Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Radonsikring i nybyggeri, dokumentation og teknologiudvikling

Miljøprojekt nr. 1444

Titel:

Radonsikring i nybyggeri, dokumentation og teknologiudvikling

Redaktion:

Lærke Breddam Overgaard
Jesper Bruun Petersen
Mette Neerup Jeppesen
NIRAS

Udgiver:

Miljøstyrelsen
Strandgade 29
1401 København K
www.mst.dk

År:

2012

ISBN nr.

978-87-92903-54-9

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 9

SAMMENFATNING OG KONKLUSION 11

SUMMARY AND CONCLUSIONS 16

1 INDLEDNING 19

1.1 BAGGRUND FOR PROJEKTET 19
1.2 FORMÅL 19
1.3 OVERORDNET PROJEKTBESKRIVELSE 20
1.3.1 Delprojekt 1 *20*
1.3.2 Delprojekt 2 *21*
1.3.3 Delprojekt 3 *21*
1.4 LÆSEVEJLEDNING *22*

2 GENERELLE PROBLEMSTILLINGER 24

2.1 RADONKONCENTRATIONER I PORELUFTEN 24
2.1.1 Emanation af radon *24*
2.1.2 Transport af radon i poreluften *25*
2.2 RADONKONCENTRATIONER I INDEKLIMAET 28
2.2.1 Variationer i indeklimaets radonkoncentration *28*
2.2.2 Årsmiddelværdier og sæsonkorrektion *29*
2.2.3 Forskelle i anvisninger BR-S 98 til BR2010 *30*

3 RADONSIKRINGSMETODER 32

3.1 MULIGE METODER TIL TÆTNING (DELPROJEKT 1A) 32
3.1.1 Tætning langs fundamenter *33*
3.1.2 Tætning omkring rørgennemføringer *37*
3.1.3 Tæthed i selve betonpladen *37*
3.2 VALGTE METODER TIL TÆTNING (DELPROJEKT 1A) 38
3.2.1 Kantmembran over beton *39*
3.2.2 Kantmembran under beton *39*
3.2.3 Fuld membran *39*
3.2.4 Traditionelle rørgennemføringer *40*
3.2.5 Tætnede rørgennemføringer *40*
3.3 MULIGE METODER TIL VENTILATION UNDER GULV (DELPROJEKT 1B) 40
3.3.1 Passiv ventilation med luftindtag *40*
3.3.2 Aktiv ventilation med luftindtag *41*
3.3.3 Aktiv ventilation uden luftindtag *42*
3.4 VALGTE METODER TIL VENTILATION (DELPROJEKT 1B) 43
3.4.1 Passiv ventilation i det kapillarbrydende lag (Horsens) *44*
3.4.2 Passiv ventilation i det kapillarbrydende lag (Århus) *45*
3.5 PRAKTISKE ERFARINGER FRA ANLÆGSFASEN 46
3.5.1 Gennemført planlægning, tilsyn, interview mv. (delprojekt 1) *46*
3.5.2 Sammenfatning af praktiske erfaringer *46*

4 LABORATORIEFORSØG (DP2) 51

4.1 FORMÅL OG BAGGRUND 51
4.2 VALG AF METODER TIL LABORATORIEFORSØG 51
4.3 METODE BESKRIVELSE 52

4.3.1 Forsøgskammer *52*
4.3.2 Sporgas *53*
4.3.3 Måleudstyr *53*
4.4 FORSØGSBESKRIVELSE 55
4.4.1 Prøveemner og materialebeskrivelse *55*
4.4.2 Forsøgsprogram *59*
4.5 FORSØGSRESULTATER OG VURDERINGER 59
4.5.1 Hel ubrudt betonplade (prøveemne 1) *59*
4.5.2 Traditionel omstøbt rørgennemføring (prøveemne 2) *59*
4.5.3 Fugetætnet rørgennemføring (prøveemne 3) *60*
4.5.4 Rørgennemføring i fuld membran (prøveemne 4) *60*
4.5.5 Kantmembran over betonpladen (prøveemne 5) *61*
4.5.6 Kantmembran under betonpladen (prøveemne 6) *61*
4.5.7 Metodeevaluering *62*
4.6 SAMMENFATNING 62

5 RADONPOTENTIALET (DP3) 64

5.1 FORMÅL OG BAGGRUND 64
5.2 VALG AF METODE OG METODEBESKRIVELSE 65
5.3 METODEBESKRIVELSE 65
5.3.1 Geologiske undersøgelser *65*
5.3.2 Udstyrsbeskrivelse (radonmåling) *65*
5.3.3 Måleprincipper (radonmåling) mv. *66*
5.4 RESULTATER 68
5.4.1 Områdets geologi *68*
5.4.2 Radonindhold i jord (horisontalt og vertikalt) *69*
5.4.3 Korrektion pga. skiftende atm. tryk og grundvandsstand *72*
5.4.4 Radonindhold i indeklima kontra koncentration i jord *74*
5.4.5 Metodeevaluering *75*
5.5 SAMMENFATTENDE KONKLUSION 76

6 FELTUNDERSØGELSER (DP1A) 78

6.1 FORMÅL 78
6.2 LOKALITETSBESKRIVELSE 78
6.2.1 Overordnet *78*
6.2.2 Specifikt vedrørende ubeboede huse *80*
6.2.3 Specifikt vedrørende andelsboliger *80*
6.3 UNDERSØGELSESMETODER 81
6.3.1 Radonindeklimamålinger (dosimetre) *82*
6.3.2 Lækagesporingsmålinger (thoronmålinger) *82*
6.4 UNDERSØGELSESPROGRAM 85
6.5 RESULTATER 86
6.5.1 Radonindeklimamålinger *86*
6.5.2 Lækagesporingsmålinger (thoron) *90*
6.6 VURDERINGER 90
6.6.1 Radontæthed i forskellige hustyper *91*
6.6.2 Sammenfatning *99*
6.6.3 Metodeevaluering (dosimeter og thoron) *103*

7 FELTUNDERSØGELSER (DP1B) 105

7.1 FORMÅL OG BAGGRUND FOR UNDERSØGELSE 105
7.2 BESKRIVELSE AF LOKALITETERNE 106
7.2.1 Peder Kællers Vej, Horsens *106*
7.2.2 Frederiksbjerg Torv, Århus *106*
7.2.3 Odensevej, Langeskov *107*
7.3 UNDERSØGELSESMETODER 108

7.3.1 Radonlogninger (over/under gulv) *109*
7.3.2 Meteorologiske forhold, indetemperatur, trykdifferens mv. *110*
7.3.3 Temperaturmålinger *110*
7.4 UNDERSØGELSESPROGRAM 111
7.5 RESULTATER 112
7.5.1 Radonlogning, vejrdata, trykdifferens mv. *113*
7.5.2 Temperaturmålingerne *114*
7.6 VURDERINGER 115
7.6.1 Effekt af ventilation *115*
7.6.2 Metodeevaluering (radonlogninger) *125*
7.6.3 Temperaturpåvirkninger *126*
7.7 SAMMENFATNING 126
7.7.1 Effekt af ventilation *127*
7.7.2 Temperaturpåvirkning *128*
8 REFERENCELISTE 129

BILAGSFORTEGNELSE:

BILAG 1: Oversigtsplaner
- BILAG 1.1: Overordnet situationsplan, Peder Kællers vej
- BILAG 1.2: Geotekniske boringer, Peder Kællers vej.
- BILAG 1.3: Plantegning 123,7 m^2, Peder Kællers vej, stor hustype.
- BILAG 1.4: Plantegning 99,6 m^2, Peder Kællers vej, lille hustype.

BILAG 2: Foranstaltninger mod radonindtrængning
- BILAG 2.1: Situationsplan med hustyper, Peder Kællers vej.

BILAG 3: Fotodokumentation (delprojekt 1)
- BILAG 3.1: Hustype 1.
- BILAG 3.2: Hustype 2.
- BILAG 3.3: Hustype 3.
- BILAG 3.4: Hustype 4.
- BILAG 3.5: Hustype 5.

BILAG 4: Produktblade (delprojekt 1)
- BILAG 4.1: Vådrumsmembran, Weber Superflex D 2
- BILAG 4.2: Icopal radonmembran RMB 400
- BILAG 4.3: Rotek SupaVent vindhætte
- BILAG 4.4: Icopal murfolie RG

BILAG 5: Radonindeklimamålinger (delprojekt 1a)
- BILAG 5.1: Radon i boliger, målerunde 1.
- BILAG 5.2: Radon i boliger, målerunde 2.
- BILAG 5.3: Radon i boliger, målerunde 3.
- BILAG 5.4: Radon i boliger, samlet gennemsnit.

BILAG 6: Lækagesporingsmålinger (delprojekt 1a)
- BILAG 6.1: Thoron målepunkter, lille hustype (99,6 m^2).
- BILAG 6.2: Thoron målepunkter, stor hustype (123,7 m^2).
- BILAG 6.3: Thoronmålinger, hustype 1.
- BILAG 6.4: Thoronmålinger, hustype 2.
- BILAG 6.5: Thoronmålinger, hustype 3.
- BILAG 6.6: Thoronmålinger, hustype 4.
- BILAG 6.7: Thoronmålinger, hustype 5.
- BILAG 6.8: Thoronmålinger, tabeloversigt.
- BILAG 6.9: Thoronmålinger, samlet oversigt.
- BILAG 6.10: Thoron; målepunkter og grafer.

BILAG 7: PFT-sporgasmålinger
- BILAG 7.1: PFT-sporgasmålinger.
- BILAG 7.1: PFT-sporgasmålinger, Næstved og Horsens.

BILAG 8: Passive ventilationsdræn i det kapillarbrydende lag
- BILAG 8.1: SAB, indbygning af ventilationsdræn i gulvkonstruktion.
- BILAG 8.2: Plantegning, Peder Kællers vej 23.
- BILAG 8.3: Plantegning, Peder Kællers vej 31.
- BILAG 8.4: Plantegning 1, Frederiksbjerg Torv 10.
- BILAG 8.5: Plantegning 2, Frederiksbjerg Torv 10.
- BILAG 8.6: Plantegning, Odensevej 14.

BILAG 9: Radonmålinger (delprojekt 1b)
BILAG 9.1: Målerunde 1, Peder Kællers vej 23.
BILAG 9.2: Målerunde 2, Peder Kællers vej 23.
BILAG 9.3: Målerunde 1, Peder Kællers vej 31.
BILAG 9.4: Målerunde 2, Peder Kællers vej 31.
BILAG 9.5: Målerunde 1, Frederiksbjerg Torv 10.
BILAG 9.6: Målerunde 2, Frederiksbjerg Torv 10.
BILAG 9.7: Meteorologiske undersøgelser, delprojekt 1b.

BILAG 10: Laboratorieforsøg (delprojekt 2)
BILAG 10.1: Billeder fra udførelsen af forsøgsemner og laboratorietests.

BILAG 11: Radonpotentiale (delprojekt 3)
BILAG 11.1: Radon i jord, korrigeret DOSEman.
BILAG 11.2: Radon i jord, ikke korrigeret DOSEman.
BILAG 11.3: Radon i jord, Markus 10.
BILAG 11.4: Geologiske snit, plantegning.
BILAG 11.5: Geologiske snit, snit 4
BILAG 11.6: Geologiske snit, snit 6

BILAG 12: Temperaturmålinger i ventileret terrændæk
BILAG 12.1: Temperaturmålinger, Odensevej 14.
BILAG 12.1: PFT-sporgasmålinger, Odensevej 14.

BILAG 12: Dæmpningsfaktorer
BILAG 13.1: Dæmpningsfaktorer, Peder Kællers vej 23 og 31

Forord

Denne rapport er resultatet af et projekt gennemført for Kuben, finansieret på baggrund af en bevilling fra BoligfondenKuben og andre sponsorer. Samtlige projektaktiviteter er udført af NIRAS A/S med deltagelse af Statens Byggeforskningsinstitut som sparringspartner.

Projektet har haft en følgegruppe, der har deltaget i udarbejdelse af projektbeskrivelser og kommentering af statusrapporter samt drøftelser om den afsluttende formidling af projektresultaterne. I følgegruppen har deltaget følgende personer i varierende omfang:

- *Eksperter.* Claus Andersen, (Forskningscenter RISØ). Kaare Ulbak (Statens Institut for Strålebeskyttelse, SIS). Jørgen M. Andersen/Torben Valdbjørn Rasmussen (Statens Byggeforskningsinstitut, SBi)
- *Producenter og udførende.* Klaus L. Røder (Icopal), Niels Strange (Dansk Byggeri), Claus Jørgensen (Sundolitt), Torben Henriksen (Weber A/S)
- *Projekterende mv.* Søren Østergaard (Kuben), Poul Erik Christoffersen (Kuben Byg A/S), Jeppe Nielsen (Dansk Boligbyg), Søren Ibsen (Tri-Consult), Lars Kvist (Danske Arkitekter).
- *Myndigheder.* Børge Hvidberg (Region Midtjylland)

Der rettes en særlig tak til følgende medfinansierende sponsorer af projektet. Sponsorerne har jf. nedenstående bidraget enten økonomisk og/eller ved anden form for økonomisk deltagelse:

- *BoligfondenKuben.* Hovedsponsor af projektet og undersøgelser.
- *Weber A/S.* Medfinansiering af undersøgelser for ventilation i det kapillarbrydende lag. Levering af Leca til huse med ventilationsdræn. Levering af tætningsmateriale (manchetter og fugemasse) til tætte rørgennemføringer.
- *EPS sektionen under Plastindustrien i Danmark.* Medfinansiering af diverse undersøgelser. Finansiering af undersøgelsen med temperaturmålinger i ventileret dæk. Levering af gulvisoleringsmateriale til forsøgshuse.
- *Icopal a/s.* Medfinansiering af undersøgelser. Levering og etablering af fuld membran i et hus. Levering af kantmembran til forsøgshuse.
- *Miljøstyrelsen.* Medfinansiering af undersøgelser for passiv ventilation dokumenteret ved radonmålinger.
- *VIA University College.* Indkøb af måleudstyr til radonmåling i jord. Indkøb af udstyr til logning over og under gulv.
- *Ingeniørhøjskolen i Århus.* Indkøb af måleudstyr til sporgasmåling ved laboratorieforsøg.

En del af projektaktiviteterne er gennemført ved hjælp af ulønnede studerende under vejledning og sparring fra NIRAS, og der rettes ligeledes en særlig tak til:

- *VIA University College*, v. studerende Christian Aaberg og Kasper Storgaard (delprojekt 3) samt lektor Inga Sørensen.
- *Ingeniørhøjskolen i Århus*, v. Esben Veldt Larsen og Jacob Bryder samt lektor Arne Førland-Larsen (delprojekt 2).

Sammenfatning og konklusion

Projektet er gennemført i tre selvstændige delprojekter, hvor delprojekt 1 er hovedprojektet. De 3 delprojekter omhandler følgende;

- *Delprojekt 1*. Feltafprøvninger af radontætheden i forskellige gulvkonstruktioner (1A) og effekten ved passiv ventilation af det kapillarbrydende lag (1B). Afprøvningen er udført i forbindelse med nyopførelse af et boligbyggeri på 16 boliger ved Horsens (primært) og 7 nyligopførte stueplanslejligheder (sekundært).
- *Delprojekt 2*. Laboratorieforsøg til kontrol af materiale-/konstruktionstæthed. Et udvalg af de konstruktionsdetaljer, der feltafprøves i delprojekt 1a, testes i laboratorium. Projektet er gennemført som et afgangsprojekt fra Ingeniørhøjskolen i Århus.
- *Delprojekt 3*. Kortlægning af radonpotentialet/-variationen på et afgrænset område. Variationen i radonindholdet i poreluften testes på byggegrunden forud for feltafprøvning i delprojekt 1. Poreluftmålinger anvendes til at bestemme radonbelastningen på byggegrunden. Projektet er gennemført som et afgangsprojekt fra Via University College i Horsens.

Delprojekt 1A (feltafprøvning af tæthed)
I delprojekt 1 er tætheden i 6 forskellige hustyper undersøgt (i alt 23 huse). De undersøgte hustyper er følgende;

- Fuld membran samt tæt rørgennemføring
- Kantmembran ført under betondæk og tætnet rørgennemføring
- Kantmembran ført over betondæk og tætnet rørgennemføring
- Kantmembran ført under betondæk og alm. rørgennemføring
- Kantmembran ført over betondæk og alm. rørgennemføring
- Sammenstøbt gulv og fundament (ingen kantisolering)

Undersøgelsen rummer dels en praktisk erfaringsopsamling (hvad sker der på byggepladsen) og dels målinger i de færdigbyggede huse.

Det er fra start valgt at inddrage den praktiske erfaringsopsamling på linie med dokumentationsmålingerne. Dette med baggrund i at den praktiske udførelse spiller en altafgørende rolle for de opnåede resultater i forhold til tæthed af konstruktionen. I særdeleshed da radonsikrende tiltag ikke har stort fokus i dansk byggeri.

De praktiske studier i delprojektet påpeger, ikke overraskende, at der i anlægsfasen er stor risiko for fejl i forbindelse med implementering af de radonsikrende tiltag og for at tiltagene efterfølgende forsømmes af forskellige entrepriser. Ved de gennemførte dokumentationsmålinger ses eksempelvis overraskende den største indtrængning i huset med fuld membran. I dette projekt vurderes det usandsynligt at der er sket perforering af den fulde membran i anlægsfasen, idet udførelsen er udført af certificerede irske håndværkere. Der er derimod risiko for, at den fulde membran efterfølgende er negligeret af øvrige entrepriser.

Endvidere indikerer undersøgelserne, at udlægning af kantmembranen over betondækket (hustype 3 og 5) ikke yder den samme tæthed, som når membranen udlægges og foldes ned under betonpladen. Også her spiller montage i anlægsfasen og efterfølgende behandling af membranen sandsynligvis en væsentlig rolle for de opnåede effekter.

Endvidere tyder meget på, at utætheder ved rørgennemføringer kan have afgørende betydning. Særligt de mange gennemføringer, der i de aktuelle huse forekommer i teknikskabet i bryggerset, vurderes at udgøre en væsentlig spredningsvej. Spredningen langs rørgennemføringerne i teknikskabet påvises i såvel de huse, hvor der er foretaget særlig tætning, som de huse, hvor gennemføringen er udført på almindelig vis. Den valgte tætningsløsning tyder således ikke på at være tilstrækkelig, når mange rør gennemføres samme sted.

Sammenholdes de påviste radonindhold i indeklimaet i de undersøgte huse med tidligere undersøgelser findes ikke én bolig i denne undersøgelse med koncentrationer under, eller på niveau med, det gennemsnit for danske enfamiliehuse bygget efter 1998 som blev fundet i /26/. Da de valgte løsninger til afprøvning i dette projekt netop er løsninger, der typisk anbefales i byggeriet, er dette noget overraskende. Spørgsmålet er, om de i /26/ fastsatte gennemsnitsværdier er repræsentative, om forventningerne til tætheden for de foreskrevne løsninger er for høje, eller om særlige forhold gør sig gældende på den undersøgte grund. Der er dog intet, der peger på, at sidstnævnte skulle være tilfældet.

Af samtlige 16 boliger er der i 8 fundet årsmidlede stuekoncentrationer over 100 Bq/m^3, hvilket konstituerer det maksimalt anbefalede radonniveau for nybyggede huse jf. Bygningsreglementet 2010 (BR2010).

Delprojekt 1B (Ventilation i det kapillarbrydende lag)

Effektiviteten af passiv ventilation i det kapillarbrydende lag er undersøgt i tre boliger.

Ved de gennemførte undersøgelser påvises reduktioner i indeklimapåvirkningen på mellem 20 og 42 %. I en enkelt målerunde påvises lavere effekt, men målingerne her vurderes ikke at kunne anvendes for en direkte tolkning af mulige effekter.

Der påvises endvidere reduktioner i koncentrationen under gulv på mellem 40 og 99,6 %.

Sammenfattende vurderes der opnået ganske betragtelige reduktioner i radonpåvirkningen i de undersøgte boliger ved at etablere en passiv ventilation af det kapillarbrydende lag.

Delprojekt 2 (laboratorieforsøg til kontrol af tæthed)

Der er i delprojekt 2 udviklet en forsøgsopstilling, der kan anvendes til at måle, hvor stor en mængde gas der slipper gennem en given konstruktionsdetalje ved kendt trykdifferens og gaskoncentration.

I forsøget er det diffusive bidrag negligeret /12/, og undersøgelsen giver derfor kun et indblik i tætningsmaterialernes modstandsdygtighed over for advektiv strømning.

Med baggrund i de gennemførte forsøg konkluderes det, at den relativt billige tætningsmetode, hvor rørgennemføringer tætnes med en simpel vådrumsfuge (silikonefuge), er den mest effektive af de tre undersøgte rørgennemføringer.

Vådrumsfugen konkluderes at være en effektiv måde simpelt at hæmme advektive indtrængningsveje på. Konstruktionsdetaljen med tætning ved tophat og fuld membran er i det gennemførte forsøg kun halvt så effektiv som vådrumsfugen, men giver dog alligevel en betydelig sænkning af gasindtrængning i forhold til detaljen udført uden sikring.

I forsøget konkluderes endvidere, at der ikke er umiddelbart forskel på de to membranløsninger til sikring mod indtrængning ved kuldebroisoleringen.

Den primære ressource for gennemførelsen af forsøgene har været to afgangsstuderende fra Ingeniørhøjskolen. Det samlede projektet er gennemført over en periode af ca. 5 måneder. Ved evalueringen af forsøgene konkluderes bl.a., at forsøg samlet set vurderes at være forløbet tilfredsstillende. Det vurderes dog relevant at foretage række forbedringer i opstillingen, såfremt der planlægges gennemført opfølgende forsøg. Endvidere bør der foretages flere gentagne målinger for de enkelte opstillinger, før der kan drages endelige konklusioner.

Delprojekt 3 (radonpotentiale i jord)

Der er i forbindelse med delprojekt 3 på et indledende niveau forsøgt foretaget en kortlægning af radonpotentialet (mængden af radon, der frigives fra jorden) på den lokalitet, hvor feltarbejdet for delprojekt 1 gennemføres.

Den primære del af undersøgelsen har bestået i at udvikle og afprøve en metode, hvor der foretages "en passiv måling" ved nedsænkning af måleudstyr i 1 m dybe boringer. Metoden har den fordel at være velegnet til måling i lavpermeable jordlag, hvilket er et fremskridt i forhold til tidligere metoder, hvor poreluften skal ekstraheres, før der kan foretages måling. Ekstraktion kan være vanskelig i lavpermeable jordlag (ler og lign) og derved også fejlbehæftet. Samtidig er det særligt i de lavpermeable jordlag, at radonindholdene er højest, og der kan derfor være ønske om at foretage måling.

Ved de gennemførte undersøgelser påvises særligt markante udslag ved måling i jordarter indeholdende tertiært ler (sort, glimmerholdig). Den i øvrigt mere beskedne variation i radonindholdet i området vurderes primært at skyldes en samtidigt begrænset geologisk variation i de undersøgte aflejringer.

Sammenlignes den "passive målemetode" med tidligere anvendte "aktive målinger", vurderes det, at der ved den passive måling tilnærmelsesvis opnås et udtryk for radonbelastningen gennemsnitligt for målepunktsprofilet, hvorimod aktive målinger i højere grad alene er et udtryk for belastningen i et niveauspecifikt punkt (x m u.t.). Umiddelbart vurderes det mest fordelagtigt at anvende gennemsnitsmålinger frem for punktmålinger, da eksempelvis helt lokale forekomster af materiale med høj radonafgivelse kan resultere i misvisende resultater, når den samlede belastning ønskes undersøgt.

Ved den samlede evaluering af undersøgelserne konkluderes der at være opnået tilfredsstillende resultater. Det anbefales dog, som for laboratorieforsøgene, at foretage en række forbedringer omkring det anvendte måleudstyr, såfremt der planlægges gennemført opfølgende undersøgelser, og også her bør

der foretages flere gentagne målinger, før der kan drages endelige konklusioner.

Summary and conclusions

The project is carried out as three separate subprojects, with subproject 1 as the principal project. The three subprojects are described below:

- *Subproject 1.* Field tests of radon penetration of different floor designs (1A) and the effect of passive sub slab ventilation (1B). The testing has been performed during the construction of a residential development of 16 homes near the town of Horsens (primarily) and 7 recently constructed ground floor apartments (secondarily).
- *Subproject 2.* Laboratory tests of material and design permeability. A selection of the design details field tested in subproject 1A is tested in a laboratory. The project is conducted as a graduation project at the Engineering College of Aarhus.
- *Subproject 3.* Mapping of the radon potential and variation of a defined area. Variations of soil gas radon content are tested prior to subproject 1. Soil gas measurements are used to determine the radon potential of the building site. The project is conducted as a graduation project at VIA University College of Horsens.

Subproject 1A (field tests of radon penetration)
In subproject 1, the resilience to radon of six different house designs has been investigated (totalling 23 houses). The investigated house designs are:

- Full floor membrane and sealed service penetrations
- Radon cavity barrier placed below the slab, and sealed service penetrations
- Radon cavity barrier placed above the slab, and sealed service penetrations
- Radon cavity barrier placed below the slab, and standard service penetrations
- Radon cavity barrier placed above the slab, and standard service penetrations
- Combined base and slab (no thermal break)

The study includes both practical experiences (what happens on site) and radon measurements in the completed houses.

From the beginning it was decided to include the practical experiences along with documentary measurements, since the on site execution and installation care plays a crucial role in achieving an airtight construction. And in particular since radon proofing is often overlooked in Danish construction.

The practical study of the subproject points out, not surprisingly, a high risk of errors in implementing radon mitigation actions in the construction phase, and of subsequent disregard by various contractors. For instance the documentary radon measurements surprisingly show the greatest radon infiltration in the full floor membrane house design. It is assessed that perforation of the membrane during initial installation is improbable, since the installation was

conducted by a certified crew. However, there is a risk that the full membrane was subsequently neglected by other subcontractors.

Furthermore the investigations indicate that a radon cavity barrier placed above the concrete slab (house design 3 and 5) does not provide the same impermeability as a barrier placed below the slab. Again the installation process and subsequent treatment of the barrier is likely important in achieving an airtight design.

Moreover, it appears that leakages at service installations are of critical importance. The great number of service penetrations in the utility closets of the investigated houses is estimated to represent a significant intrusion pathway. Intrusion along these utility installations is detected in both house designs with sealed and standard service penetrations. This suggests that the selected methods of sealing are inadequate for utility closets.

When comparing the documentary radon measurements with earlier studies, not one home in this study has concentrations below or on par with the average found for Danish family homes built after 1998 in /26/. This is somewhat surprising, since constructions in this study were conducted based on standard building code. This begs the question whether the average of /26/ is representative, whether the expectations of building code described floor designs are too high, or whether special circumstances exist at this specific site. There is, however, nothing to indicate the latter to be the case.

In 8 of all 16 dwellings the annual average radon concentration was found above 100 Bq/m^3 which represents the recommended maximum concentration for new constructions in the Danish Building Code 2010.

Subproject 1B (sub slab ventilation)
The effect of passive ventilation in the sub slab capillary break layer has been studied in three houses.

The investigations demonstrate an indoor radon concentration reduction of 20-42%. A single set of measurements demonstrated less effect, but it has been assessed that these measurements are not valid for a direct interpretation of possible effects.

Furthermore, a sub slab radon concentration reduction of 40-99.6% has been demonstrated.

Overall it is assessed that considerable radon exposure reductions can be achieved by establishing passive ventilation of the sub slab capillary break layer.

Subproject 2 (laboratory tests of material and design permeability)
An experimental setup has been developed to measure the amount of gas penetrating a given structural detail at a known differential pressure and gas concentration.

In this experiment the diffusive contribution has been neglected /12/. The experiment therefore only provides an overview of the sealant's resistance to advective flow.

In the study it is concluded that the relatively inexpensive method of sealing service penetrations with silicone sealant is also the most effective method.

The silicone sealant is considered an effective means of hampering simple advective intrusion pathways and in this study proved twice as effective as service penetration membranes. The least effective method of sealing service penetrations was simple concrete casting.

In the study it is furthermore concluded that there is no immediate difference in the two radon cavity barrier solutions (above and below the slab).

The primary resources for the conduct of this study are graduate students from the Engineering College of Aarhus. The study was completed over a five-month period. The evaluation of the study concluded, inter alia, that the experiments had been satisfactory conducted. It would, however, be relevant to improve the setup for future follow-up studies. Moreover, repeated measurements should be conducted prior to final conclusions.

Subproject 3 (radon potential in soil)
At an introductory level it has been attempted to survey the radon potential (the amount of radon released from the soil) at the location of the construction of the subproject 1 residential development.

The main part of the study consisted of developing and testing a method of "passive sampling" by immersion of measuring equipment in 1 m deep drillings. This approach is suitable for measuring in low-permeable strata, which is advantageous to previous methods of sampling extracted soil gas. Extraction may be difficult in low-permeable soils (i.e. clay) and thus prone to flaws. Simultaneously, it is especially in the low-permeable soils that the radon levels are the highest, providing an incentive for conducting an investigation.

In the study significant radon levels were demonstrated in soil containing tertiary clay (black, micaceous). The incidentally limited variability in the radon levels of the area are considered primarily due to a simultaneous limited geological variation of the studied sediments.

In comparing the aforementioned passive approach with previous "active measurements", it is estimated that passive measurements obtain an approximate expression (average) of the radon level of the entire borehole profile, while soil gas extraction sampling merely expresses a concentration at a level specific point (x m below the surface). Average levels are readily considered advantageous, since purely local deposits of high radon content may result in a deceptive survey.

The evaluation of the study concluded that satisfactory results had been achieved. It would, however, be relevant to improve the setup for future follow-up studies (as with subproject 2) and conduct repeated measurements prior to final conclusions.

1 Indledning

1.1 Baggrund for projektet

I 1998 blev der i Bygningsreglementet for småhuse (BR-S 98) indført et krav om at sikre bygninger mod indtrængning af radon ved at gøre bygninger lufttætte mod jorden. Boliger på den primære lokalitet i dette projekt er bygget efter anvisningerne i BR-S 98.

Op til 350.000 danske boliger, eller 755.000 danskere, har radonkoncentrationer, der overstiger Verdenssundhedsorganisationen WHO's anbefalinger fra 2009 på 100 Bq/m^3 /22/. Disse anbefalinger har Erhvervs- & Byggestyrelsen valgt at følge ved publikationen af det ny BR2010. Anbefalingerne fra WHO, der udkom i september 2009, kom sideløbende med nye anbefalinger fra de nordiske strålingsmyndigheder, der anslår, at radon årligt er skyld i ca. 1.200 lungekræftdødsfald i Norden.

Radon er en naturligt forekommende ædelgas, der emanerer fra den naturlige jord, og som kan trænge ind i bygninger via konvektive og diffusive transportveje. Radon er radioaktivt og placerer radioaktive henfaldsstoffer i vores indeklima. Gennem indånding optages disse stoffer i luftveje og lunger og udsætter det omgivende væv for stråling. Radon er den vigtigste årsag til lungekræft blandt ikke-rygere og er mulig årsag til akut lymfatisk leukæmi – den hyppigste årsag til kræft hos børn. Derudover er radon mistænkt årsag til en række andre lidelser, herunder lungefibrose og multipel sklerose /2, 20, 21/.

I SBI anvisning 189 (anvisningen for Bygningsreglementet for småhuse) findes forslag til, hvordan terrændæk og kældergulve kan udføres lufttæt. Løsningerne i anvisningen er baseret på, at betondækket, der udstøbes oven på isoleringen mod jorden, er tæt over for radonindtrængning. Løsningerne baserer sig på sund fornuft, men er ikke komparativt afprøvet mod hinanden i praksis. Hovedformålet (delprojekt 1 og 2) med dette projekt er at teste udvalgte foranstaltninger mod indtrængning af radon og derved tilvejebringe en dokumentation af effekten for såvel kendte som nye metoder til hindring af radonindtrængning i boliger opført med terrændæk.

Det opfordres forinden gennemgangen af denne rapport, at studere læsevejledningen i afsnit 1.4. Delprojekterne i rapportens undersøgelsesdel er nummereret i henhold til den oprindelige ansøgning.

1.2 Formål

De overordnede mål med projektet er følgende:

- At tilvejebringe en dokumentation af effekten for såvel kendte som nye metoder/teknikker til hindring af radonindtrængning i boliger opført med terrændæk.

- At videregive den indsamlede viden på en sådan måde, at materialet evt. kan indgå som en del af grundlaget for fastlæggelse af nye retningslinier og standarder i Danmark og EU.

Målgruppen for projektet er myndigheder, projekterende, udførende og producenter.

1.3 Overordnet projektbeskrivelse

Projektet er inddelt i tre overordnede delprojekter, hvor delprojekt 1 er hovedprojektet.

- Delprojekt 1 (DP1). Feltafprøvninger af radontætheden i forskellige gulvkonstruktioner og effekten ved passiv ventilation af det kapillarbrydende lag. Afprøvningen udføres i forbindelse med nyopførelse af et boligbyggeri på 16 boliger ved Horsens.
- Delprojekt 2 (DP2). Laboratorieforsøg til kontrol af materiale-/konstruktionstæthed. Et udvalg af de konstruktionsdetaljer, der feltafprøves i delprojekt 1a, testes i laboratorium.
- Delprojekt 3 (DP3). Kortlægning af radonpotentialet/-variationen på et afgrænset område. Variationen i radonindholdet i poreluften testes på byggegrunden forud for feltafprøvning i delprojekt 1. Poreluftmålinger anvendes til at bestemme radonbelastningen på byggegrunden.

Indledningsvis er identificeret de i praksis oftest anvendte metoder til sikring mod indtrængning af radon. Hver enkelt metodes anvendelighed er vurderet for blandt andet tæthed, mulige årsager til svigt, detaljer omkring praktisk udførelse samt økonomi (se afsnit 3.1 for samtlige tætningsmetoder).

På baggrund af gennemgangen af de normalt forekommende sikringsmetoder er udvalgt et antal kombinationsmetoder (tætning, materiale mv.) til afprøvning. Alle de udvalgte metoder forventes at opfylde tæthedskravet. Der er udvalgt 5 metoder til nærmere feltundersøgelser (delprojekt 1) samt 6 metoder til undersøgelse i laboratorium (delprojekt 2). Ved udvælgelsen af tætningsmetoderne er der lagt stor vægt på metoder, der i praksis er enkle at udføre.

Målgruppen for projektet er myndigheder, projekterende, udførende og producenter.

Projektering, etablering og dataindsamling af radonundersøgelserne blev udført i perioden forår 2006 til februar 2010.

1.3.1 Delprojekt 1

På baggrund af de indledende vurderinger, laboratorieforsøg (delprojekt 2) og besigtigelser af forskellige metoder til sikring mod radonindtrængning er etableret et fuldskalaforsøg i en ny bebyggelse i Horsens. Herved kan sammenlignes forskellige sikringsmetoders effektivitet i færdige bygninger og dette på én fælles geografisk placering, hvor radonpotentialet og variationen er forundersøgt (delprojekt 3).

Projektet er undervejs blevet udvidet til også at omfatte undersøgelser af effekten af ventilation i det kapillarbrydende lag, som en del af radonsikringen. Undersøgelsen er økonomisk støttet af Weber A/S og af Miljøstyrelsen. Miljøstyrelsen har primært haft interesse i denne projektdel, da aktiv/passiv ventilation ofte anvendes som afværgeforanstaltning på lokaliteter, hvor der er en påvirkning af indeklimaet fra en underliggende flygtig forurening.

Med henblik på at undersøge, om en ventilation i det kapillarbrydende lag sænker temperaturen under gulvet i væsentlig grad, er projektet endvidere udvidet til at omfatte en undersøgelse med temperaturmålinger gennemført før og under en ventilation i det kapillarbrydende lag. Denne del er økonomisk finansieret af Sundolitt A/S.

I projektet er der lagt vægt på en praktisk tilgang i feltafprøvninger og radonmålinger, og det er prioriteret, at målingerne er udført på byggeri af "almindelig standard". Målet hermed har været at sikre en forbedring af den eksisterende viden om radonproblematikken i almindeligt dansk byggeri med henblik på en optimering af de fremtidige muligheder for radonsikring heraf. I projektet indgår således elementer af anvendelsesorienteret forskning. Projektet er derved ikke tilrettelagt med særligt hensyn til en teoretisk eller forskningsmæssig tilgangsvinkel, men derimod med det mål, at der via projektet kan peges på nogle enkle og praktiske forholdsregler og metoder til afhjælpning af radonproblemet.

1.3.2 Delprojekt 2

Forud for gennemførelse af delprojekt 1 er gennemført laboratorieforsøg til kontrol af materiale-/konstruktionstæthed. Målet var under kontrollerede forhold at opnå kendskab til forskelle i tæthed mellem de enkelte konstruktionsdetaljer. Ved forsøgene er testet i alt seks konstruktionsdetaljers tæthed over for en sporgas. Som sporgas er benyttet N_2O, ved en kendt trykdifferens og gaskoncentration. Tegninger af konstruktionsdetaljerne samt forsøgsopstilling kan findes i /12/. Resultater fra forsøget kan findes i afsnit 4.

To studerende fra Ingeniørhøjskolen i Århus har i forbindelse med deres afgangsprojekt været de primære drivkræfter ved laboratoriearbejdet. NIRAS har dog hele vejen deltaget i planlægningen af arbejdet og i forbindelse med dataevalueringen. Forsøgene er gennemført i foråret 2007.

1.3.3 Delprojekt 3

Inden byggeriet blev påbegyndt, blev der i løbet af efteråret 2006 gennemført en feltundersøgelse til kortlægning af radonpotentialet/-variationen i jorden på byggegrunden. Da der ikke tidligere i Danmark har været gennemført målrettede undersøgelser til kortlægning af radonindholdet i jorden, er der i projektets første halvdel arbejdet med udvikling af selv undersøgelsesmetodikken. Undersøgelsen er efterfølgende gennemført ved nedsænkning af poreluftmåleudstyr i et stort antal boringer jævnt fordelt på grunden. På baggrund af målingerne har det været muligt at få et indtryk af, i hvilken grad de - på daværende tidspunkt - kommende huse ville blive udsat for radonpåvirkning.

To studerende fra Via University College i Horsens har i forbindelse med deres afgangsprojekt været de primære drivkræfter ved feltarbejdet. NIRAS

har dog hele vejen deltaget i planlægningen af arbejdet og i forbindelse med dataevalueringen.

1.4 Læsevejledning

Rapporten indeholder en samlet afrapportering af ovennævnte tre delprojekter.

Delprojekt 1 er hovedprojektet for dette projekt, hvorimod delprojekt 2 og 3 er projekter, hvor den primære ressource gennem projekterne modsat delprojekt 1 har været afgangsstuderende for ingeniørstudier.

Denne rapport indeholder en fuldstændig rapportering for de elementer og undersøgelser der har været indeholdt i delprojekt 1 (a og b), hvorimod hovedrapporteringen for delprojekt 2 og 3 er sket ved selvstændige afrapporteringer i forbindelse med de studerendes afgangsprojekter.

I denne rapport er dog indeholdt en overordnet beskrivelse af alle elementer i delprojekt 2 og 3, samt en præsentation af resultaterne, vurderinger og evaluering af projekterne.

De enkelte delprojekter er beskrevet så de kan læses enkeltvis eller i sammenhæng, alt afhængig af interesse og behov for viden.

Rapporten indeholder forud for præsentationen af de tre delprojekter, tre indledende kapitler, hvor kapitel 2 og 3 ligeledes kan læses uafhængigt eller i sammenhæng.

I kapitel 1 ses en beskrivelse af baggrunden for projektet, det overordnede formål og en overordnet projektbeskrivelse.

I kapitel 2 ses en præsentation af en række overordnede problemstillinger, hvor omdrejningspunktet er ”hvilke faktorer indvirker på radons frigivelse fra jorden” og ”hvilke faktorer påvirker radons spredning i indeklimaet”.

Afsnittet er medtaget for at bibringe læseren en samlet forståelse for den kompleksitet der ligger bag de senere beskrevne undersøgelser og vurderinger. Afsnittet skal derved være med til at præcisere på hvilke områder undersøgelserne i særlig grad vil være behæftet med usikkerhed.

Kapitel 3 danner det primære grundlag for de gennemførte undersøgelser i delprojekt 1 og 2.

Her er præsenteret en bred vifte af mulige metoder for at foretage radontætning og metoder for at foretage ventilation i det kapillarbrydende lag. Endvidere er præsenteret hvilke metoder der er valgt inddraget for nærmere undersøgelse i de to delprojekter og der er kort beskrevet hvorfor disse er udvalgt.

Projektet indeholder endvidere en erfaringsopsamling fra den gennemførte anlægsfase for delprojekt 1. Praktiske erfaringer fra implementeringsfasen af de enkelte sikringsmetoder er beskrevet og der er givet anbefalinger for fremtidige implementeringer.

I kapitel 4 - 7 er de enkelte delprojekter beskrevet. De enkelte afsnit indledes med en beskrivelse af delprojektets formål og baggrund. Dernæst beskrives de

valgte undersøgelsesmetoder, udstyr og eventuelle lokaliteter der har været inddraget i undersøgelsen. Delprojekt 1 er beskrevet i to særskilte kapitler – dels et kapitel omhandlende undersøgelsen vedrørende effekter ved tætning (delprojekt 1a) og dels et kapitel om undersøgelsen vedrørende effekt af ventilation i det kapillarbrydende lag (delprojekt 1b). Delprojekterne er nummereret i henhold til den oprindelige projektansøgning.

For hvert delprojekt beskrives endvidere det samlede undersøgelsesprogram, resultater og vurderinger og hvert kapitel afsluttes med en metodeevaluering og en sammenfatning omkring de opnåede resultater.

2 Generelle problemstillinger

Dette kapitel indeholder en diskussion af de generelle problemstillinger i forhold til radons indtrængning til indeklimaet. Kapitlet er udført med henblik på at bedre forståelsen af de faktorer, der gør sig gældende i forhold til radonvariationer i jorden og i indeklimaet og dermed de forhold, der spiller en rolle for gennemførelsen af projektets undersøgelser.

Kapitlet beskæftiger sig dermed ikke direkte med rapportens primære formål, som er en undersøgelse af tætheden af forskellige radonsikringer, men er et nødvendigt grundlag for forståelse af de variationer, der kan forekomme i målingerne.

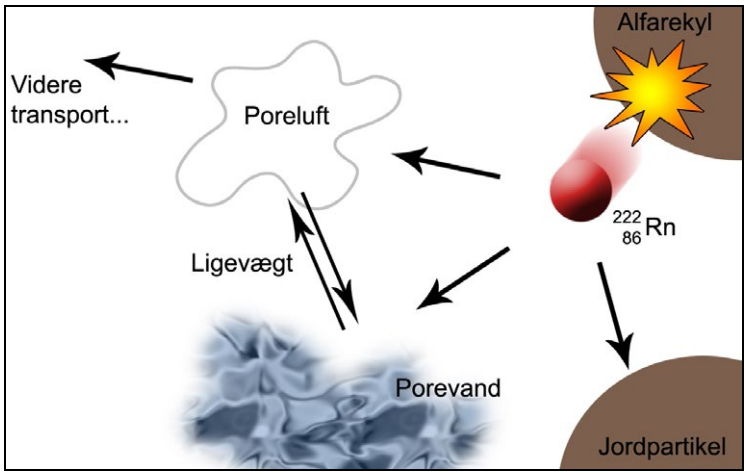
Baggrunden for kapitlet er litteratur – og projektstudier bl.a. /1 – 9/.

2.1 Radonkoncentrationer i poreluften

Radonkoncentrationen i indeklimaet på en given lokalitet er stærkt afhængig af koncentrationen af radon i poreluften i jorden, som igen er afhængig af indholdet af radium i de enkelte mineraler i jorden på lokaliteten. Der er imidlertid også en række andre væsentlige faktorer, der har en indflydelse på koncentrationen af radon i poreluften, og som dermed er bestemmende for, hvor meget radon der potentielt kan belaste indeklimaet.

2.1.1 Emanation af radon

Radium findes i varierende mængder i stort set alle jord- og bjergarter. Radium er radioaktivt og henfalder ved udsendelse af alfastråling. Ved henfaldet omdannes radiumatomet til et radonatom. Under de rigtige forhold vil radonatomet sendes ud i poreluften i jordmatricen, hvorefter en videre transport af radonatomet kan forekomme, se figur 2.1. "Emanation" af radon er således frigørelse af radon fra partikler til den fri poreluft. Størrelsen af emanationen er afhængig af jordens temperatur og vandindhold samt indhold af radium.



Figur 2.1: Frigørelse af radon i jordmatricen.

Koncentrationen af radon i jord angives i Bq/kg (Becquerel per kg) og er antallet af radioaktive henfald pr. sekund pr. kg. jord. Radons emanationsrate angives i gennemsnit til ca. 5 Bq/kg.

Kender man radonkoncentrationen i et indeklima samt luftskiftet, kan man teoretisk beregne, hvor meget radon der har spredt sig fra jorden op til indeklimaet. Ud fra dette tal kan man videre fastslå, ca. hvor stor en jordmængde der bidrager med radon til indeklimaet (omtrentlig influenszone).

2.1.2 Transport af radon i poreluften

Så snart radon frigives (emanerer) til poreluften, vil radongassen bevæge sig videre med poreluften. Poreluften og et evt. indhold af radon eller flygtige forureningsstoffer bevæger sig periodisk op mod terræn. Bevægelsen er under påvirkning af flere forhold. En meget væsentlig faktor er de meteorologiske forhold over jordens overflade (tryk og nedbør). Bevægelsen/flowet, der måles i m^3/t, afhænger endvidere af jordens permeabilitet, hydrogeologi og diffusive egenskaber. Nedenfor er de enkelte influerende forhold nærmere beskrevet.

2.1.2.1 Geologiske forhold
Det generelle danske landskab er formet af istidernes hærgen og har bevirket, at geologien i jordens øverste lag varierer meget. I Danmark ses eksempelvis markante forskelle øst og vest for den jyske højderyg, med meget sandede aflejringer mod vest og moræne aflejringer mod øst. Regionalt er der derved store variationer på de geologiske forhold. Lokalt kan forholdene ligeledes variere betydeligt.

Poreluftens transporthastighed er afhængig af sammensætningen af sedimentet og dettes permeabilitet. Mere permeable jordarter, som eksempelvis sand og grus, vil lettere og hurtigere transportere luft og kan dermed give anledning til øget tilstrømning af radonholdig luft, fordi luften ubesværet bevæger sig længere under varierende trykforhold. Modsat vil en mere leret aflejring typisk have en mere besværet porelufttransport. Leraflejringer er dog typisk meget uensartede; her vil eksempelvis sandslirer og sprækker i leret spille en stor rolle for poreluftens transport. En geologi, der ikke ellers fordrer en høj radonemanation, kan derved give højere radonkoncentrationer end forventeligt.

De store variationer i den danske geologi spiller således i væsentlig grad ind over for poreluftens og dermed radons muligheder for spredning, og det kan være vanskeligt på forhånd at gisne om den resulterende betydning for spredningsveje i jorden og bevægelsen mod terræn.

Herudover er den specifikke sammensætning i de enkelte jordlag af betydning for indholdet af radium, og dermed radon, i jorden. Visse mineraler og jordarter indeholder væsentlig mere radium end andre. Dette er afspejlet i tabel 5.2 afsnit 5.4.2.1 /7/.

2.1.2.2 Hydrogeologiske forhold
I vandmættede zoner vil transport af radon være hæmmet i væsentlig grad. Transport af luft under umættede forhold er generelt væsentligt hurtigere end transport under vandmættede forhold, og radonpotentialet for en given lokalitet vil derfor, alt andet lige, øges med en større umættet zone, idet influenszonen kan have en dybere udbredelse (m u.t.). Det største radonpotentiale for koncentrationer i eller umiddelbart under en bygning opstår ved en umættet zone på mindst otte meters tykkelse /4/, såfremt de geologiske forhold foranle-

diger en transport af denne længde, se afsnit 2.1.2.6. Varierende grundvandsspejl vil derfor influere på mængden af den poreluft, der kan sive op gennem jordmatricen og derfor også på koncentrationen af radon i poreluften.

2.1.2.3 Trykforhold

Bevægelser af poreluft i jorden er primært drevet af trykforhold skabt på grundlag af meteorologiske påvirkninger af lokaliteten. Vindens styrke og retning, det atmosfæriske tryk og temperaturen på lokaliteten er alle faktorer, der giver anledning til ændringer i trykforholdene i jorden. Ovenstående faktorer øver desuden forskellig indflydelse afhængig af, om lokaliteten er bebygget.

For en ubebygget grund vil ændringer i det atmosfæriske tryk enten presse luft ned i eller trække luft ud af jorden, afhængig af trykændringernes størrelse i forhold til normaltrykket. Desuden vil der til enhver tid foregå diffusiv transport af radon til den frie atmosfære på grund af koncentrationsforskelle, se afsnit 2.1.2.4. Betydningen af det atmosfæriske tryk aftager med dybden i jorden. For en bebygget grund vil det atmosfæriske tryk kun have en ringe indflydelse på transport af radon i jorden under bygningen, idet denne transport primært er styret af influenszonen.

Influenszonen rundt om og under et hus er den zone i jorden, hvorfra poreluft tiltrækkes indeklimaet. Transport af poreluft i denne zone foregår primært ved konvektion, og radontransport primært ved advektion, se afsnit 2.1.2.5. Den konvektive porelufttransport opstår som følge af trykforskelle mellem ude- og indeklima. Influenszonen er afhængig af størrelsen af disse trykforskelle samt geologien, hvor en mere permeabel geologi alt andet lige vil betyde en større influensradius. Det atmosfæriske tryk kan bevirke, at mere eller mindre radonholdig poreluft tilføres influenszonen.

Transport af poreluft til indeklimaet er primært domineret af konvektiv strømning fra influenszonen mod indeklimaet, som følge af et generelt relativt undertryk i boliger. Undertrykket er skabt som følge af opvarmning af indeklimaet (skorstenseffekt, *stack effect*), samt temporære vindpåvirkninger af konstruktionen og vil variere i styrke som følge af bl.a. temperatursvingninger. Således kan det relative undertryk variere eksempelvis grundet svingninger i udetemperaturen mellem nat og dag, skyet eller solrigt vejr, eller svingninger i vindstyrke. Et konstant relativt undertryk vil til stadighed påvirke poreluftens transportretning og dermed drive poreluft mod indeklimaet og således give anledning til advektiv radontransport. Ud over advektiv transport fra jorden til indeklimaet vil der til stadighed foregå en diffusiv transport, se afsnit 2.1.2.4.

2.1.2.4 Diffusion

Koncentrationsvariationer i et givent medie vil altid bevirke, at der pågår en diffusion fra områder med høje koncentrationer til området med lave koncentrationer (ligevægtsudligning). Der vil således altid foregå en diffusiv transport af radon fra jorden til indeklimaet, eftersom koncentrationen af radon i jorden er væsentligt højere end i indeklimaet. Diffusiv indtrængning er afhængig af det medie, som stoffet skal diffundere igennem, samt af stoffets diffusive egenskaber.

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. Desuden er diffusion afhængig af stoffets opløselighed med det materiale, det skal diffundere igennem. Ved

radioaktive stoffer (såsom radon) er det imidlertid også nødvendigt at se på stoffets diffusionslængde i forhold til stoffets halveringstid.

Diffusionslængde ^{222}Rn, $L_D = \sqrt{\frac{D}{\lambda}}$

Hvor
D = pore diffusionskoefficient for mediet
λ = Radons henfaldskonstant ($T_{½}^{-1}$)

Betydningen af diffusiv indtrængning af radon til et indeklima er primært bundet til gulvkonstruktionens porøsitet og tykkelse. Jo mere luft en gulvkonstruktion indeholder, det være sig i form af porøs beton og/eller (mikro-)revner og sprækker i dækket, desto svagere er gulvkonstruktionen i forhold til at modvirke en diffusiv indtrængning. Der er i dette projekt ikke set nærmere på den diffusive indtrængnings direkte betydning i de enkelte feltundersøgelser.

For den mest almindelige isotop af radon (^{222}Rn) vil et intakt terrændæk ikke være tilstrækkeligt til at udgøre en 100 % diffusiv barriere mod stoffet, idet ^{222}Rn har en relativt lang halveringstid på 3,8 dage. Der eksisterer imidlertid andre isotoper af radon med væsentligt kortere halveringstider; thoron ^{220}Rn og actinon ^{219}Rn, som på denne baggrund ikke vil kunne diffundere igennem en intakt gulvkonstruktion.

2.1.2.5 Advektion
Radonatomer i jorden transporteres ved diffusion og af porelufttransport styret af varierende trykforhold. Sidstnævnte transportform kaldes for advektion og er afhængig af en række parametre. Transport ved advektion kan udtrykkes ved hjælp af Darcy's hastighedsvektor *q*, som beskriver transporthastigheden for et stof i et givent medie.

Advektionslængde ^{222}Rn, $L_A = \sqrt{\frac{q}{\eta \cdot \lambda}}$

Hvor

$q = -\frac{k}{\mu} \cdot \Delta P$

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

Advektiv transport af radon forekommer ved konvektiv transport af poreluften (bæregassen), som følge af varierende trykforhold omtalt under afsnit 2.1.2.3.

2.1.2.6 Migration
Migrationslængden er et udtryk for et stofs diffusive og advektive "rejselængde" i et givent medie. For radon er migrationslængden afhængig af stoffets halveringstid og er givet ved:

Migrationslængde ^{220}Rn, $L_M = ½ \cdot \left(L_A + \sqrt{L_A + 4 \cdot L_D}\right)$

Hvor
L_A = Advektionslængde
L_D = Diffusionslængde

Den samlede migrationslængde er således et udtryk for den afstand, et radonatom kan transporteres i jorden, som følge af diffusion samt advektiv transport med poreluften, førend atomet henfalder.

2.2 Radonkoncentrationer i indeklimaet

Som beskrevet i afsnit 2.1 spredes radon til indeklimaet ved advektiv og diffusiv transport ved varierende intensitet. Koncentrationen af radon i indeklimaet angives i Bq/m^3 og er antallet af radioaktive henfald pr. sekund pr. m^3 luft.

2.2.1 Variationer i indeklimaets radonkoncentration

Koncentrationen af radon i udeluften er ifølge Sundhedsstyrelsen ca. 5 Bq/m^3. I et typisk dansk enfamiliehus er radonkoncentrationen ca. 77 Bq/m^3, hvorimod radonkoncentrationen i jorden under huset varierer fra få tusind til flere hundredetusind Bq/m^3. Koncentrationen i indeklimaet er et udtryk for en blanding mellem poreluft og udeluft, der er stærkt afhængig af radonkoncentrationen i jorden, den numeriske volumen af indtrængende poreluft, og hvor hurtigt luft i indeklimaet spredes og ventileres med radonfattig udeluft.

2.2.1.1 Luftskifte

Når radon trænger ind til indeklimaet, opblandes denne med den allerede forekommende luft i indeklimaet. Herved fortyndes radonkoncentrationen i forhold til koncentrationen i poreluften. Fortyndingens numeriske værdi er primært afhængig af indeklimaets luftskifte – altså udskiftning af indeluft med radonfattig udeluft.

Luftskiftet i en bygning er styret både passivt og aktivt. Det passive luftskifte pågår via diverse utætheder i klimaskærmen, eksempelvis udeluftventiler, utætheder langs vinduer og døre, samt diverse øvrige revner og sprækker i bygningen. Den passive udluftning afhænger primært af de eksterne trykforhold, der virker på bygningskonstruktionen (eks. vind, atmosfærisk tryk mv.). Herudover styres det passive luftskifte af opdriften af indeklimaets varme luft, der søger opad og ud gennem utætheder i tagkonstruktionen, samt eventuelt installerede ventilationsaggregater og via forskellige spredningsveje i bygningen.

Det aktive luftskifte kan dels ske manuelt og afhænger her af den specifikke beboeraktivitet (brug af døre og vinduer, bevægelse gennem bygningen osv.). Luftskiftet kan endvidere ske ved hjælp af aktive (eller periodisk aktive) mekaniske ventilatorer i bygningen (badeværelser, emhætter, varmegenvindingsanlæg osv.).

2.2.1.2 Radonvariationer i et indeklima

Det er velkendt i litteraturen, at radonkoncentrationen i et indeklima varierer over tid /1/. Pludselige variationer bunder ofte i, at der er sket en manuel målrettet udluftning (morgenudluftning i soveværelse og lign.), og dermed en fortynding af indeklimaets radonindhold. Endvidere varierer radonkoncentrationen på døgnbasis, styret af temperatursvingninger dikteret af solindstråling samt udluftning og trykændringer forårsaget af vindpåvirkning. På årsbasis ses yderligere en variation. Denne styres primært af temperaturforskelle mellem inde og ude og den dermed følgende trykdifferens, samt årstidsbestemte udluftningsmønstre. Eksempelvis er temperaturforskellen mellem inde, ude og i jorden væsentligt mindre i sommerhalvåret end om vinteren, og det om vinte-

ren konstante flow af poreluft mod indeklimaet vil typisk være væsentligt mindre i det varmere sommerhalvår. Radonkoncentrationen om sommeren er derfor i højere grad styret af vindpåvirkning, udluftning og andre svært forudsigelige vejrforhold, end den er i opvarmningssæsonen. Radonmålinger i indeklimaet er i dette projekt foretaget ved hjælp af dosimetre; en sporfilm, der giver et gennemsnitligt billede af radonkoncentrationen i tidsrummet for eksponeringen, se afsnit 6.2.1.

2.2.2 Årsmiddelværdier og sæsonkorrektion

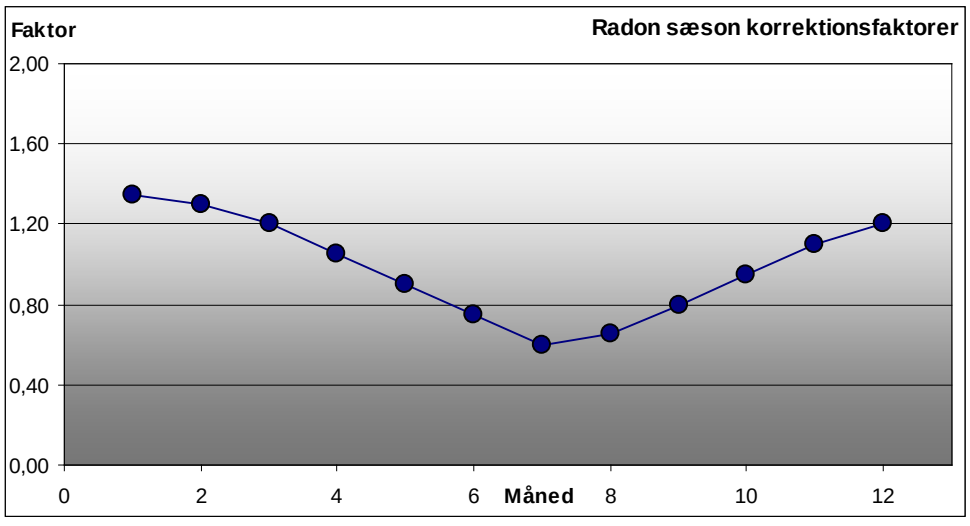
På baggrund af forholdende omtalt i afsnit 2.2.1.2 samt på grund af det generelt kolde klima, vi har i Norden, anbefales det generelt at foretage radonmålinger i opvarmningssæsonen /10/. Såfremt der foretages måling uden for denne periode bør man således forholde sig kritisk til data og de bagvedliggende forudsætninger for undersøgelsen (vejrforhold, beboeradfærd mv.).

I BR2010 anbefales det, at målinger af radonkoncentrationen i en bolig resulterer i en årsmiddelværdi. Reglementet skriver således (vejledning til BR2010 6.3.3.2 stk. 1):

> *"Foretages der måling af radon, bør målingen ske over mindst 2 måneder i fyringssæsonen og målingen bør resultere i en beregnet gennemsnitlig radonkoncentration over et helt år – årsmiddelværdien for boligen"*

Bygningsreglementet omfatter dog ikke en præcisering af hvorledes denne årsmiddelværdi udregnes. Det har derfor været nødvendigt at studere udenlandske erfaringer.

Radonkoncentrationen i et givent indeklima er generelt højest om vinteren og lavest om sommeren. For at korrigere for denne ulighed benyttes i visse lande en korrektionsfaktor for at beregne en tilnærmet årsmiddelværdi. Sæsonkorrektionsfaktorer forsøger således at tage højde for de i afsnit 2.2.1 omtalte variationer i indeklimaets radonkoncentration. Faktorerne benyttet i dette projekt er indeholdt i /11/ og er vist herunder på figur 2.2 og er udregnet på basis af ekstensive undersøgelser af variationer i radonkoncentrationen.



Figur 2.2: Sæsonkorrektionsfaktorer /11/. Den målte radonkoncentration divideres med faktoren for de pågældende måneder.

Om radonmålinger giver et klarere billede af "årsmiddelværdien" hvis de tilføjes en korrektionsfaktor eller ej er dog et uklart emne. I Sverige benyttes således den målte koncentration som middelværdi, såfremt målingen følger den svenske standard /10/. Eftersom der benyttes forskellige metoder i litteraturen er det i dette projekt valgt at kigge nærmere på værdier både med og uden sæsonkorrektion.

I afsnit 6.6.3 vises resultaterne af de i projektet udførte radonmålinger både med og uden korrektion. Værdierne med korrektion følger således den irske standard beskrevet i /11/ hvorimod værdierne uden korrektion følger de svenske anvisninger /10/.

2.2.3 Forskelle i anvisninger BR-S 98 til BR2010

De i projektet undersøgte boliger er udført efter forskrifterne i Bygningsreglementet for småhuse fra 1998, BR-S 98. Eftersom reglementet har udviklet sig siden da, og da projektet her sammenligner radonmålinger med det ny BR2010, hvori der er stillet skærpede krav til radon i indeklimaet, gives i dette afsnit en kort opsummering af forskelle mellem anvisningerne for radonsikring i de to reglementer.

I BR-S 98, der trådte i kraft den 15. september 1998, blev opstillet følgende funktionskrav til radonsikring i byggeriet:

6.5.2: Bygningskonstruktioner mod undergrunden skal udføres lufttætte.

7.1.3: Installationer skal udføres, så de medfører sundhedsmæssigt tilfredsstillende forhold.

I vejledningsteksten til 6.5.2 beskrives forledes lufttætningen kan sikres ved generelt at udføre betonkonstruktioner omhyggeligt for at minimere revnedannelse, samt tætning af rørgennemføringer. Lufttætning mellem fundament og betonplade kan udføres ved at overdække kuldebroisoleringen (kantmembran). Koncentrationen af radon i nybyggeri bør ifølge vejledningsteksten ikke overstige 200 Bq/m^3.
I øvrigt henvises til Erhvervs og Byggestyrelsens "Vejledning om radon i nybyggeri" fra 1993. I denne vejledning gives eksempler på kantmembraners udførelse og valg af materialer. Denne vejledning er udformet med henblik på at udføre konstruktionen lufttæt.

I vejledningsteksten til 7.1.3 forklares, at installationer skal udføres, så de hindrer indtrængning af bl.a. radon fra undergrunden.

Kravet om radonsikring i BR-S 98 blev gældende for alt byggeri ved udgivelsen af tillæg 2 til Bygningsreglement 1995, BR95, der trådte i kraft 1. oktober 2001.

30. juni 2010 trådte BR2010 i kraft i en overgangsfase fra BR08 der varede indtil 1. januar 2011. I BR2010 er listet følgende funktionskrav til radonsikring i byggeriet:

6.3.3.2:
Stk.1 Indstrømning af radon til indeklimaet skal begrænses ved at gøre bygningskonstruktionen mod undergrunden lufttæt eller ved at benytte andre tilsvarende effektive foranstaltninger.

Stk.2 Bygningen skal udføres, så det sikres at radonindholdet ikke overstiger 100 Bq/m³.

I vejledningsteksten til stk. 1 beskrives hvorledes bygningskonstruktionen kan udføres lufttæt. Denne del af teksten er identisk med BR-S 98. Der henvises i øvrigt til Byggeteknisk Erfaringsformidling, BYG-ERFA blad SfB (99) 02 09 27, *Radon-forebyggelse og afhjælpning* fra 2002 (som beskriver hvordan tætning udføres ved membraner), samt Erhvervs- & Byggestyrelsens pjece *Radon og enfamiliehuse* fra 2007 (primært hjælp til eksisterende byggeri).

Den største forskel i vejledningen til radonsikring i nybyggeri fra BR-S 98 til BR2010 ligger i, at der i BR2010 åbnes op for andre muligheder for radonsikring end blot tætning. SBi anvisning 233 til BR2010 lægger således op til en kombinationsløsning mellem tre indsatsområder i nybyggeri: tætning, trykreduktion og ventilation /33/ for at opnå den størst mulige reduktion af radonindholdet i den færdige bygning.

En væsentlig forskel fra BR-S 98 til BR2010 er funktionskravet om radonkoncentrationen i BR2010 6.3.3.2 stk. 2. Hvor BR-S 98 indeholdt et anbefalet maksimalt indhold i indeklimaet på 200 Bq/m^3, er det i BR2010 udtrykt at radonkoncentrationen ikke må overstige 100 Bq/m^3. Dette forhold er diskuteret i afsnit 2.2.2.

3 Radonsikringsmetoder

Som grundlag for projektets feltmæssige gennemførelse (delprojekt 1a og 1b) er der indledningsvis identificeret de i praksis oftest anvendte metoder til tætningssikring og ventilation under gulv. Hver enkelt metodes anvendelighed er vurderet for blandt andet tæthed/radondæmpende effekt, mulige årsager til svigt, detaljer omkring praktisk udførelse, evt. driftsgener samt økonomi.

På baggrund af gennemgangen er udvalgt et antal kombinationsmetoder (tætning, materiale mv.) til afprøvning - dels i forbindelse med feltundersøgelser (delprojekt 1) og dels i forbindelse med laboratorieundersøgelser (delprojekt 2). Endvidere er udvalgt én metode til afprøvning i delprojekt 1b (passiv ventilation under gulv).

Ved udvælgelsen af metoderne er der lagt stor vægt på metoder, der i praksis er enkle at udføre og samtidig forventes at yde en tilstrækkelig radontætning/-dæmpning. Metoderne er endvidere udvalgt, således at byggefasen, konstruktionen og den færdige bygning ikke påføres væsentlige gener (eks. væsentlige gener i byggefasen, øget varmetab pga. kuldebro, støjgener under drift af ventilation, driftsudgifter og lign.).

I afsnit 3.1 er udvalgte mulige radontætningsmetoder kort gennemgået og kommenteret (begrundelse for endelige valg til undersøgelse).

I afsnit 3.2 er specifikt præsenteret, hvilke metoder der er valgt afprøvet, og hvordan disse i detaljer er implementeret i forbindelse med de gennemførte feltundersøgelser.

I afsnit 3.3 er udvalgte mulige ventilationsløsninger kort gennemgået og kommenteret (begrundelse for endelige valg til undersøgelse).

Dernæst er i afsnit 3.4 præsenteret de forskellige sammensætninger af hustyper, som er opført i forbindelse med de gennemførte feltundersøgelser.

Da den praktiske gennemførelse af tiltag til radonsikring (tætninger og ventilation) kan være forbundet med risici for fejlmontage og lign., ses i afsnit 3.6 en kommentering knyttet til selve byggefasen. Kommenteringen er dels specifik i forhold til det konkrete projekts anlægsfase, men er også vinklet, så kommenteringen kan anvendes for fremtidige projekter.

3.1 Mulige metoder til tætning (delprojekt 1a)

Udvælgelsen af radonsikringsmetoder til afprøvning har overordnet set været styret af en række simple forudsætninger af konstruktionsmæssig karakter – gældende for det planlagte byggeri. Ingen af disse forudsætninger har dog gjort, at de valgte løsninger fraviger almindelige valg. På enkelte områder er der foretaget mindre tilpasninger af det planlagte byggeri.

De grundlæggende forudsætninger for byggeriet er listet nedenfor:

- 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 isoleres af 400 mm EPS udlagt på afretningssand (dog suppleret med letklinker, hvor der skal ventileres).
- Ventilationsinstallationen opfylder bygningsreglementernes krav, således at hver bolig har et luftskifte på ca. ½ gang i timen
- 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 identiske, dog opføres der to størrelser (99,6 og 123,7 m^2)
- Alle huse skal opføres af samme entreprenør og nogenlunde samtidigt (styret af salget)

På baggrund af ovenstående forudsætninger har NIRAS og SBi i samarbejde med byggeriets projekterende rådgiver Tri-Consult og hovedentreprenøren Dansk Boligbyg udvalgt 4 tætningsmetoder til afprøvning i de 21 planlagte huse. De udvalgte metoder repræsenterer alle ofte anvendte metoder til sikring mod indtrængning af radon.

Som en grundregel tales der om 4 hovedtransportveje for radonindtrængning;

- Utætheder langs ydervægsfundament, hvor opstigning sker via hulmur og utæthed langs fundamentskant
- Utætheder langs indvendige fundamenter, hvor betonpladen evt. er afbrudt
- Utætheder ved rørgennemføringer
- Utætheder pga. revner og/eller porøsitet i selve betonpladen (terrændæk)

Sikring mod radonindtrængning via de 4 nævnte transportveje kan håndteres på forskellig vis. Nedenfor er typiske måder at håndtere denne indtrængning beskrevet ved en række eksempler, og de enkelte eksempler er kort kommenteret, hvis der er særlige forhold, der kan give risiko for fejlmontage eller lign i byggefasen.

3.1.1 Tætning langs fundamenter

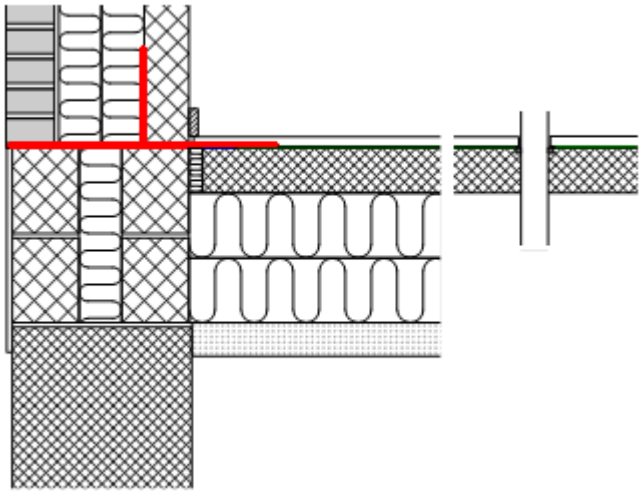
Tætningen mellem betonplade og fundament kan jf. /19, 33/ ske ved udlægning af en radonhæmmende membran.

For at hindre indtrængning skal membranen afdække dels kantisoleringen mellem betonplade og ydervægsfundament og dels hulrum/hulmur i ydervægsfundamentet. Endvidere er det vigtigt, at membranen ikke skaber risiko for at lede vand ind på oversiden af betonpladen. Membranen bør derfor horisontalt placeres mindst 150 mm over terræn.

Nedenfor er gennemgået 4 eksempler på tætninger langs fundament. Detaljer vedrørende tætning af rørgennemføring ses af figurerne i afsnittet, men omtales først nærmere i afsnit 3.1.2.

3.1.1.1 Kantmembran over betonpladen

Beskrivelse. Den simpleste løsning er, at membranen føres horisontalt uden niveauspring, hvilket kan ske, når niveau for overkant af fundament er lig overkant af betonplade. Membranen føres her lige igennem og klæbes til oversiden af betonpladen, se figur 3.1.



Figur 3.1: Membran udlagt under gulvbelægning (tæppe, trægulv osv.)

Vurdering. Tætningsmæssigt vurderes metoden at være velegnet, når membranen blot "klemmes" fast under gulvbelægningen.

Gennem hele byggefasen er det særligt vigtigt for denne løsning, at alle entrepriser behandler membranen korrekt, da der her let kan ske fejlagtig placering af membranen og/eller endda demontering (bortskæring). I forbindelse med opbygning af gulv og mure vil flere forskellige entrepriser have et ansvar for, at membranen håndteres korrekt og ikke beskadiges gennem hele byggeperioden, hvor der vil foregå mange væsentlige ting på byggepladsen. Det vil eksempelvis ikke være usandsynligt, at maleren eller gulvmontøren bortskærer den indvendige del af membranen (der skal føres under belægning), da denne med rette kunne tro, at der er tale om en løs rest, der skal fjernes inden de afsluttende arbejder. I udførelsesfasen er der endvidere risiko for, at membranen helt glemmes, da ansvaret for gennemførelsen af sikringsdetaljen ikke naturligt er placeret i én entreprise (eksempelvis terrændæksentreprisen).

Det er vigtigt at vælge det rigtige materiale, da ikke alle radonmembraner lige veldokumenteret yder god tilbageholdelse over for radon.

I den senere ibrugtagningsfase er det igen vigtigt at kende membranens betydning, hvis der på et tidspunkt skiftes belægning, og membranen igen bliver synlig på den indvendige del.

3.1.1.2 Kantmembran under betonpladen

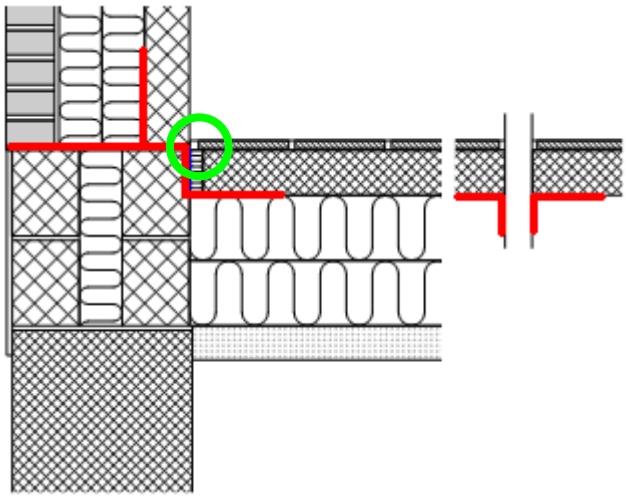
Beskrivelse. Opføres boligen med eks. klinkegulve, kan det være nødvendigt at føre membranen ned under betonpladen i stedet for som ovenfor beskrevet, se figur 3.2. Dette primært pga. klinkernes krav til god vedhæftning mod underlaget og sekundært, da membranen fylder i højden. Metoden med at føre membranen ned under betonpladen anvendes ikke alene i de tilfælde, hvor det ikke er muligt at føre membranen over betonpladen, men lige så tit fordi der er stor tiltro til tætheden ved denne løsning.

Vurdering. Tætningsmæssigt vurderes metoden at være velegnet, og metoden har den fordel, at primært én udførende har ansvaret for korrekt montage (terrændæksentreprise). Betonpladen klemmer membranen fast uden risiko for senere løsning.

Særligt hjørner og overgange ved dørtrin kan komplicere arbejdet med udlægning af membranen og tætning af denne i samlinger. Membranen er 0,3 mm i godstykkelse, og i samlinger og indvendige hjørner øges godstykkelsen markant, hvorfor det er væsentligt at have en vis erfaring med montagen for at opnå tætte samlinger. Færdigstøbte hjørnesamlinger kan være at foretrække.

Efter membranen er udlagt, og betonpladen er støbt, vil det mest kritiske tidspunkt være, når betonoverfladen skal klargøres til gulvbelægningen. I nogle tilfælde vælger man at rundelslibe overfladen i stedet for at udlægge et glat slidlag. Hvis membranen ikke er monteret på ydersiden op langs kantisoleringen, vil der være risiko for at perforere membranen i det hjørne, hvor den går fra lodret til vandret ud mod ydervæggen (grøn markering på figur 3.2).

Det er igen vigtigt at vælge det rigtige materiale, da ikke alle radonmembraner lige veldokumenteret yder god tilbageholdelse over for radon.



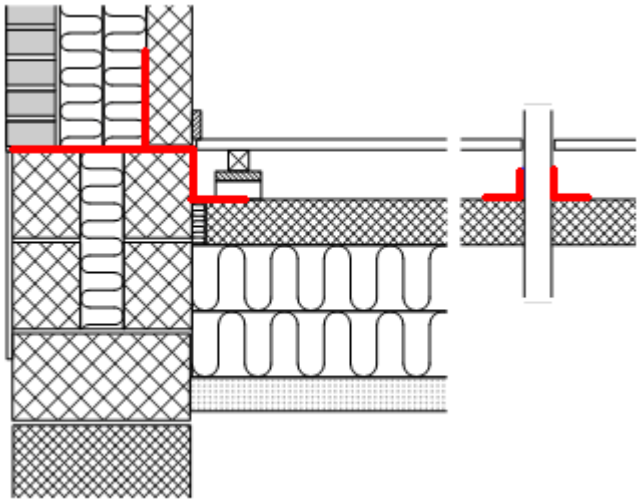
Figur 3.2: Membran ført under betonplade samt detalje for rørgennemføring

3.1.1.3 Membran under strøgulv

Beskrivelse. Ved strøgulve kan membranen føres over eller under betonpladen, se figur 3.3. I begge tilfælde vil membranen skulle foldes omtrent som for løsningen med "membran under betonpladen".

Vurdering. Fordele og ulemper er meget sammenlignelige med "membran under betonpladen". I det tilfælde, hvor membranen føres over betonpladen og under strøgulvet, skal der dog i væsentlig grad sammenlignes med "membran over betonpladen".

En fordel ved løsningen med membran under strøgulv er, at der kun bliver få gennembrydninger af betondækket, da alt med undtagelse af afløb kan føres under strøgulvet over betonpladen. Risikoen for indtrængning via utætte rørgennemføringer bør derfor kunne minimeres ved denne løsning.

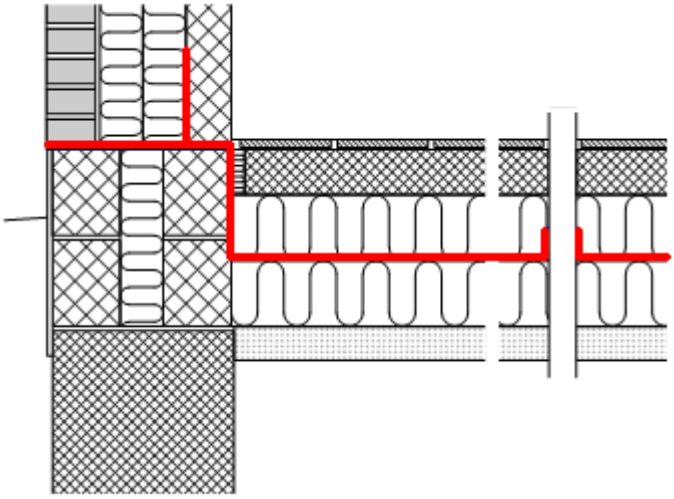


Figur 3.3: Membran under strøgulv

Det er igen vigtigt at vælge det rigtige materiale, da ikke alle radonmembraner lige veldokumenteret yder god tilbageholdelse over for radon.

3.1.1.4 Fuld membran under hele betondækket

Beskrivelse. Alternativt til de 3 foregående løsninger med kantmembran er det muligt at etablere membranen som en "fuld membran", der føres under hele betonpladen, se figur 3.4. Membran og gennemføringstætninger kan placeres midt i eller under isoleringslaget, hvilket dels medfører, at en stor del af rørene kan føres over membranen, dels at kraver kan monteres ovenfra og klæbes til membranen, når denne er udlagt. I eksempelvis Norge og Irland er det væsentligt mere udbredt at etablere fuld membran i forbindelse med radonsikrende foranstaltninger, end det har været i Danmark.



Figur 3.4: Membran under hele betondækket

Vurdering. Risikoen for radonindtrængning via gulvkonstruktionen pga. revner i dækket og/eller lækager langs fundamenter og rørgennemføringer reduceres i teorien markant, hvis der etableres en tæt fuld membran. Problemstillingen i forhold til at få monteret en tæt membran er primært, at montagen alene kan udføres af autoriserede håndværkere. En halvtæt membran er tilnærmelsesvis værdiløs i fht. sikring mod radonindtrængning, hvorfor det er vigtigt, at den

udførende entreprenør er certificeret i arbejdet og forstår betydningen af korrekt udførelse.
Arbejdet er relativt tidskrævende, og sikringsmetoden fordyres derved i forhold til en løsning med kantmembran.

I perioden fra membranen monteres, og indtil betondækket etableres, er løsningen følsom over for perforering.

I udførelsesfasen kan der endvidere opstå problemer, hvis membranen fyldes med vand inden udstøbning. Det er derfor vigtigt, at evt. tilløbet vand fjernes inden udstøbning, og at dette sker uden at perforere membranen. Desuden er det vigtigt i senere entrepriser, at det sikres at membranen ikke tager skade.

Det vil være påkrævet, at en evt. fuld membran monteres med gummikraver omkring alle rørgennemføringer. I modsat fald vil det ikke være muligt at tætne langs gennemføringer.

3.1.2 Tætning omkring rørgennemføringer

Beskrivelse og vurdering. Tætning af rørgennemføringer kan blandt andet ske ved omstøbning, ved fugning og med kraver, der klæbes til betonplade og rør.

I de tilfælde, hvor der benyttes tomrør i forbindelse med rørgennemføringer, er det tomrøret, der skal slutte tæt til betonpladen. Tomrøret må ikke være samlet i gennemføringen. Omstøbning kan være nogenlunde tæt umiddelbart efter udførelsen, men temperaturbevægelser af både rør og beton (især ved gulvvarme) kan betyde, at der skabes en væsentlig utæthed med tiden.

Omstøbning af (flex-)rør kombineret med en fuge, der er sikret plads til ved udsparing i betonpladen, giver som regel en bedre tætning, se figur 3.1.

Den bedste løsning forventes opnået ved montage af gummikraver, der klæbes mod betonplade og rør, i stil med Icopals produkter beregnet til dampspærrer. Kraven kan monteres henholdsvis før og efter udstøbning. Ved montage over betonpladen vil der dog ofte opstå problemer med at skjule kraven i et tyndt dæklag, og der vil opstå problemer i belægningen pga. højdeforskelle, se eks. figur 3.1. Montage over betonpladen kan derimod uproblematisk ske i strøgulvskonstruktionen, se figur 3.3.

I gulvkonstruktioner med membran ført under betonpladen påklæbes kraven til røret, før isoleringen udlægges, se figur 3.2. Processen kræver omhyggelighed for at opnå tilstrækkelig præcision. Kraven klæbes efterfølgende til et større membranstykke, som der støbes imod.

3.1.3 Tæthed i selve betonpladen

Beskrivelse. I følge /19/ anses betonplader for radontætte, hvis de er udstøbt med en mindste tykkelse på 80 mm, efterfølgende vibrering samt med svindarmering Ø 8 mm pr. 300 mm i begge retninger, eller Ø 3 mm trådnet med 50 mm maskevidde. Desuden skal støbningen beskyttes mod udtørring i ca. 4 døgn efter støbning. Der er i /19/ dog ikke taget hensyn til dannelse af mikrorevner i betonen.

Vurdering. Betonpladens størrelse bør begrænses med dilatationsfuger for at reducere risikoen for svindrevner. Dilatationsfugerne anbringes optimalt under indvendige vægge med underliggende fundament. Hvis betonpladen afbrydes mellem fundamenterne, bør samlingerne i princippet tætnes som over en kuldebroafbrydelse og således vha. en kantmembran med passende overlæg.

På trods af anbefalingerne om armering og langsom og afdækket afhærdning, dannes der med tiden svind- og sætningsrevner (mikro- og muligvis makrorevner) i betonfladen, hvilket forbedrer radons mulighed for diffusiv og advektiv transport gennem betonpladen /25/. Dette skyldes, at alene meget små revner (mikrorevner) giver mulighed for øget diffusiv og advektiv transport af radon. En revnevidde på 0,5 mm vil være tilstrækkeligt for fri advektiv gastransport gennem terrændækket /23/.

Det vil derfor i en del huse som udgangspunkt være relevant at indbygge en radonhæmmende membran under hele gulvfladen – også selv om indtrængningen muligvis først vil vise sig efter nogle år i takt med, at revnerne dannes. Membranen kan sandsynligvis undlades, hvis der indbygges andre foranstaltninger, eventuelt ventilation under gulv (afsnit 3.3).

3.2 Valgte metoder til tætning (delprojekt 1a)

I nedenstående afsnit præsenteres de tætningsmetoder, der er valgt til feltafprøvningen i projektet (delprojekt 1a). Tætningsmetoder til afprøvning i laboratorieforsøg (delprojekt 2) er særskilt beskrevet i afsnit 4.

Overordnet er der i feltafprøvningen valgt at gennemføre en undersøgelse af;

- tre typer membrantætning
    - kantmembran over betonpladen
    - kantmembran under betonpladen
    - fuld membran under hele betonpladen

og

- to typer af rørgennemføring
    - traditionel rørgennemføring
    - tætnet rørgennemføring

Der var oprindeligt planlagt afprøvning i 21 huse i alt, men pga. finanskrise blev byggeriet indskrænket til 16 huse.

Afprøvningen er gennemført ved en kombination af metoderne som præsenteret nedenfor.

Hustype 1 (1 hus): Fuldmembran, tæt rørgennemføring
Hustype 2 (3 huse): Kantmembran under beton, tæt rørgennemføring
Hustype 3 (3 huse): Kantmembran over beton, tæt rørgennemføring
Hustype 4 (4 huse): Kantmembran under beton, almindelig rørgennemføring
Hustype 5 (5 huse): Kantmembran over beton, almindelig rørgennemføring

Som det fremgår, er der valgt afprøvning i 5 forskellige hustyper. Den fulde membran er afprøvet i ét hus, hvorimod de øvrige metoder er afprøvet i 3-5 huse. Det er bevidst fravalgt at afprøve mere end fem tætningsmetoder, da det var ønsket at opnå mulighed for et vist sammenligningsgrundlag blandt de afprøvede metoder.

De enkelte tætningsmetoder og de anvendte materialer er nærmere beskrevet nedenfor i afsnit 3.2.1-3.2.4.

3.2.1 Kantmembran over beton

Hustype 3 og 5 er opført med tætning langs fundamenterne ved anvendelse af en kantmembran, der føres fra fundamentet og ind over betonpladen.

I disse forsøgshuse er der som tætning mellem betonpladen og fundamentet udlagt Icopal Murfolie RG. Membranen føres over hele fundamentets overside for at sikre, at radon ikke trænger op i ydervæggen og føres lige igennem og ca. 200 mm ind over oversiden af betonpladen, som vist på figur 3.1 i afsnit 3.1.1. Stødsamlinger og hjørner er tætnet ved anvendelse af Icopal Butyl Fugemasse (Butyltape). Se fotoeksempel i bilag 3.5.

Produktblad for kantmembran og tætningsmateriale er vedlagt i bilag 4.4.

3.2.2 Kantmembran under beton

Hustype 2 og 4 er opført med tætning langs fundamenterne ved anvendelse af en kantmembran, der føres fra fundamentet ned langs kantisoleringen og ned over isoleringsmaterialet inden udstøbning af betonpladen.

Kantmembranen i disse huse er ligeledes af typen Icopal Murfolie RG. Membranen føres her ligeledes over hele fundamentets overside for at sikre, at radon ikke trænger op i ydervæggen. Membranen føres ved indersiden af fundamentet ned på udvendig side af kantisolering inden udstøbning af betonpladen. Efterfølgende udstøbes betonen direkte på kantmembranen som vist på figur 3.2 i afsnit 3.1.1. Ved ind- og udvendige hjørner er membranen foldet og klæbet med koldklæbende asfalt. Se fotoeksempel i bilag 3.4.

Produktblad for kantmembran og tætningsmateriale er vedlagt i bilag 4.4.

3.2.3 Fuld membran

Hustype 1 er opført med en membran, der dækker hele betonfladen (fuld membran) og fundamenterne.

Membranen er udlagt direkte på sandpuden og ført op over fundamentet. Efterfølgende er udlagt isolering og foretaget udstøbning af beton. Membranen er opbygget af tre lag polyethylen omkring et armeret multifibernet. Membranen (Icopal RMB 400) er udlagt løst med overlæg på min. 150 mm. Overlæg er klæbet med Icopal Butyl Fugebånd.

Membranen er udlagt på sandpuden i stedet for betonpladen. Herved begrænses antallet af rørgennemføringer i membranen fra vandinstallationer, afløb og varme, der i stedet for samles/fordeles over membranen.

Metoden er jf. Icopal almindelig anvendt i Irland som radonsikring. Udlægningen af membranen er derfor udført af Icopals irske montører. Fotos fra udlægningen er vedlagt i bilag 3.1. Konstruktionsdetalje med placering af membranen er vist på figur 3.4 i afsnit 3.1.1.

Produktdatablad er vedlagt i bilag 4.2.

3.2.4 Traditionelle rørgennemføringer

Hustype 4 og 5 er opført med traditionelle rørgennemføringer.

Rørgennemføringerne er her tætnet i forbindelse med selve udstøbningen af betonpladen, hvor betonen svøber sig omkring røret. Denne tætningsmetode er den mest almindeligt anvendte tætningsmetode i Danmark.

3.2.5 Tætnede rørgennemføringer

Hustype 2 og 3 er opført med særligt tætnede rørgennemføringer.

Alle de steder, hvor det har været muligt, er rørgennemføringerne i gulvene tætnet ved anvendelse af færdigfremstillede gummimanchetter. Efter montagen af manchetter er der tætnet ved fugning med Weber Superflex D 2, der er en 2-komponent højfleksibel svummemørtel. Produktet anvendes ofte som vådrumsmembran. Produktblad for fugemateriale er vedlagt i bilag 4.1.

Manchettætning er alene undladt ved gennemføring af gulvvarmeslanger i teknikskabet i bryggerset. Her er der pga. pladsmangel omkring rørgennemføringerne udelukkende foretaget tætning ved fugning med Superflex D 2.

Se fotoeksempel på tætnet rørgennemføring i bilag 3.3

Produktdatablad er vedlagt i bilag 4.1.

3.3 Mulige metoder til ventilation under gulv (delprojekt 1b)

Ved ventilation under gulv bortledes forurenet luft inden indtrængning til indeklima. Ventilationen udføres sædvanligvis i et kapillarbrydende lag under en tæt gulvflade (betongulv). Der etableres ekstraktionspunkt(er) i det kapillarbrydende lag samt eventuelt et eller flere luftindtag med lufttilførsel fra terræn. Ventilationen foregår enten passivt eller aktivt vha. en ventilator.

Herunder er beskrevet tre forskellige metoder til ventilation i et kapillarbrydende lag. Samtlige metoder er velafprøvede i litteraturen.

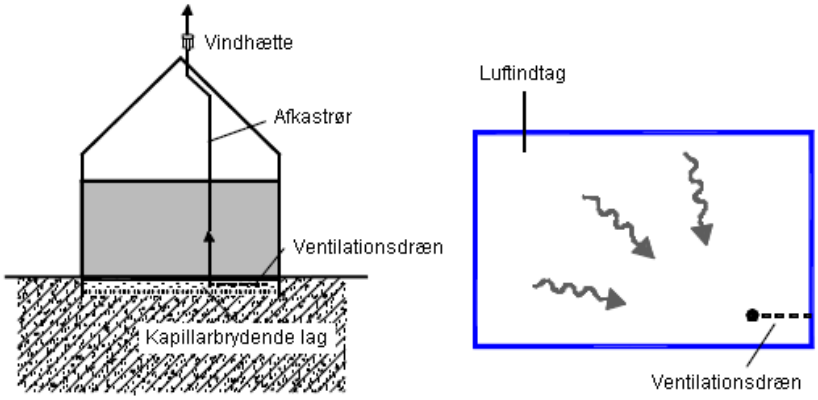
3.3.1 Passiv ventilation med luftindtag

Passiv ventilation foregår alene ved hjælp af vedvarende energikilder (temperatur/tryk differens eller vinddreven ventilator og solenergi). Der er således ikke forbundet driftsomkostninger med metoden, som kan benyttes i både nyt og eksisterende byggeri. Metoden gør brug af både ekstraktionsrør og friskluftindtag til og fra det kapillarbrydende lag.

Konstruktionen udføres (som regel) som vist på nedenstående figur 3.5. Ventilationsdræn i det kapillarbrydende lag tilsluttes et afkastrør, som føres til tagryg indvendigt eller udvendigt. Ved indvendig konstruktion udnyttes termisk opdrift som supplerende drivkraft til ventilation. Ved udvendig konstruktion

udføres afkastrøret i en mørk farve og placeres i direkte sollys for på samme måde at udnytte termisk opdrift i røret. Afkastrøret afsluttes i en vindhætte, en vinddreven ventilator. For øget ventilation kan tilsluttes eldreven ventilator. Vindhætten placeres med omtanke for luv og læforhold, samt eventuelle tagvinduer. Et eller flere luftindtag placeres i modsatte side af det kapillarbrydende lag fra ekstraktionsrør for at skabe optimal løbende udskiftning af luften under bygningen, se figur 3.5. Antallet af luftindtag svarer omtrent til antallet af ventilationsdræn.

Forinden placering af ventilationsdræn og luftindtag skal vurderes strømningsforhold i forhold til tværgående fundamenter og andre pneumatiske barrierer. Desuden er geologiske forhold, vandspejlets beliggenhed og variationer ligeledes af mulig betydning for flow og ventilering af det kapillarbrydende lag.



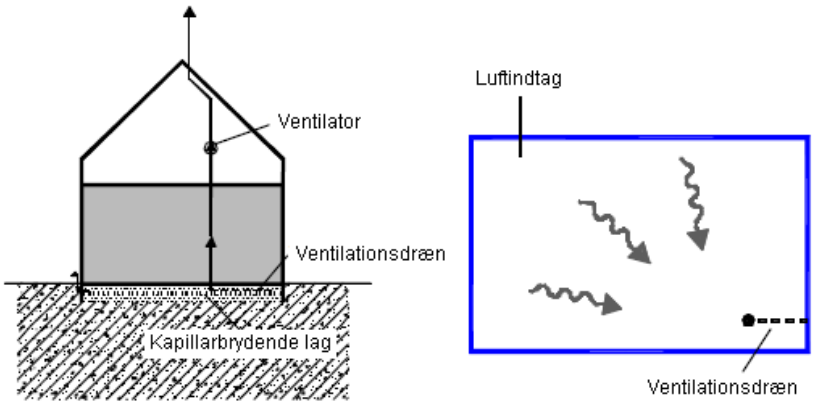
Figur 3.5: Passiv ventilation med luftindtag, principskitser

Installationen har efter opstart øjeblikkelig effekt. Via vindhætten bortventileres ca. 2-10 m^3/h. Effekten af ventilationssystemet er direkte afhængig af eksterne meteorologiske faktorer. Ved kraftigere vindpåvirkning af vindhætten vil dannes et større undertryk i ventilationsdrænene og derved større ventilation af det kapillarbrydende lag. Ligeledes er større temperaturdifferens mellem ude og inde af betydning for effekten af den termiske opdrift af luften i det opvarmede afkastrør.

3.3.2 Aktiv ventilation med luftindtag

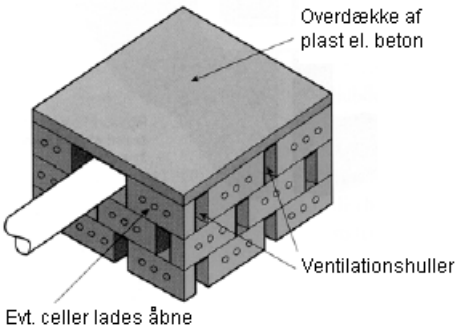
Aktiv ventilation foregår ved hjælp af en til ventilationssystemet tilsluttet eldreven ventilator. Metoden kan benyttes i både nyt og eksisterende byggeri. Metoden gør brug af både ekstraktionsrør og friskluftindtag til og fra det kapillarbrydende lag.

Konstruktionen udføres som vist på figur 3.6 herunder. Ventilationsdræn i det kapillarbrydende lag tilsluttes et afkastrør, som føres til tagryg indvendigt eller udvendigt, og som tilsluttes en ventilator med mindst mulig støjfølsom placering (skunkrum/loft/baggang el. lign). Rørføringen placeres, så støjgener i forbindelse med vibrationer og drift af ventilator formindskes. Ved ventilatorplacering i loftsrum er det nødvendigt med diffusionstætte samlinger, og at den valgte ventilator er tæt for således at undgå en eventuel lækage af opsuget luft til loftsrummet. Ved udvendig placering kan ventilatoren placeres i en over- eller underjordisk lyddæmpet boks, lyskasse el. lign. Rørføringer kan med fordel monteres lyddæmpet.



Figur 3.6: Aktiv ventilation med luftindtag, principskitser

Afkastrøret tilsluttes en eldreven ventilator med en effekt på 0,1-0,2 kW. Et eller flere luftindtag placeres i modsatte side af det kapillarbrydende lag fra ekstraktionsrør for at skabe optimalt løbende udskiftning af luften under bygningen, se figur 3.6. Antallet af luftindtag svarer omtrent til antallet af ventilationsdræn. Afkastrør kan alternativt til vandrette ventilationsdræn tilsluttes et udgravet hulrum under betondækket (radonsump) i det kapillarbrydende lag. Hulrummet udføres ved udgravning af et ca. 0,5 x 0,5 x 0,5 m hul under betonpladen, som stabiliseres med eksempelvis mursten, se figur 3.7, og som herefter overdækkes med letklinker forinden genstøbning af betonplade /33/. Afkastrør herfra kan føres enten lodret op gennem konstruktionen eller vandret til ventilator uden for huset. Denne løsning anvendes ofte i udlandet som den primære radonforanstaltning.



Figur 3.7: Radonsump, principskitse

Anlægget kan drives ved kontinuerlig eller pulserende drift med eventuel pulsering på timebasis eller af længere varighed, afhængig af de givne forhold. Placering af afkast skal foretages under hensyntagen til eventuelle tagvinduer.

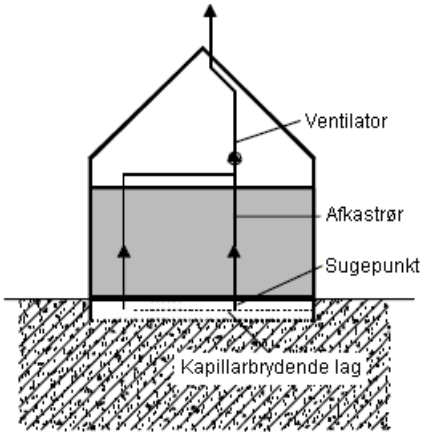
Installationen har efter opstart øjeblikkelig effekt. Ventilatoren bortventilerer under førnævnte effekt ca. 2-10 m^3/h, men kan justeres til de givne forhold. Effekten af ventilationssystemet er uafhængigt af eksterne faktorer.

3.3.3 Aktiv ventilation uden luftindtag

Aktiv ventilation uden luftindtag foregår ved hjælp af en til ventilationssystemet tilsluttet eldreven ventilator, der danner et undertryk i det kapillarbrydende lag. Herved negeres eller inverteres porelufts naturlige opadvendte flowretning (som følge af indendørs undertryk). Metoden kan benyttes i både nyt og eksisterende byggeri. Metoden gør brug af ekstraktionsrør placeret i det kapil-

larbrydende lag. Metoden kan med fordel udføres ved installation af en radonsump under gulvet, se afsnit 3.3.2. Metoden anses som den mest effektive radonsikring /2/.

Konstruktionen udføres som vist på figur 3.8 herunder. Et eller flere afkastrør føres fra det kapillarbrydende lag til tagryg indvendigt eller udvendigt og samles til én ventilator med mindst mulig støjfølsom placering (skunkrum/loft/baggang el. lign). Rørføringen placeres, så støjgener i forbindelse med vibrationer og drift af ventilator formindskes. Ved ventilatorplacering i loftsrum er det nødvendigt med diffusionstætte samlinger, og at den valgte ventilator er tæt for således at undgå en eventuel lækage af opsuget luft til loftsrummet. Ved udvendig placering kan ventilatoren placeres i en over- eller underjordisk lyddæmpet boks, lyskasse el. lign. Rørføringer kan med fordel monteres lyddæmpet.



Figur 3.8: Aktiv ventilation uden luftindtag, principskitser

I ældre huse, med sandsynlig inhomogenitet i det kapillarbrydende lag, kan der med fordel installeres luftindtag som anført under afsnit 3.3.2. Ved sugepunkter i gulvet er det vigtigt med diffusionstætte, fleksible samlinger for at undgå lækager. Sugepunkterne monteres eventuelt med individuelle reguleringsventiler for således at kunne regulere og styre flowet. Placering af afkast skal foretages under hensyntagen til eventuelle tagvinduer.

Installationen har efter opstart øjeblikkelig effekt. Ventilatoren dimensioneres til bortventilering af 5-20 m^3/h, med mulighed for justering til de givne forhold /6/. Effekten af ventilationssystemet er uafhængig af eksterne faktorer grundet tilslutning til ventilator. Luftskiftet under gulvet øges og trykgradienten ændres til at være konstant nedadrettet.

3.4 Valgte metoder til ventilation (delprojekt 1b)

Det er undervejs i projektet besluttet at udvide feltafprøvningen til også at omfatte en undersøgelse af, hvilken radondæmpende effekt der kan opnås ved at supplere tætningssikringen med ventilering i det kapillarbrydende lag.

I nedenstående afsnit ses en præsentation af, hvilke ventilationsmetoder der er valgt afprøvet i feltafprøvningen (delprojekt 1b).

Der var oprindeligt planlagt afprøvning i fire huse i alt, men pga. finanskrise blev byggeriet indskrænket til to huse med ventilation under gulvet. For at øge datagrundlaget i forbindelse med dokumentationsmålingerne er det derfor

valgt som supplement at inddrage en lokalitet beliggende uden for det primære forsøgsområde i Horsens.

Formålet med ventilationen har for denne lokalitet, som er beliggende i Århus, været at nedbringe en indeklimapåvirkning i boligen, der skyldes en forurening fra et tidligere renseri. Princippet for ventilationsinstallationen er på de to lokaliteter udformet, så sammenligning er mulig. Ventilationsdrænene er indbygget i følgende hustyper;

Hustype 2 (1 hus): Kantmembran under beton, tæt rørgennemføring
Hustype 5 (1 hus): Kantmembran over beton, almindelig rørgennemføring
Hus (Århus): Fuld membran, almindelig rørgennemføring

Den specifikke metode og anvendte materialer er nærmere beskrevet i afsnit 3.4.1 og 3.4.2.

3.4.1 Passiv ventilation i det kapillarbrydende lag (Horsens)

3.4.1.1 Byggeteknik
I ét hus i hver af hustyperne 2 og 5 i Horsens er der installeret ventilation i det kapillarbrydende lag.

Mellem den trykfaste isolering og sandpuden er indbygget et 20-30 cm tykt lag af Leca letklinker fra Weber A/S.

Ventilationsdræn og luftindtagsdræn er indbygget midt i letklinkerlaget. Dræn og luftindtag er udført i ø80 mm PVC-drænrør med 1,5 mm slidser fra Wavin. Drænstykkerne er ca. 1 m lange og placeret med en indbyrdes afstand på 2-4 m, med fire dræn på hver side af bygningen (situationsplan ses i bilag 8.2 og 8.3).

Umiddelbart op mod indvendig side af yderfundamentet er ventilationsdrænene tilkoblet et blindrør (ø80 mm PVC fra Wavin). Blindrøret føres op gennem gulvet i bryggersets teknikskab og føres herfra lodret op gennem skabet og videre ud gennem taget, hvor de er tilsluttet en vindhætte.

Den vinddrevne ventilator er af typen SupaVent 10", se bilag 4.3.

Rørstykkerne, der anvendes til luftindtag til det kapillarbrydende lag, er horisontalt fremført til yderfundamenterne. Hvorefter de er ført lodret op via hulmuren og tilkoblet en ventilationsrist i ydermuren ca. 50 cm over terræn, som vist på bilag 8.1, underbilag 3.

Alle vandrette rør i det kapillarbrydende lag er udlagt med 5 ‰ fald mod drænenden af hensyn til bortledning af evt. kondenserende kapillarvand.

Placering og føring af ventilationsdræn mv. fremgår af bilag 8.2 og 8.3.

Produktdatablade for kantmembran er vedlagt i bilag 4.4.

3.4.1.2 Målepunkter i det kapillarbrydende lag
Med henblik på at kunne dokumentere effekten af ventilationen er der i det kapillarbydende lag indbygget målepunkter udvalgte steder.

Installationen består af dels et målepunkt og dels et føringsrør. Målepunktet er etableret som ca. 30 cm langt ø32 mm PE filterrør. Føringsrøret består af et

ø6 mm kobberrør, fremført fra målepunktet til en moniteringsbrønd, der er placeret umiddelbart uden for bygningens fundament. Såvel målepunkt som føringsrør er placeret midt i det kapillarbrydende lag.

Samlebrøndene er etableret som en ø315 mm PE brønd, hvori kobberrørene er afsluttet med en ¾" kuglehane til prøvetagningsbrug. Placering af målepunkter og føringsrør fremgår af bilag 8.2 og 8.3.

3.4.2 Passiv ventilation i det kapillarbrydende lag (Århus)

3.4.2.1 Byggeteknik
Som supplement til husene i Horsens er inddraget en ekstra lokalitet beliggende i Århus. Også her er der etableret ventilation i det kapillarbrydende lag. Ventilationen er udført som et afværge mod en underliggende forurening med klorerede opløsningsmidler. Installationen er udført efter afgravning af forurenet jord samt renovering af kloakkerne på lokaliteten.

Efter afgravning af forurenet jord er der udlagt ventilationsdræn, luftindtag og målepunkter i det kapillarbrydende lag, som har en tykkelse på ca. 25 cm. Ventilationsdræn og luftindtag er udført som ø80 mm PVC-drænrør med 1,5 mm slidser fra Wavin. Drænstykkerne er ca. 1 m lange og placeret med henblik på størst mulig ventilation i det kapillarbrydende lag (situationsplan ses i bilag 8.4 og 8.5).

Ventilationsdrænene er ført som blindrør igennem kældergulvet. Over gulvet er rørføringen udført i ø80 mm galvaniseret stålrør, som anvendes til afkastrør. Samlingen mellem PVC-rør og galvaniseret stålrør er støbt ind i betonsoklen. Samlingen er udført i et moniteringsskab, hvor der er mulighed for manuel deaktivering af dræn. I alt føres to afkastrør op gennem bygningen og videre ud gennem taget, hvor de er tilsluttet en vindhætte.

Den vinddrevne ventilator er af typen SupaVent 10", se bilag 4.3.

Luftindtagene er som blindrør ført under soklen og er afsluttet over terræn i baggården med en afslutning i galvaniseret stål. Der er etableret i alt tre luftindtag i baggården.

Alle vandrette rør i det kapillarbrydende lag er udlagt med 5 ‰ fald mod drænenden af hensyn til bortledning af evt. kondenserende kapillarvand.

Placering og føring af ventilationsdræn mv. fremgår bilag 8.4 og 8.5 samt /16/.

Efter udførelse af ventilationsdræn er terrændækket udstøbt igen, med samtidig installation af en fuld membrandækning af hele kældergulvet med en R.A.C. membran.

3.4.2.2 Målepunkter i det kapillarbrydende lag
Med henblik på at kunne dokumentere effekten af ventilationen er der i det kapillarbydende lag indbygget målepunkter på udvalgte steder.

Installationen består af dels et målepunkt og dels et føringsrør. Målepunktet er etableret som ca. 50 cm langt ø32 mm PE filterrør, som er afproppet i begge ender. Føringsrøret består af et ø6 mm kobberrør, som er fremført fra målepunktet til moniteringsskabet i kælderen. Såvel målepunkt som føringsrør er placeret midt i det kapillarbrydende lag.

Føringsrør er ført ubrudt gennem kældergulvet og afsluttet med en ¾" kuglehane til i moniteringsskabet. Placering af målepunkter og føringsrør fremgår af bilag 8.4 og 8.5 og /16/.

3.5 Praktiske erfaringer fra anlægsfasen

3.5.1 Gennemført planlægning, tilsyn, interview mv. (delprojekt 1)

I forbindelse med anlægsarbejdet er dels gennemført almindeligt byggepladstilsyn af entreprenøren og bygherren og dels løbende udvidet tilsyn, specifikt i forhold til tiltag omkring radonsikring.

NIRAS har fra starten af planlægningsfasen inddraget såvel den projekterende ingeniør (Tri Consult), arkitekten (Tegnestuen Østjylland) som den udførende hovedentreprenør (Dansk Boligbyg), og den tætte dialog har medvirket til en god fælles forståelse af målet for de planlagte tiltag og elementer vedrørende detaljer for selve gennemførelsen.

NIRAS har endvidere deltaget i byggemøder undervejs med de udførende parter (murer, jordentreprenør, gulvmontør mv.), og der har derved været mulighed for at stille afklarende spørgsmål begge veje og gennemføre en tæt og direkte idéudveksling mellem rådgiver, hovedentreprenør, fagentreprenører og NIRAS.

I det samlede byggeri har 5 forskellige typer radonsikring været afprøvet. For at undgå fejl eller misforståelser har NIRAS derfor endvidere deltaget i udarbejdelse af tegningsmateriale og har efter fundamentsudstøbning opsat en fysisk letlæselig markering i hvert hus med information om, hvilken radonsikring der skulle indbygges.

For de huse, hvor der er indbygget ventilation under gulvet, har NIRAS udarbejdet en specifik "Særlig Arbejdsbeskrivelse" (SAB) til entreprenøren. Beskrivelsen er vedlagt som bilag 8.1.

Igennem hele byggeperioden har der været tæt dialog mellem NIRAS og entreprenøren om fremdriften og lign. på byggepladsen, og der er af NIRAS gennemført tilsyn i de enkelte huse. Ved tilsynene er det for alle huse kontrolleret, at den planlagte radonsikring også er den indbyggede. Detailkendskab til den faktiske udførelse har været en forudsætning for den efterfølgende sammenligning af data til dokumentation af effekter. Ved tilsynene er yderligere foretaget en "tilstandsvurdering" af de radonsikrende tiltag (funktionsdygtighed, fejl, skader mv.)

Der er endvidere gennemført interview med håndværkere og arbejdsmænd på pladsen for opnå størst mulig respons og kommentering i forhold til den praktiske håndtering.

3.5.2 Sammenfatning af praktiske erfaringer

Nedenfor ses for hver specifik sikringsdetalje en sammenfatning af de praktiske erfaringer, der er opnået i forbindelse med implementeringen. Beskrivelsen er opdelt i følgende overordnede emner;

- Kantmembran over betonpladen
- Kantmembran under betonpladen
- Fuld membran
- Rørgennemføringer (særlig tætning)
- Ventilationsdræn i kapillarbrydende lag
- Overjordisk rørføring mv. koblet til ventilationsdræn

3.5.2.1 Kantmembran over betonpladen

Kantmembran udlagt over betonpladen er umiddelbart den letteste og hurtigste metode at udlægge kantmembranen på, da membranen ikke skal foldes ved alle ind- og udvendige hjørner i bygningen.

Til gengæld bør membranen midlertidigt fastgøres til både sokkel og betonplade under monteringen, indtil enten for- eller bagmur er etableret. Hvis dette ikke sker, er der stor risiko for forrykkelse pga. vind.

I det aktuelle projekt er der observeret langt større og flere beskadigelser af membranen, når den placeres over betonpladen. Placeringen er her væsentligt mere udsat, og membranen er i stor udstrækning blottet i en meget længere periode - fra udlægning i forbindelse med opførelse af yder-/indermur, og helt frem til gulvbelægningen etableres. Igennem perioden vil mange forskellige håndværkere og arbejdsmænd være aktive på pladsen uafhængigt af hinanden og med hver sin specifikke arbejdsopgave. Pladsformanden og hovedentreprenøren vil gennem perioden have mange andre udfordringer at forholde sig til, og der er herfra udtrykt bekymring for, om det i praksis er realistisk at skabe det rette fokus gennem hele perioden.

I byggeperioden er det eksempelvis specifikt oplevet, at membranen ved alle vinduer og døre ved en fejl blev bortskåret af vinduesmontøren, da membranen var til gene for det forestående montagearbejde. Da pladsformanden opdagede fejlen, er det forsøgt at udbedre skaden ved tæt fugning langs bundstykket i vinduerne. Når byggeriet ibrugtages, vil en korrekt monteret membran ligge velbeskyttet under vægge og gulvbelægning. Om fugningen langs vinduerne på tilsvarende vis yder korrekt tætning på lang sigt, er uvist. Bevægelse mellem karm og gulv kan muligvis gøre, at fugningen slipper, så effekten af tætningen aftager over tid.

Det er endvidere påpeget fra hovedentreprenøren, at der er væsentlig større risiko for at "glemme" indbygning af membranen, når denne først kan monteres i det øjeblik, at eksempelvis vægelementerne leveres på pladsen. Selve processen omkring opstilling af færdigstøbte vægge er i sig selv en komprimeret proces, og derfor kan detaljen omkring udlægning af membran drukne i større gøremål og mere kompliceret logistik. Membranen skal således udlægges og fikseres, inden vægelementerne (bagmuren) afsættes på fundamentet af kranføreren.

Aktuelt blev membranen glemt i et af husene i byggeperioden, og på dette tidspunkt i opførelsen er der desværre ingen nemme alternativer. Det vil i sådan et tilfælde alene være muligt at sikre mod radonindtrængning ved enten at indbore ventilationsdræn udefra (via fundamentet) til det kapillarbrydende lag, ved at etablere en radonsump ved indvendig opbrydning af gulve eller ved at øge luftskiftet i boligen (begrænset effekt).

Hvis ikke der i hele byggeprocessen er udpeget én "kantmembransansvarlig", og denne har 100 % fokus i alle de kritiske faser, er der ved denne løsning meget stor risiko for, at der opstår væsentlige fejl, og at løsningen i sidste ende ikke har den ønskede effekt.

I bilag 3.3 og 3.5 ses billeder fra montagen i Horsens.

3.5.2.2 Kantmembran under betonpladen
Entreprenørens og håndværkerens tilbagemelding har været, at processen omkring udlægning af kantmembranen under betonpladen er væsentligt mere tidskrævende, end når udlægning sker over betonpladen. Dette skyldes, at der her opstår komplicerede foldninger i alle ind- og udvendige hjørner, og jo flere fundamentsfremspring og lignende, jo mere kompliceret og tidskrævende bliver membranen at montere.

Det var meget vigtigt ved projektets start grundigt at gennemgå med entreprenøren og hans arbejdsmænd, hvilket materiale der skulle bruges (der findes ikke mange dokumenteret tætte produkter på markedet), og hvordan montagen skulle foregå (alle foldninger, overlæg og tætninger udføres efter leverandørens anvisninger). Det var endvidere tydeligt, at metoden ikke har haft en udpræget anvendelse, hvorfor erfaringen forud for arbejdet ikke var til stede.

Det er dog samtidig erfaringen, at teknikken på ingen måde er umulig at tillære, og der er ingen forventninger om, at der evt. senere vil blive krav om, at montagen kræver særlig autorisation. Den primære grund til det øgede tidsforbrug er således, at montagen i hjørnerne kræver stor omhyggelighed.

Et af de punkter, hvor denne løsning er særlig følsom, er uden tvivl, hvis der ikke udvises den rette respekt for det forhold, at utætte hjørner i meget væsentlig grad nedsætter den samlede effekt.
Netop med henblik på at nedsætte tidsforbruget til dette, igangsatte Icopal et udviklingsarbejde til produktion af færdigstøbte ind - og udvendige membranhjørnestykker, og det forventes snart at være muligt at købe de færdigstøbte hjørnestykker i Danmark.

Ved tilsynene på byggepladsen er der kun observeret få skader på membraner udlagt under betonpladen. Da ca. halvdelen af membranen fra starten ligger beskyttet under betonpladen og samtidig er fikseret her, er membranen langt mindre udsat i byggeperioden end membranen ført over betonpladen.

Membranen skal udlægges, inden betonpladen støbes, og håndteringen sker derved meget tidligt i byggefasen. Membranen er herefter for den øverste halvdel kun synlig i relativt kort tid, indtil betonelementerne leveres, eller opmuring påbegyndes.

Det korte forløb, hvor der er aktivitet omkring kantmembranen, og det forhold, at første skridt tages meget tidligt i byggeriet, gør ifølge hovedentreprenøren, at det er væsentligt lettere, at kantmembranen får "rette fokus på rette tid". Sandsynligheden for at glemme membranen på en travl byggeplads vurderes her minimal.

Efter kantmembranen er udlagt, gulvene er udstøbt og inder/-ydervæggene er rejst, er kantmembranen fuldstændig beskyttet med undtagelse af hjørnet, hvor membranen kommer lodret op langs kantisoleringen og knækker ind over fundamentet. I det aktuelle tilfælde har man valgt, at de udstøbte gulve glatsli-

bes med sliberondel, umiddelbart inden gulvbelægningen monteres. Det har derfor været nødvendigt i slibeprocessen at udvise membranens særlig opmærksomhed i dette punkt, da der alternativt ville være risiko for at slibe hul i det blottede membranhjørne. Membranen er aktuelt bevidst ført på ydersiden af kantisoleringen, hvilket gør, at punktet, hvor en evt. slibemaskine kan ramme membranen, har mindst mulig udbredelse, og der er efter slibningen ikke observeret skader på membranen.

I bilag 3.2 og 3.4 ses billeder fra montagen i Horsens.

3.5.2.3 Fuld membran

At etablere en fuld membran, der dækker hele fladen for terrændækkets udbredelse, er såvel økonomisk som tidsmæssigt den mest krævende tætningsmetode, der er afprøvet i projektet.

Den fulde membran skal som kantmembranen over betonpladen foldes ved alle hjørner i bygningen. Der er dog en del flere hjørner end ved kantmembranen, da den fulde membran endvidere skal foldes hen over fundamenterne under indervæggene og udskæres og tætnes omkring rørgennemføringer. Membranen skal bestå af størst muligt ubrudte membranstykker for at reducere risikoen for lækager ved de efterfølgende samlinger med fugebånd. Den fulde membran etableres i et langt kraftigere og stærkere materiale end kantmembranen og beskadiges derfor ikke lige så nemt. Løsningen kræver særlig ekspertise for at opnå det bedst mulige resultat og udføres kun autoriseret.

I selve montageprocessen er der i det enkelte hus kun aktivitet omkring selve montagearbejdet. Der er derved i denne periode minimal risiko for skader påført af øvrige håndværkere. Den autoriserede montør skal selv udvise stor forsigtighed for at undgå, at membranen udlægges over skarpe genstande, der kan perforere membranen. En måde at beskytte membranen på er ved at anvende fiberdug eller geotextil, som kan lægges både over og/eller under selve membranen.

Når membranen er færdigmonteret, følger først isoleringsarbejdet, dernæst arbejde omkring opstilling af vægge (ind- og udvendigt), og igen i disse processer (særligt under isoleringsarbejdet) skal der udvises stor forsigtighed for at undgå, at der nedtrædes skarpe genstande i membranen med perforering til følge eller at membranen på anden vis perforeres. Her bliver der derfor igen behov for pladsformanden/hovedentreprenørens indblanding og overvågning, eventuelt kombineret med en beskyttelse med fiberdug eller geotextil. Heldigvis er hovedparten af processen tidsmæssigt komprimeret, og risikoen for, at hovedentreprenøren mister fokus, vurderes her at være begrænset.

Modsat kantmembranen er det ved den fulde membran meget vigtigt at være opmærksom på regnvejr efter udlægningen og frem til betonpladen er støbt. Når der falder nedbør, vil den udlagte fulde membran virke som et badekar, der holder al ikke fordampet regnvand tilbage. Hvis ikke vandet fjernes, vil vandet efterfølgende indstøbes i gulvkonstruktionen og give anledning til langvarig byggefugt i det færdige hus. I projektet blev der derfor, efter et regnvejr, foretaget en bevidst perforering (små snit i membranen) for at lede vandet ud, inden isolering blev udlagt og betonpladen støbt. Perforeringerne blev markeret og hullerne efterfølgende lukket med membranfugebånd. Denne metode til bortledning af vand kræver, at perforeringen udbedres af kvalificeret personale.

Alternativt kan anvendes vådstøvsuger eller vandtæt afdækning. En 100% vandtæt afdækning vil dog sandsynligvis i praksis være vanskelig.

Udlægning af isolering og støbning af betonpladen bør ske i umiddelbar forlængelse af membranudlægningen for derved at mindske risikoen for vandophobning over membranen pga. nedbør. Ved nedbør i perioden, efter at isoleringen er udlagt, og før der er sket udstøbning, vil det være påkrævet at fjerne isoleringen og bortlede vandet som beskrevet ovenfor. Processen kan derfor være særdeles omstændelig og er forbundet med risiko for fugt i konstruktionen, hvis ikke alt vand bortledes, og risiko for utætheder, hvis ikke alle perforeringer tætnes korrekt.

I bilag 3.1 ses billeder fra montagen i Horsens.

3.5.2.4 Rørgennemføringer (særlig tætning)
Den valgte tætningsmetode med anvendelse af flydende vådrumsmembran er arbejdsmæssigt en velkendt og udbredt metode. Processen omkring at tætne rørgennemføringerne i projektet er derfor forløbet relativt uproblematisk.

Den største udfordring har været at tætne omkring de mange gulvvarmeslanger, der er ført gennem gulvet i bryggersets teknikskab (se eksempel i bilag 3.5), og konklusionen er, at tætningen bør videreudvikles for fremtidigt byggeri, hvis der ønskes helt tætte løsninger her. Endvidere er det naturligvis vigtigt at huske at tætne samtlige rørgennemføringer. Udfordringen er dog til at overkomme, da arbejdet kan gennemføres i én arbejdsgang for hvert hus.

I bilag 3.1 – 3.3 ses billeder fra tætningen i Horsens.

3.5.2.5 Ventilationsdræn i kapillarbrydende lag
Den valgte metode med udlægning af dræn og fremføring til dels aftræksrør med vindhætte og dels luftindtag i væg har forløbet relativt uproblematisk.

Luftindtagene er valgt placeret i hulmuren for derved at skæmme bygningen udvendigt mindst muligt. Ved en sådan løsning skal der dog udvises særlig opmærksomhed på luftindtagets passage gennem kantmembranen over fundamentet.

I bilag 3.5 ses billeder fra montagen i Horsens. Der er ikke omtalt gener ved anordningen fra beboernes side.

3.5.2.6 Overjordisk rørføring mv. koblet til ventilationsdræn
Aftræksrøret føres op via teknikskabet i bryggerset og herfra videre op til en vindhætte. Etableringsprocessen er forløbet uproblematisk.

Den største udfordring har været i planlægningsfasen at vende arkitekten til tanken om, at to huse skulle have et lidt større og derved mere synligt aftræk på taget.

I bilag 3.5 ses billeder fra montagen i Horsens.

4 Laboratorieforsøg (DP2)

I dette kapitel gives en præsentation af de laboratorieforsøg, der er gennemført i delprojekt 2. De gennemførte forsøg er alle målrettet en tæthedsprøvning af udvalgte specifikke tætningsmetoder.

I kapitlet er de gennemførte forsøg i delprojekt 2 kortfattet beskrevet, og de væsentligste konklusioner er gengivet. Delprojekt 2 har dannet grundlag for et afgangsprojekt for to ingeniørstuderende fra Ingeniørhøjskolen i Århus. De to studerende har været styrende og primære ressourcer gennem hele delprojektet. Der har dog hele tiden pågået løbende koordinering og sparring med NIRAS' overordnede projektleder.

For en mere detaljeret præsentation af projektet henvises til /12/.

4.1 Formål og baggrund

Formålet med delprojekt 2 har været

- At udvikle en metode, der gør det muligt i laboratorium at foretage tæthedskontrol at samlingsdetaljer
- Ved laboratorieforsøg at undersøge tætheden i udvalgte samlingsdetaljer i gulvkonstruktionen. Under kontrollerede forhold har det vha. sporgasundersøgelser været hensigten at foretage en direkte sammenligning mellem indtrængningsmængden af sporgas i de udvalgte samlingsdetaljer.
- Resultater, der kunne bruges understøttende forud for beslutning om, hvilke detaljer der skulle undersøges delprojekt 1.
- At fremskaffe supplerende understøttende dokumentation om tæthed, der kunne indgå i et samlet hele for projektets overordnede mål.

Baggrunden for delprojektet er som for hovedprojektet en generel mangel på dansk dokumentation for effektiviteten af de individuelle tætningsmetoder.

4.2 Valg af metoder til laboratorieforsøg

Indledningsvis i delprojektet er der foretaget litteraturgennemgang af ind - og udenlandsk litteratur for ad den vej at få klarhed over de mulige løsninger og den på daværende tidspunkt opnåede erfaring. Herefter er der i samråd med NIRAS og SBi udvalgt 6 detaljer til tæthedsprøvning.

De 6 detaljer til tæthedsafprøvning er følgende;

- En hel ubrudt betonplade (referenceprøve)
- Tre forskellige typer rørgennemføringer (to af metoderne er anvendt i delprojekt 1)
- To forskellige typer kantmembran (er anvendt i delprojekt 1)

4.3.1 Forsøgskammer

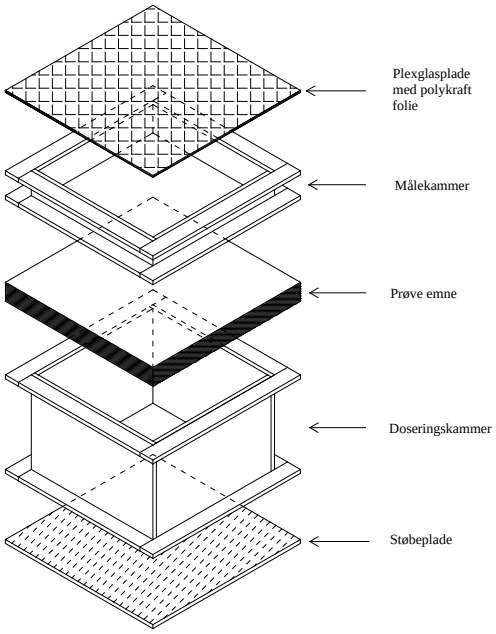
Forsøgskammeret er opbygget af to adskilte kamre med mulighed for montage af et prøveemne mellem kamrene.

Det nederste kammer fungerer som doseringskammer, og der er heri doseret sporgas på en måde, der har sikret en konstant koncentration i doseringskammeret (dokumenteret ved konstant måling) og en jævn spredning i kammeret (sikret ved opblanding vha. lille ventilator).

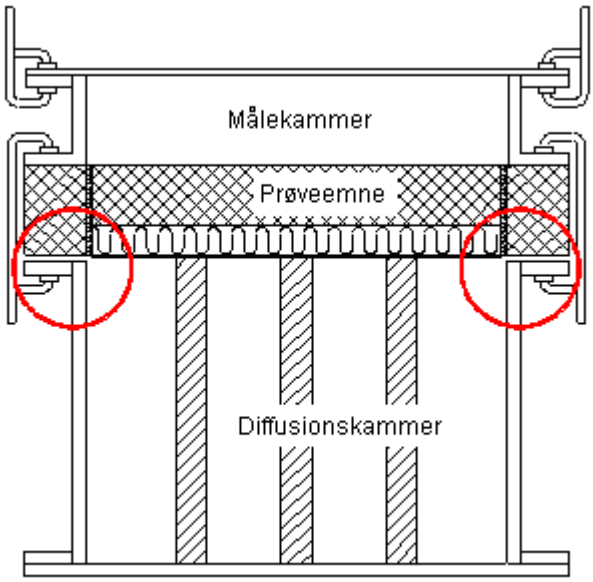
De to kamre adskilles af prøven, og tætheden af denne har derved afgjort, hvor meget sporgas der har kunnet finde vej til målekammeret. Ved hjælp af en lille ventilator er der sikret en konstant trykdifferens mellem doserings- og målekammer (let undertryk i målekammer).

Selve forsøgskamrene er fremstillet af træstøbeplader, der indvendigt er beklædt med alufolie (øget tæthed) samt en gennemsigtig plexiglasplade som top til det øverste kammer (målekammeret). Kamrene har en indvendig dimension på 700x700 mm og dybde på 500 mm (doseringskammeret)/150 mm (målekammeret). Kamrene er konstrueret med udvendige flanger, der gør det muligt at sammenspænde konstruktionen under måling med skruetvinge. Det er herved relativt nemt at samle og demontere konstruktionen.

Af nedenstående figur 4.1 og figur 4.2 ses en skitse af det samlede forsøgskammer og en skitse af, hvordan konstruktionen samles under afprøvningen. En nærmere beskrivelse af forsøgsopstillingen kan findes i /12/, og i bilag 10.1 er vedlagt en række fotos fra forsøgsudviklingen og den endelige opstilling.



Figur 4.1: Opbygning af forsøgskamre



Figur 4.2: Opbygning af forsøgskamre

For at sikre bedst mulig tæthed i forsøgskonstruktionen og færrest mulige fejlkilder er der gennemført en del udviklingstests (bl.a. røgtest) og forbedringer undervejs gennem forsøget. Dimensionering og forhold omkring tæthed er udviklet i tæt samarbejde med SBi og Icopal. De gennemførte udviklingstests er ligeledes beskrevet nærmere i /12/.

4.3.2 Sporgas

Idet radon naturligt er indeholdt i bygningsmaterialer, er det fra starten valgt ikke at benytte radon som sporgas.

Indledningsvis blev det i stedet overvejet at anvende CO_2 som sporgas, idet laboratoriet på Ingeniørhøjskolen i Århus allerede rådede over det nødvendige måleudstyr (CO_2 måleudstyr). Det blev dog relativt hurtigt besluttet ikke at anvende CO_2 - dels grundet en nærmere granskning af usikkerhederne, hvor der bl.a. vil være risiko for periodisk forhøjet baggrundsniveau (afgasning fra motorer og lign.) og dels pga. den sundhedsmæssige risiko, idet CO_2 muligvis kan diffundere gennem membraner og forsøgskamre og derved spredes til omgivelserne med sundhedsfare til følge og endvidere efterlade fejlagtige indtryk af de enkelte emners radontæthed.

Som endelig sporgas blev det besluttet at anvende lattergas, N_2O.

I doseringskammeret blev benyttet en koncentration på ca. 1.500 ppm, og der blev brugt en varierende trykdifferens på 20 - 100 Pa mellem doserings – og målekammer. En nærmere beskrivelse af gasmåler og erfaringer findes i /12/. Overvejelser om de specifikke sporgasser er foregået i tæt samråd med SBi, Icopal, Forskningscenter RISØ og Århus Universitet.

4.3.3 Måleudstyr

4.3.3.1 Gasmåler

Til brug for N_2O målingerne er anvendt en fotoakustisk Vivo TriGas detektor. Udstyret måler tre gasser samtidigt (N_2O, H_2O og CO_2). Der er i dette forsøg

dog alene anvendt måling på N_2O (primært måling) og CO_2 (sekundær måling).

For lattergas ligger måleintervallet for Vivo TriGas på mellem 0,4 og 4000 ppm, med den største målesikkerhed i området omkring 4 ppm. Ved de indledende forsøg er baggrundsniveauet fastsat til 3-4 ppm, og der er kalkuleret med en måleusikkerhed i området omkring 30 ppm, på ca. 4 % og fortsat relativt lavt i hele det aktuelle måleområde.

Måleudstyret har været tilsluttet en PC, hvorved det har været muligt at gennemføre kontinuerlige datalogninger, med måling hvert 10. sekund.

Udstyret giver mulighed for at tilslutte 3 samtidige målepunkter. Ved de indledende forsøg viste det sig imidlertid, på baggrund af sideløbende trykmålinger, at samtidige målinger i de to kamre ikke var muligt. Ved samtidige målinger mellem kamrene påførte pumpen i måleudstyret uhensigtsmæssige trykforhold på tværs af kamrene. Efter en del forsøg blev det derfor i stedet besluttet at gennemføre målingerne efter nedenstående mønster. Alle målinger er gennemført ved tilslutning af måleslanger fremført fra faste målepunkter i henholdsvis doseringskammer og målekammer.

Målingerne er gennemført efter nedenstående model;

1. måling i doseringskammeret (i 3 punkter), indtil der over tid er konstateret en stabil koncentration af N_2O (ca. 1550 ppm) og CO_2

2. målekammeret udluftes, indtil en stabil koncentration har indstillet sig og lukkes herefter

3. 2 min. efter afkobling af måleudstyr i doseringskammer (påvist nødvendig periode for renpumpning af udstyr) tilsluttes måleslanger målekammer. Der måles her ca. 2 min., hvorefter procedure gentages fra punkt 1.

Den samlede måleperiode har for hvert forsøg strakt sig over ca. 400 min.

4.3.3.2 Trykmåler

Da det har været altafgørende, at målingerne er gennemført under 100 % sammenlignelige differenstrykforhold, har det været nødvendigt at finde et egnet måleudstyr, hvor kontinuerte trykmålinger var mulige.

Til brug for dette har været anvendt en Debro Miniskop Type Min 2 trykdifferensmåler.

Måleintervallet for udstyret ligger på mellem 0 og 2000 Pa, med en målenøjagtighed på 0,1 Pa og en måleusikkerhed på 0,3 Pa.

Måleudstyret har under forsøget overvåget differenstrykket i kombination med, at den tilkoblede ventilator permanent har etableret et svagt overtryk i doseringskammeret, og der er gennemført målinger ved varierende differenstryk for hvert prøveemne.

Udstyret giver mulighed for at tilslutte to samtidige målepunkter. Alle målinger gennemføres ved tilslutning til måleslanger fremført fra faste målepunkter i henholdsvis doseringskammer og målekammer.

Den samlede måleperiode har for hvert forsøg strakt sig over ca. 400 min.

4.4 Forsøgsbeskrivelse

4.4.1 Prøveemner og materialebeskrivelse

I forsøget blev testet i alt seks konstruktionsdetaljer.

De 6 detaljer til tæthedsafprøvning er følgende;

Prøveemne 1	En hel ubrudt betonplade (reference)
Prøveemne 2-4 er	Tre forskellige typer rørgennemføringer (to af metoderne anvendt i delprojekt 1)
Prøveemne 5-6	To forskellige typer kantmembran (er senere anvendt i delprojekt 1)

Nedenfor ses en kortfattet beskrivelse af de enkelte prøveemner. Prøveemnerne er endvidere illustreret nedenfor i figurerne 4.3 – 4.8. Uddybende beskrivelse ses i /12/.

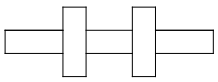
4.4.1.1 Prøveemner 1 (betonplade)

Prøven er en intakt betonplade uden støbeskel (referenceprøve), med en tykkelse på 100 mm, rundstål Y6 armeringsnet med maskevidde på 90 mm /12/.

Betonpladen svarer i tykkelse og armeringstæthed omtrent til den betonplade, der er anvendt i alle de undersøgte huse i delprojekt 1.

Figur 4.3: Betonplade, forsøgsemne 1

4.4.1.2 Prøveemne 2 (traditionel omstøbt rørgennemføring)

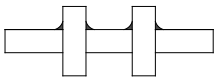


Prøven er en intakt betonplade uden støbeskel, tykkelse 100 mm, armeret med Y6 rundstål med central maskevidde på 300 mm /12/. Gennembrudt af 4 stk. ø110 mm PEH afløbsrør. Rørene er afproppet ved spejlsvejsning i begge ender. Støbning direkte omkring rørene. Rørene er placeret med indbyrdes afstand på ca. 250 mm.

Metoden svarer til den rørgennemføring, der er anvendt som "traditionel rørgennemføring" i delprojekt 1.

Figur 4.4: Udstøbning af betonplade, forsøgsemne 2

4.4.1.3 Prøveemne 3 (fugetætnet rørgennemføring)



Prøven er en intakt betonplade uden støbeskel, tykkelse 100 mm, der er armeret med Y6 rundstål med central maskevidde på 300 mm /12/ og gennembrudt af 4 stk. ø110 mm PEH afløbsrør. Rørene er afproppet ved spejlsvejsning i begge ender. Støbning direkte omkring rørene. Rørene er placeret med indbyrdes afstand på ca. 250 mm. Der er efter afhærdning af betonpladen fuget med vådrumsfuge omkring rørene, på oversiden af betonpladen.

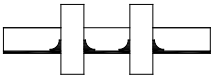
Fugemateriale af typen Altix S-Silicon.

Metoden svarer til den løsning, der er anvendt som "særligt tætnede rørgennemføringer" i delprojekt 1.

Som udgangspunkt forud for forsøgene var det forventningen, at dette emne ville udgøre den mest tætte af de valgte (ekskl. fuld membran).

Figur 4.5: Betonplade med fugetætnede rørgennemføringer, forsøgsemne 3

4.4.1.4 Prøveemne 4 (rørgennemføring i fuld membran).



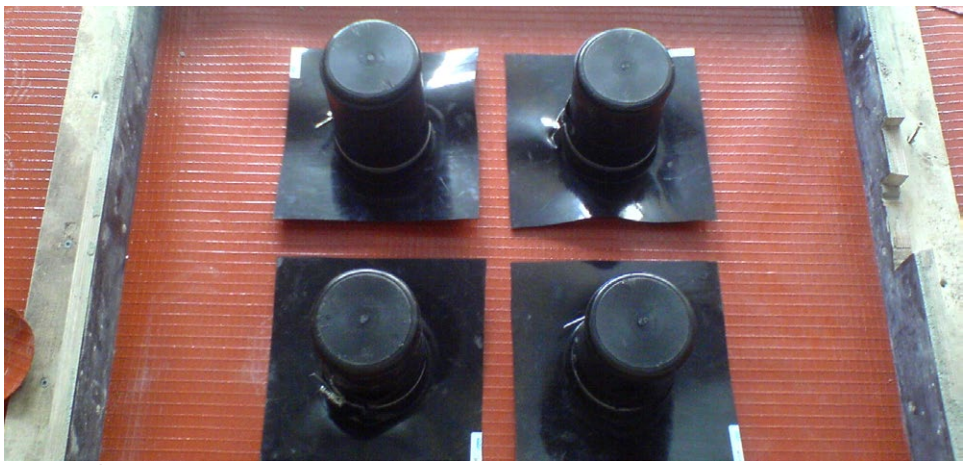
Prøven er en intakt betonplade uden støbeskel, tykkelse 100 mm, der er armeret med Y6 rundstål med central maskevidde på 300 mm /12/ og gennembrudt af 4 stk. ø110 mm PEH afløbsrør. Rørene er afproppet ved spejlsvejsning i begge ender. Rørene er placeret med indbyrdes afstand på ca. 250 mm. Inden udstøbning er begge rørgennemføringer påmonteret en Tophat gummimanchet (Icopal). Manchetten er fastgjort med butyltape og spændebånd om rørene. Manchetten er desuden fastgjort med butyltape på Icopal R.M.B 400 radonmembran.

Membranen er opbygget af tre lag polyethylen og armeret med fibernet. Total tykkelse er 0,4 mm. Icopal tophat er opbygget af flere lag LDPE (Low Density PolyEthylene) og har en samlet tykkelse 0,3 – 1 mm (varierende efter, hvor der måles).

Membranen dækker hele pladens udbredelse.

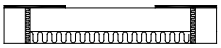
Metoden svarer til den løsning, der er anvendt som ”fuld membran” i delprojekt 1.

Som udgangspunkt forud for forsøgene var det forventningen, at dette emne ville udgøre den mest tætte af de valgte.



Figur 4.6: Før udstøbning af betonplade, forsøgsemne 4 (fuld membran og manchet)

4.4.1.5 Prøveemner 5 (kantmembran over betonpladen).

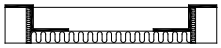


Prøven er en intakt betonplade uden støbeskel, tykkelse 100 mm, der er armeret med Y6 rundstål centralt gitter á 200 x 300 mm /12/. I prøven er indstøbt langsgående 20 mm kantisolering, placeret 120 mm inde fra begge sider (2 sider). Efter hærdning af betonpladen er en kantmembran af typen Icopal R.M.B. 400 fastgjort til betonpladen med butyltape.

Metoden svarer til den løsning, der er anvendt som "kantmenbran over betonplade" i delprojekt 1.

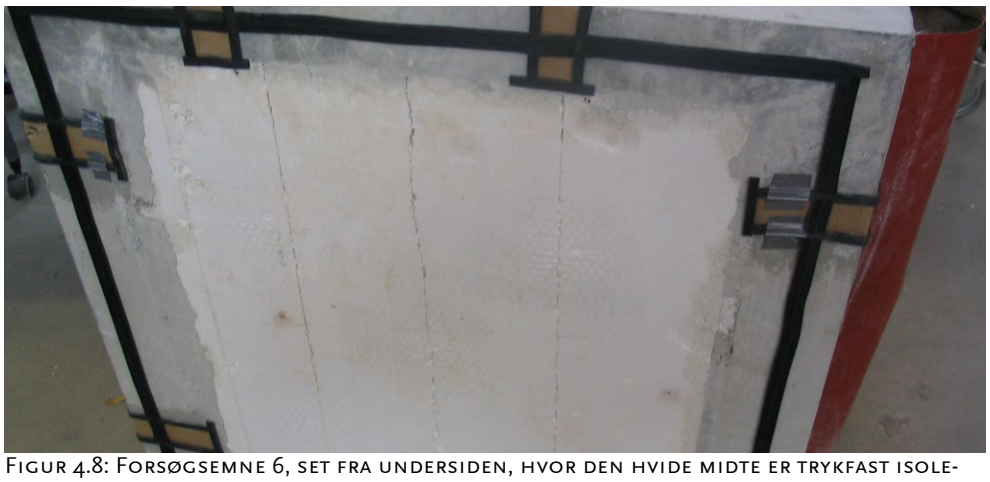
Figur 4.7: Forsøgsemne 5. Kantmembran fastgøres til butyltape, som på billedet er klæbet fast til betonplade og hen over kuldebroisoleringen (smalle hvide linie nederst og øverst i billedet).

4.4.1.6 Prøveemner 6 (kantmembran under betonpladen).



Prøven er en intakt betonplade uden støbeskel, tykkelse 100 mm, der er armeret med Y6 rundstål centralt gitter á 200 x 300 mm /12/. I prøven er indstøbt langsgående 20 mm kantisolering, placeret 120 mm inde fra begge sider (2 sider). Kantmembranen udlægges inden udstøbning og klemmes derved mellem underlaget og betonpladen. Af hensyn til opstillingens stabilitet er der her anvendt en træplade som "understøtning" i stedet for polystyren.

Metoden svarer til den løsning, der er anvendt som "kantmenbran under betonplade" i delprojekt 1.



Figur 4.8: Forsøgsemne 6, set fra undersiden, hvor den hvide midte er trykfast isolering.

4.4.2 Forsøgsprogram

De ovenfor listede prøveemner er alle testet efter nedenstående forsøgsprogram, hvor der i hele perioden er målt koncentrationer af N_2O og CO_2 samt differenstryk.

Prøve-emne	1. måling	2. måling	3. måling
Differenstryk	100 Pa	50 Pa	20 Pa
Måletid	Ca. 1,5 time	Ca. 3 timer	Ca. 6 timer

Tabel 4.1: Forsøgsprogram.

4.5 Forsøgsresultater og vurderinger

Forsøgsresultaterne fra de gennemførte laboratorieforsøg ses nedenfor præsenteret på et overordnet niveau.

En mere detaljeret gennemgang af resultaterne ses i /12/.

4.5.1 Hel ubrudt betonplade (prøveemne 1)

Måleresultater. Inden for forsøgets relativt korte tidsrum forekommer hverken diffusiv eller konvektiv strømning af sporgassen gennem den intakte betonplade.

Vurdering. På baggrund af forsøget kan der derved konkluderes, at betonpladen som helhed er tæt uden målbare lækager under de givne prøveforhold.

4.5.2 Traditionel omstøbt rørgennemføring (prøveemne 2)

Måleresultater. Der ses i forsøget en lineær sammenhæng mellem trykdifferens og indtrængning. Det sluttes på baggrund af dette, at advektiv strømning er dominerende.

Denne prøve er den mindst tætte af rør-forsøgene (prøve 2 – 4).
Worst case resultater ved de gennemførte målinger er C_{start} på 11,2 ppm, C_{slut} 166,8 ppm (måleperiode 88 min, og differenstryk på 100 pa).

Vurdering i forhold til praksis. Denne metode for rørgennemføring vil være den mest simple at udføre i praksis og er sandsynligvis den metode, der anvendes mest hyppigt i praksis.

Rørgennemføringen vil sandsynligvis med tiden blive væsentligt mere utæt, end forsøget demonstrerer – dels pga. den termiske påvirkning, der vil forekomme ved temperaturvariationer i beboelsen (udvidelse og sammentrækning af materiale) og dels pga. sætninger og lign.

4.5.3 Fugetætnet rørgennemføring (prøveemne 3)

Måleresultater. Der ses i forsøget en lineær sammenhæng mellem trykdifferens og indtrængning, dog væsentlig mindre end prøve 2.

Denne prøve er den mest tætte af rørgennemføringsforsøgene (prøve 2 – 4). Det skal dog samtidig pointeres, at vådrumsfugen ved forsøget er nyetableret, og at effektiviteten formodentlig vil reduceres med alderen.

Worst case resultater ved de gennemførte målinger er C_{start} på 16,3 ppm, C_{slut} 44,3 ppm (måleperiode 94 min, og differenstryk på 100 pa). Den relative indtrængning i forhold til prøve nr. 2 er derved 20,6 %.

Vurdering i forhold til praksis. Metoden er meget simpel og billig at udføre med en god effekt og er den af tætningsmetoderne omkring rørgennemføringerne, der ved forsøget giver den bedste tæthed.

På længere sigt vil tætningen sandsynligvis kræve vedligehold i form af omfugning for at opnå varig effekt. Dette pga. svind/udtørring omkring fugen og evt. sætninger og lignende omkring gennemføringen

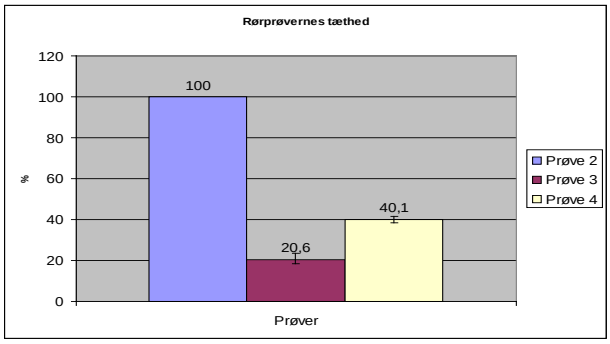
4.5.4 Rørgennemføring i fuld membran (prøveemne 4)

Måleresultater. Der ses i forsøget en lineær sammenhæng mellem trykdifferens og indtrængning. Indtrængningen er væsentlig mindre end prøve 2, men større end prøve 3.

Worst case resultater ved de gennemførte målinger er C_{start} på 7,4 ppm, C_{slut} 68,1 ppm (måleperiode 93 min, og differenstryk på 100 pa). Den relative indtrængning i forhold til prøve nr. 2 er derved 40,1 %.

Vurdering i forhold til praksis. Metoden forventes at have en lang levetid og giver betydelig reducering i radonindtrængning. Metoden er dog samtidig mere besværlig og bekostelig at udføre end de øvrige.

Nedenfor ses en samlet figur til illustration af den relative indtrængning i de enkelte prøver med rørgennemføring (prøve 2-4). Prøven uden tætning i rørgennemføringen repræsenterer 100 % af værdien.



FIGUR 4.9: RELATIV UTÆTHED, PRØVER MED RØRGENNEMFØRING

4.5.5 Kantmembran over betonpladen (prøveemne 5)

Måleresultater. Der ses i forsøget en lineær sammenhæng mellem trykdifferens og indtrængning.

Prøve 5 og 6 tillader stort set lige meget sporgas passage til målekammeret. Ved metoden ses at ske en væsentlig indtrængning af sporgas, men sammenholdt med koncentrationen i doseringskammeret ses der alligevel opnået en god tilbageholdelse ved at tætne kuldebro-afbrydelsen.

Worst case resultater ved de gennemførte målinger er C_{start} på 10,4 ppm, C_{slut} 210,4 ppm (måleperiode 96 min, og differenstryk på 100 pa).

Vurdering i forhold til praksis. Ingen bemærkninger.

4.5.6 Kantmembran under betonpladen (prøveemne 6)

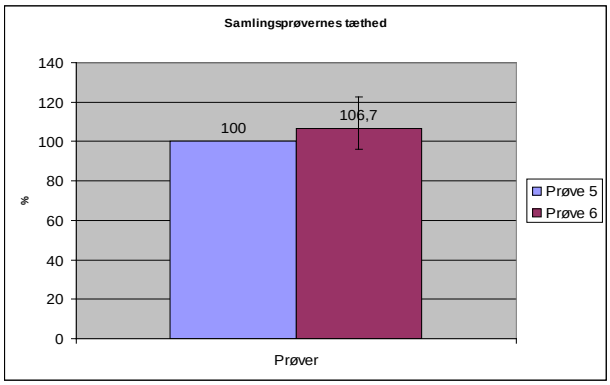
Måleresultater. Der ses i forsøget en lineær sammenhæng mellem trykdifferens og indtrængning.

Prøve 5 og 6 tillader stort set lige meget sporgas passage til målekammeret. Ved metoden ses at ske en væsentlig indtrængning af sporgas, men sammenholdt med koncentrationen i doseringskammeret ses der alligevel opnået en god tilbageholdelse ved at tætne kuldebro-afbrydelsen.

Worst case resultater ved de gennemførte målinger er C_{start} på 13,1 ppm, C_{slut} 187,8 ppm (måleperiode 80 min, og differenstryk på 100 pa).

Vurdering i forhold til praksis. Det mest kritiske punkt ved metoden er givet de steder, hvor samling vanskeliggøres pga. niveauspring, brudte flader mv.

Nedenfor ses en samlet figur til illustration af den relative indtrængning i de enkelte prøver med kantmembran (prøve 5-6). Prøven med membran over betonpladen repræsenterer 100 %-værdien. Måleusikkerhed gør dog, at det på baggrund af det gennemførte forsøg ikke er muligt at vurdere, hvilken af de to metoder der er tættest.



FIGUR 4.10: RELATIV UTÆTHED, PRØVER MED KANTMEMBRAN

Usikkerheder i forbindelse med udførelse af forsøgene er diskuteret i /12/.

4.5.7 Metodeevaluering

De gennemførte forsøg vurderes samlet set at være forløbet tilfredsstillende.

Ved en løbende evaluering er dog noteret en række muligheder for forbedringer for evt. fremtidige opfølgende forsøg. Disse forbedringsforslag ses alle præsenteret i /12/.

Forbedringsforslagene rummer bl.a. forbedringer i kammerkonstruktionen (stål frem for træ eller øget indvendig tætning med barrierefolie). Dette, da der over tid ses tegn på mindre utætheder. Automatisk trykstyring og samtidig koncentrationsmåling i begge kamre er ligeledes tiltag, der ville optimere forsøgsproceduren.

I /12/ er endvidere listet forslag til udvidelse af eventuelle fremtidige forsøg. Tiltag, der bl.a. af tidsmæssige grunde ikke var mulige at gennemføre i dette projekt. Det statistiske grundlag i forsøgene er ikke tilstrækkelige, og der bør foretages gentagne målinger for de enkelte opstillinger, før der kan drages endelige konklusioner.

4.6 SAMMENFATNING

Der er udviklet en forsøgsopstilling, der kan anvendes til at måle, hvor stor en mængde gas der slipper gennem en given konstruktionsdetalje ved kendt trykdifferens og gaskoncentration.

I forsøget er det diffusive bidrag negligeret /12/, og undersøgelsen giver derfor kun et indblik i tætningsmaterialernes modstandsdygtighed over for advektiv strømning, altså forskellen i de forskellige tætningsmetoders effektivitet. Der er under forsøgene anvendt trykdifferens i området 20 – 100 Pa, hvilket ligger væsentligt over den gennemsnitlige trykdifferens for boliger, ca. 1 – 5 Pa. Der må derved i praksis forventes en væsentlig bedre tæthed end den påviste. Den høje trykdifferens er anvendt for at sikre tydelige udslag under afprøvningen.

Med baggrund i de gennemførte forsøg kan det konkluderes, at den relativt billige tætningsmetode til rørgennemføringer, vådrumsfuge er den mest effektive af de tre undersøgte rørgennemføringer. Vådrumsfugen må derfor konkluderes at være en effektiv måde at tætne advektive indtrængningsveje på. Konstruktionsdetaljen med tætning ved tophat og fuld membran er i det gennemførte forsøg kun halvt så effektiv som vådrumsfuge, men giver dog allige-

vel en betydelig sænkning af gasindtrængning i forhold til detaljen udført uden sikring.

Forsøget konkluderer endvidere, at der ikke umiddelbart er forskel på de to membranløsninger til sikring af kuldebroisoleringen. Det har af tidsmæssige grunde desværre ikke været muligt at udføre forsøg på konstruktionsdetaljen uden radonmembran, så der er ikke et egentligt sammenligningsgrundlag for at se, hvor meget metoden reducerer gasindtrængning i forhold til uden sikring.

5 Radonpotentialet (DP3)

I dette kapitel ses en præsentation af de udviklingstiltag og undersøgelser, der er gennemført i delprojekt 3. De gennemførte tiltag har bl.a. haft fokus på at udvikle en ny undersøgelsesmetode, der kan anvendes, hvis der ønskes klarlagt, hvad radonindholdet er i jorden på en given grund, før der bygges. I delprojektet er variationen i radonindholdet i jordluften undersøgt på den byggegrund, der indgår i delprojekt 1.

Det skal dog understreges, at radonmålinger i jord på en byggegrund ikke kan benyttes til efterfølgende at klarlægge koncentrationen i indeklimaet i den kommende bolig /2/. Radonmålinger i jord benyttes til at udpege eventuelle geografiske risikozoner, hvor risikoen for høje radonkoncentrationer i indeklimaet er forhøjet.

I kapitlet er de gennemførte undersøgelser kortfattet beskrevet, og de væsentligste konklusioner er gengivet. Resultaterne fra delprojekt 3 indgår i forbindelse med datagranskning i delprojekt 1 (radonmålinger i huse).

Delprojekt 3 har dannet grundlag for et afgangsprojekt for to ingeniørstuderende fra Via University College i Horsens. De to studerende har været styrende og primære ressourcer gennem hele delprojektet. Der har dog hele tiden pågået en løbende koordinering og sparring med NIRAS' overordnede projektleder.

For en mere detaljeret præsentation af projektet henvises til /ref. 13/.

5.1 Formål og baggrund

Formålet med delprojekt 3 har været

- At udvikle en undersøgelsesmetode til at foretage radonmåling i jorden (uafhængig af de geologiske forhold)
- Ved feltarbejde at afprøve metoden i praksis
- På et indledende niveau at kortlægge radonvariationerne i jorden på den byggegrund, hvor delprojekt 1 gennemføres (kontrol af tæthed i 21 huse).

Det har været relevant på et indledende stade at udvikle og afprøve en målemetode, der kan anvendes i alle jordarter. Tidligere anvendte metoder til at måle radonindholdet i jorden er primært baseret på måling ved forudgående at suge poreluft ud af jorden. I lerede jordarter er dette imidlertid vanskeligt, og denne undersøgelsesmetode kan derfor være behæftet med relativt stor usikkerhed. Dette er uheldigt, da forhøjede radonforekomster optræder i lerede aflejringer, og det vil derfor som udgangspunkt være mest interessant at foretage måling netop her.

Hvis der kunne udvikles en god og simpel metode til at kortlægge radonindholdet i jorden, kunne sådanne målinger muligvis være relevante i fremtiden som en del af det forberedende byggetekniske arbejde på linie med geotekniske undersøgelser. Ved sikker viden om radonindholdet i jorden vil det være

muligt at tilpasse radonsikringen til det enkelte hus. Det har dog ikke været ambitionen at foretage en færdigudvikling af en sådan metode eller at oparbejde et statistisk materiale til underbygning af fremtidsperspektiverne, men blot at igangsætte et indledende arbejde til evt. senere videreførelse.

Da netop radonmålinger indgår som en del af dokumentationen i undersøgelsen i delprojekt 1, har der været ønsket et vist kendskab til variationerne for radonkoncentrationen i jorden på lokaliteten. Hvis variationen er stor, må det tilsvarende forventes, at der sker en uensartet påvirkning af de boliger, der skal undersøges, hvilket igen får betydning i forbindelse med tolkningen af tætheden for de specifikke konstruktionsdetaljer. Målingerne er derved også gennemført med henblik på at sikre det bedst mulige vurderingsgrundlag for granskningen i delprojekt 1. Samtidig har det dog fra projektets start været klart, at det ikke ville være muligt at foretage en præcis kortlægning af radonkoncentrationerne i området.

5.2 Valg af metode og metodebeskrivelse

Indledningsvis er der i delprojektet undersøgt og gransket en række forskellige radonmålere, hvoraf én er nærmere undersøgt ved feltafprøvning i projektet.

Som nævnt ovenfor har det været et mål at udvikle og testafprøve en metode, der gør det muligt at måle radonindholdet uafhængigt af de geologiske forhold.

Det udstyr, der er valgt anvendt i projektet, er af typen SARAD DOSEman, anbragt nedhængt i et 6" borehul.

Som supplement til DOSEman målingerne er der til sammenligning foretaget feltmåling på udstyr af typen Markus 10 (måling på ekstraheret poreluft).

5.3 Metodebeskrivelse

5.3.1 Geologiske undersøgelser

En indsigt i og forståelse for de geologiske forhold i området er væsentlig for tolkningen af måleresultaterne. De geologiske forhold i området er undersøgt, dels ved boringer i forbindelse med geotekniske undersøgelser på grunden og dels ved geofysiske målinger på lokaliteten (Wenner profilering, Schlumberger sonderinger og MEP profilering, del af studieforsøg). Undersøgelserne er endvidere suppleret med dataindhentning fra Jupiter /28/.

En uddybende gennemgang af målemetoderne findes i /13/.

Resultatet af de geologiske undersøgelser er kort resumeret i afsnit 5.4.1.

5.3.2 Udstyrsbeskrivelse (radonmåling)

5.3.2.1 DOSEman
DOSEman er et elektronisk radon dosimeter, hvor henfaldsprodukterne fra radon aflejres på en halvlederdetektor, som er koblet til et alfaspektrometer.

Dosisværdien og radonkoncentrationen beregnes og vises med det samme online i eksponeringstiden.

Apparatets følsomhed for en times måling er ved en værdi på 1000 Bq/m^3 ±25 %. Ved en gennemsnitskoncentration på 200 Bq/m^3 over en 8 timers arbejdsdag er fejlen ±20 %.

Udstyret er oprindeligt udviklet til sikring af arbejdsmiljøet ved minearbejde.

5.3.2.2 Markus 10
Markus 10 er en elektronisk radonmåler udviklet af Gammadata i Sverige. Apparatet er udstyret med en indbygget pumpe til oppumpning af poreluft via et jordspyd og er således specialdesignet til måling af radonkoncentrationen i jorden. Selve radonmåleren fungerer med halvlederdetektor på samme måde som DOSEman. Markus 10 modtager imidlertid kun data fra impulserne ved henfald af de kortlivede ^{218}Po isotoper, hvorfor apparatet hurtigt kan tages i brug andetsteds /13/.

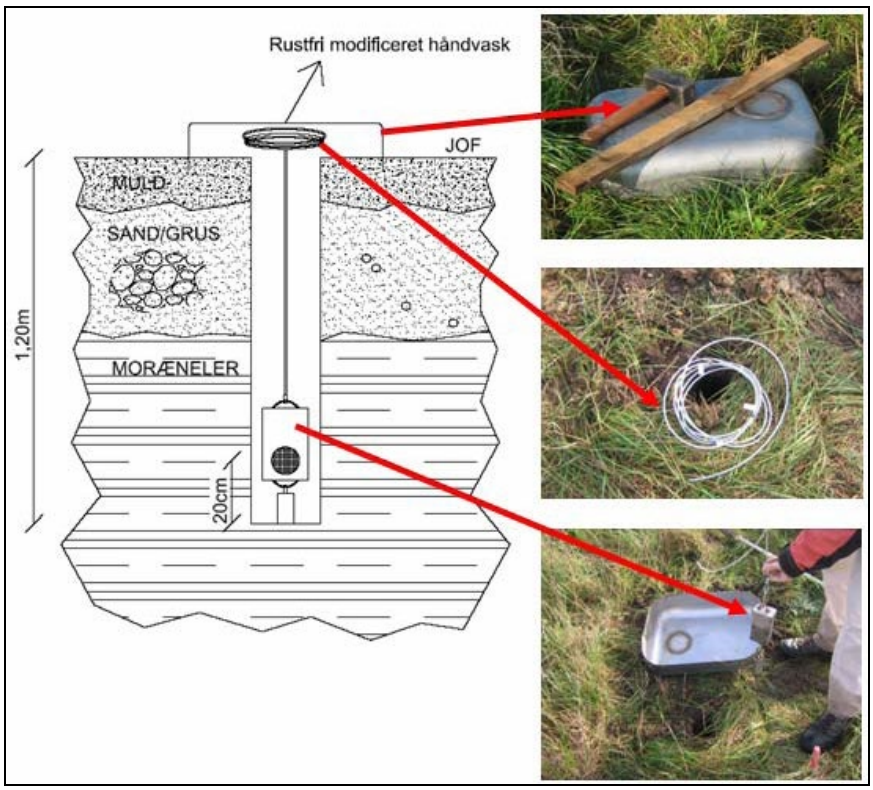
Apparatets nøjagtighed er ca. 10 % ved en måling på 50 kBq/m^3.

Udstyret er udviklet til at foretage målinger af radon i jorden.

5.3.3 Måleprincipper (radonmåling) mv.

5.3.3.1 DOSEman
Grundprincippet ved DOSEman målingen er, at der i hvert målepunkt etableres en håndboring (6"), og at udstyret herefter nedsænkes i boringen for måling. For at målingen ikke påvirkes af tilstrømning af frisk luft fra terræn, aflukkes målepunktet under målingen.

Nedenstående figur 5.1 viser i snit udstyret placeret i boringen og ved foto selve udstyret og emnet, der benyttes til af aflukke boringen under målingen.



Figur 5.1: Målemetode DOSEman

På baggrund af en række indledende testmålinger er måleperioden i undersøgelsen fastsat til 60 min. pr. boring og måledybden fastsat til 1 m u.t. Ved hver måling er der samtidig foretaget en lokal registrering af vejrdata (vindhastighed, temperatur, barometertryk og nedbør). Data er indhentet ved opstilling af en lokal vejrstation.

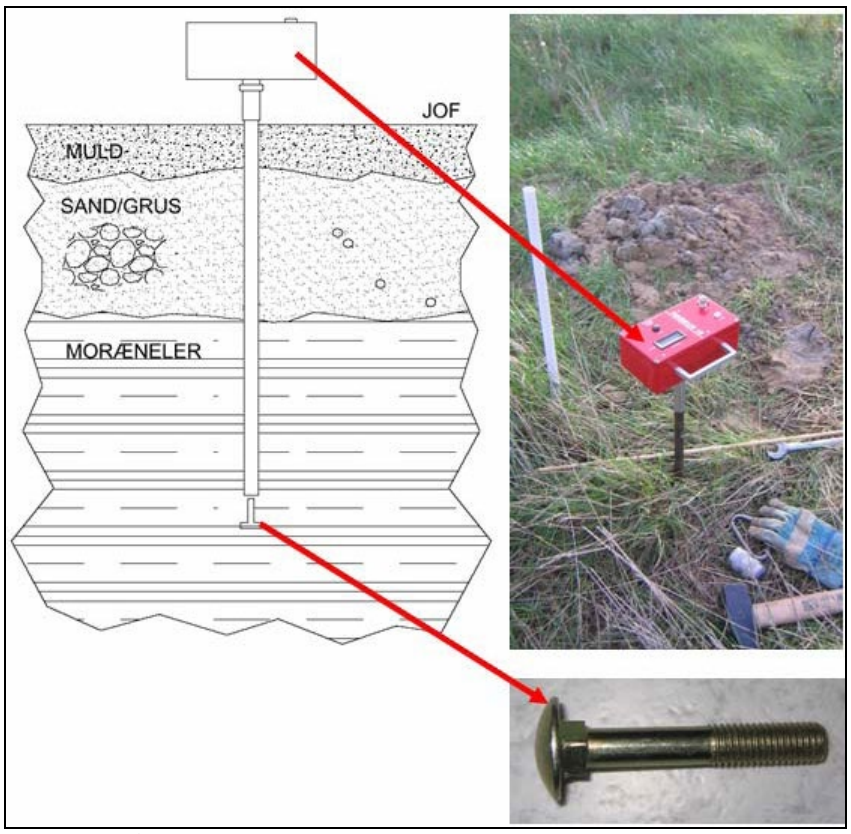
Målingerne er foretaget ved passiv (diffus) måling på poreluften i borehullet.

Under hvert hus er etableret 2 målepunkter/boringer (i alt 38 stk.), og mellem kommende huse er placeret yderligere 5 målepunkter/boringer. Målingerne er således gennemført i et stort antal boringer, hvorved der er opnået en relativt god målemæssig dækning af området. Af situationsplanen i bilag 1.2 ses, hvor de enkelte boringer har været placeret i området (én boring pr. hus).

Da der kun har været mulighed for at inddrage ét måleudstyr i undersøgelsen, har det ikke været muligt at gennemføre målingerne samtidigt. Målingerne er derfor foretaget i forlængelse af hinanden, i perioden 4. – 15. november 2006, og er derfor foretaget under varierende meteorologiske forhold.

5.3.3.2 Markus 10
Grundprincippet ved de traditionelle Markus 10 målinger er, at der nedrammes et poreluftspyd, og efterfølgende oppumpes poreluft. Målingerne er foretaget ved 30 sekunders aktiv oppumpning og efterfølgende måling på den ekstraherede poreluft.

Nedenstående figur 5.2 viser i snit udstyret poreluftspydet nedrammet til 1 meters dybde og ved foto selve udstyret.



Figur 5.2: Målemetode Markus 10

Ved begge metoder er der i undersøgelsen primært foretaget måling ca. 1 m u.t. I enkelte målinger er der dog foretaget måling i større dybder.

Målemetoden og udstyret er nærmere beskrevet i /13/.

5.4 Resultater

Resultaterne fra de gennemførte undersøgelser er nedenfor kort beskrevet. En uddybende gennemgang ses i /13/.

5.4.1 Områdets geologi

Området er beliggende i kote ca. +40,5 til +44,0 DNN på den nordlige side af en svagt stigende bakke, strækkende sig over hele den sydlige del af Horsens by. Øst for området ligger Boller Overskov.

Jordlagene på området består øverst af et ca. 0,5 m muld- og fyldlag. Herunder er der i de geotekniske boringer 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. Flere af sand- og gruslagene vurderes at have en vis horisontal udbredelse, men sammenhængen mellem disse lag er ikke klarlagt. I enkelte boringer ses endvidere tynde lag af tertiært glimmerler (ca. 3,5 m u.t).

Den nærmeste DGU boring med geologisk beskrivelse er boringen med DGU nr. 107.106 fra 1939. Boringen er lokaliseret i kote +57,1. Fra terræn til 10 m u.t. træffes ler, afbrudt af en sandslire i 4 m u.t. af 1 m mægtighed. Fra 10 –

15 m u.t. træffes sand, som underlejres af et lag af glimmersilt og glimmerler til 24 m u.t. Herunder træffes et grus og sandlag af 1 m mægtighed, underlejret af glimmersand til 28 m u.t. Herunder træffes glimmerler til boringens bund 70 m u.t.

Der er truffet grundvand i langt de fleste geotekniske boringer på grunden. Grundvandsspejlet er her er truffet i kote +37,7 til kote +38,8, svarende til ca. 2-3 m u.t. Beliggenheden af det primære grundvandsspejl kan ikke præciseres af mangel på lokale, dyberegående boringer. Strømningsretningen for det terrænnære grundvand vurderes at være nordnordøst mod Horsens Fjord. Mægtigheden af den umættede zone er svagt faldende mod nordnordøst.

I bilag 11.4 – 11.6 ses to geologiske snit over området. For yderligere snit henvises til /13/.

5.4.2 Radonindhold i jord (horisontalt og vertikalt)

Der er dels foretaget målinger med henblik på at vurdere sammenhængen mellem jordtype og radonindholdet (referencemålinger). Dernæst er foretaget måling med henblik på at vurdere spredningen for radonpotentialet på grunden.

Radonkoncentrationen i jorden afhænger af en række faktorer, herunder bl.a.;

- Udsving i barometertryk, fugtighed og temperaturvariationer
- Variationer i den geologiske sammensætning
- Jordens vandindhold
- Tykkelsen af den umættede zone

De enkelte faktorer er tidligere omtalt i afsnit 2. Nedenfor er de to måleserier beskrevet kortfattet.

5.4.2.1 Kortlægning af den vertikale radonudbredelse
Der er etableret i alt 6 målepunkter/boringer med henblik på kortlægning af den vertikale radonudbredelse. Målepunkterne er benævnt Ref1-6 (referencemålinger).

Målepunkterne er etableret i umiddelbar nærhed af de tidligere geotekniske boringer, da der herved foreligger en detaljeret geologisk beskrivelse, der kan kobles til radonmålingerne.

Målingerne er udført indtil en dybde af 1,5 – 4,0 m u.t., og der er foretaget måling af radonkoncentrationen for hver 0,5 m. Der er tale om enkeltmålinger, hvorfor der er tale om væsentlig usikkerhed ved værdierne.

Dybde (m u.t.)	Ref1	Ref2	Ref3	Ref4	Ref5	Ref6
0,0	158	116	158	116	89	105
0,5	5431	4350	6011	6169	3045	3005
1,0	6034	6380	12.496	11.758	9016	6644
1,5	8642	13.050	11.864	15.238	21.987	12.391
2,0	-	15.370	13.604	17.505	30.740	15.027
2,5	-	35.090	18.771	21.508	31.689	17.927
3,0	-	40.832	56.067	21.895	29.949	18.191
3,5	-	-	65.540	-		-
4,0	-	-	64.222	-	.	-

- Ikke foretaget radonmåling
Indhold af glimmerler
Tabel 5.1: Radonindhold (forskellig dybde og varierende geologi)

Som det ses af tabel 5.1, er der ved alle målinger påvist tydeligt stigende radonkoncentration med stigende dybde, hvilket er sammenfaldende med litteraturen /1/.

Der påvises derudover en svag tendens til faldende radonindhold ved stigende sandindhold. Omvendt ses mere tydelige tegn på stigende radonindhold i boringer med forekomst af tertiære aflejringer. Dette ses eksempelvis i Ref2-3, hvor der i begge boringer er påvist sorte, glimmerholdige lag.

Sammenholdes de målte observationer (stigende/ faldende tendenser) med litteraturen /7/ ses der umiddelbart at være relativt god overensstemmelse. Det skal dog samtidig bemærkes, at vurderingen er baseret på få målinger med stor usikkerhed til følge.

Jordtype	^{222}Rn, Bq/m^3
Grus	10.000 – 150.000
Sand	4.000 – 20.000
Silt	5.000 – 60.000
Ler	30.000 – 120.000
Moræneler	20.000 – 100.000

Tabel 5.2: Radonkoncentrationer i jordtyper /7/

Overordnet set er geologien relativt ensartet på grunden, og der ses ud over i de boringer, der har indhold af tertiære aflejringer, generelt heller ikke markante udsving i radonindholdet mellem boringerne.

5.4.2.2 Kortlægning af den horisontale radonudbredelse (øvre jordlag)
Der er etableret en række målepunkter/boringer under de, på daværende tidspunkt, fremtidige huse og en række boringer placeret mellem husene. Boringerne er udført med henblik på radonmåling direkte i borehullet. Målepunkterne er benævnt MPH1-38 og MP1-5.

Prøvetagning i boringerne er her sket vha. Sarad DOSEman udstyr. Målingerne i boringerne udgør den primære del af undersøgelsen i delprojekt 3.

Som supplement til disse målinger er endvidere nedrammet poreluftspyd og foretaget prøvetagning med Markus 10. Spydene er placeret i umiddelbar nærhed af boringerne og benævnt som ovenfor.

Målet med Markus 10 målinger har været at sammenligne de to målemetoder. Denne del af undersøgelsen har dog alene udgjort en sekundær del.

Resultaterne fra de to målerunder/-metoder gennemgås og kommenteres nedenfor.

5.4.2.2.1 DOSEman
Under hvert hus er etableret 2 målepunkter/boringer (i alt 38 stk.), og mellem husene er placeret yderligere 5 målepunkter/boringer.

De påviste radonkoncentrationer i målepunkterne under husene varierer i intervallet fra 1.740 til 16.482 Bq/m^3 og mellem husene fra 1.885 til 6.538 Bq/m^3.

Rådata for de gennemførte målinger ses grafisk afbildet på situationsplanen i bilag 11.2.

5.4.2.2.2 Markus 10
Under hvert hus er nedrammet poreluftsspyd (i alt 38 stk.), og mellem husene er nedrammet yderligere 18 spyd.

Pga. høje modtryk i jorden har det ikke været muligt at etablere alle målepunkter i 1 meters dybde. Flere af de gennemførte målinger er derfor foretaget fra 0,5 – 1,0 m u.t. Som tidligere nævnt vurderes det, at målingerne flere steder vil være behæftet med større usikkerhed, netop pga. de høje modtryk og risiko for lækage mod terræn. Målingerne er dog gennemført alligevel for bl.a. at observere variationer under sådanne omstændigheder.

Denne del af undersøgelsen har indgået som et sekundært element. De påviste radonkoncentrationer i målepunkterne under husene varierer i intervallet fra 37.000 – 213.000 Bq/m^3 og fra 57.000 til 201.000 Bq/m^3 for målepunkterne mellem husene.

Resultatet (rådata) af de gennemførte målinger ses grafisk afbildet på situationsplanen i bilag 11.3.

Målingerne er, som DOSEman målingerne foretaget i forlængelse af hinanden, i perioden 4. – 8. november 2006, og som DOSEman målingerne kan resultaterne her være påvirket af de meteorologiske forhold i perioden.

5.4.2.2.3 Sammenligninger mellem målemetoder og landsgennemsnit
Ved at sammenligne de opnåede resultater for de to målemetoder ses varierende overensstemmelse mellem resultaterne. Variationen vurderes grundet nedenstående to forhold.

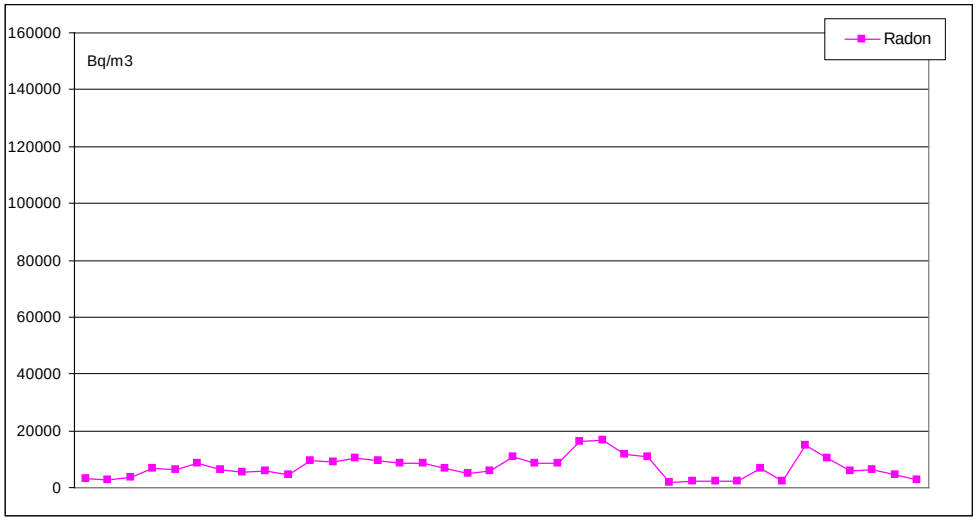
- Markus 10 målingerne gennemføres ved at suge poreluft ud af jorden. Jorden er mange steder på grunden relativt lavpermeabel, hvilket ved flere af målingerne har skabt problemer pga. for højt modtryk. Målingerne i områder med høje modtryk vil, med en vis sandsynlighed, være fejlbehæftede.
- Markus 10 målingerne repræsenterer "punktmålinger", hvorimod DOSEman målingerne i højere grad er målinger af gennemsnitsbelastningen over et større profil (borehullet). Der vil dog være risiko ved DOSEman målingerne for veksling og opblanding med atmosfærisk luft. Denne risiko kan minimeres ved udføring af filtersatte boringer med afpropning.

Med baggrund ovenstående to forhold er det valgt primært at anvende DOSEman målingerne i det videre arbejde. Det vurderes, at disse målinger bedre tager hånd om usikkerhederne ved at ramme jordarter med mere eller mindre radiumholdige materialer (eks. glimmer), idet DOSEman målingerne, som ovenfor anført, måler gennemsnittet i radonindholdet i poreluften over hele boreprofilet. Begge målinger vil dog være behæftet med væsentlig usikkerhed.

Foretages der en sammenligning af de målte indhold (1.700 – 16.000 Bq/m^3) og tidligere gennemførte studier af radonindholdet i øvre jordlag (tabel 5.2 afsnit 5.4.2.1 og /7/), er der ved nærværende undersøgelse påvist en relativt lav påvirkning i området. Sammenligningen er skitseret af nedenstående figur 5.3.

Jf. /7/ observeres 1 m u.t. normalt radonindhold på 4.000-50.000 Bq/m^3. Det påpeges samtidig i /7/, at der ved underliggende jordarter med højere indhold af radium (eksempelvis glimmerler) kan forekomme væsentlig højere radonkoncentrationer - op til 200.000 Bq/m^3 eller højere.

Umiddelbart er der ved nærværende undersøgelse således ikke påvist "gennemslag" af de dybere liggende glimmerlag i form af markant forhøjede radonindhold.



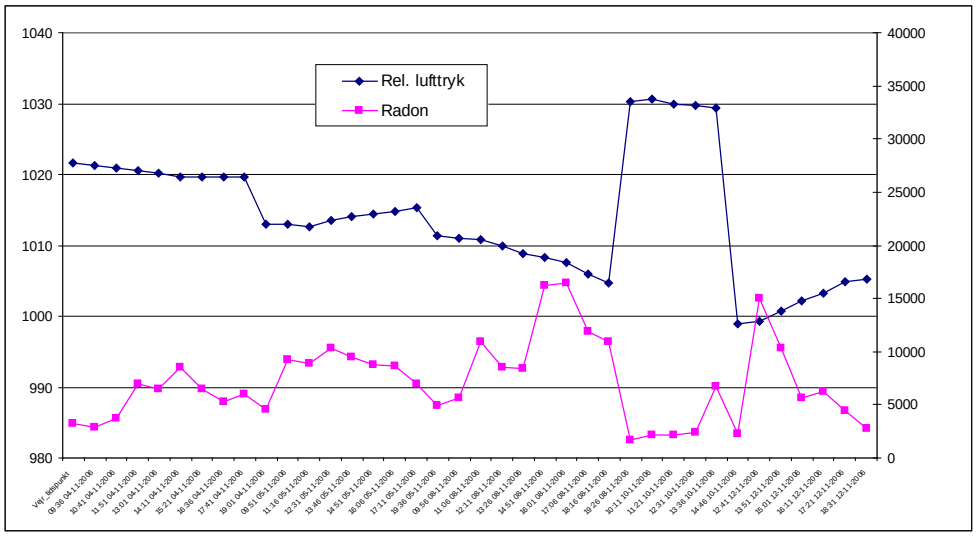
FIGUR 5.3: RADONKONCENTRATION MÅLT I JORD (DOSEMAN) SAMMENLIGNET MED SKALA FOR NORMALE JORDVÆRDIER, SE TABEL 5.2 OVENFOR.

5.4.3 Korrektion pga. skiftende atm. tryk og grundvandsstand

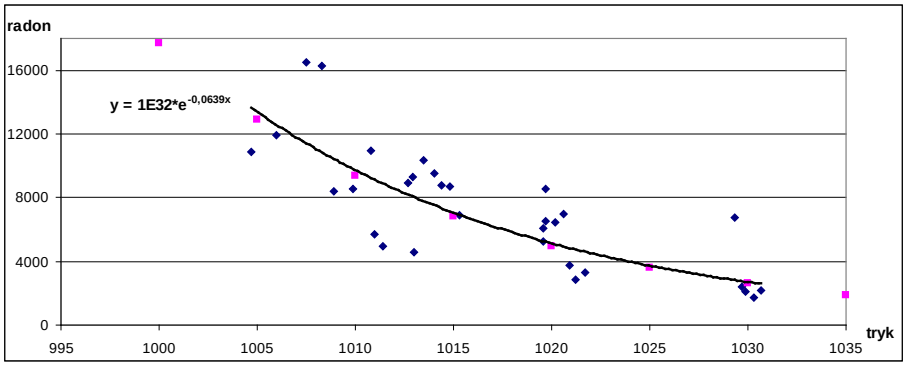
5.4.3.1 Måling under varierende atmosfærisk tryk

Da det ikke har været muligt at gennemføre DOSEman målingerne samtidigt, har det været en forventning, at resultaterne i en vis grad ville være påvirkede af de varierende meteorologiske forhold, der naturligt har været gældende over den 10 dage lange måleperiode. Dette skyldes, at der for fritliggende terræn pga. det atmosfæriske tryk enten presses luft ned i jorden (stigende tryk) eller trækkes luft op af jorden (faldende tryk). Forholdet er nærmere beskrevet i afsnit 2.1.2.3.

Der er derfor foretaget en granskning af sammenhængen mellem de målte specifikke radonkoncentrationer og det relative atmosfæriske tryk på måletidspunkterne, se figur 5.3-5.5.



FIGUR 5.4: RELATIVT LUFTTRYK (VENSTRE ORDINAT) OG RADONKONCENTRATION I JORDEN (HØJRE ORDINAT)



FIGUR 5.5: EKSPONENTIEL SAMMENHÆNG MELLEM RADONKONCENTRATION OG ATMOSFÆRISK TRYK

Det skal bemærkes, at granskningen alene er baseret på én målerunde og derfor vil være behæftet med væsentlig usikkerhed.

Foretages der på trods at dette en sammenligning af radonmålinger og lokale trykmålinger, ses en tydelig sammenhæng med stigende radonkoncentrationer ved faldende lufttryk og omvendt. Alle trykmålinger er lokale registreringer. Til kontrol af markante trykændringer i perioden er endvidere indhentet metrologiske data fra DMI. Sammenhæng mellem tryk og radonindhold afbildet i figur 5.4

Plottes radonkoncentrationen som en funktion af lufttrykket (figur 5.5), ses tilnærmet ekspotentiel sammenhæng. Hvorvidt denne sammenhæng med rette kan anvendes til at foretage en konsekvent datakorrektion, er uvist. Sikkert er det dog, at de målte indhold i jorden tydeligt er påvirket af bl.a. de varierende trykforhold på måletidspunkterne.

Anvendes den eksponentielle sammenhæng med henblik på at korrigere for det varierende trykforhold under målingerne, opnås et resultat for radonindholdet i jorden i området som præsenteret grafisk i bilag 11.1.

Af bilag 11.1 ses radonpotentialet i 1 meters dybde at være nogenlunde ensartet på grunden. Eftersom geologien i området også er nogenlunde homogen, understøtter de to forhold derved omtrent hinanden.

Af såvel bilag 11.1 som 11.2 ses endvidere en svag tendens til stigende radonkoncentrationer i den sydvestlige del af lokaliteten. Dette er nærmere diskuteret i afsnit 5.5.

Der er ikke foretaget en tilsvarende sammenligning af atmosfæretrykket og Markus 1o målingerne.

5.4.3.2 Måling under varierende niveau for grundvandsstand
Som beskrevet i afsnit 2.1.2.2, kompliceres transport af poreluft og dermed radon i jord under vandmættede forhold, og afgasning af radon fra jorden vil derfor primært foregå fra den umættede zone i jorden /1, 4/. Jo dybere den umættede zone er, jo større vil den teoretiske mængde radon være, der migrerer fra jorden via poreluft til atmosfæren. Det vurderes derfor relevant også at foretage en datagranskning af forhold.

Det har ikke været en del af dette projekt at måle samhørende og kontinuerligt på radonkoncentrationen i jord, radonkoncentrationen i indeklimaet og niveauet for grundvandsstanden på lokaliteten.

Grundvandsstanden er i dette projekt alene udtrykt ved den rovandsstand, som blev observeret under udførelsen af de geotekniske boringer. På samme vis er radonkoncentrationerne i jorden udtryk via ovennævnte DOSEman radonmålinger udført ved én målerunde, før byggeriet blev igangsat. Radonkoncentrationerne i indeklimaet er udtrykt ved tre målerunder udført efter husenes ibrugtagning. For en nærmere beskrivelse se afsnit 6.4.1.

Idet ingen af målingerne således er foretaget samtidigt eller kontinuerligt, vil en evt. datagranskning og datasammenligning skulle tilregnes væsentlige usikkerheder.

Ved at sammenligne koncentrationen i jorden i de enkelte målepunkter og dybden for grundvandsspejlet ses en svag tendens til forhøjede radonkoncentrationer for de målepunkter, der er udført i områder med forhøjet dybde til grundvandsspejlet. Andre forhold end mægtigheden af den umættede zone kan dog som omtalt ovenfor sagtens have haft afgørende betydning for de påviste indhold.

Med baggrund i ovenstående er forhold i relation til dybden af den umættede zone ikke inddraget yderligere i dette projekt.

5.4.4 Radonindhold i indeklima kontra koncentration i jord

Ved at foretage en sammenligning af koncentrationen i jorden og koncentrationen i indeklimaet ses alene en svag tendens til, at de påviste variationer i jorden har indflydelse på koncentrationen i indeklimaet.

Hus nr.	Jord	Indeklima
2	3793	97
4	6516	82
22	5923	142
24	9291	83
31	-	184
6	9003	77
8	7025	60
17	4582	82
25	5594	91
13	2950	44
15	3251	132
23	9510	102
19	2854	133
21	8802	157
27	14683	242
29	-	184

Farvekoder refererer til hustyper jf. afsnit 3.2 og bilag 5.4. Koncentrationerne i jord refererer til målinger med Doseman korrigeret for atmosfæretryk.

Tabel 5.3: Gennemsnitlige radonkoncentrationer i jord og indeklima

Som det beskrives nærmere senere i rapporten, vurderes de etablerede radonsikringstiltag og bygningernes tæthed i højere grad at være det, der spiller en rolle i forhold til de påviste variationer i indeklimaet. Dette understøttes i /2/.

Såfremt sammenhængen ønskes nærmere belyst, vil der være behov for yderligere undersøgelser med målrettet fokus på dette forhold, eksempelvis ved samtidige kontinuerte og langvarige målinger i jorden, pejling af grundvandsstand og måling i indeklimaet i ensartede huse. Selv en sådan undersøgelse vil være behæftet med usikkerhed, da planlagte ensartede konstruktioner i praksis ikke udføres 100 % ens.

5.4.5 Metodeevaluering

De gennemførte undersøgelser vurderes samlet set at være forløbet tilfredsstillende.

Ved en løbende evaluering er dog noteret en række muligheder for forbedringer for evt. fremtidige opfølgende undersøgelser, hvor radonpotentialet i jorden ønskes kortlagt. Disse forbedringsforslag ses alle præsenteret i /13/.

Forbedringsforslagene rummer bl.a. forslag om at undersøge mulighederne for inddragelse af et udstyr, der er mindre følsomt over for fugt end DOSEman, og at målingerne i en vis udstrækning gennemføres samtidigt (mere end et udstyr i drift samtidigt).

I /13/ er endvidere listet forslag til udvidelse af opfølgende undersøgelser. Undersøgelserne omfatter bl.a. tiltag, hvor målingerne gentages flere gange i samme punkt og samtidig forløber over længere tid (>24 timer). Variationen over tid ville være interessant at få klarlagt. Der lægges endvidere op til, at der foretages en nærmere undersøgelse af betydningen af de forskellige vejrparametres indvirkning på radonkoncentrationen i jorden. Det var af tidsmæssige og økonomiske grunde desværre ikke muligt at gennemføre de beskrevne undersøgelser i dette projekt.

5.5 Sammenfattende konklusion

Der er i forbindelse med delprojekt 3 på et indledende niveau forsøgt foretaget en kortlægning af radonpotentialet (mængden af radon, der frigives fra jorden) på den lokalitet, hvor feltarbejdet for delprojekt 1 gennemføres.

Den primære del af undersøgelsen rummer "passiv måling" ved nedsænkning af måleudstyr i 1 m dybe boringer. Sekundært er endvidere foretaget "aktiv måling" ved nedramning af poreluftspyd og aktiv ekstraktion af poreluft og feltanalyse.

På baggrund af de gennemførte undersøgelser kan konkluderes følgende;

- Der er i projektet nyudviklet en metode/et koncept til måling af radonindholdet i jorden. Metoden har den fordel at være velegnet til måling i lavpermeable jordlag, hvilket er et fremskridt i forhold til tidligere metoder, hvor poreluften skal ekstraheres, før der kan foretages måling.

- Det anvendte måleudstyr har fungeret tilfredsstillende gennem undersøgelsen. Den gennemførte undersøgelse med DOSEman udstyr rummer et relativt begrænset antal målinger (43 stk.). Det vurderes derfor relevant at gennemføre flere validerende målinger, før metodens anvendelighed endeligt kan evalueres. Ved opfølgende målinger udført af Via University College har der endvidere vist sig problemer med, at måleudstyret bliver ustabilt. Årsagen til ustabiliteten vurderes at skyldes stedvis højt vandindhold i poreluften i borehullerne. Det anbefales derfor for evt. fremtidige undersøgelser at undersøge mulighederne for udskiftning af selve måleenheden til et udstyr, der er mindre følsomt over for høj fugtighed.

- Ved de gennemførte undersøgelser til kortlægning af den vertikale variation af radonindholdet, hvor emanationen fra forskellige jordarter undersøges, observeres særligt markante udslag ved måling i jordarter indeholdende tertiært ler (sort, glimmerholdig). Den i øvrigt mere beskedne variation i området vurderes primært at skyldes begrænset geologisk variation i de undersøgte aflejringer.

- Ved at sammenligne den målte koncentration i jorden i de enkelte målepunkter foretaget med DOSEman med den tilhørende dybde for grundvandsspejlet anes en svag tendens til forhøjede radonkoncentrationer i jordens umættede zone med større umættet zone, hvilket følger resultater i litteraturen, se afsnit 2. Målingerne her er dog behæftet med stor usikkerhed.

- Ved de gennemførte DOSEman undersøgelser (passiv måling) til kortlægning af den horisontale variation af radonindholdet i de øvre jordlag og en sammenligning med gennemsnitindhold i øvrigt /7/ observeres relativt ensartede radonindhold i de undersøgte boringer. Den ensartede radonpåvirkning på lokaliteten stemmer overens med, at de geologiske undersøgelser tilsvarende ikke tyder på store geologiske variationer.

- Ved de gennemførte undersøgelser til kortlægning af den horisontale variation af radon, ved måling i et stort antal poreluftspyd ved anven-

delse af Markus 10 (aktiv måling), påvises større variationer af radonindholdet end ved DOSEman målingerne. Feltarbejdet har stedvist været vanskeliggjort af høje modtryksforhold i de lerede aflejringer under ekstraktionen. Metoden vurderes generelt at være behæftet med større risiko for fejlanalyser, når der foretages undersøgelse i lavpermeable aflejringer.

- Sammenlignes DOSEman - og Markus 10 målingerne, vurderes det, at der ved DOSEman målingen tilnærmelsesvis opnås et udtryk for radonbelastningen gennemsnitligt for målepunktsprofilet (1 m borehul for de fleste målepunkter), hvorimod Markus 10 målingerne i langt højere grad alene er et udtryk for belastningen i et niveauspecifikt punkt (x m u.t).

  Om der bør foretages yderligere foranstaltninger for at sikre en god opblanding af luften i boreprofilet ved DOSEman målingerne, skal overvejes nærmere.

  Umiddelbart vurderes det mest fordelagtigt at anvende gennemsnitsmålinger frem for punktmålinger, da helt lokale forekomster af materiale med høj radonafgivelse kan resultere i misvisende resultater. For den aktuelle lokalitet er der ved de geotekniske boringer foretaget i forbindelse med byggeriet stedvis konstateret tynde lag af glimmerholdigt ler. En punktmåling i sådanne aflejringer kan give et misvisende datagrundlag. Risikoen vurderes at være særlig stor i lavpermeable aflejringer, hvor influenszonen for poreluftprøvetagningen vil være meget begrænset. Der vil dog være en ikke uvæsentlig risiko for opblanding med atmosfærisk luft ved de i projektet udførte DOSEman målinger.

6 Feltundersøgelser (DP1a)

I dette kapitel ses en præsentation af de undersøgelser, der er gennemført i delprojekt 1a. De gennemførte undersøgelser har her haft fokus på ved feltarbejde i forbindelse med et nybyggeri af 21 huse at undersøge tætheden i 5 forskellige tætningsdetaljer i gulvkonstruktionen.

I kapitlet er de gennemførte undersøgelser beskrevet og vurderet. Resultaterne fra delprojekt 2 og 3 har indgået i forbindelse med granskning af de opnåede måleresultater i delprojekt 1a.

Nedenfor ses en kort beskrivelse af formålet med delprojektet og dernæst indledningsvis en beskrivelse af de byggetekniske forhold på lokaliteten. For en beskrivelse af de geologiske forhold i området henvises til afsnit 5.4.1. I efterfølgende afsnit 6.2 er undersøgelsesmetoden og det anvendte udstyr beskrevet, og i afsnit 6.3 præsenteres selve undersøgelsesprogrammet. Undersøgelsesresultater, diskussion, evaluering og konklusion er præsenteret i afsnit 6.4-6.6.

6.1 Formål

Det overordnede formål med dette delprojekt er at tilvejebringe forbedret dokumentation af effekten for såvel kendte som nye metoder/teknikker til hindring af radonindtrængning i boliger opført med terrændæk.

Målet er endvidere at videregive den indsamlede viden på en sådan måde, at materialet evt. kan indgå som en del af grundlaget for fastlæggelse af nye retningslinier og standarder i Danmark og EU. Erfaringerne fra dette projekt har således bidraget til bl.a. /32, 33/.

Målgruppen for projektet er myndigheder, projekterende, udførende og producenter.

6.2 Lokalitetsbeskrivelse

6.2.1 Overordnet

Jf. afsnit 3.2 er enfamiliehusene på Peder Kællers Vej inddelt i forskellige byggetekniske kategorier (afhængig af type kantmembran og rørgennemføring). De specifikke konstruktionsdetaljer og tætningsmetoder samt materialespecifikationer er nærmere beskrevet i afsnit 3.1.

Udover de 16 enfamiliehuse, der udgør de primære undersøgelseshuse i undersøgelsen, blev det besluttet umiddelbart før opstart af undersøgelsesarbejdet også at inddrage målinger i 2 andelsboligblokke, der er beliggende nabo til disse.

Overordnet set undersøges følgende seks hustyper;

Primære undersøgelseshuse:

- Fuld membran samt tæt rørgennemføring (hustype 1)
- Kantmembran ført under betondæk og tætnet rørgennemføring (hustype 2)
- Kantmembran ført over betondæk og tætnet rørgennemføring (hustype 3)
- Kantmembran ført under betondæk og alm. rørgennemføring (hustype 4)
- Kantmembran ført over betondæk og alm. rørgennemføring (hustype 5)

Sekundære undersøgelseshuse:

- Sammenstøbt gulv og fundament (ingen kantisolering, hustype 6)

Den indbyrdes placering af de enkelte huse fremgår af bilag 2.1.

Undersøgelsesområdet er beliggende på Peder Kællers Vej ved Tyrsted i Horsens syd. Området er på ca. 11.000 m^2 og blev i 2005 udvalgt af BoligfondenKuben til opførelse af tæt/lav bebyggelse, se figur 6.1 og bilag 1.1.

Figur 6.1: Situationsplan over lokaliteten med angivelse af husnumre.

Boligerne, der er opført på grunden, kan opdeles i tre hovedkategorier:

- Etagebyggeri, 6 andelsblokke med 8 lejligheder i hver
- Lille enfamiliehus, 2 huse, hver på 99,6 m^2, se bilag 1.4.
- Stort enfamiliehus, 14 huse, hver på 123,7 m^2, se bilag 1.3.

Samtlige 16 enfamiliehuse blev opført i 2006 – 2008. Andelsblokkene blev opført i 2004 – 2006. Fem yderligere enfamiliehuse samt et fælleshus var oprindeligt planlagt opført på grunden, se bilag 1.1, men er dags dato endnu ikke bygget på grund af træghed i boligmarkedet.

Ved at gennemføre undersøgelsen i en række huse opført på samme lokalitet, vurderes det som udgangspunkt, at der vil forekomme en nogenlunde ensartet radoneksponering af boligerne.

Samtidig optimeres implementerings- og undersøgelsesfasen ved, at der alene inddrages én entreprenør i projektet, ét håndværkersjak (pr. entreprise) og én brugergruppe.

En del af de undersøgte huse var ubeboede i undersøgelsesfasen, da husene på daværende tidspunkt endnu ikke var solgt og indflyttet. Forhold vedrørende dette er nærmere beskrevet nedenfor. Endvidere er de konstruktionsmæssige detaljer for de sekundære undersøgelseshuse (andelsboligerne) ligeledes beskrevet nedenfor. Undersøgelserne her udgør et supplement til de oprindeligt planlagte undersøgelser, hvorfor de byggetekniske beskrivelser ikke er en del af afsnit 3.1.

6.2.2 Specifikt vedrørende ubeboede huse

I undersøgelsesfasen for radonmålingerne i indeklimaet har flere huse stået ubeboet. I første halvdel af 2009 var således 5 af de 16 parcelhuse uden ejer eller lejer (1. målerunde foregik april-maj 2009). I løbet af 2009 blev de disse boliger dog solgt, og alle 16 huse var beboet ultimo 2009 (2. målerunde foregik september-oktober 2009).

Indeklimaet i en ubeboet bolig adskiller sig fra indeklimaet i en beboet bolig ved en anderledes luftudskiftning.

Samtlige huse er udført med passive udeluftventiler, hvorfor der foregik en vis luftudskiftning også i ubeboede huse. Derudover er luftudskiftning alene sket, når der er foretaget rengøring af husene (før salgsfremvisning) og i forbindelse med feltarbejdet ved radonmålingerne.

Samtlige ubeboede huse har i hele måleperioden (og perioden op til) stået opvarmet til 20-21 ˚C. Til sammenligning har gennemsnitstemperaturen i de beboede huse været 22-23 ˚C.

Jo højere luftskifte, der er i en bolig, jo lavere radonindhold må der som udgangspunkt tilsvarende forventes. Omvendt jo lavere temperaturforskellen er mellem ude- og indeluften, jo lavere radonindhold.

Med baggrund i dette må der således teoretisk set forventes højere radonkoncentrationer i lavt ventilerede, ubeboede huse end beboede huse. Omvendt må der i de ubeboede huse med lavere indetemperatur forventes en lavere trykdifferens og derved let en reduceret radonindtrængning. Hvorvidt de to forhold ophæver hinanden, er uafklaret. I afsnit 6.4.1.2 præsenteres, på baggrund af de gennemførte undersøgelser, nærmere vurderinger vedrørende dette. Det skal dog pointeres, at de ubeboede huse er opført efter bygningsreglementets ventilationskrav, hvorfor undersøgelsesresultaterne i denne rapport er valide.

6.2.3 Specifikt vedrørende andelsboliger

På lokaliteten er opført i alt 6 boligblokke med 8 lejligheder i hver. Som reference til undersøgelser af tætheden i enfamiliehusene er to af disse boligblokke inddraget i undersøgelsen, nr. 5 og 7.

Konstruktionsmæssigt adskiller boligblokkene sig fra de fritliggende parcelhuse, idet konstruktionsdetaljen ved liniefundamentet er udført væsentligt anderledes. Der er her ikke gjort brug af den traditionel kuldebroisolering, idet terrændækket er støbt sammen med fundamentskanten. Udførelsen giver teoretisk set visse indeklimamæssige fordele, men konstruktionsmæssige ulemper.

Den primære fordel ved sammenstøbning mellem terrændæk og fundament er, at "lækagen" og dermed den mulige transportvej i kantisoleringen her ikke fysisk er til stede. Intakt armeret beton er meget lavpermeabelt og vil derfor udgøre en effektiv barriere for poreluft, såfremt betonpladen forbliver intakt.

Hvorvidt gulvene er udstøbt i én arbejdsgang og derved uden støbeskel, er ukendt.

Ulempen ved denne udførelse er først og fremmest, at der uden kantisoleringen dannes en kuldebro fra jorden, gennem fundamentet og til betonpladen. Denne kuldebro kan manifestere sig ved kolde hjørner og kuldestråling. Flere beboere i de konkrete huse har i forbindelse med feltarbejde understøttende omtalt, at de føler kulde og træk fra gulvhjørner. Desuden er der ved denne løsning øget risiko for revnedannelse i betonpladen da pladen pga. temperaturpåvirkninger vil bevæge sig. Betondækket er armeret efter forskrifterne.

6.3 Undersøgelsesmetoder

Feltarbejdet i delprojekt 1a er gennemført med henblik på at teste tætheden for forskellige radontætningsmetoder. Undersøgelsesprogrammet er på flere punkter tilpasset siden projektets start, bl.a. da der siden opstart er udviklet nye og bedre målemetoder.

Overordnet set lægger undersøgelsen vægt på følgende to måleprincipper;

- Radonindeklimamålinger (sporfilm) i samtlige boliger, hvor målet er at opnå et overblik over variationerne i radonindholdet imellem de enkelte boliger og dermed variationer imellem udførte sikringstiltag.
- Lækagesporingsmålinger (thoronmålinger) i udvalgte boliger, hvor målet er at spore specifikke indtrængningspunkter, for ad den vej at opnå overblik over lækagestørrelsen ved forskellige tætningsmetoder.

Der er gennemført radonindeklimamåling i 23 boliger (2-3 målerunder), hvorved hver tætningsmetode er dokumenteret ved undersøgelse i 3-5 huse.

Lækagesporingsmålinger er gennemført i 13 boliger (2 målerunder).

Der er derved opnået et vist datagrundgrundlag som baggrund for de endelige vurderinger. Samtidig er det dog vigtigt at understrege, at materialet ikke udgør et større statistisk datamateriale.

Nedenfor ses en præsentation af de to undersøgelsesteknikker, der har været anvendt.

6.3.1 Radonindeklimamålinger (dosimetre)

I feltarbejdet er benyttet sporfilm/dosimetre til at måle radonforekomsten i indeklimaet. Dosimetrene er specialfremstillede sporfilm, der er særligt følsomme over for den alfastrålingen, der forekommer ved henfald af radon og dets datterprodukter.

Dosimetrene opbevares indtil målingen i radontæt emballage. Samtlige dosimetre er leveret af Radon-Tech.

Radonmålingen foregår ved passiv opsamling. I projektet er benyttet varierende måleperioder. Der er udført i alt tre målerunder af 3 uger til 2 måneders varighed og er foretaget på forskellige årstider

Ved samtlige målinger er tidspunktet for opsætning, nedtagning og forsendelse noteret. Samtlige dosimetre er opsat og nedtaget af NIRAS. Efter nedtagning er dosimetrene sendt retur til fabrikanten, hvorefter de her er blevet analyseret for radonforekomst.

Der er udført målinger i samtlige parcelhuse (16 boliger) på grunden samt 7 stueetagelejligheder i to andelsblokke. Der er gennemført i alt 114 dosimetermålinger, fordelt som skitseret at nedenstående tabel 6.1.

	Parcelhus (stk.)	Andelslejlighed (stk.)
Stue	40 (16[1] +15[2] +9[3])	14 (7[2]+7[3])
Bryggers	40 (16[1] +15[2] +9[3])	14 (7[2]+7[3])
Teknikskab	6[1]	

[1]: 1. målerunde, [2]: 2. målerunde, [3]: 3. målerunde.

Tabel 6.1: Antal målinger fordelt på parcelhuse og andelsboliger

Som det ses af ovenstående tabel, er hovedparten af de gennemførte målinger foretaget i stue og bryggers i de individuelle boliger. Den primære årsag til, at det er valgt at gennemføre måling i disse rum er, at samtlige parcelhuse benytter de samme rum til netop stue og bryggers, hvorimod placering af eksempelvis sove –, børne – og arbejdsværelser varierer fra hus til hus. Idet der i projektet er ønsket en så homogen påvirkning af måleresultaterne som muligt, er det derfor valgt at placere dosimetrene i de samme planmæssige og brugsmæssige værelser i boligerne.

For ved datagranskningen at kunne sammenligne resultaterne fra de udførte radonindeklimamålinger har det været en forudsætning, at de udførte målinger blev udført samtidigt. Hvis målingerne alternativt blev udført på forskellige tidspunkter, ville der være behov for væsentligt flere målerunder for at kunne opnå større datasikkerhed gennem et stort statistisk grundlag.

6.3.2 Lækagesporingsmålinger (thoronmålinger)

Det var i projektet oprindeligt planlagt at anvende PFT sporgasser til foretage sammenlignende vurderinger omkring tætheden i de forskellige hustyper. Under 5 huse er derfor indbygget PFT sporgaskilder. Metoden er i projektets indledende fase testet i ét hus i Næstved. Resultatet at denne test er beskrevet i bilag 7.1. Metoden var ved projektets start, vurderet som værende den mest velegnede metode til formålet.

Mens byggeriet pågik og før undersøgelsesarbejdet for delprojekt 1 blev igangsat, blev der imidlertid i forbindelse med et andet projekt /4/ udviklet en anden og mere målrettet metode til at detekterer indtrængningsveje (thoronmålinger). Dels da denne metode går direkte på at spore de specifikke indtrængningspunkter, dels da der blev vurderet, at være relativ stor usikkerhed ved anvendelse af PFTsporgasmetoden og dels da det var muligt at inddrage et væsentlig større antal målinger og boliger ved thoron-metoden, blev det besluttet at ændre undersøgelsesstrategi og benytte thoronmålinger i stedet for PFT sporgasmålinger.

Det skal dog samtidig påpeges at thoronmetoden er en nyudviklet metode og at også denne metode er behæftet med en vis usikkerhed. I undersøgelsen foretages imidlertid relativt mange målinger hvilket gør det muligt at foretage en vis statistisk bearbejdning af data. Metoden er tidligere anvendt i /4/ og har sideløbende med dette projekt indgået i to teknologiprojekter for Miljøstyrelsen, hvor det er hensigten at sammenligne forskellige lækagesporingsmetoder. Projekterne er pt. under afrapportering /5/ og /31/.

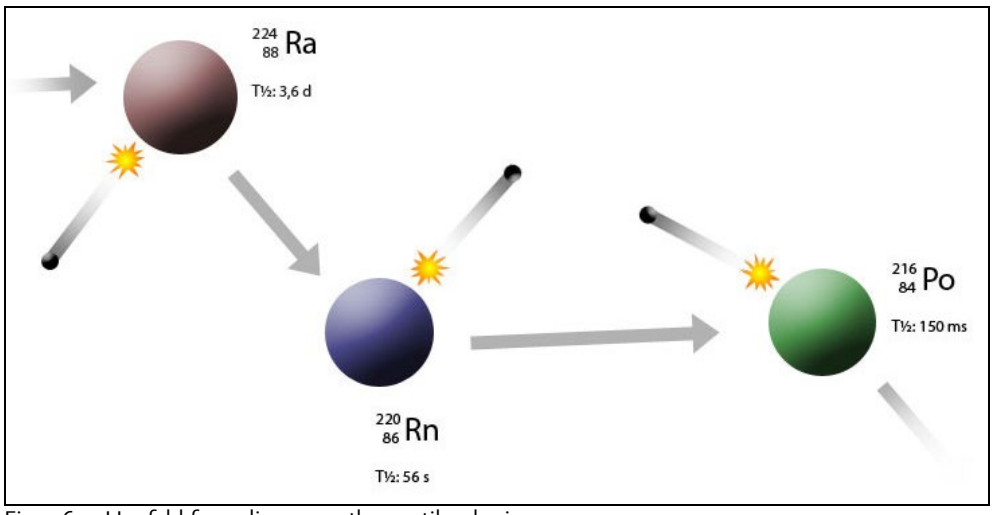
6.3.2.1 Overordnet beskrivelse

I feltarbejdet er benyttet thoronmålinger til at spore indtrængningsveje/lækagepunkter i gulvkonstruktionen. Da den konvektive transport for radon typisk sker gennem revner i betondækket og ved utætte rørgennemføringer, er der primært fokuseret på disse indtrængningssteder.

Thoron (^{220}Rn) er en isotop af radon (^{222}Rn) og ligesom radon emanerer (udstråler) thoron fra jorden og findes overalt i poreluften i høj eller lav koncentration, afhængig af jordens mineralogiske beskaffenhed.

Hvor radon på grund af stoffets relativt lange halveringstid (3,8 dage) normalt distribueres nogenlunde uniformt i indeklimaet, vil thoron kun forekomme i større mængder netop ved aktive indtrængningspunkter for konvektiv transport af luft fra jorden til indeklimaet. Grunden til det er thorons væsentligt kortere halveringstid (55,6 s) og at thorons manglende diffusionsegenskaber gør, at stoffet ikke målbart diffunderer igennem terrændæk opbygget af beton /5/.

Når thoron via poreluften transporteres til indeklimaet, vil gassen hurtigt henfalde til sit datterprodukt ^{216}Po, se figur 6.2. Denne poloniumisotop har en meget kort halveringstid (150 ms) og vil derfor straks henfalde til næste led i henfaldskæden. Ved målingerne anvendes netop ^{216}Po, og det kan på baggrund af ovenstående, antages at distributionen af ^{216}Po er ensrettet med distributionen ^{220}Rn. Observeres der derved ^{216}Po i indeklimaet, må der tilsvarende også forventes i større mængder, at ^{220}Rn findes – og dette netop i de konvektive indtrængningspunkter.



Figur 6.2: Henfald fra radium over thoron til polonium.

Målingerne foretages med et radon måleudstyr, der kan foretage alfaspektrometri. Ved denne metode analyseres og kategoriseres de enkelte radioaktive alfahenfald, og instrumentet kan på baggrund af hvert enkelt alfahenfalds unikke energi bestemme, hvilken radionuklide henfaldet oprandt fra. Ved måling i et punkt og kategorisering af de enkelte alfahenfald kan udstyret over en given tidsperiode bestemme, hvor høj koncentrationen af de enkelte radonisotoper er. Målemetoden er nærmere beskrevet i /5/.

Forhøjede indhold af ^{216}Po i luften ved et målepunkt indikerer, at der forekommer et indtrængningspunkt relativt tæt på målingen (inden for 0,5-1 m). Forhøjede thoronkoncentrationer i et målepunkt akkompagneres ofte af forhøjede radonindhold, hvilket igen tilkendegiver, at der er tale om en indtrængning af poreluft.

Til målingerne anvendes et udstyr af typen RAD7, se afsnit 7.3.1.1. eller /4, 5/.

6.3.2.2 Valg af målepunkter

Der er i forbindelse med dette projekt gennemført thoronmålinger i samtlige hustyper (type 1 – 5) på lokaliteten og i alt i 13 huse.

Målingen gennemført ved 21 – 41 målepunkter i hvert hus og ved 1 – 2 gange målerunder pr. hus. Grundet manglende adgang pga. udeblevne grundejere er ikke alle huse inddraget i begge målerunder.

Målepunkterne, der er anvendt til screening af indtrængningspunkter, er udvalgt på baggrund af den specifikke konstruktion og dens mulige svagheder.

Målingerne er så vidt muligt udført i de samme punkter i samtlige ejendomme for derved at styrke sammenligningsgrundlaget. I flere ejendomme er endvidere inddraget supplerende målepunkter, eksempelvis i tilfælde af synlige skader/utætheder eller i forbindelse med lokalisering af nærliggende indtrængningspunkter.

Samtlige målepunkters placering ses bilag 6.1 og 6.2.

6.3.2.3 Tolkning af måleresultater

Der er umiddelbart efter hver måling på lokaliteten foretaget en indledende datatolkning for derved om muligt straks at foretage supplerende målinger. Efter det samlede feltarbejde foretages en samlet granskning og tolkning.

De enkelte lokaliteter tolkes dog individuelt, på basis af referencemålinger foretaget i de respektive boliger samt antallet af ^{216}Po og ^{218}Po henfald i de enkelte målepunkter. Målingerne baserer sig på relative målinger, og det er derfor nødvendigt at bearbejde resultaterne individuelt for at fastslå omfanget, størrelsesordenen og sammenhængen af indtrængningspunkter fra poreluften til indeklimaet /5/.

Resultaterne af målingerne er angivet i afsnit 6.4.2 og bilag 6.3 - 6.8.

6.4 Undersøgelsesprogram

Det samlede feltarbejde til undersøgelse af tætheden for sikringsmetoder i nye huse (delprojekt 1a) er som nævnt ovenfor gennemført i de 16 opførte parcelhuse, og som erstatning for de ikke opførte boliger (5 boliger) er i stedet inkluderet 7 stueetagelejligheder i to andelsblokke på lokaliteten. Andelsboligerne er opført i 2005 af samme entreprenør som de øvrige huse og er ligesom det øvrige byggeri finansieret af Kuben.

Samtlige 16 enfamiliehuse er ultimo 2009 solgt og beboet. 5 af boligerne var i en del af måleperioden ubeboede. I bilag 2.1 ses endvidere et oversigtskort for de forskellige hustyper og deres indbyrdes beliggenhed. De 5 huse, som primo 2010 ikke er opført, er ligeledes markeret på tegningen (gråfarvet).

Det samlede måleprogram for delprojekt 1a ses af nedenstående tabel 6.2.

Aktivitet	Tidsplan	Huse (beboede)	Huse (ubeboede)
Radon-indeklima (dosimeter)	1. målerunde 03-04-09 – 15-05-09	Alle parcelhuse (ekskl. kolonne 4) + lejl. 5A-D, 7A, 7C, 7D	Nr. 15, 21, 22 27 og 31
	2. målerunde 28-08-09 – 24-10-09	Alle parcelhuse (ekskl. kolonne 4) + lejl. 5A-D, 7A, 7C, 7D	Nr. 15 og 31
	3. målerunde 27-01-10 – 23-02-10	Parcelhuse nr. 19, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 29, 31	
Lækage-sporings-målinger (thoron)	1. målerunde 17-11-09 – 20-11-09	Parcelhus nr. 6, 13, 15, 17, 19, 22, 23, 24, 25, 27, 31	
	2. målerunde 10-12-09 – 15-12-09	Parcelhus nr. 15, 19, 21, 23, 24, 25, 27, 29, 31	

Tabel 6.2: Måleprogram for delprojekt 1a.

6.5 Resultater

Nedenstående afsnit indeholder alle faktuelle data fra samtlige radonindeklimamålinger og lækagesporingsmålinger.

Indledningsvis præsenteres data for de to måleserier i afsnit 6.4.1 og 6.4.2, mens der i afsnit 6.5 vurderes og konkluderes.

6.5.1 Radonindeklimamålinger

Der er foretaget i alt 114 radonindeklimamålinger (dosimetre), hvoraf resultaterne fra de 112 foreligger. De resterende to dosimetre gik desværre tabt i måleperioden i forbindelse med salg af et af husene.

6.5.1.1 Datapræsentation

Samtlige resultater er præsenteret af tabel 6.3 og 6.4 nedenfor.

Måleresultater ses af nedenstående tabel 6.3 (inkl. målinger i teknikskabe). Den aritmetiske middelværdi af resultaterne fra de enkelte målinger er endvidere anført yderst til højre. Målingerne i teknikskabet er med dosimeteret placeret ca. 15 cm over gulvhøjde. Målingerne er udført for at undersøge, om radonindtrængning via teknikskabene i særlig høj grad bidrager til en påvirkning af indeklimaet.

Hus nr.	Målerunde 1 03.04.09-15.05.09			Målerunde 2 28.08.09-24.10.09			Målerunde 3 27.01.10-23.02.10		Snit S	Snit B	Snit total
	S	B	T	S	B	T	S	B			
2	105	82		118	81				112	82	97
4	70	76		114	69				92	73	82
6	66	89		88	64				77	77	77
8	45	60		60	76				53	68	60
13	29	62		30	54				30	58	44
15	123	133		131	142				127	138	132
17	36	98		40	152				38	125	82
19	62	105		87	88		145	309	98	167	133
21	312	280		38	77		113	124	154	160	157
22	62	65	74	82	125	175	263	257	136	149	142
23	93	125		85	106	576	93	110	90	114	102
24	15	30		28	110		174	139	72	93	83
25	25	92		29	90		90	217	48	133	91
27	180	175					454	157	317	166	242
29	136	94		249	159	170	358	108	248	120	184
31	162	151	239	47	317	274	184	247	131	238	184
5A	56	40		81	56				69	48	58
5B	54	48		79	76				67	62	64
5C	65	47		46	53				56	50	53
5D	53	60		73	122				63	91	77
7A	92	154		73	95				83	125	104
7C	46	38		51	45				49	42	45
7D	45	40		45	36				45	38	42

S: Stue, B: Bryggers, T: Teknikskab, ☐ hustype.
Gennemsnit i kolonner til højre indeholder ikke målinger i teknikskabet.
Tabel 6.3: Radon indeklimamålinger (dosimeter).

Af tabel 6.3 ses tydeligt, at radonkoncentrationerne varierer meget, både fra hus til hus, men også i samme hus.

Tabel 6.4 viser de gennemsnitlige radonkoncentrationer i henholdsvis stue og bryggers for lokalitetens fem hustyper. Endvidere ses resultatet af de gennemførte målinger i andelsboligerne her angivet som hustype 6.

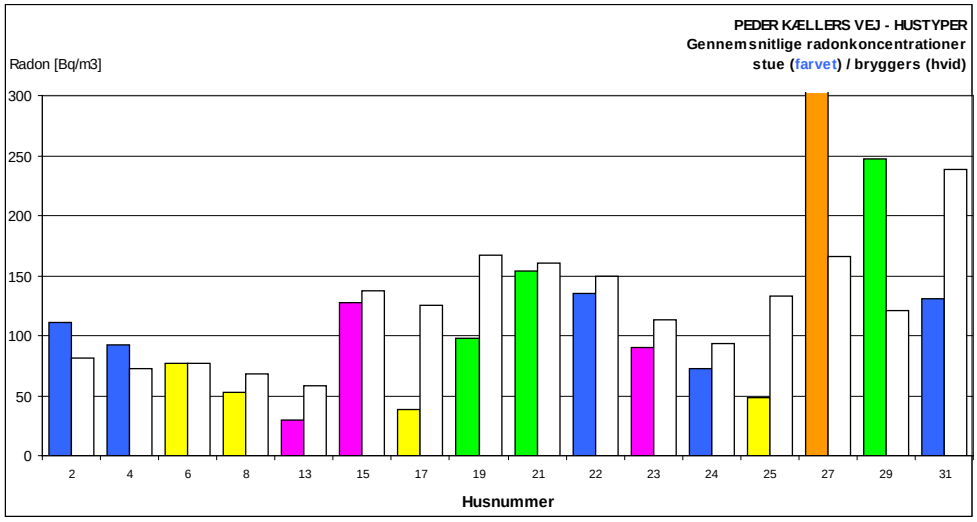
Hustype		Stue (gns)	Bryggers (gns)	Samlet (gns)	Antal målinger
1	Fuld membran	317	166	242	4
2	Kantmembran under beton og tætnet rør	83	105	94	14
3	Kantmembran over beton og tætnet rør	126	164	145	12
3a	Ingen kantmembran og tætnet rør	248	120	184	6
4	Kantmembran under beton og alm. rør	53	104	79	18
5	Kantmembran over beton og alm. rør	110	135	122	26
6	Sammenstøbt fundament og gulv	61	65	63	28

Tabel 6.4: Radonkoncentration (gennemsnit) for forskellige hustyper.

Da hus nr. 29 er opført uden kantmembran, er dette hus derfor ikke medindregnet nedenfor i vurderingerne vedrørende hustype 3, men derimod som en selvstædig hustype..

Variationen vurderes umiddelbart at være afhængig af årstiden for måleperioden, se afsnit 2.2.2. Erfaringsmæssigt *kan* måleserier gennemført på forskellige årstider påføres en sæsonkorrektion /11/. Data i ovenstående tabel 6.4 er dog ikke påført denne korrektion. For yderligere information om brug og ikke brug af sæsonkorrektionsfaktorer, se afsnit 2.2.2.

Af figur 6.3 nedenfor ses gennemsnitværdierne fra tabel 6.4 for radonkoncentrationen i stue- og bryggers (parcelhuse) grafisk afbildet.



Farveangivelser i henhold til hustyper, se bilag 1.2. Bemærk; hus nr. 29 er bygget uden kantmembran og udgår derfor af hustype-inddelingen.

Figur 6.3: Dosimetermålinger – gennemsnit i parcelhuse (stue og bryggers).

6.5.1.2 Sammenligning af ubeboede og beboede huse

I forbindelse med målerunderne 1 og 2 (tabel 6.3) stod flere huse ubeboet. I de ubeboede huse har udluftningen være væsentligt lavere end i de beboede huse. Samtlige ubeboede huse har stået konstant opvarmet til 20 - 21 ˚C, hvilket er en lidt lavere indetemperatur end de opvarmede boliger (22- 23 ˚C).

Som udgangspunkt kan det samlet set sandsynligvis forventes, at niveauet for radonkoncentrationen i de ubeboede huse ligger lidt over niveauet for de beboede huse. Disse forhold er tidligere omtalt i afsnit 6.1.1.

Målerunde 1

Under målerunde 1 (03-04-09 – 15-05-09) stod 5 enfamiliehuse ubeboet (nr. 15, 21, 22, 27 og 31). Hus nr. 22 blev brugt til udstillingshus, hvorfor udluftningen her muligvis har været lidt højere end i de øvrige ubeboede huse, i forbindelse med rengøring og fremvisning.

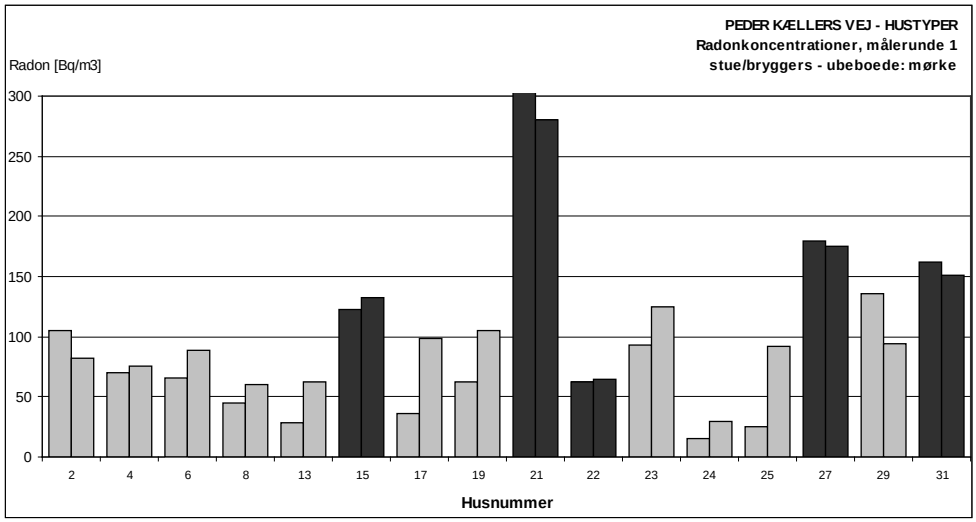
Nedenstående tabel 6.5 og figur 6.4 afbilder de målte radonkoncentrationer i måleperiode 1. I såvel tabellen som på grafen er de ubeboede boliger markeret med mørk raste.

Husnr.	2	4	6	8	13	15	17	19	21	22*	23	24	25	27	29	31
Stue	105	70	66	45	29	123	36	62	312	62	93	15	25	180	136	162
Bryg.	82	76	89	60	62	133	98	105	280	65	125	30	92	175	94	151

Samlet	Stue	Bryg.
Beboede huse, i alt:	62	83
Ubeboede huse, i alt:	168	161

*Hus nr. 22 blev brugt til udstillingshus.

Tabel 6.5: Radonkoncentrationer i indeklima (målerunde 1).



Figur 6.4: Radonkoncentrationer i indeklima (målerunde 1).

Målerunde 2

Under målerunde 2 (28-08-09 – 24-10-09) stod 2 enfamiliehuse ubeboede (nr. 15 og 31). Dosimetrene i hus 27 gik tabt i forbindelse med undersøgelsen.

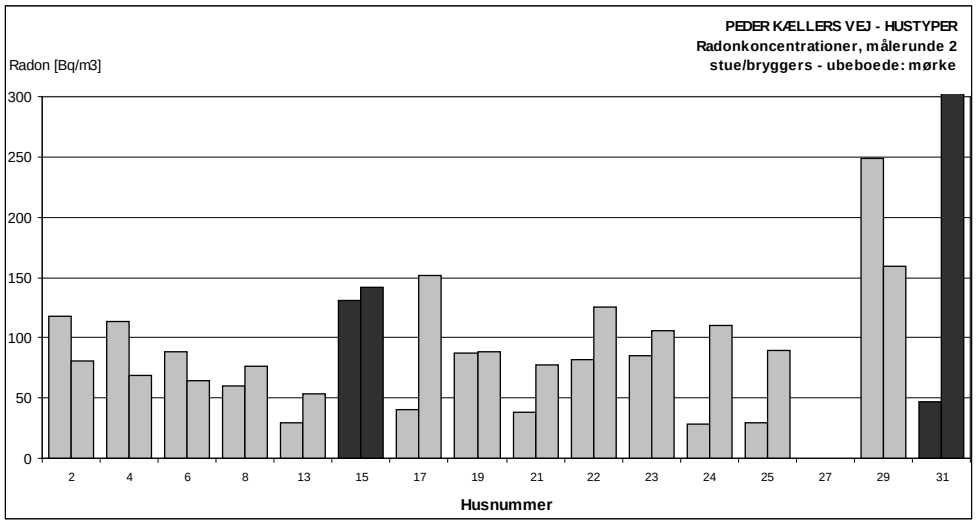
Nedenstående tabel 6.6 og figur 6.5 afbilder de målte radonkoncentrationer i måleperiode 2. I såvel tabellen som på grafen er de ubeboede boliger markeret med mørk raste.

Husnr.	2	4	6	8	13	15	17	19	21	22	23	24	25	27	29	31
Stue	118	114	88	60	30	131	40	87	38	82	85	28	29	-	249	47
Bryg.	81	69	64	76	54	142	152	88	77	125	106	110	90	-	159	317

Samlet	Stue	Bryg.
Beboede huse, i alt:	81	96
Ubeboede huse, i alt:	89	230

- Data gået tabt.

Tabel 6.6: Radonkoncentrationer i indeklima (målerunde 2).



Figur 6.5: Radonkoncentrationer i indeklima (målerunde 2).

6.5.2 Lækagesporingsmålinger (thoron)

Der er foretaget thoron- og radonmålinger /5/ over 2 målerunder i 13 enfamiliehuse på lokaliteten. Ikke alle huse er inddraget i begge målerunder pga. manglende adgang til nogle af boligerne.

6.5.2.1 Datapræsentation
Samtlige måleresultater samt målepunkternes placering og angivelse af indtrængningspunkter er præsenteret i bilagene 6.1 – 6.8.

Der er gennemført thoronmålinger i samtlige kategorier af boliger på lokaliteten (hustype 1 – 5). Målingerne er gennemført med 21 – 41 målepunkter i hvert af de undersøgte i alt 13 huse. I 7 af de 13 huse er gennemført 2 målerunder.

Målepunkterne i tabellen i bilag 6.8 refererer til plantegningerne i bilag 6.1 – 6.2, som illustrerer, hvor målingerne er foretaget. Måleresultaterne er endvidere grafisk afbildet i bilag 6.3 – 6.7.

I bilag 6.8 er målingerne vurderet og vægtet efter en skala fra 1-4, hvor:

1. Thoron indhold $^{216}Po < 3$
2. Thoron indhold $^{216}Po < 3$ og forhøjet radonkoncentration
3. Thoron indhold $^{216}Po \geq 3$
4. Thoron indhold $^{216}Po \geq 3$ påvist mere end 2 gange i samme punkt

Ikke alle målepunkter er benyttet ens i samtlige huse. Bilag 6.8 illustrerer ud over ovennævnte vægtning også, hvilke målepunkter der er målt i for de forskellige boliger og målerunder.

6.6 Vurderinger

I følgende afsnit vurderes effektiviteten af de i projektet benyttede radonsikringer.

Vurderingen beror udelukkende på en sammenligning mellem de forskellige radonmålinger og thoronmålinger, der er udført i boligerne. Vurderinger af den praktiske udførelse af radonsikringerne er afrapporteret i afsnit 3.5.

I projektet er udført tre typer membrandækning og to typer rørgennemføring i 16 boliger. Detaljer for udførelse er beskrevet under afsnit 3.2. De forskellige sikringstyper er inddelt i 5 hustyper med 1-5 huse i hver kategori. Antallet af boliger i projektet muliggør ikke en større statistisk sammenligning mellem de individuelle sikringstyper. I afsnittet er der lagt på vægt på følgende faktorer ved vurderingen:

- Radonkoncentration i indeklimaet i de enkelte måleperioder
- Den gennemsnitlige radonkoncentration
- Den gennemsnitlige sæsonkorrigerede radonkoncentration
- Om boligen var beboet på måletidspunktet
- De udførte thoronmålinger i 13 boliger på lokaliteten
- Afstand til grundvandsspejl, m u.t.

De enkelte hustyper er vurderet enkeltvis nedenfor.

6.6.1 Radontæthed i forskellige hustyper

6.6.1.1 Hustype 1 (fuld membran)
Kategorien består af i alt 1 hus, Peder Kællers Vej 27. Huset er af typen stort enfamiliehus på 123,7 m^2 og er udstyret med to radiatorer. Radonsikringen består her af "fuld membran og tætte rørgennemføringer". Praktiske problemer ved udførelsen af radonsikringerne er beskrevet under afsnit 3.5.

Radonindeklimamålinger
Boligen var ubeboet i 1. målerunde. I 2. målerunde gik de udlagte dosimetre desværre tabt i forbindelse med overtagelsen/indflytningen, og i 3. målerunde var boligen beboet.

I denne hustype er her påvist de højeste gennemsnitskoncentrationer i indeklimaet, se bilag 5.1 – 5.4. Gennemsnittet for samtlige målinger ligger, jf. tabel 6.3, på 242 Bq/m^3.

Hus 27 har samlet den højeste radonkoncentration af samtlige undersøgte boliger. Den højeste værdi målt i stuen er 454 Bq/m^3, jf. tabel 6.3.

Lækagesporingsmålinger
Der er over de to målerunder foretaget måling i alt i 40 punkter. I 25 % af disse punkter er påvist væsentlig indtrængning (niveau 3 og 4, jf. afsnit 6.5.2.1), og i 30 % er påvist svag-moderat indtrængning (niveau 1 og 2), se tabel 6.7 herunder.

Samlet er over de to målerunder målt i 24 individuelle målepunkter. I 33 % af disse er påvist væsentlig indtrængning (niveau 3 og 4), og i 33 % er påvist svag-moderat indtrængning (niveau 1 og 2), se tabel 6.7.

Målerunde	Antal målepunkter	Svag-moderat indtrængning (niveau 1-2) [1)]	Væsentlig indtrængning (niveau 3-4) [1)]
1	19	5	4
2	21	7	6
Samlet	24	8	8

[1)] Se afsnit 6.5.2.1.

Tabel 6.7: Thoronmålinger, hustype 1.

Ved undersøgelse med thoronmålinger er primært registreret indtrængningspunkter for poreluft i teknikskabet og ved samtlige radiatorer, se bilag 6.3 og 6.8.

I begge målerunder er registreret høje baggrundsværdier af radon, primært ved teknikskabet, men også i forbindelse med rørgennemføringer ved radiatorer. Den største indtrængning er fundet i målerunde 2 ved den ene radiator, målepunkt F6. Det kan endvidere ikke udelukkes, at de i anlægsfasen etablerede afdræningshuller i membranen udgør væsentlige indtrængningspunkter.

En samlet oversigt over indtrængningspunkter ses af bilag 6.3.

6.6.1.2 Hustype 2 (kantmembran under beton, tæt rørgennemføring)
Kategorien består af i alt 3 huse, Peder Kællers Vej 13, 15 og 23. Samtlige huse er af typen stort enfamiliehus på 123,7 m^2. To af de tre boliger er udstyret med to radiatorer. Boligerne er udført med kantmembran ført under betonpladen samt tætte rørgennemføringer, se afsnit 3.2. Praktiske problemer ved udførelsen af radonsikringerne er beskrevet under afsnit 3.5.

I hus nr. 23 er indbygget ventilationsdræn under gulvet, se afsnit 3.4.1. Drænene har været inaktive i samtlige målerunder.

Af nedenstående tabel 6.8 fremgår, hvilke huse der har indgået i de forskellige målerunder. Endvidere fremgår, hvis der har været særlige forhold af relevans for de gennemførte målinger eller lign.

Hus nr.	Målerunder	Særlige forhold	Indeklima [1)]	Max [2)]
13	1 og 2		44	62
15	1 og 2	Ubeboet i målerunde 1 2 radiatorer	132	142
23	1, 2 og 3	Ventilationsdræn 2 radiatorer	102	125

[1)] Data for teknikskabet er ikke medregnet.
[2)] Højest målte værdi, data for teknikskabet ikke medregnet.

Tabel 6.8 Hustype 2, målerunder og særlige forhold

De tre huse ligger i den sydlige del af grunden, og der påvises her ved radonindeklimamålingerne generelt relativt lave radonindhold sammenlignet med de øvrige hustyper.

Radonindeklimamålinger
De gennemsnitlige laveste indhold målt i enkelte huse er påvist i hus nr. 13 (gns. over 2 målerunder 44 Bq/m^3).

I denne hustype er, næst efter hustype 1, påvist de højeste gennemsnitskoncentrationer i indeklimaet, se bilag 5.1 – 5.4. Gennemsnittet for samtlige perioder varierer, jf. tabel 6.3 i intervallet 44 til 132 Bq/m^3.

Det gennemsnitlige højeste indhold for hustype 2 er påvist i hus nr. 15 (gns. over 2 målerunder 132 Bq/m^3). Den højest målte koncentration (for hustype 2) er tilsvarende målt i hus nr. 15 (målerunde 2, 142 Bq/m^3).

I hus nr. 23 er supplerende foretaget måling i bunden af teknikskabet, og der er her påvist 576 Bq/m^3. Værdien er dog ikke sammenlignelig med de øvrige indeklimamålinger, da den er foretaget i bunden af et skab. De øvrige målinger er alle foretaget i målepunkter med fri luftbevægelighed og ved målepunkter, der i højere grad har været påvirket af en løbende luftudskiftning/fortynding. Det høje påviste indhold vurderes dog, på trods af dette, tydeligt at indikere, at selvom huset er installeret med "tætte" rørgennemføringer, sker der en væsentlig spredning op langs rørgennemføringerne i teknikskabet.

Lækagesporingsmålinger

Der er over de gennemførte målerunder foretaget måling i samlet set 61 individuelle målepunkter fordelt over 3 huse. I 13 % af disse er påvist væsentlig indtrængning (niveau 3 og 4, jf. afsnit 6.5.2.1), og i 34 % er påvist svag-moderat indtrængning (niveau 1 og 2), se tabel 6.9.

Hus nr.	Målerunde	Antal målepunkter	Svag-moderat indtrængning (niveau 1-2) [1)]	Væsentlig indtrængning (niveau 3-4) [1)]
13	1	20	1	2
15	1	17	3	4
	2	16	6	0
	Samlet [2)]	17	7	4
23	1	20	6	2
	2	22	10	0
	Samlet [2)]	24	13	2
I alt	Samlet [3)]	61	21	8

1) Se afsnit 6.5.2.1.
2) Samlet antal individuelle målepunkter ved undersøgelse over 2 målerunder.
3) Samlet antal individuelle målepunkter for samtlige boliger i hustypen.

Tabel 6.9: Thoronmålinger, hustype 2.

Ved undersøgelse med thoronmålinger er primært registreret indtrængningspunkter for poreluft ved ydervægge (herunder hjørner og vinduer) samt i teknikskabe. Der er ikke umiddelbart registreret indtrængning ved radiatorer, hvilket er i god overensstemmelse med, at der her netop er foretaget særlig tætning omkring rørgennemføringerne.

Der er primært fundet indtrængning i hus nr. 15, og specielt i målerunde 1, se bilag 6.4 og 6.8. Ved målingerne ses for hus nr. 15 desuden generelt højere baggrundsværdier af radon ved thoronmålingerne, hvor de i de øvrige undersøgte boliger i kategorien er noget lavere. De laveste baggrundsværdier findes i boligen i nr. 13, hvor der dog er registreret indtrængende thoron ved målepunktet i teknikskabet.

Thoronmålingerne for denne hustype følger dermed resultaterne fra dosimetermålingerne, med den største indtrængning registreret i boligen i nr. 15 og den svageste indtrængning påvist i nr. 13.

En samlet oversigt over thoronmålinger ses af bilag 6.3.

6.6.1.3 Hustype 3 (kantmembran over beton, tæt rørgennemføring)
Kategorien består oprindeligt af i alt 3 huse, Peder Kællers Vej 19, 21 og 29. Boligen i nr. 29 er imidlertid udført uden kantmembran, se afsnit 3.5, hvorfor denne bolig er inddelt i kategori 3b for sig selv, se afsnit 6.5.1.4. Følgende afsnit indeholder kun data fra husene nr. 19 og 21.

Begge huse er af typen stort enfamiliehus på 123,7 m^2, og begge boliger er udstyret med to radiatorer. Boligerne er udført med kantmembran ført over betonpladen samt tætte rørgennemføringer, se afsnit 3.2.

Af nedenstående tabel 6.10 fremgår, hvilke boliger der har indgået i de forskellige målerunder. Endvidere fremgår, hvis der har været særlige forhold af relevans for de gennemførte målinger eller lign.

Hus nr.	Målerunder	Særlige forhold	Indeklima [1)]	Max [2)]
19	1, 2 og 3	2 radiatorer	133	309
21	1, 2 og 3	Ubeboet i målerunde 1 2 radiatorer	157	312

1) Data for teknikskabet er ikke medregnet.
2) Højest målte værdi, data for teknikskabet ikke medregnet.

Tabel 6.10 Hustype 3, målerunder og særlige forhold

Radonindeklimamålinger
Der påvises ved radonindeklimamålingerne generelt forhøjede radonindhold sammenlignet med de øvrige hustyper, se bilag 5.1 – 5.4.

I huset nr. 19 er påvist det laveste radonindhold (133 Bq/m^3), hvorimod der i hus nr. 21 er påvist den højeste gennemsnitlige koncentration (157 Bq/m^3) i denne hustype. Boligerne i hustype 3 ligger dermed alle med en gennemsnitlig radonkoncentration i indeklimaet på mellem 100 og 200 Bq/m^3.

Det højest påviste indhold er målt i stuen i huset nr. 21 (312 Bq/m^3). I nr. 19 er den højeste værdi på 309 Bq/m^3 målt i bryggers. Den høje værdi for boligen i nr. 21 er målt, da huset endnu var ubeboet.

Lækagesporingsmålinger
Der er over de gennemførte målerunder foretaget måling i samlet set 39 individuelle målepunkter fordelt over 2 huse. I 10 % af disse er påvist væsentlig indtrængning (niveau 3 og 4, jf. afsnit 6.5.2.1), og i 33 % er påvist svag-moderat indtrængning (niveau 1 og 2), se tabel 6.11.

Hus nr.	Målerunde	Antal Målepunkter	Svag-moderat indtrængning (niveau 1-2) [1)]	Væsentlig indtrængning (niveau 3-4) [1)]
19	1	19	6	1
	2	19	6	2
	Samlet	21	10	3
21	1	18	3	1
I alt	Samlet	39	13	4

1) Se afsnit 6.5.2.1.

Tabel 6.11: Thoronmålinger, hustype 2

Ved den gennemførte undersøgelse med thoronmålinger er der primært registreret indtrængningspunkter for poreluft ved ydervæggene, se bilag 6.5 og 6.8, og her generelt hyppigere end ved hustype 2. Desuden er registreret en

væsentlig utæthed ved et enkelt teknikskab. Der er ikke umiddelbart registreret betydelig indtrængning ved radiatorer, hvilket er i god overensstemmelse med, at der her netop er foretaget særlig tætning omkring rørgennemføringerne.

En samlet oversigt over thoronmålinger ses af bilag 6.3.

6.6.1.4 Hustype 3b (ingen kantmembran, tæt rørgennemføring)
Kategorien består af et enkelt hus, nr. 29, idet installation af kantmembran ved opførelsen blev glemt af entreprenøren. Følgende afsnit indeholder kun data fra hus nr. 29.

Huset er af typen stort enfamiliehus på 123,7 m^2. Der er ingen radiatorer installeret. Boligen er udført uden kantmembran, se afsnit 3.5.2.1.

Af nedenstående tabel 6.12 fremgår, hvilke målerunder huset er indeholdt i. Endvidere fremgår, hvis der har været særlige forhold af relevans for de gennemførte målinger eller lign.

Hus nr.	Målerunder	Særlige forhold	Indeklima [1)]	Max [2)]
29	1, 2 og 3	Uden kantmembran	184	358

1) Data for teknikskabet er ikke medregnet.
2) Højest målte værdi, data for teknikskabet ikke medregnet.

Tabel 6.12 Hustype 3b, målerunder og særlige forhold

Radonindeklimamålinger
Der påvises ved radonindeklimamålingerne generelt forhøjede radonindhold sammenlignet med de øvrige boliger, se bilag 5.1 – 5.4.

Næst efter hustype 1 (fuldmembran) er her påvist de højeste gennemsnitskoncentrationer i indeklimaet. Gennemsnittet for samtlige perioder er 184 Bq/m^3. Den højeste koncentration er målt i stuen i målerunde 3 til 358 Bq/m^3.

Lækagesporingsmålinger
Der er over den gennemførte målerunde foretaget måling i 18 individuelle målepunkter. I 17 % af disse er påvist væsentlig indtrængning (niveau 3 og 4, jf. afsnit 6.5.2.1), og i 33 % er påvist svag-moderat indtrængning (niveau 1 og 2), se tabel 6.13.

Målerunde	Antal målepunkter	Svag-moderat indtrængning (niveau 1-2) [1)]	Væsentlig indtrængning (niveau 3-4) [1)]
1	18	6	3

1) Se afsnit 6.5.2.1.

Tabel 6.13: Thoronmålinger, hustype 3b

Ved den gennemførte undersøgelse med thoronmålinger er der primært registreret indtrængningspunkter for poreluft ved ydervæggene, se bilag 6.5 og 6.8. Der er ikke radiatorer i boligen, og derfor ikke foretaget målinger ved sådanne. Ved rørgennemføring i teknikskabet er ikke fundet indtrængning.

Boligen i nr. 29 har en høj baggrundsværdi for radon ved thoronmålingerne, hvilket stemmer overens med de relativt høje målinger med dosimetre.

En samlet oversigt over thoronmålinger ses af bilag 6.3.

6.6.1.5 Hustype 4 (kantmembran under beton, alm. rørgennemføring)
Kategorien består af i alt 4 huse, Peder Kællers Vej 6, 8, 17 og 25. Samtlige huse er af typen stort enfamiliehus på 123,7 m^2. To af de fire boliger er udstyret med hhv. 1 og 2 radiatorer. Boligerne er udført med kantmembran ført under betonpladen samt almindeligt udførte rørgennemføringer, se afsnit 3.2. Praktiske problemer ved udførelsen af radonsikringerne er beskrevet under afsnit 3.5.

Af nedenstående tabel 6.14 fremgår, hvilke huse der har indgået i de forskellige målerunder. Endvidere fremgår, hvis der har været særlige forhold af relevans for de gennemførte målinger eller lign.

Hus nr.	Målerunder	Særlige forhold	Indeklima [1]	Max [2]
6	1 og 2	2 radiatorer	77	89
8	1 og 2	1 radiator	60	76
17	1 og 2		82	152
25	1, 2 og 3		91	217

[1] Data for teknikskabet er ikke medregnet.
[2] Højest målte værdi, data for teknikskabet ikke medregnet.

Tabel 6.14 Hustype 4, målerunder og særlige forhold

Radonindeklimamålinger
I denne hustype er påvist de laveste gennemsnitskoncentrationer i indeklimaet blandt de undersøgte huse i hustype 1-5, se bilag 5.1 – 5.4. Gennemsnittet for samtlige perioder varierer, jf. tabel 6.3, i intervallet 60 til 91 Bq/m^3.

De laveste koncentrationer er målt i huset nr. 25 i stuen i 1. og 2. målerunde med koncentrationer på hhv. 26 og 29 Bq/m^3.

Den højeste målte koncentration er ligeledes i hus nr. 25 med en koncentration på 217 Bq/m^3 i bryggerset i 3. målerunde hvor værdien i stuen også er steget markant (fra 29 - 90 Bq/m^3). For alle 4 huse i kategorien gælder, at koncentrationen af radon i stuen generelt er lavere end koncentrationen i bryggerset.

Lækagesporingsmålinger
Der er over de gennemførte målerunder foretaget måling i samlet set 62 individuelle målepunkter fordelt over 3 huse. I 3 % af disse er påvist væsentlig indtrængning (niveau 3 og 4, jf. afsnit 6.5.2.1), og i 26 % er påvist svag-moderat indtrængning (niveau 1 og 2), se tabel 6.15.

Hus nr.	Målerunde	Antal målepunkter	Svag-moderat indtrængning (niveau 1-2) [1]	Væsentlig indtrængning (niveau 3-4) [1]
6	1	21	3	0
17	1	18	3	1
25	1	21	8	1
	2	20	4	0
	Samlet	23	10	1
I alt	Samlet	62	16	2

[1] Se afsnit 6.5.2.1.

Tabel 6.15: Thoronmålinger, hustype 4

Ved undersøgelse med thoronmålinger i boligerne nr. 6, 17 og 25 er der fundet svage baggrundsniveauer for radon. Der er kun fundet ganske få ind-

trængningspunkter, eksempelvis teknikskabet for boligen i nr. 17. Der er ikke fundet indtrængning ved radiatorer i bolig nr. 6. Det er uklart, om radiatorer i denne hustype kontribuerer med poreluftindtrængning til indeklimaet, idet der kun er målt én målerunde i hus nr. 6, og de øvrige undersøgte boliger i denne hustype ikke er udstyret med radiatorer.

Formodningen om øget indtrængning ved rørgennemføringerne som følge af, at hustypen ikke er udført med særligt tætnede rørgennemføringer, kan i denne hustype påvises i 1/3 af de undersøgte huse (teknikskab).

En samlet oversigt over thoronmålinger ses af bilag 6.3.

6.6.1.6 Hustype 5 (kantmembran over beton, alm. rørgennemføring)
Kategorien består af i alt 5 huse, Peder Kællers Vej 2, 4, 22, 24 og 31. Husene i nr. 2, 4 og 22 er af typen stort enfamiliehus på 123,7 m^2. De resterende to er på 99,6 m^2. To af de fem boliger er udstyret med 2 radiatorer. Boligerne er udført med kantmembran ført over betonpladen samt almindeligt udførte rørgennemføringer, se afsnit 3.2. Praktiske problemer ved udførelsen af radonsikringerne er beskrevet under afsnit 3.5.

Af nedenstående tabel 6.16 fremgår, hvilke huse der har indgået i de forskellige målerunder. Endvidere fremgår det, hvis der har været særlige forhold af relevans for de gennemførte målinger eller lign.

Hus nr.	Målerunder	Særlige forhold	Indeklima [1)]	Max [2)]
2	1 og 2		97	118
4	1 og 2		82	114
22	1, 2 og 3	Ubeboet i målerunde 1 2 radiatorer	142	263
24	1, 2 og 3		83	174
31	1, 2 og 3	Ubeboet i målerunde 1 og 2 2 radiatorer	184	317

1) Data for teknikskabet er ikke medregnet.
2) Højest målte værdi, data for teknikskabet ikke medregnet.

Tabel 6.16 Hustype 5, målerunder og særlige forhold

Radonindeklimamålinger
De målte koncentrationer ligger meget spredt i det samlede måleområde for de undersøgte huse (type 1-5), se bilag 5.1 – 5.4. Den laveste koncentration i kategorien er således 15 Bq/m^3 målt i stuen i målerunde 1i hus nr. 24, mens det højeste indhold er påvist i nr. 31 med 317 Bq/m^3 målt i stuen i målerunde 2.

Lækagesporingsmålinger
Der er over de gennemførte målerunder foretaget måling i samlet set 57 individuelle målepunkter fordelt over 3 huse. I 19 % af disse er påvist væsentlig indtrængning (niveau 3 og 4, jf. afsnit 6.5.2.1), og i 23 % er påvist svag-moderat indtrængning (niveau 1 og 2), se tabel 6.17.

Hus nr.	Målerunde	Antal målepunkter	Svag-moderat indtrængning (niveau 1-2) [1)]	Væsentlig indtrængning (niveau 3-4) [1)]
22	1	18	4	6
24	1	17	4	2
	2	19	1	2
	Samlet	20	4	3
31	1	15	5	1
	2	16	5	2
	Samlet	19	5	2
I alt	Samlet	57	13	11

[1)] Se afsnit 6.5.2.1.

Tabel 6.17: Thoronmålinger, hustype 5

Ved undersøgelse med thoronmålinger, som er udført i 3 af de 5 huse i kategorien, er fundet indtrængning af varierende styrke ved teknikskab i samtlige tre huse (se bilag 6.7 og 6.8). Der er generelt fundet indtrængning langs ydervægge, og i begge boliger med radiatorer, er fundet en indtrængning af varierende styrke her. Den største indtrængning ved radiatorer, er fundet i boligen i nr. 22, hvor indtrængning er påvist ved begge radiatorer.

En samlet oversigt over thoronmålingerne ses af bilag 6.3.

6.6.1.7 Hustype 6 (sammenstøbt fundament og gulv)
Kategorien består af i alt 7 stuelejligheder, Peder Kællers Vej 5A, 5B, 5C, 5D, 7A, 7C, og 7D. Boligerne er omtalt i afsnit 6.1.3. Boligerne er med sammenstøbt fundament og betondæk og har således ingen kantisolering, der skal dækkes af kantmembran, se afsnit 3.2. Boligerne er alle lejligheder i boligkompleks og er således ikke fritliggende enfamiliehuse.

Af nedenstående tabel 6.18 fremgår, hvilke boliger der har indgået i de forskellige målerunder. Endvidere fremgår det, hvis der har været særlige forhold af relevans for de gennemførte målinger eller lign.

Hus nr.	Målerunder	Særlige forhold
5A	1 og 2	Lejlighed
5B	1 og 2	Lejlighed
5C	1 og 2	Lejlighed
5D	1 og 2	Lejlighed
7A	1 og 2	Lejlighed
7C	1 og 2	Lejlighed
7D	1 og 2	Lejlighed

Tabel 6.18 Hustype 6, målerunder og særlige forhold

Radonindeklimamålinger
De målte koncentrationer for lejlighederne i hustype 6 ligger lavt i det samlede måleområde for de undersøgte huse (type 1-5). Den laveste koncentration i kategorien er således 36 Bq/m^3 i lejlighed nr. 7D, mens det højeste indhold er påvist i nr. 7A med 154 Bq/m^3, se tabel 6.3.

Betragtes gennemsnitskoncentrationerne som angivet i tabel 6.3 og 6.4, ses en gennemsnitskoncentration i denne hustype på et lavere niveau end samtlige resterende hustyper. Gennemsnitskoncentrationen i bryggerset er ligeledes den laveste for alle hustyper, men ser man på koncentrationen i stuen særskilt, ligger hustype 4 under denne.

Lækagesporingsmålinger
Der er ikke udført lækagesporingsmålinger i lejlighederne, da disse huse oprindeligt alene indgik som perifere lokaliteter i undersøgelsen.

6.6.2 Sammenfatning

De undersøgte tætningsmetoder adskiller sig på nogle områder relativt tydeligt fra hinanden, og på andre områder er det modsat mere vanskeligt at konkludere specifikt.

De gennemførte undersøgelser i delprojekt 1a indikerer og påviser en række forhold, der nedenfor er opsummeret;

- *Højeste indtrængning – fuld membran.* De højeste radonindhold er påvist i hustype 1.

  Den sæsonkorrigerede gennemsnitlige stuekoncentration er her fundet til > 250 Bq/m^3.

  Der er desværre kun ét hus af denne hustype, hvilket stærkt begrænser muligheden for at drage endelige konklusioner på baggrund af de gennemførte målinger. Data baserer sig dog på 3 målerunder.

  Resultater fra litteraturen giver imidlertid indtryk af, at effektiviteten af radonløsning med fuld membran er stærkt varierende /8/.

  Den relativt komplicerede anlægsfase, hvor der jf. afsnit 3.5 er relativt stor risiko for fejlmontage og perforering ved videre entrepriser, vurderes i det aktuelle tilfælde (og generelt) at spille en væsentlig rolle i fht., hvad der kan forventes at tæthed. Særligt kan bemærkes at der i forbindelse med anlægningsfasen blev foretaget perforering af membranen for at lede opsamlet vand væk, se afsnit 3.5.2.3. Denne perforering (og muligvis mangelfulde efterfølgende tætning) må formodes at give anledning til øget indtrængning.

  I huset med den fulde membran, hvor der ligeledes er udført særlig tætning omkring alle rørgennemføringer, påvises ved thoronmålingerne signifikant indtrængning ved både teknikskab og samtlige radiatorer i boligen.

  I delprojekt 3 er målt svagt forhøjede koncentrationer i jorden under denne bolig. På baggrund af usikkerheder og en relativ sammenligning i forhold til gennemsnitskoncentrationer i overjord generelt /7/forventes dog en nogenlunde ensartet radonkoncentration i jorden på den samlede lokalitet i Horsens (se afsnit 5.5).

- *Hus uden kantmembran.* Den næsthøjeste radonkoncentration er fundet i boligen i nr. 29, hvori der ikke er installeret kantmembran, se afsnit 3.5.

  Den sæsonkorrigerede gennemsnitlige stuekoncentration er her fundet til > 200 Bq/m^3.

Boligen er her udført med tætnede rørgennemføringer. Ved de gennemførte thoronmålinger er her primært påvist indtrængning ved ydervæggene. I bilag 6.9 ses en oversigt over de samlede thoronmålinger. Der er ikke i boligen installeret radiatorer, hvorfor thoronmålinger udover teknikskab og gulvafløb er udført udelukkende ved ydervæggen. Antallet af indtrængningspunkter ligger på niveau med hustype 5.

- *Kantmembran henholdsvis over / under betonpladen*
  Hvis der for de gennemførte radonindeklimamålinger foretages gennemsnitsbetragtninger for hhv. stue- og bryggersmålinger, og disse sammenlignes på tværs af dels husene med kantmembran over betonpladen (hustype 3 og 5) og husene med kantmembran under betonpladen (hustype 2 og 4), ses et relativt tydeligt billede.

  Ved sammenligningen ses, at såvel radonindholdet i stuen som indholdet i bryggerset er væsentligt højere for de huse, hvor membranen er ført over betonpladen. I stuen og bryggerset er den gennemsnitlige koncentration i disse huse henholdsvis 54 og 74 % højere end husene, hvor membranen er ført under betonpladen. Vurderingen er baseret på 70 indeklimamålinger.

  Ved thoronmålinger bekræftes denne tendens til en vis grad. Jf. bilag 6.9 ses hustype 4 at have det laveste antal indtrængningspunkter (niveau 1-2: 26 %, niveau 3-4: 3 %). Hustype 2 og 3 ligger omtrent på niveau med hinanden (niveau 1-2: 33 %, niveau 3-4: 10 %), dog har hustype 3 en anelse færre indtrængningspunkter end hustype 2 (niveau 1-2: 34 %, niveau 3-4: 13 %). De fleste indtrængningspunkter af væsentlig grad er påvist i hustype 5 (niveau 1-2: 23 %, niveau 3-4: 19 %).

- *Sammenstøbt fundament og betonplade*
  Hvis der igen for de gennemførte radonindeklimamålinger, foretages genemsnitsbetragtninger for hhv. stue- og bryggersmålinger, og målingerne i disse huse (hustype 6) sammenlignes med de øvrige huse (type 1-5), ses et tydeligt billede.

  Ved sammenligningen ses, at såvel radonindholdet i stuen som indholdet i bryggerset er markant lavere i de huse, hvor fundament og betonplade er sammenstøbt.

  Hvis der ved sammenligningen ikke inddrages huset med den fulde membran og huset uden kant membran, ses stadigvæk en væsentlig forskel i forhold til de øvrige huse. I stuen og bryggerset er den gennemsnitlige koncentration i hustype 2-5 henholdsvis 52 og 95 % højere end hustype 6 (sammenstøbt gulv og fundament). Vurderingen er baseret på 98 indeklimamålinger.

  Meget peger derved i retningen af, at kantmembranens udformning er en væsentlig detalje for at opnå god tæthed.

- *Tætnede rørgennemføringer kontra alm. gennemføring*
  Foretages der som ovenfor specifikke betragtninger i fht. huse med særligt tætnede rørgennemføringer og huse med almindelige rørgennemføringer, opnås der ikke nær så entydigt et billede.

Hvis radonindeklimamålinger betragtes alene, og der regnes på gennemsnit for alle huse med særlig tætning kontra alle huse uden særlig tætning, ses en overraskende forhøjet koncentration i de huse, hvor der er udført særlig tætning (+ 20 %). Tilsvarende billede ses, hvis der alene sammenlignes huse med samme type kantmembran under betonpladen.

Ved at kigge på undersøgelsen med thoronmålinger, kan på bilag 6.9 ses i hvilken grad rørgennemføringer spiller ind på det samlede antal målte indtrængningspunkter. Eksempelvis for hustype 4, hvor der ud af i alt 62 individuelle målepunkter i 3 boliger er målt indtrængning af væsentlig grad i 2 af disse. 1 af de 2 udgøres af en rørgennemføring (i dette tilfælde teknikskabet). En samlet oversigt over indtrængning ved rørgennemføringer ses i tabel 6.19 herunder.

Hustype	Samlet antal rørgennemføringer (teknikskab og radiator) for hustypen	Procentdel af rørgennemføringer fundet utætte
1	3 (1 teknikskab + 2 radiatorer)	100 %
2	7 (3 teknikskabe + 4 radiatorer)	71 %
3	7 (3 teknikskabe + 4 radiatorer)	43 %
4	5 (3 teknikskabe + 2 radiatorer)	20 %
5	8 (4 teknikskabe + 4 radiatorer)	88 %

Tabel 6.19 Hustyper og indtrængning rørgennemføringer.

Rørgennemføringer bidrager generelt med radon til indeklimaet. Jf. bilag 6.9 er fundet utætte rørgennemføringer for samtlige hustyper. Der er fundet færrest utætte rørgennemføringer i hustype 4, hvilket er den hustype hvor der er installeret færrest radiatorer i de undersøgte boliger.

For rørgennemføringer ved radiatorer med indtrængning på niveau 3-4, se afsnit 6.5.2.1, er dette kun registreret i hustype 1 og 5. For rørgennemføringer i teknikskabet med indtrængning på niveau 3-4, er dette registreret i samtlige hustyper, se nedenstående tabel 6.20.

- *Teknikskabe som væsentligt indtrængningspunkt*
  På baggrund af såvel indeklimamålinger som thoronmålinger, påvises det i den gennemførte undersøgelsen relativt tydeligt, at lækagen ved rørgennemføringen i teknikskabet, meget hyppigt udgør et af de væsentligste indtrængningspunkter.

  Gennemsnitligt ligger målingerne i teknikskabene i de 8 boliger på trin 3 ud af 4, og i de i alt 13 målerunder (foretaget i disse 8 boliger) ligger kun 2 målinger på trin 1. Rørgennemføringen i teknikskabene, vurderes på denne baggrund, generelt som værende det sted i boligerne, hvor der sker den største indtrængning.

Hustype	Antal individuelle målepunkter i teknikskabe	Registreret indtrængning ved målepunkt
1	1	1(100 %)
2	3	2 (67 %)
3	3	1 (33 %)
4	3	1 (33 %)
5	4	4 (100 %)

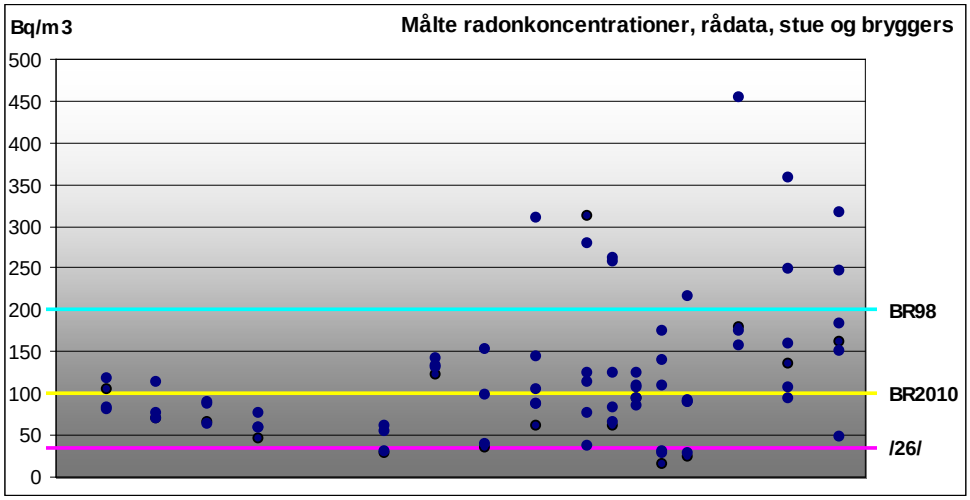
Tabel 6.20 Hustyper og indtrængning ved målepunkter i teknikskabe.

Det vurderes samtidigt, at den afprøvede metode for tætning omkring de mange tætsiddende rør her sandsynligvis ikke er tilstrækkelig til at hindre indtrængning.

- *Niveauer over dansk gennemsnit.* Af samtlige 16 boliger er der i kun én bolig fundet radonkoncentrationer på niveau med eller under det i /26/ fundne gennemsnit for danske enfamiliehuse opført efter 1998 på 35 Bq/m^3. Såfremt koncentrationerne målt i boligernes bryggers tages med, rykker denne balance sig imidlertid, hvorefter ingen huse er fundet med radonkoncentrationer på niveau med eller under det i /26/ fundne gennemsnit.

  Figur 6.6 illustrerer samtlige målinger der er foretaget med dosimetre i indeklimaet (stue og bryggers) i de 16 enfamiliehuse. Hver måling er indikeret med et punkt på grafen, og illustrerer en måling som den normalt foretages i Danmark. 7 af de 80 målinger ligger under gennemsnittet for danske boliger bygget efter 1998 fundet i /26/. 39 af de 80 målinger, altså næsten 50 %, ligger over 100 Bq/m^3 hvilket er det maksimalt tilladte i nybyg ifølge BR2010.

  Som det kan aflæses på figuren, ligger koncentrationerne i boligerne på lokaliteten over, hvad man kan forvente i nyt dansk nybyggeri. Grunden til dette er ukendt, idet samtlige forskrifter ved boligernes opførelse er fulgt.



Figur 6.6: Samtlige målte radonkoncentrationer i projektet(dosimetermåling) samt gennemsnittet for nyere enfamiliehuse iflg. SBi /26/, og krav til radonkoncentrationer i bygningsreglementerne 98 og 2010.

- *Niveauer over BR 2010.* Af samtlige 16 boliger er der i 8 fundet sæsonkorrigerede gennemsnitlige stuekoncentrationer over 100 Bq/m^3. De 8 boliger overskrider derved det maksimalt anbefalede radonniveau for nybyggede huse jf. Bygningsreglement 2010. Fire af disse otte boliger er af hustype 5. De øvrige er i hustyperne 1, 2 og 3.

  Betragtes de enkelte måleperioder for sig selv, således som ved en almindelig radonmåling i en bolig, overskrides det maksimalt anbefalede radonniveau i BR2010 på 100 Bq/m^3 i nybyggeri i 39 ud af 80 målinger, således i næsten 50 % af de gennemførte målinger.

6.6.3 Metodeevaluering (dosimeter og thoron)

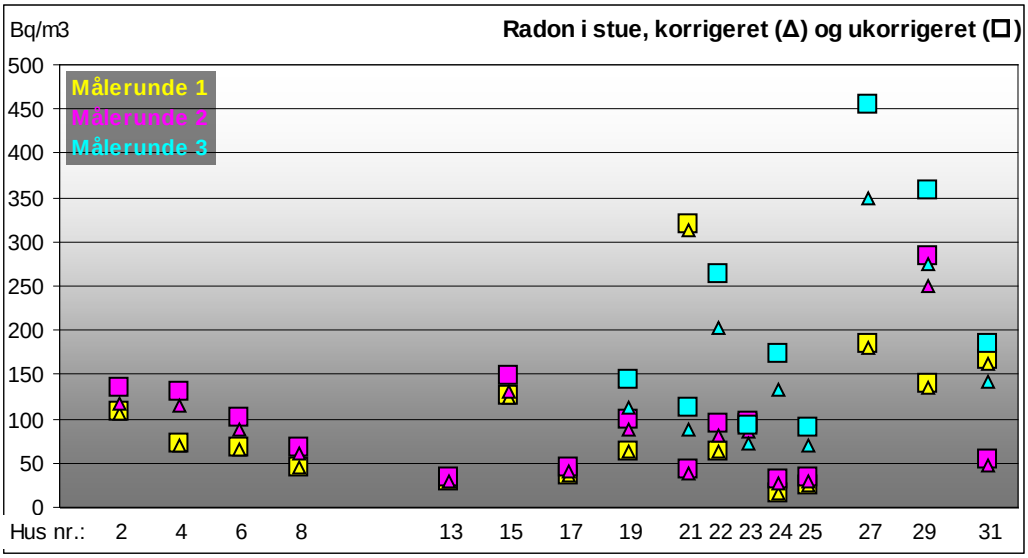
I nedenstående afsnit ses en samlet metodeevaluering for de gennemførte undersøgelser i delprojekt 1a.

Evalueringen baserer sig på de praktiske erfaringer, der er opstået i forbindelse med undersøgelsens praktiske gennemførelse samt teoretiske overvejelser ved efterfølgende datagranskning.

6.6.3.1 Indeklimamålinger

I projektet er foretaget passive radonmålinger med dosimetermålinger over tre målerunder; (1) april-maj 2009, (2) september-oktober 2009 og (3) februar 2010.

I forbindelse med en vurdering af det gennemsnitlige radonindhold i boligerne og en efterfølgende vurdering af radonsikringerne for de forskellige hustyper er beregnet en årsmiddelværdi ved sæsonkorrektion af radonkoncentrationerne (se afsnit 2.2.2). Figur 6.7 nedenfor illustrerer variationerne i de individuelle målerunder samt forskellen mellem den sæsonkorrigerede og ikke-korrigerede værdi.



FIGUR 6.7: RADONKONCENTRATIONER FOR BOLIGERNE I DE TRE MÅLERUNDER.

Generelt gælder for stort set samtlige boliger, at såvel korrigerede som ukorrigerede værdier for målerunde 1 giver de laveste værdier, efterfulgt af målerunde 2 og til sidst målerunde 3. Denne tendens (stigende indhold i koldeste måneder) er grunden til, at der som regel foretages en sæsonkorrektion for at finde en årsmiddelværdi. Ved sæsonkorrektionen tages netop højde for variationer i betydende forhold som temperatur, vind, udluftning mv. – faktorer der alle har stor betydning for radonophobningen i indeklimaet (jf. afsnit 2.2.2).

Hverken sæsonkorrektion eller de enkelte målinger giver dog et klart billede af en "årsmiddelværdi" for den pågældende bolig. Således er de sæsonkorrigerede værdier for bolig nr. 29 i målerunde 1, 2 og 3 forskellige. Meningen med sæsonkorrektion er netop at udregne en gennemsnitlig middelværdi, på baggrund af en enkelt måling. De målte koncentrationer i denne undersøgelse varierer meget, hvorfor det vurderes, at der ved sæsonkorrektion ikke opnås

tilfredsstillende årsmiddelværdier. Resultaterne for radonmålingerne i de enkelte boliger er derfor udført som en almindelig gennemsnitsberegning af måleværdierne i de enkelte målerunder. Det vurderes, at denne måde giver det bedste billede af en gennemsnitlig middelværdi for boligerne i projektet.

Forholdet er ikke af betydning for projektet, idet værdiernes størrelse kun benyttes til en relativ vurdering imellem boligernes radonsikring.

6.6.3.2 Lækagesporing

I projektet er foretaget thoronmålinger for at identificere punkter for indtrængende poreluft til indeklimaet. Thoronmålingernes anvendelighed er afrapporteret i et selvstændigt miljøprojekt /5/.

Der er flere tydelige uoverensstemmelser mellem thoronmålingerne i de enkelte boliger målerunderne imellem. Det formodes at uoverensstemmelserne primært skyldes foranderlige trykforhold og uens indtrængningsmønstre og derved ikke udtryk for fejlbehæftede målinger. Ændringer i udetemperaturen eller ændret vindbelastning på konstruktionen, vil eksempelvis medføre en øget eller formindsket indtrængning i måleøjeblikket. Hvad der registreres som en svag indtrængning i den ene målerunde, kan derfor muligvis registreres som et væsentligt indtrængningspunkt i en anden målerunde, bestemt af meteorologiske og ukontrollerbare faktorer. Det er derfor vigtigt, når der som i dette projekt foretages sammenligninger på tværs, at gennemføre mange målinger og gerne gentagende målinger.

Metoden er afprøvet under kontrollerede trykforhold i /5/ hvilket givetvis vil give mere konsistente resultater.

Samlet set vurderes undersøgelserne i dette projekt at give en relativ god indikation af de forskellige indtrængningsforhold husene imellem. Målingerne stemmer desuden nogenlunde overens med dosimetermålingerne, idet de generelt giver samme billede af, hvilke boliger der er udsat for den største poreluftsindtrængning, og dermed belastning af radon fra undergrunden.

7 Feltundersøgelser (DP1B)

I dette kapitel præsenteres de undersøgelser, der er gennemført i delprojekt 1b. De gennemførte undersøgelser har her haft fokus på ved feltarbejde i tre huse at undersøge effekten af at iværksætte en ventilation af det kapillarbrydende lag i gulvkonstruktionen.

I kapitlet er de gennemførte undersøgelser beskrevet og de opnåede resultater vurderet. Resultaterne fra delprojekt 1a, 2 og 3 er indgået i forbindelse med granskning af de opnåede måleresultater i delprojekt 1b.

Nedenfor ses indledningsvis en beskrivelse af baggrunden for de gennemførte undersøgelser, en beskrivelse af de byggetekniske forhold på lokaliteterne. For en beskrivelse af de geologiske forhold i området henvises til afsnit 5.4.1 (for lokaliteterne på Peder Kællers Vej) og til afsnit 7.2.2.2 for den tredje lokalitet. I efterfølgende afsnit 7.3 er undersøgelsesmetoden og det anvendte udstyr beskrevet, og i afsnit 7.4 præsenteres selve undersøgelsesprogrammet. Undersøgelsesresultater, diskussion, evaluering og konklusion er præsenteret i afsnit 7.5-7.7.

7.1 Formål og baggrund for undersøgelse

Metoden med at ventilere i det kapillarbrydende lag som en løsning for indeklimaproblemer, såvel på forurenede grunde som for radonindtrængning, anvendes i stigende grad.

Metoden er billig at etablere, men effekten af de etablerede anlæg varierer en del og er i nogle tilfælde ikke tilstrækkelige til at opnå den ønskede forbedring i indeklimaet. Metoden er tidligere præsenteret og undersøgt /6, 14, 15/.

På baggrund af metodens mere og mere udbredte anvendelse og det forhold, at der ikke altid opnås de ønskede resultater, er det efter opstart besluttet at udvide projektet til at omfatte en nærmere undersøgelse.

Undersøgelserne i delprojekt 1b omfatter nedenstående målinger, der alle er gennemført henholdsvis med og uden en ventilation af det kapillarbrydende lag;

- logning af radonmålinger i indeklimaet
- logning af radonmålinger i det kapillarbrydende lag
- temperaturmålinger umiddelbart over betongulvet
- temperaturmålinger i det kapillarbrydende lag

Formålet med undersøgelserne er at forbedre kendskabet til hvilke effekter der kan forventes opnået når der etableres en ventilation i det kapillarbrydende lag.

Ovennævnte målinger er gennemført på følgende lokaliteter;

Logning af radonindhold
- Peder Kællers Vej i Horsens (to lokaliteter)
- Frederiksberg Torv i Århus (én lokalitet)

Logning af temperaturmålinger
- Odensevej Langeskov (én lokalitet)

Nedenfor er de byggetekniske forhold, detaljer omkring ventilationsdræn og geologiske forhold nærmere beskrevet.

7.2.1 Peder Kællers Vej, Horsens

7.2.1.1 Byggeteknik og ventilationsdræn
Den byggetekniske beskrivelse samt installation af radonsikringer er indeholdt i afsnit 3.1. Opbygning og installation af ventilationsdrænene er beskrevet i afsnit 3.4.1.

7.2.1.2 Geologi
For en beskrivelse af de geologiske forhold for lokaliteterne i Horsens henvises til afsnit 5.4.1.

7.2.2 Frederiksbjerg Torv, Århus

7.2.2.1 Byggeteknik og ventilationsdræn
Den byggetekniske beskrivelse samt installation af radonsikringer er indeholdt i afsnit 3.1. Opbygning og installation af ventilationsdrænene er beskrevet i afsnit 3.4.2.

En mere uddybende beskrivelse ses i /16/.

7.2.2.2 Geologi
Der er i forbindelse med tidligere udførte undersøgelser på ejendommen foretaget en overordnet geologisk beskrivelse af området, på baggrund af udførte boringer i nærområdet /16/.

Lokaliteten er beliggende i ca. kote +14 DNN. 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 til bunden af de dybeste boringer i afværgeprojektet 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.

En mere uddybende beskrivelse ses i /16/.

7.2.3 Odensevej, Langeskov

7.2.3.1 Byggeteknik og ventilationsdræn

Ved tidligere undersøgelser udført af Fyns Amt i 2002 på ejendommen Odensevej 14 i Langeskov er der fundet forurening med chlorerede opløsningsmidler. Forureningen er vurderet at være opstået i forbindelse med ejendommens anvendelse som renseri i perioden 1973 – 1979.

Ejendommen er opført i 1907. Der er kælder under en del af bygningen (12 m^2). Ejendommen fremstår som hovedbygning med to tilbygninger. Der er indvendig trappe fra stue til 1. sal i hovedbygningen og udvendig trappe til kælderen. En plantegning kan findes i bilag 8.6.

Der er trægulve i stue og værelser samt i del af gang og badeværelse /17/. I soveværelse og resten af gangen er der betongulv. I entre og køkken er der beton med gulvvarme og øverst klinker. I forbindelse med en undersøgelse i 2002 blev det oplyst, at der i forbindelse med etablering af entre og køkken blev afgravet ca. 0,6 m jord, hvorefter der blev støbt betongulv med indlagt gulvvarme. I stue, værelser og gang blev der udlagt letklinker, dampspærre og isolering og afsluttet med enten parketgulv eller træplader. Denne gulvopbygning er sandsynligvis fortsat gældende. I det daværende badeværelse blev betongulvet udskiftet. Betongulvet i det nuværende badeværelse er sandsynligvis forblevet uændret ved udvidelsen af badeværelset. For en nærmere beskrivelse af gulvopbygningen henvises til /17/.

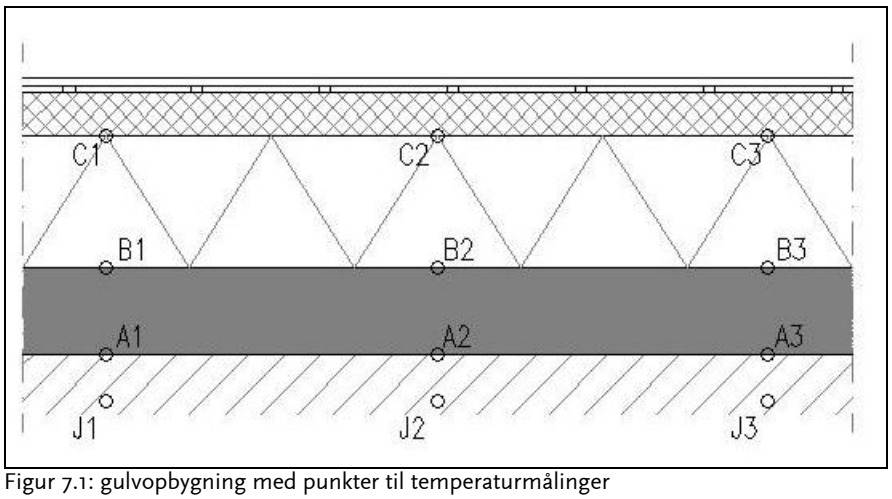
I forbindelse med den fundne forurening med chlorerede opløsningsmidler i jorden og poreluften under og nær ejendommen på Odensevej 14 er der udført en række afværgeforanstaltninger omfattende:

- Udskiftning af træ- og betongulve i del af ejendommen med nye armerede betongulve samt indbygning af diffusionshæmmende R.A.C. membran i gulvet.
- Etablering af passive ventilationsdræn i det nye kapillarbrydende lag med friskluftindtag ved randfundament.

Den ny gulvkonstruktion er opført som følger:

- Kapillarbrydende lag udføres af letklinker.
- Isolering udføres af trykfast polystyren som type G1 fra Sundolitt.
- Råbetonplade af fabriksfremstillet beton B15P, passiv miljøklasse. Armering som RIO-net 5015. Kantisolering som 10 mm polystyrol.
- Diffusionshæmmende R.A.C. membran.
- Rørgennemføringer er udført med manchetter, der fra leverandøren er påsvejset R.A.C. membranen.

Ventilationsdræn og luftindtagningsdræn i den nyetablerede gulvkonstruktion er udført som ø113/126mm. PVC-drænrør, 2,5 mm slidser. Som glatrør til at forbinde ventilationsdrænrør og luftindtagningsdrænrør i det kapillarbrydende lag og frem til samlebrønde anvendes ø113/132 mm PVC tilslutningsrør.



Figur 7.1: gulvopbygning med punkter til temperaturmålinger

Terrændækket består øverst af 100 mm armeret beton, herunder i alt 200 mm polystyren med ilagt diffusionshæmmende RAC membran. Isoleringen er underlejret af letklinker med en lagtykkelse på ca. 250 mm. Der er målepunkter ved underside beton (C), underside isolering (B), underside kapillarbrydende lag (A) samt 100 mm nede i jorden (J), se figur 7.1 herover.

En mere uddybende beskrivelse af afværgeinstallationerne kan findes i /17/, og en plantegning kan findes i bilag 8.6.

Der er efterfølgende udført kontinuerlige målinger af temperaturvariationerne i jord og mellem de enkelte lag i terrændækket samt i ude- og indeklima, se afsnit 7.3.3.

7.2.3.2 Geologi

Boringer og gravninger udført i forbindelse med en forureningsundersøgelse i 2002 viste en lagfølge bestående af op til 1,4 m fyld af sand, muld eller ler. Under fyldlaget blev der truffet sand efterfulgt af ler/moræneler fra 1,2 – 1,5 m u.t.

Det terrænnære grundvand er i 2009 pejlet til ca. 5 m u.t., hvilket svarer til niveauet ved undersøgelsen i 2002.

For en mere detaljeret gennemgang af de geologiske forhold på grunden henvises til /17/.

7.3 Undersøgelsesmetoder

Feltarbejdet i delprojekt 1b er primært gennemført med henblik på at teste effekten af at gennemføre en ventilation i det kapillarbrydende lag.

Denne projektdel er gennemført som et supplement til det oprindelige projektprogram.

Overordnet set lægger undersøgelsen vægt på følgende måleprincip;

- Kontinuerte radonmålinger i indeklima og under gulv i udvalgte boliger. Målet er her at opnå overblik over forskellen i radonkoncentrationen over og under gulv i det enkelte hus, henholdsvis med og uden ventilation i det kapillarbrydende lag.

Der er i delprojekt 1b gennemført målinger i 3 boliger (2 målerunder i hvert hus), hvorved der i alt er gennemført 6 målerunder.

Der er derved opnået et vist datagrundgrundlag som baggrund for de endelige vurderinger. Samtidig er det dog vigtigt at understrege, at materialet ikke udgør et større statistisk datamateriale.

Som et supplement til den del af undersøgelsen, der analyserer effekten af at ventilere i det kapillarbrydende lag, er der gennemført en mindre undersøgelse, hvor fokus er rettet mod de temperaturforandringer, der *kan* indtræffe, når der ventileres i det kapillarbrydende lag. Denne undersøgelsesdel har primært været varetaget af SBI, og beskrivelser og resultaterne i rapporten indgår for denne del på et overordnet niveau.

Overordnet set lægger denne undersøgelse vægt på følgende måleprincip;

- Kontinuerte temperaturmålinger ned gennem lagdelingen i et terrændæk. Dette med henblik på at opnå et overblik over en eventuel nedkøling af den overliggende betonplade som følge af, at der ventileres i underliggende kapillarbrydende lag.

Nedenfor ses en præsentation af de to undersøgelsesteknikker, der har været anvendt i delprojekt 1b.

7.3.1 Radonlogninger (over/under gulv)

7.3.1.1 Overordnet beskrivelse
De kontinuerte målinger er foretaget dels i det kapillarbrydende lag og dels i indeklimaet. Målingerne er gennemført ved kontinuerlig logning af data over perioder af min. 14 dages varighed. Alle logninger er foretaget samtidig, henholdsvis over og under gulv.

Logningerne i indeklimaet er foretaget ved anvendelse af udstyr af typen AlphaGuard og her med dataregistrering en gang i timen. Udstyret er en radonmåler, som fungerer og måler radonhenfald ved hjælp af et pulserende ioniseringskammer. Radon diffunderer fra indeluften ind i kammeret, og radioaktive henfald registreres herinde.

AlphaGuard udstyret foretager kontinuerte logninger af koncentrationen af radon i luften. Instrumentet kan indstilles til at registrere hvert 10. eller hver 60. minut.

For en detaljeret udstyrsbeskrivelse henvises til /4/.

Logningerne i det kapillarbrydende lag er udført ved brug af udstyr af typen RAD7. Modsat AlphaGuard har instrumentet en indbygget pumpe, og det er derved muligt at foretage tilslutning til dræn eller målepunkter og derved suge og måle på luften fra det kapillarbrydende lag.

Med ovenstående samtidige logninger over og under gulv kan variationer i radonkoncentrationerne i det kapillarbrydende lag og i indeklimaet følges, og eventuelle udsving i forbindelse med skiftende vejrforhold (vind, temperatur, trykdifferens), beboeradfærd, "start" og "sluk" af dræn osv. kan registreres.

7.3.1.2 Valg af målepunkter
Der er gennemført kontinuerte logninger af radonkoncentrationen i udvalgte målepunkter i indeklimaet og i det kapillarbrydende lag på tre lokaliteter.

Måling i det kapillarbrydende lag er foregået i præ-installerede målepunkter, indbygget i forbindelse med indbygningen af ventilationsdrænene, se afsnit 3.4.1 og 3.4.2.

For de to lokaliteter på Peder Kællers Vej er der så vidt muligt målt radon i to punkter i indeklimaet samt et punkt i det kapillarbrydende lag. Målepunkterne i indeklimaet er udvalgt på baggrund af undersøgelserne i delprojekt 1a, hvor radon i indeklimaet blev målt passivt i bryggers og stue. I delprojekt 1b er det derfor så vidt muligt ønsket tillige at måle i disse lokaler.

Målepunkterne i det kapillarbrydende lag er valgt for at måle lige under stue eller lige under bryggers. I begge boliger på Peder Kællers Vej er installeret målepunkter under både stue og bryggers, se bilag 8.2 og 8.3.

For lokaliteten på Frederiksbjerg Torv er det valgt at foretage samtidige kontinuerte målinger to steder i kælderniveau og i et punkt i det kapillarbrydende lag. Målepunkterne er udvalgt igen med henblik på at måle over og under terrændækket i samme rum.

Målepunkterne er beskrevet i afsnit 7.6, og placeringer af disse ses af plantegningerne i bilag 8.2 – 8.5.

7.3.2 Meteorologiske forhold, indetemperatur, trykdifferens mv.

På flere lokaliteter er foretaget en registrering af meteorologiske forhold. Samtlige registreringer er indeholdt i bilag 9.7.

7.3.3 Temperaturmålinger

I forbindelse med dette projekt er der foretaget undersøgelser af temperaturforholdene i et terrændæk med underliggende passivt ventileret kapillarbrydende lag.

Undersøgelserne er gennemført ved test på lokaliteten Odensevej, Langeskov, se afsnit 7.2.3, og gennemført ved temperaturmålinger i perioden september 2009 til maj 2010. Målingerne er gennemført som kontinuerlige målinger af temperaturvariationerne i jorden og mellem de enkelte lag i et terrændæk samt ved samtidige målinger i ude- og indeklimaet.

Temperaturmålingerne er gennemført ved anvendelse af termotråd type T, bestående af en kobbertråd og en konstantantråd, som samles til et termoelement. Termoelementet forsegles med epoxy. Der placeres termoelementer i hvert målepunkt. I alt er placeret 12 termoelementer i gulvkonstruktionen. Fra hvert termoelement føres ledninger til en datalogger placeret uden for husets fundament. Termoelementerne er forbundet til en datalogger af typen DT80, som er placeret i sikret, aflåst skab. Herudover måles temperaturen inde og ude ved hjælp af dataloggere af typen TinyTag.

Detaljer vedrørende opbygningen af det passive ventilationssystem er afrapporteret i en selvstændig rapport /17/, ligesom metodebeskrivelse og fremgangsmåde for temperaturmålingerne er detaljeret beskrevet i selvstændigt notat /18/.

Som skitseret på figur 7.1 i afsnit 7.2.3 er temperaturmålingerne udført mellem de enkelte lag i terrændækket. Der er gennemført måling i 3 tværsnit (A+B+C+J), se afsnit 7.2.3. De tre tværsnit er placeret i en afstand af ca. 1,5 m fra hinanden på en lige række.

Temperaturen udenfor er målt under tagudhæng og indenfor målt i køkken/alrum, uden påvirkning fra direkte sol eller andre varmeproducerende enheder.

Temperaturen udendørs og inde i huset er registreret én gang i timen. Temperaturen i gulvkonstruktionen er registreret hver anden time. Dataloggere er tilset og data opsamlet med jævne mellemrum over hele forsøgsperioden. Foruden temperaturmålinger er der i projektet udført PFT-målinger på udlagte sporgasser i ventilationssystemet, dette til dokumentation for, at det kapillarbrydende lag ventileres. PFT-måling er foretaget ved udlægning af sporgaskilder i friskluftindtag, ved randfundament, til gulvkonstruktionen og opsamling i udsugningen af kapillarluft på adsorptionsrør. PFT-målingerne er gennemført sidst i forsøgsperioden. Sporgasindikatorer er indsamlet tre gange i alt, med 14 dages mellemrum. Samtlige resultater ligger i bilagene 12.1 og 12.2.

7.4 Undersøgelsesprogram

Det samlede feltarbejde til undersøgelse af effekten af at ventilere i det kapillarbrydende lag (delprojekt 1b) er som nævnt ovenfor gennemført i to opførte parcelhuse i Horsens og et hus i Århus, hvor der tidligere er etableret en ventilation i det kapillarbrydende lag pga. en jordforurening (etagebyggeri med undersøgelse i kælderetage).

Den del af feltarbejdet, der har til hensigt at undersøge, hvad der sker af temperaturmæssige ændringer i det kapillarbrydende, når der ventileres, er gennemført i ét hus i Langeskov. I huset er tidligere etableret en ventilation i det kapillarbrydende lag pga. en jordforurening.

Det samlede måleprogram for delprojekt 1b ses af nedenstående tabel 7.1.

Lokalitet	Måle-periode	Dræn aktivt	Målte faktorer [1)]
Peder Kællers Vej 23, 8700 Horsens	29-11-2008 – 29-12-2008	13-12-2008 – 29-12-2008	Radon indeklima Radon under gulv Temperaturer (ude/inde) Vindhastighed Trykdifferens (ude/inde) Atmosfærisk tryk
	09-10-2009 – 12-11-2009	26-10-2009 – 12-11-2009	Radon indeklima Radon under gulv Temperaturer (ude/inde) Atmosfærisk tryk
Peder Kællers Vej 31, 8700 Horsens	05-05-2009 – 28-05-2009	15-05-2009 – 28-05-2009	Radon indeklima Radon under gulv Temperaturer (ude/inde) Vindhastighed Vindretning Atmosfærisk tryk
	12-11-2009 – 06-12-2009	26-11-2009 – 06-12-2009	Radon indeklima Radon under gulv Temperaturer (ude/inde) Atmosfærisk tryk (ude)
Frederiksbjerg Torv 10, 8000 Århus C	17-02-2009 – 13-03-2009	02-03-2009 – 13-03-2009	Radon indeklima Radon under gulv Temperaturer (ude/inde) Vindhastighed Trykdifferenser (ude/inde Atmosfærisk tryk (ude)
	02-09-2009 – 01-10-2009	23-09-2009 – 01-10-2009	Radon indeklima Radon under gulv Temperaturer (ude/inde) Atmosfærisk tryk (ude)
Odensevej 14, Langeskov	09-2009 – 05-2010	11-2009 – 05-2010	Temperatur (terrændæk, ude, inde) Sporgasmålinger med PFT rør (under gulv)

[1)] Meteorologiske faktorer og trykdifferens er afrapporteret i bilag 9.7

Tabel 7.1 Samlet måleprogram for delprojekt 1b

7.5 Resultater

I nedenstående afsnit præsenteres samtlige data vedr. radonlogning over/under gulv samt data vedr. temperaturmålinger.

Data vedrørende meteorologiske forhold omtales overordnet i bilag 9.7. For en nærmere beskrivelse henvises til /4/.

I afsnit 7.6 bearbejdes og tolkes alle data. Vurderingerne er her opdelt henholdsvis i vurderinger vedrørende effekt af ventilation i det kapillarbrydende lag (7.6.1) og vurderinger vedrørende den tilhørende temperaturpåvirkning (7.6.4).

Vurderinger vedrørende effekt (7.6.1) præsenteres særskilt for de tre lokaliteter, der har indgået i undersøgelsen. I afsnit 7.6.3 præsenteres en metodeevaluering vedrørende de gennemførte radonlogninger

Vurderinger vedrørende temperaturpåvirkning præsenteres specifikt for den lokalitet, der her har været inddraget i afsnit 7.6.4.

7.5.1 Radonlogning, vejrdata, trykdifferens mv.

Der er foretaget radonlogning henholdsvis over og under gulv i 3 huse og i hvert hus i to perioder af mellem 3,5 og 5 ugers varighed.

I hver måleperiode er der først foretaget datalogning med inaktive ventilationsdræn (ca. 2 uger) og herefter logning efter aktivering af ventilationsdrænene.

Måleperioden repræsenterer således en af følgende tre tilstande; uden ventilering, umiddelbart efter at der sker en aktivering (skift mellem off og on status) og med længere tids ventilering.

Målingerne er foretaget i følgende tre huse;

- Peder Kællers Vej 23, Horsens
- Peder Kællers Vej 31, Horsens
- Frederiksberg Torv 10, Århus

Som det fremgår af oversigten i bilag 9.1 – 9.7 og tabel 7.1, foreligger der for flere måleperioder endvidere meteorologiske data samt data vedr. trykdifferens.

I bilag 9.1 – 9.6 ses samtlige måledata præsenteret grafisk ved en række figurer:

1. Rådata uden korrektioner og/eller midlet over 12 målinger el. 6 timer
2. Rådata suppleret med målte vindhastigheder
3. Rådata suppleret med målt trykdifferens
4. Rådata suppleret med målt temperaturdifferens
5. Rådata suppleret med tilnærmet tidslig udviklingstendens

Der forekommer enkelte perioder med udfald i dataregistreringen af meteorologiske data og trykdifferens. Udfaldene skyldes udstyrssvigt.

Meteorologiske forhold og deres indflydelse på radonkoncentrationerne er alene afrapporteret i bilag 9.7, da denne del kun har indgået sekundært i projektet.

Nedenfor er de overordnede resultater af målingerne samlet i tabel 7.2 og her inddelt i kolonner efter de enkelte lokaliteter og målerunder. PK23,1 repræsenterer således data fra Peder Kællers Vej 23, målerunde 1 og så fremdeles.

Yderste venstre kolonne specificerer de forskellige forhold, der i tabellen er sammenlignet. Eksempelvis ses det for Peder Kællers Vej 23, at der i målerunde 1 i indeklimaet i stuen er påvist en reduktion (i forhold til niveau før ventilation startes) på 42 %.

Lokalitet målerunde	PK23, 1	PK23, 2	PK31, 1	PK31, 2	FT10, 1	FT10, 2
Hovedresultater (med aktiv vent.[7])						
% reduktion i stue [1]	42 (102-59)	24 (124-95)	21 (131-104)	- 78 (85-151)		
% reduktion i bryggers/kælder [2]		34 (152-101)	20 (150-120)	35 (504-327)[5]	- 20 (11,5-14,5)	55 (20-9)
% reduktion i kapillarbrydende lag	56 (5791-2560)	48 (7014-3647)	40 (5648-3397)	52 (6419-3060)	99,6 (1058-4)	99,5 (1080-5)
Delresultater						
Dæmpningsfaktor [4] (stue, u. vent.)	57	57	43	76		
Dæmpningsfaktor [4] (bryggers, u. vent.)		46	38	13[5]	(92[6])	(54[6])
Inde temperatur, °C (gennemsnit)	22,1	24,4	24,3	23,0	14,7	24,8
Inde temperatur, °C (uden/med vent.)	22,0/22,1	24,6/24,1	23,9/24,6	23,1/22,8	15,2/14,2	25,0/24,3
Ude temperatur, °C (gennemsnit)	2,2	10,7	13,0	10,4	3,2	13,3
Ude temperatur, °C (uden/med vent.	1,9/2,6	11,0/10,4	11,6/13,7	12,4/7,7	3,8/2,8	14,5/11,7
Δp, Pa, inde i fht. ude (gennemsnit)	0,8				2,3	
Δp, Pa, inde i fht. u. gulv (gennemsnit)					1,7	
Særlige forhold			ubeboet		ubeboet	ubeboet
Ventilationsforhold	Mekanisk ventilation	Mekanisk ventilation	Ingen ventilation	Mekanisk ventilation	Konstant udluftning	Manuelt [3]

1) Reduktionseffektivitet (procentvis reduktion med aktivt ventilationsdræn i forhold til perioden med inaktivt ventilationsdræn. I parentes vises den gennemsnitlige radonkoncentration i perioden med inaktivt hhv. aktivt ventilationsdræn)
2) Reduktionseffektivitet, målepunkt for bryggers (PK23 og 31) hhv. vaskekælder (FT10). (I parentes vises den gennemsnitlige radonkoncentration i perioden med inaktivt hhv. aktivt ventilationsdræn).
3) Vinduer og døre var generelt lukket til vaskekælder i denne periode.
4) Beregnet dæmpning ved sammenligning af radonniveau over/under gulv
5) Måling foretaget i teknikskabet
6) Denne dæmpningsfaktor er udelukkende et udtryk for forholdet mellem koncentrationen af radon over og under gulv. Ved sammenligning i afsnit 7.6.1.3 er det valgt ikke at benytte værdien som et udtryk for en gyldig dæmpningsfaktor, idet variationer i koncentrationerne over og under gulv ikke følger samme mønster, og derved vurderes det at koncentrationen under gulv ikke yder væsentlig indflydelse på indeklimaet.
7) Ventilationsdræn i det kapillarbrydende lag.

Tabel 7.2: Data for undersøgelse af effekt af ventilationsdræn i kapillarbrydende lag

7.5.2 Temperaturmålingerne

Samtlige resultater fra de gennemførte temperaturmålinger er afbildet i bilag 12.1. Ved temperaturmålingerne henfører bogstaverne til målepunktet i terrændækket eller indeklima/udendørs, se afsnit 7.3.3 eller /18/.

Data fra PFT-sporgasmålingerne er afbildet i bilag 12.2.

7.6.1 Effekt af ventilation

Vurderinger vedrørende opnåede effekter, er nedenfor præsenteret særskilt for hver af de tre lokaliteter, der har indgået i undersøgelsen, og ligeledes særskilt for hver af de gennemførte målerunder.

7.6.1.1 Peder Kællers Vej 23
På lokaliteten Peder Kællers Vej 23, ses umiddelbart den mest effektive reduktion af radonkoncentrationen i indeklimaet.

Betongulvets tæthed yder i sig selv dæmpning mod radonindtrængning. Ved de gennemførte undersøgelser ses i denne bolig en dæmpningsfaktor på 46-57, se bilag 13.1.

7.6.1.1.1 Målerunde 1
Der er i målerunde 1 foretaget måling i perioden som skitseret af nedenstående tabel. Perioden for, hvornår ventilationen under gulvet, har været aktiv, fremgår ligeledes af tabellen.

Der er i målerunde 1 foretaget måling under gulvet i MP1UD, og i indeklimaet i det nordøstlige stuehjørne. Placering af de to målepunkter fremgår af bilag 8.2.

Huset har været beboet i hele perioden, og en mekanisk rumventilation (genvex) har været aktiv i hele perioden.

Samlet måleperiode	Ventilation i kapillarbrydende lag
29-11-2008 – 29-12-2008	13-12-2008 – 29-12-2008

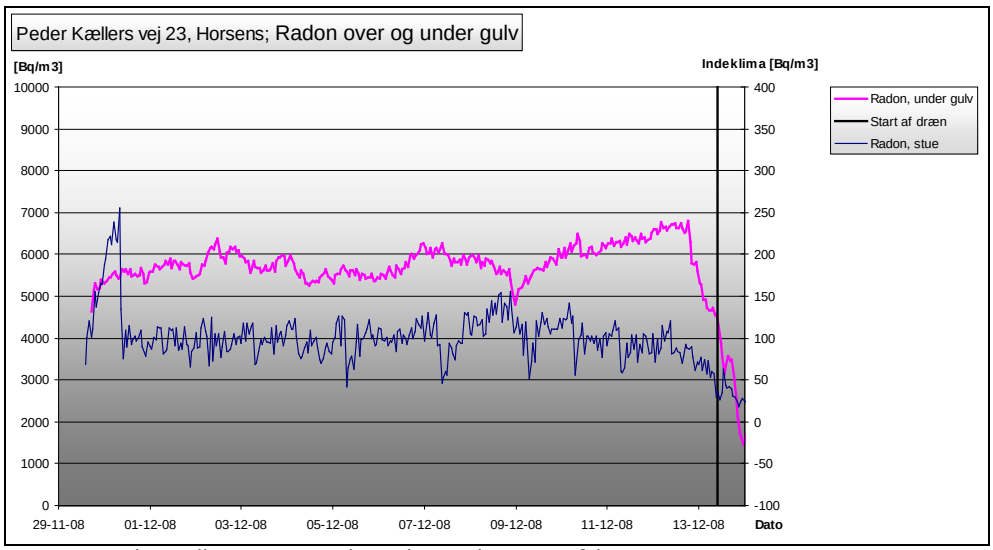
Tabel 7.3 Målerunde 1, Peder Kællers Vej 23

Nedenfor gennemgås hvad der påvises i målerunde 1. I bilag 9.1 ses samtlige data grafisk præsenteret. Udvalgte af disse grafer er gengivet nedenfor i figur 7.2 og 7.3.

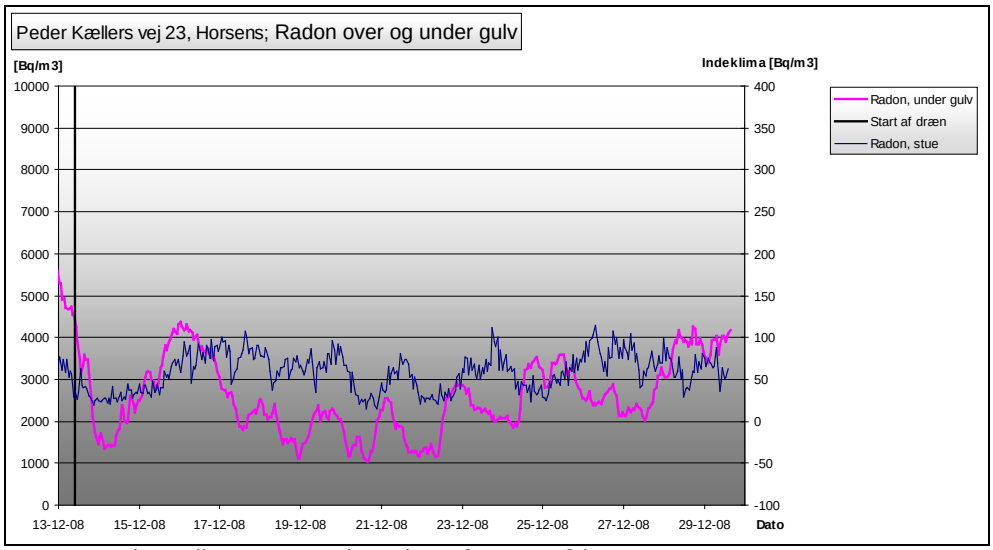
Radonkoncentrationer med/uden ventilation
Under gulv. Efter aktivering af dræn falder radonkoncentrationen i det kapillarbrydende lag, fra gennemsnitlig 5791 Bq/m^3 til gennemsnitlig 2560 Bq/m^3, svarende til en reduktion på 56 %, se figurerne 7.2 og 7.3 herunder. Aktiveringen af drænet har dermed en tydelig effekt på indholdet af radon i målepunktet i det kapillarbrydende lag.

I indeklima. Efter aktivering af dræn falder radonkoncentrationen i stue (foretaget i det nordøstlige hjørne) fra gennemsnitlig 102 Bq/m^3 til gennemsnitlig 59 Bq/m^3, svarende til en reduktion på 42 %. Aktiveringen af drænet har dermed en tydelig effekt på indholdet af radon i stuen.

Resultaterne fra radonmålingerne i målerunden er afbildet på figurerne 7.2 og 7.3 nedenfor og i bilag 9.1.



Figur 7.2: Peder Kællers Vej 23, Målerunde 1, inden start af dræn.



Figur 7.3: Peder Kællers Vej 23, Målerunde 1, efter start af dræn.

Mekanisk ventilation. Peder Kællers Vej 23 har som eneste bolig i delprojektet installeret et mekanisk ventilationsaggregat med varmegenvinding. Aggregatet sørger for, at der sker et kontinuerligt luftskifte, uafhængigt af manuel ventilation som åbning af døre og vinduer. Teoretisk set må det forventes, at radonkoncentrationen i indeklimaet vil være positivt påvirket af denne kontinuerlige ventilering af indeluften /8/, altså at koncentrationen er formindsket i forhold til "normalen". På baggrund af dette må det ligeledes forventes, at effekten af drænet vil være mere signifikant, i de boliger der ikke har installeret mekanisk ventilation.

Radonindholdet i indeklimaet i denne bolig, er dog ikke mærkbart lavere end i de øvrige sammenlignelige boliger, se afsnit 6.5. Årsagen til dette kan ikke umiddelbart forklares. Det skal samtidig bemærkes at boligen fremstår veludluftet fuldt på højde med de øvrige boliger. Der vurderes således ikke at være tale om samtidig dårligere manuel udluftning i boligen i forhold til de øvrige boliger.

7.6.1.1.2 Målerunde 2

Der er i målerunde 2 foretaget måling i perioden som angivet i tabel 7.4. Perioden for, hvornår ventilationen under gulvet har været aktiv, fremgår ligeledes af tabellen.

Der er i målerunde 2 foretaget måling under gulvet i MP3UD og i indeklimaet i det nordøstlige stuehjørne samt sydvestligt bryggershjørne. Placering af de tre målepunkter fremgår af bilag 8.2.

I denne målerunde er valgt at måle under gulvet i bryggerset i det kapillarbrydende lag, hvilket differentierer sig med målerunde 1, hvor målingen fandt sted under gulvet i stuen. Grunden til dette skift er primært, at radonmålinger i indeklimaet i forbindelse med delprojekt 1A påviste, at teknikskabet i boligen kunne udgøre et signifikant indtrængningspunkt, se afsnit 6.5. Det var således ønsket i målerunde 2 at undersøge nærmere, om ventileringen af det kapillarbrydende lag kunne afhjælpe en sådan mulig "ophobning" af radon under gulvet.

I målerunde 2 er endvidere foretaget måling i to målepunkter i indeklimaet, da der på dette tidspunkt ekstraordinært var mulighed for at inddrage to dataloggere.

Huset har været beboet i hele perioden, og en mekanisk rumventilation (Genvex) har været aktiv i hele perioden.

Samlet måleperiode	Ventilation i kapillarbrydende lag
09-10-2009 – 12-11-2009	26-10-2009 – 12-11-2009

Tabel 7.4 Målerunde 2, Peder Kællers Vej 23

Nedenfor gennemgås hvad der påvises i målerunde 2 på Peder Kællers Vej 23. I bilag 9.2 er samtlige data grafisk præsenteret. Udvalgte af disse grafer er gengivet nedenfor i figur 7.4-7.7.

Radonkoncentrationer under gulv og inde (med/uden ventilation)

Under gulv. Efter aktivering af dræn falder radonkoncentrationen i det kapillarbrydende lag, fra gennemsnitlig 7014 Bq/m^3 til gennemsnitlig 3647 Bq/m^3, svarende til en reduktion på 48 % (se bilag 9.2, figur 1 og 2). Aktiveringen af drænet har dermed en tydelig effekt på indholdet af radon i målepunktet i det kapillarbrydende lag.

I indeklima. Efter aktivering af drænene falder radonkoncentrationen i stuen fra gennemsnitlig 124 Bq/m^3 til gennemsnitlig 95 Bq/m^3, altså et fald på 24 %. Aktiveringen af drænet har dermed en tydelig positiv effekt på indholdet af radon i stuen.

Efter aktivering af dræn falder radonkoncentrationen i bryggerset fra gennemsnitlig 152 til gennemsnitlig 101, svarende til en reduktion på 34 %. Aktiveringen af drænet har dermed en positiv effekt på indholdet af radon i bryggerset.

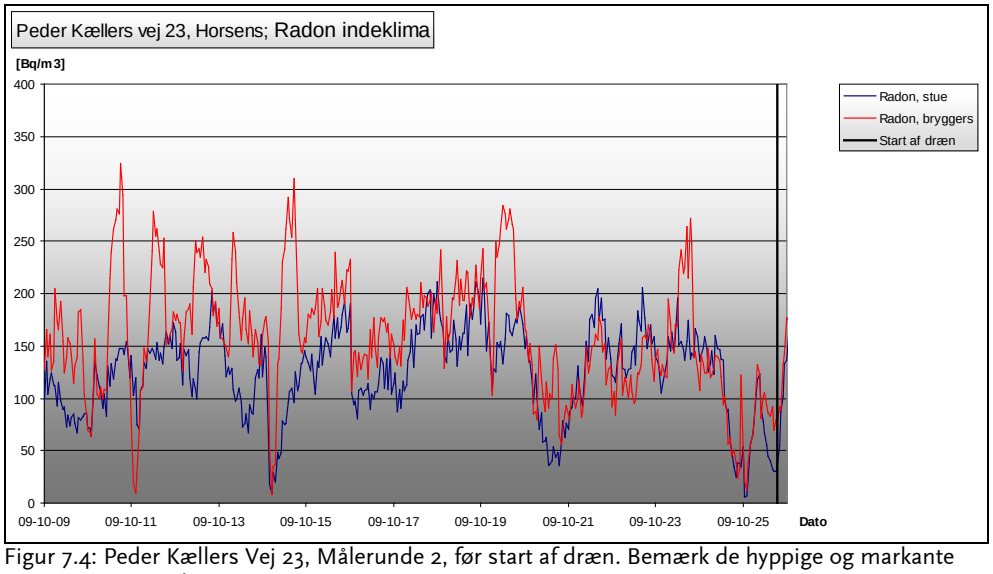
I anden målerunde er faldet i indeklimakoncentrationen knapt så markant som i målerunde 1, primært fordi faldet ikke sker umiddelbart, men snarere som en længerevarende proces, se bilag 9.2.

Sammenhæng mellem de to målepunkter (indeklima)

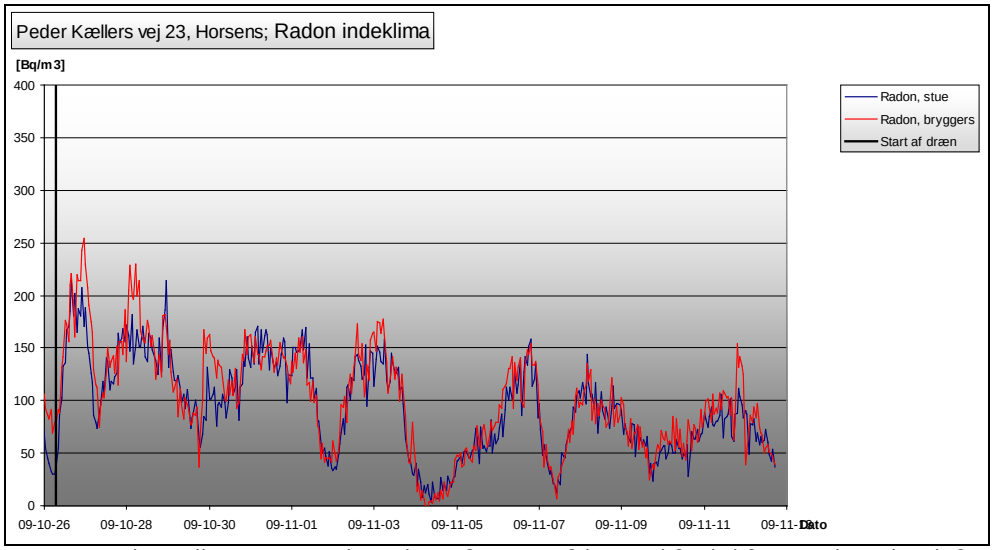
Nedenstående figur 7.4 og 7.5 viser sammenhængen mellem radonkoncentrationen i stuen og i bryggerset (en måling pr. time).

Mere udpræget indtrængning i bryggerset (uden ventilation). Som det kan aflæses af figuren 7.4, ses påfaldende toppe/peaks i koncentrationen i bryggerset, som ikke forekommer i stuen. Det formodes, at disse toppe dannes som følge af markant indtrængning af radon til indeklimaet i bryggerset og måske en efterfølgende spredning til det resterende indeklima. Dette stemmer overens med thoronmålingerne, se afsnit 6.5.2, hvor der netop i dette målepunkt findes forhøjede koncentrationer af thoron og radon.

Ensartet indtrængning (med ventilation). Situationen ændres efter start af dræn, hvor der herefter ikke længere forekommer nogen signifikant forskel i koncentrationen af radon i bryggerset og stuen.



Figur 7.4: Peder Kællers Vej 23, Målerunde 2, før start af dræn. Bemærk de hyppige og markante toppe i niveauet i bryggerset.



Figur 7.5: Peder Kællers Vej 23, Målerunde 2, efter start af dræn. Til forskel fra perioden uden drift af dræn er radonudbredelsen her langt mere uniform.

7.6.1.2 Peder Kællers Vej 31

På lokaliteten Peder Kællers Vej 31 er reduktionen i koncentrationen af radon som følge af ventileringen sammenlignelig med de opnåede resultater på Peder Kællers Vej 23.

Betongulvets tæthed yder i sig selv dæmpning mod radonindtrængning. Ved de gennemførte undersøgelser ses i denne bolig en dæmpningsfaktor på 13-76, se bilag 13.1.

7.6.1.2.1 Målerunde 1

Der er i målerunde 1 foretaget måling i perioden som skitseret af nedenstående tabel 7.5. Perioden for, hvornår ventilationen under gulvet har været aktiv, fremgår ligeledes af tabellen.

Der er i målerunde 1 foretaget måling under gulvet i MP3UD og i indeklimaet i stuen og bryggerset. Den specifikke placering for de to målepunkter fremgår af bilag 8.3.

Huset har været ubeboet i hele perioden, og der har ikke været nogen form for en mekanisk rumventilation i perioden.

Samlet måleperiode	Ventilation i kapillarbrydende lag
05-05-2009 – 28-05-2009	15-05-2009 – 28-05-2009

Tabel 7.5 Målerunde 1, Peder Kællers Vej 31

Nedenfor gennemgås, hvad der påvises i målerunde 1. I bilag 9.3 ses samtlige data grafisk præsenteret. Udvalgte af disse grafer er gengivet nedenfor i figur 7.6 – 7.8.

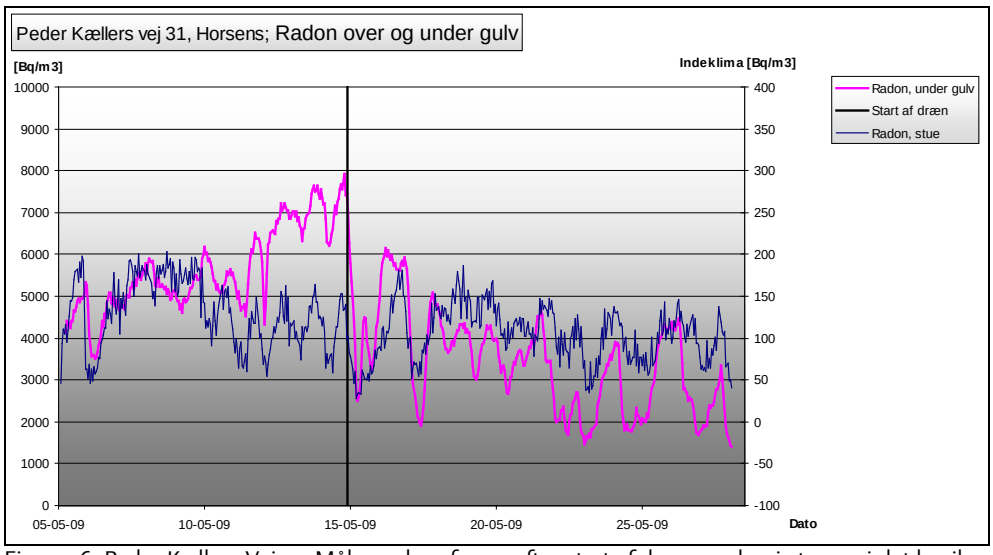
Radonkoncentrationer med/uden ventilation

Under gulv. Koncentrationen i drænet stiger støt gennem den første halvdel i perioden (op til aktiveringen af drænet). Herefter sker et brat fald fra ca. 8000 til ca. 2500 Bq/m^3. Efter aktivering af dræn falder radonkoncentrationen i det kapillarbrydende lag fra gennemsnitlig 5648 Bq/m^3 til gennemsnitlig 3397 Bq/m^3, svarende til en reduktion på 40 % (se bilag 9.3, figur 1, 2 og 9). Aktiveringen af drænet har dermed en positiv effekt på indholdet af radon i målepunktet i det kapillarbrydende lag, se figur 7.6 herunder.

I indeklima. Efter aktivering af dræn falder radonkoncentrationen i bryggerset (målt ved teknikskabet), fra gennemsnitlig 150 Bq/m^3 til gennemsnitlig 120 Bq/m^3, svarende til en reduktion på 20 %. Aktiveringen af drænet har dermed en målbar positiv effekt på indholdet af radon i bryggerset.

Efter aktivering af dræn falder radonkoncentrationen i stuen (målt i midten af rummet), fra gennemsnitlig 131 Bq/m^3 til gennemsnitlig 104 Bq/m^3, altså et fald på 21 %. Aktiveringen af drænet har dermed en positiv effekt på indholdet af radon i stuen, se figur 7.6 herunder.

Aktiveringen af drænet giver anledning til et fald i stue- og bryggerskoncentration af samme procentvise størrelse.

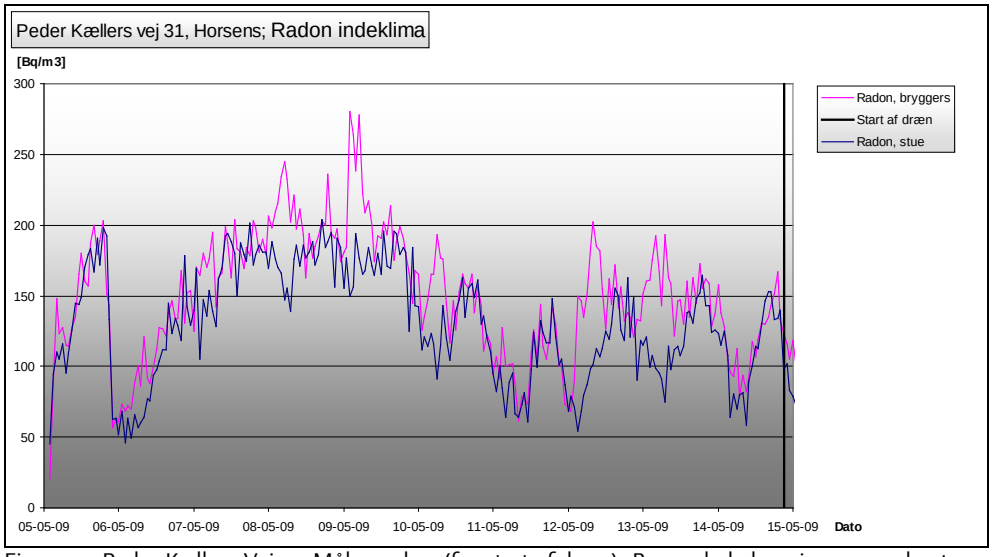


Figur 7.6: Peder Kællers Vej 31, Målerunde 1, før og efter start af dræn - radon i stue og i det kapillarbrydende lag.

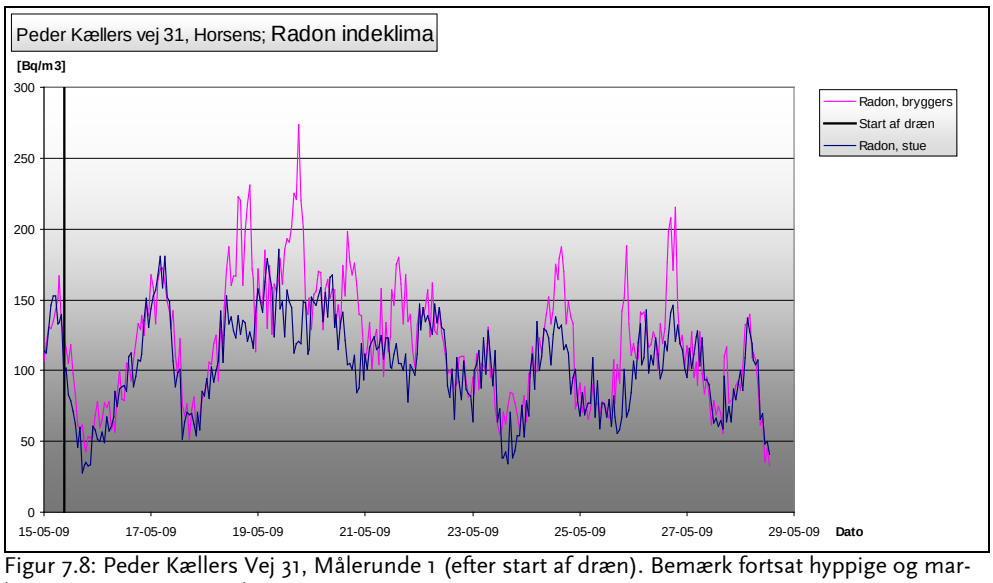
Sammenhæng mellem to målepunkter (indeklima)
Nedenstående figur 7.7 og 7.8 viser sammenhængen mellem radonkoncentrationen i stuen og i bryggerset (en måling pr. time).

Som det ses af figuren 7.7, ses påfaldende toppe/peaks i radonkoncentrationen i bryggerset, som afviger fra koncentrationerne i stuen. Det formodes, at disse toppe dannes som følge af markant indtrængning af radon til indeklimaet i bryggerset og måske en efterfølgende spredning til det resterende indeklima. Dette stemmer overens med thoronmålingerne, se afsnit 6.4.2, hvor der netop i dette målepunkt findes forhøjede koncentrationer af thoron og radon.

Situationen ændres imidlertid ikke efter start af dræn (modsat situationen på Peder Kællers Vej 23). Det forventes, at årsagen til dette er en mere markant indtrængningsvej gennem teknikskabet på Peder Kællers Vej 31 (påvist ved thoronmålinger), som derfor stadig er "aktiv", om end koncentrationen daler med 20 %.



Figur 7.7: Peder Kællers Vej 31, Målerunde 1 (før start af dræn). Bemærk de hyppige og markante toppe i niveauet i bryggerset.



Figur 7.8: Peder Kællers Vej 31, Målerunde 1 (efter start af dræn). Bemærk fortsat hyppige og markante toppe i niveauet i bryggerset.

7.6.1.2.2 Målerunde 2

Der er i målerunde 2 foretaget måling i perioden som skitseret af nedenstående tabel 7.6. Perioden for, hvornår ventilationen under gulvet har været aktiv, fremgår ligeledes af tabellen.

Der er i målerunde 2 foretaget måling under gulvet i MP3UD, i indeklimaet i stuen samt inde i teknikskabet. Den aktuelle placering af de tre målepunkter fremgår af bilag 8.3.

Huset har, modsat første målerunde, været beboet i hele perioden og uden mekanisk rumventilation/varmegenvinding.

Samlet måleperiode	Ventilation i kapillarbrydende lag
12-11-2009 – 06-12-2009	26-11-2009 – 06-12-2009

Tabel 7.6 Målerunde 2, Peder Kællers Vej 31

Nedenfor gennemgås hvad der påvises i målerunde 2. I bilag 9.4 ses samtlige data grafisk præsenteret.

Radonkoncentrationer med/uden ventilation

Under gulv. I anden målerunde (foretaget i november og december måned 2009) er faldet i radonkoncentrationen under gulvet, som følge af aktiveringen af drænet, igen meget markant.

I forbindelse med aktiveringen af drænet falder koncentrationen fra ca. 5500 til 3100 Bq/m^3. Igennem perioden med aktiveret dræn falder koncentrationen svagt, se bilag 9.4.

Efter aktivering af dræn falder radonkoncentrationen i det kapillarbrydende lag fra gennemsnitlig 6419 Bq/m^3 til gennemsnitlig 3060 Bq/m^3, svarende til en reduktion på 52 % (se bilag 9.4, figur 1, 2 og 5). Aktiveringen af drænet har dermed en tydelig effekt på indholdet af radon i målepunktet i det kapillarbrydende lag.

I indeklima. Efter aktivering af dræn falder radonkoncentrationen i bryggerset (målt i teknikskabet) fra gennemsnitlig 504 Bq/m^3 til gennemsnitlig 327 Bq/m^3, svarende til en reduktion på 35 % (se bilag 9.4, figur 2). Aktiveringen

af drænet har dermed en målbar positiv effekt på indholdet af radon i teknikskabet.

Efter aktivering af dræn stiger radonkoncentrationen derimod i stuen, fra gennemsnitlig 85 Bq/m^3 til gennemsnitlig 151 Bq/m^3, altså en stigning på 78 % (se bilag 9.4, figur 1 og 6). Det vides imidlertid ikke om drænet under stuen virker tilfredsstillende. Der er ved begge målerunder på lokaliteten målt i målepunktet MP3UD under gulv, se bilag 8.3, hvor der ses en fortynding af radonkoncentrationen ved aktivt dræn. Om samme tendens gør sig gældende for den resterende del af huset er ikke undersøgt i dette projekt.

Igennem 2. målerunde er der, jf. bilag 9.4, rimelig overensstemmelse mellem radon i indeklimaet og temperaturdifferensen mellem inde og ude. Grundet en mild udetemperatur i november måned er temperaturdifferensen ikke specielt markant, inden ventilationen aktiveres. Udetemperaturen ligger således på gennemsnitligt 12,4 ˚C i første periode i målerunden. Efter aktivering af drænet falder udetemperaturen derimod væsentligt, til gennemsnitligt 7,7 ˚C for denne sidste periode i målerunden. Temperaturfaldet betyder en markant stigning i temperaturdifferensen i sidste halvdel af målerunden og dermed sandsynligvis en øget indstrømning af radon. På baggrund af dette formodes det, at stigningen i temperaturdifferensen er den væsentligste årsag til stigningen i radonkoncentrationen i stuen. Grunden til, at ændringen i temperaturdifferensen ikke medfører en tilsvarende stigning i radonkoncentrationen i teknikskabet, skyldes sandsynligvis, at teknikskabet udgør "et væsentligt indtrængningspunkt" for radon til indeklimaet, jf. afsnit 6.5.2.1, som i forbindelse med drænets aktivering bliver minimeret i "styrke".

Brugsmønster i bolig. Adfærden omkring udluftning i huset på Peder Kællers Vej 31, adskiller sig væsentligt ved sammenligning mellem 1. og 2. målerunde. I 1. målerunde var huset ubeboet, hvilket ikke var tilfældet under 2. målerunde. Menneskelig aktivitet giver anledning til øget luftskifte (bevægelse i indeklima, åbning af døre og vinduer), mens situationen med forholdsvis stillestående luft er væsentligt mere domineret af den ophobning, der finder sted via indtrængning fra undergrunden. Ved de gennemførte målinger påvises dog ingen direkte effekt af det ændrede brugsmønster.

7.6.1.3 Frederiksberg Torv 10

På lokaliteten ses den absolut mest effektive reduktion af radon i det kapillarbrydende lag, når ventilationen igangsættes.

Under ventilation måles under gulvet i begge målerunder radonkoncentrationer på ca. 4 – 5 Bq/m^3. Denne meget lave værdi er målt i samtlige individuelle målepunkter, se plantegning bilag 8.4 og 8.5. Til sammenligning ses en øjeblikkelig effekt, når drænet efterfølgende deaktiveres, med meget varierende radonkoncentrationer i det kapillarbrydende lag. I gennemsnit ligger radonkoncentrationerne i det kapillarbrydende lag ved deaktiverede dræn på hhv. 1058 og 1080 Bq/m^3 for målerunde 1 og 2.

Koncentrationen af radon i indeklimaet er på lokaliteten såvel med som uden ventilation meget lav, hvilket sandsynligvis skyldes, at gulvet er nyrenoveret med indbygget diffusionshæmmende RAC membran. Alt tyder på, at radonforekomsten under gulvet kun svagt bidrager til indeklimaet, evt. suppleret med en spredning gennem kældervæggen. Idet der ikke ses en overensstemmelse mellem radon i indeklimaet og under gulvet, har det for denne lokalitet

ikke været muligt at udregne en dæmpningsfaktor. Spredning via kældervæggen vurderes her at udgøre en væsentlig indtrængningsvej.

I 1. målerunde ses ingen overensstemmelse mellem radon i indeklimaet og under gulvet. I 2. målerunde ses en svag effekt af drænet, idet radonkoncentrationen falder fra gennemsnitligt 20 til 9 Bq/m^3 og herefter ikke er påvirket af større udsving. Grunden til, at man ser en effekt for ventilationen under 2. målerunde, kan muligvis skyldes temperatur- og ventilationsforholdene under perioden.

Endvidere skal det nævnes, at der i 1. målerunde pågik en konstant udluftning i indeklimaet, idet kælderen, hvor målingerne er foretaget, fungerer som vaskekælder. Døre og specielt vinduer stod derfor stort set altid åbne i hele perioden.

I målerunde 2 var vinduerne derimod lukkede, og der ses her en tendens til sammenfaldende stigende radonindeklimakoncentrationer og stigende indeklimatemperatur, se bilag 9.6, men naturligvis spiller et øget luftskifte også en væsentlig rolle her.

Nedenfor er de enkelte målerunder nærmere beskrevet.

7.6.1.3.1 Målerunde 1

Der er i målerunde 1 foretaget måling i perioden som skitseret af nedenstående tabel 7.7. Perioden for, hvornår ventilationen under gulvet har været aktiv, fremgår ligeledes af tabellen.

Der er i målerunde 1 foretaget måling under gulvet i MP103 og i indeklimaet i kælderrum 102 og 103. Placering af de tre målepunkter fremgår af bilag 8.4 og 8.5.

Kælderen (vaskekælderdel) har været ubeboet i hele perioden, og der har ikke pågået nogen mekanisk rumventilation. Derimod har 2 kældervinduer været konstant åbne (ved hvert tilsyn).

Samlet måleperiode	Ventilation i kapillarbrydende lag
17-02-2009 – 13-03-2009	17-02-2009 – 02-03-2009

Tabel 7.7 Målerunde 1, Frederiksberg Torv 10

Nedenfor gennemgås på punktform, hvad der påvises i målerunde 1. I bilag 9.5 ses samtlige data grafisk præsenteret. Udvalgte af disse grafer er gengivet nedenfor i figur 7.13 - 7.15.

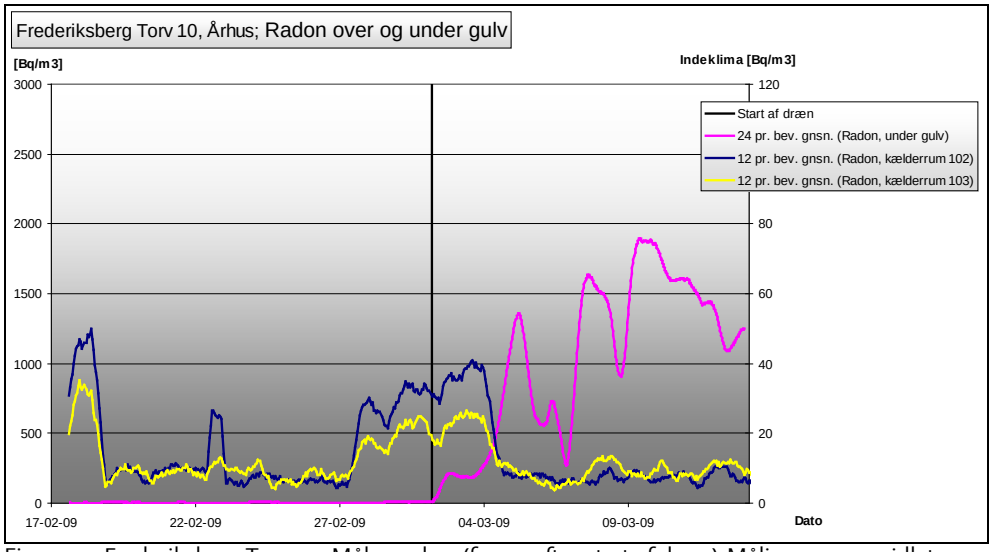
Radonkoncentrationer med/uden ventilation

Under gulv. Efter at drænet stoppes, stiger radonkoncentrationen i det kapillarbrydende lag fra gennemsnitlig 4 Bq/m^3 til gennemsnitlig 1058 Bq/m^3. Drænlaget har dermed en reduktionseffektivitet på 99,6 %, og drænet har dermed en stor positiv effekt på indholdet af radon i målepunktet i det kapillarbrydende lag, se figur 7.9 herunder (se bilag 9.5 figur 1).

I indeklima. Radonkoncentrationen i indeklimaet i vaskekælderen ligger meget lavt, såvel før som efter aktivering af ventilationsdræn, og der kan ikke påvises nogen direkte effekt af at ventilere under gulvet. Det vides ikke om det største bidrag til radonkoncentrationen i indeklimaet sker gennem gulvkonstruktionen eller gennem kældervæggen.

Efter deaktivering af dræn falder radonkoncentrationen gennemsnitligt svagt i vaskekælderen, fra ca. 14,5 Bq/m^3 til ca. 11,5 Bq/m^3 (se bilag 9.5 figur 1). Der påvises således ved de gennemførte målinger faktisk en stigende koncentration på 26 %, når der ventileres under gulvet. Med det meget lave radonniveau i kælderen er det dog samtidig vigtigt at påpege, at en direkte sammenligning vil være behæftet med meget stor usikkerhed, hvorfor dette bør undlades.

På figur 7.9 herunder ses de lave radonkoncentrationerne i indeklimaet (0 – maks. 40 Bq/m^3). Bygningen har for nylig fået installeret ny gulvkonstruktion /16/, og det må på baggrund af de lave indeklimakoncentrationer vurderes, at gulvet er udført tæt mod terræn. Radonkoncentrationen i det kapillarbrydende lag er med de aktive dræn stort lig nul. Af figur 7.9 ses derimod markante radonindhold under gulvet, så snart drænene deaktiveres.



Figur 7.9: Frederiksberg Torv 10, Målerunde 1 (før og efter start af dræn) Målingerne er midlet over 12 timer.

7.6.1.3.2 Målerunde 2

Der er i målerunde 2 foretaget måling i perioden som skitseret af nedenstående tabel 7.8. Perioden for, hvornår ventilationen under gulvet har været aktiv, fremgår ligeledes af tabellen.

Der er i målerunde 2 foretaget måling under gulvet i målepunkt MP105 og i indeklimaet i kælderrum 104. Placering af målepunkter fremgår af bilag 8.4 og 8.5. Årsagen til ændring af målepunkterne var at undersøge, om (1) radonkoncentrationen i det kapillarbrydende lag var uniformt lavt, eller om der forekom variationer ved andre målepunkter, og (2) radonkoncentration i indeklimaet ville være højere i det kælderrum, hvor vand- og varmeinstallationer indføres via rørgennemføringer i væggen.

Kælderen (vaskekælderdel) har været ubeboet i hele perioden, og der har ikke pågået nogen mekanisk rumventilation. Kældervinduer har, i modsætning til målerunde 1, været lukkede.

Samlet måleperiode	Ventilation i kapillarbrydende lag
08-09-2009 – 01-10-2009	23-09-2009 – 01-10-2009

Tabel 7.8 Målerunde 2, Frederiksberg Torv 10

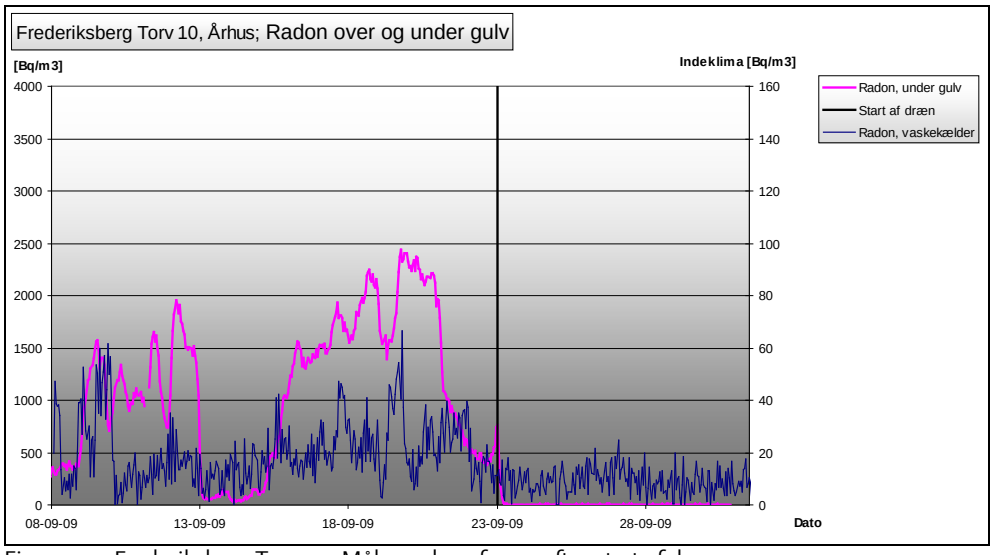
Nedenfor gennemgås i punktform, hvad der påvises i målerunde 1. I bilag 9.6 ses samtlige data grafisk præsenteret. Udvalgte af disse grafer er gengivet nedenfor i figur 7.10.

Radonkoncentrationer med/uden ventilation

Under gulv. Efter aktivering af dræn falder radonkoncentrationen i det kapillarbrydende lag, fra gennemsnitlig 1080 Bq/m^3 til gennemsnitlig 5 Bq/m^3, svarende til en reduktion på 99,5 % (se bilag 9.6 figur 1 og 2). Aktiveringen af drænet har dermed en stor positiv effekt på indholdet af radon i målepunktet i det kapillarbrydende lag, se figur 7.10 herunder.

I indeklima. Efter aktivering af dræn falder radonkoncentrationen i vaskekælderen, fra gennemsnitlig 20 Bq/m^3 til gennemsnitlig 9 Bq/m^3, svarende til en reduktion på 55 %. De meget lave koncentrationer gør dog, at målingen er behæftet med betydelig usikkerhed.

På figur 7.10 herunder ses igen, hvorledes radonkoncentrationerne i indeklimaet generelt er meget lave. Dog kan det aflæses af figuren, at drænet måske alligevel har en effekt og begrænser radonkoncentrationen i indeklimaet i vaskekælderen til et stabilt mindre niveau. Radonkoncentrationen i det kapillarbrydende lag bliver ved aktivering af dræn stort set elimineret.



Figur 7.10: Frederiksberg Torv 10, Målerunde 2, før og efter start af dræn.

7.6.2 Metodeevaluering (radonlogninger)

Der er foretaget radonmålinger med kontinuerlig logning i både indeklima og i præ-installerede målepunkter i det kapillarbrydende lag på i alt tre lokaliteter. Metoden til målingerne er forklaret i afsnit 7.3.1 og har tidligere været benyttet i andre projekter /4/. Med kontinuerlige målinger med logning en gang i timen kan variationer i radonkoncentrationerne følges, og udsving i forbindelse med forskellige forhold kan registreres og sammenlignes med eksterne faktorer.

Måling af radon i indeklimaet skal udføres med omhu og omtanke, idet koncentrationen i indeklimaet kan være styret af enkelte primære indtrængningspunkter for poreluft til indeklimaet. Efter indtrængning gennem et sådant punkt vil radon dispergere til de omkringliggende rum i boligen afhængig af indeluftens bevægelser. Således kan observeres forskelle i radonkoncentrationen i tilstødende rum, og en måling kan derfor medføre et under- eller overestimat af det passive ventilationssystems effekt.

Der kan findes et begrænset antal radonkilder til radon i indeklimaet. Disse er dog som regel ubetydelige og har ingen indflydelse på de målte koncentrationer. Den største bidragyder for radon til indeklimaet er jorden under et hus /1, 2, 8, 9/. Herefter følger et diffusionstillæg fra bygningsmaterialer på < 10 Bq/m^3 /30/. Herudover kan forekomme meget små bidrag til den samlede indendørs koncentration fra eksempelvis granitplader. Overordnet set er der dog her tale om et konstant diffusivt tillæg, som ikke afhænger af eksterne forhold på konstruktionen.

Metoden vurderes at være en ganske simpel og pålidelig måde at måle koncentrationsforhold over og under gulv på.

7.6.3 Temperaturpåvirkninger

Den gennemførte undersøgelse af den temperaturmæssige påvirkning, der sker i gulvet, når der ventileres i det kapillarbrydende lag, er foretaget af SBi og afrapporteret i et selvstændigt notat /14/. Undersøgelserne har bidraget til øget viden om temperaturforholdene i et kapillarbrydende lag.

Resultaterne fra undersøgelsen kan ses i afsnit 7.5.2 og bilag 12.1 og 12.2. En beskrivelse af lokaliteten for undersøgelsen samt målepunkternes placering i det kapillarbrydende lag ses i afsnit 7.2.3 mens en beskrivelse af undersøgelsesmetodikken er præsenteret i afsnit 7.3.3.

Ved temperaturmålinger i indeklima, udendørs og i flere punkter i terrændækket, er der registreret relativt store variationer mellem temperaturerne ved over- og underside af det kapillarbrydende lag. De største temperatursvingninger er målt i det kapillarbrydende lags overside (op til 19,5 °C i februar måned), aftagende i difference med afstand fra luftindtag.

Der kan på baggrund af de gennemførte undersøgelser ikke fastsættes en eksakt og entydig værdi for temperaturen generelt i et ventileret kapillarbrydende lag.
Temperaturen umiddelbart under betonpladen og over den trykfaste isolering, ligger lige under (gennemsnitlig ca. 1 °C) og følger, med en mindre tidsforsinkelse, indetemperaturen, se bilag 12.1. Middeltemperaturen inde er målt til gennemsnitlig 23.6 °C i februar, og gennemsnitstemperaturen for målepunkterne C1 – C3, se figur 7.1 afsnit 7.2.3.1, ligger på 21,3 – 22,4 °C.

Som understøttende dokumentation til undersøgelsen er ventilationsforholdende i det kapillarbrydende lag overvåget. Forholdende er undersøgt ved løbende sporgasmålingerne (PFT) og det dokumenteres her at det kapillarbrydende lag ventileres i hele perioden, se bilag 12.2.

På baggrund af de udførte undersøgelser og den idriftværende ventilation der pågår på lokaliteten (passiv ventilation drevet af vindhætte), kan det ikke påvises at der sker en væsentlig nedkøling af betonpladen.

7.7 Sammenfatning

7.7.1 Effekt af ventilation

Effektiviteten af passiv ventilation i det kapillarbrydende lag er undersøgt i tre boliger og er nærmere omtalt og beskrevet i afsnit 7.5 og 7.6.

Samtlige ventilationsdræn har her været henholdsvis aktiverede og deaktiverede i perioder, hvor der er foretaget kontinuerte logninger af radonindholdet i indeklimaet og under gulv. Måleperioderne for logning har været mellem 3,5 og 5 ugers varighed.

I de undersøgte boliger er der foretaget en samtidig måling i ét punkt under gulv og ét til to punkter i indeklimaet.

Ved de gennemførte undersøgelser påvises reduktioner i indeklimapåvirkningen på mellem 20 og 42 %. I en enkelt målerunde påvises lavere effekt, men målingerne her vurderes ikke at kunne anvendes for en direkte tolkning af mulige effekter, se afsnit 7.6.2.2.

Der påvises endvidere reduktioner i koncentrationen under gulv på mellem 40 og 99,6 %.

Sammenfattende vurderes der opnået tydelige reduktioner i de undersøgte boliger i radonpåvirkningen ved at etablere en ventilation af det kapillarbrydende lag.

Der ses en forskel for radonkoncentrationen i indeklimaet mellem lokaliteterne i Horsens og lokaliteten på Frederiksbjerg Torv 10 i Århus. Indeklimakoncentrationerne i Horsens er i væsentlig grad influeret af variationer i koncentrationen i det kapillarbrydende lag, se afsnit 7.6.1 og bilag 9.1 – 9.4. Dette gør sig imidlertid ikke gældende for indeklimakoncentrationen på lokaliteten i Århus, se afsnit 7.6.2.3. Dette kan muligvis skyldes at der i forbindelse med en renovering af ejendommen på Frederiksberg Torv grundet jordforurening blev ilagt diffusionshæmmende membran ved opbygningen af ny gulvkonstruktion. Hvordan indeklimaets radonkoncentration førhen har opført sig i forhold til koncentrationen under bygningen her, vides ikke.

7.7.1.1 Forskelle i reduktion af radonindhold i drænlag

Jf. afsnit 7.6.1 er der ved undersøgelser på forskellige lokaliteter fundet varierende reduktion af indholdet af radon i de kapillarbrydende lag, når ventilationsdrænet er aktiveret. Den primære årsag til dette er sandsynligvis ikke forskelle i drænlagenes effektivitet, men derimod formentlig lokalitetsspecifikke jordforhold der har indvirkning på radonpotentialet og måleusikkerhed.

Måleusikkerheden knytter sig primært til det forhold at placering af måleenheder varierer i forhold til ventilationsdrænets placering. kan endvidere have betydning for måleresultaterne. Såfremt målepunkterne er placeret nær luftindtag eller –udsugning, kan det øgede luftflow have indvirkning på den i punktet målte radonkoncentration.

Desuden vil der på forskellige lokaliteter være forhold der gør, at flowet af radon fra poreluften til indeklimaet ikke er direkte sammenlignelig .

7.7.1.2 Øvrige observationer ved undersøgelser

I forbindelse med udførelsen af radonmålingerne er der foretaget samtidige målinger af meteorologiske forhold på udvalgte lokaliteter, se afsnit 7.3.2. Disse målinger er kun perifert inddraget i projektet og er primært beskrevet i bilag

9.7 og kun overordnet behandlet i afsnittet for at give en øget forståelse for variationer i radonkoncentrationen over og under et terrændæk. Enkelte stedet, hvor særlige metrologiske forhold har været gældende er data dog inddraget i tolkningen omkring de opnåede effekter.

7.7.2 Temperaturpåvirkning

Den mulige negative temperaturpåvirkning af betondækket, som effekt af at ventilerer i det kapillarbrydende lag, er undersøgt i én bolig og nærmere omtalt i afsnit 7.6.3.

På baggrund af de udførte undersøgelser kan det ikke påvises, at der sker en væsentlig nedkøling af betondækket som følge af ventilationen. Gennemsnitligt påvises 1° C forskel mellem over og underside af betondækket.

8 Referenceliste

/1/ Radon i danske boliger. C. Andersen et al. RISØ, Sundhedsstyrelsen, 2001.

/2/ Handbook on Indoor Radon. A Public Health Perspective. Verdenssundhedsorganisationen WHO, 2009.

/3/ Poreluftprojekt – Styrende parametre for tidslige variationer af indholdet af klorerede opløsningsmidler i sand- og lerjorde. Miljøprojekt nr. 1094, 2006.

/4/ Radon som tracer ved indeklimaundersøgelser. Igangværende Miljøprojekt af Region Midtjylland og NIRAS.

/5/ Thoronmålinger til identifikation af indtrængningsveje fra poreluft til indeklima. Igangværende Miljøprojekt af Region Midtjylland og NIRAS.

/6/ Afværgekatalog – tidlig indsats over for indeklimapåvirkning. Miljøprojekt nr. 750, 2003. Miljøstyrelsen.

/7/ Naturally Occurring Radioactivity in the Nordic Countries – Recommendations. De nordiske strålingsmyndigheder i Danmark, Finland, Island, Norge og Sverige, 2000.

/8/ Radon-95: En undersøgelse af metoder til reduktion af radonkoncentrationen i danske enfamiliehus. C. Andersen et al. RISØ, Sundhedsstyrelsen, 1997.

/9/ Naturlig stråling i danske boliger. K. Ulbak et al. RISØ, SIS, Sundhedsstyrelsen, 1987.

/10/ Metodbeskrivning för mätning av radon i bostäder. N. Hagberg et al. Strålsäkerhetsmyndigheten i samarbejde med Boverket, Socialstyrelsen og SWEDAC, 2005

/11/ RPII measurement protocol for Determination of the Annual Average Radon Gas Concentration in Domestic Dwellings. Radiological Protection Institute of Ireland, 2008

/12/ Radonsikring. Tæthedsprøvning af udvalgte sikringsmetoder. E. Larsen og J. Bryder, Ingeniørhøjskolen i Århus, 2007.

/13/ Radonvariation. Nye målemetoder og feltundersøgelser. C. Aaberg og K. Nordmann, VIA University College, 2006.

/14/ Undersøgelse af passiv ventilation af det kapillarbrydende lag. Videncenter for Jordforurening, Teknik og Administration, 2007.

/15/ Håndbog – Byggetekniske foranstaltninger i forbindelse med byggeri på forurenede lokaliteter. Miljøprojekt nr. 1147, 2007.

/16/ Frederiksbjerg Torv 10, Århus. Afværgeforanstaltninger. Afgravning af forurenet jord samt passiv ventilation af det kapillarbrydende lag. Dokumentationsrapport. Region Midtjylland og NIRAS, juni 2009.

/17/ 441-00010: Tidligere renseri. Odensevej 14, Langeskov. Detailprojekt. NIRAS for Region Syddanmark, april 2009.

/18/ Prøvningsrapport. Temperaturforholdene i et terrændæk med et passivt ventileret kapillarbrydende lag. Statens Byggeforskningsinstitut SBI, 2010.

/19/ Vejledning om: Radon og nybyggeri. Bygge- og Boligstyrelsen, 2. udgave, 1993.

/20/ Radon kan kanskje føre til multippel sklerose. Maj 2004, Aftenbladet.no.

/21/ Indoor radon and childhood leukaemia. O. Raaschou-Nielsen, Kræftens Bekæmpelse, 2008.

/22/ 755.000 danskere får for meget radioaktiv gas. Oktober 2009, Ingeniøren.

/23/ Radon i danske boliger: Mekanismer, modellering, reduktion og kortlægning. C. Andersen, RISØ, 2003.

/24/ The effect of meteorological parameters on radon concentration in borehole air and water. I Smetanová et al. Ungarn 2009.

/25/ Radon Transport in Autoclaved Aerated Concrete. M. van der Pal, Technische Universiteit Eindhoved, Holland, 2003.

/26/ SBi 2008:12, Radonkoncentrationen i nye enfamiliehuse. R. Jensen og L. Gunnarsen, Statens Byggeforskningsinstitut, 2008.

/27/ Indicative Atlas of Radon in England and Wales. J. Miles et al, British Geological Survey & British Health Protection Agency, oktober 2007.

/28/ Jupiter databasen, Danmark Geologiske og Hydrogeologiske database.
http://www.geus.dk/jupiter/index-dk.htm

/29/ Radonmålinger som tracer. J. B. Petersen, VIA University College, Horsens, 2009.

/30/ Radon-222 Exhalation from Danish Building Materials: H+H Industri A/S results. C. Andersen, RISØ, 1999.

/31/ Metoder til sporing af konvektive indtrængningsveje fra poreluft til indeklima. Igangværende Miljøprojekt af Region Midtjylland og NIRAS.

/32/ SBi anvisning 232: Radon – kilder og måling, 1. udgave 2011.

/33/ SBi anvisning 233: Radonsikring af nye bygninger, 1. udgave 2011.

BILAGSFORTEGNELSE:

BILAG 1: **Oversigtsplaner**
BILAG 1.1: Overordnet situationsplan, Peder Kællers vej
BILAG 1.2: Geotekniske boringer, Peder Kællers vej.
BILAG 1.3: Plantegning 123,7 m², Peder Kællers vej, stor hustype.
BILAG 1.4: Plantegning 99,6 m², Peder Kællers vej, lille hustype.

BILAG 2: **Foranstaltninger mod radonindtrængning**
BILAG 2.1: Situationsplan med hustyper, Peder Kællers vej.

BILAG 3: **Fotodokumentation (delprojekt 1)**
BILAG 3.1: Hustype 1.
BILAG 3.2: Hustype 2.
BILAG 3.3: Hustype 3.
BILAG 3.4: Hustype 4.
BILAG 3.5: Hustype 5.

BILAG 4: **Produktblade (delprojekt 1)**
BILAG 4.1: Vådrumsmembran, Weber Superflex D 2
BILAG 4.2: Icopal radonmembran RMB 400
BILAG 4.3: Rotek SupaVent vindhætte
BILAG 4.4: Icopal murfolie RG

BILAG 5: **Radonindeklimamålinger (delprojekt 1a)**
BILAG 5.1: Radon i boliger, målerunde 1.
BILAG 5.2: Radon i boliger, målerunde 2.
BILAG 5.3: Radon i boliger, målerunde 3.
BILAG 5.4: Radon i boliger, samlet gennemsnit.

BILAG 6: **Lækagesporingsmålinger (delprojekt 1a)**
BILAG 6.1: Thoron målepunkter, lille hustype (99,6 m²).
BILAG 6.2: Thoron målepunkter, stor hustype (123,7 m²).
BILAG 6.3: Thoronmålinger, hustype 1.
BILAG 6.4: Thoronmålinger, hustype 2.
BILAG 6.5: Thoronmålinger, hustype 3.
BILAG 6.6: Thoronmålinger, hustype 4.
BILAG 6.7: Thoronmålinger, hustype 5.
BILAG 6.8: Thoronmålinger, tabeloversigt.
BILAG 6.9: Thoronmålinger, samlet oversigt.
BILAG 6.10: Thoron; målepunkter og grafer.

BILAG 7: **PFT-sporgasmålinger**
BILAG 7.1: PFT-sporgasmålinger.
BILAG 7.1: PFT-sporgasmålinger, Næstved og Horsens.

BILAG 8: **Passive ventilationsdræn i det kapillarbrydende lag**
BILAG 8.1: SAB, indbygning af ventilationsdræn i gulvkonstruktion.
BILAG 8.2: Plantegning, Peder Kællers vej 23.
BILAG 8.3: Plantegning, Peder Kællers vej 31.
BILAG 8.4: Plantegning 1, Frederiksbjerg Torv 10.
BILAG 8.5: Plantegning 2, Frederiksbjerg Torv 10.
BILAG 8.6: Plantegning, Odensevej 14.

BILAG 9: **Radonmålinger (delprojekt 1b)**
BILAG 9.1: Målerunde 1, Peder Kællers vej 23.
BILAG 9.2: Målerunde 2, Peder Kællers vej 23.
BILAG 9.3: Målerunde 1, Peder Kællers vej 31.
BILAG 9.4: Målerunde 2, Peder Kællers vej 31.
BILAG 9.5: Målerunde 1, Frederiksbjerg Torv 10.
BILAG 9.6: Målerunde 2, Frederiksbjerg Torv 10.
BILAG 9.7: Meteorologiske undersøgelser, delprojekt 1b.

BILAG 10: **Laboratorieforsøg (delprojekt 2)**
BILAG 10.1: Billeder fra udførelsen af forsøgsemner og laboratorietests.

BILAG 11: **Radonpotentiale (delprojekt 3)**
BILAG 11.1: Radon i jord, korrigeret DOSEman.
BILAG 11.2: Radon i jord, ikke korrigeret DOSEman.
BILAG 11.3: Radon i jord, Markus 10.
BILAG 11.4: Geologiske snit, plantegning.
BILAG 11.5: Geologiske snit, snit 4
BILAG 11.6: Geologiske snit, snit 6

BILAG 12: **Temperaturmålinger i ventileret terrændæk**
BILAG 12.1: Temperaturmålinger, Odensevej 14.
BILAG 12.1: PFT-sporgasmålinger, Odensevej 14.

BILAG 12: **Dæmpnignsfaktorer**
BILAG 13.1: Dæmpningsfaktorer, Peder Kællers vej 23 og 31.

Bilag 1

Oversigtsplaner

Bilag 1.1

Overordnet situationsplan,
Peder Kællers vej

EKSIST. BOLIGER

STI

FÆLLESHUS

PEDER KÆLLERSVEJ

HØJVANGSALLE

GRØNT OMRÅDE

GK 40,55
GK 40,80
GK 40,75
GK 40,85
GK 40,95
GK 41,35
GK 41,65
GK 42,00
GK 41,90
GK 41,60
GK 41,30
GK 42,25
GK 43,80
GK 42,88
GK 42,43
GK 42,10
GK 41,95
GK 42,20
GK 42,35
GK 42,68
GK 44,05
GK 43,13

X 40,65
X 40,70
X 40,89
X 41,05
X 41,26
X 41,45
X 41,75
X 43,00
X 42,20

39m
40m
41m
42m
43m

Højdekurver eks. terræn

Angiver placering af carporte / redskabsrum

0 15 30 m

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

Bilag 1.1

Peder Kællersvej

Overordnet situationsplan

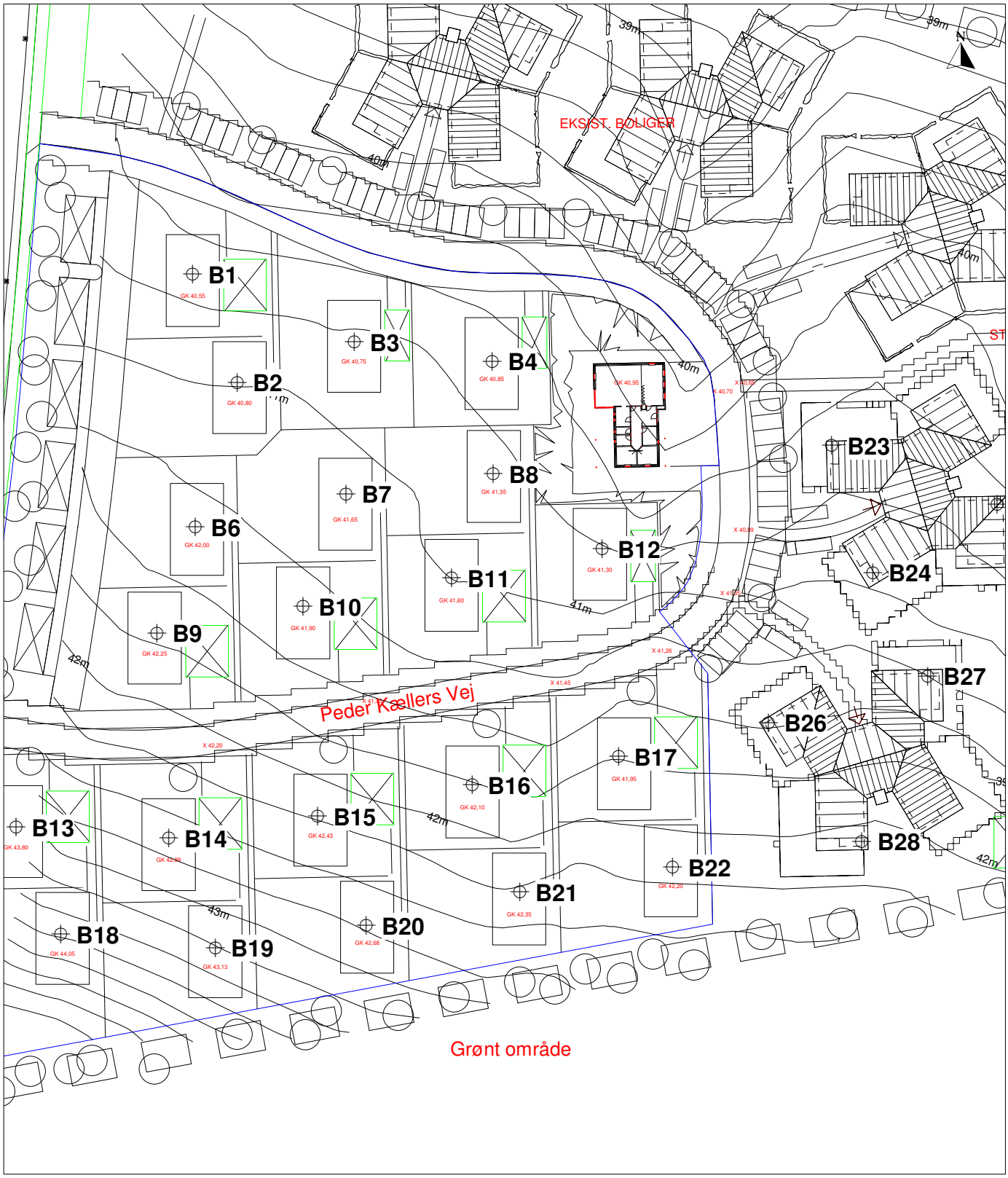
September 2010 1:750 Sag nr. 08.262.00

NIRAS

O:\SAG\08\262.00\TEGN\B1.4–200910.dwg

Bilag 1.2

Geotekniske boringer,
Peder Kællers vej



Signaturforklaring

⊕ Geoteknisk boring

Bilag 1.2
Geotekniske boringer

Radonsikring

Sag nr.: 08.262.00

Målestok 1:1000

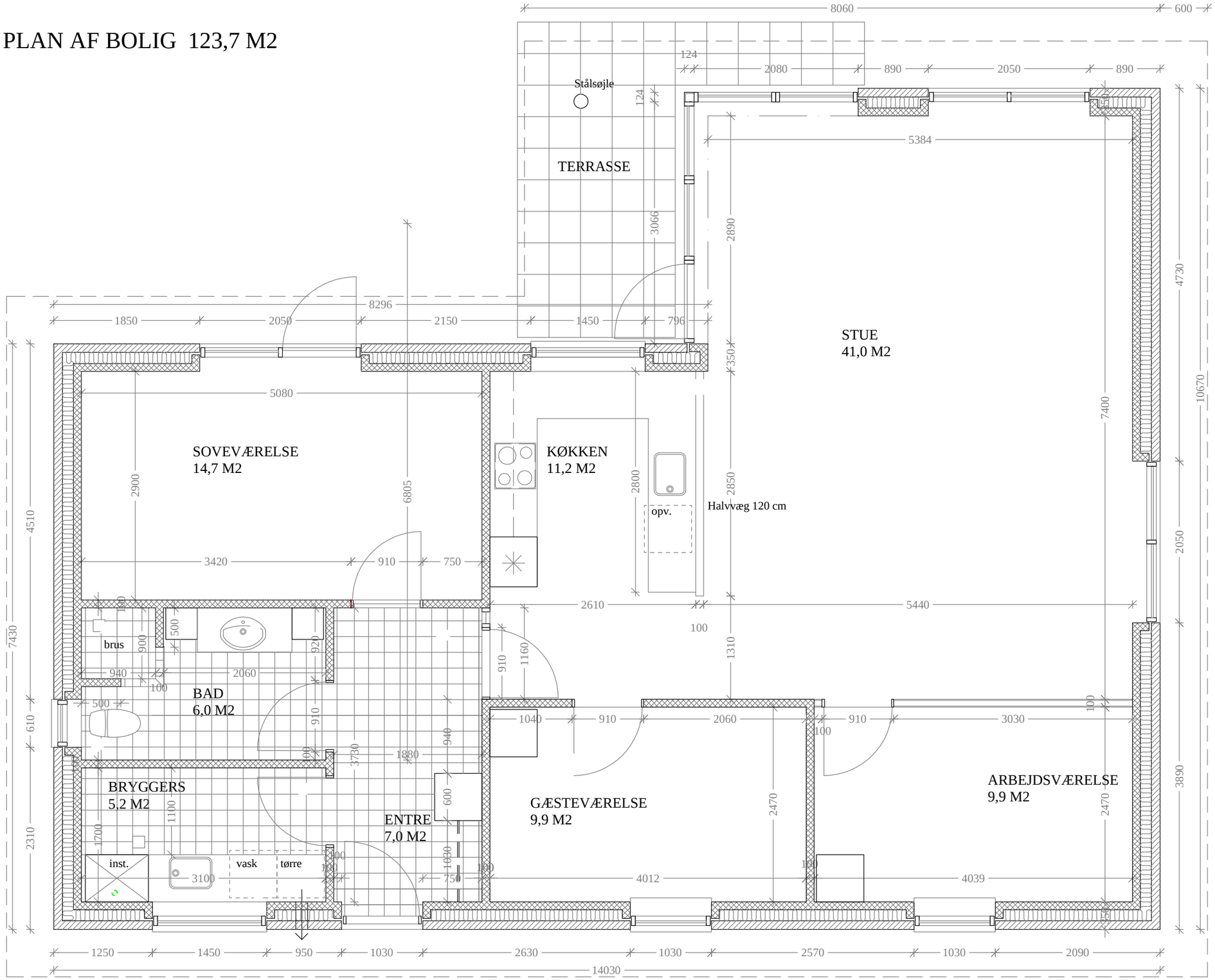
2010

NIRAS

Bilag 1.3

Plantegning 123,7 m^2, stor hustype
Peder Kællers vej

PLAN AF BOLIG 123,7 M2



0 1 2 m

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

Bilag 1.3

Plantegning 123,7 m2, Peder Kællersvej

Stor hustype - Situationsplan

September 2010 1:50 Sag nr. 08.262.00

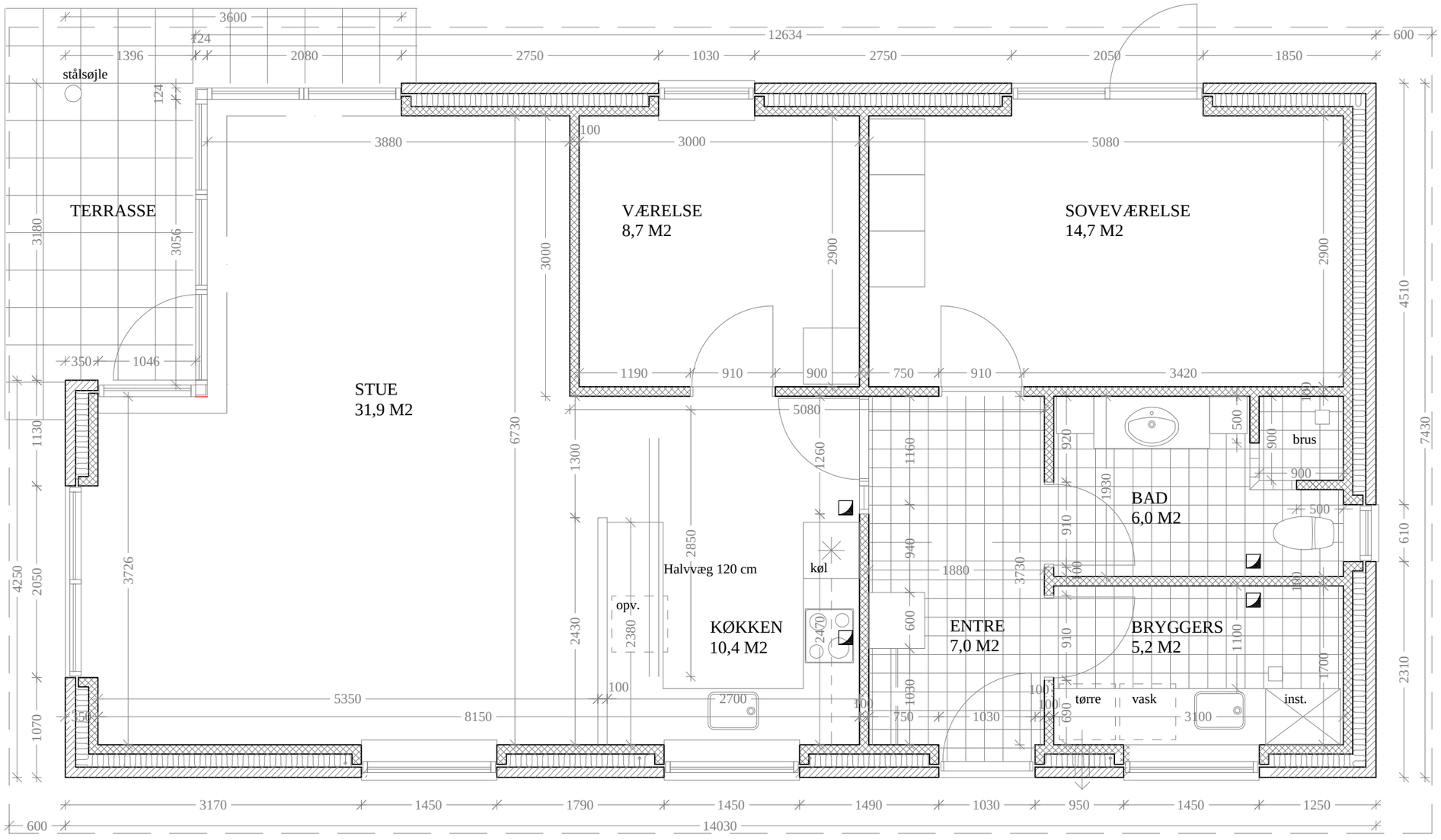
NIRAS

O:\SAG\08\262.00\TEGN\B1.3-200910.dwg

Bilag 1.4

Plantegning 99,6 m², lille hustype
Peder Kællers vej

PLAN AF BOLIG 99,6 m2



0 1 2m

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

Bilag 1.4

Plantegning 99,6 m2, Peder Kællersvej

Lille hustype - Situationsplan

September 2010 1:50 Sag nr. 08.262.00

NIRAS

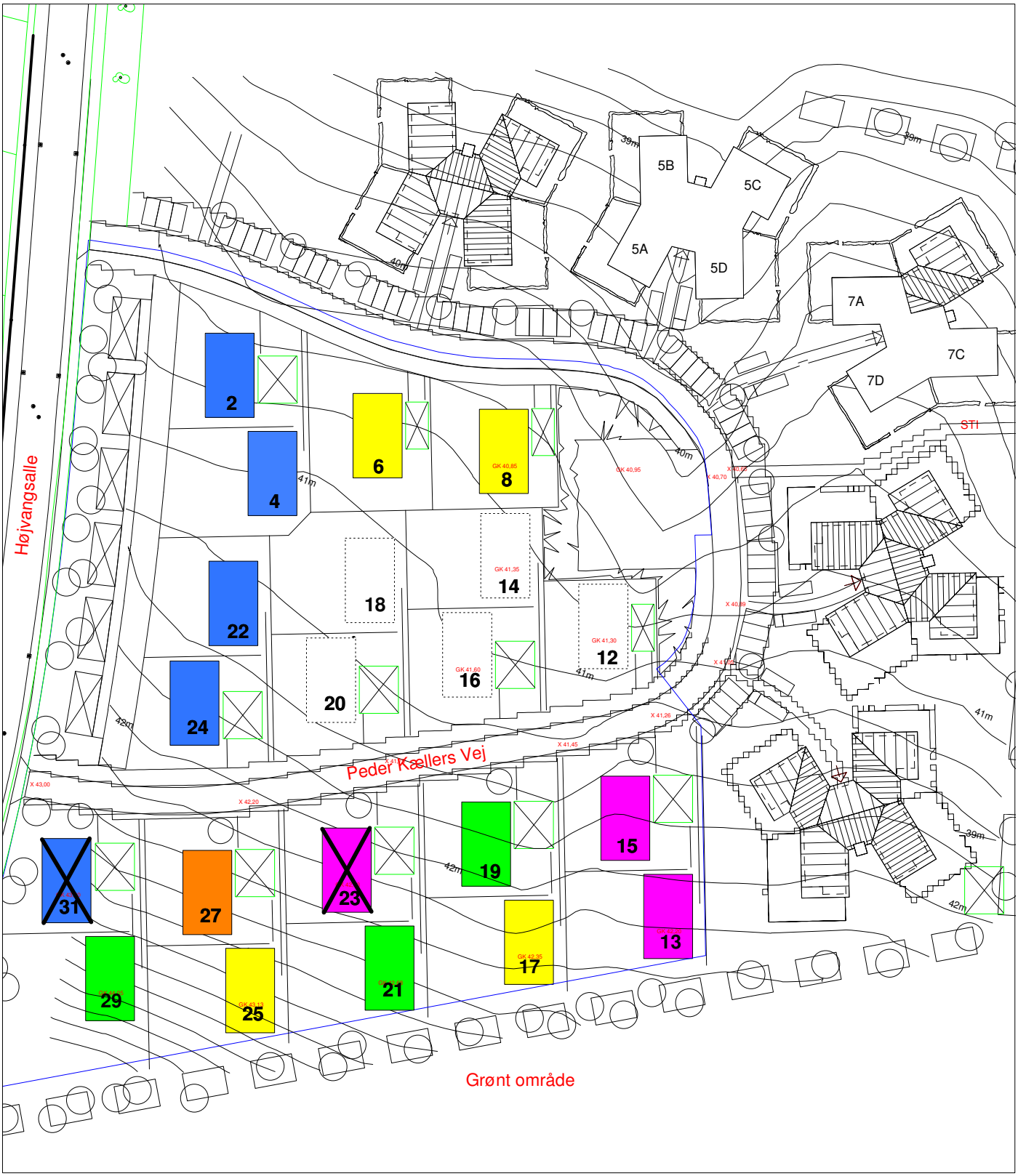
O:\SAG\08\262.00\TEGN\B1.4-200910.dwg

Bilag 2

Foranstaltninger mod radonindtrængning

Bilag 2.1

Situationsplan med hustyper,
Peder Kællers vej



SIGNATURER:

- Fuldmembran, tæt rørgennemføring (hustype 1)
- Kantmembran under beton, tæt rørgennemføring (hustype 2)
- Kantmembran over beton, tæt rørgennemføring (hustype 3)
- Kantmembran under beton, almindelig rørgennemføring (hustype 4)
- Kantmembran over beton, almindelig rørgennemføring (hustype 5)

- Ventilationsdræn i det kapilarbrydende lag
- 2 — Husnr. 2-24 og 13-31
- Ikke opførte huse

Bilag 2.1
Oversigtskort

Kuben/BoligfondenKuben

Hustyper, beliggenhed

1:1.000

Sag nr.: 08.262.00

Oktober 2010

NIRAS

Bilag 3

Fotodokumentation,
Delprojekt 1

Bilag 3.1

Fotodokumentation
Hustype 1

Fuldmembran, tæt rørgennemføring

Hustype 1 (nr. 27)

Sporgas udlagt i stue (rød).

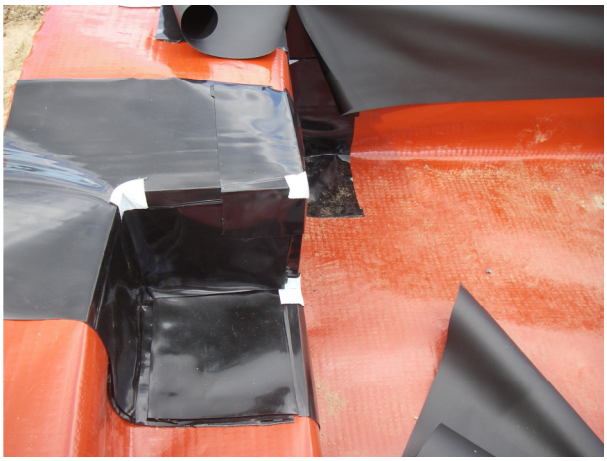
Sporgas udlagt i teknikrum (gul).

Tætning af kanter

Rørgennemføring

Fuldmembran, tæt rørgennemføring

Hustype 1



Tætning af kanter

Tætning af kanter

Tætning af kanter

Tætning af membran ved rørgennemføring

Markering af sporgas under membran

Bilag 3.2

Fotodokumentation
Hustype 2

Kantmembran under beton, tæt rørgennemføring

Hustype 2 (13, 15, 23)

Hus nr. 13

Hus nr. 13

Hus nr. 13

Hus nr. 13

Kantmembran under beton, tæt rørgennemføring

Hustype 2 (13, 15, 23)

Hus nr. 13

Hus nr. 23

Hus nr. 23

Nr. 23 Sporgas udlagt (gul i teknikrum, rød i stue).
Ventilationsdræn i kapillarbrydende lag.

Nr. 15 Sporgas udlagt (gul i teknikrum, rød i stue).

Nr. 13 Gulvvarme i hele huset (ikke bryggers).

Bilag 3.3

Fotodokumentation
Hustype 3

Kantmembran over beton, tæt rørgennemføring

Hustype 3 (nr. 19, 21, 29)

Nr. 19, sporgas udlagt i stue (rød)

Nr. 19, sporgas udlagt i stue (rød)

Nr. 19, sporgas udlagt i bryggers (gul)

Nr. 19, sporgas udlagt i bryggers (gul)

Nr. 21, sporgas udlagt i stue (rød)

Nr. 21, sporgas udlagt i bryggers (gul)

Kantmembran over beton, tæt rørgennemføring

Hustype 3 (nr. 19, 21, 29)

Nr. 29

Nr. 29

Nr. 29

Nr. 19 Sporgas udlagt (gul i teknikrum, rød i stue).

Nr. 21 Sporgas udlagt (gul i teknikrum, rød i stue).

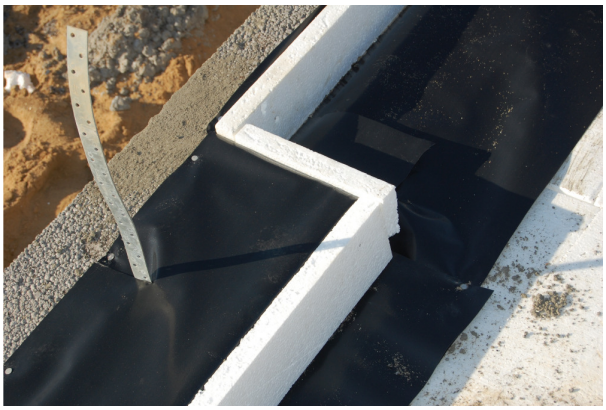
Nr. 29 Entreprenøren har glemt at udlægge kantmembranen inden vægelementerne er placeret, derfor ingen radonsikring i huset. Gulvvarme i hele huset (ikke bryggers).

Bilag 3.4

Fotodokumentation
Hustype 4

Kantmembran under beton, almindelig rørgennemføring

Hustype 4 (nr. 6, 8, 17, 25)



Hus nr. 6

Hus nr. 6

Hus nr. 6

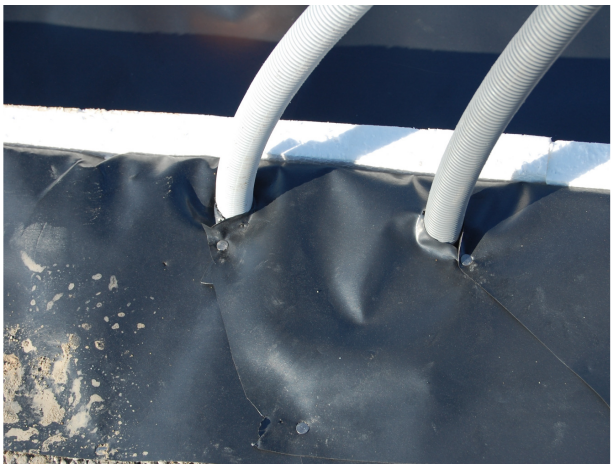
Hus nr. 6

Hus nr. 6

Hus nr. 6

Kantmembran under beton, almindelig rørgennemføring

Hustype 4 (nr. 6, 8, 17, 25)

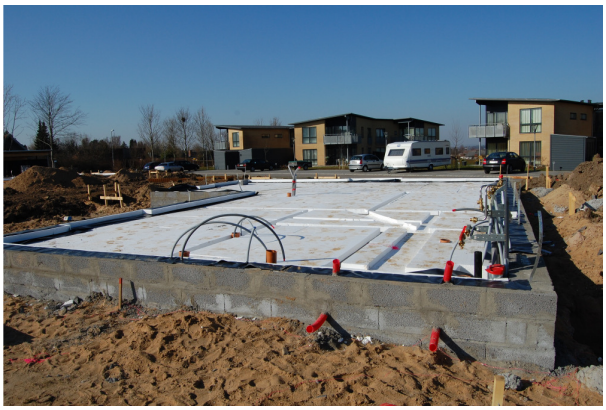


Hus nr. 8

Hus nr. 8

Hus nr. 8

Hus nr. 8



Hus nr. 8

Hus nr. 8

Kantmembran under beton, almindelig rørgennemføring

Hustype 4 (nr. 6, 8, 17, 25)

Hus nr. 8

Hus nr. 8

Hus nr. 17

Hus nr. 17

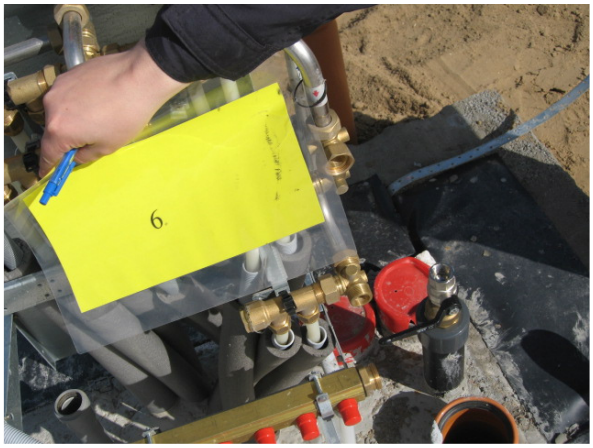
Hus nr. 17

Hus nr. 8

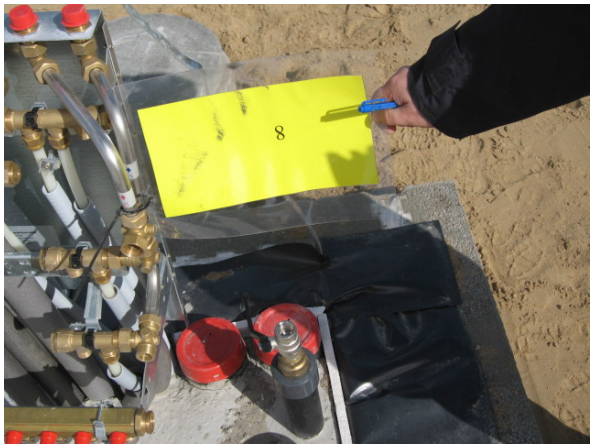
Kantmembran under beton, almindelig rørgennemføring

Hustype 4 (nr. 6, 8, 17, 25)

Nr. 6



Nr. 8



Nr. 8

Hus nr. 25

Hus nr. 25

Hus nr. 25

Kantmembran under beton, almindelig rørgennemføring

Hustype 4 (nr. 6, 8, 17, 25)

Hus nr. 25

Hus nr. 25

Hus nr. 25

Hus nr. 25

Hus nr. 25

Hus nr. 25

Nr. 6 Gulvvarme i huset (ikke bryggers), radiator i soveværelse og værelse mod køkken.
Nr. 8 Gulvvarme i huset (ikke bryggers), radiator i soveværelse.
Nr. 17 Sporgas udlagt (boret ind), (gul i teknikrum, rød i stue). Gulvvarme i hele huset (en streng i bryggers).
Nr. 25 Gulvvarme i hele huset (ikke bryggers).

Bilag 3.5

Fotodokumentation
Hustype 5

Kantmembran over beton, almindelig rørgennemføring

Hustype 5 (nr. 2, 4, 22, 24, 31)

Nr. 2

Nr. 2

Nr. 2

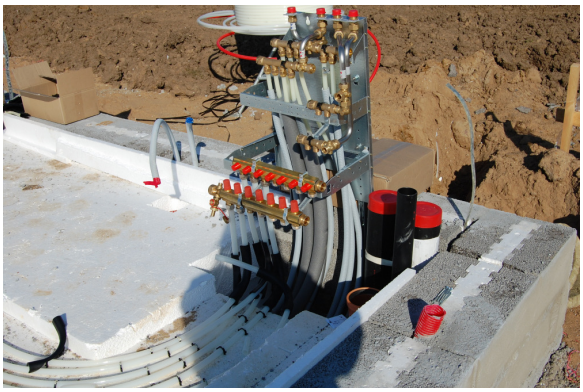
Nr. 2

Nr. 2

Nr. 4

Kantmembran over beton, almindelig rørgennemføring

Hustype 5 (nr. 2, 4, 22, 24, 31)



Nr. 4

Nr. 4

Nr. 22

Nr. 24

Nr. 22

Nr. 22

Kantmembran over beton, almindelig rørgennemføring

Hustype 5 (nr. 2, 4, 22, 24, 31)

Nr. 31

Nr. 31

Nr. 31

Nr. 31

Nr. 31

Nr. 31

Kantmembran over beton, almindelig rørgennemføring

Hustype 5 (nr. 2, 4, 22, 24, 31)

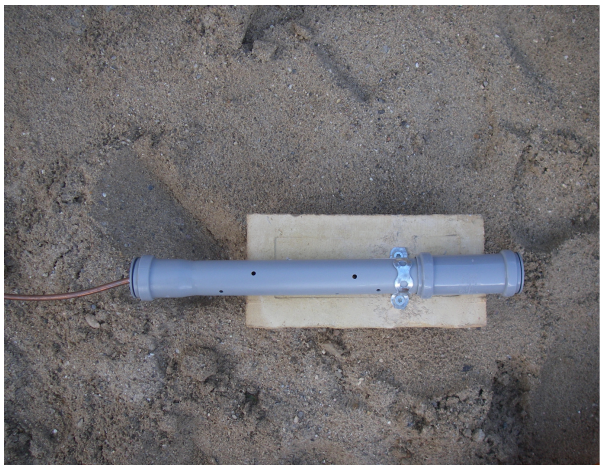
Nr. 31

Nr. 31

Nr. 31

Nr. 31

Nr. 31



Nr. 31

Kantmembran over beton, almindelig rørgennemføring

Hustype 5 (nr. 2, 4, 22, 24, 31)

Nr. 31

Nr. 31

Nr. 31

Nr. 31

Nr. 31

Nr. 31

Kantmembran over beton, almindelig rørgennemføring

Hustype 5 (nr. 2, 4, 22, 24, 31)

Nr. 31

Nr. 31

Nr. 31

Nr. 31

Nr. 2 Gulvvarme i hele huset (ikke bryggers).
Nr. 4 Gulvvarme i hele huset (ikke bryggers).
Nr. 22 Sporgas udlagt (boret ind), (gul i teknikrum, rød i stue).
Gulvvarme i huset (ikke bryggers), radiator i soveværelse og værelse mod køkken.
Nr. 24 Gulvvarme i hele huset (ikke bryggers).
Nr. 31 Ventilationsdræn i kapillarbrydende lag. Sporgas udlagt (gul i teknikrum, rød i stue). Lille hustype.

Bilag 4

Produktblade,
Delprojekt 1

Bilag 4.1

Produktblad,
Vådrumsmembran Weber Superflex D2

weber.tec Superflex D 2 (Superflex D 2)

2-komponent højfleksibel svummemørtel

Anvendelsesområde

weber.tec Superflex D 2 anvendes til fleksibel og revneoverbyggende tætning af bygninger ind- og udvendigt som f.eks. kælderydervægge og fundamenter ved jordfugt, kortvarigt og konstant vandtryk (med nedsækningsdybde = 3 m), vandtanke og som tætning under fliser.

Produktet anvendes desuden i kombination med keramiske belægninger og er velegnet til væg- og gulvflader i fugtige og våde rum, til svømmebassiner samt til efterfølgende tætning indvendigt.
weber.tec Superflex D 2 er også velegnet til renovering af ældre bygninger, vandtanke indtil 15 m vandsøjle (indvendig tætning), tætning og klæbelag under keramiske belægninger, til udbygning af horisontalspærrer samt klæbelag på eksisterende bitumenbelægninger.

Produktbeskrivelse

weber.tec Superflex D 2 er en højfleksibel, hydraulisk hurtigt afbindende svummemørtel på ny bindemiddelteknologi. Produktet har nogle særlige fordele. Det er hurtigt afbindende og kan ved 23 °C og 50 % relativ luftfugtighed efterbehandles efter 90 minutter samt betrædes og belægges efter 4 timer.

weber.tec Superflex D 2 er særdeles let at bearbejde. Den hærder uden egenspænding og uden revner, selv ved vind- og UV-belast- ning og hæfter godt på både tørt og let fugtigt underlag (ikke vådt). Desuden er weber.tec Superflex D 2 vandtæt også ved vandtryk, revneoverbyggende op til 1 mm (selv ved lave temperaturer), er frost- og ældnings bestandig og kræver ingen efterbehandling. Kan ved anvendelse af (fliseklæb) weber.xerm 858 (Deitermann KM Flex), weber. xerm 860 F (Deitermann KMH Flex + Fix) eller weber.xerm 853 F

Basis/art

- Cement
- Udvalgt kvartssand
- Højreaktive polymerer
- Reaktive tilsætningsstoffer og additiver

Opløsningsmidler

- Ingen

Underlag

- Murværk og beton

Farve

- Grå

Blandingsforhold vægtmæssigt

- 1:1 vægtdel

Påføringsmåde

- Svummekost, stålbræt, rulle og sprøjteanlæg (mindst 2 behandl.)

Luft- og emnetemperatur ved bearbejdning

- Fra + 3 °C til + 30 °C

Gennemtørrings-/bearbejd-ningstid

- Efter maks. 24 timer, uafhængigt af vejr og underlag (også ved 5 ° C og 95 % relativ luftfugtighed)
- Ved 23 °C og 50 % relativ luftfugtighed kan overfladen belægges og er trædefast efter ca. 4 timer
- Ved 23 °C er bearbejdsnings-tiden ca. 45 minutter

Masse (færdigmørtel)

- Ca. 1,07 kg/dm³

Forbrug

(Deitermann KM Flex + Fix) også belægges med fliser og klinker.

Forarbejde

Underlag
Underlaget skal være rent og frit for olie, fedt, støv og løse dele samt være fast og matfugtigt. Vandafvisende rester f.eks. formolie/curing og farver skal fjernes. Underlaget forvandes til det er matfugtigt (hellere for tørt end for vådt). Stærkt sugende underlag skal primes med weber.prim 801 (Eurolan TG 2). Ved ekstremt sugende underlag fortyndes weber.prim 801 (Eurolan TG 2) med vand i forholdet 1:1.

Egnet underlag er beton-, slidlags- og murværksflader med finporede overflader. Grovporede underlag (f.eks. porede letbetonsten) skal forinden lukkes med en skrabespartling med weber.tec Superflex D 2.

- Se skema

Rengøring

- Vand (i våd tilstand)

Emballage

- 20 kg kombispand
- 15 kg Komp. A (flydende i spand)
- 15 kg Komp. B (pulver i sæk)

Opbevaring

- Tørt og frostfrit, kan da opbevares i maks. 6 måneder i uåbnet emballage

weber.tec Superflex D 2 må ikke bearbejdes på frosne underlag samt ved frost eller høj varme (temperatur over 30 °C i underlaget) eller i direkte sol. Det våde tætningslag skal beskyttes i 4 timer mod frost og regn. weber.tec Superflex D 2 har en god egenstyrke og kan belægges efter ca. 4 timer med beskyttelseslag, plader eller fliser. Ved efterbehandlingen af svummemørtlen med puds påføres udkastet weber.san 851 S (Deitermann AS Fix) eller weber.san 850 (Deitermann AS) vådt i vådt i det tredje lag weber.tec Superflex D 2 i fuld flade. Ved belægning med keramiske belægninger (fliser) skal weber.xerm 858 (Deitermann KM Flex), weber.xerm 860 F (Deitermann KMH Flex + Fix), weber.KM Flex more (Deitermann KM Flex More) eller weber.xerm853 F
(Deitermann KM Flex + Fix) bruges som klæbemiddel.

Blanding
Komponenterne A og B blandes i vægtforholdet 1:1. De skal blandes, til en lind og klumpfri konsistens er opnået. Til at blande produktet anvendes en boremaskine med maks. 800 omdrejninger/min med påsat Deitermann Omrører nr. 2. Blandetiden er ca. 2-3 minutter, og produktet er herefter klar til bearbejdning, som kan ske efter svummemetoden.

Påføring
weber.tec Superflex D 2 påføres i 2-3 arbejdsgange, hver gang fuldt dækkende (materialepåføring ca. 1,25 kg/m2 pr. mm lagtykkelse). Belægningen skal på hvert sted have en mindste total lagtykkelse, der svarer til den forventede vandbelastning pr. arbejdsgang/påføring (se skema). Ved konstant vandtryk skal der for jernbetonunderlag foreligge dokumentation for revnebreddebegrænsning iht. DIN 1045 med en beregnet revnebredde WCal = 0,25 mm. Maks. nedsænkningsdybde 3 m (vandtanke indtil 15 m vandsøjle).Ved maskinel bearbejdning (sprøjtemaskine) bør denne ske iht. de tekniske specifikationer.

Skrabe- og fyldespartling
Skrabe- og fyldspartling
Til skrabe- og fyldspartling kan
weber.tec Superflex D 2 blandes med ovntørret kvartssand (0,1-1,5 mm) i vægtforholdet (2 rumdele weber.tec Superflex D 2 til 1 rumdel sand).

Indvendige tætninger
Ved indvendige tætninger skal den vandtætte udjævningsspartel
weber.tec 933 (Deitermann HKS) påføres som beskyttelse mod gennemfugtning fra bagsiden. Ufuldstændige fuger, huller og "åbne revner" skal lukkes og fremstående kanter slås af. Inden belægningen skal den udvendige vægtilslutning afrundes med weber.tec 933
(Deitermann HKS) til en hulkel, og/eller betonsålen affases for at være sikker på, at tætningen har en flad overgang. Brug weber.tec 933 (Deitermann HKS) som hulkelmørtel. For at opnå tynd udjævning påføres weber.tec Superflex D 2 med ovntørret kvartssand I kornstørrelse 0-0,5 mm I forholdet 1:0,5

Til tætning af hjørner og fuger ved kortvarigt vandtryk i våde og fugtige rum, ved konstant vandtryk i svømmebassiner eller på altaner klæbes tætningsbånd weber.tec 828 DB 75/150 (Superflex AB 75/150) med weber.tec Superflex D 2, dvs. tætningsbåndets armeringsdel trykkes ned i den friske (våde) mørtel og svummes nok engang med weber.tec Superflex D 2. Ved montering af færdige indvendige og udvendige hjørner klæbes hjørnerne, sammen med båndene, med weber.tec Superflex D 2. Ved konstant vandtryk anbefaler vi
weber.tec Superflex B 240 (Super- flex B 240) bånd, som klæbes med weber.xerm 848 (Deitermann Multipox FK).

Dilatationsfuger
Dilatationsfuger i den underliggende beton skal respekteres og føres ud gennem en eventuel keramisk belægning. For at sikre, at dilatationsfugen bliver tæt, lægges der et tætningsbånd weber.tec 828 DB 75/150 (Superflex AB 75/150) hen over fugen, og der "foldes" så meget bånd ned i fugen (i længderetningen), som der er plads til. På denne måde opnås en større elasticitet og bevægelighed i fugen. Ved keramiske belægninger afsluttes dilatationsfugen med en egnet silikonefugemasse, f.eks. weber. fug 881 (Plastikol FDN) eller

weber.fug 882 (Plastikol FDU). Ved anvendelse på gulvkonstruktioner klæbes fugebåndene med weber. xerm 848 (Deitermann Multipox FK) før påføring af svummemørtlen.

Hvis PVC-tilslutninger skal overfladebehandles med weber.tec
Superflex D 2, skal PVC'en forberedes til priming ved slibning og med weber.tec 793 (Eurolan FK 20) tyndt blandet med weber.sys 992 (Fortynder AX), 1:1, efter bearbejdning med weber.tec 827 S (Superflex 40 S). Herefter strøs vådt I vådt med ovntørret kvartssand (0,7-1,2 mm), så der fremkommer et fast kontaktlag på PVC'en. Derefter kan weber.tec Superflex D 2 bruges på dette kontaktlag. Ved gulvafløb af kunststof bør udførelsen ske iht. løs- og fastflangekonstruktionen.

Arbejdsstødfuger – WU betonbygninger
Ved vandtætning af betonbygninger i områder med arbejds- og bundfuger f.eks. elementvægge og fabriksfremstillede betondele bør man overveje at følge WU-anvis- ningen. Vandtætningen af de færdige elementdele og overgangene på WU-bundplader samt de fabriksfremstillede betondele bør tætnes med weber.tec Superflex D 2 i bredder fra ca. 50 cm i to arbejdsgange under indarbejdning med weber.sys 982 (Montaplast B)-folie (30 cm brede strimler). Minimum lagtykkelse 2,5 mm. I overgangen jord/væg føres weber.tec Superflex D 2 ca. 15 cm ned på den vandtætte bundflade. Man bør overveje at følge den almene opbygningstest.

Tætning på eksisterende bitumenbelægninger/malinger
Eksisterende bitumenbelægninger eller malinger, f.eks. gamle dækmalinger (som skal bearbejdes varmt eller koldt) skal have en tilstrækkelig styrke for at kunne optage en ny bitumenbelægning. Bløde bitumenbelægninger, f.eks. kationaktive bitumenemulsioner og bitumen-latexmalinger er ikke egnede som underlag. Eksisterende, fastklæbende bitumenbelægninger/malinger skal rengøres helt med højtryksrenser for alle klæbereducerende og løse bestanddele. Flader med eksisterende, fastklæbende bitumenbelægninger/malinger skal have en skrabespartling med weber.tec Superflex D 2. Områder, hvor den gamle tætning blev fjernet fuldstændigt f.eks. vægge/gulve, skal bearbejdes med weber. tec Superflex D 2 med 2 svummelag. Det mineralske underlag skal forvandes, men er det et bitumenunderlag skrabespartles direkte. Forbrug: weber.tec Superflex D 2 ca. 2,5 kg/m² i væg-/gulvområdet, i vægområdet ca. 0,7 kg/m². Når skrabespartlingen er gennemtør, påføres en ny fladetætning med weber.tec Superflex 10 (Superflex 10).

Tætningens udførelse
Flader, som er belagt med weber. tec Superflex D 2, skal beskyttes mod beskadigelse for at opnå fuld funktionssikkerhed. Inden der fyldes jord i byggeriets udgravning, skal der beskyttes med plader eller måtter. Hvis tætningsfladerne bruges direkte (gangtrafik eller kørende trafik), skal de forsynes med et beskyttelseslag (f.eks. beskyttende slidlag eller fliser). Hvis der er tale om "jordfugt/kortvarigt vandtryk", skal træffes passende forholdsregler iht. DIN 4095. Ved tætninger mod konstant vandtryk skal ledninger så vidt muligt føres over eller bag tætningsniveauet.

Bemærk
Alle vandrette overflader, der skal tætnes betragtes som værende konstant vandpåvirket og skal tætnes i henhold hertil.

Gennemtørring
Gennemtørringen er uafhængig af vejret som følge af reaktiv afbinding, selv under lufttætte forhold. Ved lave temperaturer og høj luftfugtighed forsinkes gennemtør-
ringen, ved høje temperaturer forkortes bearbejdningstiden.

Metaloverflader
Aluminium og zink skal affedtes med weber.sys 992 (Fortynder AX) og den anden side indlejres i weber.tec 827 S (Superflex 40 S). Flader strøes i overmål med ovntørret kvartssand (kornstørrelse 0,7 til 1,2 mm). Efter hærdning fjernes de løse overskudskorn og weber. tec Superflex D 2 påføres. Alle andre metaller affedtes med
weber.sys 992 (Fortynder AX), og tætningen med weber.tec Superflex D 2 påføres direkte.

Alle patentrettigheder såvel som eksisterende love og regulativer, hvad angår ulykke- og helbredsbeskyttelse, påhviler udelukkende brugeren af vores produkter.

Miljødeklaration

PR-nr.: Komp. A: 1890990
PR-nr.: Komp. B: 1891002
Kodenr.: Komp A: 00-1 (1993)
Kodenr.: Komp B: 00-4 (1993)
Kodenr.: Færdig blanding: 00-4 (1993)
Sikkerhedsdatablad/produktblad kan rekvireres på www.weber.dk.

Forbrug

Belastning	Min. tørlagstykkelse	Påføringsmængde
Tætning under fliser (også i svømmebassiner)	2,0 mm	Ca. 2,5 kg/m²
Jordfugt/kortvarigt vandtryk	2,0 mm	Ca. 2,5 kg/m²
Konstant vandtryk* (grundvand med nedsænkningsdybde ≤ 3 m)	2,5 mm	Ca. 3,1 kg/m²
Vandtanke med vanddybde ≤ 15 m	2,5 mm	Ca. 3,1 kg/m²

* Bemærk: Ved efterfølgende tætninger efter WTA blad 4-6-05/D og 3 mm lagtykkelse er forbruget 3,7 kg/m².

Forbehold

Da der foreligger forskellige forhold og forudsætninger i hvert enkelt tilfælde, kan Weber ikke være ansvarlig for andet, end at de informationer, der her gives under punktet Produktbeskrivelse, er korrekte. Eksempler på information og forhold, som ligger uden for Webers ansvarsområde (hvad enten dette påpeges specielt eller ej), er opbevaring, konstruktion, bearbejdelse, samspilseffekt med andre produkter, arbejdets udførelse og lokale forhold.

Sjælland
Tlf. 56 18 18 56
Fax. 56 18 18 01

Jylland/Fyn
Tlf. 70 11 11 72
Fax. 86 94 54 60

Hovedkontor
Tlf. 70 10 10 25
Fax. 87 42 72 05

Bilag 4.2

Produktblad,
Icopal radonmembran RMB 400

Icopal R.M.B 400 membran

Anvendelse

Icopal R.M.B. 400 membran anvendes som radon- og fugtspærre..

Produktdata			Blad nr. 112
Gyldigt fra	10.09.2005		
Dimension Længde Bredde Vægt	 25,0 m 2,0 m 0,4 kg/m^2		
Farve	Rød		
Opbygning	Trelags polyethylen (LDPE) armeret med et 9x12 mm PET-net.		
Montage	Udlægges løst og klæbes i overlæg.		
Tekniske data	Krav	Typisk værdi	Prøvningsmetode
Trækstyrke, kN/m	-	15	ISO 1184-85
Brudstyrke, N/mm langs/tværs	-	> 15	
Vanddampdiffusionsmodstand, Z (GPasm^2/kg) ca.		1025	ASTM E-96 Metode A
Radontransmittans, 10^{-9} m/s	-	< 20	SP-metode
Radongennemtrængelighed 10^{-12} $m^2 \cdot s^{-1}$		< 10	SP-metode
Tykkelse, mm	-	0,4 mm	

Egenskaber

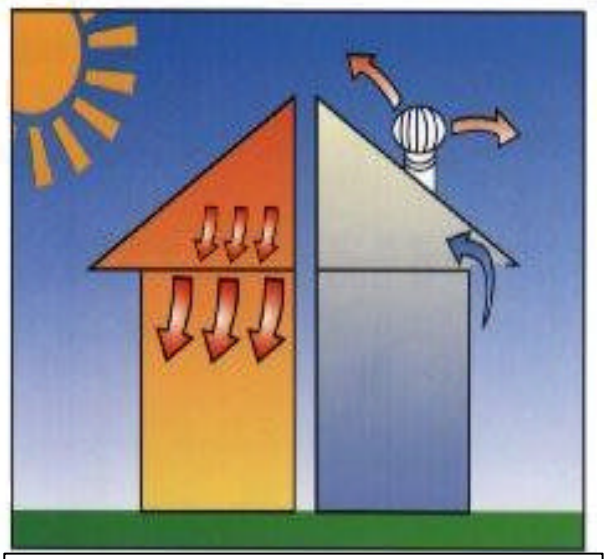
Icopal R.M.B. 400 membran er en meget stærk, fleksibel og tæt radonspærre.

Bilag 4.3

Produktblad,
Rotek SupaVent vindhætte

Turbine Ventilation for Homes, Soils, Wells, Sewers, Etc.

Winter
Without ventilation, moisture air rises and condenses In roof spaces. Dampness is trapped



Summer
Without ventilation, heat from the roof space radiates into the home and can also limit the performance of insulation

Heat and moisture in roof spaces can affect personal comfort levels in the home and the condition of roof timbers.

Heat
During summer months temperatures in roof spaces can reach as high as 60°c.This heat radiates downwards causing discomfort in living areas and forcing air conditioners to work harder. Even the effectiveness of ceiling insulation can be reduced by the additional heat load.

Moisture
During the colder months, water vapour from showers and cooking is drawn into roof spaces and can condense to form up to 12 litres of moisture per day. This can render insulation ineffective, cause mildew on walls and ceilings and contribute to a damp environment.

Problems associated with heat and moisture in the roof can be avoided by the installation of adequate ventilation systems. We supply a range of quality turbine ventilators for homes including:

Other Applications
Our vents has been used in a variety of applications, including eco-toilets, portable toilets, public toilets, sewers, solid waste dumps, fume cupboards and sub-floor. Anywhere the environment is contaminated by pollutants and chemicals.

SupaVent 10”
Our premier ventilator. SupaVent is a world first - manufactured from ABS polymer with a vertical vane design. It provides the following product advantages:

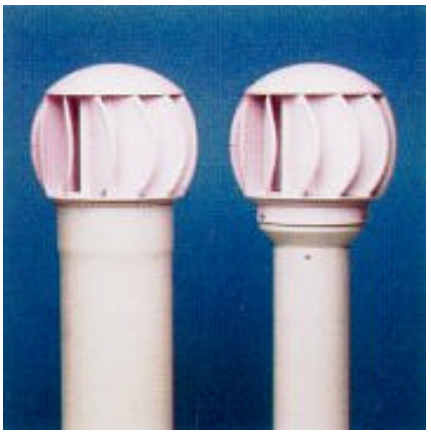
- Superior performance in light breezes.
- Attractive design complements most homes.
- Won't rust or corrode.
- Twin precision stainless steel bearings underpin 15 year warranty.
- Withstands severe wind (up to 240 km/h) and rain.
- Fits all roof types.
- Simple and inexpensive to assemble in export markets.

SupaVent 10” Capacity

Wind speed (metres/sec.)	Exhaust volume (m3/hour)
1,7 m/s	**616 m3/h**
2,2 m/s	**709 m3/h**
3,3 m/s	**911 m3/h**
4,4 m/s	**1116 m3/h**
5,6 m/s	**1358 m3/h**

Cont…

Turbo Ventura:



- A smaller version of the Supa Vent.
- Turbo Ventura is designed to operate efficiently at very low wind speeds.
- It is ideal for ventilation of smaller roof spaces or sheds.

Turbo Ventura 6" Capacity

Wind speed (metres/sec.)	Exhaust volume (m3/hour)
1,7 m/s	223 m3/h
2,2 m/s	255 m3/h
3,3 m/s	328 m3/h
4,4 m/s	403 m3/h
5,6 m/s	493 m3/h

Bilag 4.4

Produktblad,
Icopal murfolie RG

Icopal Murfolie RG

Anvendelse
Icopal Murfolie RG anvendes som fugtbremse i vægkonstruktioner af tegl og træ. Strimlerne placeres på fundamentet som underlag for mur- og træværk for at hindre opsugning af grundfugt. Anvendes også under afsluttende murskifte på læmure, skorstenspiber mv. som isolering mod nedtrængende fugt. Kan også anvendes som Radon-spærre.

Egenskaber
Icopal Murfolie RG er sømfast og har stor brudforlængelse. Produktet er let og smidigt at arbejde med.

Produktdata			**Blad nr. 128**
Opbygning Overside Armering Underside	LDPE med IR-varmestabilisator. Delvist regenereret LDPE med IR-varmestabilisator. LDPE med IR-varmestabilisator.		
Vægt	0,265 kg/m^2 +10 %/-5 %		
Montage	Udlægges normalt løst uden nogen form for fastgørelse. Strimlerne placeres og klemmes i fugerne mellem fundament/murværk osv. Stødsamlinger og hjørner klæbes med Icopal Butyl Fugemasse eller Butyltape.		
Tekniske data	Enhed	Værdi	Prøvningsmetode
Længde	m	25,0 +1 %/-0 %	EN 1848-2
Bredde	m	0,07 0,11 0,15 0,19 0,23 0,30 0,35 0,40 0,50 0,60 1,0 ±5 mm	EN 1848-2
Tykkelse	mm	0,30 ±25 %	EN 1949-2
Trækstyrke, langs Trækstyrke, tværs	N/50 mm	> 165 > 165	EN 12311-2
Brudforlængelse, langs Brudforlængelse, tværs	%	> 300 > 300	EN 12311-2
Sømrivestyrke, langs Sømrivestyrke, tværs	N	> 100 > 100	EN 12310-1
Kuldefleksibilitet	^{o}C	-20	EN 1109
Diffusionsmodstand, Z	GPasm^2/kg	600	EN 1931
Friktionskoefficient, μ_{kar}		0,62	
EN 14909			
CE			Monarflex a/s, Lyskær 10 DK-2730 Herlev, Danmark 06

Bilag 5

Radon indeklimamålinger,
Delprojekt 1a

Bilag 5.1

Radon i boliger,
Målerunde 1

SIGNATURER:

Radonkoncentration i indeklima

- 0 - 50 Bq/m3
- 50 - 100 Bq/m3
- 100 - 150 Bq/m3
- 150 - 200 Bq/m3
- > 200 Bq/m3

Radon i stue

Radon i bryggers

2 Husnr. 2-24 og 13-31

Ikke opførte huse

Bilag 5.1

Radonniveauer, indeklima
Målerunde 1

Kuben/BoligfondenKuben
Hustyper, beliggenhed

1:1000

Sag nr.: 08.262.00

Oktober 2010
Rev. 18. september 2010

NIRAS

SIGNATURER:

Radonkoncentration i indeklima

- 0 - 50 Bq/m3
- 50 - 100 Bq/m3
- 100 - 150 Bq/m3
- 150 - 200 Bq/m3
- > 200 Bq/m3

Radon i stue

Radon i bryggers

2 Husnr. 2-24 og 13-31

Ikke opførte huse

Bilag 5.1

Radonniveauer, indeklima
Målerunde 1 - sæsonkorrigeret

Kuben/BoligfondenKuben
Hustyper, beliggenhed

1:1000

Sag nr.: 08.262.00

Oktober 2010
Rev. 18. september 2010

NIRAS

Bilag 5.2

Radon i boliger, Målerunde 2

SIGNATURER:

Radonkoncentration i indeklima

	0 - 50 Bq/m3
	50 - 100 Bq/m3
	100 - 150 Bq/m3
	150 - 200 Bq/m3
	> 200 Bq/m3
2	Husnr. 2-24 og 13-31
	Ikke opførte huse

	Radon i stue
	Radon i bryggers
	Boligen er ikke medtaget i denne målerunde

Bilag 5.2

Radonniveauer, indeklima
Målerunde 2

Kuben/BoligfondenKuben
Hustyper, beliggenhed

1:1000

Sag nr.: 08.262.00

Oktober 2010
Rev. 18. september 2010

NIRAS

SIGNATURER:

Radonkoncentration i indeklima

- 0 - 50 Bq/m3
- 50 - 100 Bq/m3
- 100 - 150 Bq/m3
- 150 - 200 Bq/m3
- > 200 Bq/m3

2 Husnr. 2-24 og 13-31

Ikke opførte huse

Radon i stue

Radon i bryggers

Boligen er ikke medtaget i denne målerunde

Bilag 5.2

Radonniveauer, indeklima
Målerunde 2 - sæsonkorrigeret

Kuben/BoligfondenKuben
Hustyper, beliggenhed

1:1000

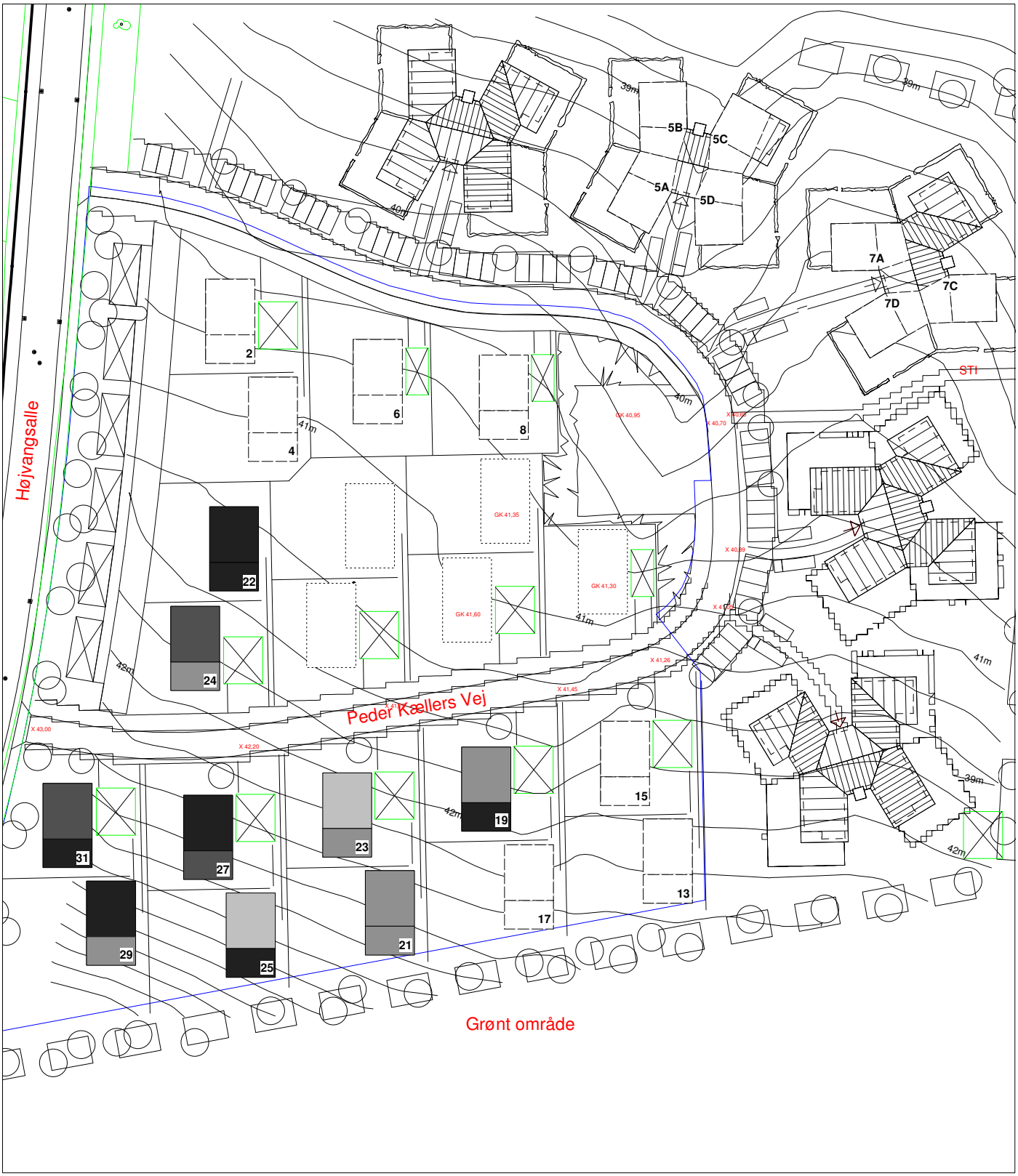
Sag nr.: 08.262.00

Oktober 2010
Rev. 18. september 2010

NIRAS

Bilag 5.3

Radon i boliger,
Målerunde 3



SIGNATURER:

Radonkoncentration i indeklima

- 0 - 50 Bq/m3
- 50 - 100 Bq/m3
- 100 - 150 Bq/m3
- 150 - 200 Bq/m3
- > 200 Bq/m3

2 Husnr. 2-24 og 13-31

Ikke opførte huse

Radon i stue

Radon i bryggers

Boligen er ikke medtaget i denne målerunde

Bilag 5.3

Radonniveauer, indeklima
Målerunde 3

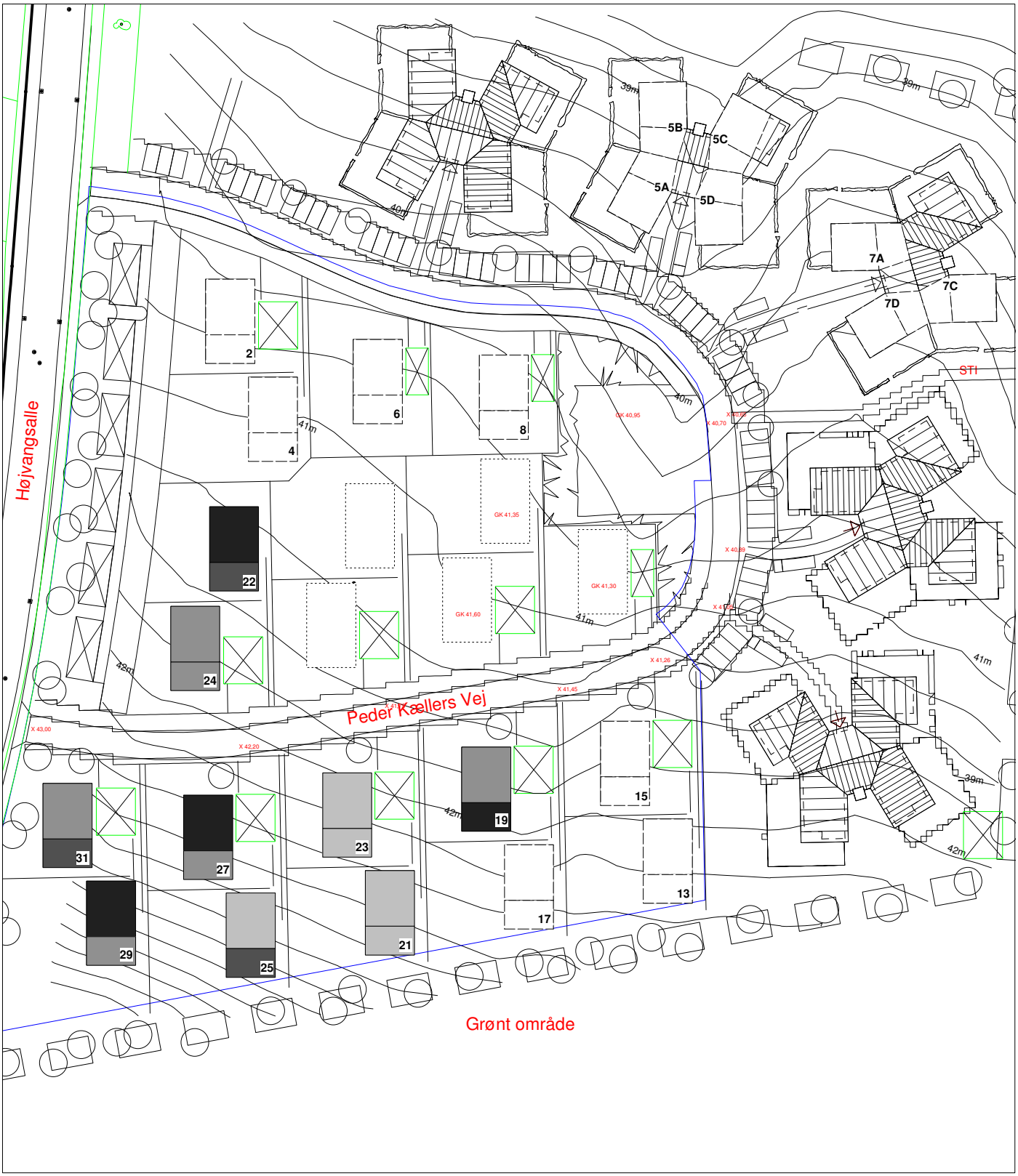
Kuben/BoligfondenKuben
Hustyper, beliggenhed

1:1000

Sag nr.: 08.262.00

Oktober 2010
Rev. 18. september 2010

NIRAS



SIGNATURER:

Radonkoncentration i indeklima

- 0 - 50 Bq/m3
- 50 - 100 Bq/m3
- 100 - 150 Bq/m3
- 150 - 200 Bq/m3
- > 200 Bq/m3

2 Husnr. 2-24 og 13-31

Ikke opførte huse

- Radon i stue
- Radon i bryggers

Boligen er ikke medtaget i denne målerunde

Bilag 5.3

Radonniveauer, indeklima
Målerunde 3 - sæsonkorrigeret

Kuben/BoligfondenKuben
Hustyper, beliggenhed

1:1000

Sag nr.: 08.262.00

Oktober 2010
Rev. 18. september 2010

NIRAS

Bilag 5.4

Radon i boliger, Samlet gennemsnit

SIGNATURER:

Radonkoncentration i indeklima

- 0 - 50 Bq/m3
- 50 - 100 Bq/m3
- 100 - 150 Bq/m3
- 150 - 200 Bq/m3
- > 200 Bq/m3

Radon i stue

Radon i bryggers

2 Husnr. 2-24 og 13-31

Ikke opførte huse

Bilag 5.4

Radonniveauer, indeklima
Samlet - sæsonkorrigeret

Kuben/BoligfondenKuben
Hustyper, beliggenhed

1:1000

Sag nr.: 08.262.00

Oktober 2010
Rev. 18. september 2010

NIRAS

SIGNATURER:

Radonkoncentration i indeklima

- 0 - 50 Bq/m3
- 50 - 100 Bq/m3
- 100 - 150 Bq/m3
- 150 - 200 Bq/m3
- > 200 Bq/m3

Radon i stue

Radon i bryggers

2 Husnr. 2-24 og 13-31

Ikke opførte huse

Bilag 5.4

Radonniveauer, indeklima
Samlet

Kuben/BoligfondenKuben
Hustyper, beliggenhed

1:1000

Sag nr.: 08.262.00

Oktober 2010
Rev. 18. september 2010

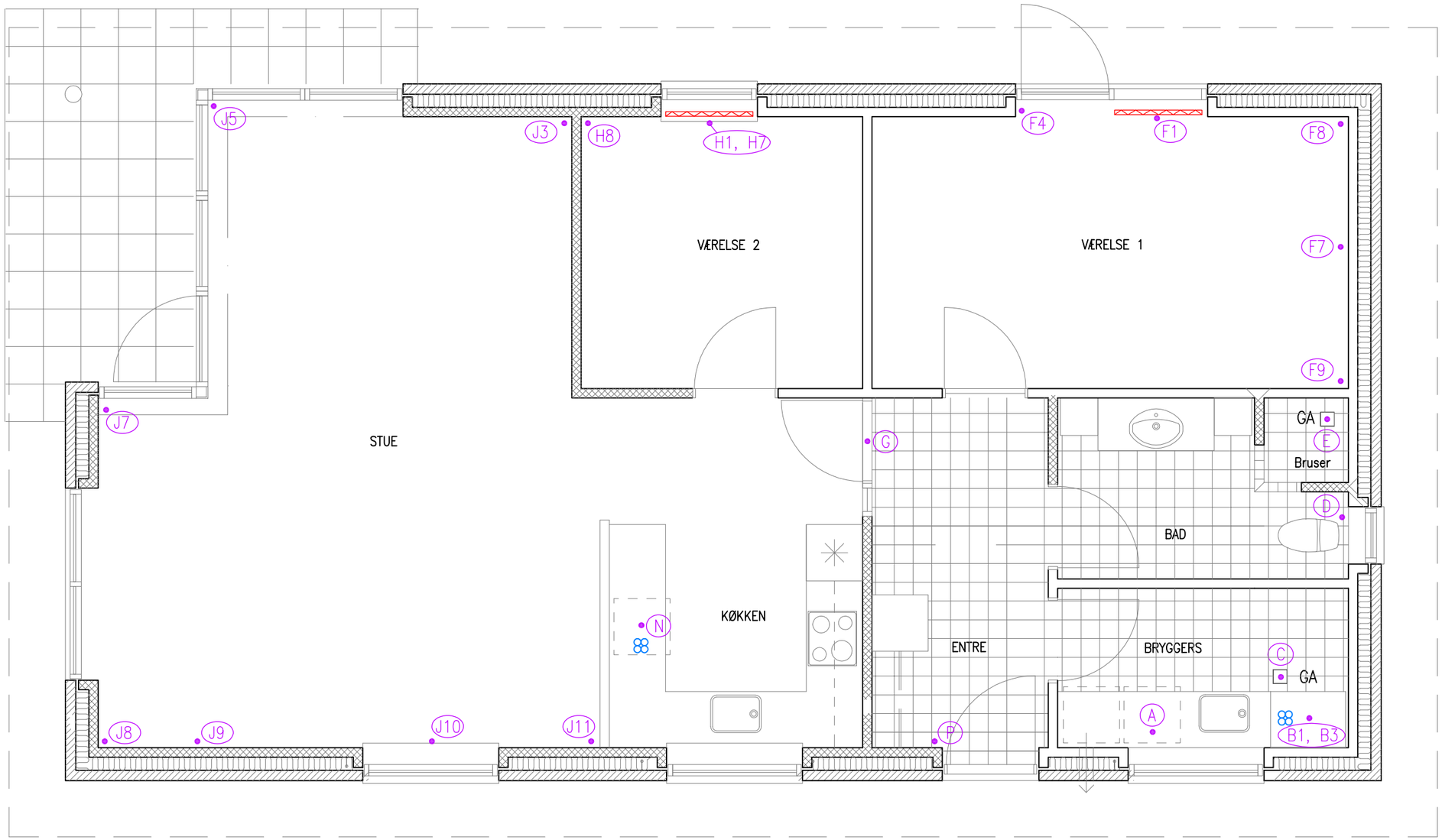
NIRAS

Bilag 6

Lækagesporingsmålinger,
Delprojekt 1a

Bilag 6.1

Thoron målepunkter,
Lille hustype (99,6 m^2)



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 6.1

Thoron målepunkter
Lille hustype (99,6 m2)

Situationsplan

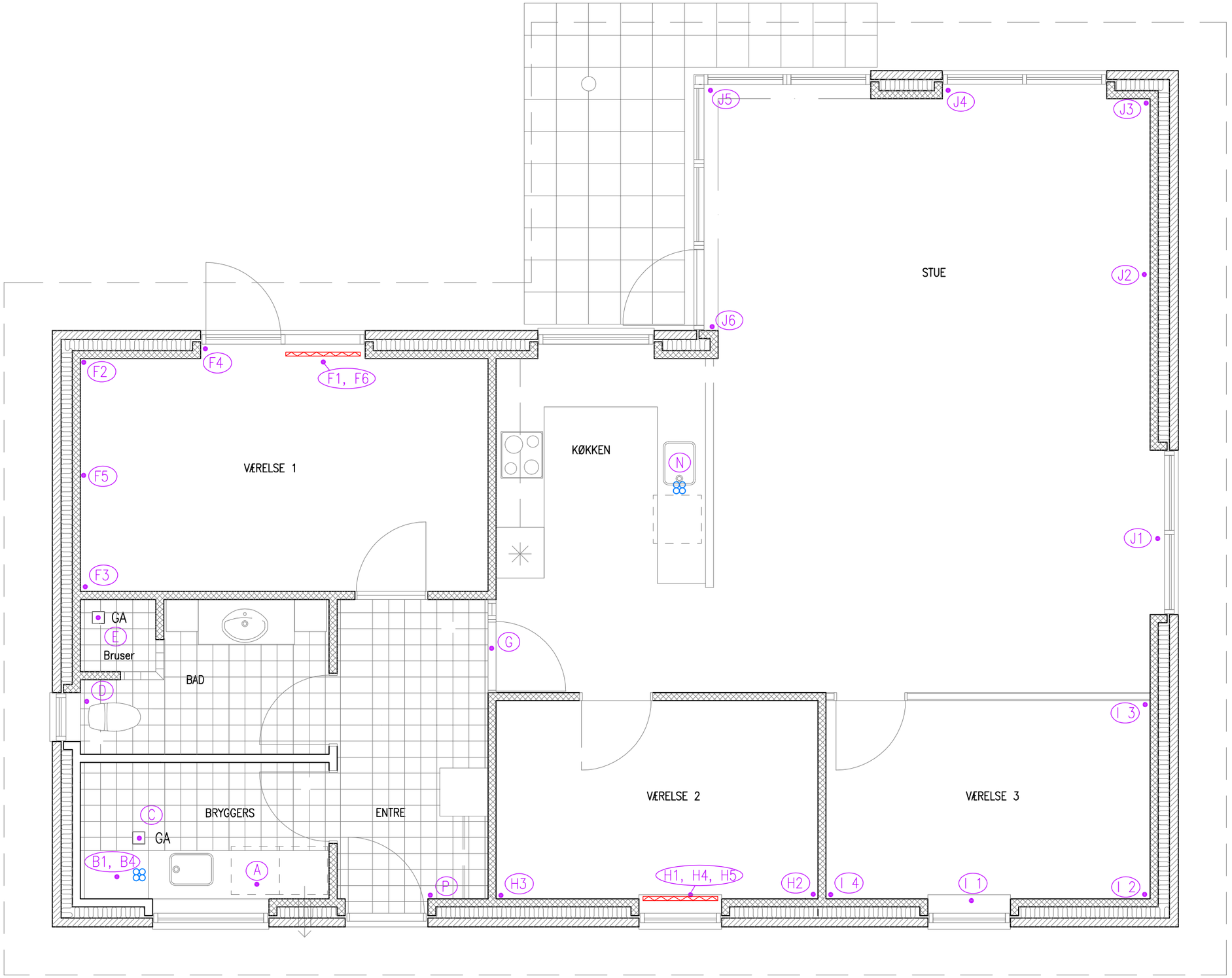
September 2010 1:50 Sag nr. 08.262.00

NIRAS

O:\SAG\08\262.00\TEGN\B6.1-200910.dwg

Bilag 6.2

Thoron målepunkter,
Stor hustype (123,7 m^2)



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 6.2

Thoron målepunkter
Stor hustype (123,7 m2)

Situationsplan

September 2010 1:50 Sag nr. 08.262.00

NIRAS

O:\SAG\08\262.00\TEGN\B6.2-200910.dwg

Bilag 6.3

Thoronmålinger,
Hustype 1

Peder Kællers vej 27		
Hustype:	1	
Hus str.:	123,7	m2
Rn IK:	178	Bq/m3
Rn stue var:	180	Bq/m3
Rn bryg. var:	175	Bq/m3
Vandspejl:	3,49	m u.t.
Radonniveau jord:		E

Radonsikringer:

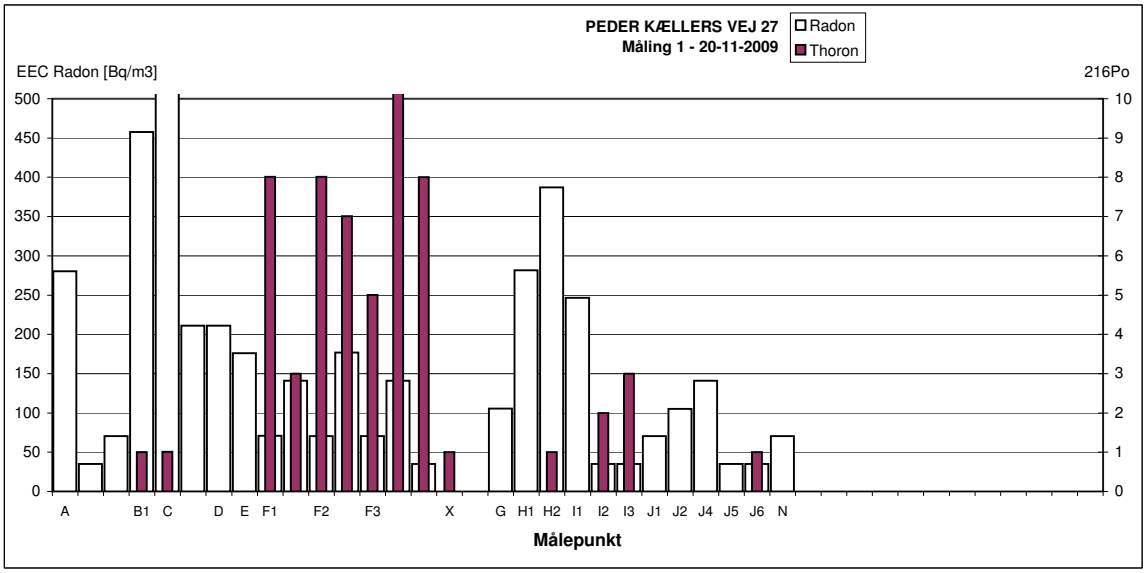
Fuld membran
Tæt rørgennemføring

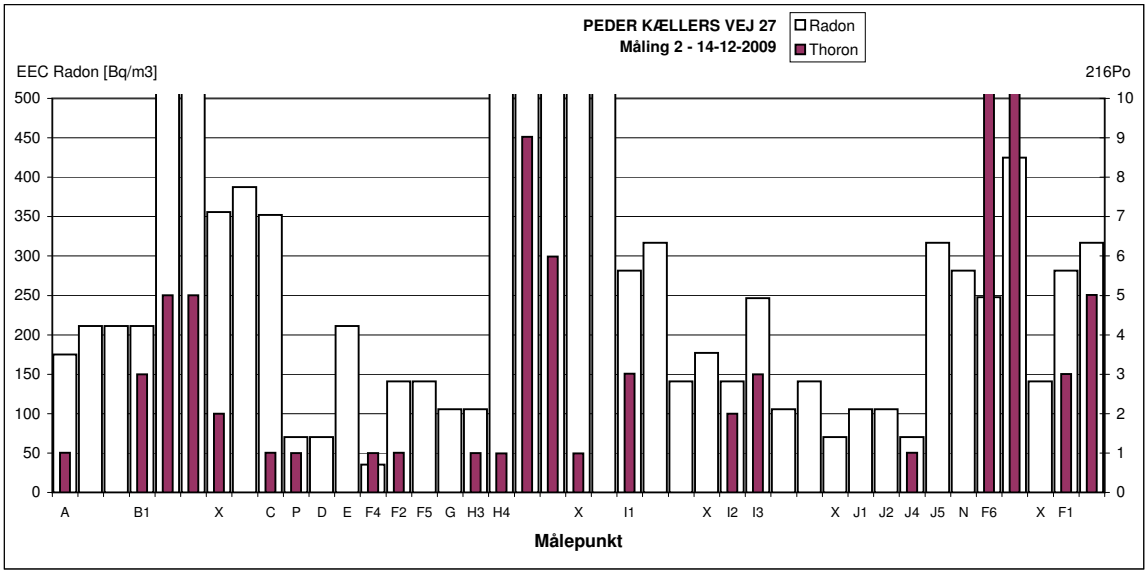
Måleforhold:

Måling 1: temperatur: ude; 7-9, inde; 20-22. Måling 2: temperatur: ude; -2, inde; 21.

Bemærkninger:

Huset har to radiatorer i værelserne 1 og 2. I anden målerunde er der forsøgt at måle thoron under radiatorernes kapper ved rørgennemføringerne gennem gulvet.





Bilag 6.4

Thoronmålinger,
Hustype 2

Peder Kællers vej 13		
Hustype:	2	
Hus str.:	123,7	m2
Rn IK:	44	Bq/m3
Rn stue var:	29-30	Bq/m3
Rn bryg. var:	54-62	Bq/m3
Vandspejl:	3,04	m u.t.
Radonniveau jord:		A

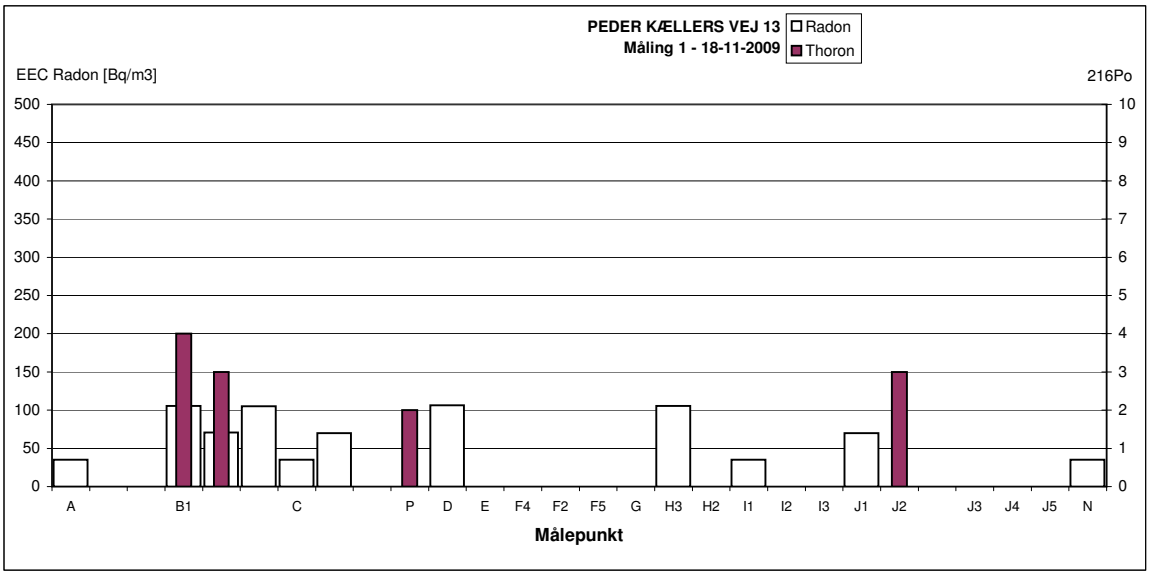
Radonsikringer:

Kantmembran under beton
Tæt rørgennemføring

Måleforhold:

Måling 1: temperatur: ude; 7-9, inde; 20.

Bemærkninger:



Peder Kællers vej 15		
Hustype:	2	
Hus str.:	123,7	m2
Rn IK:	132	Bq/m3
Rn stue var:	123-131	Bq/m3
Rn bryg. var:	133-142	Bq/m3
Vandspejl:	2,84	m u.t.
Radonniveau jord:		A

Radonsikringer:

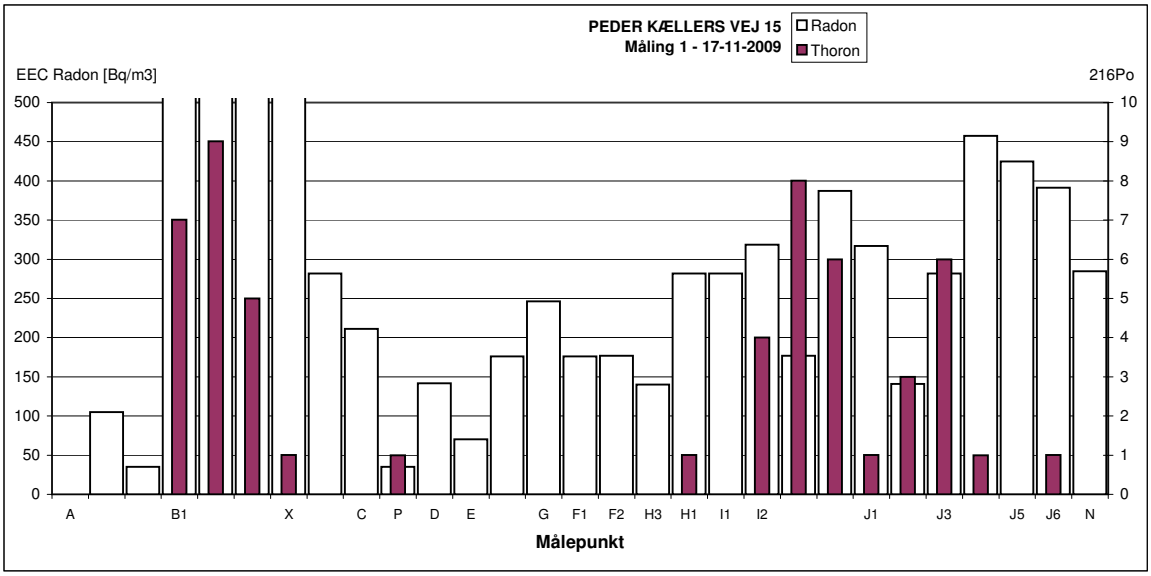
Kantmembran over beton
Tæt rørgennemføring

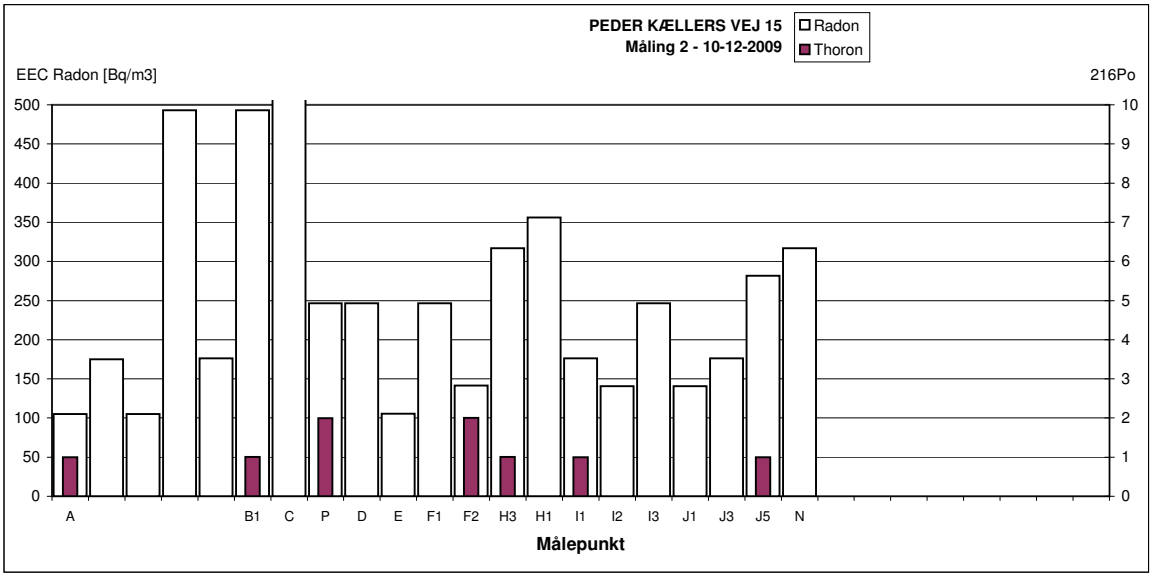
Måleforhold:

Måling 1: temperatur: ude; 8, inde; 20. Måling 2: temperatur: ude; 6, inde; 21, tryk; 1015 hPa.

Bemærkninger:

Radiatorer i værelserne 1 og 2. Gulvvarme i bryggers





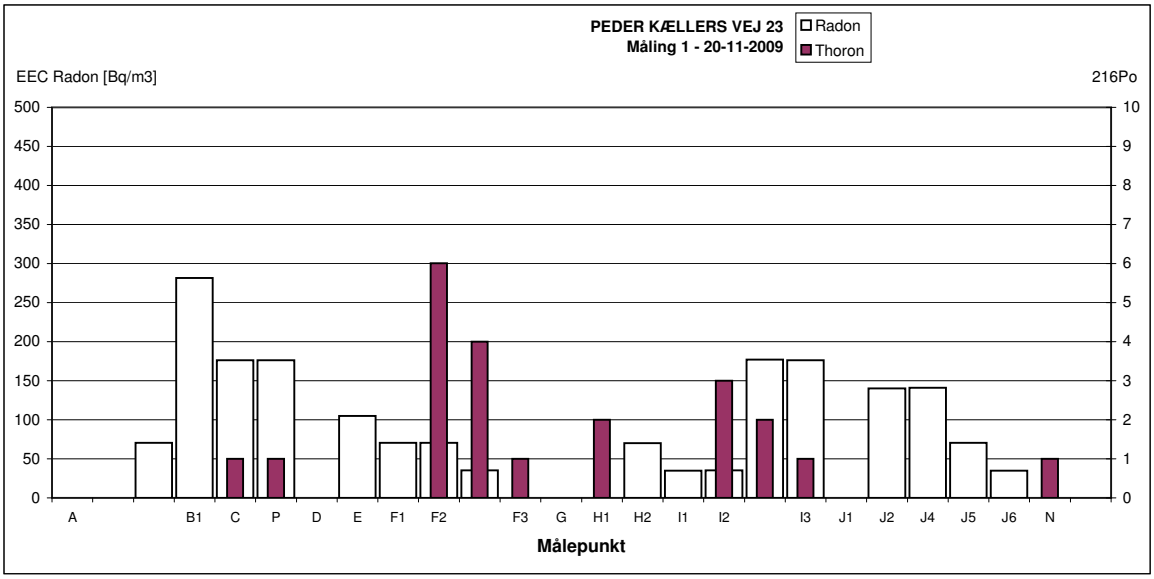
Peder Kællers vej 23		
Hustype:	2	
Hus str.:	123,7	m2
Rn IK:	102	Bq/m3
Rn stue var:	85-93	Bq/m3
Rn bryg. var:	106-125	Bq/m3
Rn teknik:	576 (*)	Bq/m3
Vandspejl:	3,17	m u.t.
Radonniveau jord:		E

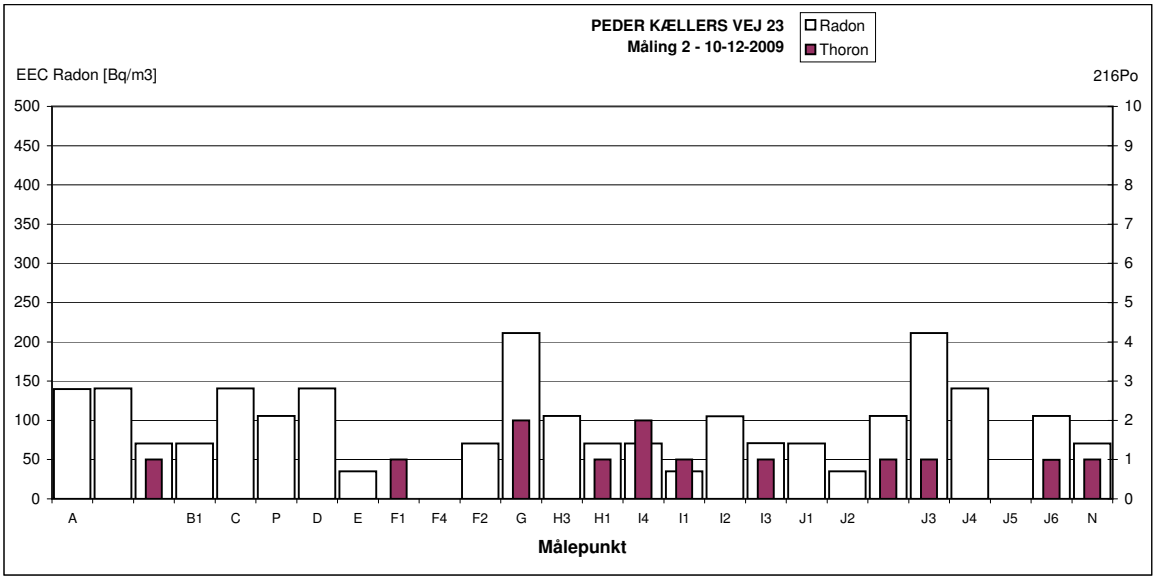
Radonsikringer:
Kantmembran over beton Tæt rørgennemføring Dræn i kapillarbrydende lag

Måleforhold:
Måling 1: temperatur: ude; 10-12, inde; 20-22. Måling 2: temperatur: ude; 6, inde; 22, tryk; 1012 hPa.

Bemærkninger
Radiatorer i værelserne 1 og 2, ingen gulvvarme i bryggers.

(*): ved aktive dræn





Bilag 6.5

Thoronmålinger,
Hustype 3

Peder Kællers vej 19		
Hustype:	3	
Hus str.:	123,7	m2
Rn IK:	86	Bq/m3
Rn stue var:	62-87	Bq/m3
Rn bryg. var:	88-105	Bq/m3
Vandspejl:	2,77	m u.t.
Radonniveau jord:		A

Radonsikringer:

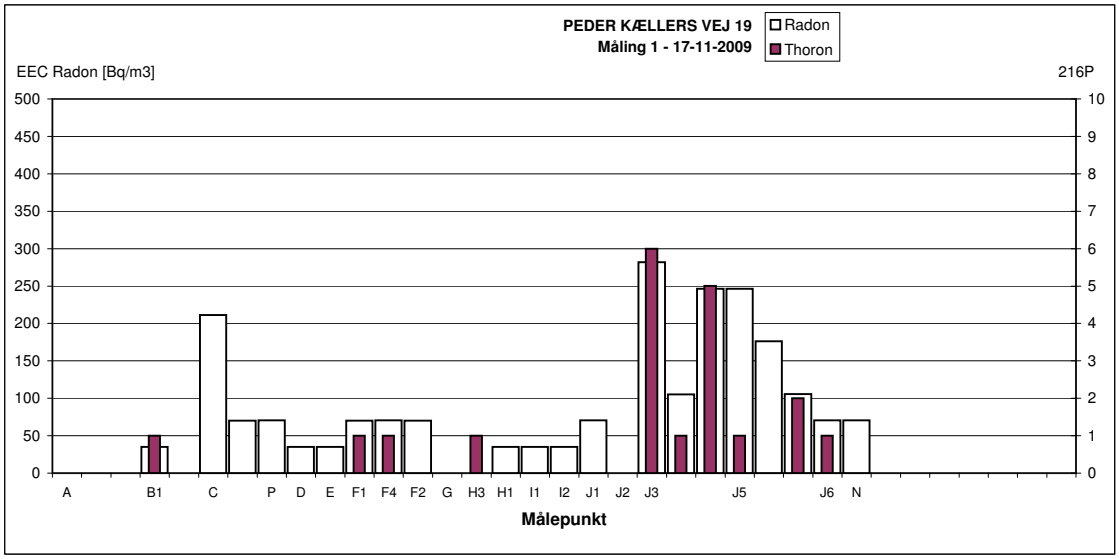
Kantmembran over beton
Tæt rørgennemføring

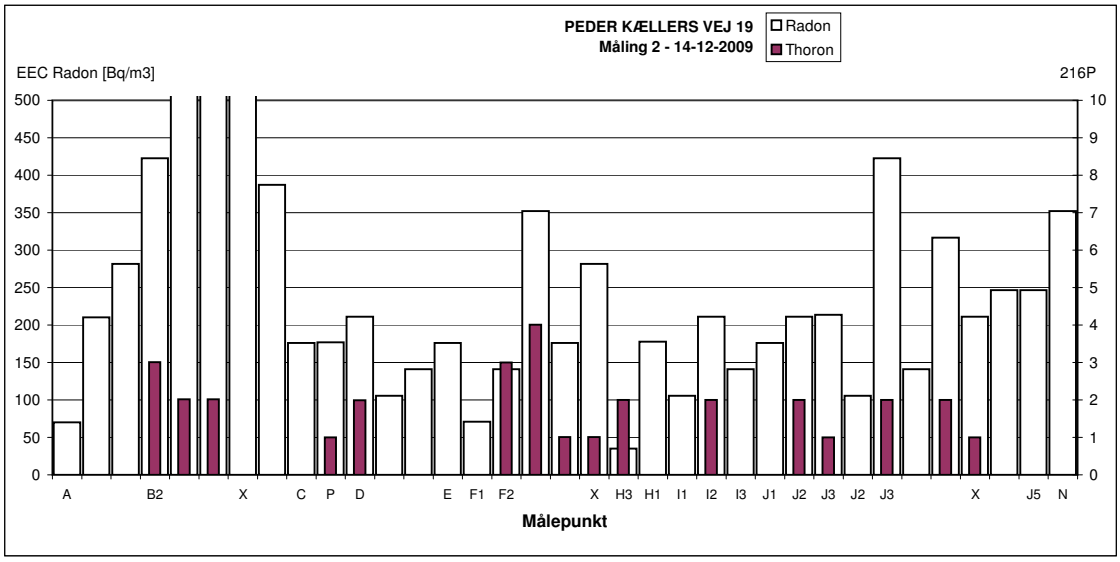
Måleforhold:

Måling 1: temperatur: ude; 10, inde; 20. Måling 2: temperatur: ude; -2, inde; 21, værelse 3; 16.

Bemærkninger:

Radiatorer i værelserne 1 og 2. Gulvvarme i bryggers. Der er et synligt hul i bunden af teknikskabet, se billeder på docweb. Hullet blev først opdaget ved målerunde 2, og der er derfor kun målt for det i denne nr. 2 målerunde. Kantmembranen stikker op i teknikskabet





Peder Kællers vej 21		
Hustype:	3	
Hus str.:	123,7	m2
Rn IK:	177	Bq/m3
Rn stue var:	38-312	Bq/m3
Rn bryg. var:	77-280	Bq/m3
Vandspejl:	3,55	m u.t.
Radonniveau jord:		E

Radonsikringer:

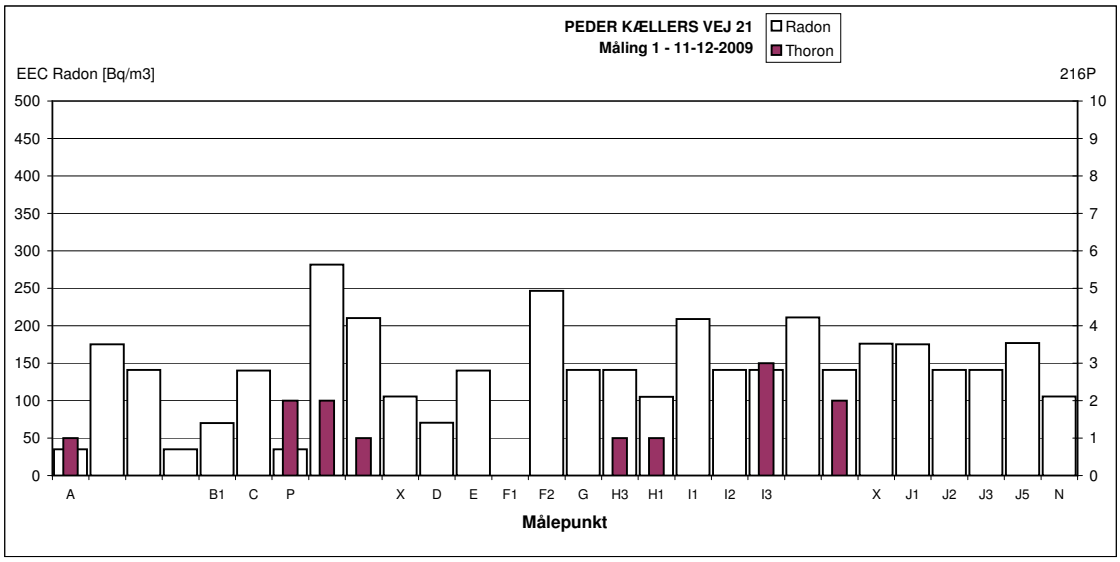
Kantmembran over beton
Tæt rørgennemføring

Måleforhold:

Måling 1: temperatur: ude; 5, inde; 22.

Bemærkninger:

Radiatorer i værelserne 1 og 2, gulvvarme i bryggers.
Kantmembran stikker op i teknikskab.



Peder Kællers vej 29		
Hustype:	3	
Hus str.:	123,7	m2
Rn IK:	160	Bq/m3
Rn stue var:	136-249	Bq/m3
Rn bryg. var:	94-159	Bq/m3
Vandspejl:	> 4,1	m u.t.
Radonniveau jord:		E

Radonsikringer:

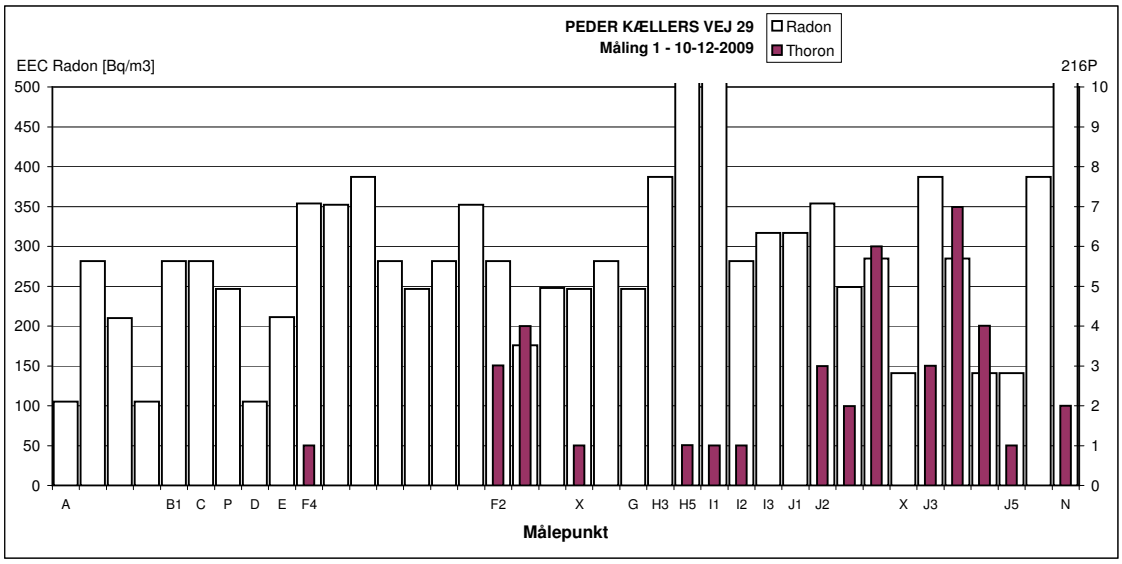
Ingen radonsikring i dette hus

Måleforhold:

Måling 1: temperatur: ude; 5, inde; 22, værelse 1; 18, tryk; 1012 hPa.

Bemærkninger:

Ingen radiatorer i huset, ingen gulvvarme i bryggers. Entreprenør glemte radonsikring i dette hus.



Bilag 6.6

Thoronmålinger,
Hustype 4

Peder Kællers vej 6		
Hustype:	4	
Hus str.:	123,7	m2
Rn IK:	77	Bq/m3
Rn stue var:	66-88	Bq/m3
Rn bryg. var:	64-89	Bq/m3
Vandspejl:	2,37	m u.t.
Radonniveau jord:		C

Radonsikringer:

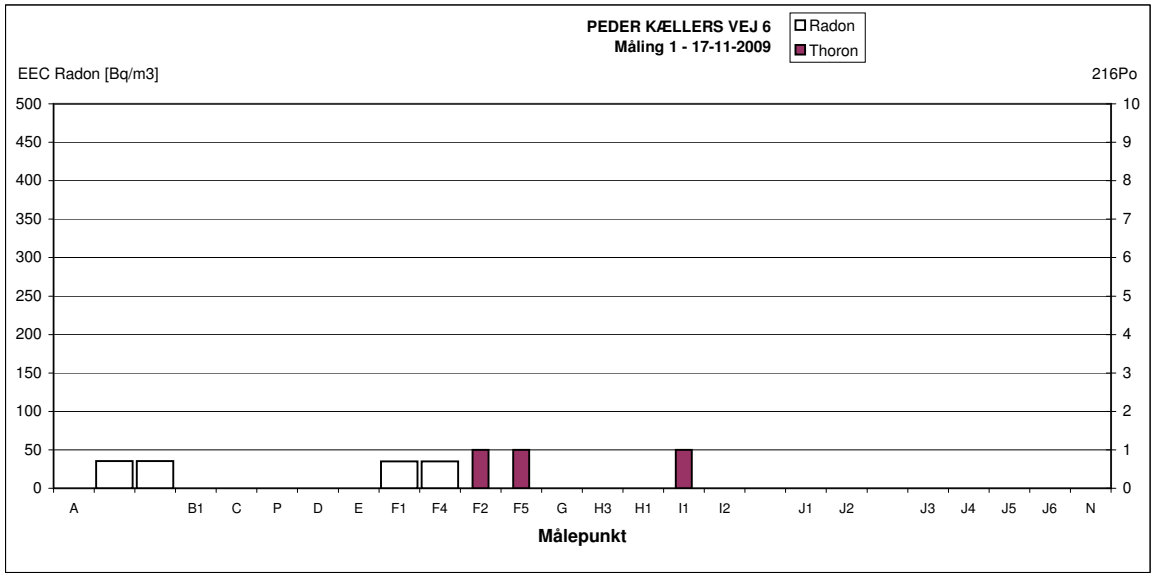
Kantmembran under beton

Måleforhold:

Måling 1: temperatur: ude; 9, inde; 22.

Bemærkninger:

Gulvvarme eksl. bryggers, almindelig rørgennemføring.



Peder Kællers vej 25		
Hustype:	4	
Hus str.:	123,7	m2
Rn IK:	59	Bq/m3
Rn stue var:	25-29	Bq/m3
Rn bryg. var:	90-92	Bq/m3
Vandspejl:	4,04	m u.t.
Radonniveau jord:		D

Radonsikringer:

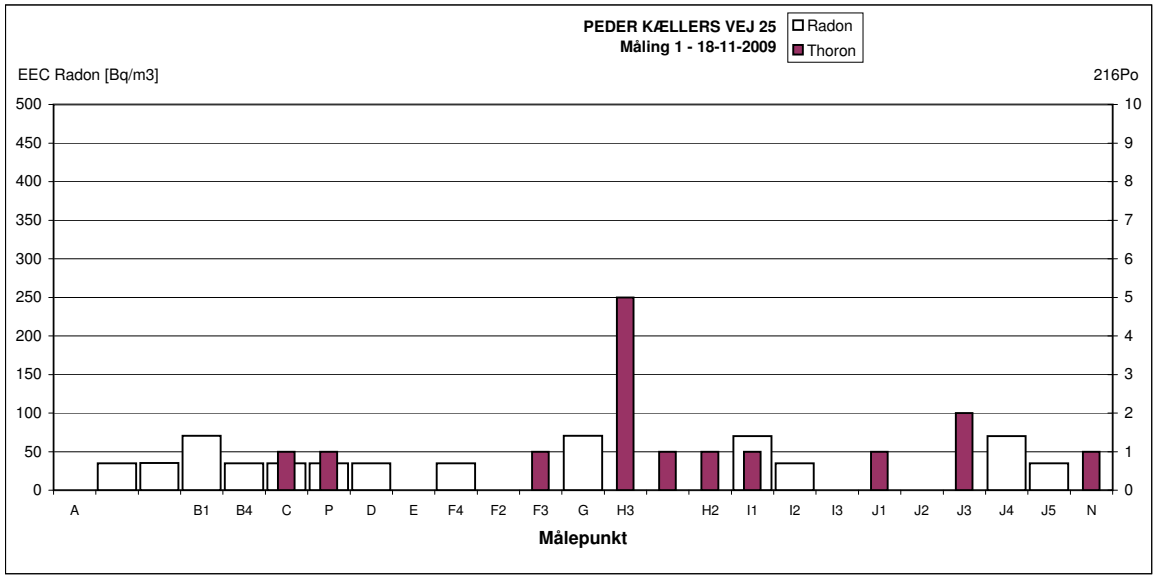
Kantmembran under beton

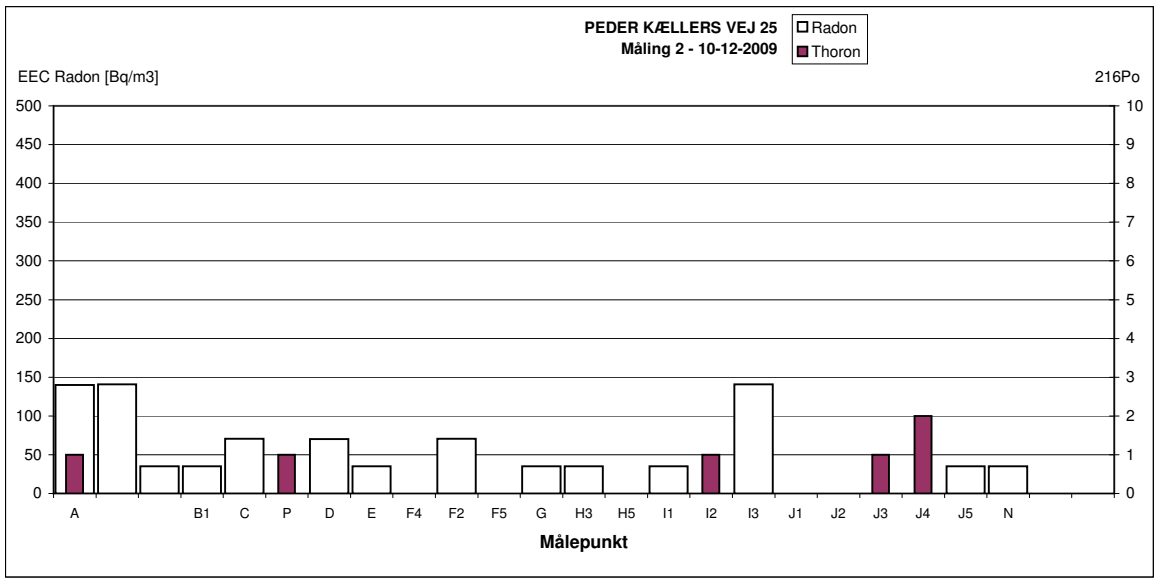
Måleforhold:

Måling 1: temperatur: ude; 9, inde; 20, værelse 1; 16, tryk; 982 hPa.
Måling 2: temperatur: ude; 6, inde; 21, værelse 1; 19, tryk; 1015 hPa.

Bemærkninger:

Ingen radiatorer, ingen gulvvarme i bryggers. Almindelig rørgennemføring.





Peder Kællers vej 17		
Hustype:	4	
Hus str.:	123,7	m2
Rn IK:	82	Bq/m3
Rn stue var:	36-40	Bq/m3
Rn bryg. var:	98-152	Bq/m3
Vandspejl:	3,27	m u.t.
Radonniveau jord:		D

Radonsikringer:

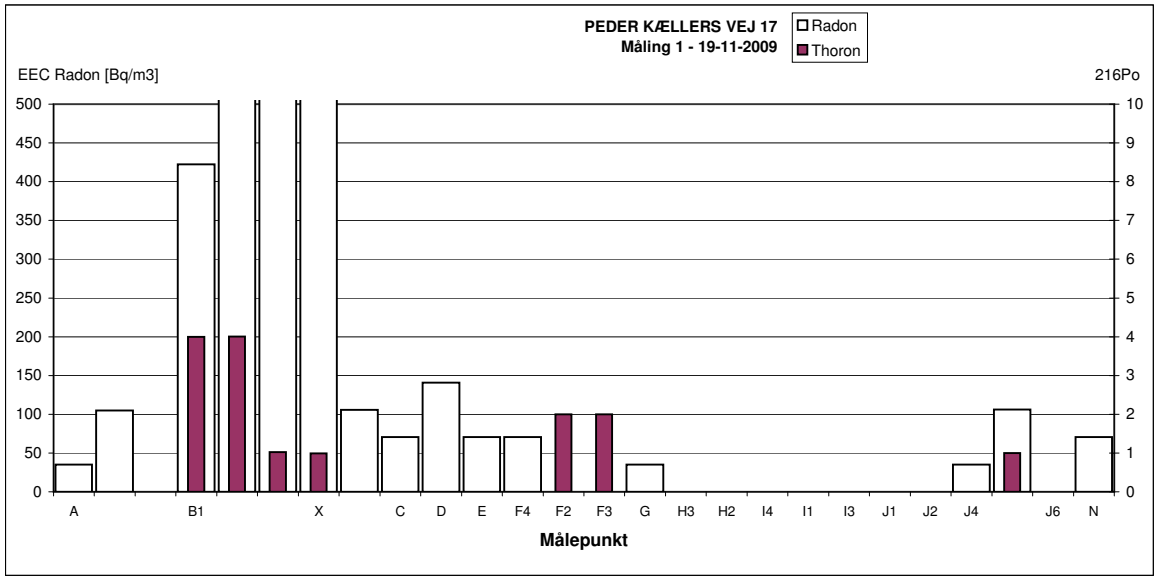
Kantmembran under beton

Måleforhold:

Måling 1: temperatur: ude; 8-9, inde; 20-22.

Bemærkninger:

Gulvvarme i hele huset, almindelig rørgennemføring.



Bilag 6.7

Thoronmålinger,
Hustype 5

Peder Kællers vej 31		
Hustype:	5	
Hus str.:	99,6	m2
Rn IK:	169	Bq/m3
Rn stue var:	47-162	Bq/m3
Rn bryg. var:	151-317	Bq/m3
Rn teknik:	239-274	Bq/m3
Vandspejl:	4,07	m u.t.
Radonniveau jord:		E

Radonsikringer:

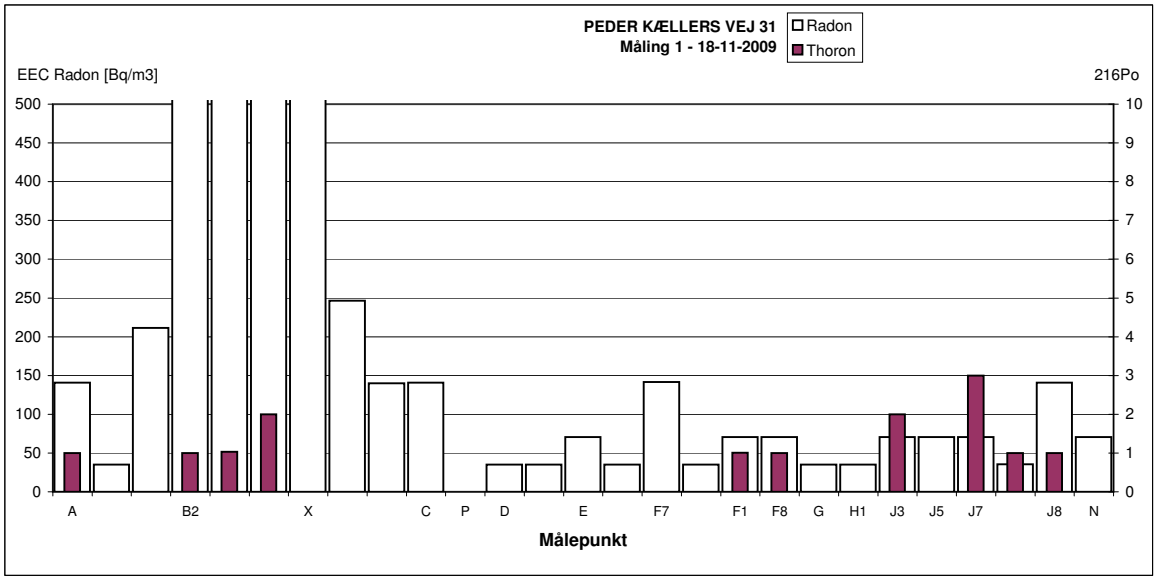
Kantmembran over beton
Dræn i kapillarbrydende lag

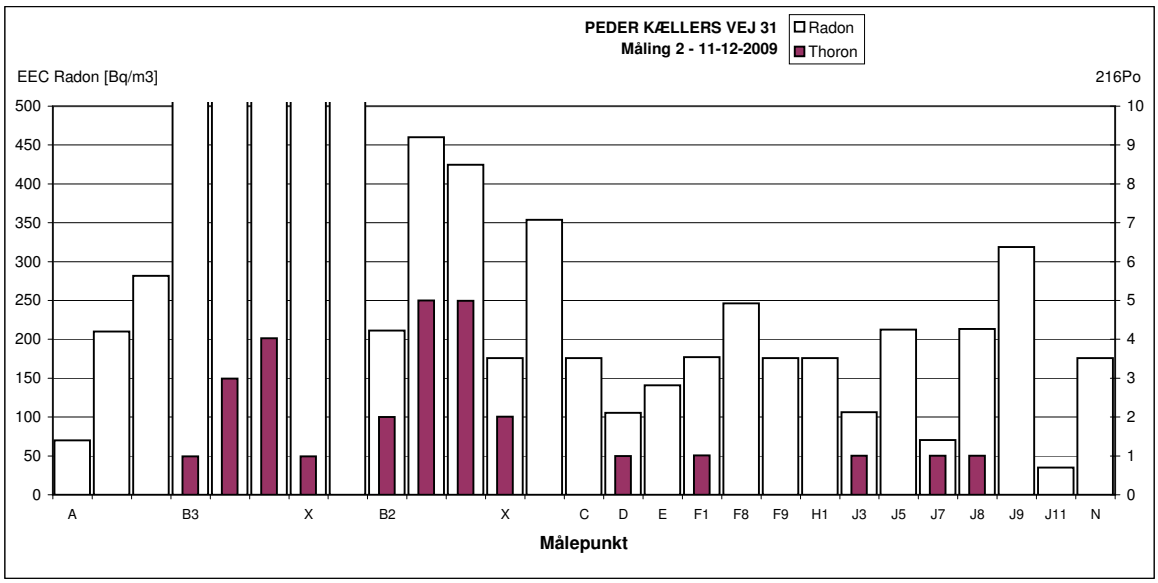
Måleforhold:

Måling 1: temperatur: ude; 8-9, inde; 22, tryk; 980 hPa. Måling 2: temperatur: ude; 6, inde; 22.

Bemærkninger:

Almindelig rørgennemføring. Radiatorer i værelserne 1 og 2. Gulvvarme i bryggers. Der er 2 synlige huller i bunden af teknikskabet, se billeder på docweb, ca. 30-40 cm afstand. Ventilationsdræn aktiveret i målerunde 2!





Peder Kællers vej 22		
Hustype:	5	
Hus str.:	123,7	m2
Rn IK:	84	Bq/m3
Rn stue var:	62-82	Bq/m3
Rn bryg. var:	65-125	Bq/m3
Rn teknik:	74-175	Bq/m3
Vandspejl:	3,12	m u.t.
Radonniveau jord:		C

Radonsikringer:

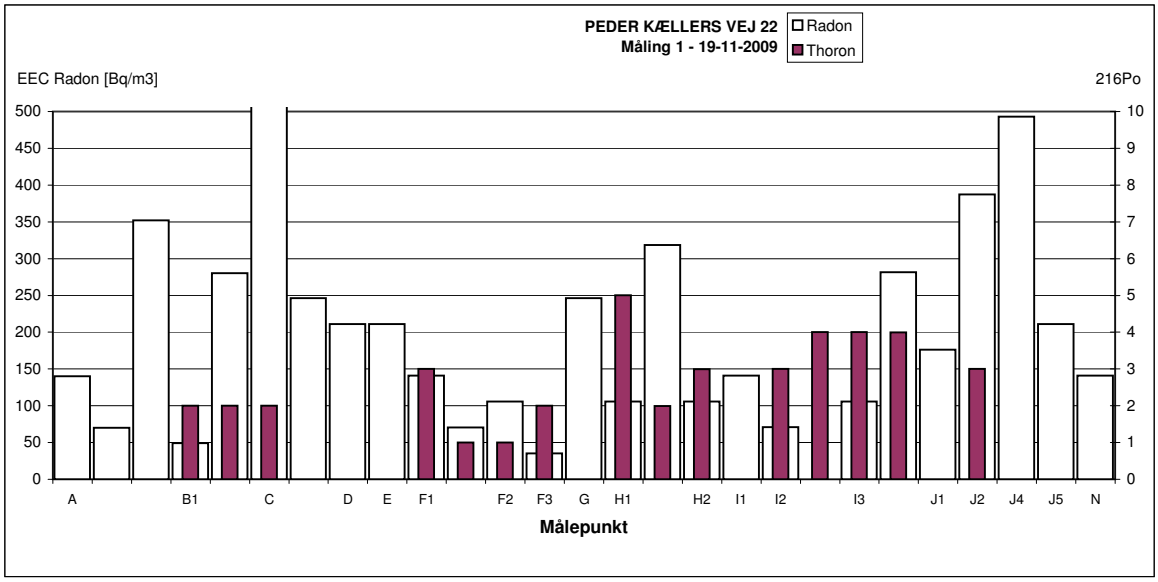
Kantmembran over beton

Måleforhold:

Måling 1: temperatur: ude; 7-8, inde; 20-22.

Bemærkninger:

Almindelig rørgennemføring, gulvvarme ekskl. bryggers.



Peder Kællers vej 24		
Hustype:	5	
Hus str.:	99,6	m2
Rn IK:	46	Bq/m3
Rn stue var:	15-28	Bq/m3
Rn bryg. var:	30-110	Bq/m3
Vandspejl:	2,87	m u.t.
Radonniveau jord:		D

Radonsikringer:

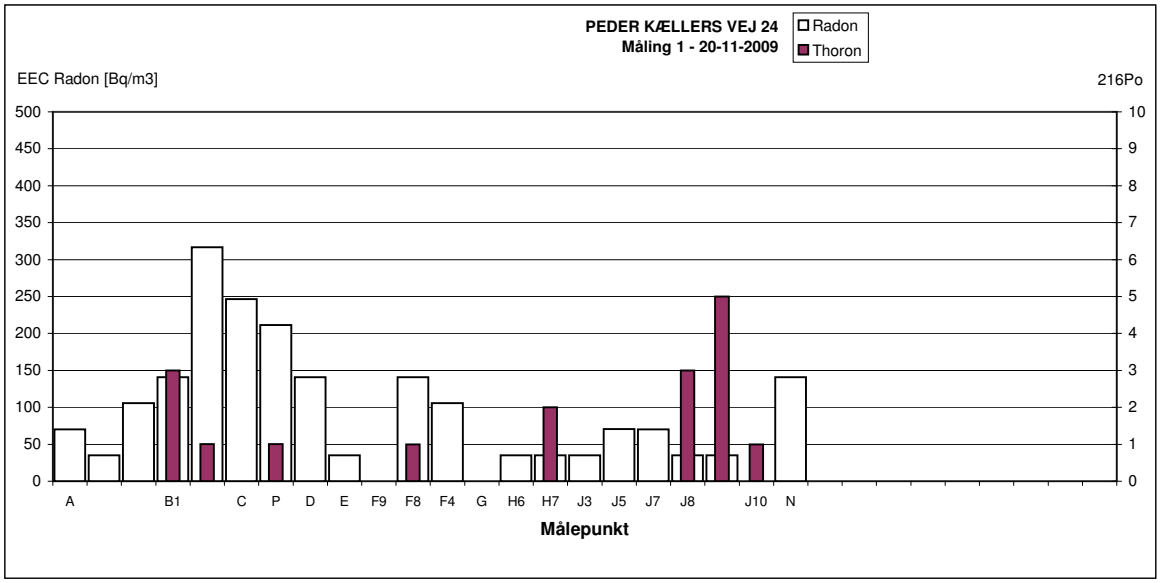
Kantmembran over beton

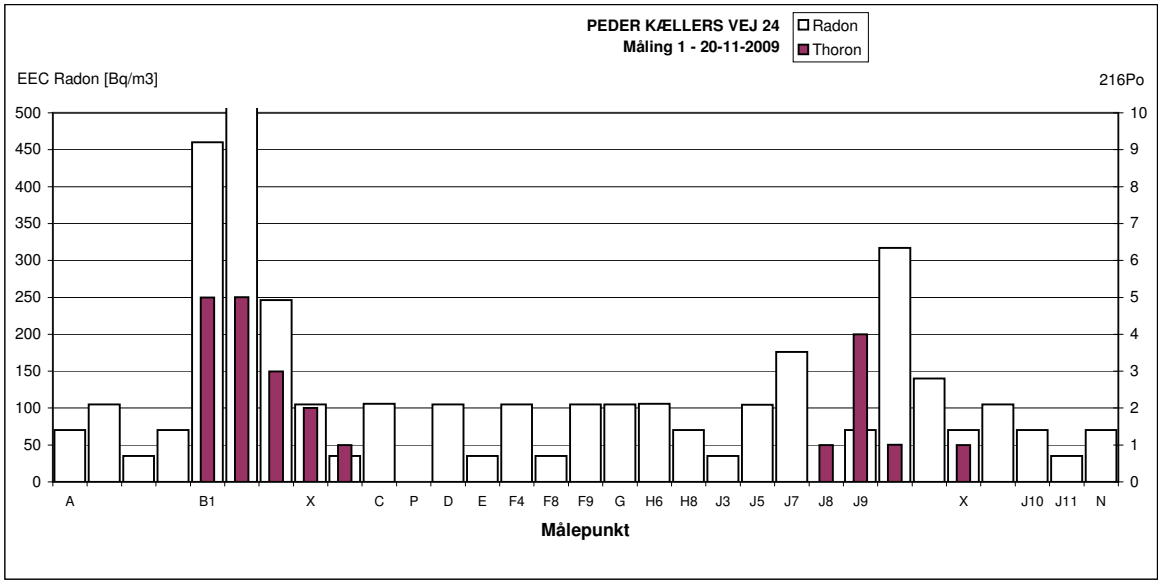
Måleforhold:

Måling 1: temperatur: ude; 6-8, inde; 20-22. Måling 2: temperatur: ude; 6, inde; 21.

Bemærkninger:

Almindelig rørgennemføring, gulvvarme ekskl. bryggers. Ingen radiatorer og ingen gulvvarme i bryggers. Kantmembran synlig i tekniskab. Målepunktet stue ydervæg (a) ligger ca. 1 meter fra stue hjørne 3 SE





Bilag 6.8

Thoronmålinger,
Tabeloversigt

Thoronmålinger

Nr	HUSTYPE	1		2					3				4				5				
	Hus nummer	27		13	15		23		19		21	29	6	17	25		22	24		31	
	Målepunkt / Målerunde	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	2
A	Ref		1			1		1			1					1				1	
B1	Teknikskab	2	4	4	4	2			1					4			1	3	4		
B2	Teknikskab hul 1									3										2	4
B3	Teknikskab hul 2																				4
B4	Teknikskab afløb																				
C	Bryggers afløb	2	2				1								1		2				
D	Toilet									1											1
E	Bad afløb																				
F1	Værelse 1 radiator	4	4					1	1								3			1	1
F2	Værelse 1 hjørne SV	4	1			1	4			4		4	1	1			1				
F3	Værelse 1 hjørne SE	4					1							1	1		1				
F4	Værelse 1 yderdør		1						1			1									
F5	Værelse 1 ydervæg S												1								
F6	Værelse 1 radiator under kappen		4																		
F7	Værelse 1 ydervæg N (lille hus)																				
F8	Værelse 1 hjørne NV (lille hus)																	1		1	
F9	Værelse 1 hjørne NE (lille hus)																				
G	Fodpanel bryggers - køkken							1													
H1	Værelse 2 radiator				1		1	1			1						3				
H2	Værelse 2 hjørne NE	2													1		3				
H3	Værelse 2 hjørne SE		1			1			1	1	1				3						
H4	Værelse 2 radiator under kappen		4																		
H5	Værelse 2 ydervæg E (- radiator)											2									
H6	Værelse 2 hjørne NV (lille hus)																				
H7	Værelse 2 ydervæg (- radiator, lille hus)																	1			
H8	Værelse 2 hjørne SV (lille hus)																				
I1	Værelse 3 ydervæg		3			1		1				2	1		1						
I2	Værelse 3 hjørne NE	1	1		4		3			1		1				1	4				
I3	Værelse 3 hjørne NV	3	3				1	1			3						4				
I4	Værelse 3 hjørne SE							1													
J1	Stuevinduer N				3										1						
J2	Stue ydervæg			3				1		1		4					3				
J3	Stue hjørne NV				3			1	4	2		4			1	1				1	1
J4	Stuevinduer V		1											1		1					
J5	Stue vindueshjørne					1			2			1									
J6	Stue yderdør	1			2			1	1												
J7	Stue hjørne S (lille hus)																			3	1
J8	Stue hjørne SE (lille hus)																	4	1	1	1
J9	Stue ydervæg E, 1 (lille hus)																		3		
J10	Stue ydervæg E, 2 (lille hus)																	1			
J11	Stue ydervæg E, 3 (lille hus)																				
N	Køkkenvask						1	1				2			1						
P	Yderdør		1	3	1	1	1			1	2				1	1		1			
X	Udluftning af udstyr		1		1					1		1		1					1		1

Inddeling i kategorier:

1 Thoron indhold (216Po < 3)

2 Thoron indhold (216Po < 3) + forhøjet radonkoncentration

3 Thoron indhold (216Po ≥ 3) evt. + forhøjet radonkoncentration

4 Thoron indhold (216Po ≥ 3) målt ≥ 2 gange

Aktuelt målepunkt benyttet i målerunden

Bilag 6.9

Thoronmålinger,
Samlet oversigt

Hus-type	Hus nr.	Måle-runde	Antal målepunkter	Svag-moderat indtrængning (niveau 1-2) [1]	Væsentlig indtrængning (niveau 3-4) [1]	Rørgennemføring Undersøgte / indtrængning
1	27	1	19	5 (t)	4 (1)	3 / 2
		2	21	7	6 (2) (t)	3 / 3
		Samlet	24	8 (33 %)	8 (33 %)	3 / 3 (100 %)
2	13	1	20	1	2 (t)	1 / 1
	15	1	17	3 (1)	4 (t)	3 / 2
		2	16	6 (t)	0	3 / 1
		Samlet	17	7	4	
	23	1	20	6 (1)	2	3 / 1
		2	22	10 (2)	0	3 / 2
		Samlet	24	13	2	
	I alt	Samlet	61	21 (34 %)	8 (13 %)	7 / 5 (71 %)
3	19	1	19	6 (1) (t)	1	3 / 2
		2	19	6	2 (t)	3 / 1
		Samlet	21	10	3	
	21	1	18	3 (1)	1	3 / 1
	I alt	Samlet	39	13 (33 %)	4 (10 %)	6 / 3 (50 %)
3b	29	Samlet	18	6 (33 %)	3 (17 %)	1 / 0 (0 %)
4	6	1	21	3	0	3 / 0
	17	1	18	3	1 (t)	1 / 1
	25	1	21	8	1	1 / 0
		2	20	4	0	1 / 0
		Samlet	23	10	1	
	I alt	Samlet	62	16 (26 %)	2 (3 %)	5 / 1 (20 %)
5	22	1	18	4 (t)	6 (2)	3 / 3
	24	1	17	4	2 (t)	1 / 1
		2	19	1	2 (t)	1 / 1
		Samlet	20	4	3	
	31	1	15	5 (1) (t)	1	3 / 2
		2	16	5 (1)	2 (t)	4 / 3 [1]
		Samlet	19	5	2	
	I alt	Samlet	57	13 (23 %)	11 (19 %)	8 / 7 (88 %)

Højre kolonne indikerer antal undersøgte rørgennemføringer ved radiatorer og teknikskabe ved målingen / målt indtrængning (niveau 1-4). Den samlede værdi indikerer antallet af individuelle rørgennemføringer gennem samtlige målerunder / antallet af individuelle målepunkter hvor der er registreret indtrængning ved mindst én måling.

[1] Her er udført måling i to individuelle målepunkter i teknikskabet og fundet indtrængning ved begge.

(2) (t) Indikerer indtrængning ved radiator (1-2 radiatorer) og/eller ved teknikskab (t).

Tabel 1: Thoronmålinger, samlet oversigt.

Bilag 6.10

Thoron;
Målepunkter og grafer

Notat

Thoron; målepunkter og grafer

5. oktober 2010

Udarbejdet af JPN
Kontrolleret af MNJ
Godkendt af MNJ

1 Thoron; målepunkter og grafer 2

2 Thoron målepunkter 3

3 Thoron resultater - grafer 4

NIRAS A/S
Åboulevarden 80
Postboks 615
8100 Århus C

CVR-nr. 37295728
Tilsluttet F.R.I
www.niras.dk

T: 8732 3232
F: 8732 3200
E: niras@niras.dk

D: 87323246
M: 20198766
E: jpn@niras.dk

RADONSIKRING I NYBYGGERI

1 Thoron; målepunkter og grafer

I forbindelse med delprojekt 1a er der foretaget en undersøgelse af poreluftindtrængning ved thoronmålinger.

Thoron (^{220}Rn) er en isotop af radon (^{222}Rn) og ligesom radon emanerer thoron fra jorden og findes overalt i poreluften i høj eller lav koncentration, afhængig af jordens beskaffenhed.

Hvor radon på grund af stoffets relativt lange halveringstid (3,8 dage) normalt distribueres nogenlunde uniformt i indeklimaet, vil thoron kun forekomme i større mængder netop ved aktive indtrængningspunkter for konvektiv transport af luft fra jord til indeklima. Grunden hertil er thorons væsentligt kortere halveringstid (55,6 s) og at thorons manglende diffusionsegenskaber gør, at stoffet ikke målbart diffunderer igennem terrændæk opbygget af beton.

Målemetoden for thoronmålinger er detaljeret beskrevet i en selvstændig miljørapport /5/ (se referencer i hovedrapporten).

Dette notat er udfærdiget for at give læseren af hovedrapporten en bedre mulighed for at overskue data fra thoron undersøgelserne, og for bedre at kunne tyde graferne i bilag 6.3 – 6.7.

Afsnit 2 giver en oversigt over de målepunkter der er benyttet i forbindelse med thoron undersøgelserne. Ikke alle målepunkter er benyttet i samtlige boliger, men en fællesbetegnelse er valgt for at kunne sammenligne målepunkter mellem boligerne.

Afsnit 3 giver en kort indsigt i, hvordan graferne på bilag 6.3 – 6.7 skal tydes.

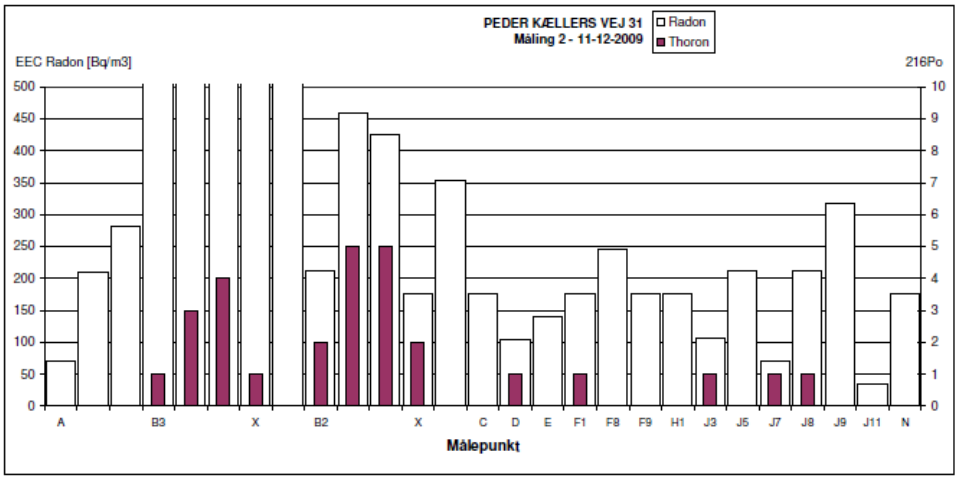
2 Thoron målepunkter

I nedenstående tabel gives en samlet oversigt over de forskellige målepunkter undersøgt ved thoronmålinger. Målepunkterne fremgår med bogstaverne på grafer i bilag 6.3 – 6.7 og på plantegningerne i bilag 6.1 og 6.2.

Målepunkt nr.	Aktuelt målepunkt
A	Referencemåling, ikke målepunkt
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 af udstyr, ikke målepunkt

3 Thoron resultater - grafer

Nedenstående graf er plukket fra bilag 6.7 og viser en undersøgelse med thoron i boligen på Peder Kællers vej 31, 2. målerunde. I selve bilaget fremgår hustypen for den undersøgte bolig (hustype 1 – 5, se afsnit 3.2 i hovedrapporten), samt andre byggetekniske forhold for boligen eller i forbindelse med undersøgelsen. Desuden fremgår den gennemsnitlige radonkoncentrationer målt i boligen samt grundvandsstanden målt i de geotekniske boringer på lokaliteten, udført i forbindelse med byggeriet.



I undersøgelsen der ligger bag den ovenstående graf, er målt over i alt 135 minutter, idet hver søjle i diagrammet repræsenterer 5 minutter. Jf. abscisseaksen, er målt ved i alt 19 af målepunkterne beskrevet i tabellen på forrige side.

Målepunkt A er en referencemåling for hver enkelt bolig, og skal derfor ikke tælles med som decideret målepunkt. Målepunkt X er en udluftning af udstyret i forbindelse med en foregående høj måling, og skal derfor ikke tælles med som decideret målepunkt.

Trækkes ovenstående målepunkter fra, er derfor målt i alt i 16 selvstændige målepunkter; B3, B2, C, D, E, F1, F8, F9, H1, J3, J5, J7, J8, J9, J11 og N.

I visse af disse målepunkter er målt over flere omgange; B2 og B3. Grunden til dette skal findes i målemetoden beskrevet i /5/. Der er således målt i 3x5 minutter for både målepunkt B2 og B3, idet der ved den indledende måling blev fundet forhold der retfærdiggjorde yderligere målinger. De yderligere målinger (ekstra 2x5 minutter) indikerer, ligesom de første 5 minutters måling, at der er tale om et nærliggende indtrængningspunkt for poreluft til indeklimaet, se afsnit 6.4.2.1 i hovedrapporten.

Antallet af henfald fra thorons henfaldskæde er afbildet på højre ordinatakse (afsnit 6.4.2.1 i hovedrapporten), mens radonkoncentrationen målt i målepunktet er afbildet på venstre ordinat (EEC: Estimated Equivalent Concentration, er et udtryk for den estimerede radonkoncentration udtryk ved hjælp af henfald fra radondøtre, se evt. /5/).

Bilag 7

PFT-sporgasmålinger

Bilag 7.1

PFT-sporgasmålinger

Bilag 7.1

RADONSIKRING I NYBYGGERI
PFT sporgasundersøgelser

15. juni 2011

Udarbejdet af JPN
Kontrolleret af MNJ
Godkendt af MNJ

1 Baggrund 2

2 Forsøg 1 - Næstved 2

3 Forsøg 2 - Horsens 4

4 Samlet konklusion 5

NIRAS A/S
Åboulevarden 80
Postboks 615
8100 Aarhus C

CVR-nr. 37295728
Tilsluttet F.R.I
www.niras.dk

T: 8732 3232
F: 8732 3200
E: niras@niras.dk

D: 87323246
M: 20198766
E: jpn@niras.dk

RADONSIKRING I NYBYGGERI – DOKUMENTATION OG TEKNOLOGIUDVIKLING
PFT SPORGASUNDERSØGELSER

1 Baggrund

I forbindelse med delprojekt 1a er der foretaget en testundersøgelse af anvendelsen af PFT sporgasmålinger til kortlægning af lufttætheden i terrændækskonstruktioner.

PFT står for PerFlourcarbon Tracer og er en måleteknisk velafprøvet metode, der normalt benyttes til luftskifteberegninger i indeklimaet i bygninger. Metodens grundlæggende princip er, at en kendt og målelig luftart tilsættes rumluften, hvorefter koncentrationsforløbet registreres. Metoden er en passiv multi-sporgasteknik efter konstantdosering princippet (gassen afgives kontinuerligt med konstant rate over 5 år). Sporgaskilden består af et metalhylster lukket med en prop af silikone, hvorigennem gassen diffunderer til omgivelserne. Koncentrationsforløbet registreres med adsorptionsrør, som består af et glasrør indeholdende en adsorbent. Efter nedtagning analyseres adsorptionsrørene i laboratorium via gaschromatografi og termisk desorption.

Undersøgelsen i dette projekt differentierer sig fra normal praksis. Undersøgelsen baserer sig på to målerunder gennemført i to forskellige enfamiliehuse. De to undersøgelser og metodens udførelse er beskrevet nedenfor.

Formålet med undersøgelsen var at teste tætheden af et terrændæk, ved at undersøge om PFT sporgas, udlagt under et terrændæk, kan registreres i indeklimaet. Såfremt dette er muligt, kan PFT sporgasmålinger således benyttes til at give en indikation af tætheden af et givent terrændæk, idet kildekoncentrationen af sporgaskilden er kendt. På daværende tidspunkt var det dog endnu uvist, om utæthederne i et almindeligt terrændæk er signifikante nok til, at sporgas kan registreres i indeklimaet. På denne baggrund besluttedes det, at udføre et pilotforsøg på en lokalitet i Næstved forinden udlægning af PFT sporgaskilder i byggeriet i Horsens, idet byggeriet i Næstved er opført efter Bygningsreglementet for Småhuse 98 (BR-S 98), men uden almindelig radonsikring.

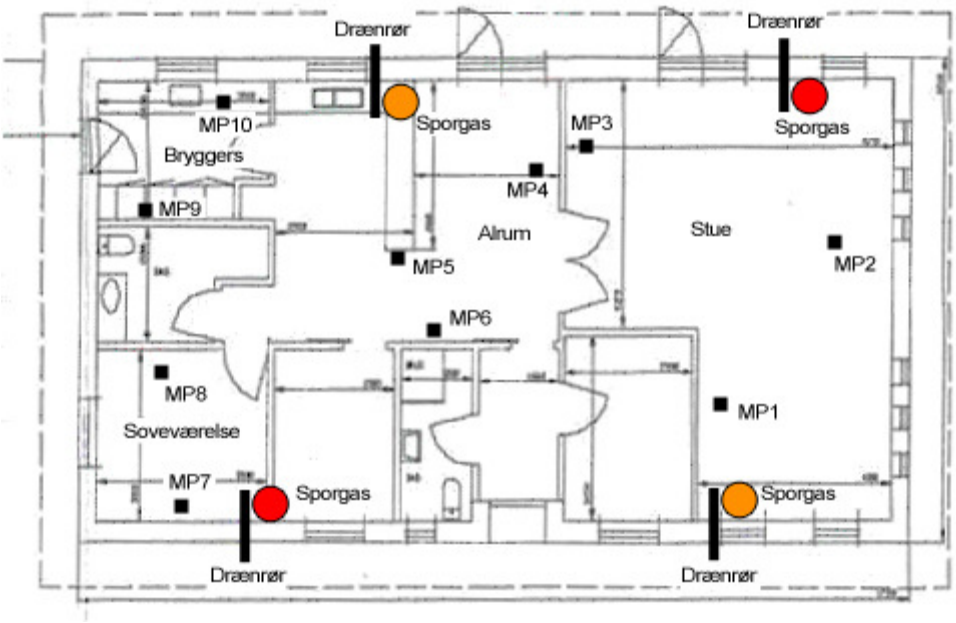
2 Forsøg 1 - Næstved

Undersøgelsen er gennemført i et enfamiliehus i Næstved, bygget i 2000. Huset er opført efter BR-S 98, men uden radonsikring.

Som afværge over for den manglende radonsikring, er der etableret afhjælpning ved indbygning af passiv ventilation under gulvet. Ventilationen er etableret ved indboring af 4 dræn i letklinkelaget, se figur 1 ovenfor. Ventilationen/undertrykket under gulvet genereres af den trykdifferens, der opstår på bygningens to sider (luv/læ) som et resultat af vindpåvirkning.

Drænet er etableret med en indføringsdybde på ca. 0,5 m indenfor indvendig sokkel. Drænet er etableret som et ø63 mm PVC rør, der over terræn er tilsluttet et lodret afkast/luftindtag af ø75 galvaniserede slidsede rør, se figur 2. Pilotforsøget i Næstved er udført ved at demontere afkast/luftindtag (figur 2) for blotlægning af indgang til dræn. Herefter er indlagt to

forskellige typer sporgas (PMCH sporgas: orange kilde, PDCH sporgas: rød kilde) fordelt i de fire dræn (se figur 1). Afkast/luftindtag blev afproppet, så ventilationen indstilledes i måleperioden. I bygningens indeklima er herefter foretaget måling ved ophængning af adsorptionsrør i 10 målepunkter (MP1-MP10).



Figur 1: Situationsplan for boligen i Næstved. Registrering af sporgas i indeklimaet ved 10 målepunkter, MP1-MP10.

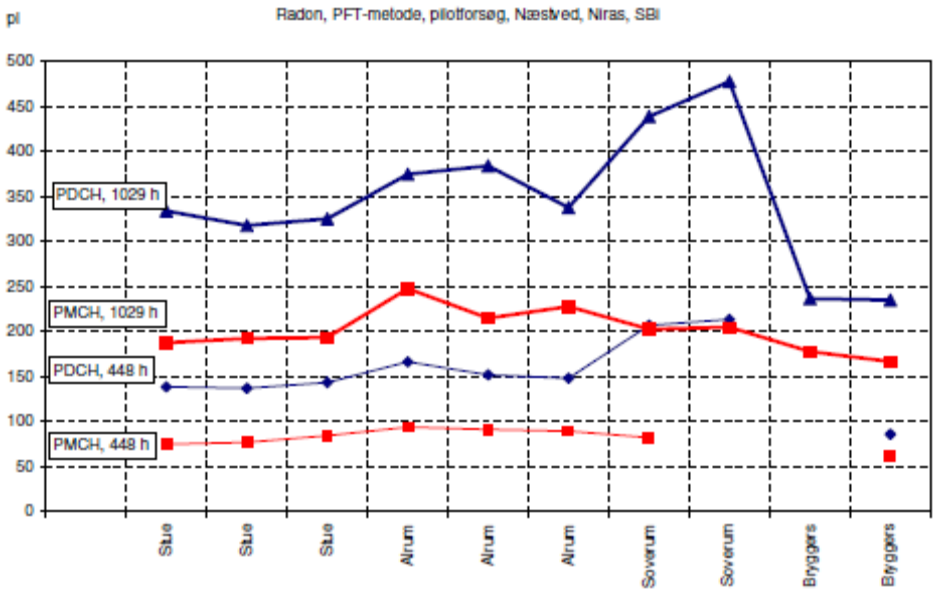
Figur 2: Luftindtag.

Målingerne blev gennemført over en periode på henholdsvis 448 timer (18 dage) og 1029 timer (43 dage). De endelige måleresultater ses af nedenstående figur 3. Koncentrationen er her angivet picoliter. Rød kurve er PDCH sporgas (rød kilde), blå kurve er PMCH sporgas (orange kilde).

Generelt viser forsøget tydeligt gennemslag af sporstof i boligen, med variationer i kurven som et sandsynligt udtryk for større eller mindre utæthed i det givne rum.

Den orange sporgaskilde (PMCH) afgasser hurtigere end den røde sporgaskilde (PDCH), hvilket kan aflæses på grafen (større indhold af orange kilde i indeklimaet, blå kurve).

På baggrund af forsøget konkluderes, at utæthederne i en "almindelig" gulvkonstruktion sandsynligvis vil være tilstrækkelige til, at sporgas udlagt under gulvet kan registreres i indeklimaet. Det besluttes derfor, at gennemføre yderligere et forsøg til dokumentation af metoden og denne gang i en bolig med traditionel tæthed (radonsikring) i gulvkonstruktionen. Forsøg nr. 2 er beskrevet nedenfor.



Figur 3: Pilotforsøg i Næstved, indhold af sporgas i indeklima, MP1-MP10.

3 Forsøg 2 - Horsens

Under byggeriet af 5 af de 16 enfamiliehuse i Horsens er der udlagt sporgas i letklinkelaget under terrændækket. Det var oprindeligt tanken, at disse skulle benyttes til efterfølgende sammenlignende vurderinger omkring tætheden af de enkelte hustypers radonsikring. Under projektforløbet blev disse forsøg dog droppet til fordel for thoronmålinger, se afsnit 6.3.2 i hovedrapporten, eller afsnit 4 herunder.

Forud for denne beslutning, blev der dog foretaget to målerunder med PFT sporgasser i én af de opførte boliger.

I letklinkelaget under den pågældende bolig i anlægsfasen er udlagt én PMCP og én PMCH sporgaskilde, se bilag 7.2. Sporgasserne er udlagt i sandpuden under isoleringslaget

Efter boligen var taget i anvendelse blev der anbragt adsorptionsrør i 9 målepunkter i indeklimaet, og målt over to omgange; 29. nov. – 12. dec. 2008 (ca. 14 dage) og 29. nov. – 29. dec. 2008 (ca. 28 dage). Resultaterne af disse målinger er indeholdt i bilag 7.2.

Konklusionen på de gennemførte målinger, er som for forsøg 1, at utæthederne i en almindelig gulvkonstruktion vurderes at være tilstrækkelige til, at en sporgas udlagt under gulv kan registreres i indeklima.

4 Samlet konklusion

Fra de to forsøg konkluderes sammenlagt på PFT sporgasmålinger til brug i hovedprojektet i Horsens:

Sporgas udlagt under traditionelle terrændækskonstruktioner kan spores i indeklimaet. Det er meget usikkert forud for målingerne at vurdere, om der vil være en tydelig differentiering grundet evt. variationer i tætheden eller om sporgasindtrængningen er så markant, at forskelle vanskeligt kan identificeres.

Til sammenligning opnås ved Thoronmålingerne en mere specifik og direkte lokalisering af indtrængningsstederne for radon til indeklima.

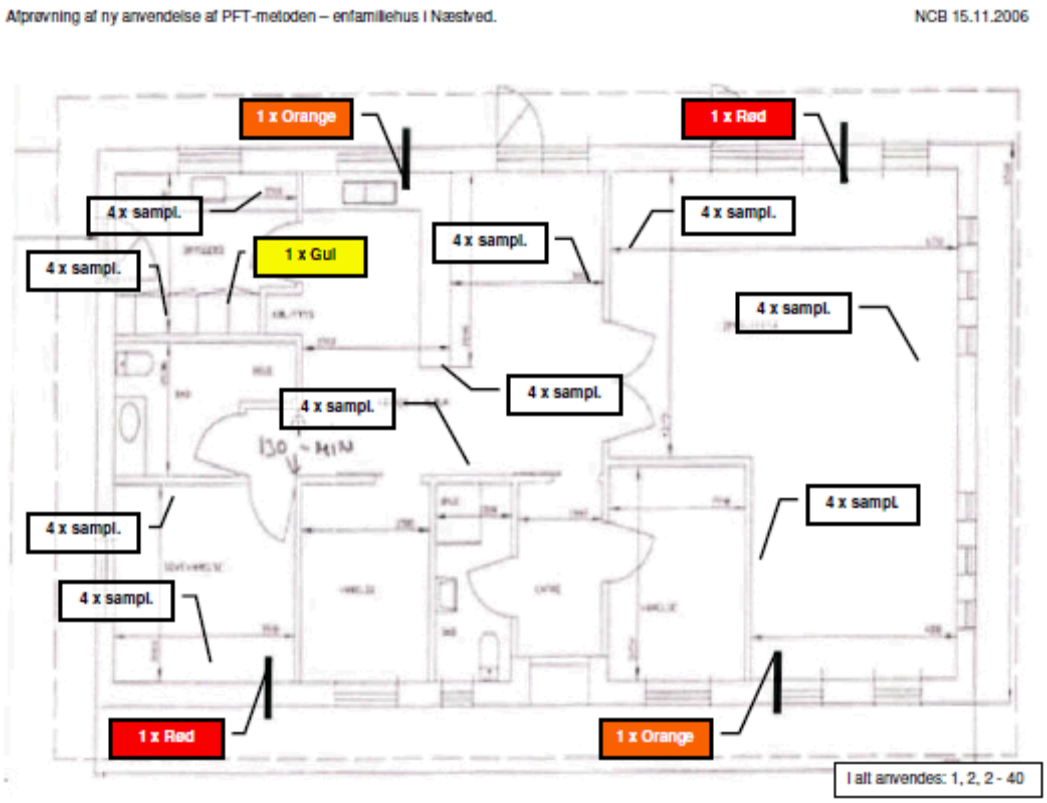
Sporgasmålinger er endvidere relativt dyre i indkøb samt efterfølgende måling og er derfor af økonomiske grunde kun udlagt i alt i 5 boliger på den primære forsøgslokalitet i Horsens. Samlet set vurderes det statistiske materiale derved at være markant bedre ved anvendelse af thoronmålinger frem for PFT-sporgasser.

Bilag 7.2

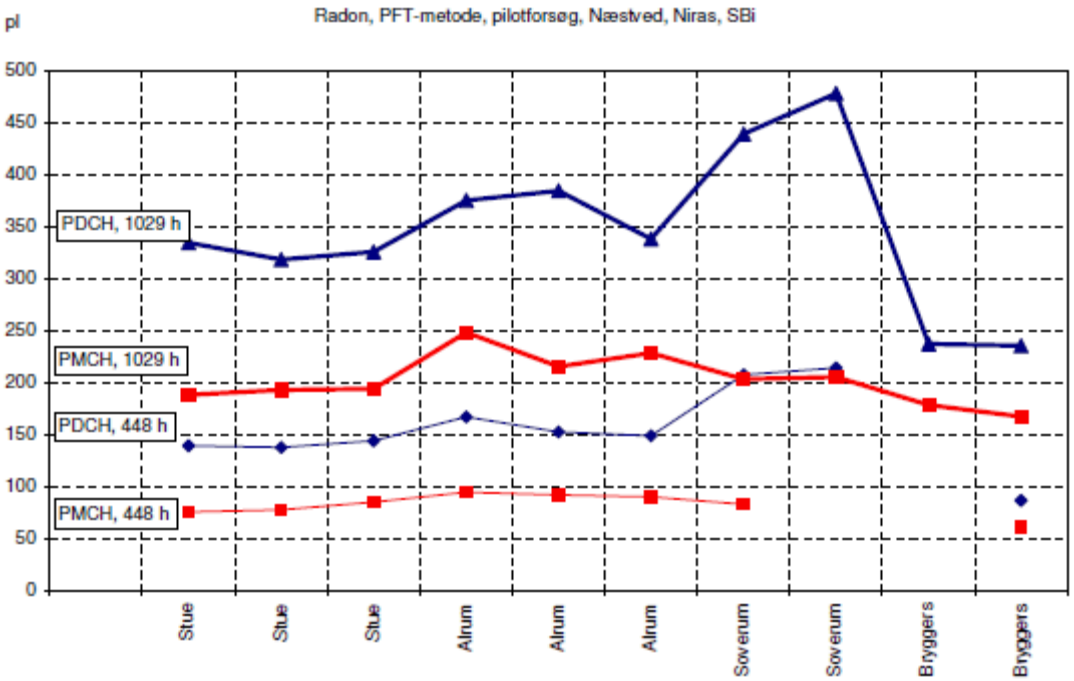
PFT-sporgasmålinger
Næstved og Horsens

PFT Sporgasundersøgelse: Næstved.

Figur 1: Situationsplan over målingerne.



Figur 2: Måleresultater for hhv. 448 og 1029 timers eksponering.



Notat

Statens Byggeforskningsinstitut
AALBORG UNIVERSITET

Afdelingen for Energi & Miljø
Niels Christian Bergsøe

18. mar. 2009
Journal nr. Radonproj.

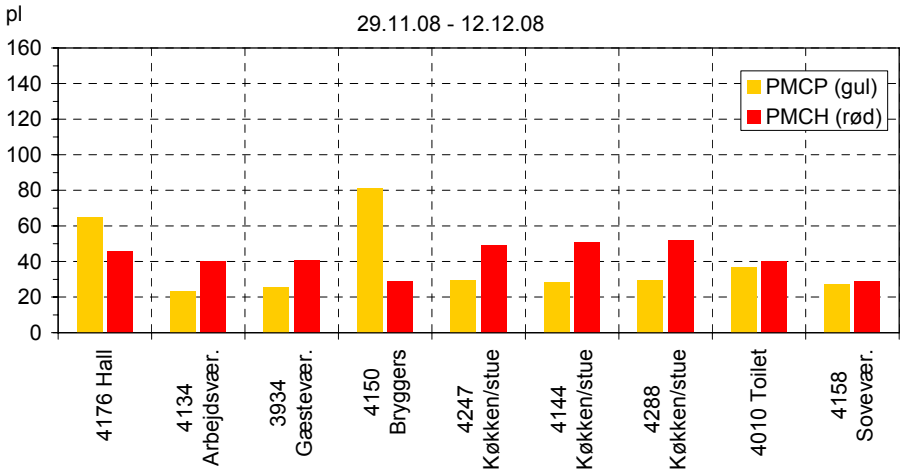
Radonprojekt – PFT i kapillarbrydende lag

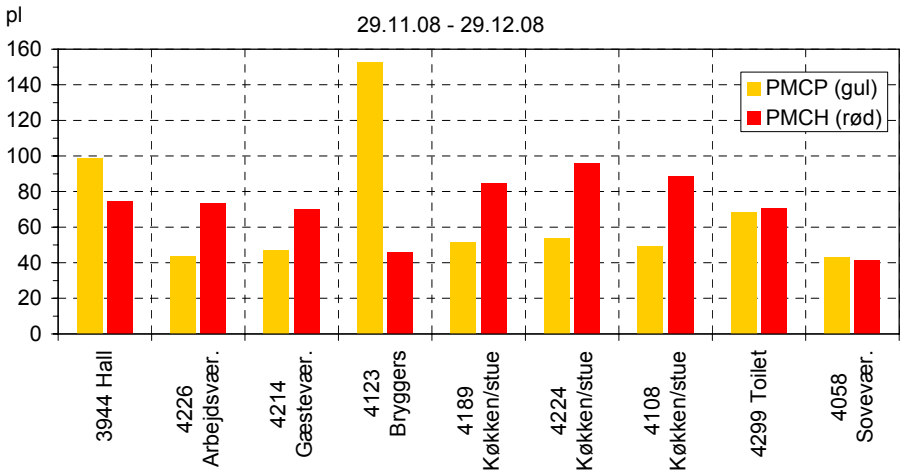
I det kapillarbrydende lag under terrændækket er der anbragt én PMCP (gul) PFT-sporgaskilde og én PMCH (rød) PFT-sporgaskilde, se vedlagte plan- og snittegninger, side 6 og 7.

I beboelsen har der været anbragt passive adsorptionsrør i 9 positioner. I hver position har der været anbragt to rør. Rørene er taget ud ad to omgange. Det første sæt er taget ud efter ca. 14 dages eksponering, og det andet sæt er taget ud efter ca. 28 dages eksponering. De to perioder har været henholdsvis fra den 29. november til den 12. december 2008 og fra den 29. november til den 29. december 2008.

Figurerne nedenfor viser indholdet af sporgas, der er fundet i de to sæt adsorptionsrør. Rørene er analyseret ved termisk desorption og gaschromatografi.

Antages det, at kilderne har været anbragt i beboelsen, kan teoretiske luftskifter som vist på de følgende fire sider beregnes.





v. 43

PFT-measurement

Building : Mette Neerup Jeppesen, NIRAS
Project : Radonprojekt
Measurement Start: 29.11.08 at 16:30
Measurement End : 12.12.08 at 17:30
Duration: 313,0 hours

Date: 18.03.2009
Enclosure: 1a
Analysis: 19.12.2008

Results

Total infiltration rate: 295,0 m^3/h (49,5) [17%]
Total air change rate: 1,17 h^{-1} (0,20)

	Infiltration			Exfiltration			Total		
Zone	[m^3/h]	SD	SD%	[m^3/h]	SD	SD%	[m^3/h]	SD	SD%
1	295,0	49,5	[17]	295,0	49,5	[17]	295,0	49,5	[17]
2									
3									

	Interzone		
Zone	[m^3/h]	SD	SD%
1 → 2			
2 → 3			
1 → 3			

	Interzone		
Zone	[m^3/h]	SD	SD%
2 → 1			
3 → 2			
3 → 1			

Analysis

		Average Zone Concentration [pl/l]	
Zone		PMCP	SD%
1	Hele huset	5,0	[9]
2	Not defined		
3	Not defined		

		Zone and emitter data					
Zone		Volume [m^3]	Type	Number	Ref. rate [nl/h]	Temp. [°C]	Est. rate [nl/h]
1	Hele huset	253,0	PMCP	1	3003	10,0	1474
2	Not defined						
3	Not defined						

Rackfactor(s): PMCP: 0,510

Uncertainty GC: 10 %
Uncertainty mixing: 5 %
Uncertainty samplers: 2 %
Uncertainty emitters: 10 %

Uncertainty concentration matrix: 0,12
Uncertainty air flow matrix: 0,17
Condition number of conc. matrix: 1,00

Samplers

Measured Volume [pl]

	Zone 1		Zone 2	Zone 3	Excluded samplers			
	Sampler	PMCP	Sampler	Sampler	Sampler	PMCP	PMCH	PDCH
1	4134	23,4			4176	64,8	0,0	0,0
2	3934	25,7			4150	80,9	0,0	0,0
3	4247	29,3			4010	36,8	0,0	0,0
4	4144	28,5						
5	4288	29,8						
6	4158	27,3						

v. 43

PFT-measurement

Building : Mette Neerup Jeppesen, NIRAS
Project : Radonprojekt
Measurement Start: 29.11.08 at 16:30
Measurement End : 12.12.08 at 17:30
Duration: 313,0 hours
Date: 18.03.2009
Enclosure: 1b
Analysis: 19.12.2008

Results

Total infiltration rate: 110,6 m^3/h (29,8) [27%]
Total air change rate: 0,44 h^{-1} (0,12)

	Infiltration			Exfiltration			Total		
Zone	[m^3/h]	SD	SD%	[m^3/h]	SD	SD%	[m^3/h]	SD	SD%
1	110,6	29,8	[27]	110,6	29,8	[27]	110,6	29,8	[27]
2									
3									

	Interzone		
Zone	[m^3/h]	SD	SD%
1 → 2			
2 → 3			
1 → 3			

	Interzone		
Zone	[m^3/h]	SD	SD%
2 → 1			
3 → 2			
3 → 1			

Analysis

		Average Zone Concentration [pl/l]	
Zone		PMCH	SD%
1	Hele huset	7,3	[21]
2	Not defined		
3	Not defined		

		Zone and emitter data					
Zone		Volume [m^3]	Type	Number	Ref. rate [nl/h]	Temp. [°C]	Est. rate [nl/h]
1	Hele huset	253,0	PMCH	1	1655	10,0	812
2	Not defined						
3	Not defined						

Rackfactor(s): PMCH: 0,460

Uncertainty GC: 10 %
Uncertainty mixing: 5 %
Uncertainty samplers: 2 %
Uncertainty emitters: 10 %

Uncertainty concentration matrix: 0,24
Uncertainty air flow matrix: 0,27
Condition number of conc. matrix: 1,00

Samplers

	Measured Volume [pl]								
	Zone 1		Zone 2	Zone 3	Excluded samplers			
	Sampler	PMCH	Sampler	Sampler	Sampler	PMCP	PMCH	PDCH
1	4176	45,6						
2	4134	40,4						
3	3934	40,6						
4	4150	29,1						
5	4247	49,1						
6	4144	50,9						
7	4288	52,2						
8	4010	40,2						
9	4158	28,7						

v. 43

PFT-measurement

Building : Mette Neerup Jeppesen, NIRAS
Project : Radonprojekt
Measurement Start: 29.11.08 at 16:30
Measurement End : 29.12.08 at 16:00
Duration: 719,5 hours
Date: 18.03.2009
Enclosure: 2a
Analysis: 12.01.2009

Results

Total infiltration rate: 386,9 m^3/h (65,7) [17%]
Total air change rate: 1,53 h^{-1} (0,26)

	Infiltration			Exfiltration			Total		
Zone	[m^3/h]	SD	SD%	[m^3/h]	SD	SD%	[m^3/h]	SD	SD%
1	386,9	65,7	[17]	386,9	65,7	[17]	386,9	65,7	[17]
2									
3									

	Interzone		
Zone	[m^3/h]	SD	SD%
1 → 2			
2 → 3			
1 → 3			

	Interzone		
Zone	[m^3/h]	SD	SD%
2 → 1			
3 → 2			
3 → 1			

Analysis

		Average Zone Concentration [pl/l]	
Zone		PMCP	SD%
1	Hele huset	3,8	[9]
2	Not defined		
3	Not defined		

		Zone and emitter data					
Zone		Volume [m^3]	Type	Number	Ref. rate [nl/h]	Temp. [°C]	Est. rate [nl/h]
1	Hele huset	253,0	PMCP	1	3003	10,0	1474
2	Not defined						
3	Not defined						

Rackfactor(s): PMCP: 0,510

Uncertainty GC:	10 %	Uncertainty concentration matrix:	0,12
Uncertainty mixing:	5 %	Uncertainty air flow matrix:	0,17
Uncertainty samplers:	2 %	Condition number of conc. matrix:	1,00
Uncertainty emitters:	10 %		

Samplers

Measured Volume [pl]

	Zone 1		Zone 2	Zone 3	Excluded samplers			
	Sampler	PMCP	Sampler	Sampler	Sampler	PMCP	PMCH	PDCH
1	4226	43,6			3944	98,8	0,0	0,0
2	4214	46,6			4123	152,4	0,0	0,0
3	4189	51,6			4299	68,5	0,0	0,0
4	4224	53,9						
5	4108	49,1						
6	4058	42,7						

v. 43

PFT-measurement

Building : Mette Neerup Jeppesen, NIRAS — Date: 18.03.2009
Project : Radonprojekt — Enclosure: 2b
Measurement Start: 29.11.08 at 16:30 — Duration: 719,5 hours
Measurement End : 29.12.08 at 16:00 — Analysis: 12.01.2009

Results

Total infiltration rate: 148,6 m^3/h (46,9) [32%]
Total air change rate: 0,59 h^{-1} (0,19)

	Infiltration			**Exfiltration**			**Total**		
Zone	[m^3/h]	SD	SD%	[m^3/h]	SD	SD%	[m^3/h]	SD	SD%
1	148,6	46,9	[32]	148,6	46,9	[32]	148,6	46,9	[32]
2									
3									

	Interzone		
Zone	[m^3/h]	SD	SD%
1 → 2			
2 → 3			
1 → 3			

	Interzone		
Zone	[m^3/h]	SD	SD%
2 → 1			
3 → 2			
3 → 1			

Analysis

		Average Zone Concentration [pl/l]	
Zone		PMCH	SD%
1	Hele huset	5,5	[25]
2	Not defined		
3	Not defined		

		Zone and emitter data					
Zone		Volume [m^3]	Type	Number	Ref. rate [nl/h]	Temp. [°C]	Est. rate [nl/h]
1	Hele huset	253,0	PMCH	1	1655	10,0	812
2	Not defined						
3	Not defined						

Rackfactor(s): PMCH: 0,460

Uncertainty GC: 10 %
Uncertainty mixing: 5 %
Uncertainty samplers: 2 %
Uncertainty emitters: 10 %

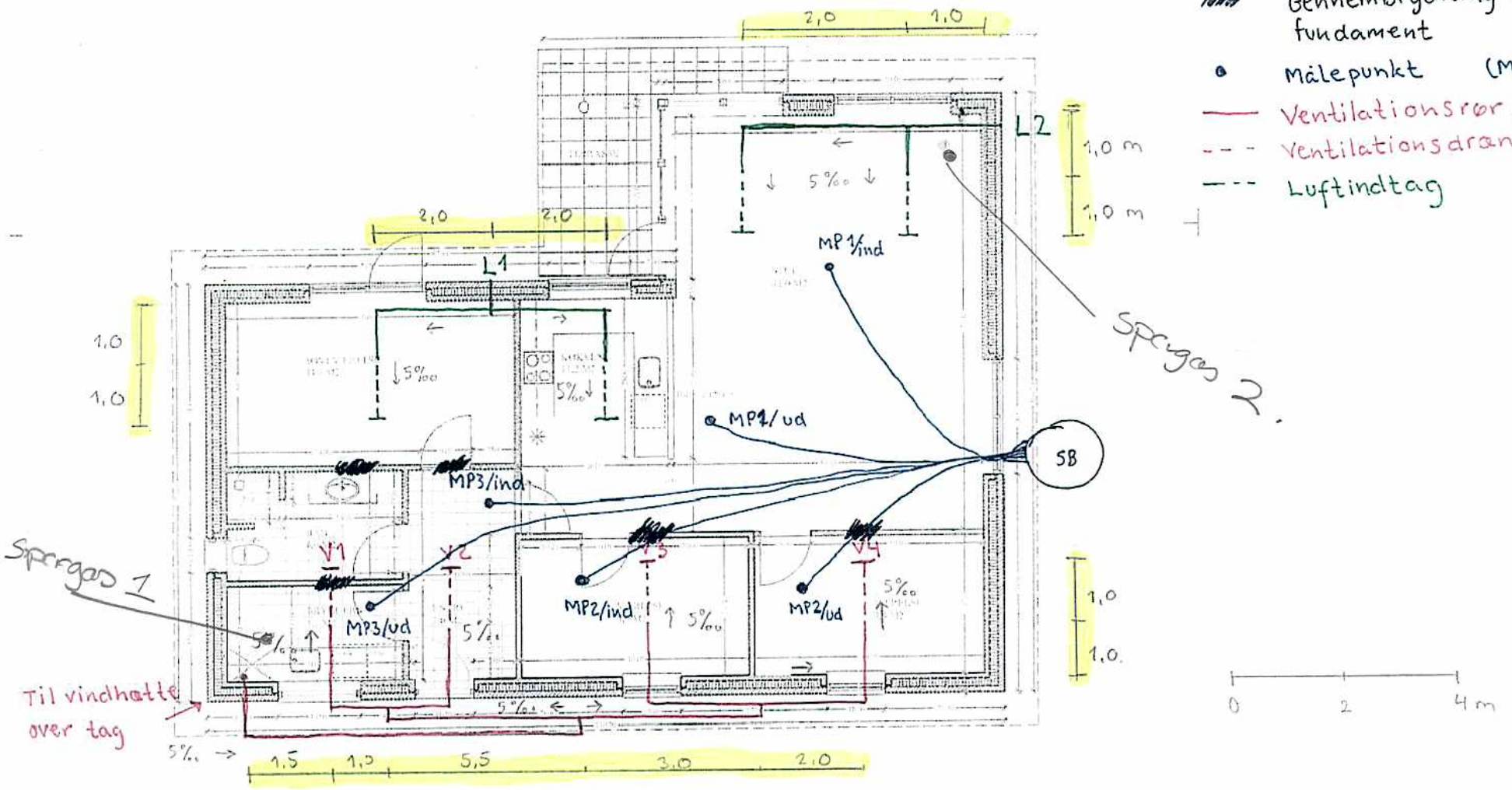
Uncertainty concentration matrix: 0,27
Uncertainty air flow matrix: 0,32
Condition number of conc. matrix: 1,00

Samplers

Measured Volume [pl]

	Zone 1		Zone 2	Zone 3	Excluded samplers			
	Sampler	PMCH	Sampler	Sampler	Sampler	PMCP	PMCH	PDCH
1	3944	74,5						
2	4226	73,2						
3	4214	69,8						
4	4123	45,9						
5	4189	84,4						
6	4224	96,0						
7	4108	88,8						
8	4299	70,8						
9	4058	41,4						

"BOLLERSKOVHØJ" - 21 EJERBOLIGER



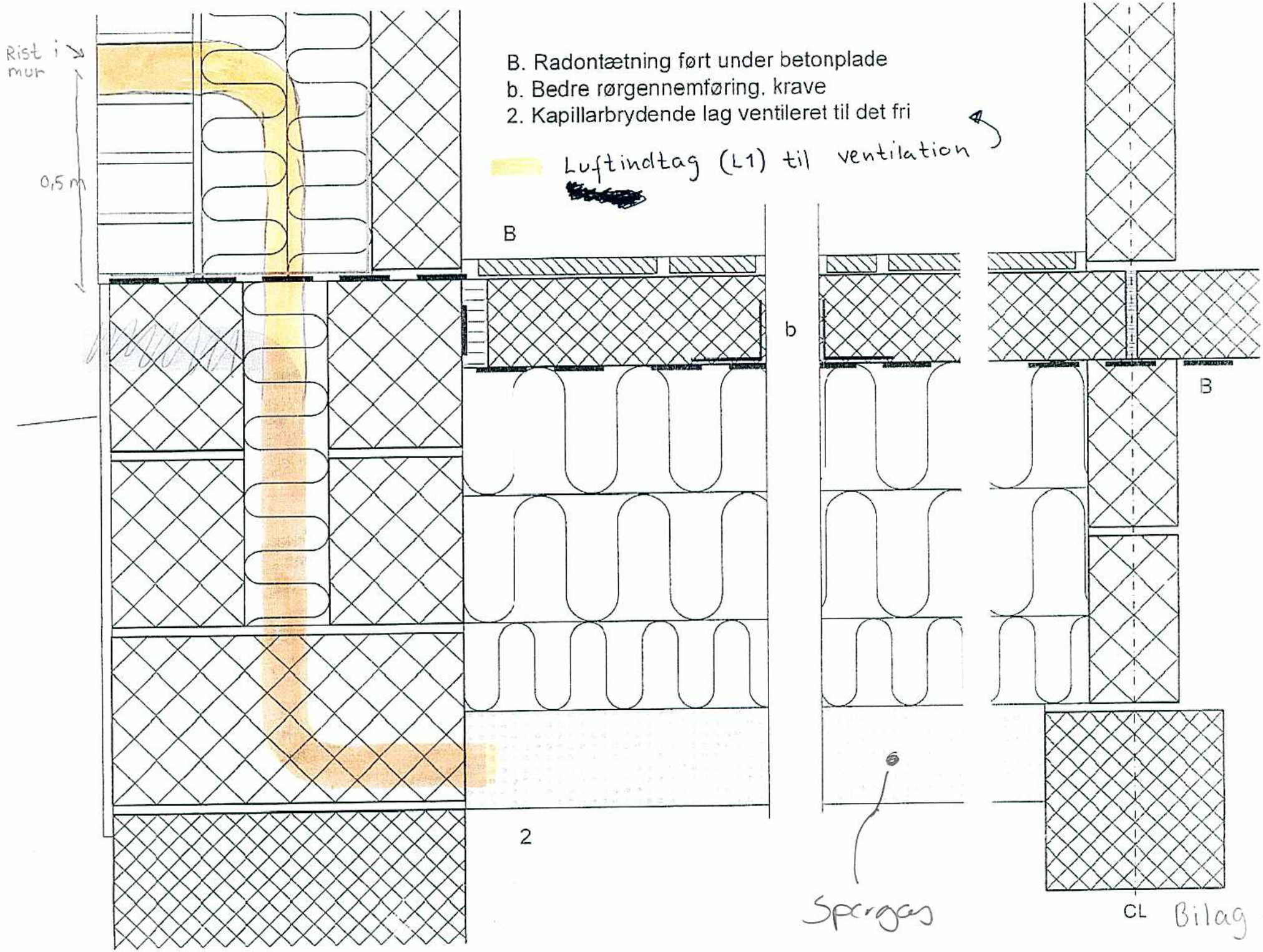
KUBEN

1.11

TEGNESTUEN ØSTJYLLAND AS

PLAN AF BOLIG 23,7 M2
MÅL 1:50

Bilag 1


Rist i mur
0,5 m
B. Radontætning ført under betonplade
b. Bedre rørgennemføring. krave
2. Kapillarbrydende lag ventileret til det fri
Luftindtag (L1) til ventilation
B
b
B
2
Spærgas
CL

Bilag 3

Bilag 8

Passive ventilationsdræn i det kapillarbrydende lag,

Bilag 8.1

Særlige arbejdsbetingelser (SAB),
Indbygning af ventilationsdræn i gulvkonstruktion

Notat

NIRAS
Åboulevarden 80
Postboks 615
DK-8100 Århus C

Telefon 8732 3232
Fax 8732 3200
E-mail niras@niras.dk

CVR-nr. 37295728
Tilsluttet F.R.I

BOLLERSKOV III - RADONSIKRING

INDBYGNING AF VENTILATIONSDRÆN I GULV-KONTRUKTION

Særlige arbejdsbetingelser (SAB)

Juni 2007

Indholdsfortegnelse

1. Særlig arbejdsbeskrivelse (SAB) 2
1.1 Ventilationsdræn i gulv 2
1.1.1 Arbejdets omfang 2
1.1.2 Materialer 2
1.1.3 Arbejdets udførelse 2
1.2 Målepunkter under gulv 4
1.2.1 Arbejdets omfang 4
1.2.2 Materialer 4
1.2.3 Arbejdets udførelse 4

Bilag

Bilag1 Ventilation, hus 123,7 m^2
Bilag2 Ventilation, hus 99,6 m^2
Bilag3 Opføring af dræn i hulmur

1. Særlig arbejdsbeskrivelse (SAB)

1.1 *Ventilationsdræn i gulv*

1.1.1 *Arbejdets omfang*

Arbejdet omfatter den komplette udførelse af arbejdet beskrevet nedenfor inkl. bilag.

- Levering og etablering af ventilationsdræn og luftindtag under bygning (V1-V4 og L1-L2). Dræn etableres i kapillarbrydende lag samt fremføres via teknikskab til vindhætte over tag. Luftindtag etableres i kapillarbrydende lag samt fremføres via hulmur til det fri.

Entreprisen omfatter alle ydelser for fremføring af ventilationsdræn, luftindtag, som skitseret på bilag 1, 2 og 3.

1.1.2 *Materialer*

Drænrør (ventilationsdræn og luftindtagsdræn)
Ventilationsdræn (V1-V4) og luftindtagningsdræn (L1-L2) i gulv udføres som ø80mm. PVC-drænrør, 1,5 mm slidser (indløbsareal 21,0 cm^2/m). Lev. som fa. Wavin, tlf. 8696 2000 varenr. 071.0634. Alle drænrør er placeret i luftgennemtrængeligt kapillarbrydende lag.

Blindrør (ventilationsrør/afkastrør og luftindtagsrør)
Blindrør (rørstykke, der tilsluttes drænrørene i det kapillarbrydende lag, og fremføres til vindhætte over tag for ventilationsdrænene og til luftindtag i ydermur for luftindtagsdrænene) udføres som ø80 mm PVC som fabrikat Wavin, inkl. nødvendige fittings og overgangsstykker til drænrør. Røret fixeres i nødvendigt omfang.

Ventilationshætte
Ventilationshætte som SupaVent 10". Forhandler RoTek I/S, tlf. 97374292.

1.1.3 *Arbejdets udførelse*

Generelt
Vinkelafvigelser i samlinger skal være i overensstemmelse med rørproducenternes deklarationer.

Alle komponenter, rør mv. monteres i henhold til leverandørens anvisninger og monteres som anvist på tegninger. Alle samlinger udføres lufttætte.

Retningsændringer på rør udformes således, at der opnås mindst muligt tryktab i installationen.

Ventilations- og luftindtagsdræn i det kapillarbrydende lag
Drænrør placeres horisontalt som vist på bilag 1 og 2, og påmonteres blindrør i en afstand på 1 meter fra indvendig side af fundament som anført på tegningen.

Ledningerne lægges og samles i henhold til leverandørens anvisninger og forskrifter samt i henhold til gældende normer. Af normer kan bl.a. nævnes:

- DS455 Norm for tæthed af afløbssystemer i jord.
- DS 430 Norm for lægning af fleksible ledninger i jord

Rørerne udlægges på et min. 5 cm tykt lag letklinker, hvorefter der efterfyldes til drænrøret er fuldt dækket af letklinker med en komprimeret overhøjde på min 5 cm (tag højde for krav om bagfald). Evt. alternativt materiale skal godkendes af tilsynet. Drænrørerne må ikke udlægges i ikke ventilerbart kapillarbrydende lag som f.eks. polystyren.

For at hindre indtrængning af urenheder i ventilationssystemet foretages en tæt og midlertidig afpropning af alle ikke færdig-tilsluttede rørender.

Tolerancer for rørernes placering i vandret og lodret plan er anvist i DS437.

Alle rør udlægges med 5 ‰ fald ind mod bygningen (se retningsmarkering på bilag 1 og 2).

Alle luftindtag (L1 og L2) fremføres via hulmur til det fri 50 cm over terræn, som vist på bilag 3. Luftindtaget afsluttes på ydervæggen med rist.

Alle ventilationsdræn/rør (V1-V4) føres fra det kapillarbrydende lag gennem yderfundamenterne ud af bygningen og herfra tilbage under teknikskabet, hvor det føres gennem gulvet og teknikskabet til vindhætte over taget.

Rørgennemføring i fundamenter og gulv
Alle rørgennemføringer skal være indeholdt i tilbudet. Fundamenterne gennembrydes, som vist på bilag 1 og 2.

Ventilationshætte
Montage af ventilationshætte skal ske iht. leverandørens anvisninger. Overgangen mellem ventilationshætte og afkastrør skal ske med passende og tætte overgangsstykker.

Ventilatorindtag skal ske over kiphøjde.

Taginddækningen skal udføres vandtæt.

1.2 *Målepunkter under gulv*

1.2.1 *Arbejdets omfang*

Arbejdet omfatter den komplette udførelse af arbejdet beskrevet nedenfor inkl. bilag.

- Levering og etablering af målepunkter under bygningen (MP1-MP3). Målepunkter etableres i kapillarbrydende lag samt fremføres enkeltvis til samlebrønd med kugleventiler til prøvetagning.

Entreprisen omfatter alle ydelser for fremføring målepunkter som skitseret på bilag 1 og 2.

1.2.2 *Materialer*

Målepunkter

Prøvetagningspunkterne udføres i et ca. 30 cm langt ø32 PE filterrør, hvori kobberrøret påmonteres med lufttætte samlinger og afproppet i modsatte ende. Kobberrørene føres ubrudte til samlebrønden.

Rørføring til prøvetagningspunkter

Rørføringen for prøvetagningspunkterne under gulvet udføres i ø6 mm kobberrør.

Samlebrønd

Samlebrønden udføres som en ø315 mm PE brønd (rør). Kobberrørene afsluttes her med en ¾" kuglehane med håndtag, som fa. Vandmand, til montering af et ø6 mm kobberrør på afgangen (skal kunne monteres til brug ved prøvetagning).

1.2.3 *Arbejdets udførelse*

Målepunkter, rørføring og samlebrønd

Der etableres 3 målepunkter under gulvet (MP1-MP3), der alle placeres i det kapillarbrydende lag i henhold til bilag 1 og 2.

Prøvetagningspunkterne udføres i ø32 mm PE filterrør, hvori kobberrøret påmonteres med lufttæt samling.

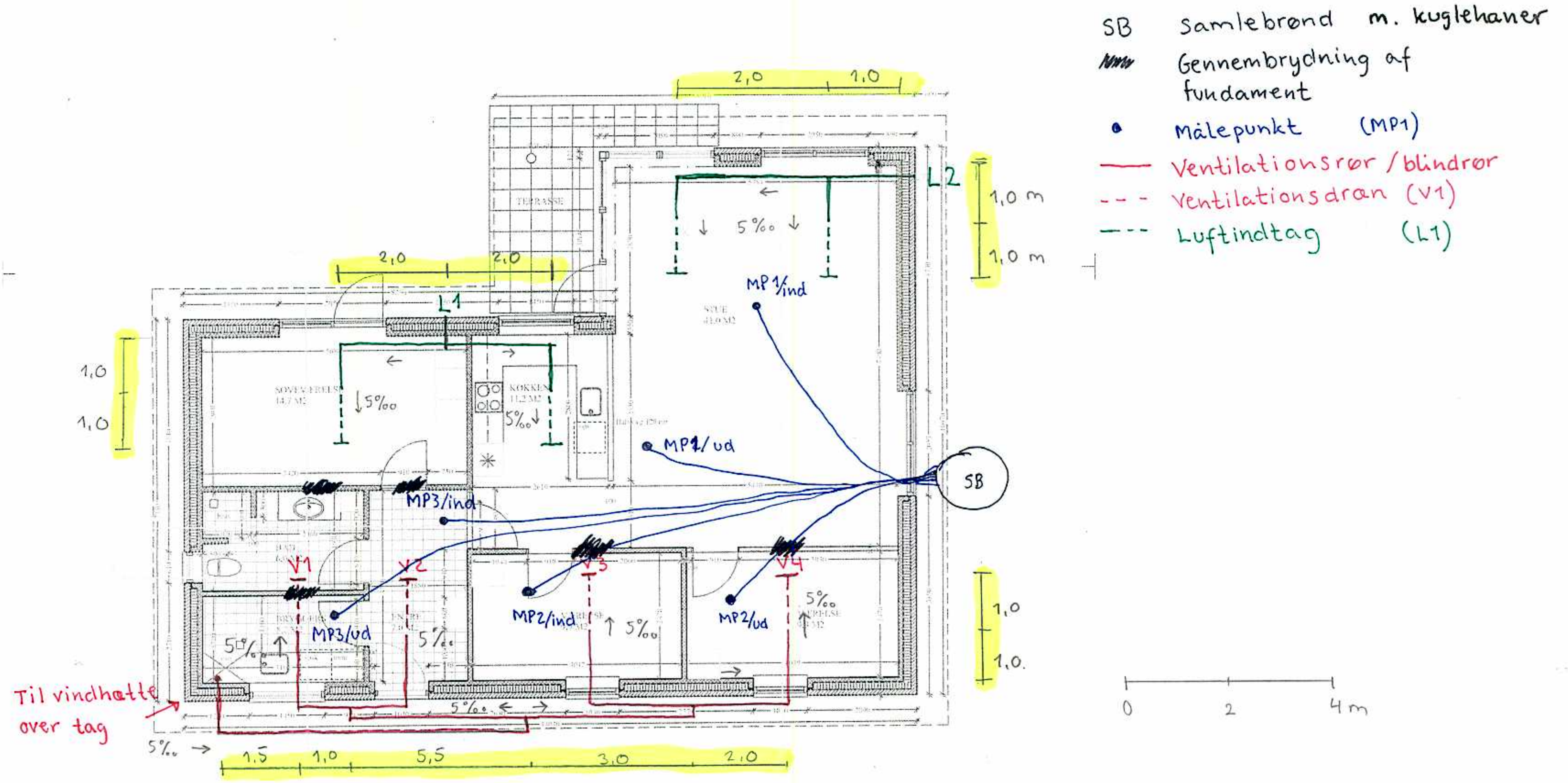
Kobberrørene (i alt 6 stk.) føres i det kapillarbrydende lag frem til fundamentet og føres herigennem. Der udføres en lufttæt, flexibel samling omkring fundamentsgennemføringen.

Kobberrøret føres uden for soklen ca. 15 cm under jorden til en ø315 mm PE brønd (rør). Der udlægges et markeringsbånd over røret. I

brønden føres kobberrøret til en kugleventil påsat en 5 mm PE plade. Kugleventilen skal have en udgang der kan påsættes monteres et 6 mm kobberrør. I bunden af brønden lægges filtersand, og der lukkes med et dæksel i terræn. Rørene markeres med de på tegningen angivne nummereringer således at de kan skelnes fra hinanden i brønden.

Kobberrøret skal føres ubrudt fra målepunktet til afslutningen i brønden uden samlinger.

"BOLLER SKOV III" - 21 EJERBOLIGER



Bilag 1

KUBEN
Vi giver dig plads

"BOLLER SKOV III", PEDER KÆLLERSVEJ 2-31, HORSENS
KUBEN BYG A/S, ÅBOULEVARDEN 70, 8000 ÅRHUS C

PLAN AF BOLIG - 123,7 M2

DATO 16.02.07 MÅL 1:50 LVM SAG NR. 1450B

REV. A 08.03.07

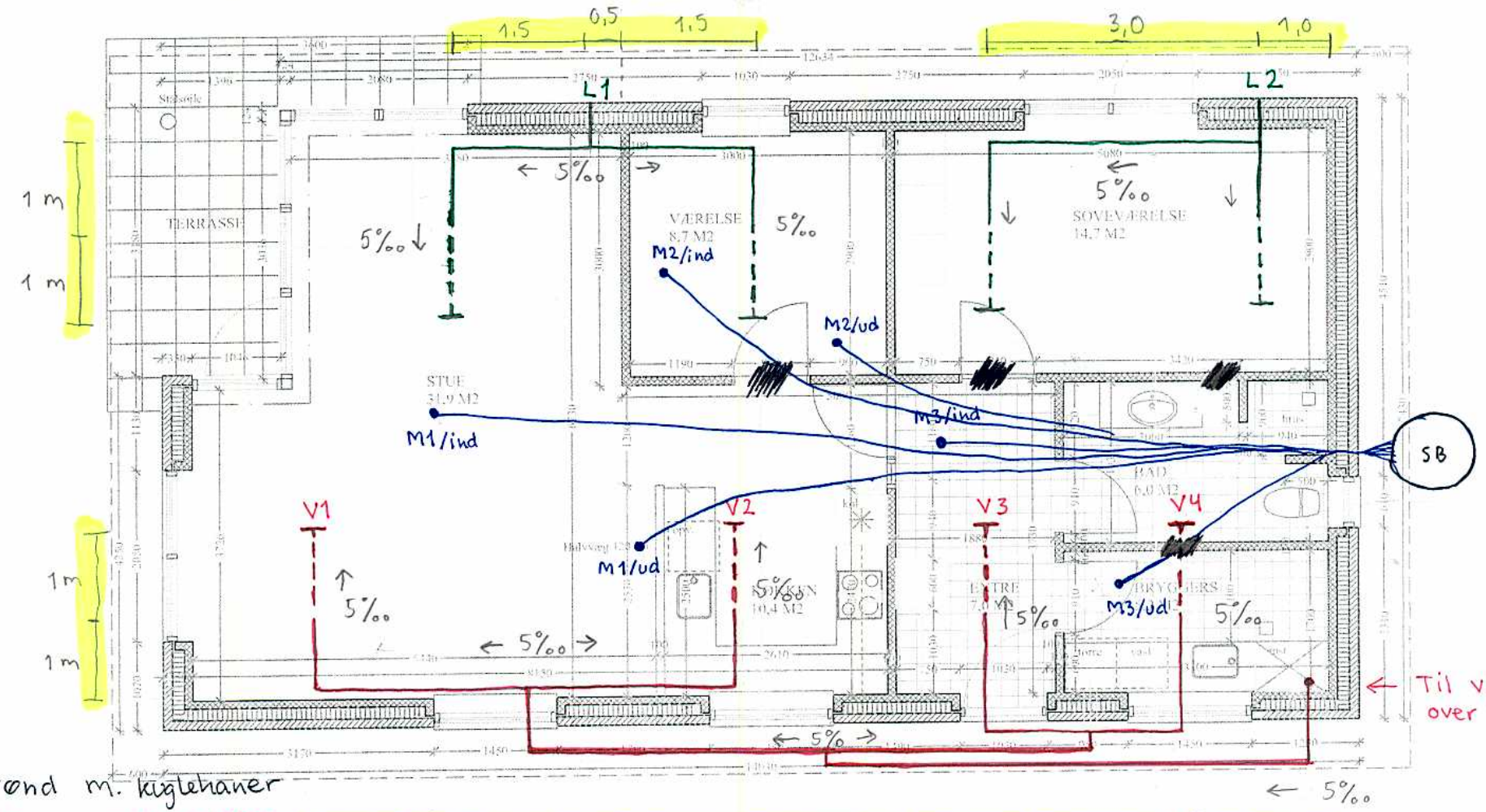
1.11

TEGNESTUEN ØSTJYLLAND AS

PLAN AF BOLIG 123,7 M2
MÅL 1:50

Rev. A: Søjtplan, bad og søjle flyttet. Køkken ændret.

"BOLLER SKOV III" - 21 EJERBOLIGER



SB Samlebrønd m. kuglehaner
Ventilationsrør/blindrør
Ventilationsdræn (V1)
Luft indtag (L1)
Gennembrydning af fundament
Målepunkt (MP1)

PLAN AF BOLIG 99,6 M2
MÅL 1:50

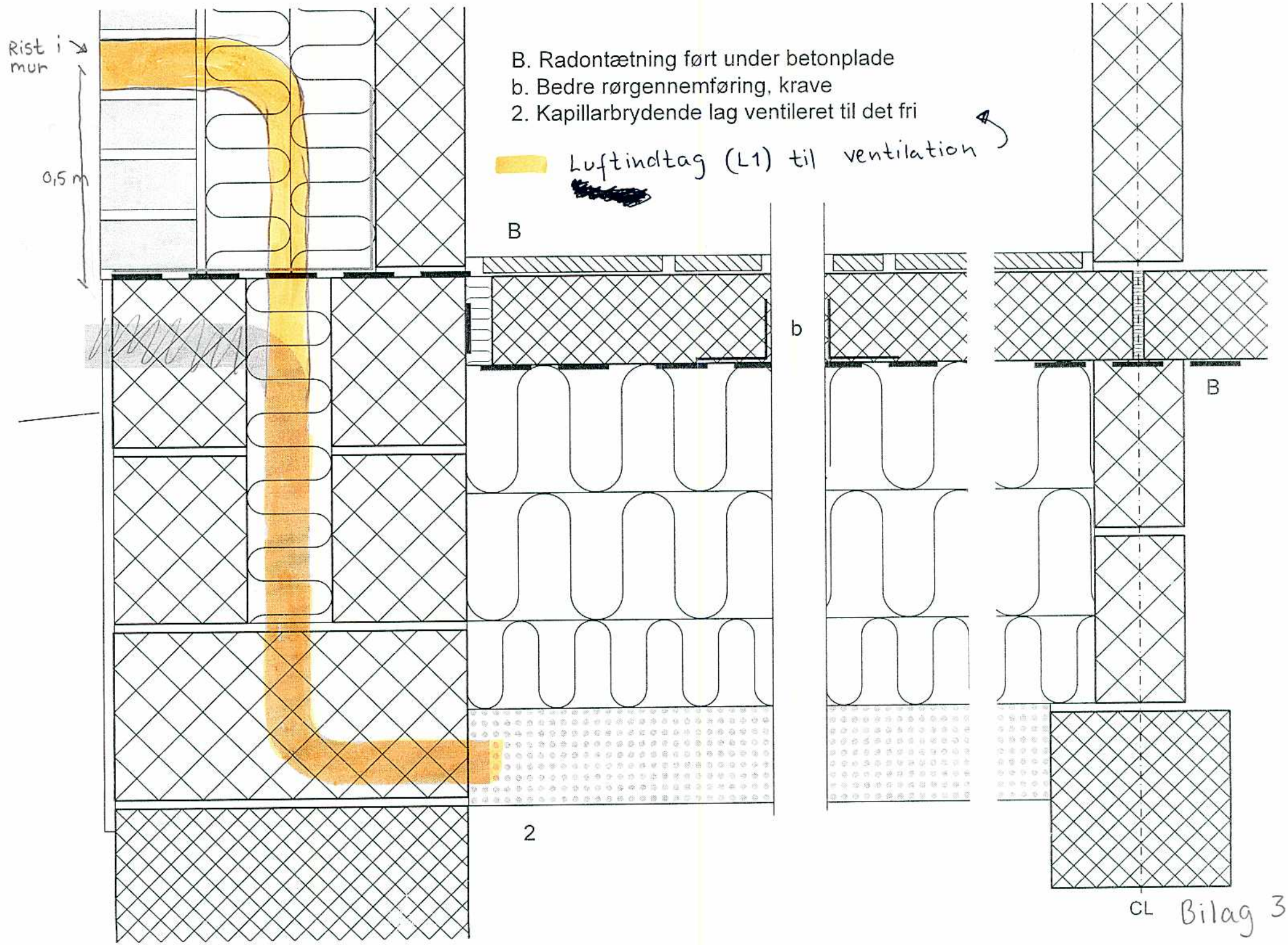
Rev. A: Snitpile og søjle flyttet. Halvvæg og køkken ændret.

KUBEN
Vi giver dig plads

SAG "BOLLER SKOV III", PEDER KÆLLERSVEJ 2-31, HORSENS
BYGHERRE KUBEN BYG A/S, ÅBOULEVARDEN 70, 8000 ÅRHUS C
ÆNDRE PLAN AF BOLIG 99,6 M2
DATO 16.02.07 MÅL 1:50 SIGN LVM SAG NR 1450B
REV. A 08.03.07 REV. B REV. C REV. D

TEGNESTUEN ØSTJYLLAND AS
ARKITEKTER ÅBOULEVARDEN 65 8700 HORSENS TELEFON 75 64 36 00

Bilag 2
1.10


Rist i mur
0,5 m
B. Radontætning ført under betonplade
b. Bedre rørgennemføring, krave
2. Kapillarbrydende lag ventileret til det fri
Luftindtag (L1) til ventilation
B
b
B
2
CL

Bilag 3

Bilag 8.2

Plantegning,
Peder Kællers vej 23

PLAN AF BOLIG 123,7 M2

Stålsøjle

TERRASSE

L2

L1

STUE
41,0 m2
Parket

MP1ind

SOVEVÆRELSE
14,7 m2
Parket

KØKKEN
11,2 m2
Parket

opv.

Halvvæg 120 cm

MP1ud

R

SB

GA

brus

MP3ind

B15

BAD
6,0 m2
Granit

B ⊗ A

V1

V2

V3

V4

MP2ind

MP2ud

BRYGGERS
5,2 m2
Granit

MP3ud

ENTRE
7,0 m2
Granit

GÆSTEVÆRELSE
9,9 m2
Parket

ARBEJDSVÆRELSE
9,9 m2
Parket

GA

inst.

P

V

vask

tørre

Til vindhætte over tag

SIGNATURER:

B	Boring, filtersat
	Ventilationsdræn/ luftindtag (V1/L1)
SB	Samle-/målebrønd m. kuglehaner
■ MP	Målepunkt, kapillarbrydende lag
	Ventilation
○	Radiatorrør
□ GA	Gulvafløb
	Rørgennemføring, (vandrør)
⊗	Ramon 2.2, radonmåler målepunkt
A	Alphaguard målepunkt
B	Barodiver målepunkt
V	Vejrstation, indeklima målep.
P	Tryklogger, indeklima målep.
R	RAD7, plac.

0 1 2 m

Bilag 8.2

Peder Kællers Vej 23, Horsens

Plantegning - Situationsplan

September 2010 1:50 Sag nr. 08.262.00

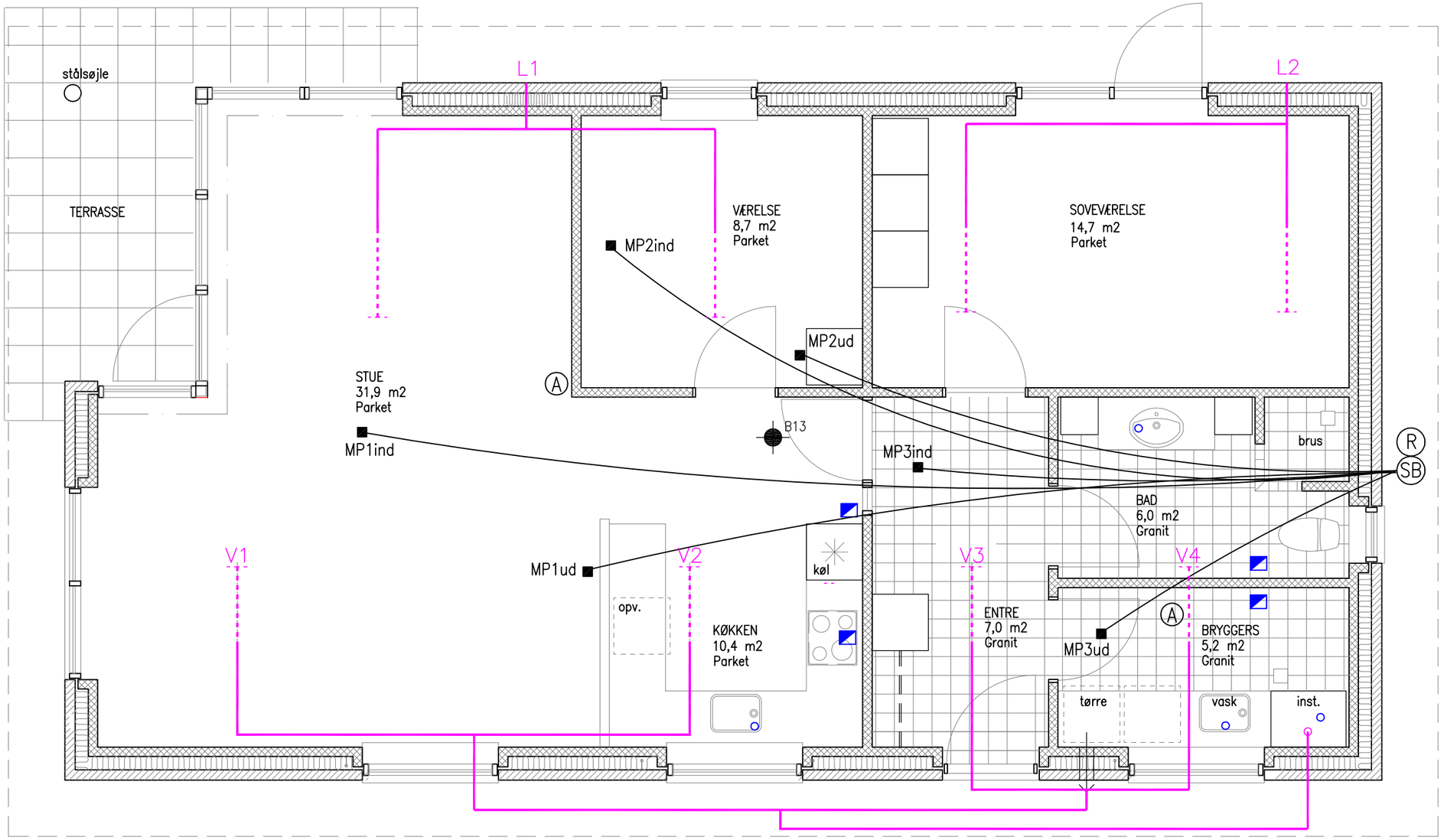
NIRAS

O:\SAG\08\262.00\TEGN\B8.2-200910.dwg

Bilag 8.3

Plantegning,
Peder Kællers vej 31

PLAN AF BOLIG 99,6 M2



SIGNATURER:

- B — Boring, filtersat
- Ventilationsdrøn/ luftindtag (V1/L1)
- SB — Samle-/målebrønd m. kuglehaner
- MP — Målepunkt, kapillarbrydende lag
- Ventilation
- Radiatorrør
- GA — Gulvafløb
- Rørgennemføring, (vandrør)
- A — Alphaguard målepunkt
- R — RAD7, plac.

0 1 2 m

Bilag 8.3

Peder Kællers Vej 31, Horsens

Plantegning - Situationsplan

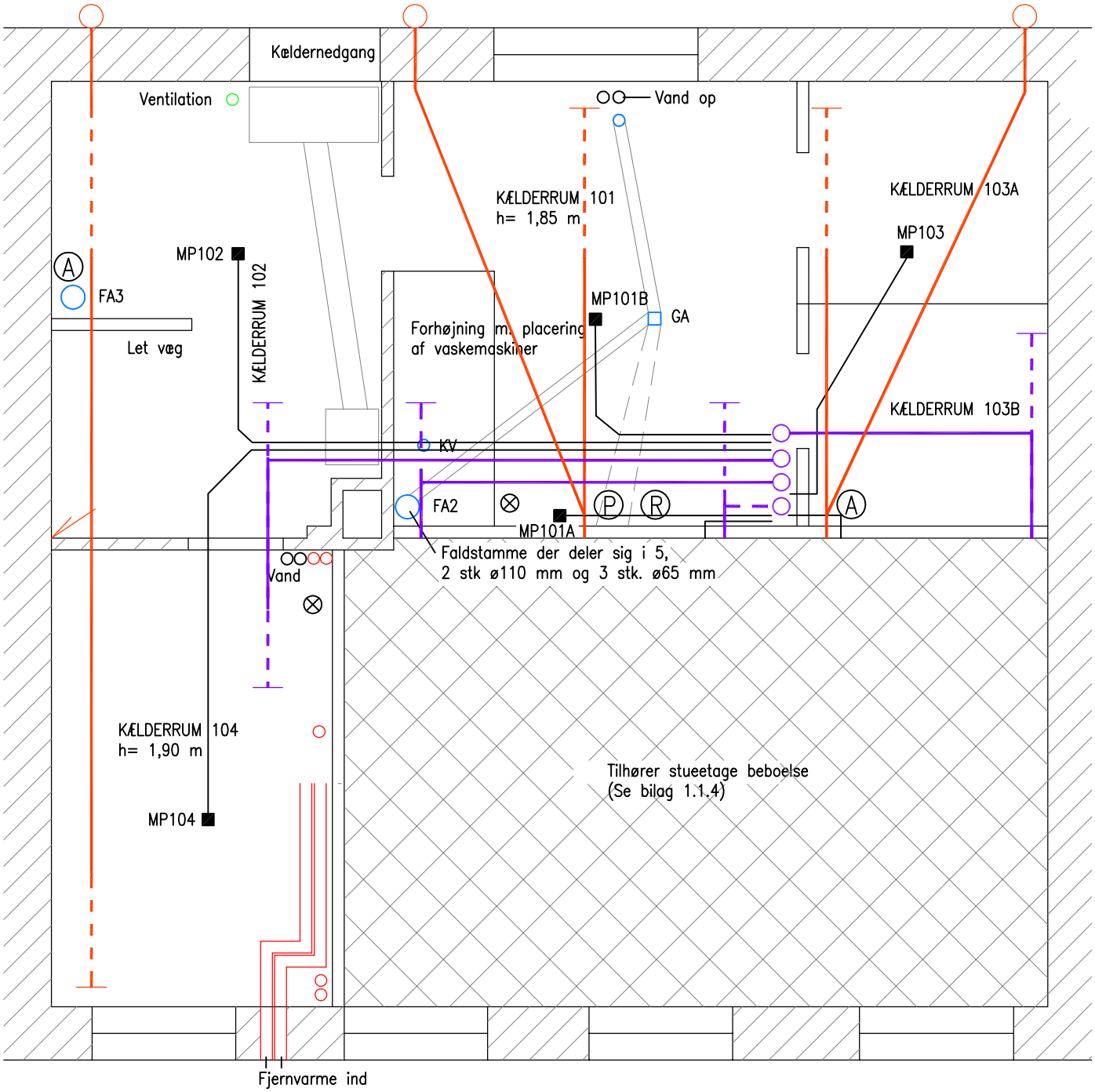
September 2010 1:50 Sag nr. 14.087.00

NIRAS

O:\SAG\08\262.00\TEGN\B8.3-200910.dwg

Bilag 8.4

Plantegning,
Frederiksbjerg Torv 10



SIGNATURER:

B	Boring, filtersat
	Ventilationsdræn
	Luftindtag
MP	Målepunkt, kapillarbrydende lag
FA	Faldstamme
	Varmerør
GA	Gulvafløb
	Rørgennemføring, (vandrør)
	Ramon 2.2, radonmåler målepunkt
A	Alphaguard målepunkt
P	Tryklogger, indeklima målep.
R	RAD7, plac.

0 1 2 m

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

Bilag 8.4

Frederiksbjerg Torv 10, Århus

Plantegning 2 - Kælder - Situationsplan

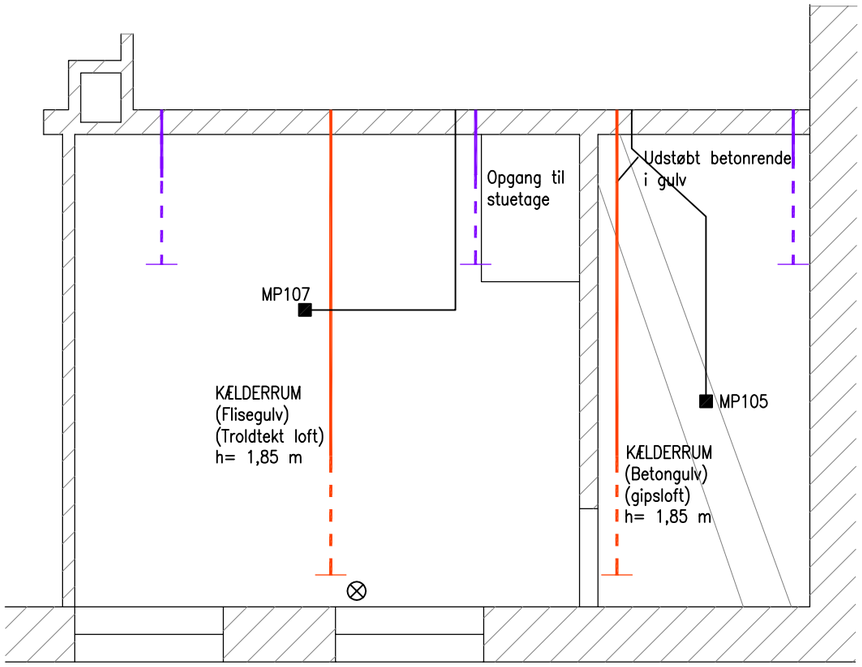
September 2010 1:50 Sag nr. 14.087.00

NIRAS

O:\SAG\08\262.00\TEGN\B8.4.dwg

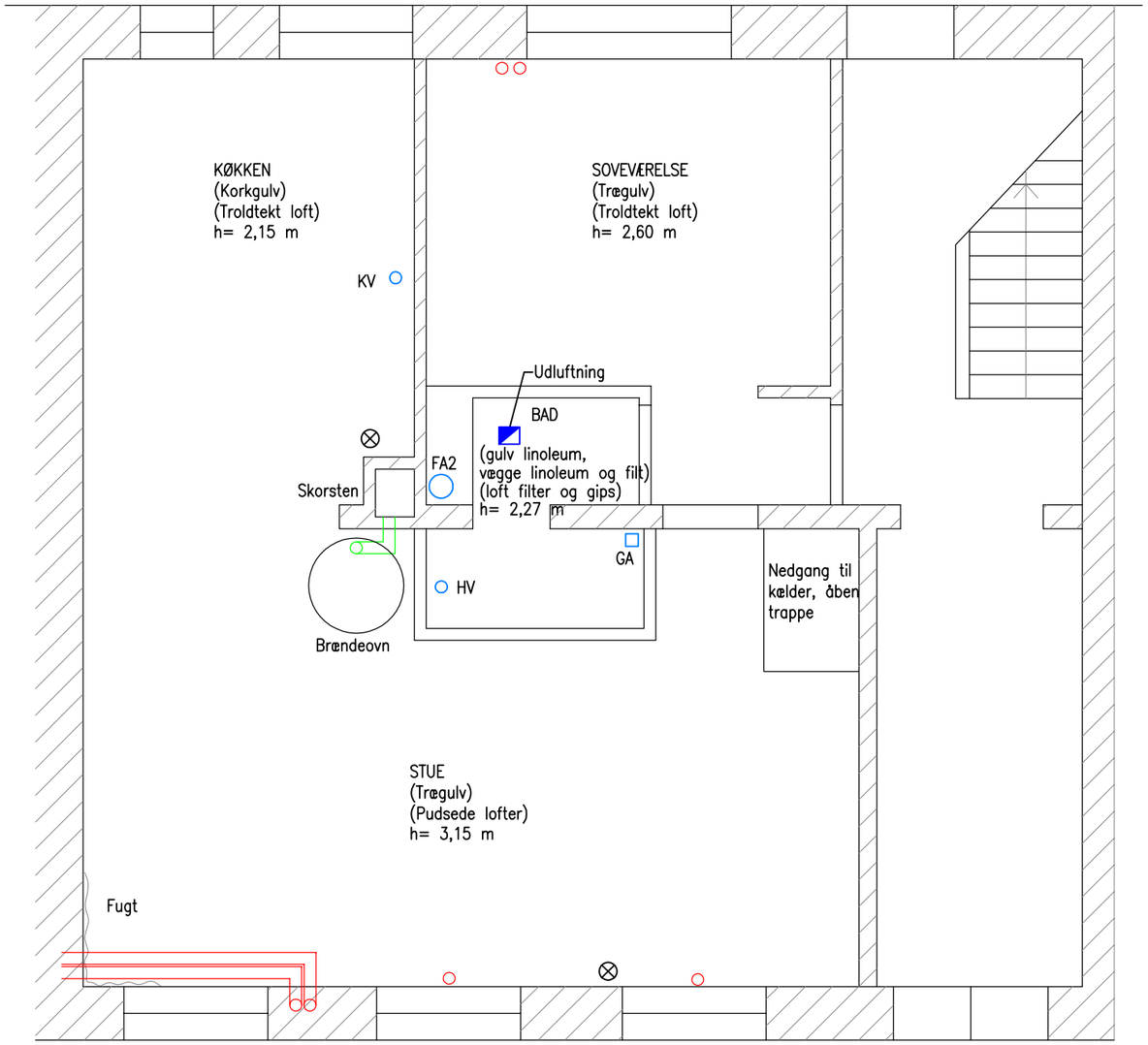
Bilag 8.5

Plantegning,
Frederiksbjerg Torv 10



Kælderplan

B2



Stueplan

SIGNATURER:

MP	Målepunkt, kapillerbrydende lag
B	Boring, filtersat
	Ventilationsdræn
	Luftindtag
	Ventilation
	Afløbsrør
	Varmerør (fjernvarme)
FA	Faldstamme
GA	Gulvafløb
HV/KV	Afløb vask
	Ramon 2.2, radonmåler målepunkt

0 1 2 m

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

Bilag 8.5

Frederiksbjerg Torv 10, Århus

Plantegning 2 - Situationsplan

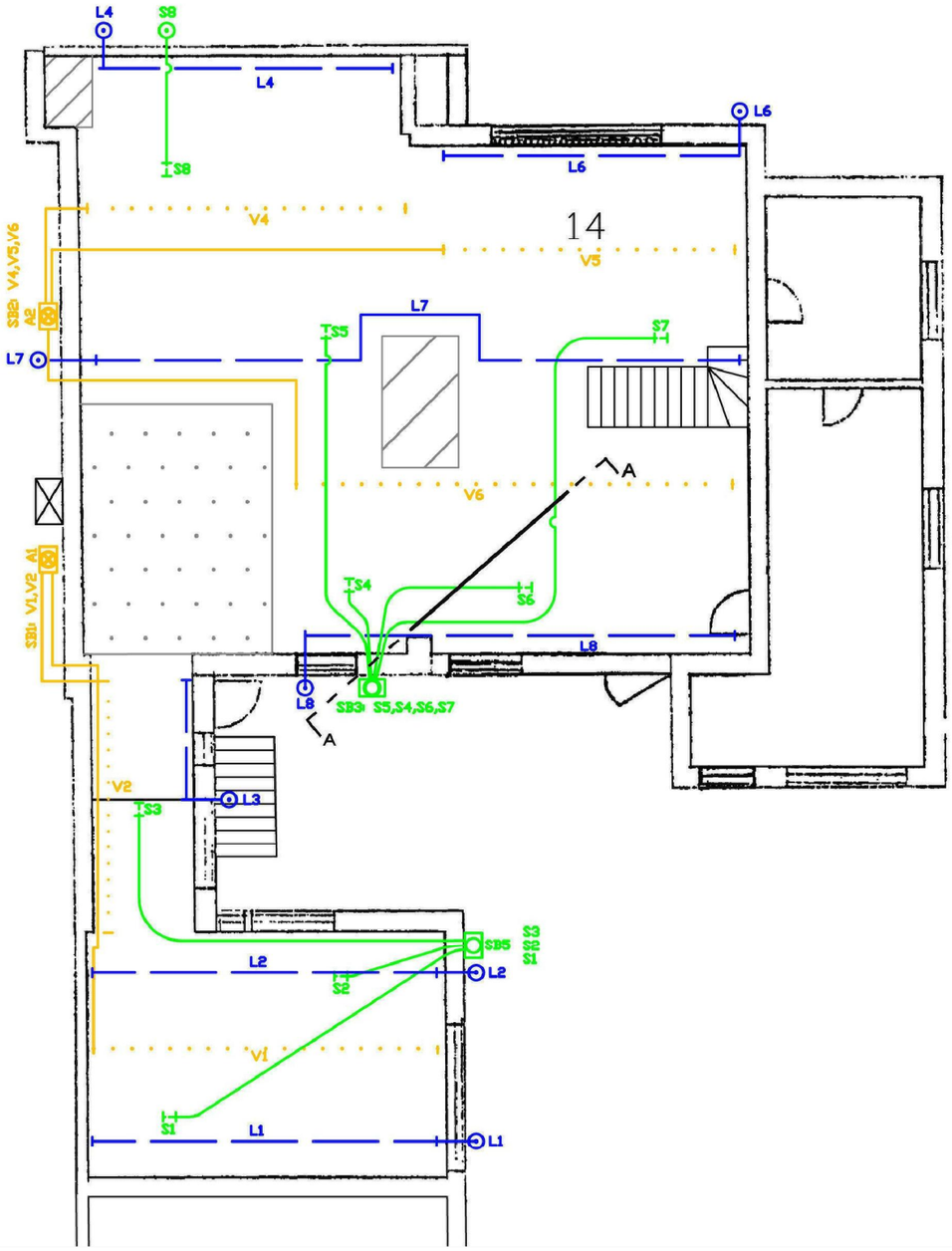
September 2010 1:50 Sag nr. 08.262.00

NIRAS

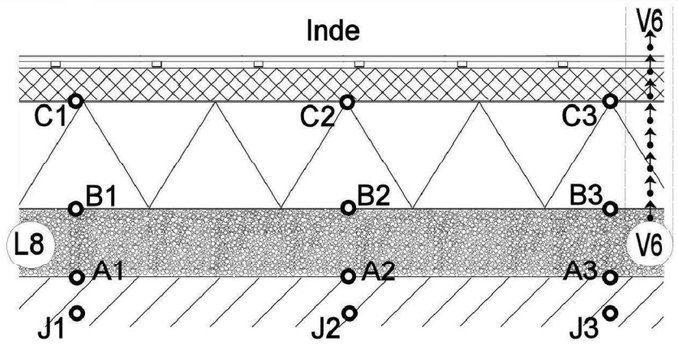
0:\SAG\08\262.00\TEGN\B8.5-200910.dwg

Bilag 8.6

Plantegning,
Odensevej 14



A-A



Signatur:

- Kælder
- Ventileret gulv
- Målesonde
- Luftindtag
- Ventilationsdræn
- Skorsten
- Temperatur, målepunkt

L6 & L7: placering af sporgas type 1

L8: placering af sporgas type 2

SB2: placering af sporgasindikatorer

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

Bilag 8.6

Odensevej 14, Langeskov

Situationsplan

September 2010 1:~ Sag nr. 08.262.00

NIRAS

O:\SAG\08\262.00\TEGN\B8.6-240910.dwg

Bilag 9

Radonmålinger,
Delprojekt 1b

Peder Kællers vej 23

Målerunde 1 (bilag 9.1)

- Figur 1: Radon i indeklima og kapillarbrydende lag, dræn deaktiveret
- Figur 2: Radon i indeklima og kapillarbrydende lag, dræn aktiveret
- Figur 3: Radon i indeklima og kapillarbrydende lag samt vindpåvirkning, dræn deaktiveret
- Figur 4: Radon i indeklima og kapillarbrydende lag samt vindpåvirkning, dræn aktiveret
- Figur 5: Radon i indeklima samt tryk- og temperaturdifferens, dræn deaktiveret
- Figur 6: Radon i indeklima samt tryk- og temperaturdifferens, dræn aktiveret

Målerunde 2 (bilag 9.2)

- Figur 1: Radon i indeklima og kapillarbrydende lag, midlet over 12 målinger, dræn deaktiveret
- Figur 2: Radon i indeklima og kapillarbrydende lag, midlet over 12 målinger, dræn aktiveret
- Figur 3: Radon i indeklima samt temperaturdifferens, midlet over 12 målinger, dræn deaktiveret
- Figur 4: Radon i indeklima samt temperaturdifferens, midlet over 12 målinger, dræn aktiveret

Peder Kællers vej 31

Målerunde 1 (bilag 9.3)

- Figur 1: Radon i indeklima og kapillarbrydende lag, dræn deaktiveret
- Figur 2: Radon i indeklima og kapillarbrydende lag, dræn aktiveret
- Figur 3: Radon i kapillarbrydende lag og vindpåvirkning, dræn deaktiveret
- Figur 4: Radon i kapillarbrydende lag og vindpåvirkning, dræn aktiveret
- Figur 5: Radon i indeklima samt temperaturdifferens, dræn deaktiveret, midlet over 12 målinger
- Figur 6: Radon i indeklima samt temperaturdifferens, dræn aktiveret, midlet over 12 målinger
- Figur 7: Radon i indeklima samt udetemperatur og temperaturdifferens, dræn deaktiveret
- Figur 8: Radon i indeklima samt udetemperatur og temperaturdifferens, dræn aktiveret
- Figur 9: Radon i kapillarbrydende lag, tilnærmet lineær udvikling

Målerunde 2 (bilag 9.4)

- Figur 1: Radon i stue og kapillarbrydende lag
- Figur 2: Radon i bryggers og kapillarbrydende lag
- Figur 3: Radon i indeklima samt temperaturdifferens, dræn deaktiveret
- Figur 4: Radon i indeklima samt temperaturdifferens, dræn aktiveret
- Figur 5: Radon i kapillarbrydende lag, tilnærmet lineær udvikling
- Figur 6: Radon i stuen, tilnærmet udvikling

Frederiksberg Torv 10

Målerunde 1 (bilag 9.5)

- Figur 1: Radon i indeklima og kapillarbrydende lag, midlet over 12 målinger
- Figur 2: Radon i indeklima og trykdifferens, midlet over 6 timer
- Figur 3: Tryk- og temperaturdifferens samt vindpåvirkning, midlet over 6 timer

Målerunde 2 (bilag 9.6)

- Figur 1: Radon i indeklima og kapillarbrydende lag
- Figur 2: Radon i indeklima og kapillarbrydende lag, midlet over 12 målinger

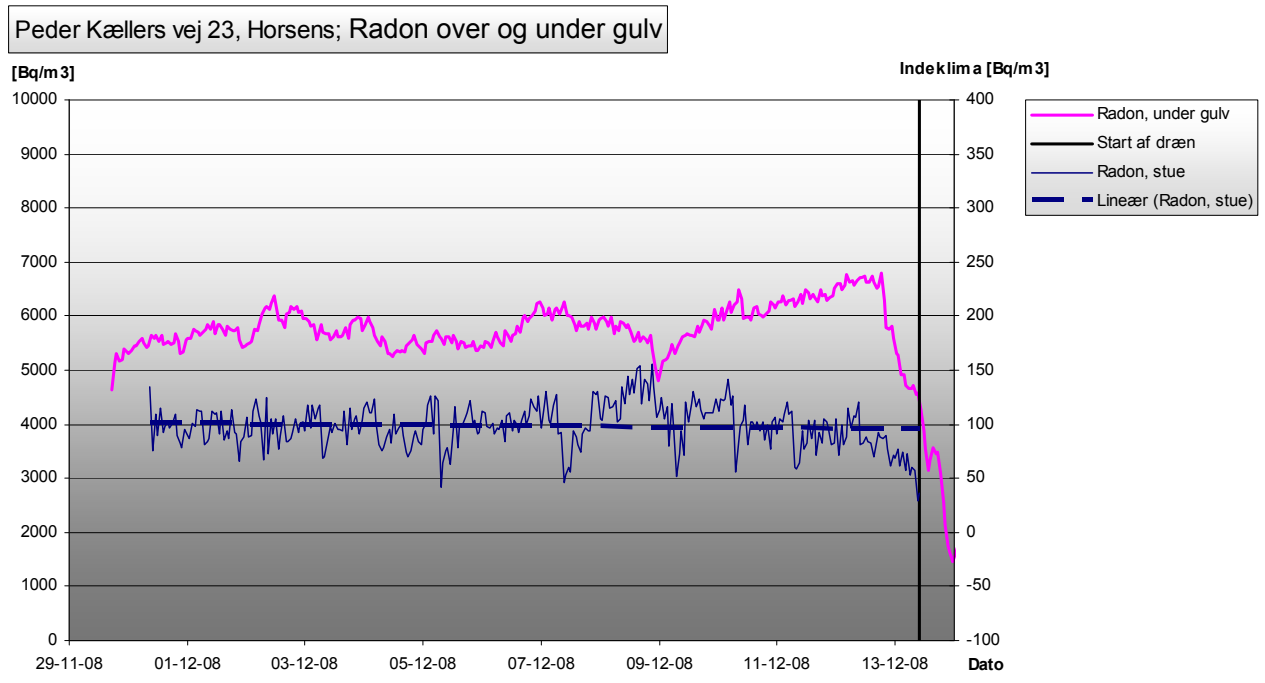
Bilag 9.1

Radonmålinger delprojekt 1b,
Målerunde 1, Peder Kællers vej 23

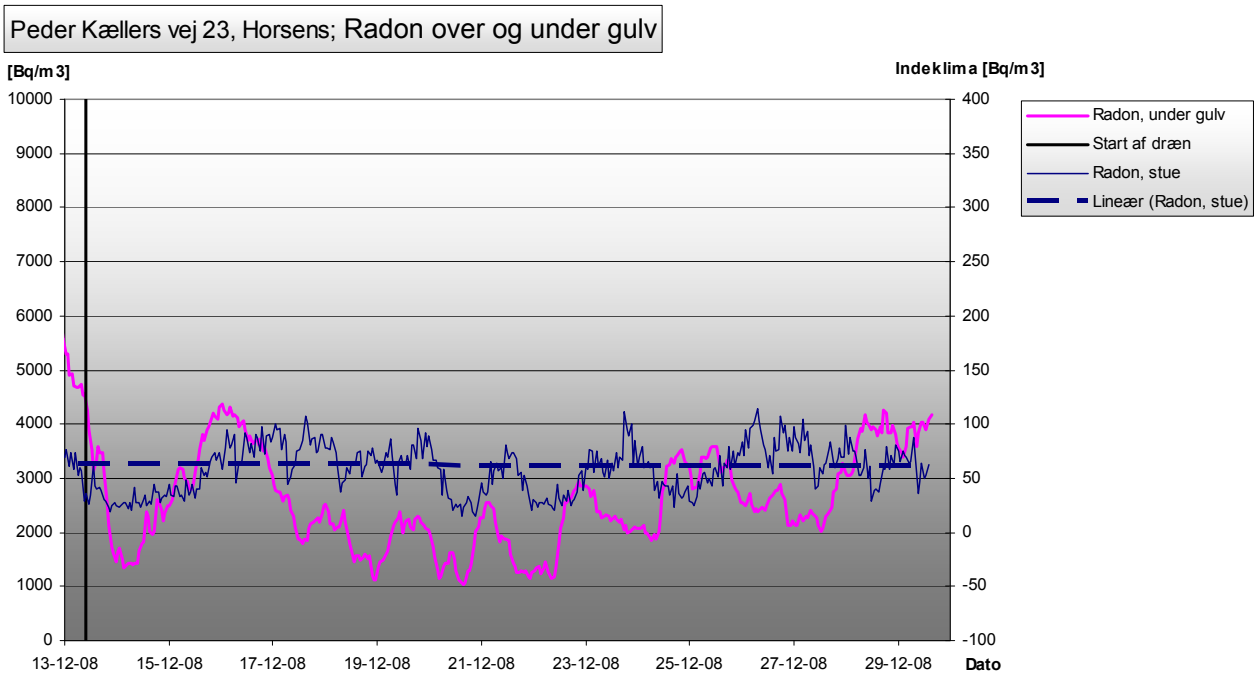
Radonmålinger

Peder Kællers vej 23, Horsens

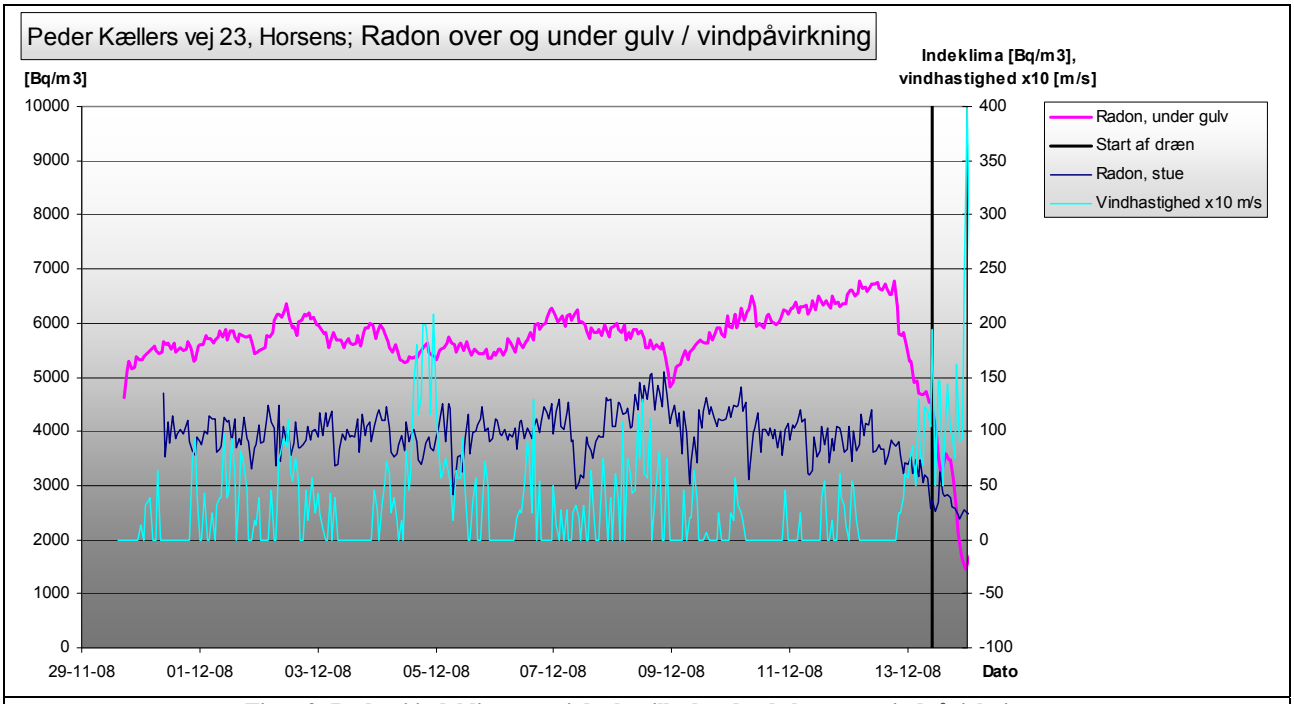
1. målerunde; 29-11-2008 – 29-12-2008



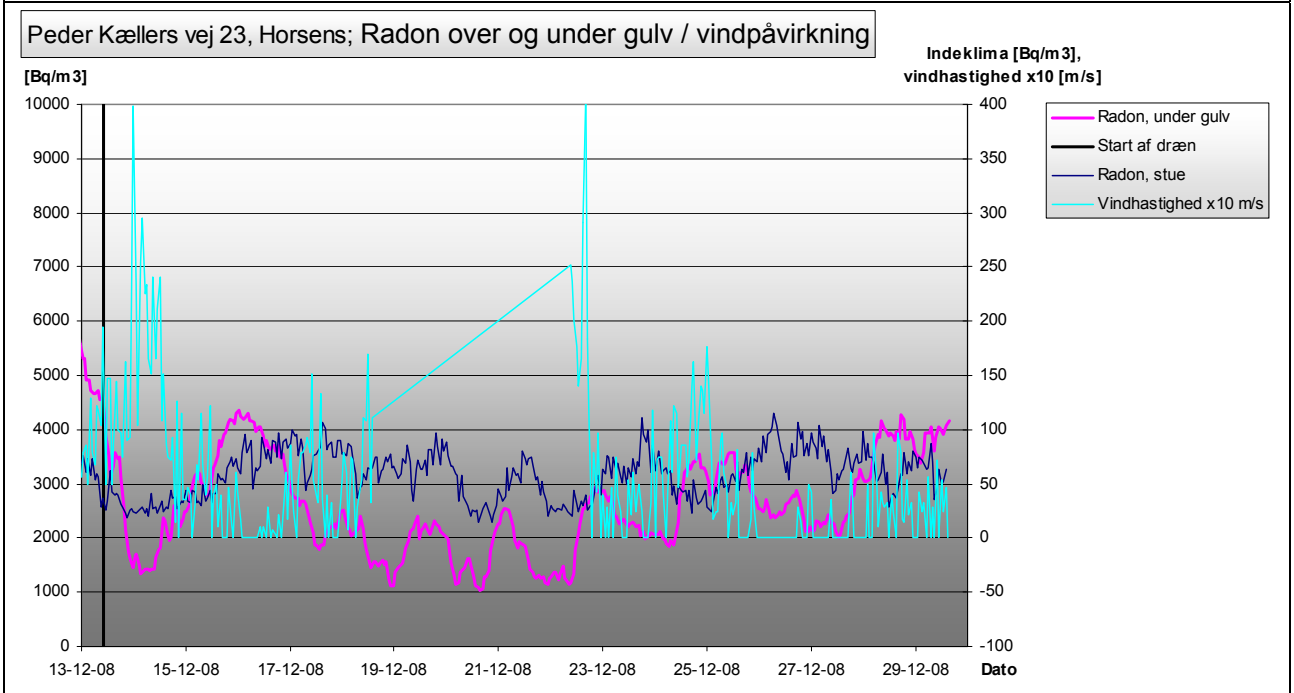
Figur 1; Radon i indeklimaet og i det kapillarbrydende lag, periode med deaktiveret dræn (29-11-08 – 13-12-08)



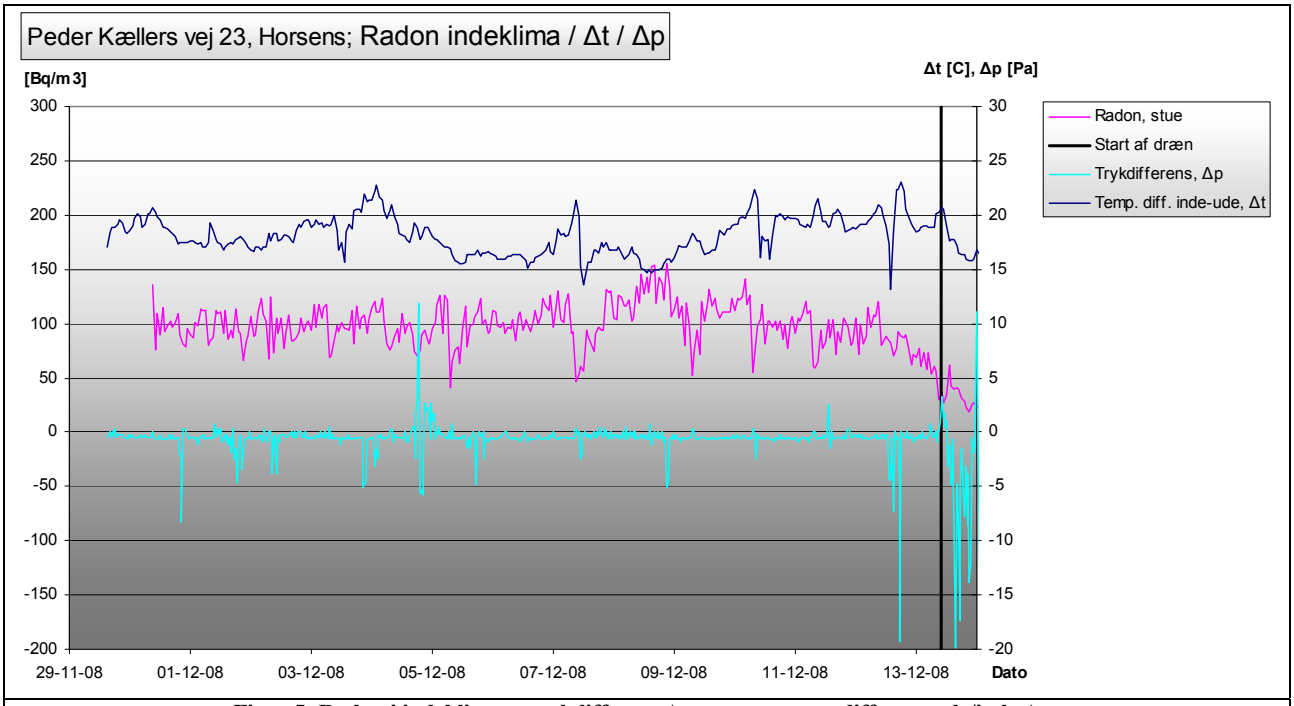
Figur 2; Radon i indeklimaet og i det kapillarbrydende lag, periode med aktiveret dræn (13-12-08 – 29-12-08)



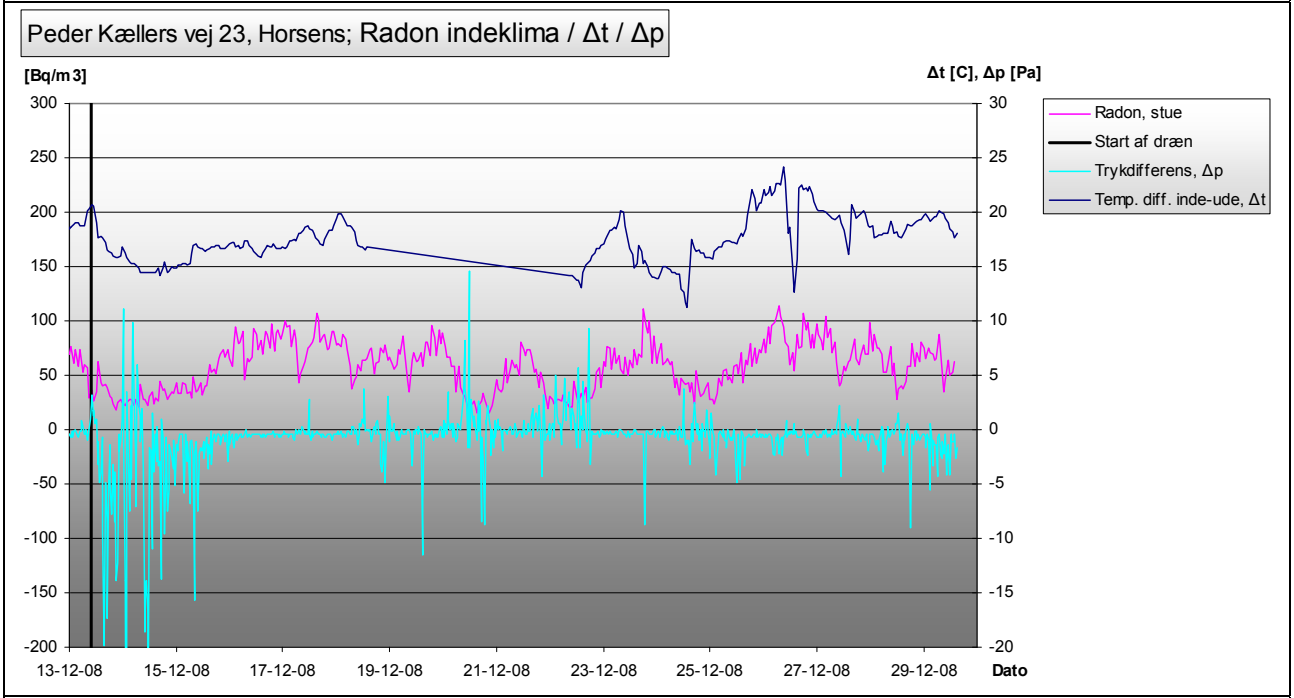
Figur 3; Radon i indeklimaet og i det kapillarbrydende lag samt vindpåvirkning, periode med deaktiveret dræn (29-11-08 – 13-12-08)



Figur 4; Radon i indeklimaet og i det kapillarbrydende lag samt vindpåvirkning, periode med aktiveret dræn (13-12-08 – 29-12-08)



Figur 5; Radon i indeklimaet, trykdifferens Δp og temperaturdifferens ude/inde Δt, periode med deaktiveret dræn (29-11-08 – 13-12-08)



Figur 6; Radon i indeklimaet, trykdifferens Δp og temperaturdifferens ude/inde Δt, periode med aktiveret dræn (13-12-08 – 29-12-08)

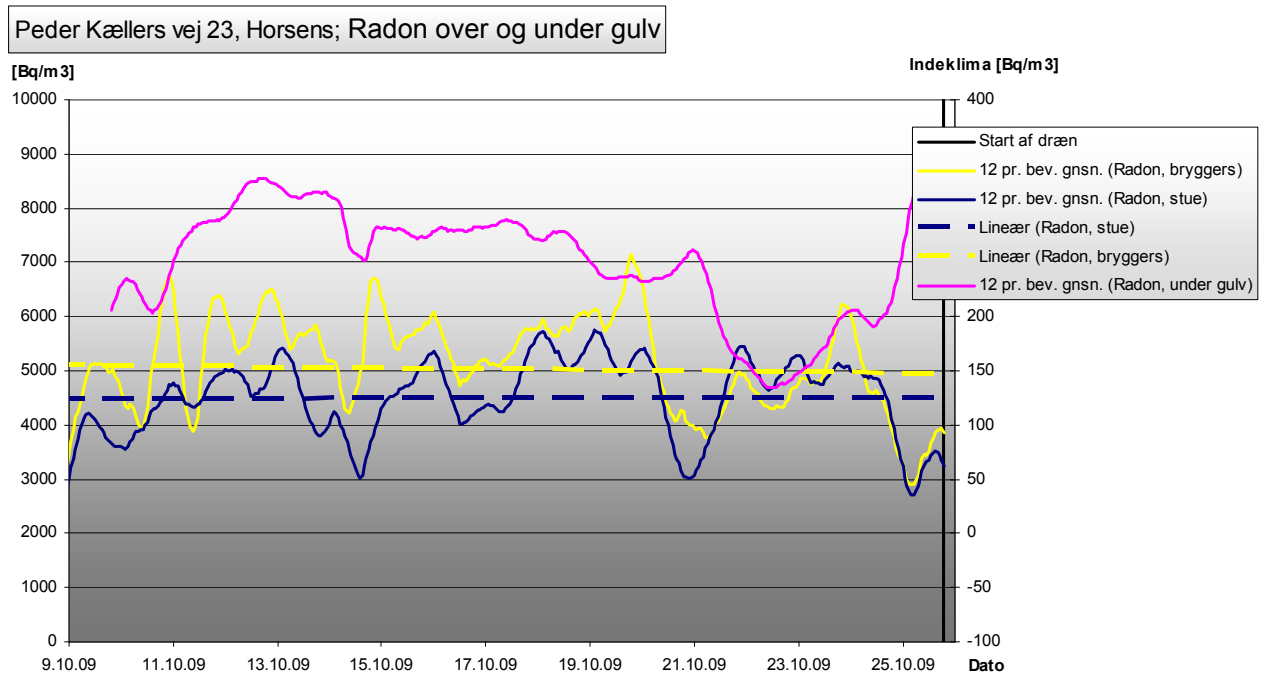
Bilag 9.2

Radonmålinger delprojekt 1b,
Målerunde 2, Peder Kællers vej 23

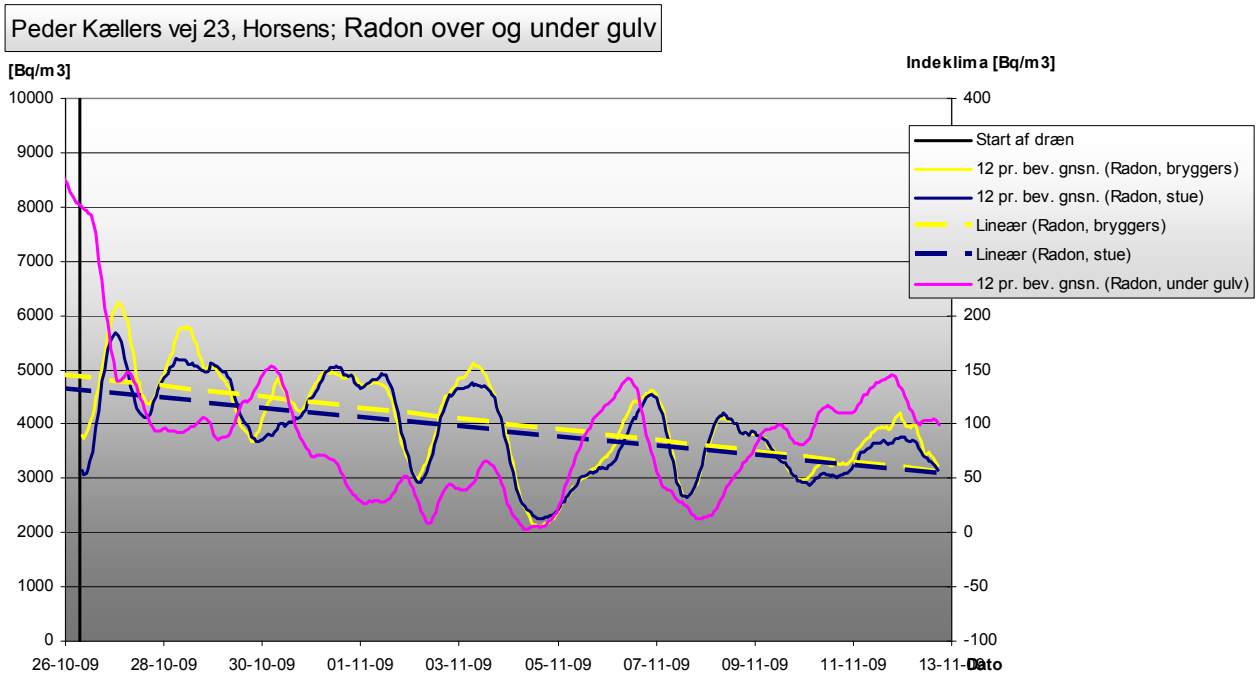
Radonmålinger

Peder Kællers vej 23, Horsens

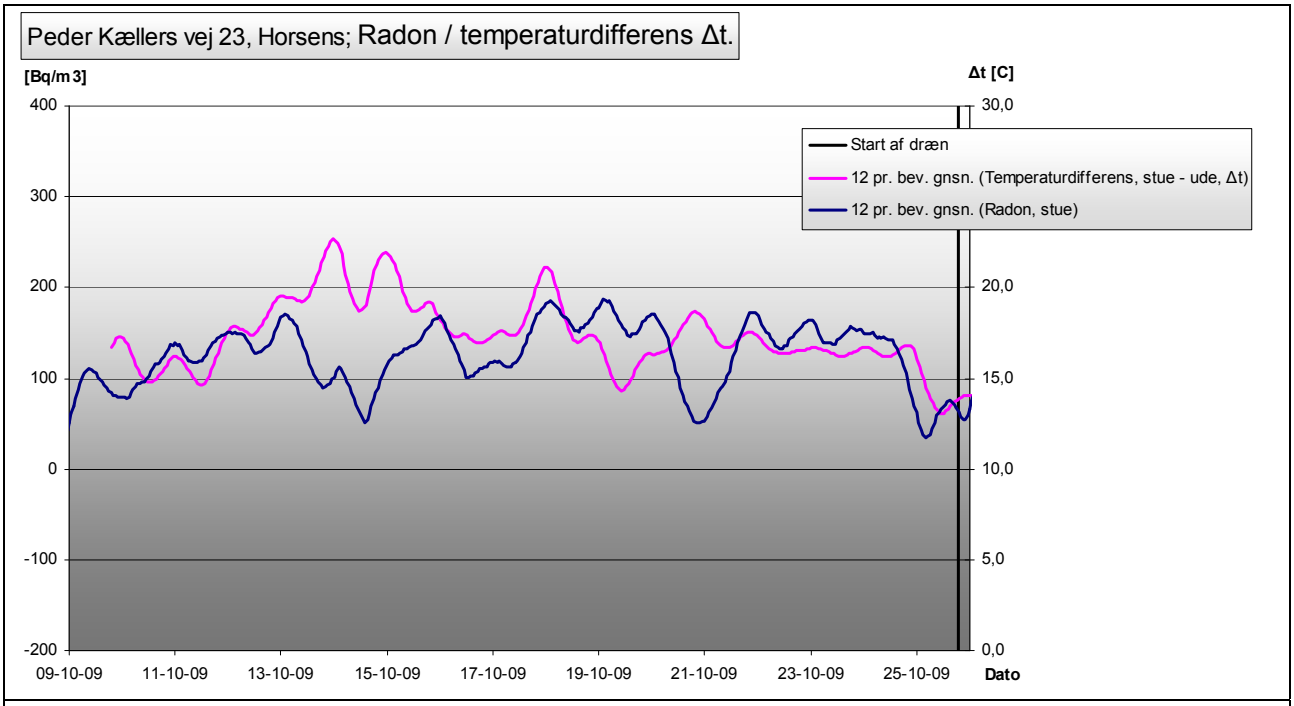
2. målerunde; 09-10-2009 – 12-11-2009



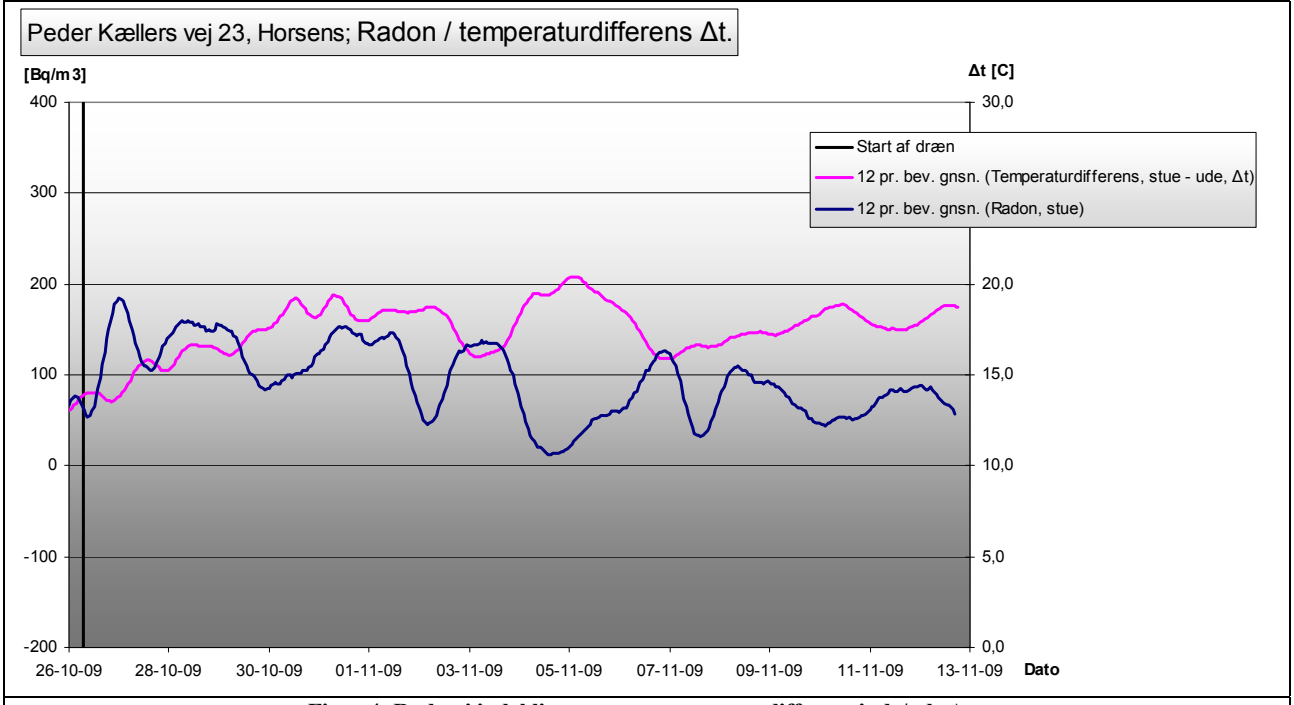
Figur 1; Radon i indeklimaet og i det kapillarbrydende lag, periode med deaktiveret dræn (09-10-09 – 26-10-09), midlet over 12 målinger



Figur 2; Radon i indeklimaet og i det kapillarbrydende lag, periode med aktiveret dræn (26-10-09 – 12-11-09), midlet over 12 målinger



Figur 3; Radon i indeklimaet samt temperaturdifferens inde/ude Δt, periode med deaktiveret dræn (09-10-09 – 26-10-09), midlet over 12 målinger



Figur 4; Radon i indeklimaet samt temperaturdifferens inde/ude Δt, periode med aktiveret dræn (26-10-09 – 12-11-09), midlet over 12 målinger

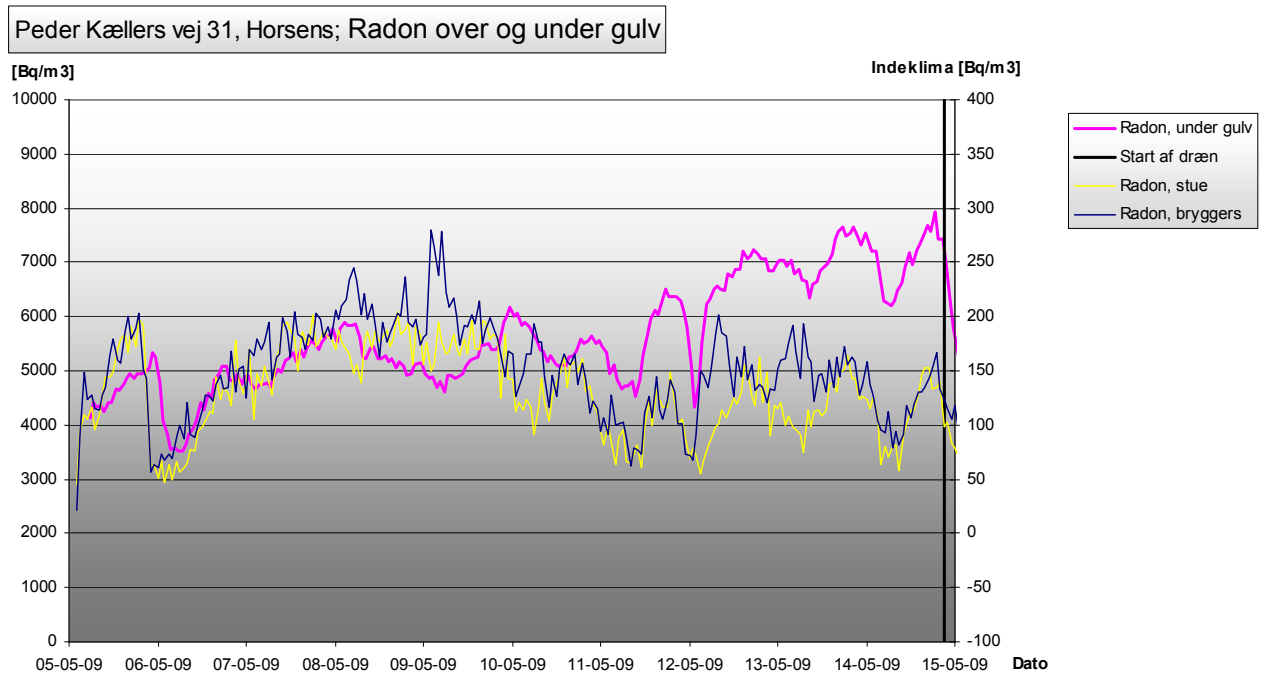
Bilag 9.3

Radonmålinger delprojekt 1b,
Målerunde 1, Peder Kællers vej 31

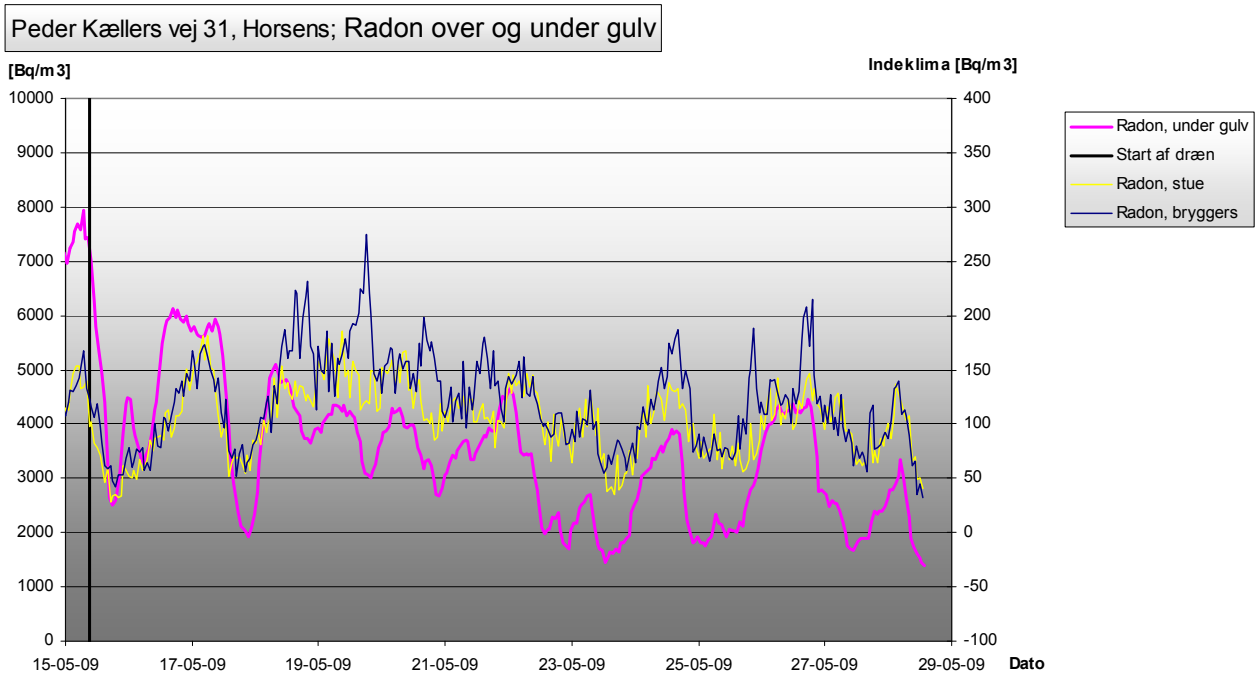
Radonmålinger

Peder Kællers vej 31, Horsens

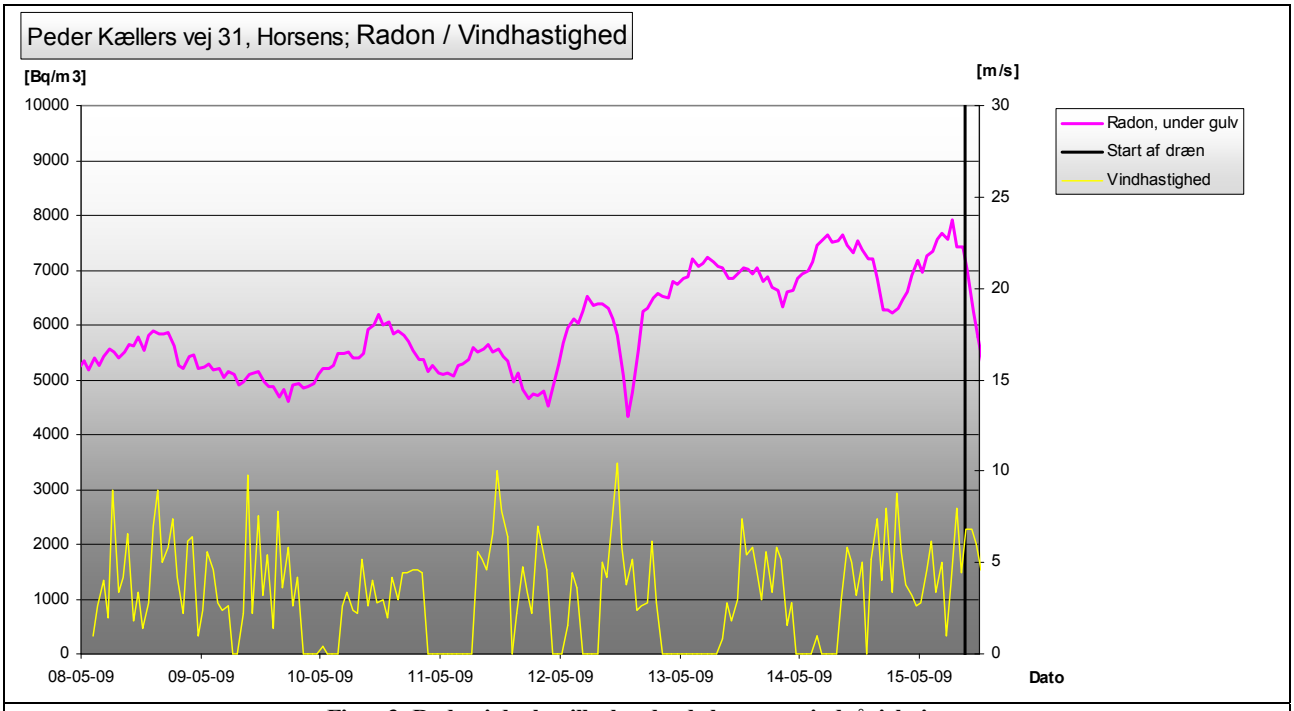
1. målerunde; 29-11-2008 – 29-12-2008



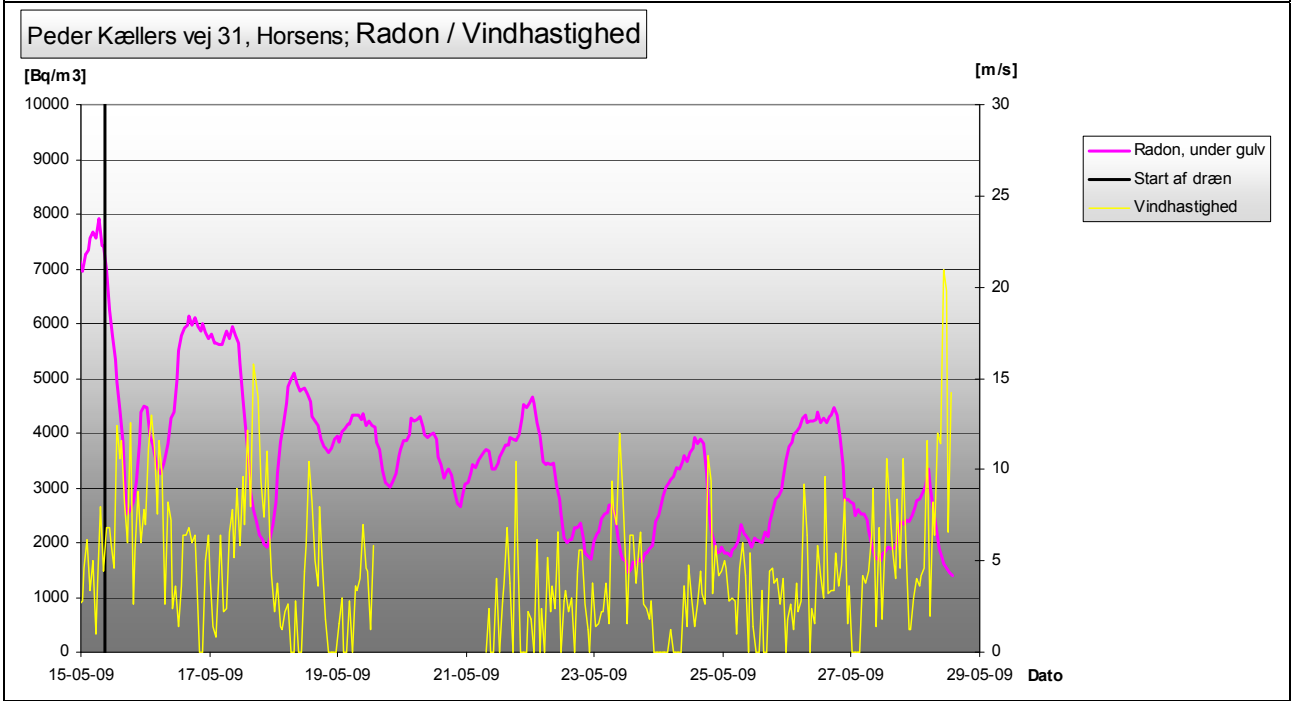
Figur 1; Radon i indeklimaet og i det kapillarbrydende lag, periode med deaktiveret dræn (05-05-09 – 15-05-09)



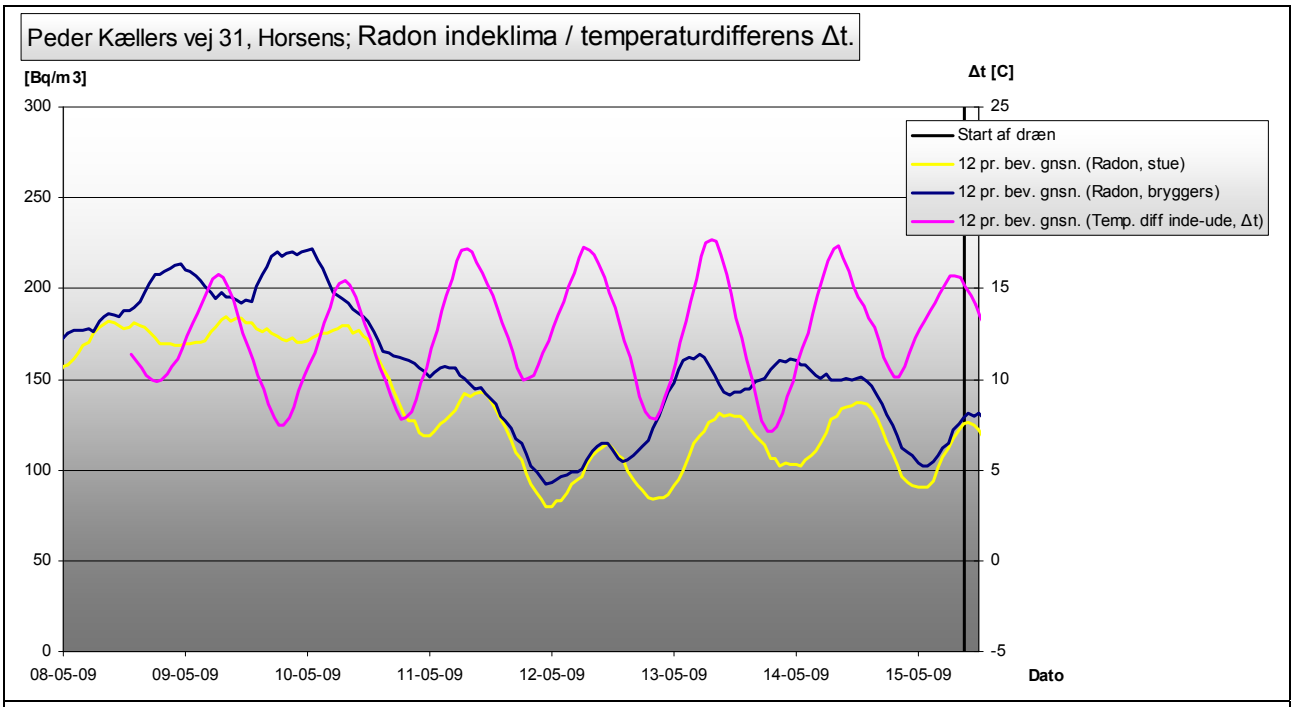
Figur 2; Radon i indeklimaet og i det kapillarbrydende lag, periode med aktiveret dræn (15-05-09 – 28-05-09)



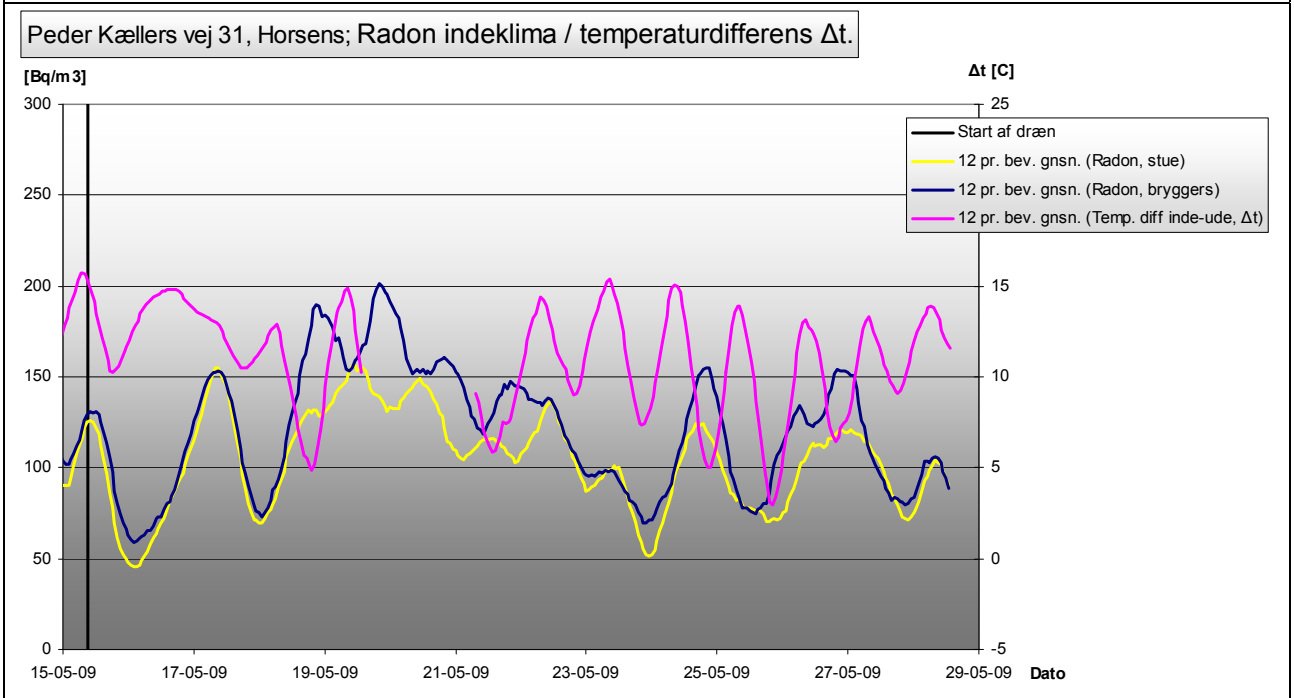
Figur 3; Radon i det kapillarbrydende lag samt vindpåvirkning, periode med deaktiveret dræn (05-05-09 – 15-05-09)



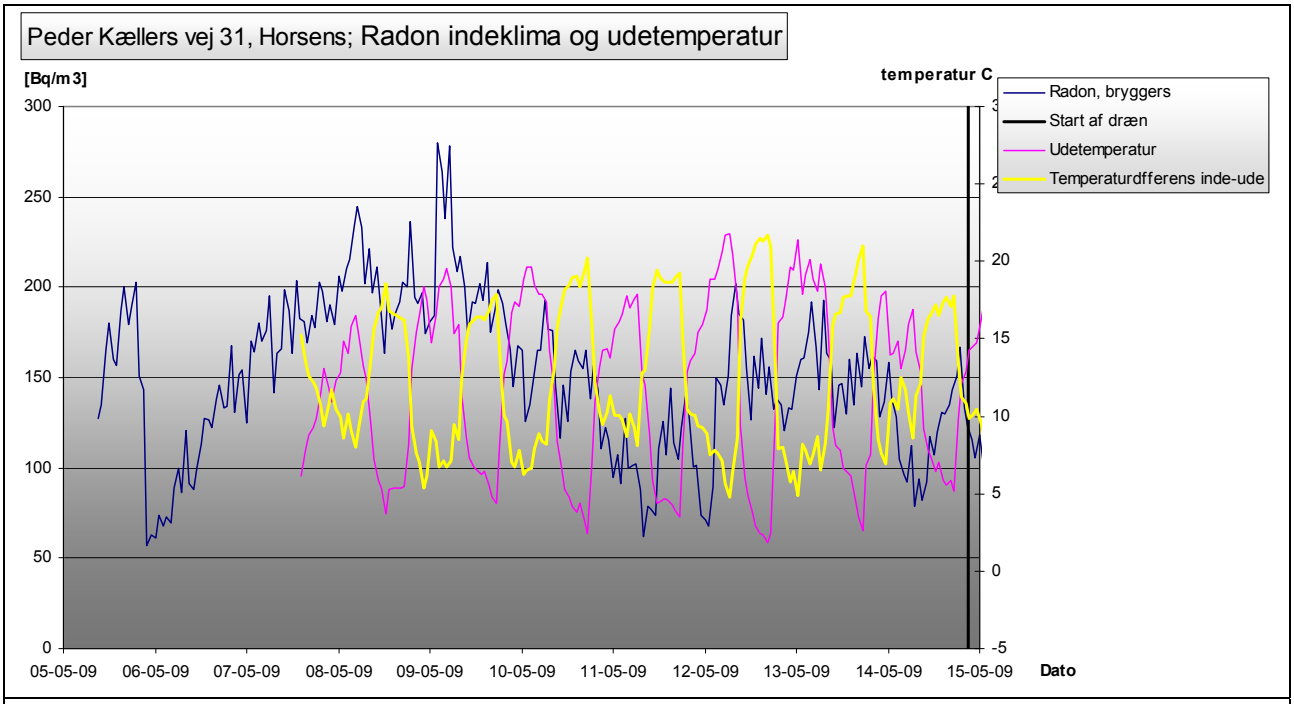
Figur 4; Radon i det kapillarbrydende lag samt vindpåvirkning, periode med aktiveret dræn (15-05-09 – 28-05-09)



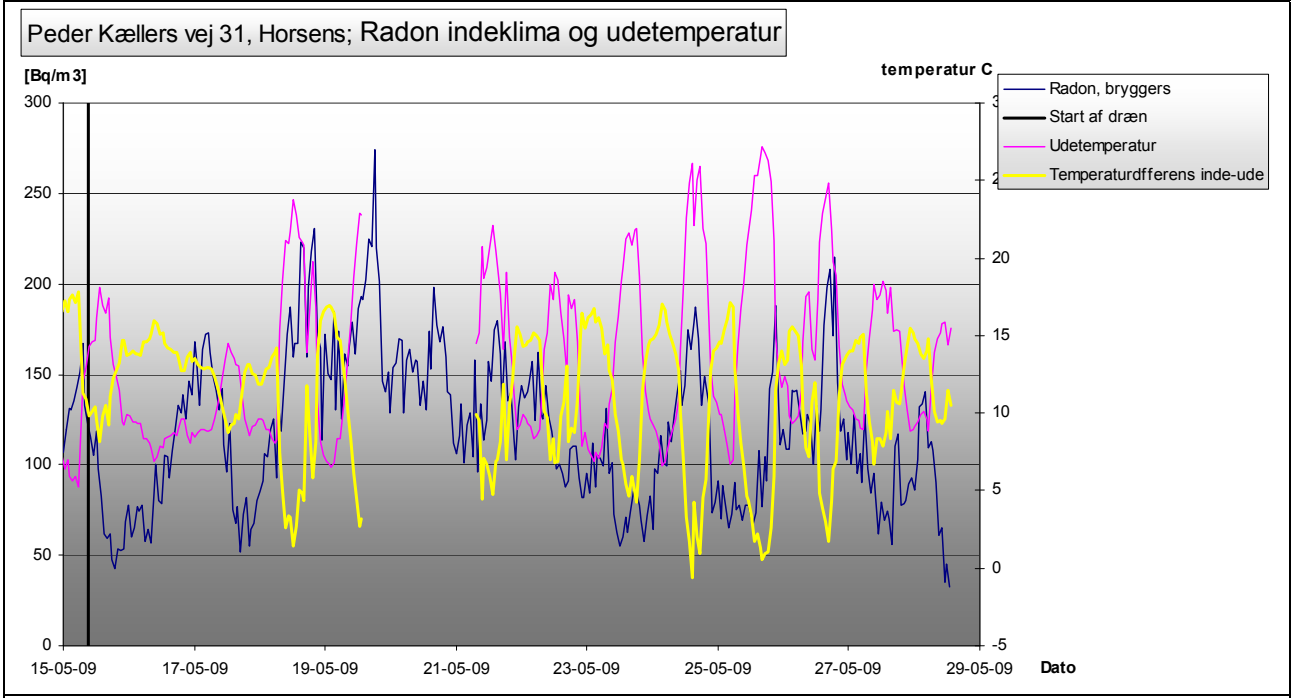
Figur 5; Radon i indeklimaet og temperaturdifferens ude/inde Δt, periode med deaktiveret dræn (05-05-09 – 15-05-09), midlet over 12 målinger



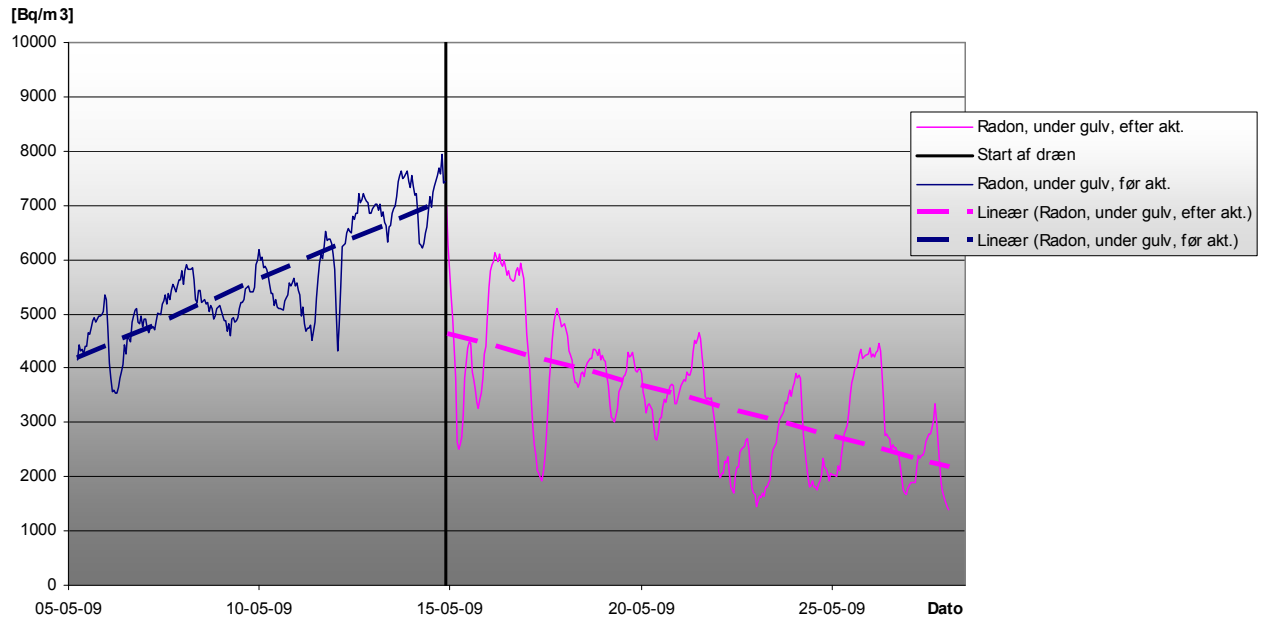
Figur 6; Radon i indeklimaet og temperaturdifferens ude/inde Δt, periode med aktiveret dræn (15-05-09 – 28-05-09), midlet over 12 målinger



Figur 7; Radon i indeklimaet og udetemperatur samt temperaturdifferens ude/inde Δt, periode med deaktiveret dræn (15-05-09 – 28-05-09)



Figur 8; Radon i indeklimaet og udetemperatur samt temperaturdifferens ude/inde Δt, periode med aktiveret dræn (15-05-09 – 28-05-09)



Figur 9; Radon i kapillarbrydende lag,
(05-05-09 – 28-05-09), lineær tilnærmet graf

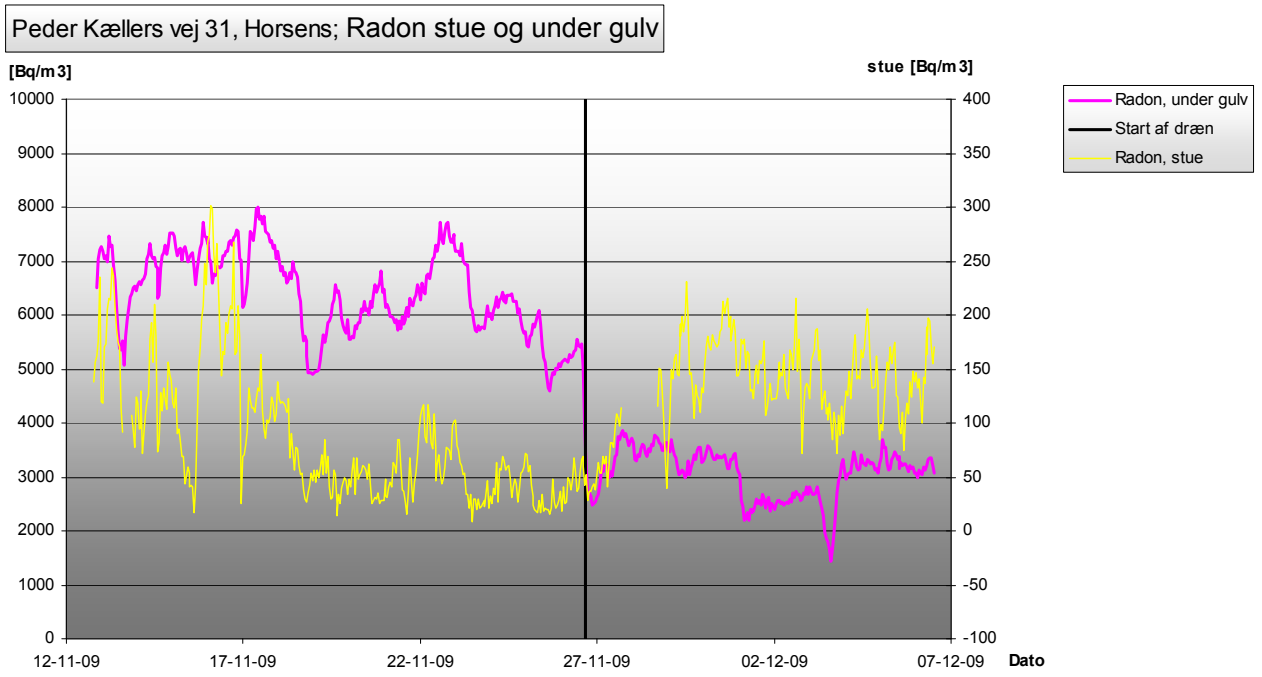
Bilag 9.4

Radonmålinger delprojekt 1b,
Målerunde 2, Peder Kællers vej 31

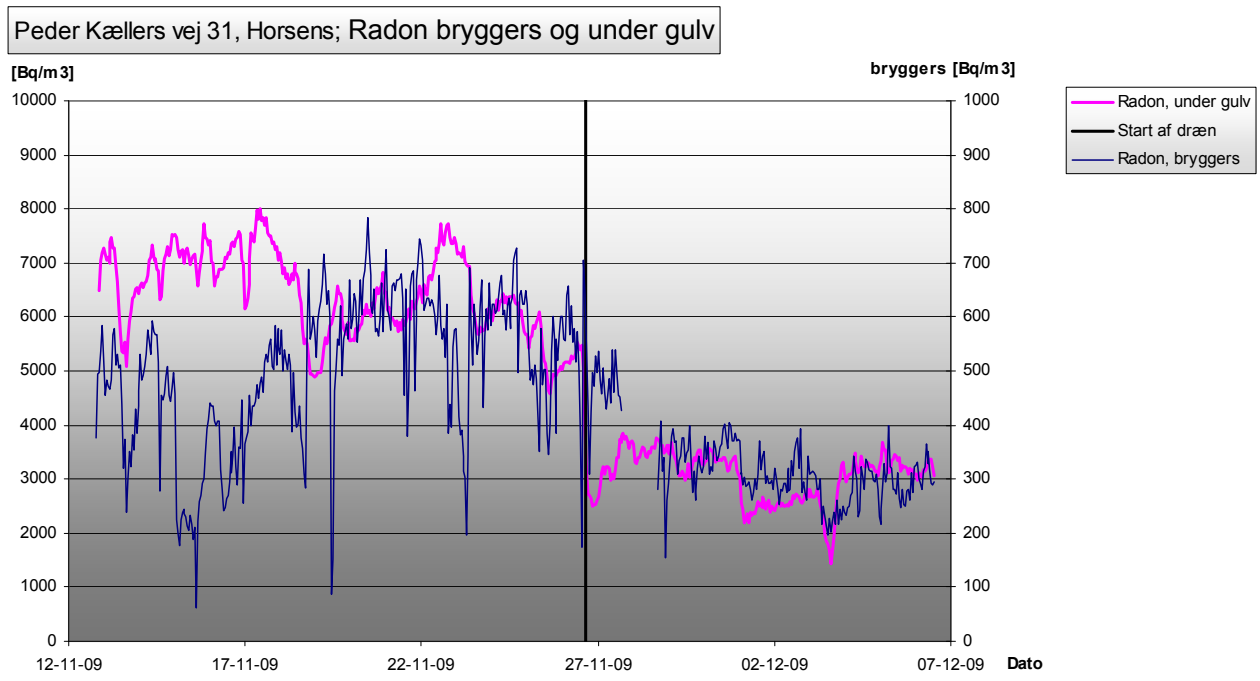
Radonmålinger

Peder Kællers vej 31, Horsens

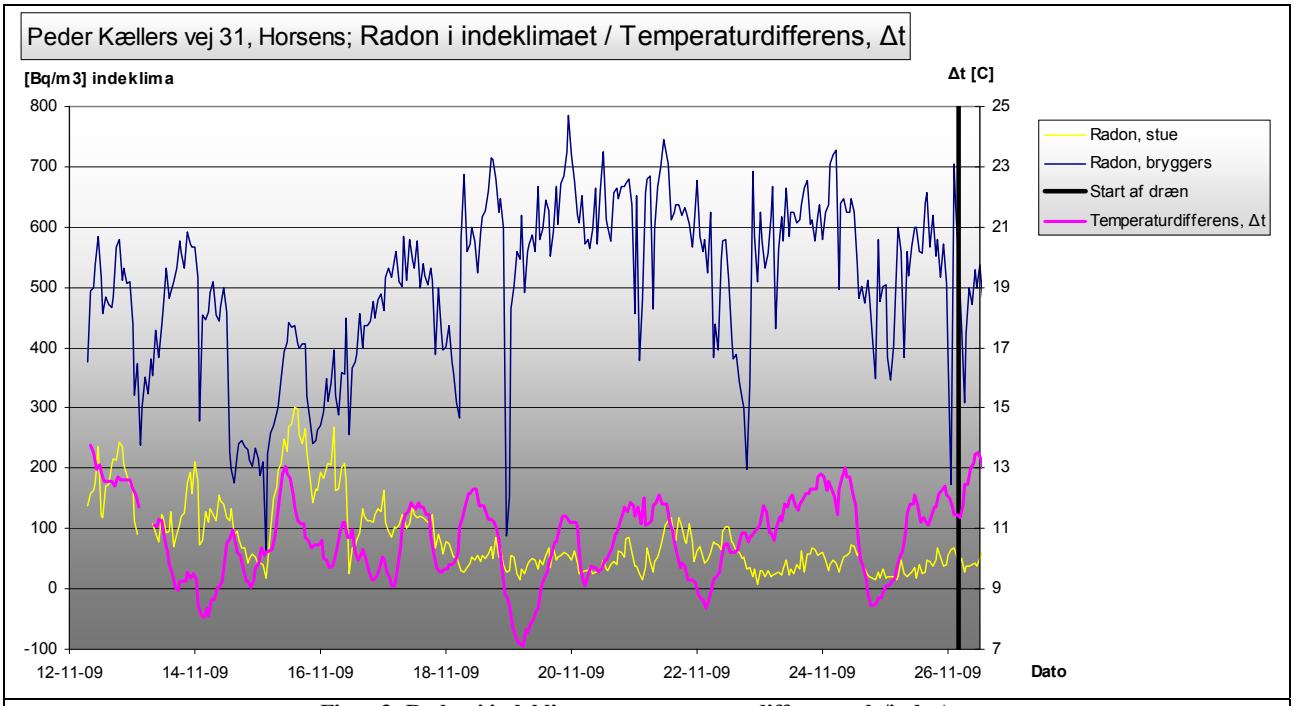
2. målerunde; 12-11-2008 – 06-12-2008



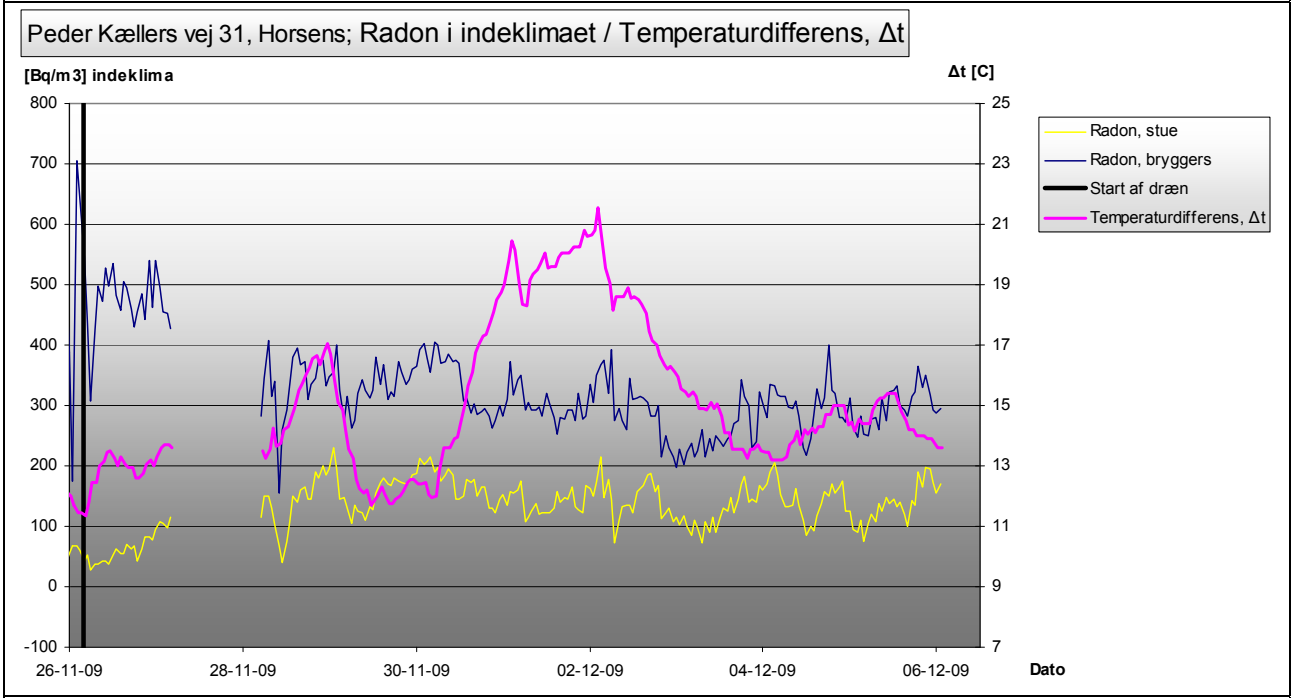
Figur 1; Radon i stuen og i det kapillarbrydende lag, (12-11-09 – 06-12-09)



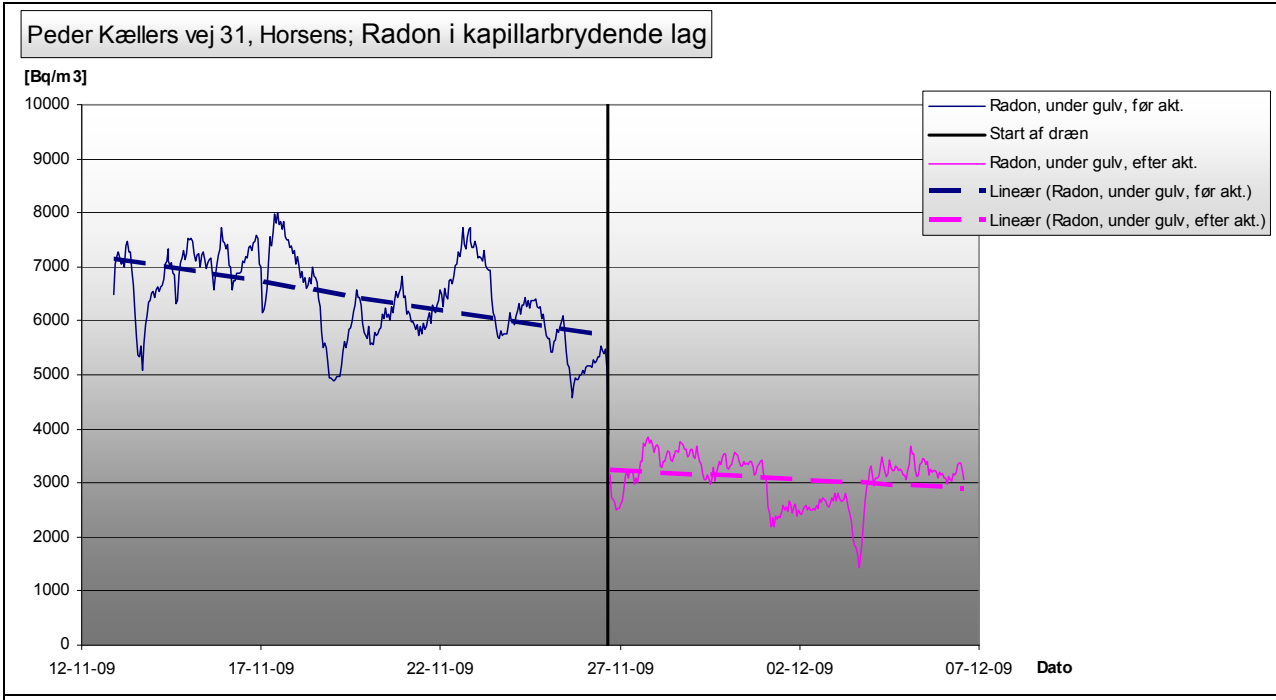
Figur 2; Radon i bryggers (teknikskab) og i det kapillarbrydende lag, (12-11-09 – 06-12-09)



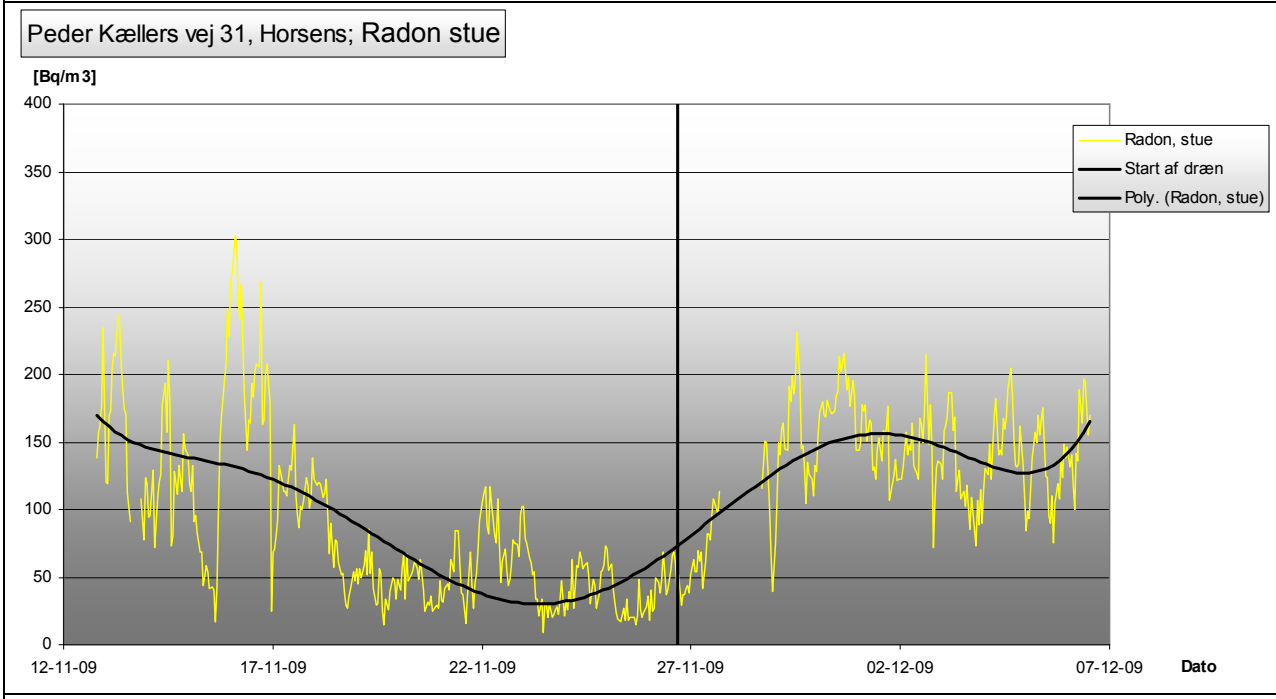
Figur 3; Radon i indeklimaet og temperaturdifferens ude/inde Δt, periode med deaktiveret dræn (12-11-09 – 26-11-09)



Figur 4; Radon i indeklimaet og temperaturdifferens ude/inde Δt, periode med aktiveret dræn (26-11-09 – 06-12-09)



Figur 5; Radon i det kapillarbrydende lag,
(12-11-09 – 06-12-09) lineært tilnærmet graf



Figur 6; Radon i stuen,
(12-11-09 – 06-12-09) polynomisk tilnærmet graf

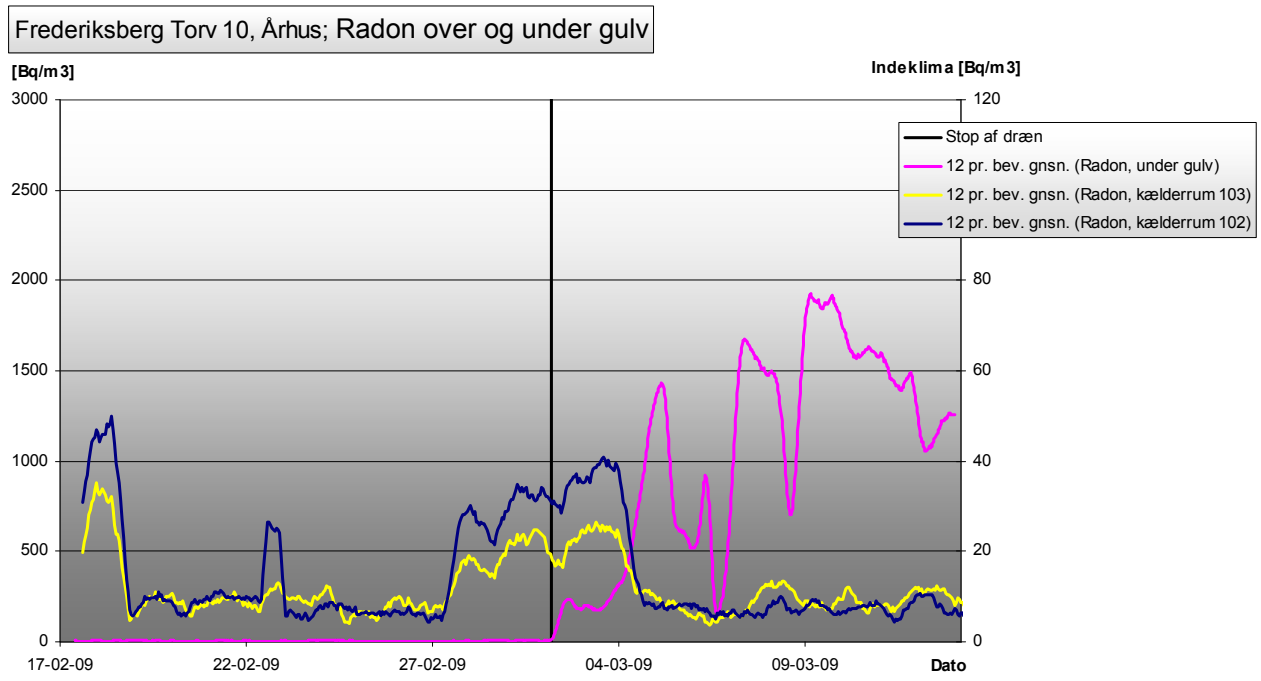
Bilag 9.5

Radonmålinger delprojekt 1b,
Målerunde 1, Frederiksbjerg Torv 10

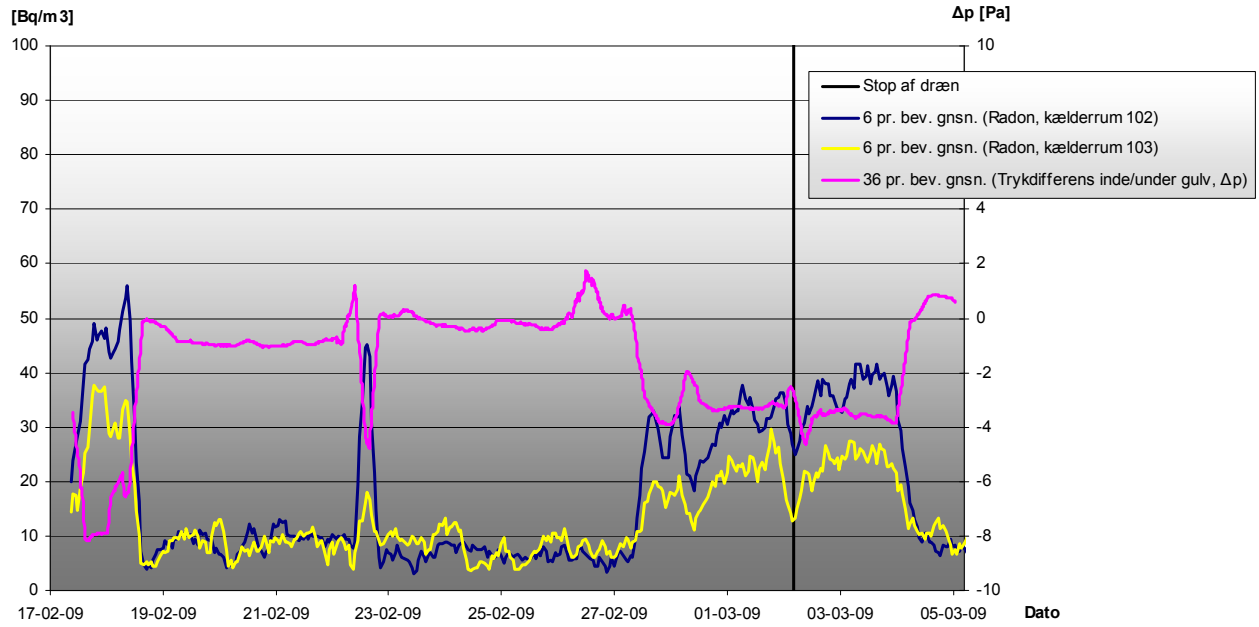
Radonmålinger

Frederiksberg Torv 10, Århus

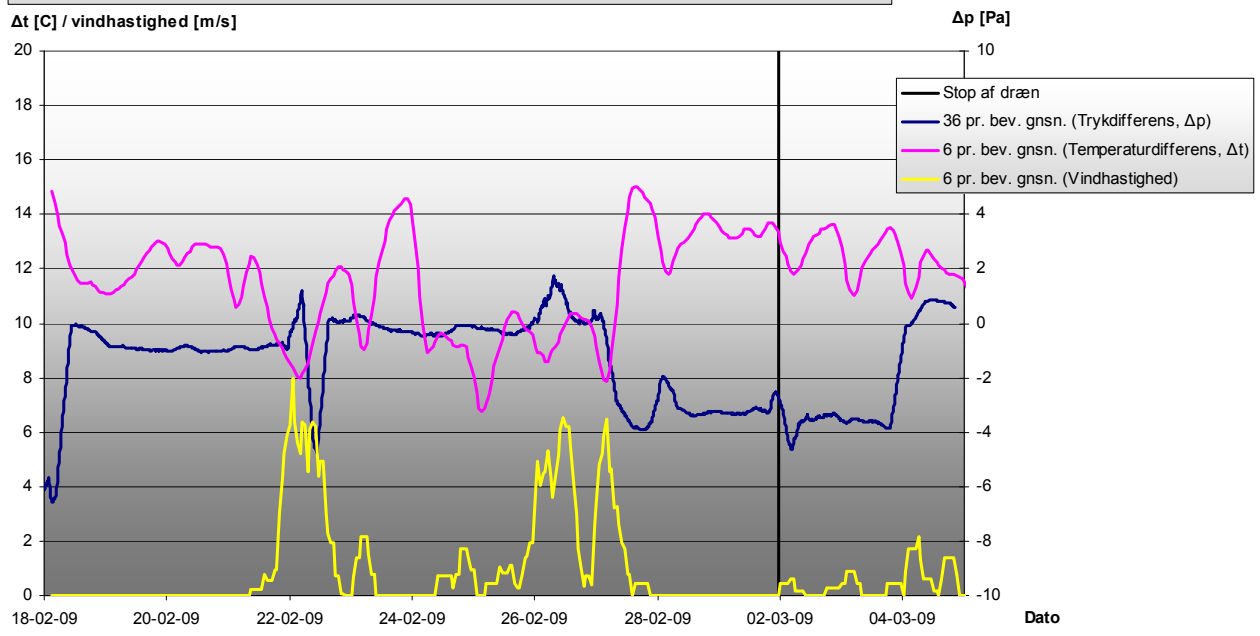
1. målerunde; 17-02-2009 – 13-03-2009



Figur 1; Radon i indeklimaet og i det kapillarbrydende lag, (17-02-09 – 13-03-09), midlet over 12 målinger



Figur 2; Radon i indeklimaet og trykdifferens Δp, (17-02-09 – 5-03-09), midlet over 6 timer



Figur 3; Tryk- og temperaturdifferens Δp/Δt samt vindpåvirkning (17-02-09 – 5-03-09), midlet over 6 timer

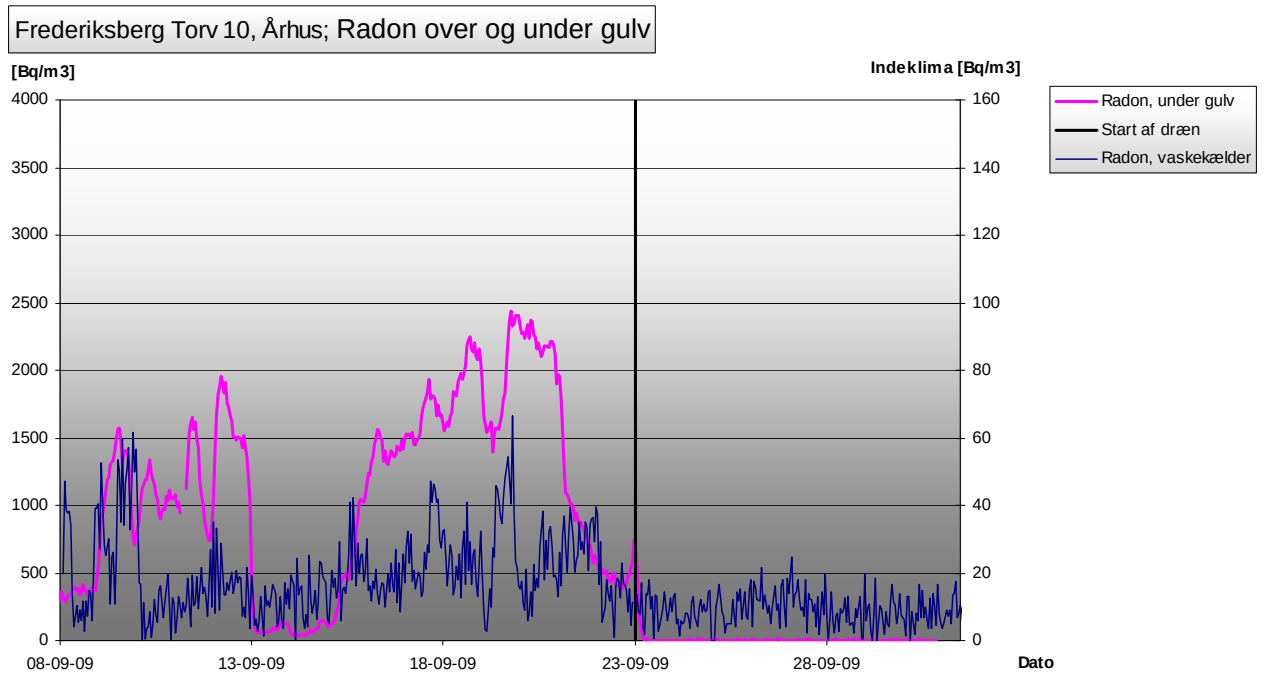
Bilag 9.6

Radonmålinger delprojekt 1b,
Målerunde 2, Frederiksbjerg Torv 10

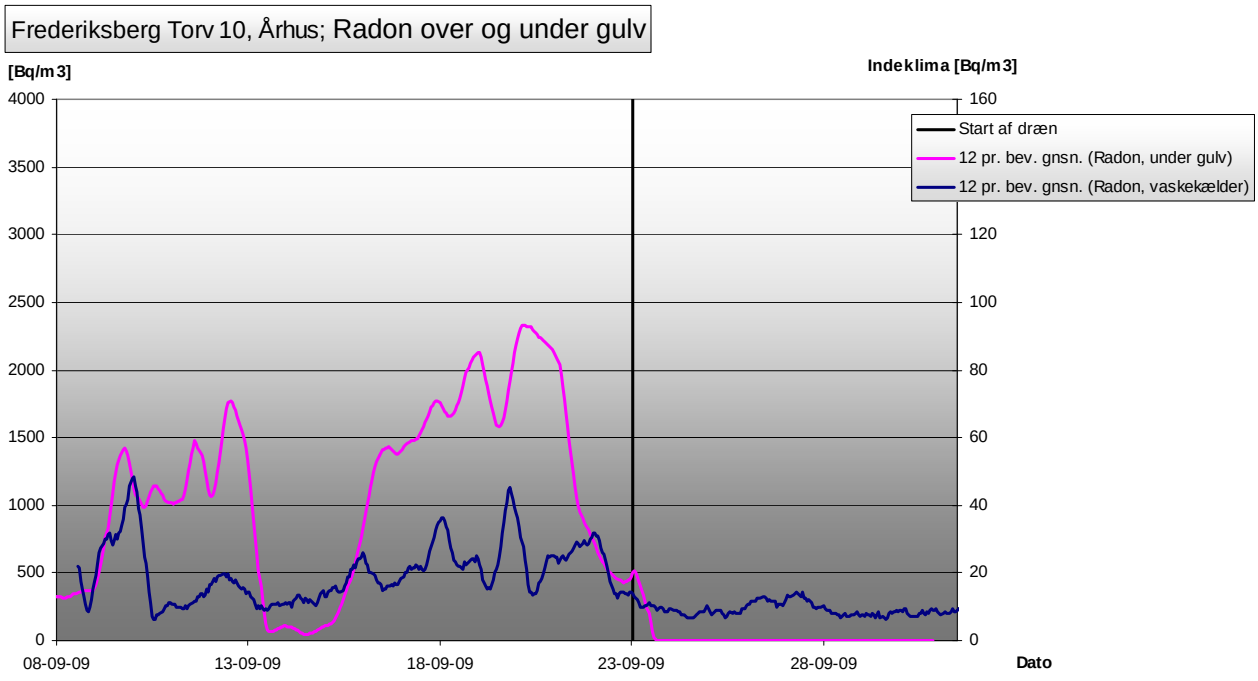
Radonmålinger

Frederiksberg Torv 10, Århus

2. målerunde; 08-09-2009 – 01-10-2009



Figur 1; Radon i indeklimaet og i det kapillarbrydende lag, (08-09-09 – 01-10-09)



Figur 2; Radon i indeklimaet og i det kapillarbrydende lag, (08-09-09 – 01-10-09), midlet over 12 målinger

Bilag 9.7

Meteorologiske undersøgelser,
delprojekt 1b,

Notat

Meteorologiske undersøgelser, delprojekt 1b

1. oktober 2010

Udarbejdet af JPN
Kontrolleret af MNJ
Godkendt af MNJ

1 Meteorologiske undersøgelser I forbindelse med delprojekt 1b 2
1.1 Trykdifferens 2

2 Resultater 3
2.1 Peder Kællers vej 23, målerunde 1 3
2.1.1 Meteorologiske forhold i perioden 3
2.1.2 Sammenhæng mellem radon og temperatur, trykdifferens og vind 4
2.2 Peder Kællers vej 23, målerunde 2 5
2.2.1 Meteorologiske forhold i perioden 5
2.2.2 Sammenhæng mellem radon og temperatur 5
2.3 Peder Kællers vej 31, målerunde 1 6
2.3.1 Meteorologiske forhold i perioden 6
2.3.2 Sammenhæng mellem radon og vind 6
2.4 Peder Kællers vej 31, målerunde 2 6
2.4.1 Meteorologiske forhold i perioden 6
2.4.2 Sammenhæng mellem radon og temperatur 6
2.5 Frederiksbjerg Torv 10, målerunde 1 7
2.5.1 Meteorologiske forhold i perioden 7
2.6 Frederiksbjerg Torv 10, målerunde 2 9
2.6.1 Meteorologiske forhold i perioden 9

3 Sammenfatning 10

NIRAS A/S
Åboulevarden 80
Postboks 615
8100 Århus C

CVR-nr. 37295728
Tilsluttet F.R.I
www.niras.dk

T: 8732 3232
F: 8732 3200
E: niras@niras.dk

D: 87323246
M: 20198766
E: jpn@niras.dk

1 Meteorologiske undersøgelser I forbindelse med delprojekt 1b

På flere at de undersøgte lokaliteter er der foretaget en registrering af meteorologiske data. Registreringen er foretaget i forbindelse med udførelse af undersøgelser til et selvstændigt projekt /4/ og er derfor kun indeholdt delvist i dette projekt.

Målinger af meteorologiske udendørs data er registreret kontinuerligt med en vejrstation af typen Techno-Line WS-2300, som måler de øjeblikkelige meteorologiske data. Hver time logges data med registrering af:

- Tidspunkt og dato
- Vejrudsigt og varsler
- Temperatur inde og ude
- Luftfugtighed inde og ude
- Atmosfærisk tryk
- Nedbørsmængde
- Vindhastighed og – retning

For yderligere beskrivelse af udstyret henvises til /4/.

Indendørs temperatur registreres primært med radonmålere af typen AlphaGuard, som tillige med radonkoncentrationen kan logge temperatur og barometertryk.

1.1 Trykdifferens

Ud over de meteorologiske forhold er der på flere af de undersøgte lokaliteter foretaget logninger af trykdifferensen mellem indeklima, udeklima og det kapillarbrydende lag.

Registreringen er foretaget i forbindelse med udførelse af undersøgelser til et selvstændigt projekt /4/ og er derfor kun indeholdt for udvalgte lokaliteter i dette projekt.

Målingerne er foretaget med et udstyr af typen Sontay ltd., model PA-267. Instrumentet kan bestemme trykforskellen mellem to punkter ned til under 1 Pa størrelse og er benyttet til at foretage logninger af kontinuerte tidslige differenstrykvariationer.

2 Resultater

I følgende afsnit afrapporteres samtlige data vedrørende meteorologiske forhold i målerunderne i delprojekt 1b, se afsnit 7.6 i hovedrapporten. Jf. nedenstående tabel 1 er der i målerunderne foretaget måling af forskellige meteorologiske forhold.

Lokalitet	Måle-periode	Dræn aktivt	Målte faktorer [1)]
Peder Kællers Vej 23, 8700 Horsens	29-11-2008 – 29-12-2008	13-12-2008 – 29-12-2008	Radon indeklima Radon under gulv Temperaturer (ude/inde) Vindhastighed Trykdifferens (ude/inde) Atmosfærisk tryk
	09-10-2009 – 12-11-2009	26-10-2009 – 12-11-2009	Radon indeklima Radon under gulv Temperaturer (ude/inde) Atmosfærisk tryk
Peder Kællers Vej 31, 8700 Horsens	05-05-2009 – 28-05-2009	15-05-2009 – 28-05-2009	Radon indeklima Radon under gulv Temperaturer (ude/inde) Vindhastighed Vindretning Atmosfærisk tryk
	12-11-2009 – 06-12-2009	26-11-2009 – 06-12-2009	Radon indeklima Radon under gulv Temperaturer (ude/inde) Atmosfærisk tryk (ude)
Frederiksbjerg Torv 10, 8000 Århus C	17-02-2009 – 13-03-2009	02-03-2009 – 13-03-2009	Radon indeklima Radon under gulv Temperaturer (ude/inde) Vindhastighed Trykdifferenser (ude/inde Atmosfærisk tryk (ude)
	02-09-2009 – 01-10-2009	23-09-2009 – 01-10-2009	Radon indeklima Radon under gulv Temperaturer (ude/inde) Atmosfærisk tryk (ude)

Tabel 1 Måleprogram for delprojekt 1b

2.1 Peder Kællers vej 23, målerunde 1

Der er i denne målerunde foretaget en logning af de meteorologiske forhold i undersøgelsesperioden samtidig med måling af radonkoncentrationer. Logning af meteorologiske forhold er ikke gældende for samtlige lokaliteter, se afsnit 7.3.2 i hovedrapporten.

2.1.1 Meteorologiske forhold i perioden

- *Udetemperaturen* varierer gennem måleperioden fra omkring -5 ˚C til +10 ˚C. Gennemsnitligt stiger udetemperaturen svagt i perioden, hvor ventileringen er aktivering (gennemsnitligt fra 1,9 til 2,6 ˚C).
- *Det atmosfæriske tryk* varierer gennem perioden. Først en lavtryksperiode med tryk ned omkring 980 hPa, herefter en rimelig stabil normaltryksperiode, efterfulgt af et højtryk i slutningen af måleperioden med tryk op til omkring 1045 hPa.
- *Vindhastigheden* for hele måleperioden ligger gennemsnitligt på ca. 4,1 m/s (se bilag 9.1, figur 3 og 4).
- *Trykdifferensen mellem inde og ude* ligger generelt på ca. 0,6 – 0,9 Pa undertryk indenfor.

  04-12-08 (se bilag 9.1, figur 5) ved 18 tiden forekommer en kortere periode med varierende indendørs under- og overtryk fra ca. 6 Pa undertryk til ca. 12 Pa overtryk. Sammenfaldende med stigende vindpåvirkning med vindhastigheder op til over 20 m/s.

  Den 22-12-08 (se bilag 9.1, figur 6) forekommer en kortere periode med indendørs undertryk op til 19 Pa.

  Fra den 13-12-08 kl. ca. 15 til den 15-12-08 kl. ca. 08 (se bilag 9.1, figur 5 og 6) forekommer en periode med markante indendørs undertryk op til 49 Pa, men også enkelte udslag for overtryk op til 11 Pa. Sammenfaldende med stigende vindpåvirkning med vindhastigheder op til 40 m/s.

  Den 20-12-08 (se bilag 9.1, figur 6) ved 12-tiden forekommer en kortere periode med varierende indendørs under- og overtryk fra ca. 9 Pa undertryk til ca. 15 Pa overtryk. Grundet udstyrssvigt i denne periode er det uvist, om svingningerne i trykdifferensen var sammenfaldende med vindpåvirkninger.

  Den 22-12-08 (se bilag 9.1, figur 6) forekommer en periode med primært indendørs overtryk op til 9 Pa. Sammenfaldende med stigende vindpåvirkning med vindhastigheder op til over 40 m/s.

- *Indetemperaturen* er stort set den samme gennem hele perioden, gennemsnitligt 22 ˚C.

2.1.2 Sammenhæng mellem radon og temperatur, trykdifferens og vind

- Radonkoncentrationen under gulv og i stuen er gennem hele perioden afhængig af temperaturdifferensen mellem ude og inde og følger nogenlunde samme variationer og udsving. Generelt set kan siges at med højere temperaturdifferens, følger mere radon.
- Radonkoncentrationen er faldende ved store pludselige udsving i trykdifferensen. Trykdifferensen stiger med stigende vindpåvirkning og i visse perioder også med en stigning i temperaturdifferensen (ude/inde).
- Det ses som forventet, at øget vindpåvirkning giver anledning til faldende radonkoncentration i det kapillarbrydende lag (se bilag 9.1, figur 3 og 4). Det installerede

ventilationsdræn i det kapillarbrydende lag virker netop ved vindpåvirkning af en vindhætte på taget samt termisk opdrift i afkastrøret. Det forventes, at øget vindpåvirkning af konstruktionen giver anledning til øget rotation af vindhætten og dermed øget ventilation i ventilationsdrænet. Uden ventilationsdræn kan de ændrede trykforhold på konstruktionen givetvis give anledning til øget eller formindsket konvektiv strømning af poreluft til indeklima, afhængig af trykforholdenes størrelse og påvirkning af det indendørs relative undertryk.
Det skal her understreges, at disse forhold ikke har været indeholdt i projektet og derfor kun perifert er inddraget i en diskussion og vurdering.

Resultaterne fra radonmålingerne i målerunden er afbildet i bilag 9.1.

2.2 Peder Kællers vej 23, målerunde 2

Der er i denne målerunde ikke foretaget en logning af de meteorologiske forhold i undersøgelsesperioden. Der er dog foretaget en samtidig registrering af inde- og udetemperaturer for perioden.

2.2.1 Meteorologiske forhold i perioden

- *Udetemperaturen* varierer med temperaturer fra omkring -4 ˚C til +17 ˚C. Gennemsnitligt stiger udetemperaturen svagt i perioden op til aktivering af drænet (gennemsnitligt fra 6 til 10 ˚C) og ligger herefter nogenlunde stabilt på ca. 8 ˚C. I starten af måleperioden er der store variationer mellem kolde nætter og varme solrige dage. Den største variation finder sted d. 18. oktober med nattemperaturer ned til -2 ˚C og dagtemperatur op til 16 ˚C.
- *Indetemperaturen* er stort set den samme gennem hele perioden, gennemsnitligt 24-25 ˚C, dog svagt faldende i slutningen af målerunden til ca. 24 ˚C.

2.2.2 Sammenhæng mellem radon og temperatur

På bilag 9.2 figur 3 og 4 vises sammenhængen mellem radonkoncentrationen i stuen og temperaturdifferensen mellem inde og ude. For at opnå et mere tydeligt billede af, hvad der sker, er værdierne på figurerne midlet over 12 målinger igennem måleperioderne.

- *Før ventilering.* Radonkoncentrationen i stuen er, før aktivering af dræn, i væsentlig grad afhængig af variationerne i temperaturdifferensen mellem ude og inde, og effekten af den varierende temperaturdifferens kan tydeligt spores. Jo højere temperaturdifferens, desto mere radon.
- *Koldt udeklima.* Som det kan aflæses af figur 3 bilag 9.2, følges toppe og dale i niveauerne ad, således at stigende temperaturdifferens (altså koldere udeklima) som regel giver anledning til øget flux af radon til indeklimaet og dermed en øget koncentration. Der er enkelte udfald, eks. d. 21-10-2009, hvor en stigende temperaturdifferens dog ikke giver anledning til øget radonkoncentration.
- *Mindre temperaturafhængighed med ventilering.* Situationen ændres markant efter start af dræn, hvor der herefter ikke længere er nogen markant overensstemmelse mellem temperaturen og indholdet af radon i indeluften.

2.3 Peder Kællers vej 31, målerunde 1

Der er i denne målerunde foretaget en logning af de meteorologiske forhold i undersøgelsesperioden samtidig med måling af radonkoncentrationer. Der er ikke foretaget måling af trykdifferens.

2.3.1 Meteorologiske forhold i perioden

- *Udetemperaturen* stiger, fra gennemsnitlig 11,6 til gennemsnitlig 13,7 ˚C.
- *Indetemperaturen* stiger en smule i perioden, med en gennemsnitlig ændring på mellem 0,5 og 1 ˚C fra før til efter aktivering af dræn
- *Temperaturdifferensen* mellem inde og ude (målt i stuen), falder fra 12,6 til 10,8 ˚C gennemsnitligt over målerunderne før og efter start af dræn (se bilag 9.3, figur 5 og 6).
- Der er generelt meget store forskelle i temperaturen mellem dag og nat, hvor dagstemperaturen svinger mellem 15 – 27 ˚C, og nattemperaturen ligger på ca. 1 – 9 ˚C (se bilag 9.3, figur 7 og 8).
- Der er enkelte perioder med kraftigere end normal vindpåvirkning, se bilag 9.3, figur 3 og 4. Vindpåvirkningen giver anledning til fald i radonkoncentrationen under gulvet og i indeklimaet.

2.3.2 Sammenhæng mellem radon og vind

På bilag 9.3 figur 3 og 4 vises sammenhængen mellem radonkoncentrationen i det kapillarbrydende lag og vindpåvirkningen af konstruktionen.

- Som det kan aflæses af figurerne 3 og 4 i bilag 9.3, sker der et markant fald i radonkoncentrationen, efter drænet aktiveres. Desuden kan der ses en tydelig sammenhæng mellem radonkoncentrationen i laget og vindpåvirkningen af konstruktionen, sandsynligvis på grund af en øget effekt fra vindhætten, der er drivkraften for ventilationen i det kapillarbrydende lag.

2.4 Peder Kællers vej 31, målerunde 2

Der er i denne målerunde ikke foretaget en logning af de meteorologiske forhold eller trykdifferens i undersøgelsesperioden. Der er dog foretaget en registrering af indetemperaturen for perioden, samt logning af temperaturen i målekassen for udstyret RAD7 placeret ved boligens nordlige gavl, se bilag 8.3.

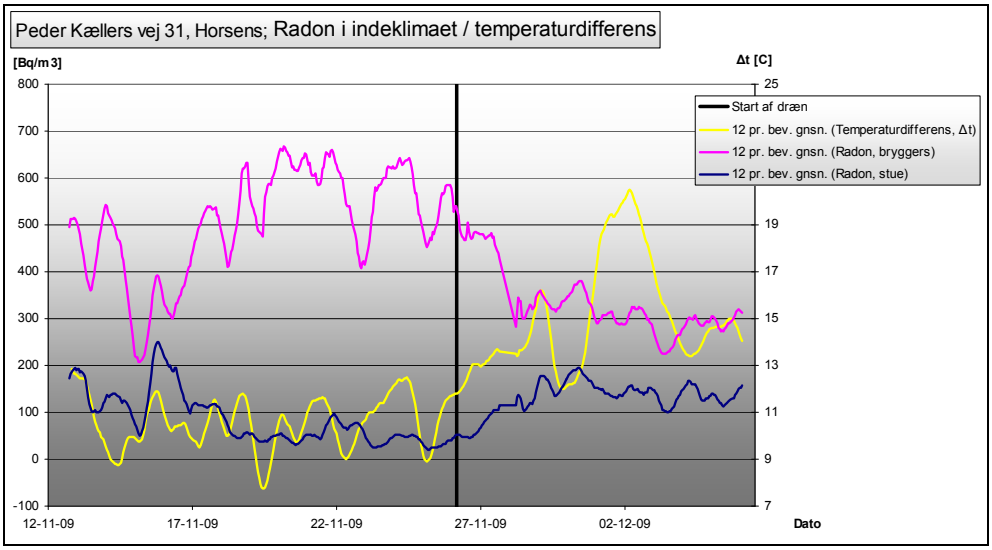
2.4.1 Meteorologiske forhold i perioden

- *Temperaturen i måleboksen* for RAD7, placeret udendørs, varierer med temperaturer fra omkring +10 til +15 ˚C igennem perioden med deaktiveret dræn. Efter aktivering falder temperaturen støt fra +10 til 1 ˚C over en periode på 6 dage og stiger herefter igen støt til +10 ˚C på ca. 4 dage.
- *Indetemperaturen* er stort set den samme gennem hele perioden, varierende mellem ca. 22-24 ˚C, med gennemsnit på ca. 23 ˚C.

2.4.2 Sammenhæng mellem radon og temperatur

Umiddelbart efter aktivering af dræn ændrer vejrforholdende sig i væsentlig grad ved det, at udetemperaturen falder støt, fra gennemsnitlig 12 til gennemsnitlig 8 ˚C.

- Indetemperaturen ligger rimeligt konstant med en gennemsnitlig ændring for de to målepunkter på under 1 ˚C for før og efter aktivering af dræn.
- Som følge af den faldende udetemperatur stiger temperaturdifferensen og når et maksimum på 21 ˚C d. 02-12-2009, se figur 1 herunder (se bilag 9.4, figur 3 og 4).
- Det markante skift i temperaturdifferensen har muligvis en effekt på indtrængningen af radon, som under normale omstændigheder (uden dræn) kunne formodes at øges kraftigt (se bilag 9.4, figur 3 og 4).
- Ud fra de specifikke måledata kan det således ikke direkte aflæses, at ventilationen har en positiv effekt på koncentrationen af radon i stuen (se bilag 9.4, figur 1 og 6). De skiftende meteorologiske forhold vurderes dog at være medvirkende årsag til dette. Samtidig er det vigtigt at påpege, at der i teknikskabet ses en tydelig positiv effekt på radonkoncentrationen, efter opstart af dræn (se bilag 9.4, figur 2).



Figur 1: Peder Kællers Vej 31, målerunde 2, før og efter start af dræn.

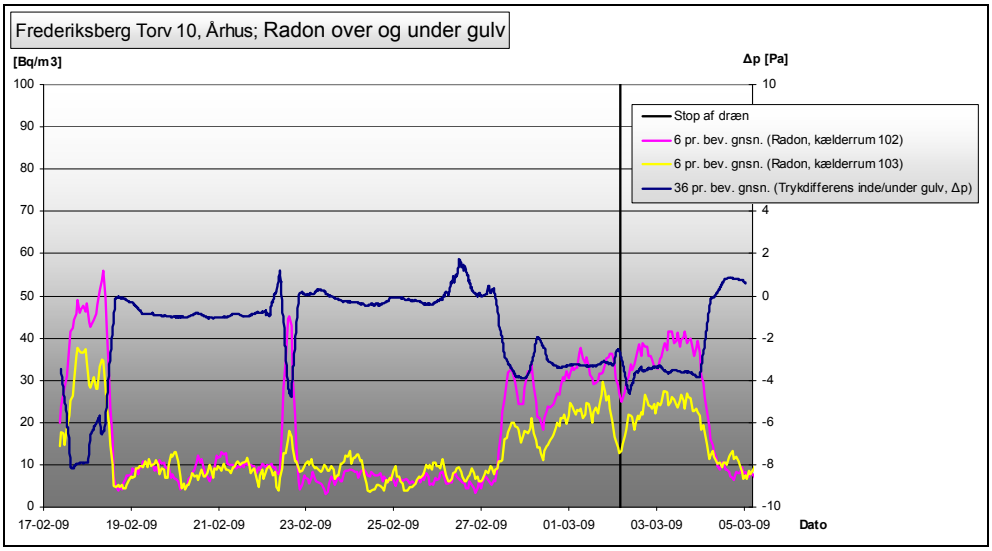
2.5 Frederiksbjerg Torv 10, målerunde 1

Der er i denne målerunde foretaget en logning af de meteorologiske forhold i undersøgelsesperioden samtidig med måling af radonkoncentrationer.

2.5.1 Meteorologiske forhold i perioden

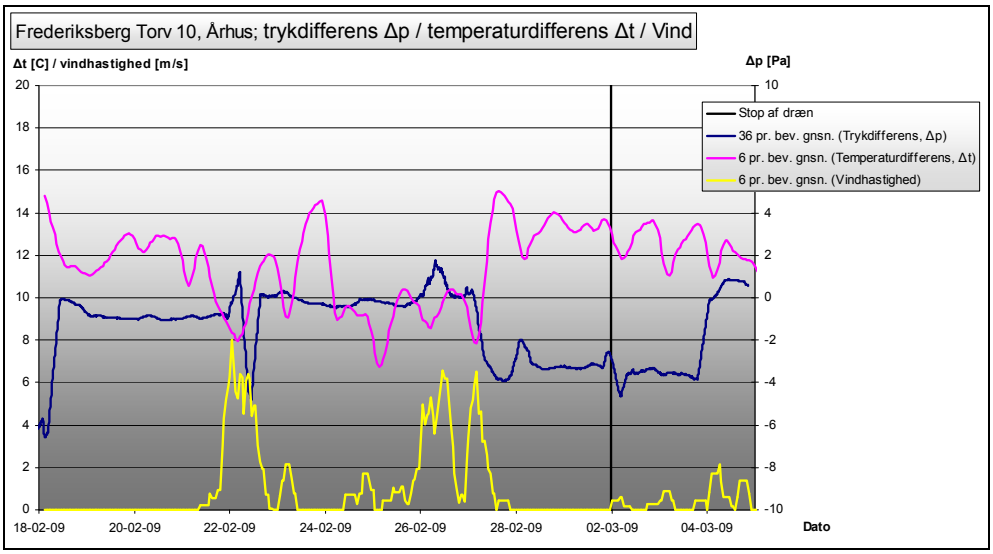
- *Udetemperaturen* stiger svagt, fra gennemsnitlig 2,8 ˚C til gennemsnitlig 3,8 ˚C.
- *Indetemperaturen* stiger svagt, fra gennemsnitlig 14,2 ˚C til gennemsnitlig 15,2 ˚C, sandsynligvis som følge af stigningen i udetemperaturen.
- *Temperaturdifferensen* mellem inde og ude ligger stabilt på ca. 11,3 ˚C.
- Den lave indendørs temperatur skyldes, at kælderen benyttes som vaskekælder og er uopvarmet. Det meste af tiden er vinduer åbne ind til vaskekælder. Den eneste varmekilde er varmeafgivelse fra vaskemaskine, tørretumbler, varmeinstallationer, overliggende etager og lign.
- *Trykdifferensen mellem inde og ude* ligger på ca. 2,3 Pa undertryk indendørs over hele perioden.

- *Trykdifferensen mellem inde og det kapillarbrydende lag* ligger på ca. 1,7 Pa undertryk indendørs over hele perioden.
- Trykdifferensen mellem inde og under gulv varierer og er meget styrende for radonkoncentrationen i indeklimaet, se figur 2 (se bilag 9.5 figur 2 og 3). Bygningen har for nylig fået installeret ny gulvkonstruktion /16/, og det må forventes ud fra ovenstående, at den smule radon, der kan trænge ind til kælderen gennem den ny tætte gulvkonstruktion, netop er drevet af trykdifferensen.



Figur 2: Frederiksberg Torv 10, Målerunde 1, før og efter start af dræn. Målingerne er midlet over 12 timer.

- På figur 3 (se bilag 9.5 figur 3) herunder ses, hvorledes tryk- og temperaturdifferensen samt vindhastigheden influerer på hinanden. På figuren ses, hvorledes en øget temperaturforskel mellem inde- og udetemperaturen giver anledning til øget undertryk indendørs (negative værdier på grafen), og dermed øget indendørs radonkoncentration (figur 2). Dette ses særligt den 18.februar og den 28. februar til 4. marts. På samme måde ses, hvorledes vindens påvirkning af bygningen giver anledning til ændret trykdifferens, specielt for den 22. og 26. februar.



Figur 3: Frederiksberg Torv 10, vind, tryk- og temperaturdifferens. Målingerne er midlet over 6 timer.

2.6 Frederiksbjerg Torv 10, målerunde 2

Der er i denne målerunde ikke foretaget en logning af de meteorologiske forhold i undersøgelsesperioden. Der er dog foretaget en samtidig registrering af inde- og udetemperaturer for perioden.

2.6.1 Meteorologiske forhold i perioden

- *Udetemperaturen* falder svagt, fra gennemsnitlig 14,5 til gennemsnitlig 11,7 ˚C.
- *Indetemperaturen* ligger rimeligt konstant på ca. 24,5 ˚C, med en gennemsnitlig ændring for de to målepunkter på under 1 ˚C for før og efter aktivering af dræn.

3 Sammenfatning

Den trykdifferens, der opstår som følge af temperaturforskelle mellem ude og inde, er en af de faktorer, der formodes at have størst betydning for, i hvilket omfang det radon, der dannes i jorden under huset, spredes til den overliggende bolig og her påvirker indeklimaet. De gennemførte undersøgelser peger som i litteraturen samstemmende i denne retning, men det må dog påpeges, at forholdene bør undersøges nærmere ved en senere lejlighed for at få endelig klarhed.

Den i projektet foreliggende viden om temperaturmæssige forhold og om eventuelle trykdifferencer er overfladisk inddraget i afsnit 7.6 i hovedrapporten. Da indsamling af disse data (temperatur og trykdifferens) ikke har været en egentlig del af dette projekt, er disse derfor alene medtaget, hvor de har kunnet fremskaffes fra anden projektside /4/.

Bilag 10

Laboratorieforsøg,
delprojekt 2,

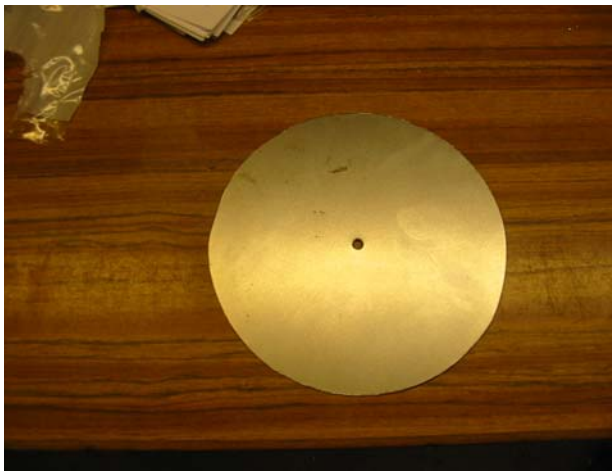
Bilag 10.1

Laboratorieforsøg delprojekt 2, Billeder fra udførelsen af forsøgsemner og laboratorietests

Fotodokumentation

Delprojekt 2

Fremstilling af kasse



Blænde til indblæsning

Klar til hærdning af prøver

Forskalling til prøve nr. 1

Hak i kasse lukket til med trælim

Færdig kasse

Fremstilling af kasse

Fremstilling af kasse

Færdig forskalling med armerningsnet til prøve 1

Bøjledetalje ved forskalling til prøve 1

Bøjledetalje ved forskalling til prøve 1

Færdig forskalling med armerningsnet til prøve 1

Betonblanding til prøve 1

Afdækning af prøve 1

Afdækning af prøve 1

Afdækning af prøve 1

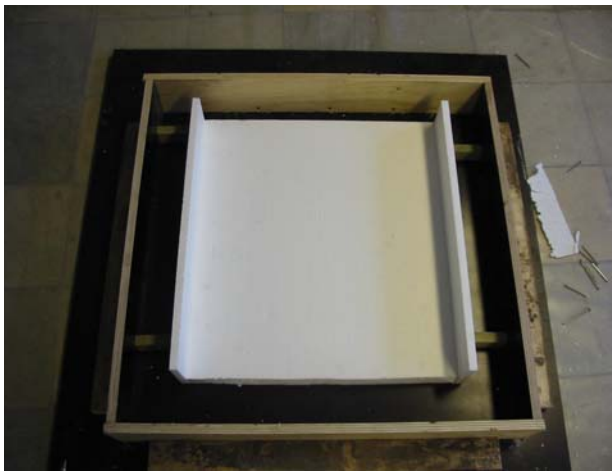
Kar til hærdning af prøver

Kar til hærdning af prøver

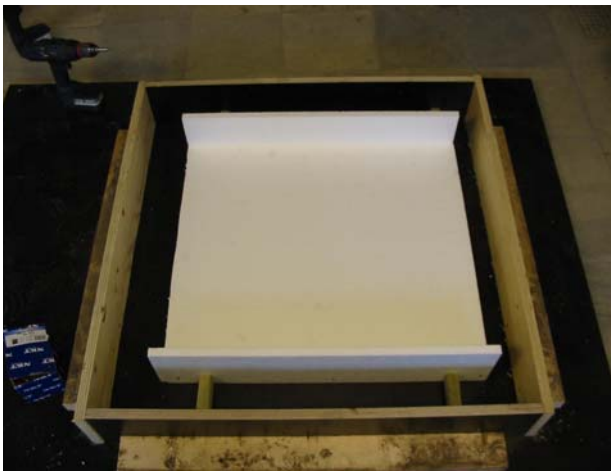
Kar til hærdning af prøver

Forskalling til prøve 6

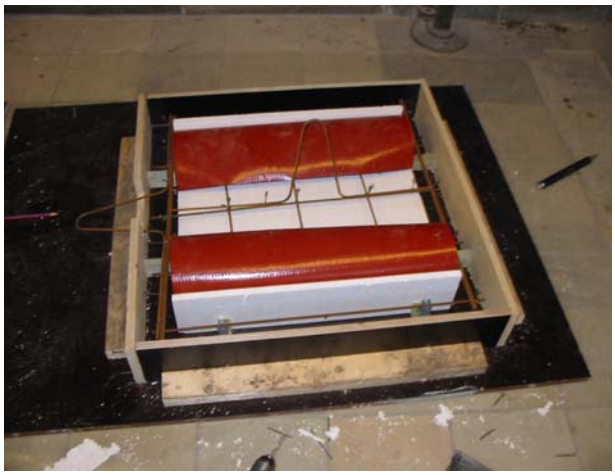
Trykfast isolering til prøve 6



Trykfast isolering til prøve 6

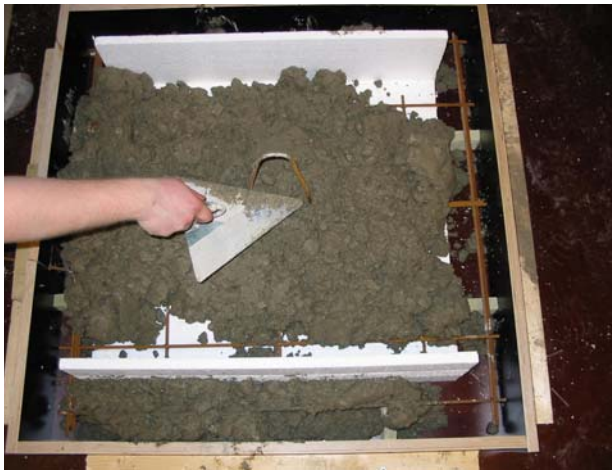


Trykfast isolering til prøve 6

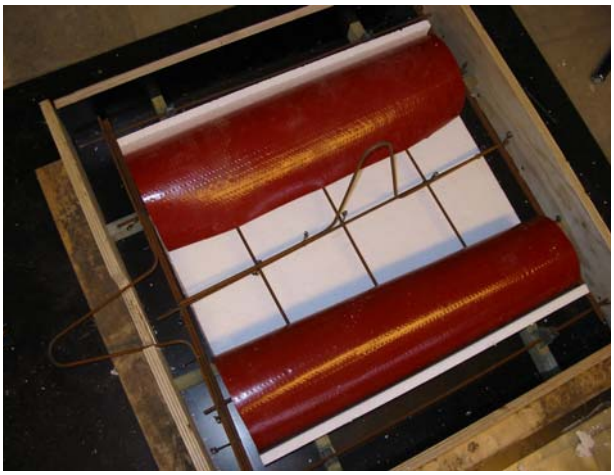


Trykfast isolering og membran til prøve 6

Støbning af prøve 5



Støbning af prøve 5



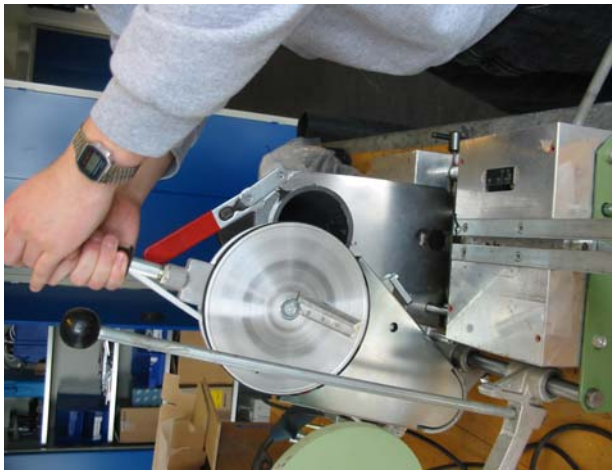
Trykfast isolering og membran til prøve 6

Færdig prøve 6

Færdig prøve 5

Afpropning af rør

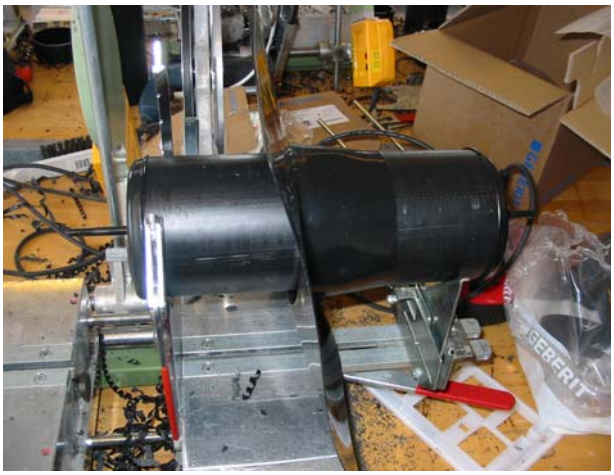
Afpropning af rør



Afpropning af rør

Afpropning af rør

Afpropning af rør



Fastgørelse af tophat

Fastgørelse af tophat

Afproppede rør

Støbning af prøve 2

Støbning af prøve 2

Hærdekar

Støbning af prøve 3

Tilpasning af kasse

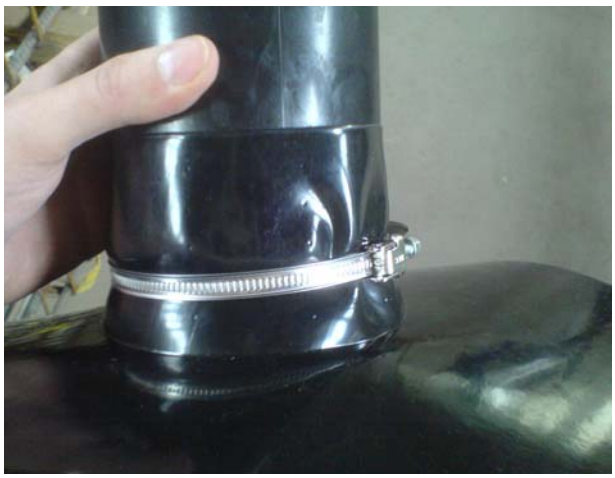
Tilpasning af kasse

Færdig prøve 3

Støbning af prøve 4

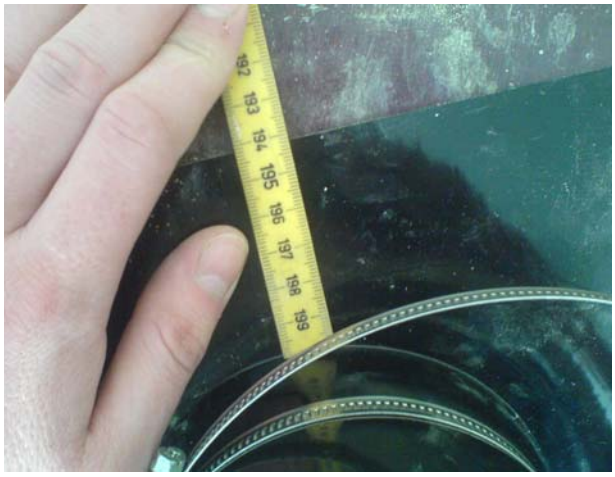
Støbning af prøve 4

Støbning af prøve 4

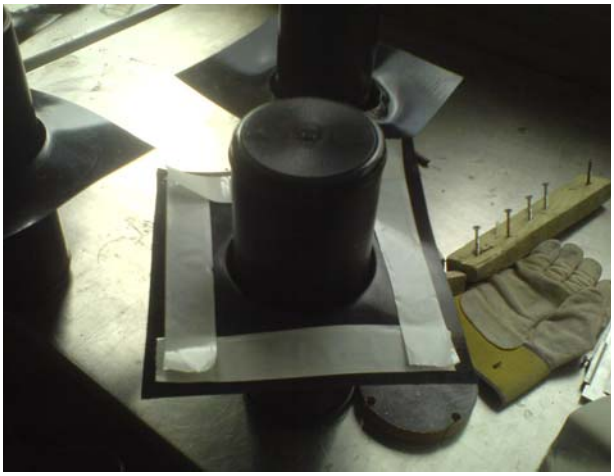


Prøve 4, fastspænding af tophat

Prøve 4, oprindelig flangebredde



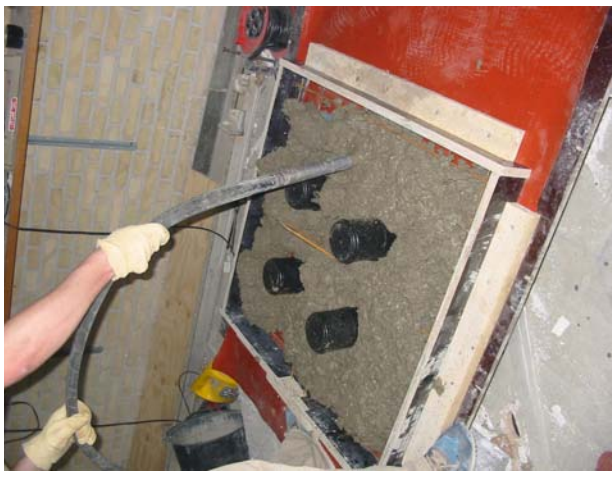
Prøve 4, tilpasset flangebredde



Prøve 4, butyltape

Støbning af prøve 4

Støbning af prøve 4



Støbning af prøve 4

Støbning af prøve 4

Støbning af prøve 4

Støbning af prøve 4

Færdig prøve 4

Kanalsystem

Huller til studse

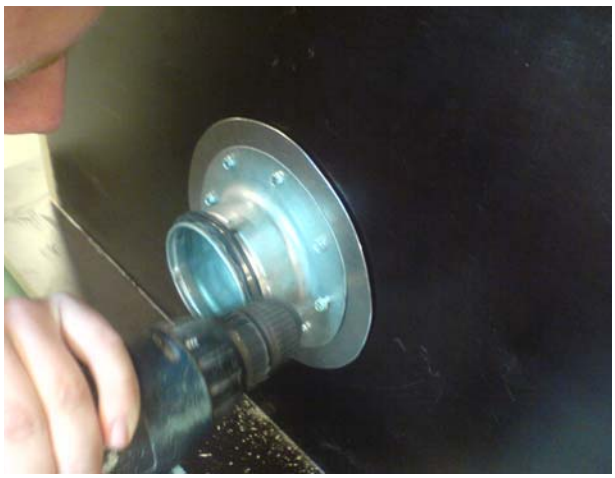
Tætningstape

Studs til elforsyning

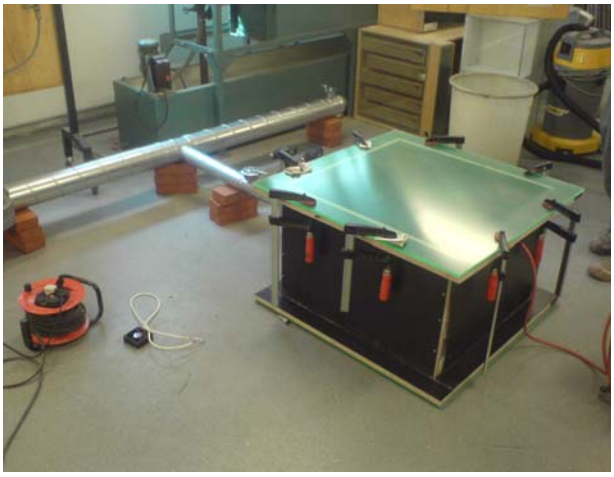
Studs til trykdifferensmåler

Rørsamlinger

Rørsamlinger



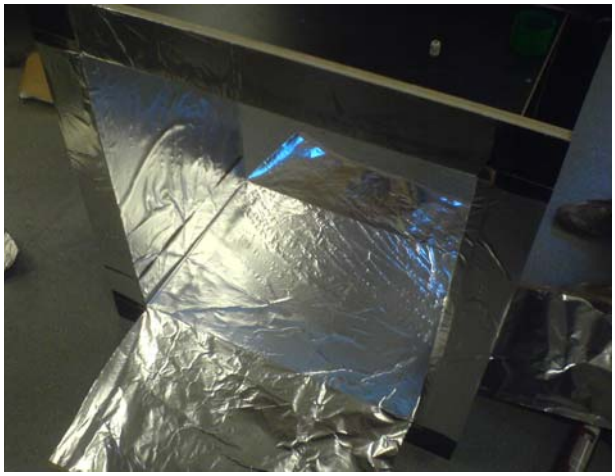
Indblæsning til kasse



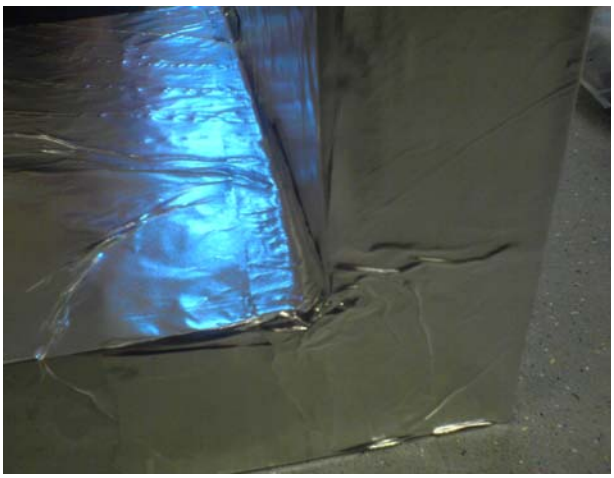
Indledende test af doseringskammer

Fastgørelse af kraftfolie

Fastgørelse af kraftfolie



Doseringskammer pakkes ind i kraftfolie

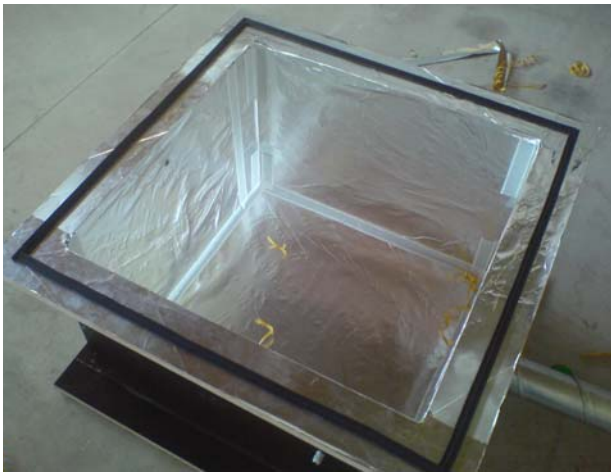


Doseringskammer pakkes ind i kraftfolie

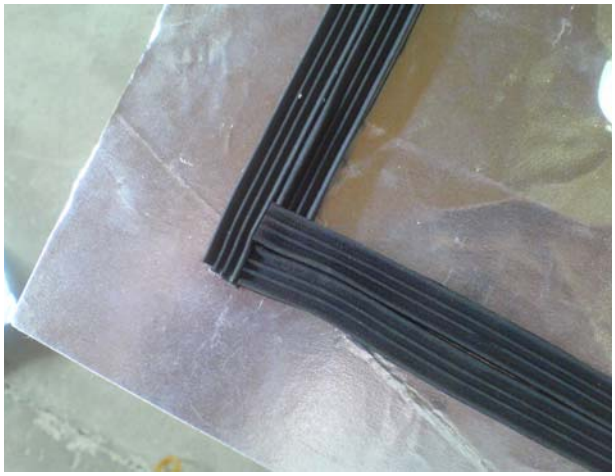
Doseringskammer pakkes ind i kraftfolie

Samling af overlap med butyltape

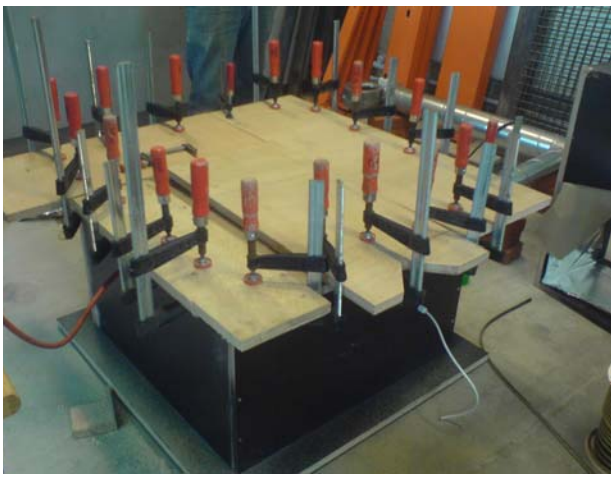
Målekammer pakkes ind i kraftfolie



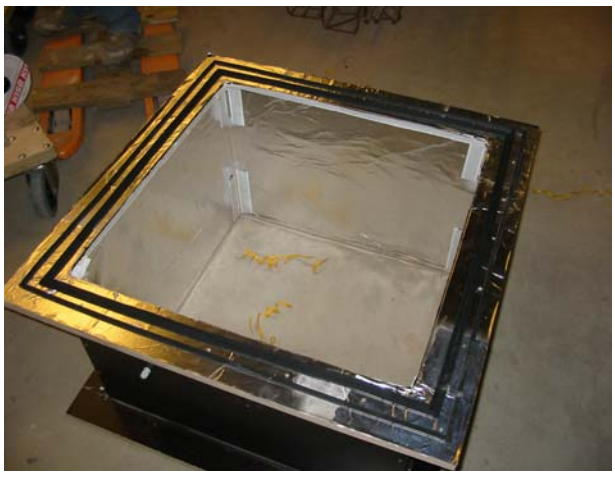
Tætning af doseringskammer med gummilister



Tætning af doseringskammer med gummilister



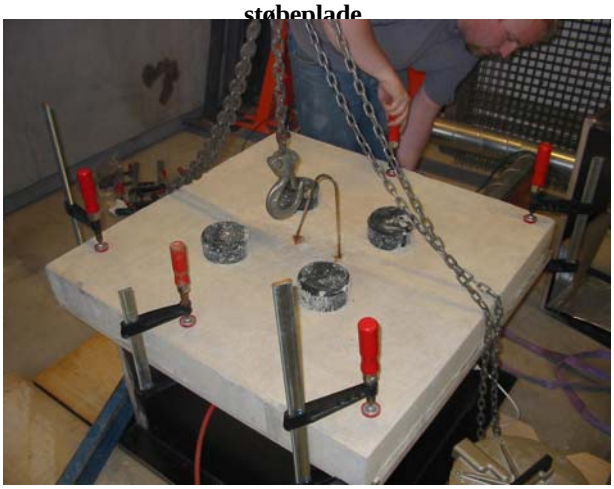
Tryktest af doseringskammer



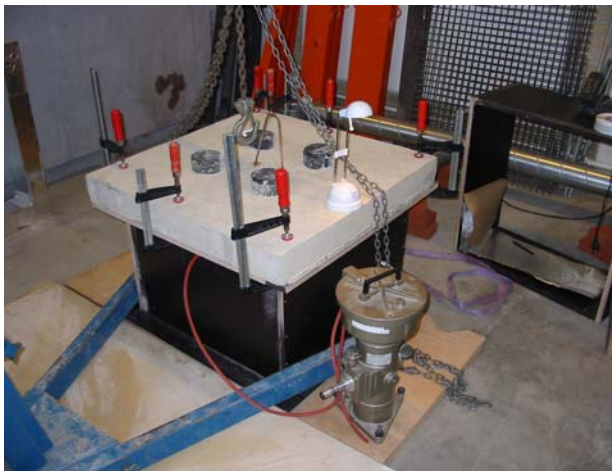
Plexiglas i bund af doseringskammer skiftes ud med støbeplade

Plexiglas i bund af doseringskammer skiftes ud med støbeplade

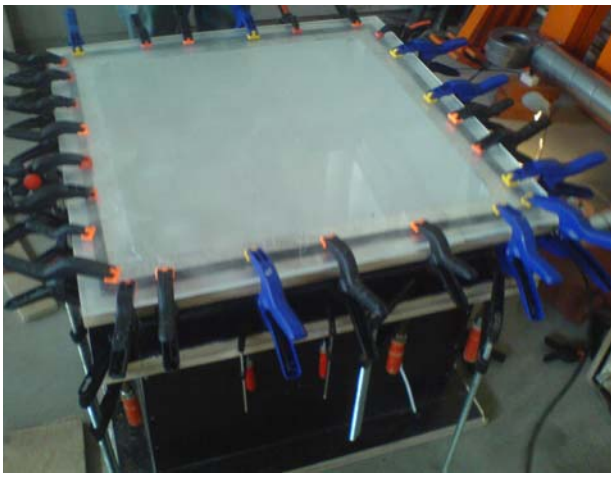
Indledende forsøg med prøve 2



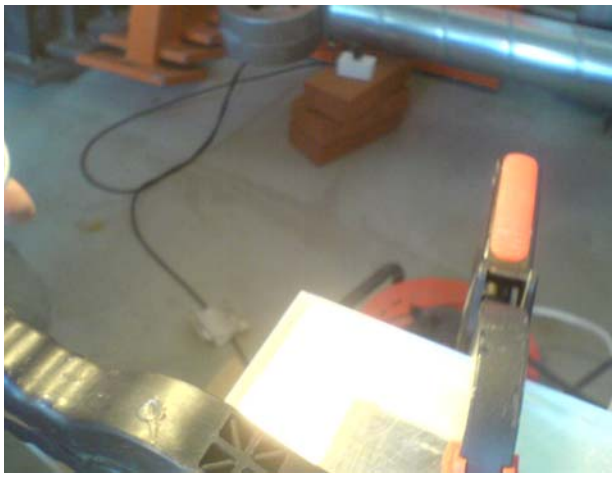
Indledende forsøg med prøve 2



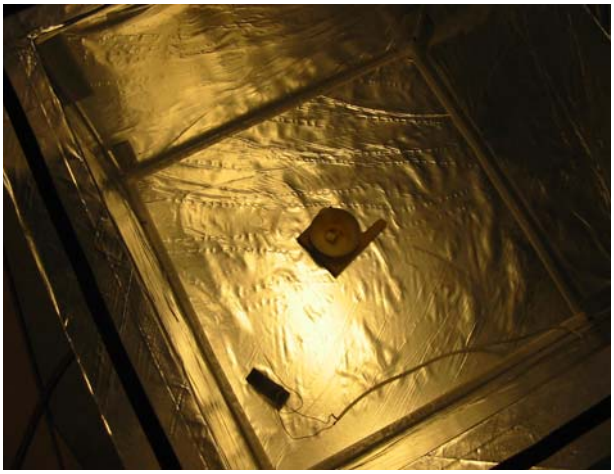
Indledende forsøg med prøve 2



Forsøg med klemmer

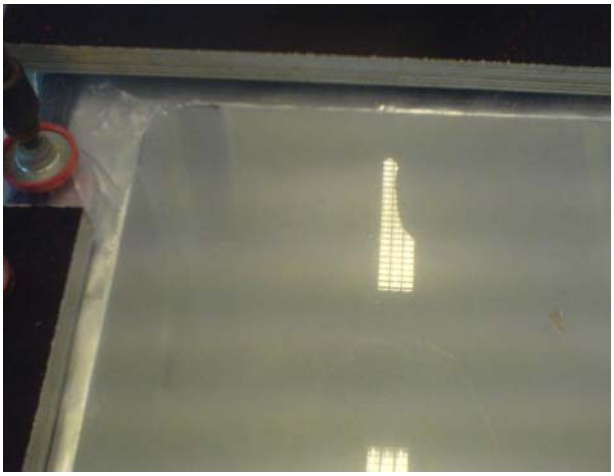


Forsøg med klemmer



Rørpille før antændelse

Røgforsøg af måle- og doseringskammer



Røgforsøg af måle- og doseringskammer

Røgforsøg af måle- og doseringskammer

Prøve 4

Prøve 4

Prøve 1, nedslibning af ujævnheder

Prøve 1, nedslibning af ujævnheder

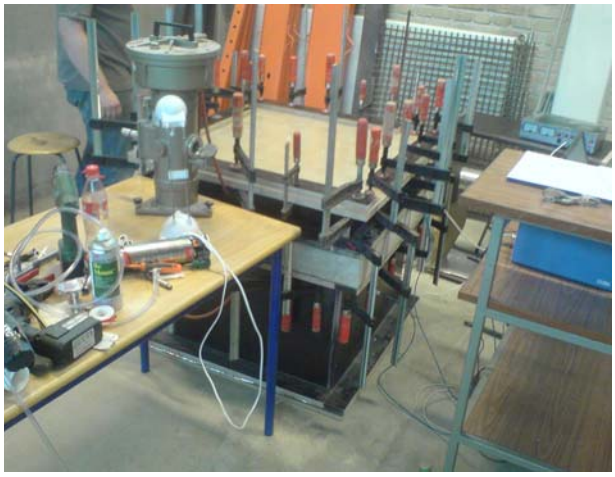
Prøve 1, nedslibning af ujævnheder

Prøve 5, nedslibning af ujævnheder

Prøve 5, nedslibning af ujævnheder

Prøve 6, nedslibning af ujævnheder

Reguleringsventil til gas



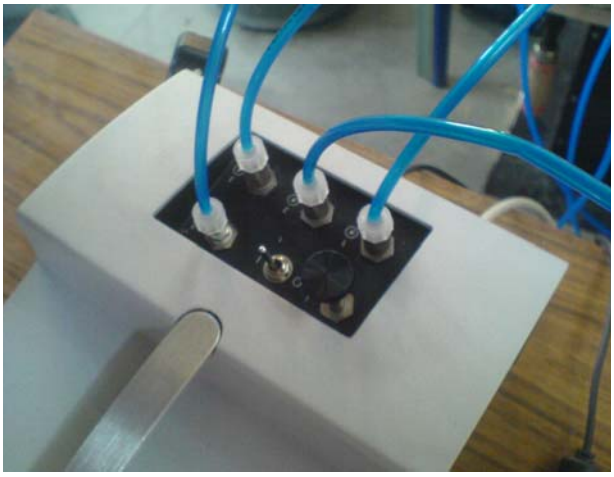
Prøve 1, måling

Prøve 1, måling

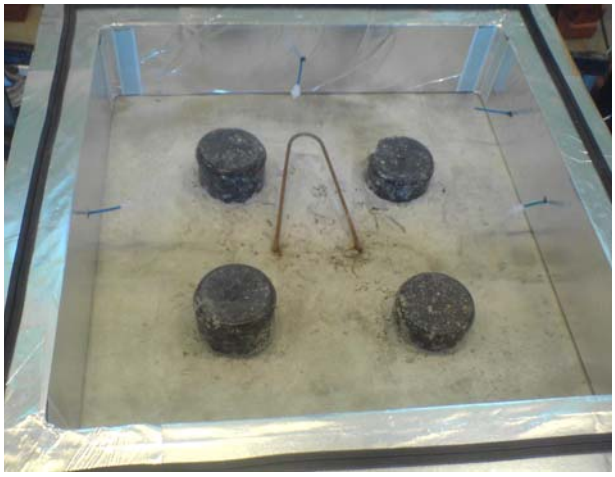
Prøve 1, måling

Prøve 1, måling

Prøve 1, måling



VIVO trigas

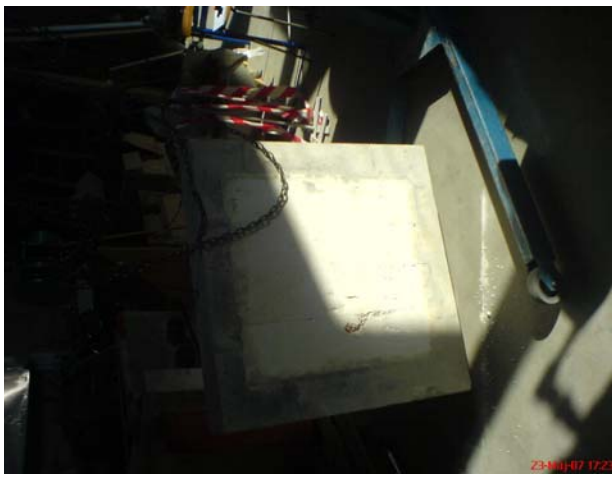


Prøve 4, måling

Prøve 4, knækket bøjle

Prøve 2, rengøring af rør

Doseringskammer efter forsøg med røgpulver



Prøve 5, skade i polystyren

Perforeret metalplade med understøtninger

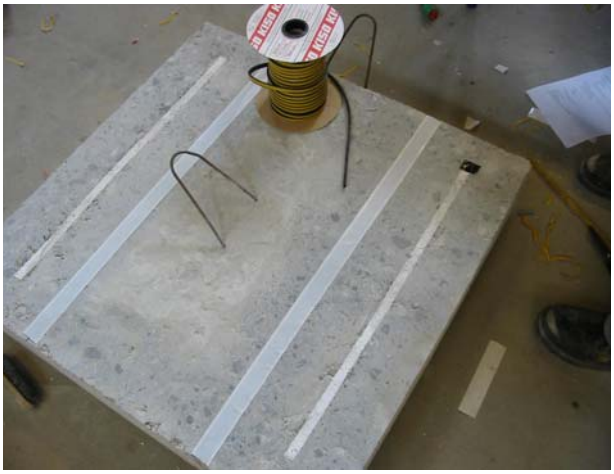
Prøve 6, riller skåret i polystyren

Prøve 6, indledende røgforsøg

Prøve 6, afdækning af træstykker

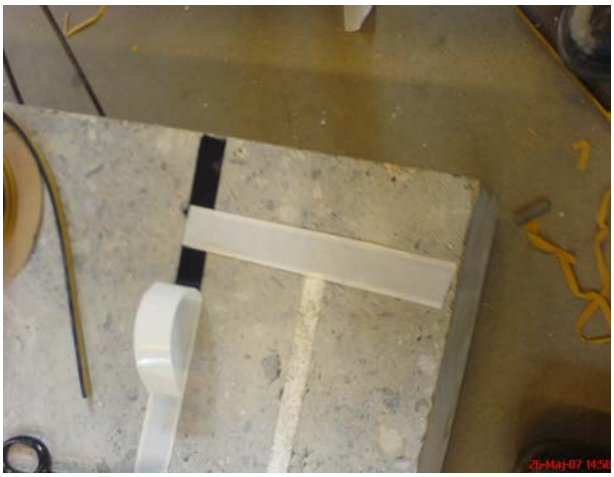
Prøve 6, afdækning af træstykker

Perforeret stålplade med udskæring

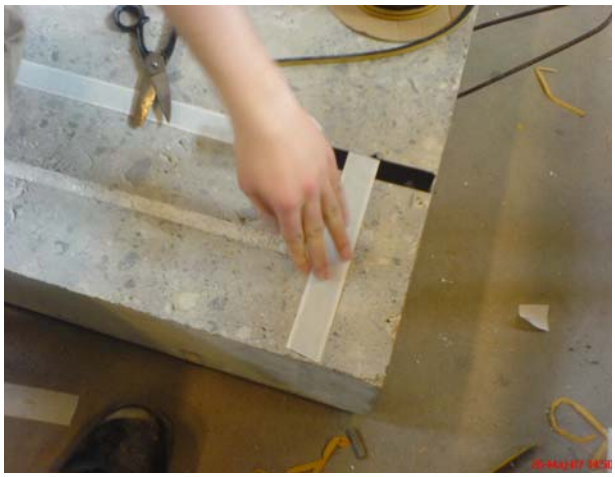


Prøve 5, fastgørelse af membran

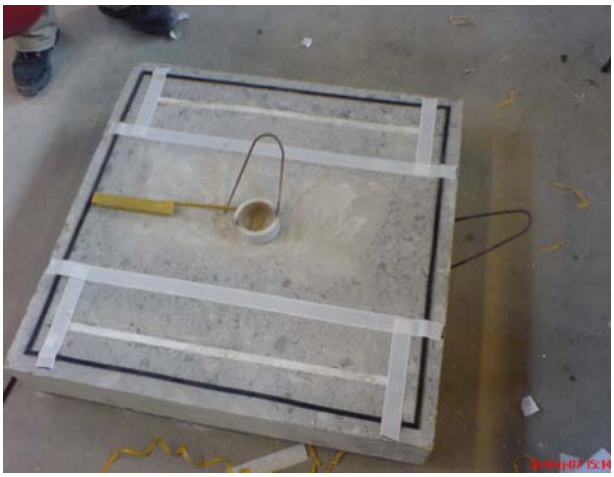
Prøve 5, fastgørelse af membran



Prøve 5, fastgørelse af membran



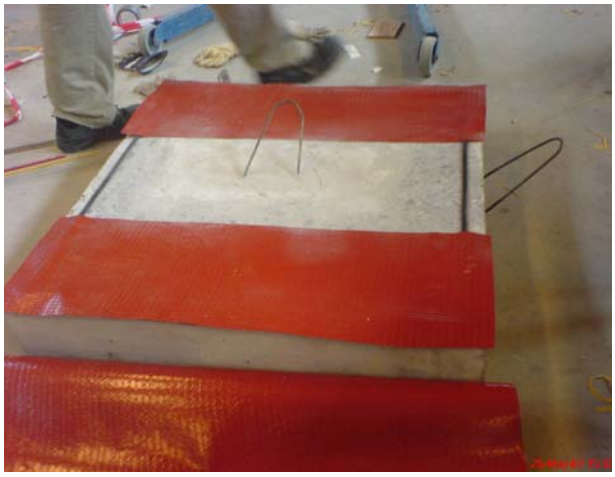
Prøve 5, fastgørelse af membran



Prøve 5, fastgørelse af membran

Prøve 5, fastgørelse af membran

Prøve 5, fastgørelse af membran



Prøve 5, fastgørelse af membran

Prøve 6, lapning af hul i membran med gaffatape

Prøve 3, rengøring af rør

Prøve 3, vådrumsfuge

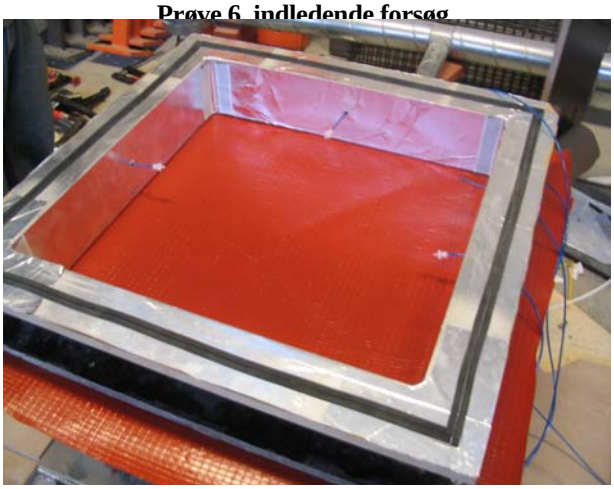
Prøve 3, vådrumsfuge

Prøve 3, vådrumsfuge

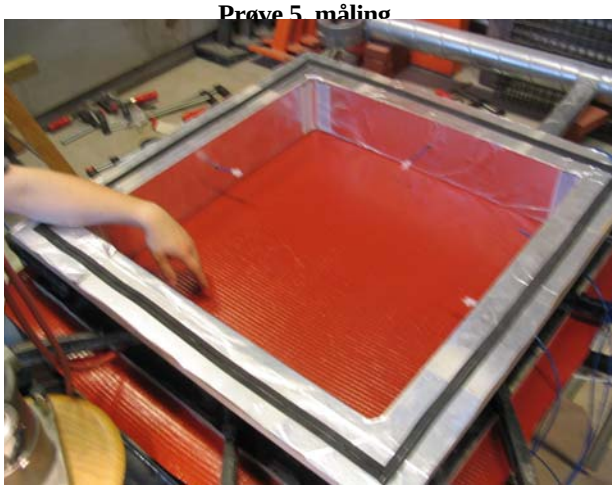
Prøve 3, vådrumsfuge

Prøve 6, indledende forsøg

Prøve 5, måling

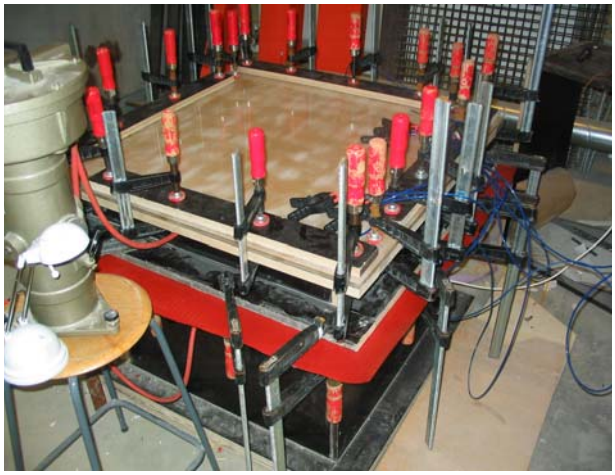


Membran måling 1

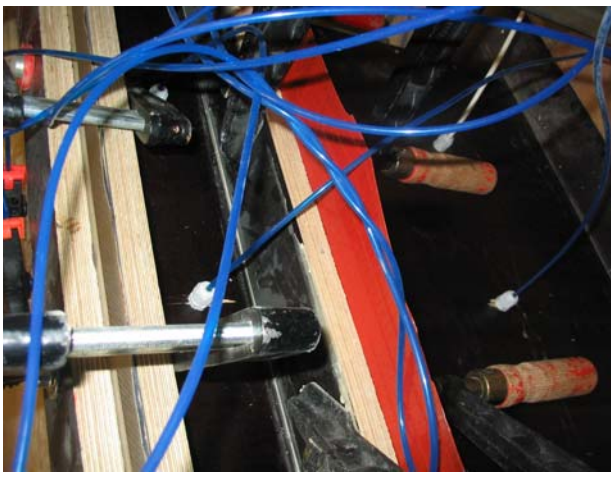


Membran måling 2

Membran måling 3



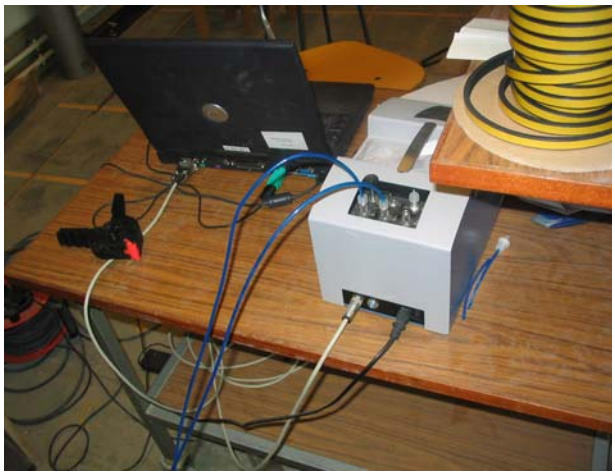
Membran måling 4



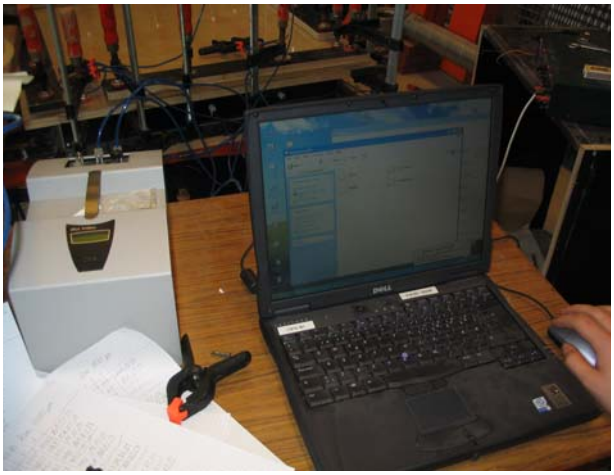
Membran måling 5

Membran måling 6

Gasflasker, hhv. N_2O og CO_2



VIVO trigas og bærbar



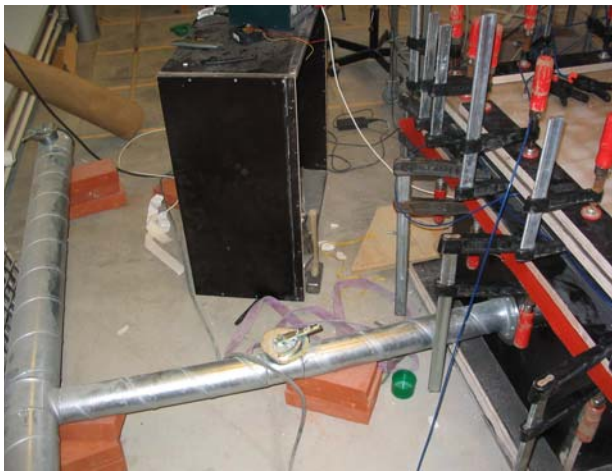
VIVO trigas og bærbar

Strømforsyning til computerblæser

N_2O gasflaske

N_2O gasflaske

Ventilator



Ventilationskanaler

Tilslutning af trykdifferensmåler

Samling ved flange på dosimeringskammer

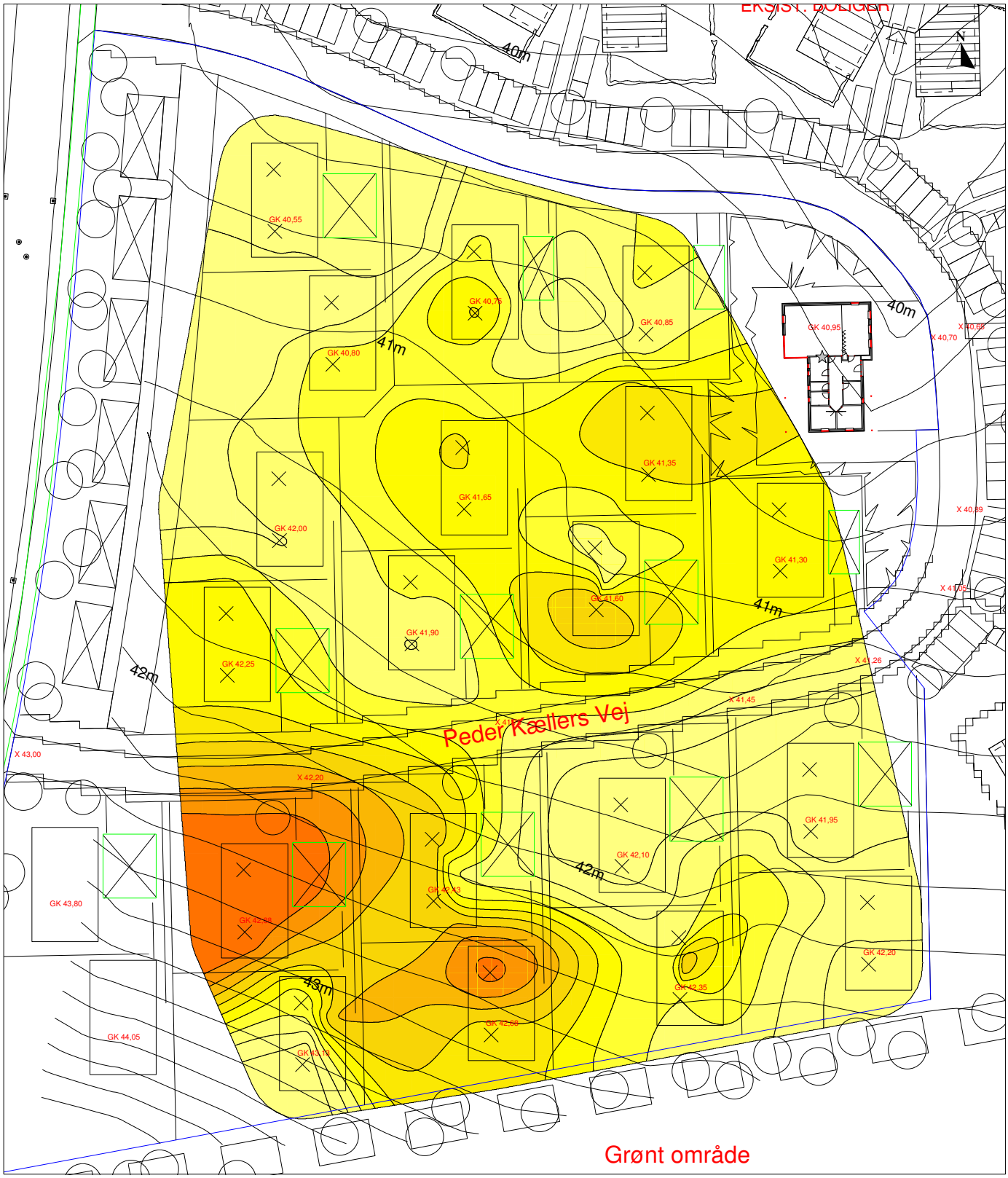
Samling ved flange på dosimeringskammer

Bilag 11

Radonpotentiale,
delprojekt 3,

Bilag 11.1

Radonpotentiale delprojekt 2,
Radon i jord, korrigeret, DOSEman



Signaturforklaring

Målepunkt

Radonkoncentration [Bq/m3]

17000

9000

7000

5000

1800

Bilag 11.1
Kontureret situationsplan

Radon korrigeret for atm tryk
Radondata: Sarad DOSEman

Radon i jord

Sag nr.: 08.262.00

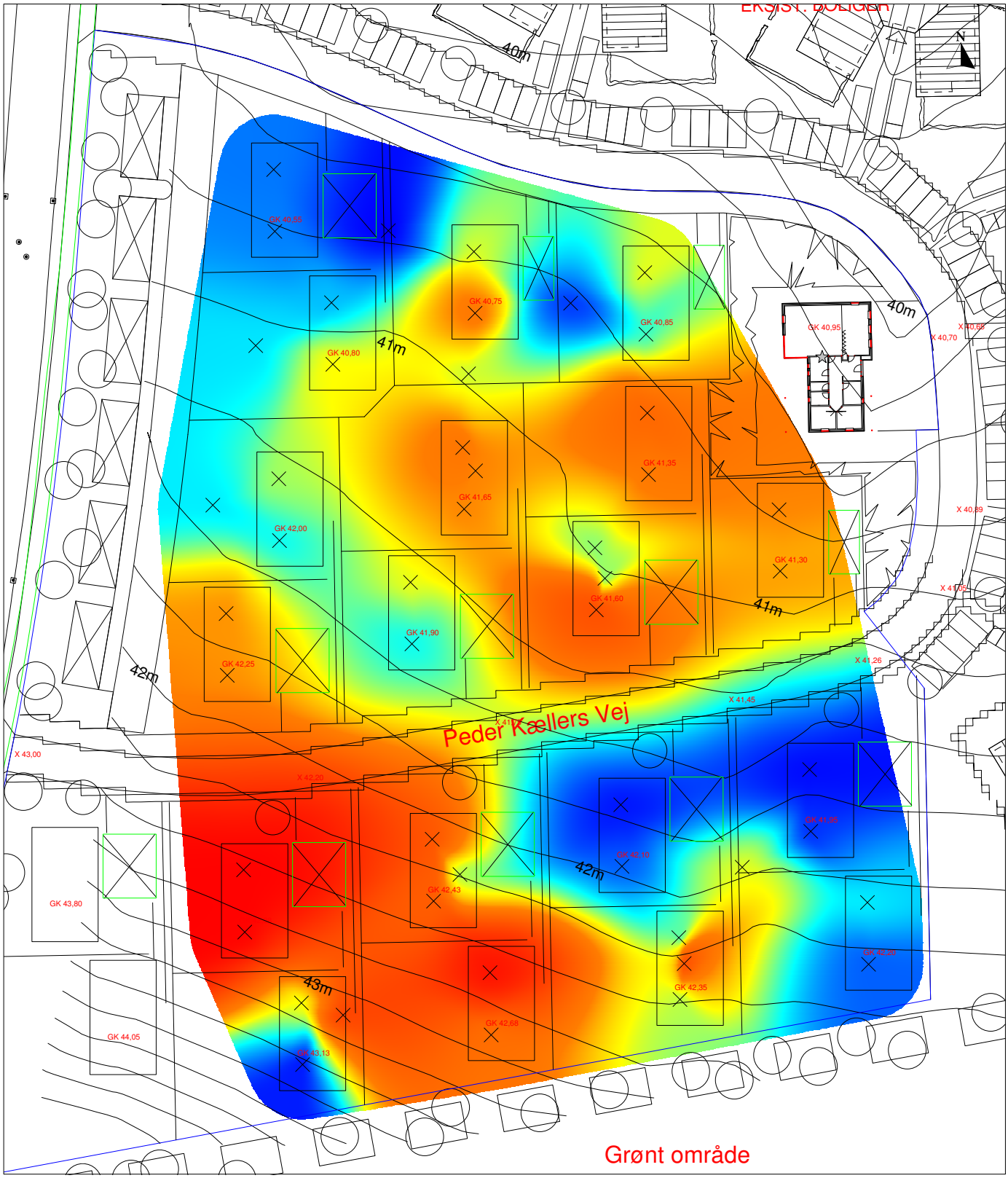
Målestok 1:800

Oktober 2010

NIRAS

Bilag 11.2

Radonpotentiale delprojekt 2,
Radon i jord, ikke korrigeret, DOSEman



Signaturforklaring

Målepunkt

Radonkoncentration [Bq/m3]

17000

9000

7000

5000

1800

Bilag 11.2
Kontureret situationsplan

Radondata: Sarad DOSEman

Radon i jord

Sag nr.: 08.262.00

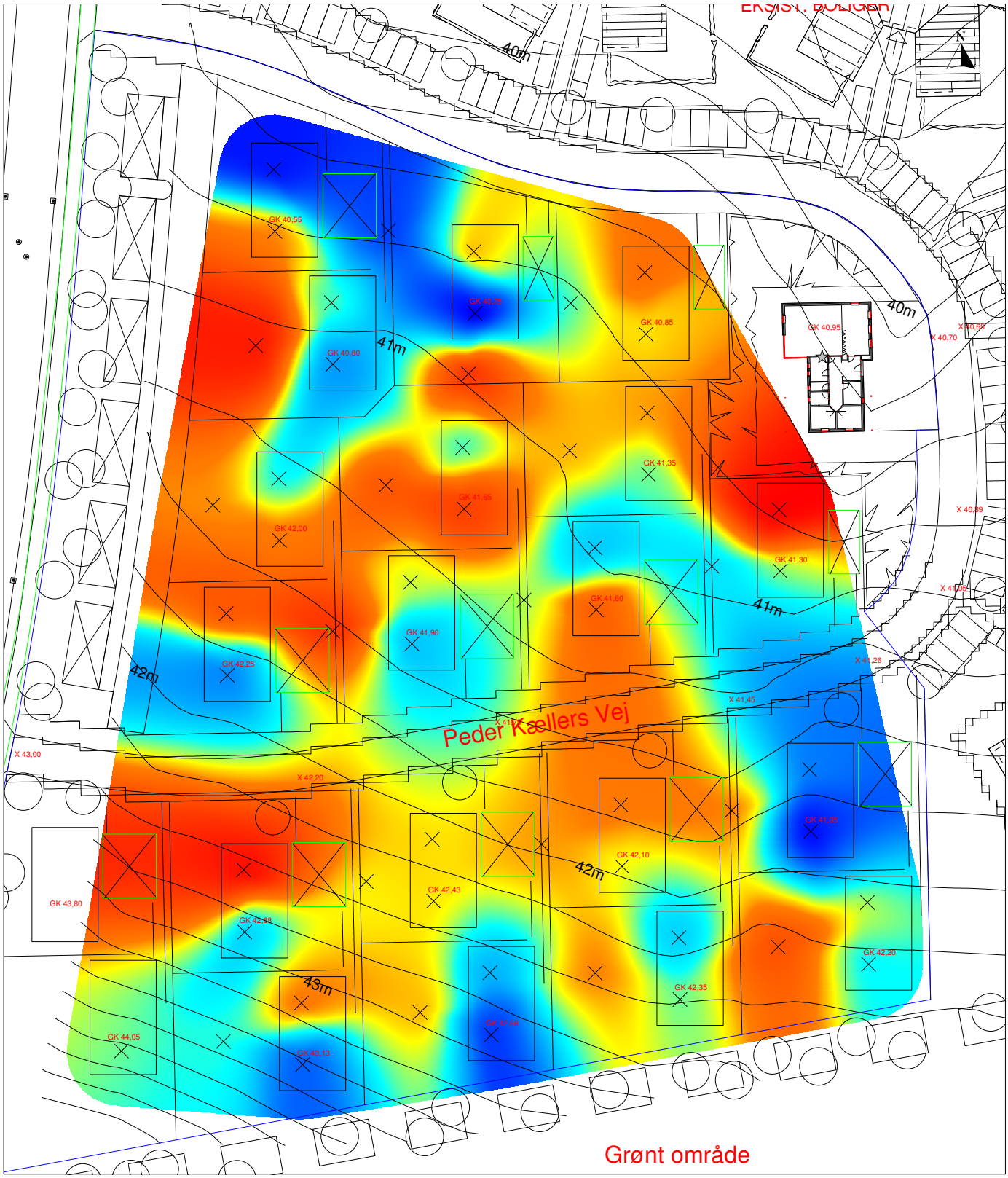
Målestok 1:800

Oktober 2010

NIRAS

Bilag 11.3

Radonpotentiale delprojekt 2,
Radon i jord, Markus 10



Signaturforklaring

× Målepunkt

Radonkoncentration [Bq/m3]

213000

155000

139000

115000

37000

Bilag 11.3
Kontureret situationsplan

Radondata: Markus 10

Radon i jord

Sag nr.: 08.262.00

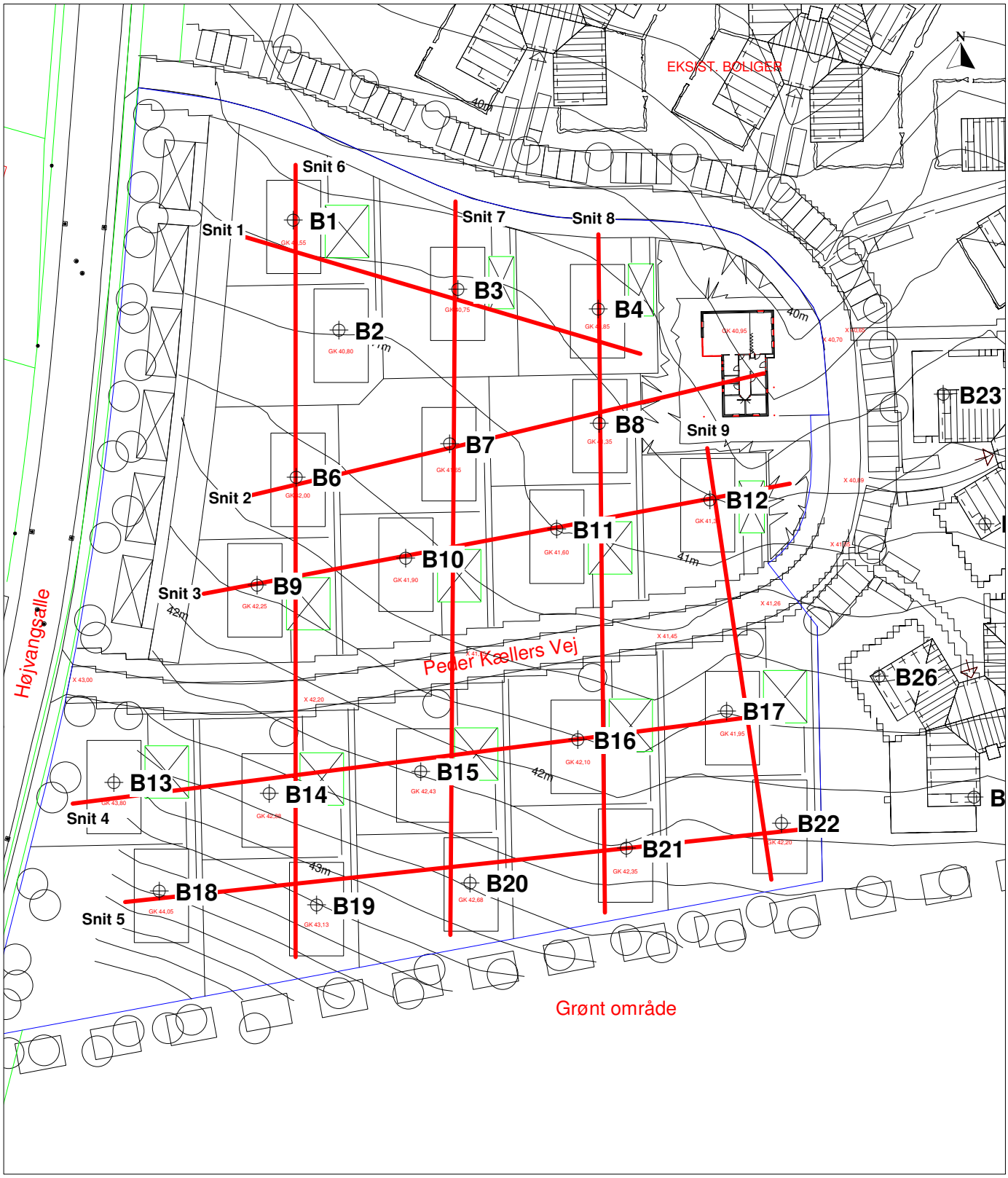
Målestok 1:800

Oktober 2010

NIRAS

Bilag 11.4

Geologiske snit,
Planoversigt



Signaturforklaring

- Geoteknisk boring
- Geologisk snit

Bilag 11.4
Geologiske snit, plantegning

Radonsikring

Sag nr.: 08.262.00

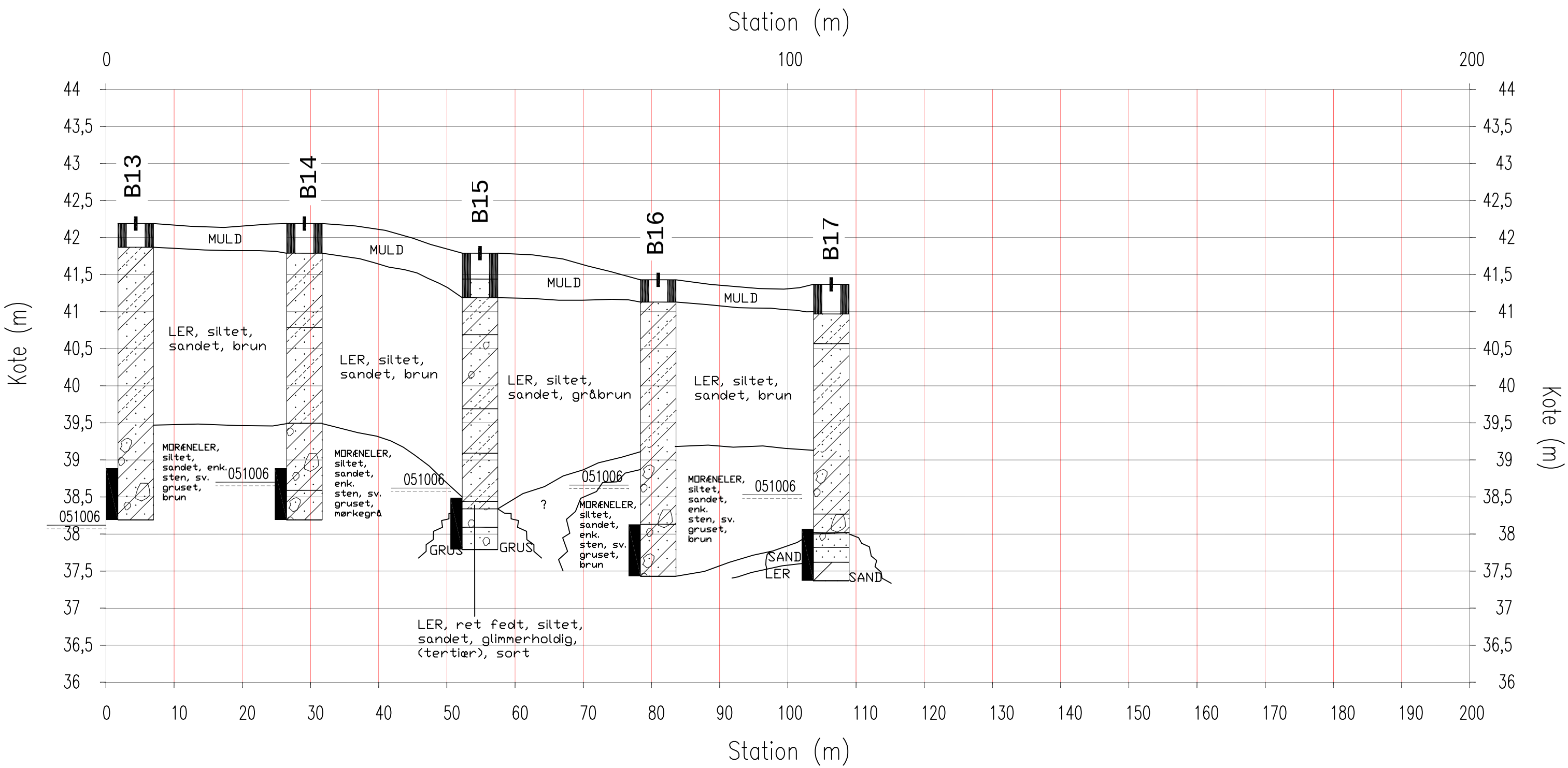
Målestok 1:800

2010

NIRAS

Bilag 11.5

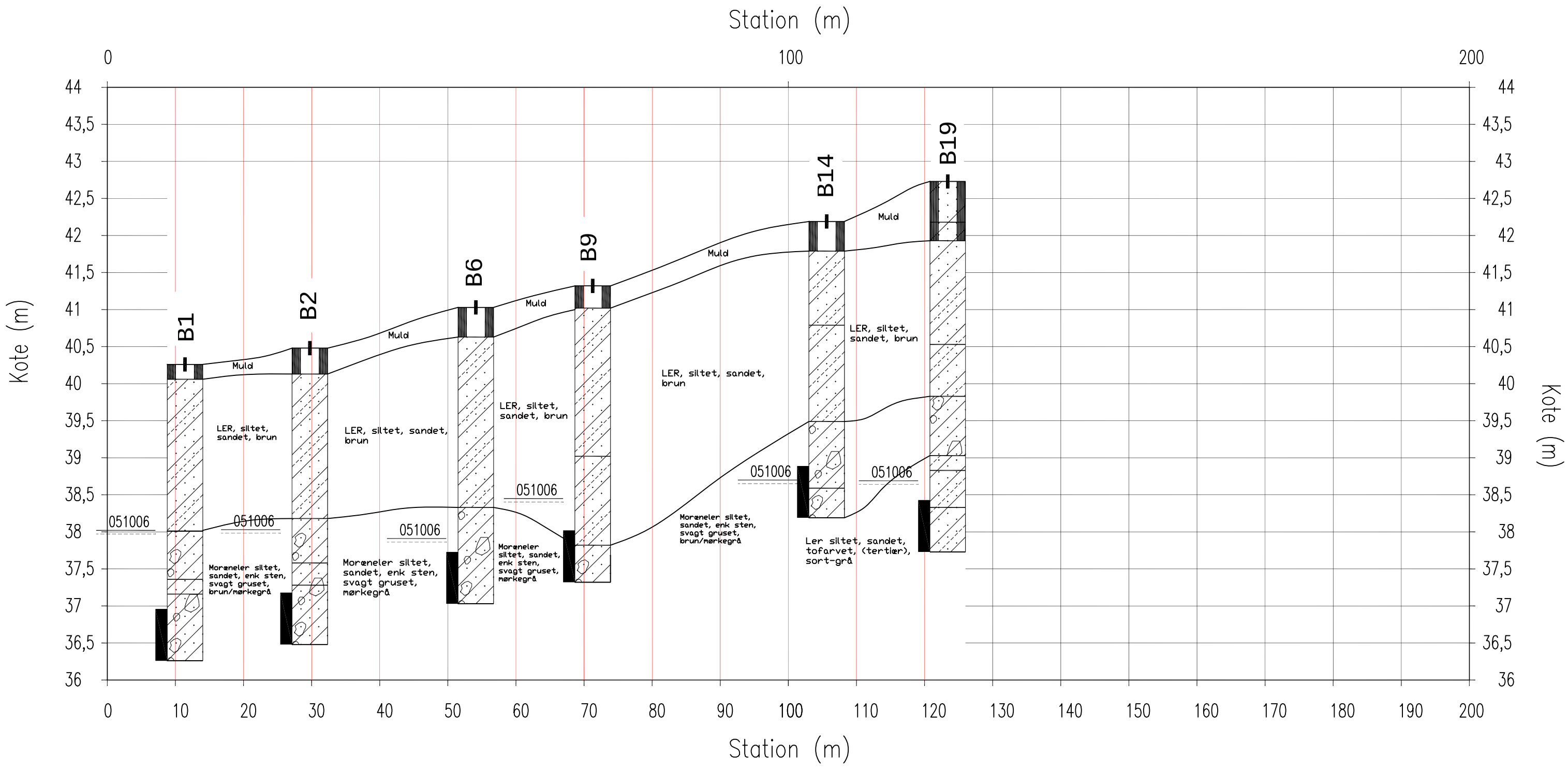
Geologiske snit,
Snit 4



Lokalitet: Snit 4 – Peder Kællers Vej, Boller Skov, Horsens		
Sag: Afgangsprojekt – Radonvariation, nye målemetoder og feltundersøgelser		
Udført af: CAA	Dato: 22/12/2006	Tegn. nr.: 04

Bilag 11.6

Geologiske snit,
Snit 6



Lokalitet: Snit 6 – Peder Kœllers Vej, Boller Skov, Horsens		
Sag: Afgangsprojekt – Radonvariation, nye målemetoder og feltundersøgelser		
Udført af: KST	Dato: 22/12/2006	Tegn. nr.: 06

Bilag 12

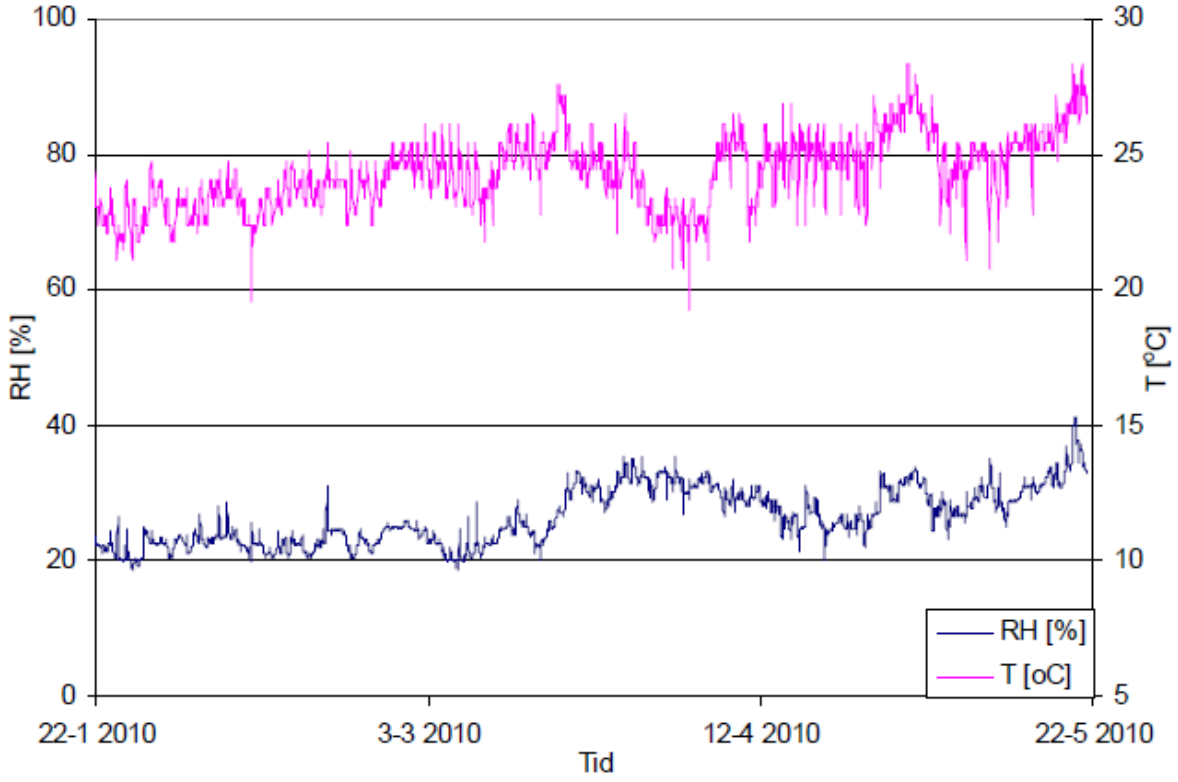
Temperaturmålinger i ventileret terrændæk

Bilag 12.1

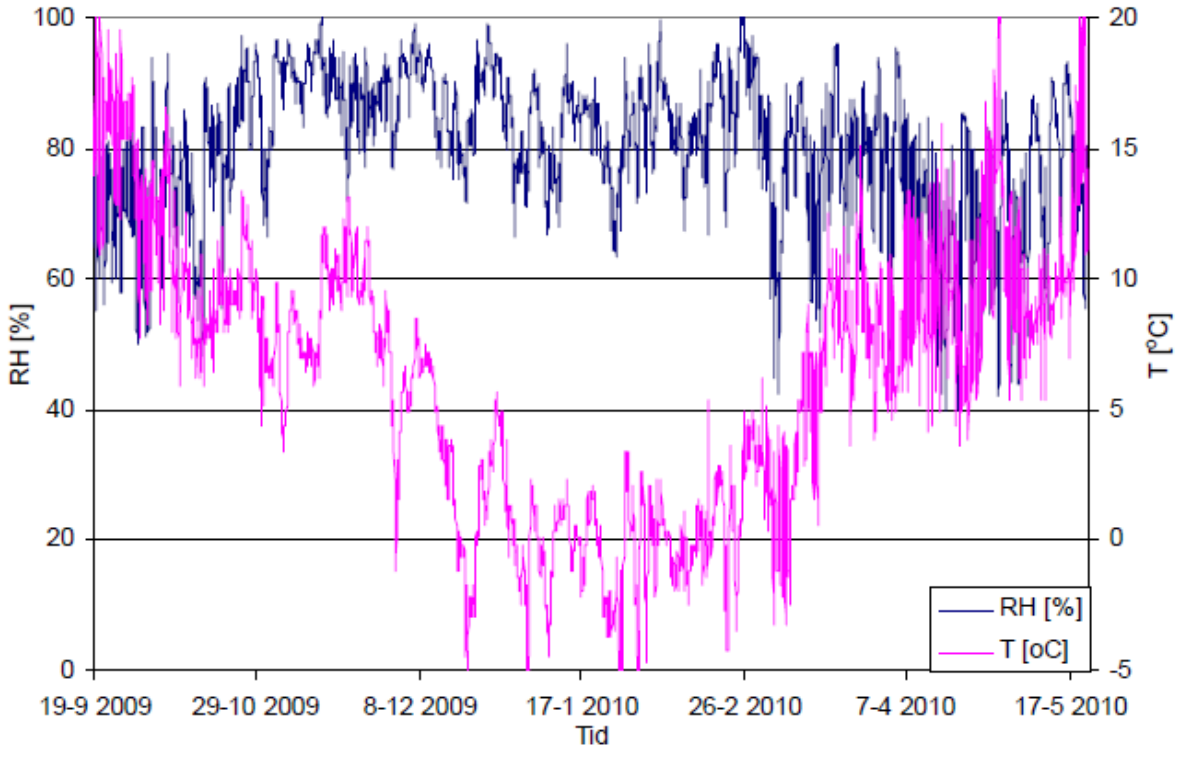
Temperaturmålinger,
Odensevej 14, Langeskov

Temperatur og relativ luftfugtighed

Temperatur (°C) og relativ luftfugtighed (% RH) målt inde



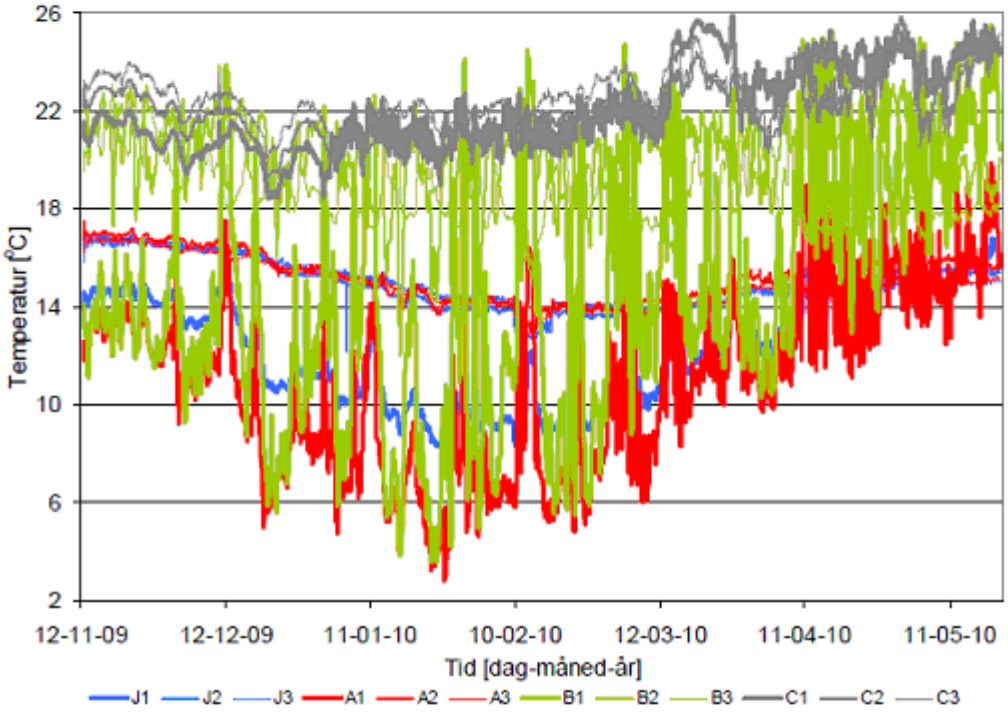
Temperatur (°C) og relativ luftfugtighed (% RH) målt ude



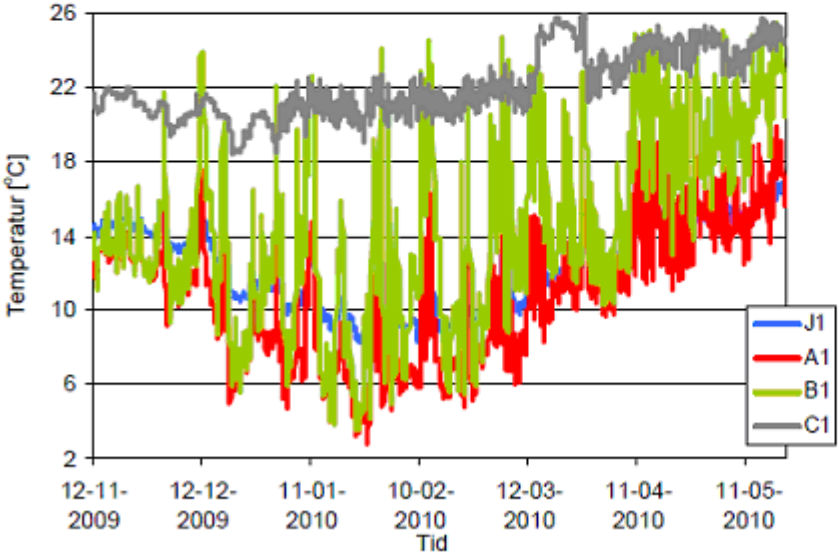
Temperatur målt i terrændæk i februar 2010

	Snit 1			Snit 2			Snit 3		
°C	maks	min	middel	maks	min	middel	maks	min	middel
J	12,2	8,3	9,6	14,1	12,7	13,6	14,6	13,1	13,9
A	16,4	4,6	7,7	14,4	13,0	13,9	14,4	13,2	13,9
B	24,5	5,0	11,6	21,4	13,6	18,9	20,9	15,2	18,1
C	22,7	19,9	21,3	22,5	20,4	21,5	23,5	20,5	22,4

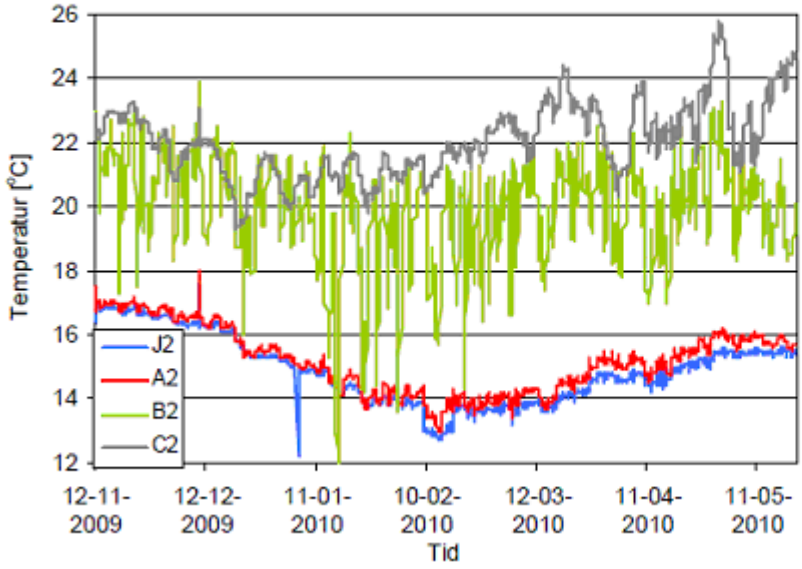
Temperatur i terrændæk, samlet



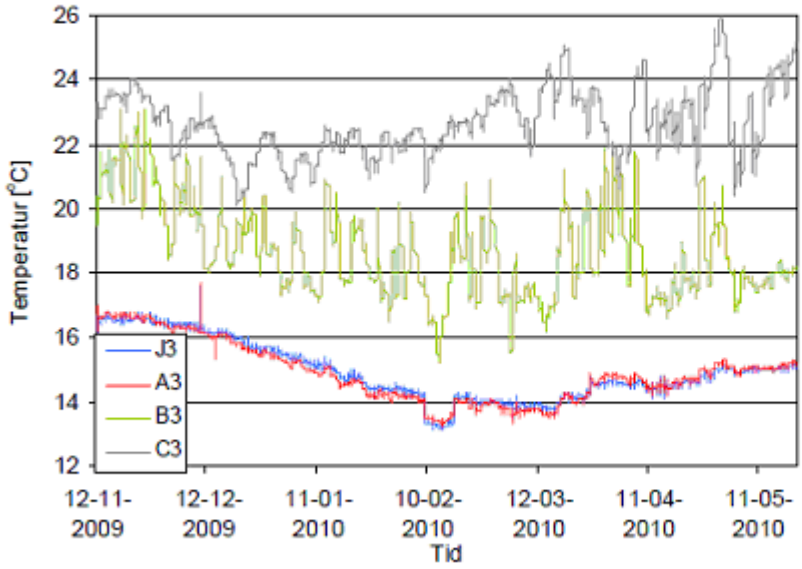
Temperatur i terrændæk vertikalt snit ved luftindtag, målepunkterne J1, A1, B1, C1



Temperatur i terrændæk vertikalt snit midt mellem luftindtaget og luftudtaget, målepunkterne J2, A2, B2, C2



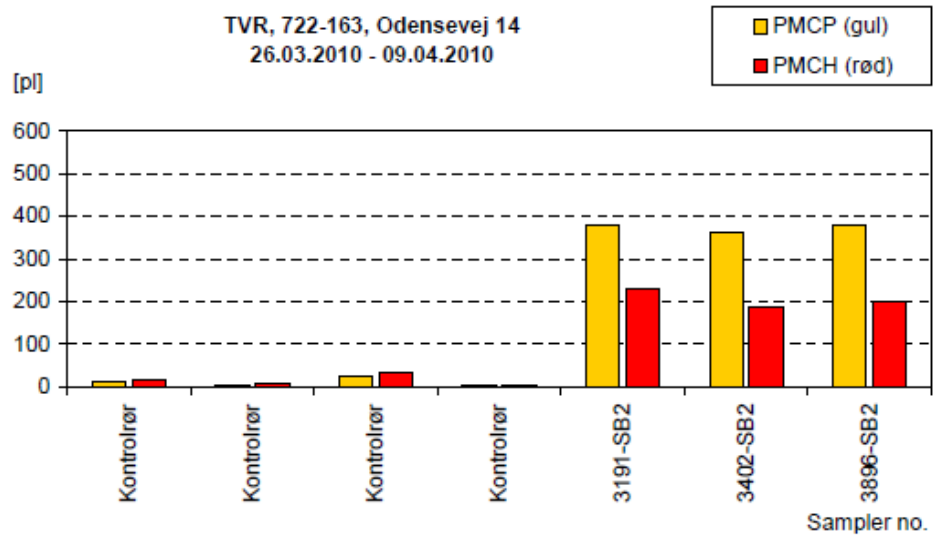
Temperatur i terrændæk vertikalt snit ved luftudtag, målepunkterne J3, A3, B3, C3

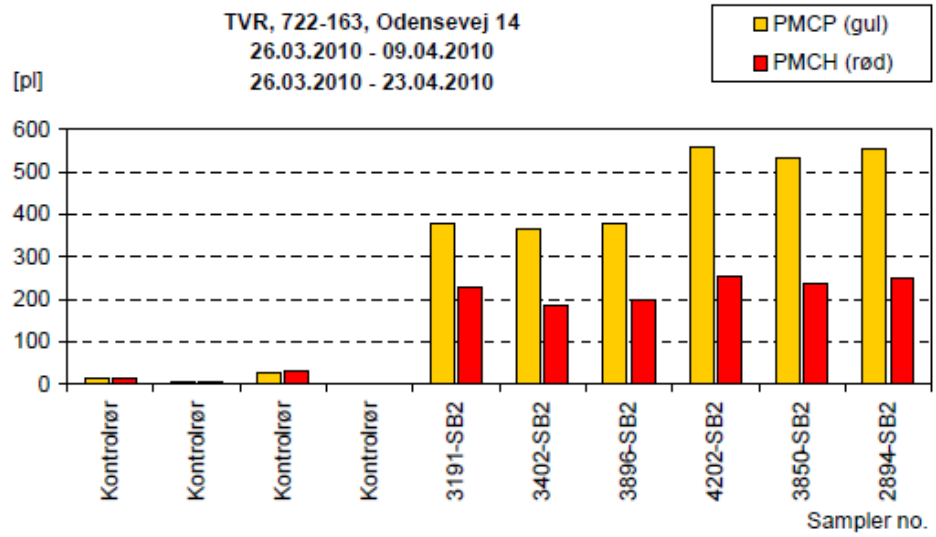


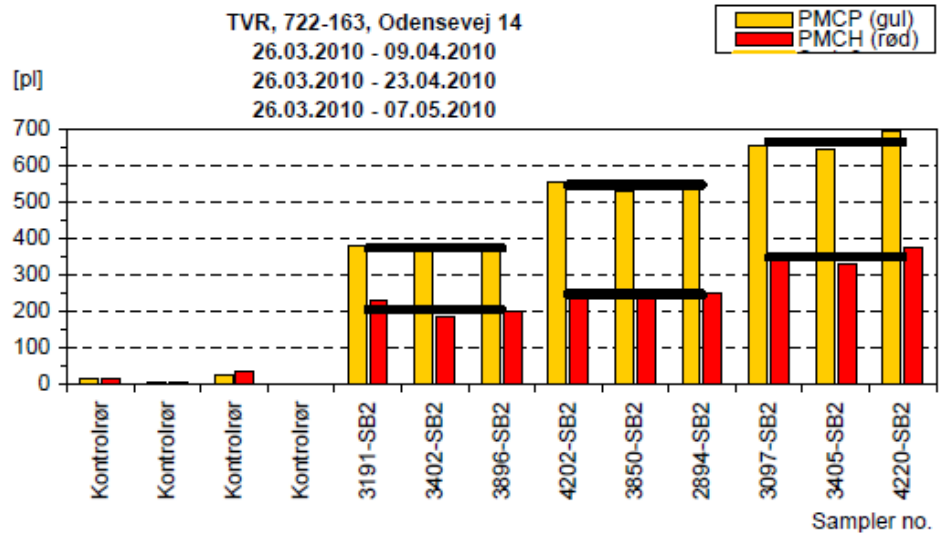
Bilag 12.2

PFT sporgasmålinger,
Odensevej 14, Langeskov

TVR, PFT-måling







PFT-measurement

Building : Odensevej 14 (Ikke relevant analyse) Date: 05.05.2010
Project : 722-163 Enclosure: 1
Measurement Start: 26.03.10 at 10:00 — Duration: 335,2 hours
Measurement End : 09.04.10 at 09:10 Analysis: 13.04.2010

Results

Total infiltration rate: 117,6 m^3/h (14,5) [12%]
Total air change rate: 58,82 h^{-1} (7,27)

	Infiltration			Exfiltration			Total		
Zone	[m^3/h]	SD	SD%	[m^3/h]	SD	SD%	[m^3/h]	SD	SD%
1	69,3	10,5	[15]	69,3	10,5	[15]	69,3	10,5	[15]
2	48,4	10,1	[21]	48,4	10,1	[21]	48,4	10,1	[21]
3									

	Interzone		
Zone	[m^3/h]	SD	SD%
1 → 2	0,0	0,0	[26]
2 → 3			
1 → 3			

	Interzone		
Zone	[m^3/h]	SD	SD%
2 → 1	0,0	0,0	[26]
3 → 2			
3 → 1			

Analysis

		Average Zone Concentration [pl/l]			
Zone		PMCP	SD%	PMCH	SD%
1	Terrændæk	42,5	[2]	0,0	[0]
2	Terrændæk	0,0	[0]	16,8	[10]
3	Not defined				

		Zone and emitter data					
Zone		Volume [m^3]	Type	Number	Ref. rate [nl/h]	Temp. [°C]	Est. rate [nl/h]
1	Terrændæk	1,0	PMCP	2	6006	10,0	2949
2	Terrændæk	1,0	PMCH	1	1655	10,0	812
3	Not defined						

Rackfactor(s): PMCP: 0,340
PMCH: 0,230

Uncertainty GC: 10 %
Uncertainty mixing: 5 %
Uncertainty samplers: 2 %
Uncertainty emitters: 10 %

Uncertainty concentration matrix: 0,13
Uncertainty air flow matrix: 0,15
Condition number of conc. matrix: 1,00

Samplers

Measured Volume [pl]

	Zone 1			Zone 2			Zone 3	Excluded samplers			
	Sampler	PMCP	PMCH	Sampler	PMCP	PMCH	Sampler	Sampler	PMCP	PMCH	PDCH
1	3191-SB2	378,4	0,0	3191-SB2	0,0	228,0		Kontrol	13,3	14,3	0,0
2	3402-SB2	365,0	0,0	3402-SB2	0,0	186,6		Kontrol	4,8	6,3	0,0
3	3896-SB2	378,6	0,0	3896-SB2	0,0	200,5		Kontrol	25,7	33,4	0,0
4								Kontrol	1,5	2,4	0,0

PFT-measurement

Building : Odensevej 14 (Ikke relevant analyse) Date: 05.05.2010
Project : 722-163 Enclosure: 2
Measurement Start: 26.03.10 at 10:00 Duration: 671,2 hours
Measurement End : 23.04.10 at 09:10 Analysis: 05.05.2010

Results

Total infiltration rate: 117,5 m^3/h (13,1) [11%]
Total air change rate: 58,77 h^{-1} (6,54)

	Infiltration			Exfiltration			Total		
Zone	[m^3/h]	SD	SD%	[m^3/h]	SD	SD%	[m^3/h]	SD	SD%
1	57,2	8,7	[15]	57,2	8,7	[15]	57,2	8,7	[15]
2	60,3	9,8	[16]	60,3	9,8	[16]	60,3	9,8	[16]
3									

	Interzone				Interzone			
Zone	[m^3/h]	SD	SD%	Zone	[m^3/h]	SD	SD%
1 → 2	0,0	0,0	[23]	2 → 1	0,0	0,0	[23]
2 → 3				3 → 2			
1 → 3				3 → 1			

Analysis

		Average Zone Concentration [pl/l]			
Zone		PMCP	SD%	PMCH	SD%
1	Terrændæk	42,1	[2]	0,0	[0]
2	Terrændæk	0,0	[0]	11,0	[4]
3	Not defined				

		Zone and emitter data					
		Volume	Type	Number	Ref. rate	Temp.	Est. rate
Zone		[m^3]			[nl/h]	[°C]	[nl/h]
1	Terrændæk	1,0	PMCP	2	6006	6,0	2408
2	Terrændæk	1,0	PMCH	1	1655	6,0	663
3	Not defined						

Rackfactor(s): PMCP: 0,460 PMCH: 0,250

Uncertainty GC: 10 %
Uncertainty mixing: 5 %
Uncertainty samplers: 2 %
Uncertainty emitters: 10 %

Uncertainty concentration matrix: 0,11
Uncertainty air flow matrix: 0,14
Condition number of conc. matrix: 1,00

Samplers

Measured Volume [pl]

	Zone 1			Zone 2			Zone 3	Excluded samplers			
	Sampler	PMCP	PMCH	Sampler	PMCP	PMCH	Sampler	Sampler	PMCP	PMCH	PDCH
1	4202-SB2	557,3	0,0	4202-SB2	0,0	255,5		Kontrol	13,3	14,3	0,0
2	3850-SB2	531,7	0,0	3850-SB2	0,0	235,7		Kontrol	4,8	6,3	0,0
3	2894-SB2	552,7	0,0	2894-SB2	0,0	250,9		Kontrol	25,7	33,4	0,0
4								Kontrol	1,5	2,4	0,0

PFT-measurement

Building : Odensevej 14 (Ikke relevant analyse) Date: 12.05.2010
Project : 722-163 Enclosure: 3
Measurement Start: 26.03.10 at 10:00 Duration: 1009 hours
Measurement End : 07.05.10 at 11:00 Analysis: 12.05.2010

Results

Total infiltration rate: 152,7 m^3/h (19,1) [12%]
Total air change rate: 76,36 h^{-1} (9,54)

	Infiltration			Exfiltration			Total		
Zone	[m^3/h]	SD	SD%	[m^3/h]	SD	SD%	[m^3/h]	SD	SD%
1	76,1	11,5	[15]	76,1	11,5	[15]	76,1	11,5	[15]
2	76,6	15,2	[20]	76,6	15,2	[20]	76,6	15,2	[20]
3									

	Interzone		
Zone	[m^3/h]	SD	SD%
1 → 2	0,0	0,0	[26]
2 → 3			
1 → 3			

	Interzone		
Zone	[m^3/h]	SD	SD%
2 → 1	0,0	0,0	[26]
3 → 2			
3 → 1			

Analysis

		Average Zone Concentration [pl/l]			
Zone		PMCP	SD%	PMCH	SD%
1	Terrændæk	33,3	[4]	0,0	[0]
2	Terrændæk	0,0	[0]	9,1	[7]
3	Not defined				

		Zone and emitter data					
		Volume	Type	Number	Ref. rate	Temp.	Est. rate
Zone		[m^3]			[nl/h]	[°C]	[nl/h]
1	Terrændæk	1,0	PMCP	2	6006	7,0	2534
2	Terrændæk	1,0	PMCH	1	1655	7,0	698
3	Not defined						

Rackfactor(s): PMCP: 0,450 PMCH: 0,220

Uncertainty GC: 10 %
Uncertainty mixing: 5 %
Uncertainty samplers: 2 %
Uncertainty emitters: 10 %

Uncertainty concentration matrix: 0,12
Uncertainty air flow matrix: 0,16
Condition number of conc. matrix: 1,00

Samplers

Measured Volume [pl]

	Zone 1			Zone 2			Zone 3	Excluded samplers			
	Sampler	PMCP	PMCH	Sampler	PMCP	PMCH	Sampler	Sampler	PMCP	PMCH	PDCH
1	3191-SB2	655,2	0,0	3191-SB2	0,0	346,7		Kontrol	13,3	14,3	0,0
2	3402-SB2	645,1	0,0	3402-SB2	0,0	328,4		Kontrol	4,8	6,3	0,0
3	3896-SB2	696,6	0,0	3896-SB2	0,0	375,3		Kontrol	25,7	33,4	0,0
4								Kontrol	1,5	2,4	0,0

Bilag 13

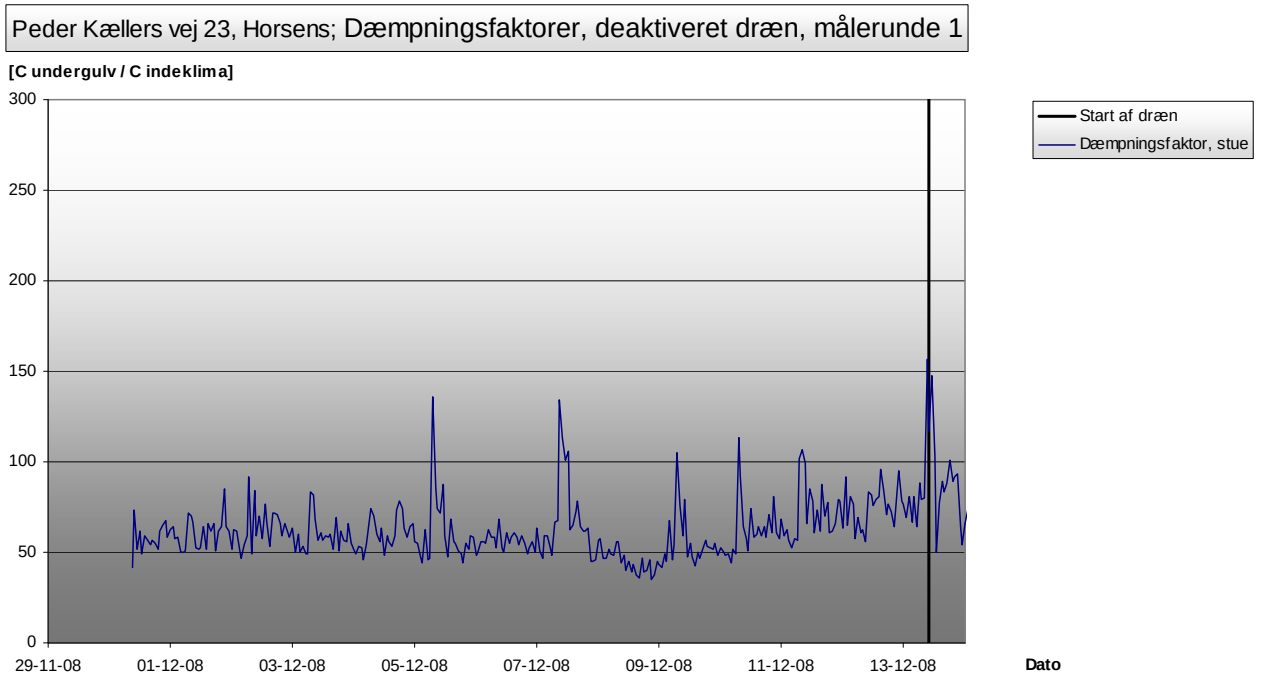
Dæmpningsfaktorer

Bilag 13.1

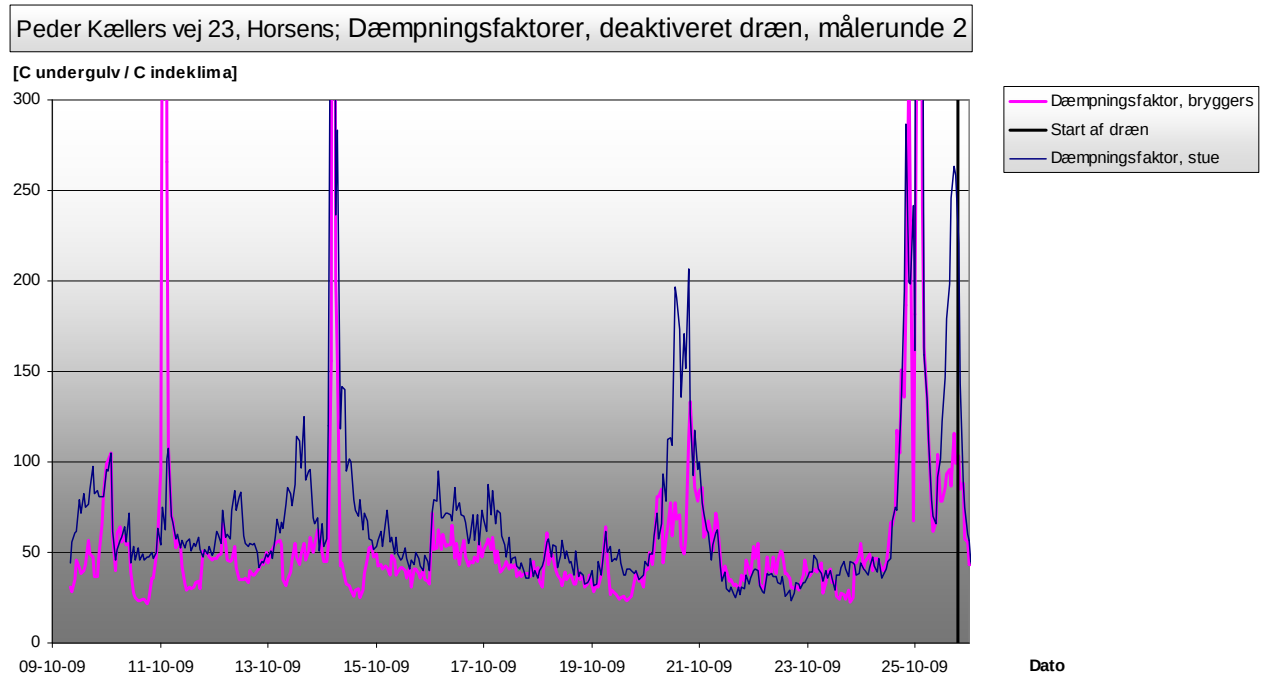
Dæmpningsfaktorer,
Peder Kællers vej 23 og 31

Dæmpningsfaktorer

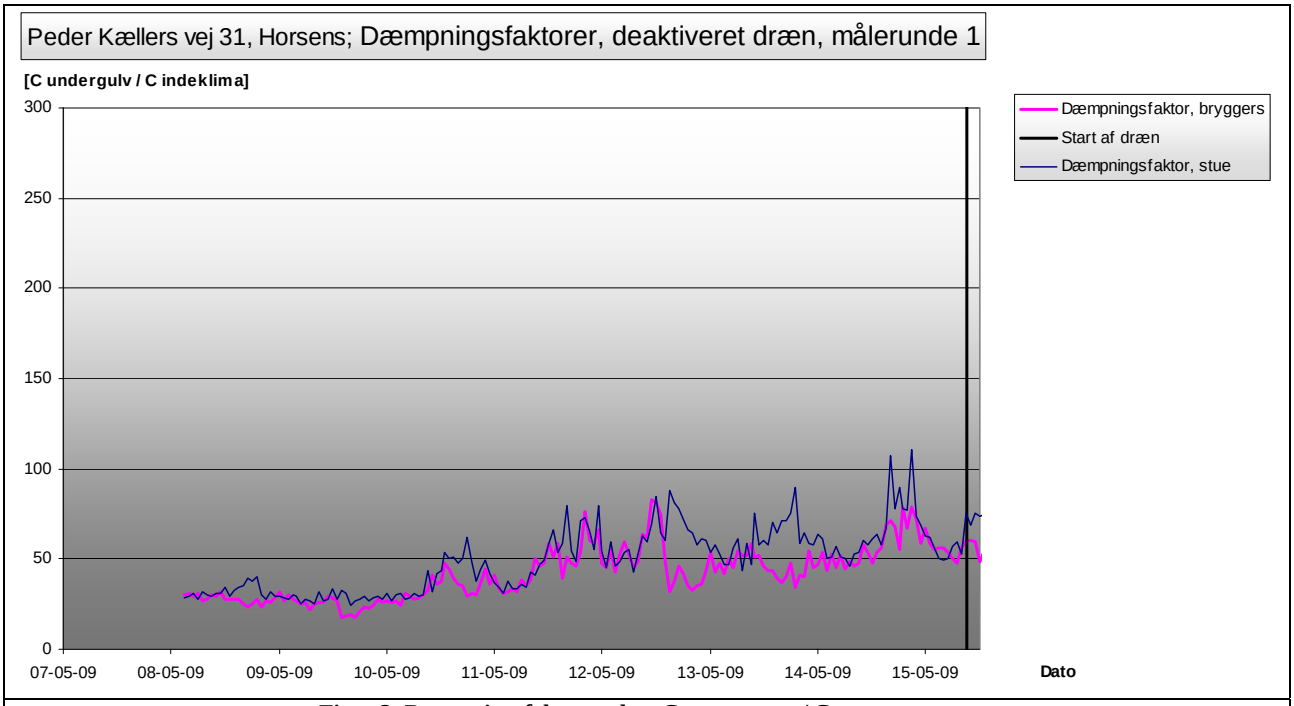
Peder Kællers vej 23 og 31, Horsens



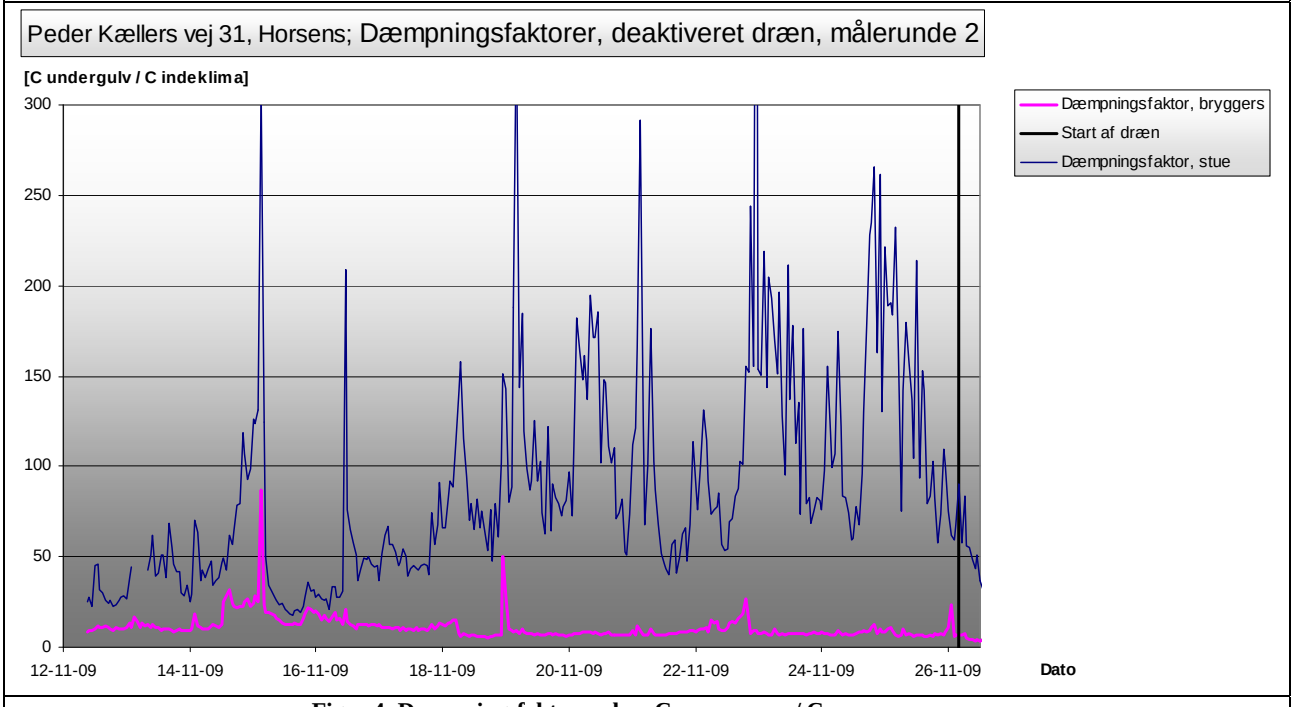
Figur 1; Dæmpningsfaktor radon, $C_{222Rn\ under\ gulv}$ / $C_{222Rn\ stue}$
Dræn deaktiveret, periode: 29-11-08 – 13-12-08



Figur 2; Dæmpningsfaktor radon, $C_{222Rn\ under\ gulv}$ / $C_{222Rn\ stue/bryggers}$
Dræn deaktiveret, periode: 09-10-08 – 26-10-09



Figur 3; Dæmpningsfaktor radon, $C_{222Rn\ under\ gulv}$ / $C_{222Rn\ stue/bryggers}$
Dræn deaktiveret, periode: 05-05-09 – 15-05-09



Figur 4; Dæmpningsfaktor radon, $C_{222Rn\ under\ gulv}$ / $C_{222Rn\ stue/teknikskab}$
Dræn deaktiveret, periode: 12-11-09 – 26-11-09

Resumé

Projektet består af feltafprøvning af radontæthed i gulvkonstruktioner, effekt af passiv ventilation dokumenteret ved radonmålinger, laboratorieforsøg til kontrol af materiale-/konstruktionstæthed og kontrol af radonvariation på et afgrænset område.
Konklusionen er, at radonmålinger vurderes at være en pålidelig metode til at dokumentere effekt af passiv ventilation.

Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

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

www. mst.dk