overfor indtrængende poreluft og den underliggende forurening.

I forbindelse med undersøgelserne omtalt i /42/ er konstateret forhøjede koncentrationer af forureningskomponenter ved elinstallationer i vægge samt ved vindueskarme. På baggrund heraf vurderes det, at bygningens hulmur også udgør en spredningsvej for indtrængende poreluft.

1.3.3.3 Geologi

I forbindelse med /29/ er der udført i alt 9 boringer. Placering af boringer samt boringsbeskrivelser er indeholdt i undersøgelsesrapporten. Der er i rapporten givet en generel geologisk beskrivelse af området for lokaliteten på basis af geologiske basisdatakort og jordprøver fra boringerne.

Lokaliteten er beliggende i ca. kote +32 DVR90. Geologien i området består generelt af ca. 25 m moræneler underlejret af ca. 15 m morænesand. Det primære grundvandsspejl er beliggende ca. 12 m u.t. Boringerne udført i forbindelse med forureningsundersøgelsen viser generelt ler med vekslende indhold af sand og grus. Herunder træffes i flere boringer et sandlag af varierende mægtighed og med stedvise indslag af ler og/eller silt. Der er truffet et sekundært grundvandsmagasin i ca. 3,5 m u.t.

Resumé

Der er foretaget indledende metodeudvikling og specifik metodeafprøvning på et antal forurenede grunde. Thoron, som er en isotop af radon, har en kort halveringstid. Når der måles thoron ved en potentiel indtrængningsvej, er det derfor et udtryk for, at der sker en indtrængning af poreluft, som er drevet af undertryk i bygningen. Metoden vurderes at være velegnet. Det anbefales, at der udføres differenstrykmålinger over gulvet sammen med thoronmålingerne.

Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Strandgade 29
DK - 1401 København K
Tlf.: (+45) 72 54 40 00

www. mst.dk