



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Anvendelse af radonmålinger som tracer for påvirkning af indeklima fra en forurening under gulv

Miljøprojekt nr. 1442, 2012

Titel:

Anvendelse af radonmålinger som tracer for påvirkning af indeklima fra en forurening under gulv

Redaktion:

Jesper Bruun Petersen, Mette Neerup Jeppesen, Niras A/S
Børge Hvidberg, Region Midtjylland

Udgiver:

Miljøstyrelsen
Strandgade 29
1401 København K
www.mst.dk

År:

2012

ISBN nr.

978-87-92903-52-5

Ansvarsfraskrivelse:

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

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

| | |
|--|-----------|
| FORORD | 7 |
| SAMMENFATNING OG KONKLUSION | 9 |
| 1.1 BAGGRUND OG FORMÅL | 9 |
| 1.2 UNDERSØGELSEN | 9 |
| 1.3 HOVEDKONKLUSIONER | 10 |
| 1.4 SEKUNDÆRE PROJEKTRESULTATER | 10 |
| SUMMARY AND CONCLUSIONS | 12 |
| 1.5 BACKGROUND AND PURPOSE OF PROJECT | 12 |
| 1.6 THE STUDY | 12 |
| 1.7 MAIN CONCLUSIONS | 13 |
| 1.8 SECONDARY PROJECT RESULTS | 13 |
| 2 INDLEDNING | 15 |
| 2.1 INDLEDNING TIL PROJEKTET | 15 |
| 2.2 FORMÅL | 16 |
| 2.3 LÆSEVEJLEDNING | 16 |
| 3 GENERELLE PROBLEMSTILLINGER | 18 |
| 3.1 RADONS EMANATION | 18 |
| 3.2 DRIVKRÆFTER FOR PORELUFTS INDTRÆNGNING TIL INDEKLIMAET | 19 |
| 3.2.1 <i>Drivkræfter for porelufttransport til indeklimaet</i> | 19 |
| 3.2.2 <i>Faktorer bestemmende for radonkoncentrationen i den indtrængende poreluft</i> | 21 |
| 3.2.3 <i>Faktorer bestemmende for luftskiftet i indeklimaet</i> | 22 |
| 3.3 EKSTERNE FORHOLD | 23 |
| 3.4 SAMMENFATTENDE OMKRING USIKKERHEDER | 24 |
| 4 FORSØGSOPSTILLING | 26 |
| 4.1 Udstyrsgennemgang | 26 |
| 4.1.1 <i>RAD7 Radon Detector</i> | 26 |
| 4.1.2 <i>AlphaGuard</i> | 27 |
| 4.1.3 <i>WS-2300 Vejrstation</i> | 27 |
| 4.1.4 <i>Ramon 2.2</i> | 27 |
| 4.1.5 <i>PA-267 trykdifferensmåler</i> | 27 |
| 4.1.6 <i>Barodiver</i> | 28 |
| 4.2 MÅLEPROCEDURE | 28 |
| 4.2.1 <i>Radonmålinger</i> | 28 |
| 4.3 MÅLEPROGRAM | 30 |
| 5 MÅLEPROCEDUREBESKRIVELSE | 33 |
| 5.1 PEDER KÆLLERS VEJ 23 | 33 |
| 5.1.1 <i>Byggeteknik</i> | 33 |
| 5.1.2 <i>Geologi</i> | 34 |
| 5.1.3 <i>Vejrforhold</i> | 35 |
| 5.2 MOSEVEJ 2C | 35 |
| 5.2.1 <i>Byggeteknik</i> | 35 |
| 5.2.2 <i>Geologi</i> | 36 |
| 5.2.3 <i>Vejrforhold</i> | 36 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5.3 | FREDERIKSBERG TORV 10 | 37 |
| 5.3.1 | <i>Byggeteknik</i> | 37 |
| 5.3.2 | <i>Geologi</i> | 38 |
| 5.3.3 | <i>Vejrforhold</i> | 38 |
| 5.4 | KAROLINEGADE 1C | 39 |
| 5.4.1 | <i>Byggeteknik</i> | 39 |
| 5.4.2 | <i>Geologi</i> | 40 |
| 5.4.3 | <i>Vejrforhold</i> | 40 |
| 5.5 | PEDER KÆLLERS VEJ 31 | 41 |
| 5.5.1 | <i>Byggeteknik</i> | 41 |
| 5.5.2 | <i>Geologi</i> | 41 |
| 5.5.3 | <i>Vejrforhold</i> | 42 |
| 6 | VURDERING AF MÅLEDATA | 43 |
| 6.1 | DÆMPNINGSFAKTOR | 43 |
| 6.2 | PEDER KÆLLERS VEJ 23 (LOKALITET 1) | 44 |
| 6.3 | MOSEVEJ 2C (LOKALITET 2) | 50 |
| 6.4 | FREDERIKSBERG TORV 10 (LOKALITET 3) | 54 |
| 6.5 | KAROLINEGADE 1C (LOKALITET 4) | 58 |
| 6.6 | PEDER KÆLLERS VEJ 31 (LOKALITET 5) | 60 |
| 7 | SAMMENFATTENDE DISKUSSION | 66 |
| 7.1 | DÆMPNINGSFAKTOR FOR BETONDÆK | 66 |
| 7.2 | INDTRÆNGNING TIL INDEKLIMA | 68 |
| 7.3 | ANBEFALINGER FOR FREMTIDIG ANVENDELSE AF RADON SOM TRACER | 69 |
| 7.3.1 | <i>Forundersøgelse</i> | 69 |
| 7.3.2 | <i>Undersøgelse af dæmpningsfaktorforhold</i> | 69 |
| 7.4 | PERSPEKTIVERING – ALTERNATIVE ANVENDELSESMULIGHEDER | 70 |
| 8 | KONKLUSION | 71 |
| 9 | REFERENCELISTE | 73 |

BILAGSFORTEGNELSE:

BILAG 1.1: Situationsplaner.

- BILAG 1.1.1: Peder Kællers vej 23
- BILAG 1.1.2: Mosevej 2C
- BILAG 1.1.3: Frederiksberg Torv 10, kælderplan
- BILAG 1.1.4: Frederiksberg Torv 10, stueplan
- BILAG 1.1.5: Karolinegade 1C
- BILAG 1.1.6: Peder Kællers vej 31

BILAG 1.2: Lokaltetsspecifikke forskelle.

BILAG 1.3: Geologiske boringer.

- BILAG 1.3.1: Peder Kællers vej 23
- BILAG 1.3.2: Mosevej 2C
- BILAG 1.3.3: Frederiksberg Torv 10
- BILAG 1.3.4: Karolinegade 1C
- BILAG 1.3.5: Peder Kællers vej 31

BILAG 2.1: Måleprogram.

BILAG 2.2: Radonmålinger.

- BILAG 2.2.1: Peder Kællers vej 23 (okt. – nov. 2008)
- BILAG 2.2.2: Peder Kællers vej 23 (nov. – dec. 2008)
- BILAG 2.2.3: Mosevej 2C (jan. 2009)
- BILAG 2.2.4: Frederiksberg Torv 10 (feb. – mar. 2009)
- BILAG 2.2.5: Karolinegade 1C (apr. 2009)
- BILAG 2.2.6: Peder Kællers vej 31 (maj 2009)

BILAG 2.3: Radon og meteorologiske målinger.

- BILAG 2.3.1: Peder Kællers vej 23 (okt. – nov. 2008)
- BILAG 2.3.2: Peder Kællers vej 23 (nov. – dec. 2008)
- BILAG 2.3.3: Mosevej 2C (jan. 2009)
- BILAG 2.3.4: Frederiksberg Torv 10 (feb. – mar. 2009)
- BILAG 2.3.5: Karolinegade 1C (apr. 2009)
- BILAG 2.3.6: Peder Kællers vej 31 (maj 2009)

BILAG 3.1: Fotos af lokaliteterne.

- BILAG 3.1.1: Peder Kællers vej 23
- BILAG 3.1.2: Mosevej 2C
- BILAG 3.1.3: Frederiksberg Torv 10
- BILAG 3.1.4: Karolinegade 1C
- BILAG 3.1.5: Peder Kællers vej 31

BILAG 4.1: Måleudstyr.

- BILAG 4.1.1: Radonmålinger
- BILAG 4.1.2: Vejrmaalinger
- BILAG 4.1.3: Trykdifferens

Forord

Overalt i Danmark findes lokaliteter, hvis undergrund er forurenet pga. forskellige menneskelig aktivitet, eksempelvis kemikaliespild der har givet anledning til olieforurening eller forurening med chlorerede opløsningsmidler. En sådan forurening kan give problemer for indeklimaet i eventuelle bebyggelser på disse lokaliteter.

For visse forureningstyper kan der være et betydeligt bidrag til forureningen i indeklimaet fra andre kilder i boligen, f.eks. rygning, maling, tæpper osv. En indeklima-måling giver således ikke altid oplysning om påvirkningen fra forureningen i jorden under bygningen.

Radon er en naturlig forekommende ædelgas, der emaneres fra jordens naturligt indeholdende mineraler, og som via en bæregas (poreluft) kan trænge ind i bygninger via konvektive og diffusive transportveje. Transport for radon er direkte sammenlignelig med transporten for dampe fra forureningskomponenter. Idet det er væsentligt enklere at måle radonkoncentrationen end indholdet af flygtige forureningskomponenter, er projektets idé at benytte radon som tracer ved indeklimaundersøgelser.

Denne rapport beskriver de samlede undersøgelser, gennemført i forbindelse med en beskrivelse af brugen af radon som tracer til undersøgelse af porelufts indtrængning til indeklimaet, gennemført på nedenstående fem lokaliteter:

- Peder Kællers vej 23
- Mosevej 2C
- Frederiksbjerg Torv 10
- Karolinegade 1C
- Peder Kællers vej 31

Undersøgelserne omfatter i hovedtræk måling af radon i indeklimaet og i det kapillarbrydende lag, byggetekniske gennemgange samt målinger af diverse meteorologiske faktorer.

Det er projektets formål at undersøge muligheden for at anvende radonmålinger til at bestemme en dæmpningsfaktor for et givent terrændæk.

Metodeudvikling og de egentlige radonundersøgelser er udført i perioden september 2008 til maj 2009. Det samlede projekt er udført for Region Midtjylland af NIRAS A/S, og indgår i Miljøstyrelsens Teknologiuudviklingsprogram for jord- og grundvandsforurening.

Projektet er finansieret af Miljøstyrelsens Teknologiuudviklingspulje, Region Midtjylland og Region Hovedstaden.

Sammenfatning og konklusion

1.1 BAGGRUND OG FORMÅL

Radon er en naturligt forekommende radioaktiv ædelgas, der eksisterer overalt i jordskorpen som et led i urans henfaldskæde. Radon dannes herved i jorden, og kan trænge ind gennem gulvkonstruktionen via diffusive og konvektive indtrængningsveje, transporteret via generel luftindsivning fra undergrunden via en bæregas.

Koncentrationen af radon i jorden er ca. 1.000 – 10.000 gange højere end udeluftskoncentrationen, hvilket bevirker, at blot en mindre indsivning af radonholdig luft fra jorden til indeklimaet vil dominere indeklimaets radonkoncentration.

Den gennemsnitlige radonkoncentration i den almindelige danske udeluft, vurderes af Sundhedsstyrelsen at være ca. 5 Bq/m^3 , hvilket ligger væsentligt under den gennemsnitlige radonkoncentration i danske enfamiliehuse, som ligger på 77 Bq/m^3 . Indeklimakoncentrationen er dog også påvirket af emanation af radon fra diverse byggematerialer (eksempelvis beton, tegl og gips) og i særlige tilfælde afdampning fra drikkevandssystemet, men ethvert bidrag fra disse vurderes ifølge Sundhedsstyrelsen at være minimale. Det kan derfor formodes, at forhøjede indeklimakoncentrationer, det vil sige indeklimakoncentrationer over udendørskoncentrationen, er påvirket af poreluftindtrængning fra undergrunden.

I forureningsmæssige sammenhænge er det ofte ønskeligt, at måle en gulvkonstruktions dæmningsfaktor, i forhold til forureningsgraden under og over gulvet. I dette projekt benyttes radonmålinger over og under gulvkonstruktionen, for at beskrive en sådan dæmningsfaktor.

Projektets primære formål er at undersøge om radonmålinger kan anvendes til at bestemme dæmningsfaktoren over en gulvkonstruktion. Projektet skal endvidere medvirke til videreudvikling af en målemetode til måling af radon i poreluften.

1.2 UNDERSØGELSEN

Projektet indeholder målinger af radon i indeklimaet og under gulvet i fem forskellige beboelser. Tre af disse fem er enfamiliehuse, og de resterende to lokaliteter er etagebyggeri hvor der måles i nederste etage. Undersøgelsen indeholder kontinuerte målinger af radon (^{222}Rn) og meteorologiske data som tryk, differenstræk, temperatur og vindmålinger. Tre af de fem lokaliteter er forurenede med chlorerede opløsningsmidler. Forureningsituationen og afværgeindsatsen på de tre forskellige lokaliteter er alle beskrevet i selvstændige miljørapporter /5, 6, 7/.

Undersøgelsens feltarbejde er udført i perioden september 2008 til maj 2009.

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

1.3 HOVEDKONKLUSIONER

På baggrund af projektets resultater og undersøgelser vurderes det, at radonmålinger er velegnet til at bestemme dæmpningsfaktorer over en gulvkonstruktion. Det vurderes, at brugen af denne viden kan benyttes i mange sammenhænge, eksempelvis til at vurdere indtrængning af gasser til et indeklima fra en underliggende forurening eller radon, samt til at vurdere en gulvkonstruktions tæthed.

Der er i projektet udviklet en målemetode for måling af radon i det kapillarbrydende lag under et hus. Målemetoden og erfaringer gjort i løbet af projektperioden er afrapporteret i afsnit 4.2.1. Overordnet kan det dog nævnes, at målingerne kan gennemføres enten som simple gennemsnitsmålinger eller mere detaljerede logninger over tid. Simpelt radonmåleudstyr anbefales dog kun benyttet til at bestemme radonkoncentrationerne, såfremt det indledningsvist (ved brug af kontinuerte loggere) kan påvises, at indeklimakoncentrationen afhænger af koncentrationen under gulvet, se afsnit 7.

1.4 SEKUNDÆRE PROJEKTRESULTATER

Radonatomer i jorden transporteres rundt i jordmatricen med en bæregas/poreluft. Koncentrationen af radon i indeklimaet i en bolig er bestemt af tre overordnede variable:

- Drivkræfter for poreluft til indeklimaet
- Radonkoncentrationen i den indtrængende poreluft
- Ventilationen / luftskiftet i boligen

Udover de ovenfor listede hovedkonklusioner, har projektet bidraget med øget viden indenfor transport af poreluft til et indeklima.

Udover radonmålinger, er der i projektet gennemført målinger med radonisotopen thoron (^{220}Rn). Thoron er en meget kortlivet ædelgas, der emanerer (frigøres) fra jorden på samme måde som radon. Grundet thorons korte halveringstid (ca. 56 sekunder) er stoffets diffusive evner ikke tilstrækkelige til ved mikroskopisk diffusionsaktivitet at bryde igennem et terrændæk. Thoron kan således kun forekomme i indeklimaet, såfremt det er ført derind via en bæregas gennem en konvektiv indtrængningsvej, idet en sådan indtrængningsvej i teorien er et hul med fri trykdreven passage. Den konvektive transport sker typisk gennem revner og utætheder i betondækket og ved utætte rørgennemføringer.

Thoronmålingerne er i projektet udført med henblik på, at opnå et forbedret grundlag for vurdering af spredningsveje for poreluften i jorden under huset til indeklimaet (indtrængningspunkter).

Det er i projektet påvist, at samtidige målinger af thoron og radon ved udvalgte punkter i indeklimaet kan lokalisere disse indtrængningspunkter til indeklimaet.

Thoronmålingerne er en nyudviklet ”screeningsmetode”, og er i dette projekt alene afprøvet på et indledende niveau. For en nærmere beskrivelse henvises til /14/.

Summary and conclusions

1.5 BACKGROUND AND PURPOSE OF PROJECT

Radon is a naturally occurring radioactive noble gas which exists everywhere in the earth's crust as part of the uranium decay chain. Radon is created in the soil and can infiltrate the slab construction via diffusive and convective entry points, transported via general air infiltration from the subsoil by means of a carrier gas.

The concentration of radon in the soil is approximately 1,000 – 10,000 times higher than in outdoor air. This causes infiltration of radon-bearing gas from the soil to the indoor air to dominate the indoor air concentration of radon.

The mean radon concentration in the average Danish outdoor air is estimated by the Danish Health and Medicines Authority to be approximately 5 Bq/m³, substantially lower than the mean indoor air concentration in Danish single-family houses, which is 77 Bq/m³. The indoor air concentration is also affected by the emanation of radon from building materials (such as concrete, bricks and gypsum) and in some cases evaporation from drinking water, though contributions from these sources are estimated by the Danish Health and Medicines Authority to be minimal. It can thus be assumed that increased radon concentrations in indoor air (meaning indoor concentrations above the outdoor air concentration) are affected by soil gas infiltration from subsoil.

In cases of soil contamination, a measureable attenuation factor of the slab construction is often desired. In this project, measurements of radon above and below the slab construction are used to describe such attenuation factors.

The primary objective of this project is to investigate whether radon measurements can be utilised to ascertain the attenuation factor for a given slab construction. The project will furthermore contribute to the development of a method for measuring radon in the sub-slab soil gas.

1.6 THE STUDY

The project contains sub-slab and indoor air measurements of radon at five different locations. Three of these sites are single-family houses while the other two are multi-storey buildings with measurements taken at the lowest floor. The investigation contains continuous measurements of radon (²²²Rn) and meteorological data such as pressure, differential pressure over the slab, temperature and wind measurements. Three of the five locations are contaminated with chlorinated solvents. The contamination situations and warding efforts in these three locations are described in independent reports /5, 6 and 7/.

The fieldwork of the investigation was performed between September 2008 and May 2009.

This project was conducted by NIRAS A/S on behalf of Region Midtjylland (Central Denmark Region) as part of the Danish Environmental Protection Agency's Technology Development Programme for soil and groundwater pollution.

1.7 MAIN CONCLUSIONS

Based on the results of this project, radon measurements are deemed suitable for determining the attenuation factor for a slab. Furthermore, radon measurements can be utilized in multiple situations, for instance to assess the infiltration of gases into indoor air from underlying contamination or from radon, and to characterise the intrusion points of a slab construction.

During the project, a method for measuring radon in the capillary break layer beneath the slab was developed. This method and experiences from the various phases of the project are described in section 4.2.1. In general it is worth noting that the measurements can be completed as either simple mean value measurements or more detailed continuous monitoring. However, simple radon instruments are only recommended when it can be documented initially (by means of continuous monitoring) that the indoor concentration is dependent on the sub-slab concentration; see section 7.

1.8 SECONDARY PROJECT RESULTS

Radon atoms in the soil are transported around the soil matrix by a carrier gas (soil gas). The concentration of radon in the indoor climate of a dwelling is determined by three main variables:

- Driving forces for soil gas to the indoor air
- The radon concentration in the infiltrating soil gas
- The ventilation/air change rate in the dwelling

Aside from the aforementioned main conclusions the project has contributed increased knowledge regarding the transportation of soil gas to indoor air.

Besides measuring radon, measurements of the radon isotope thoron (^{220}Rn) were conducted. Thoron is a very short-lived noble gas, which emanates from the soil in the same way as radon. Because of the short half-life of thoron (approximately 56 seconds), thoron's diffusive capabilities are insufficient for the gas to penetrate a concrete slab. Thoron can thus only occur in indoor air if it has been transported there via a carrier gas through a convective intrusion point, since this is in theory a pressure-driven free passage. Such convective transport typically occurs through cracks and leaks in the concrete slab and at leaky piping.

Thoron was measured as part of the project in order to achieve an improved foundation for the evaluation of dispersion of soil gas beneath a house into the indoor climate (intrusion points).

During the project, it was documented that simultaneous measurements of thoron and radon at selected points indoors can pinpoint these intrusion pathways.

Thoron measurement is a newly developed method of screening, which has only been tested preliminarily as part of this project. For a more in-depth description, see reference /14/.

2 Indledning

2.1 INDLEDNING TIL PROJEKTET

Målinger af radonkoncentrationen i huse er som regel knyttet til en grundejers bekymring for utilsigtede sundhedsmæssige risici. Radon er radioaktivt, og enhver eksponering udgør således et strålingsmæssigt og sundhedsmæssigt problem. Tidligere danske og europæiske projekter estimerer, at cirka 300 danskere hvert år dør af lungekræft som følge af radonbestråling /1, 2, 3/. Verdenssundhedsorganisationen WHO anslår at radon, ved en gennemsnitlig eksponering som det danske niveau (59 Bq/m^3 for befolkningen), er skyld i ca. 9 % af alle lungekræftdødsfald /17/.

Ifølge Sundhedsstyrelsen og WHO er radon kræftfremkaldende med en tilnærmet lineær risikokurve. Danske byggemyndigheder anbefaler i Bygningsreglementet 2010, at der foretages enkle og billige foranstaltninger mod radon, når koncentrationen af denne ligger gennemsnitligt over 100 Bq/m^3 i en bolig.

Hensigten med dette projekt er ikke at undersøge forhold af sundhedsmæssig karakter, men derimod at benytte den naturlige forekomst af radon som en tracer for porelufts indtrængning til indeklimaet i huse. Ved samtidig måling over og under gulvet, kan der sammenstilles et udtryk for konstruktionens tæthed mod jorden ved udregning af terrændækkets dæmpningsfaktor. I dette projekt benyttes radonmålinger over og under gulvkonstruktionen for at beskrive en sådan dæmpningsfaktor.

Projektet er inddelt i to delprojekter, hvor delprojekt 1 omfatter et afgangspjækt fra Ingeniørhøjskolen i Horsens, VIA UC, udført af Jesper Bruun Petersen /11/. Delprojekt 2 udgør det fortsatte pjækt, som er gennemført uden deltagelse af studerende.

Det samlede pjækt er udført for Region Midtjylland af NIRAS A/S. Samtlige pjæktaktiviteter er udført af NIRAS A/S. Pjæktet indgår i Miljøstyrelsens Teknologiudviklingsprogram for jord- og grundvandsforurening.

Projektet har haft en styregruppe med deltagelse af følgende personer:

- Børge Hvidberg (Region Midtjylland)
- Steffen Gram Lauridsen (Region Midtjylland)
- Rolf Johnsen (Region Midtjylland)
- Inga Sørensen (VIA University College)

Tre af de fem udvalgte ejendomme, der ligger til grund for måleresultaterne i denne rapport, Mosevej 2C, Karolinegade 1C og Frederiksberg Torv 10, er ejendomme med påvist forurening af undergrunden.

Med afsæt i forureningssituationen og afværgeindsatsen på Mosevej 2C, Karolinegade 1C samt Frederiksberg Torv 10, har NIRAS A/S beskrevet radon- og thoronmålinger foretaget på disse lokaliteter. Beskrivelser af aktiviteterne gennemført på de to lokaliteter er beskrevet i /5, 6, 7/. Rapporten

her er en samlet dokumentation af effekten af forskellige metoder til radontætning. Delresultater fra disse projekter er inddraget i afsnit 5 og 6.

2.2 FORMÅL

Projektets primære formål er at undersøge, om radonmålinger kan anvendes til at bestemme dæmpningsfaktoren over en gulvkonstruktion. Projektet skal endvidere medvirke til videreudvikling af nye målemetoder til måling af radon i poreluften.

Såfremt relativt simple radonmålinger kan bestemme dæmpningsfaktoren, vil det være muligt at udarbejde en mere sikker risikovurdering for påvirkning af indeklimaet fra en underliggende forurening, idet påvirkning fra andre kilder (brug af kemikalier i boligen, drift af oliefyr, rensning af tøj, rygning osv.) ikke påvirker måleresultaterne.

2.3 LÆSEVEJLEDNING

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

Herefter følger en beskrivelse af det anvendte udstyr og måleprocedure. (afsnit 4). Afsnittet indeholder desuden en overordnet beskrivelse af det samlede måleprogram (afsnit 4.3), som opstiller de enkelte måleperioder i projektet.

Afsnit 5 indeholder en detaljeret beskrivelse af samtlige forsøgslokaliteter, med gennemgang af lokaliteternes byggetekniske udformning, geologi og de generelle vind-/vejrforhold i måleperioden. Afsnittet kan læses i det omfang, der er detailindsigt i de specifikke forhold på de enkelte forsøgslokaliteter.

Samtlige måledata gennemgås i afsnit 6, og diskuteres for hver enkelt lokalitet. Afsnittet efterfølges af en samlet diskussion af data i afsnit 7, og projektets konklusioner er opstillet til sidst i afsnit 8.

3 Generelle problemstillinger

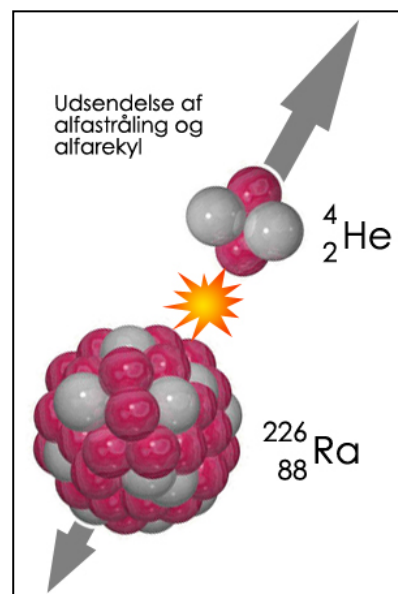
Dette kapitel indeholder en diskussion af de generelle problemstillinger, med henblik på en bedre forståelse af de kræfter, der ligger til grund for radons emanation fra jorden og indtrængning til indeklimaet. Kapitlet beskæftiger sig dermed ikke direkte med rapportens primære formål, som er en beskrivelse af gulvkonstruktioners dæmpningsfaktor, men er et nødvendigt grundlag for forståelse af radons og dets bæregas' bevægelse fra jord til hus.

Baggrunden for kapitlet er blandt andet bilagene 2.3.1 – 2.3.6, som illustrerer sammenhængen mellem de målte radonkoncentrationer og en række forskellige meteorologiske faktorer, samt indledende studier af relevant litteratur.

3.1 RADONS EMANATION

Indholdet af radon i en given jordmatrice er afhængig af geologien. Sedimentets type, alder og tilvejebringelse dikterer jordens mineralogi og dermed indhold af uran.

Radons emanationsrate er et udtryk for den hastighed, hvormed der dannes radon i poreluften og bestemmes af jordens indhold af uran, vand og temperatur. En jord med et givent indhold af uran vil generelt have en stigende emanationsrate med øget vandindhold og øget temperatur.



Radon er et datterprodukt af radium, og dannes når radium henfalder ved udsendelse af en alfapartikel. Henfaldet resulterer i et alfarekyl (^4He , figur 1), som skubber moderpartiklen i den modsatte retning af alfapartiklen. På denne måde kan et radonatom frigøre sig fra den partikel, som radiumatomet sad fast i. Ved en sådan frigørelse skubbes radonatomet modsat alfapartiklen, og afhængig af fugtigheden i jorden, vil radonatomet enten ramme et vandmolekyle eller en anden jordpartikel. I sidstnævnte tilfælde kan radonatomet sætte sig fast, og hermed ikke emanere fra jorden. Såfremt radonatomet rammer et vandmolekyle vil det indgå i en generel ligevægtsligning mellem luft og vand.

Figur 1: Alfarekyl.

I meget tør jord vil radons emanationsrate derfor ikke være nær så høj som ved fugtig jord, netop på grund af at radonatomet ved alfarekyl har større sandsynlighed for at ramme og sætte sig fast i en tilstødende jordpartikel. Dog

vil luftens passage i jorden besværliggøres ved meget vandholdig jord, hvilket tillige lægger en dæmper på transport af radon i poreluften.

Radons emanationsrate er i gennemsnit fem atomer pr. sekund pr. kg jord /9/.

3.2 DRIVKRÆFTER FOR PORELUFTS INDRÆNGNING TIL INDEKLIMAET

For at opnå en forståelse af de varierende radonkoncentrationer i indeklimaet og i det kapillarbrydende lag, har det været nødvendigt at måle på en lang række meteorologiske faktorer, der alle spiller en rolle for det endelige slutbidrag af radonholdig poreluft i indeklimaet.

På baggrund af målingerne kan opstilles følgende hypoteser.

Overordnet kan siges, at radons koncentration i indeklimaet er baseret på tre forskellige variable, der hver især styres af forskellige kræfter:

- Drivkræfter for poreluft til indeklimaet
- Radonkoncentrationen i den indtrængende poreluft
- Luftsiftet i indeklimaet

Drivkræfterne er bestemmende for hvor stor en luftstrøm der foregår fra jorden til indeklimaet. Den er ikke betydende for radonkoncentrationen i luften, men for hvor meget luft der kommer ind til indeklimaet fra jorden. Radon bevæger sig ved hjælp af en såkaldt bæregas (poreluft. Denne transporttype kaldes advektion).

Radonkoncentrationen i poreluften er bestemt af andre faktorer, f.eks. de geologiske forhold på grunden. Jo højere mætning af radon i den poreluft der trænger ind, desto højere vil radonkoncentrationen blive i indeklimaet.

Ventilationen af den indendørs luft, altså luftsiftet, er bestemt af helt andre forhold. Jo højere luftsifte, desto lavere radonkoncentration, grundet fortynding med radonfattig udeluft.

Alle tre ovenstående variable virker samtidigt og allestedsnærværende, hvilket vanskeliggør en fuldstændig opdeling i betydningen af de enkelte indvirkende faktorer.

3.2.1 Drivkræfter for porelufttransport til indeklimaet

Radons drivkræfter for transport til indeklimaet er primært styret af trykforhold, der muliggør en vertikal bevægelse af poreluften i jorden (konvektiv transport). Drivkræfterne for poreluften er styret af nedenstående kræfter, der alle virker samtidigt:

- *Diffusion (konstant)*
Molekylære bevægelser fra høj – til lavkoncentration er årsag til diffusiv indtrængning af radon gennem terrændækket til indeklimaet.

Bidraget fra et stofs diffusive indtrængning til indeklimaet er styret af stoffets kemiske egenskaber, herunder bl.a. stoffets diffusionslængde; et udtryk for hvor meget massebalancen flyttes fra høj- til lavkoncentrationsområde i et givent interval. I forbindelse med

diffusion af radon, vil diffusionslængden også være et udtryk for, hvor langt stoffet kan nå at diffundere førend det henfalder til et datterprodukt.

Indtrængningen er desuden afhængig af materialet som stoffet skal diffundere igennem, samt stoffets opløselighed med materialet. Der vil altid foregå diffusion af et stof mod et område med en lavere koncentration af stoffet, hvorfor der altid vil foregå diffusiv indtrængning af radon fra jorden til indeklimaet, eftersom koncentrationen af radon i jorden er væsentligt større end i indeklimaet.

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.

Den diffusive indtrængnings betydning er primært bundet til gulvkonstruktionens udfærdigelse. Jo mere luft en gulvkonstruktion indeholder, det være sig i form af porøs beton, mikro- og/eller makrorevner samt sprækker i dækket, jo længere kan stoffet diffundere, eftersom diffusion af stoffer foregår lettere gennem luft end f.eks. beton. Der er i nærværende projekt ikke set nærmere på den diffusive indtrængnings direkte betydning i de enkelte måletilfælde.

- *Konvektion (varierende)*

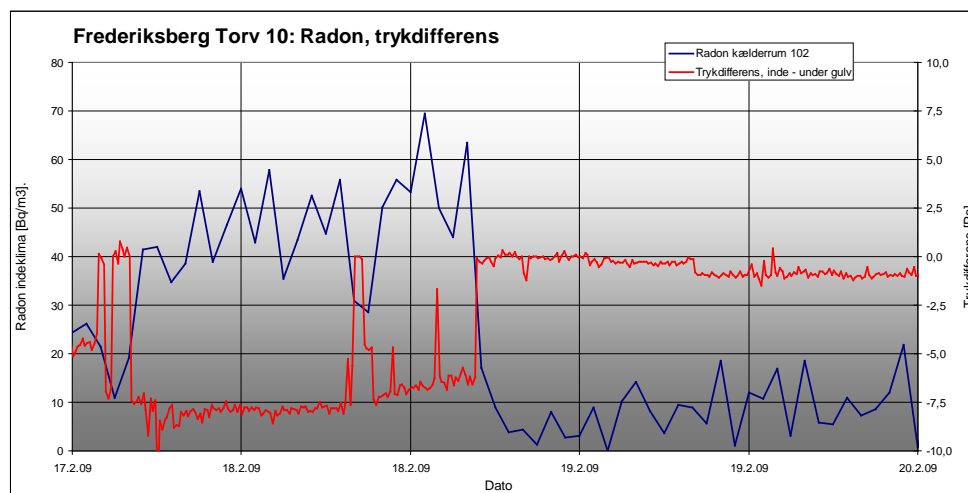
Konvektiv indtrængning skyldes relative trykforskelle (trykdifferens). Indtrængning af poreluft (og dermed radon) til indeklimaet forårsages af denne trykdifferens, som skabes på grund af forskelle i luftens temperatur og fugtighed mellem indenfor, udenfor og i poreluften samt af vindpåvirkning af konstruktionen og andre lignende forhold. I opvarmningssæsonen vil varm indeluft stige til vejrs og efterlade et relativt undertryk i konstruktionens nederste del. Herved vil luft sive ind gennem tilgængelige adgangsveje i form af revner og utætheder i gulv- og vægkonstruktioner. På samme måde kan der skabes midlertidige trykforskelle i og udenfor et hus, på baggrund af vekslende vindpåvirkninger. Afhængig af vindens retning og styrke samt af bygningens omgivelser og opbygning, vil der skabes midlertidige trykforhold, der fordrer enten over- eller undertryk i boligen.

Strømningsretningen er således vekslende, og der kan opstå perioder med relativt overtryk/undertryk i bygninger i forhold til udenfor. I Danmark vil de hyppigt opvarmede bygninger (pga. lav udendørs temperatur) forårsage et flow af poreluft fra jorden til indeklimaet. Radon transporteres med flowet af poreluften (advektiv transport).

Betydningen af trykdifferens er illustreret på figur 2 herunder, som viser sammenhængen mellem radon i indeklimaet på lokaliteten Frederiksbjerg Torv 10 og trykdifferensen mellem indeklimaet og det kapillarbrydende lag. Det ses tydeligt, hvorledes øget relativt undertryk i indeklimaet (17.02.09) giver øjeblikkelig øget radonkoncentration, som følge af øget tilstrømning af poreluft fra jorden under gulvet. Ligeledes ses hvordan en trykdifferens tæt på 0 (18.02.09) giver et betydeligt fald i radonkoncentrationen

Det atmosfæriske tryk giver ligeledes anledning til konvektiv transport af poreluft i jordmatricen. Svingninger i det atmosfæriske tryk vil enten trykke luft ned i jorden eller hive luft ud af jorden. Faktoren er meget afhængig af grundvandsspejlets beliggenhed og jordens permeabilitet, og har størst betydning for den øverste del af jordmatricen. Afhængig af jordlagenes beskaffenhed, kan svingninger i atmosfæretryk give anledning til horisontale luftbevægelser, og har således primært betydning for koncentrationen af radon i poreluften i bygningens influenszone.

Der er i nærværende projekt ikke foretaget beregninger af de individuelle trykforholds betydning i forhold til hinanden.



Figur 2: Logning af radon, Frederiksberg Torv 10, datasammenhæng.

3.2.2 Faktorer bestemmende for radonkoncentrationen i den indtrængende poreluft

Radonkoncentrationen i den luft, der trænger ind i boligen, er afhængig af geologiske faktorer. Nedenfor er listet faktorer og forhold, der er bestemmende for, hvor meget radon der eksisterer i den indtrængende poreluft, og fra hvor stor en zone rundt om huset, der trænger luft til indeklimaet fra.

3.2.2.1 Nedbør og influenszone

Influenszonen rundt om et hus betegner den zone i jorden under og rundt om huset, hvorfra poreluft tiltrækkes indeklimaet på grund af den førnævnte trykdifferens. Zonen kan bruges til at se bebyggelser som en slags skorstene, der tiltrækker og leder poreluft til indeklimaet i et hus, i stedet for direkte opstigning gennem jordmatricen.

Influenszonen er afhængig af størrelsen af trykdifferensen, jordens geologiske beskaffenhed, grundvandets beliggenhed og de klimatiske forhold over jordoverfladen, og kan således variere i udbredelse. Eksempelvis kan det tænkes at nedbør (regn) vil lægge et låg på poreluftens fri passage til atmosfæren, og at influenszonen således kan udvides, og give anledning til et større opland i jorden under huset, hvorfra radonholdig luft tiltrækkes indeklimaet.

3.2.2.2 *Geologi*

Jordens geologiske beskaffenhed, oprindelse, mineralogi, permeabilitet og vandindhold under huset vil have indflydelse på, hvor meget uran der findes i jorden, hvor meget radon der emanerer fra jorden, og hvorledes radon distribueres i de forskellige kanaler, der findes i jorden.

Radons emanationsrate er et udtryk for den hastighed, hvormed der dannes radon i poreluften. Generelt kan siges, at emanationsraten stiger med øget vandindhold og temperatur i jorden, men øget vandindhold besværliggør samtidig luftens bevægelighed i jordmatricen. Meget tør jord har gode transportmuligheder for poreluft, men samtidig en træg emanationsrate, og det modsatte gør sig gældende for våd jord, se afsnit 3.1.

3.2.2.3 *Grundvandsspejlets beliggenhed*

Afhængig af jordens geologiske beskaffenhed vil et lavere grundvandsspejl, alt andet lige, give adgang til et større radonpotentiale. Størst radonpotentiale i jorden opnås med en umættet dybde på mindst otte meters tykkelse /10/. Jo mere poreluft der har adgang til atmosfæren, desto højere vil radonkoncentrationen blive i den luft, der ligger umiddelbart under huset. Svingende grundvandsspejl vil derfor have indflydelse på mængden og koncentrationen af radon i den poreluft, der kan trænge op gennem jorden.

3.2.3 **Faktorer bestemmende for luftskiftet i indeklimaet**

Radonkoncentrationen i den indtrængende luft samt indtrængningsraten er bestemt af de ovenfor nævnte faktorer. Så snart radonholdig luft infiltrerer indeklimaet, vil det blive udsat for en vis fortynding afhængig af luftskiftet i indeklimaet og infiltration af udeluft til indeklimaet. Fortyndingen afhænger af nedenstående faktorer.

3.2.3.1 *Beboeraktivitet og ventilation*

Udluftning (manuel og mekanisk) og åbninger i klimaskærmen domineres typisk altafgørende af menneskelig indflydelse. Øget udluftning betyder, at luften indenfor udskiftes med ”ren” udeluft, hvilket bevirker et fald i radonkoncentrationen. Udluftning har en væsentlig indvirkning på indeklimaets øjeblikkelige radonkoncentration. Øget udluftning kan, afhængig af åbningens placering i forhold til vindretningen, læ og luv mv., give anledning til øget under- eller overtryk i huset.

3.2.3.2 *Klimaskærmens tæthed*

Konstruktionens tæthed har indflydelse på hvor stort et luftskifte, der utilsigtet foretages i bygningen. Mange utætheder i ydervæggene eller loftkonstruktionen vil bevirke, at mere udeluft trænger ind og mere indeluft trænger ud, hvorfor radonkoncentrationen i indeklimaet fortyndes yderligere.

Konstruktionens tæthed har desuden indflydelse på trykdifferensen på flere måder. For det første vil en øget utæthed teoretisk set give anledning til et øget undertryk i huset, såfremt denne utæthed er med til at øge opdriften og afkastet af den varme indendørs luft. En øget utæthed kan dog også formindske trykdifferensen, såfremt utætheden øger indstrømning af kold udeluft. Utæthedens placering i konstruktionen er således afgørende for hvordan utætheden påvirker trykdifferensen.

Desuden vil klimaskærmens tæthed have indflydelse på den af vinden skabte trykdifferens, igen afhængig af konstruktionens luv- og læsider, vindens retning og styrke mv.

3.2.3.3 Husets orientering og form

Orienteringen af huset vil have en betydning for den af vinden skabte trykdifferens, eftersom vind påvirker en bygning med tryk, alt afhængig af konstruktionens orientering og form. Det skabte tryk i bygningens læside forøges eller formindskes, alt efter hvor strømlinet bygningen er, og hvorfra vinden kommer.

3.2.3.4 Byggeteknik

Specifikke detaljer i bygningskonstruktionen vil sandsynligvis have en indflydelse på radons diffusive og konvektive transport til indeklimaet, fra eks. mængde og tæthed af indtrængningspunkter, som influerer på virkningsgraden af de meteorologiske faktorer. Gulvvarme kan endvidere have en indflydelse på trykdifferensen over og under dækket, eftersom gulvvarmerørene bevirker en øget opvarmning af de underliggende lag i gulvkonstruktionen.

Tætheden af den af bygningsreglementet foreskrevne kantmembran (til dækning af kuldebrosoleringen) vil også have en indflydelse på den konvektive indstrømning til indeklimaet. Det antages, at uafdækket/dårligt afdækket kuldebro isolering er en væsentlig konvektiv transportvej for poreluft til indeklimaet, og en tæt membran over denne bør derfor give et væsentligt mindre bidrag fra den konvektive indstrømning.

3.2.3.5 Området

Det nærliggende områdes bevoksning og bebyggelse vil have en indflydelse for vindens styrke, retning og hastighed. Eftersom vindpåvirkning skaber trykforstyrrelser i både ude – og indeklima, vil området omkring bygningen påvirke virkningsgraden af vindhastighed og – retning. Ligger huset således omgivet af træer, vil effekten af vinden være væsentligt anderledes end såfremt huset ligger på en bakketop.

3.3 EKSTERNE FORHOLD

I afsnit 3.1 og 3.2 er omtalt de drivkræfter, der er bestemmende for radonkoncentrationen i indeklimaet. I dette afsnit diskuteres kort, hvilke faktorer der yderligere vurderes at påvirke radonkoncentrationerne.

Afvigende sammenhænge mellem koncentrationen hhv. over og under gulvniveau kan skyldes flere fænomener, som listes nedenfor:

- *Baggrundsstråling fra bygningsmaterialer*
Bygningsmaterialer (eks. beton, tegl, gips og skifer) kan indeholde varierende mængder af uranholdige mineraler, afhængig af materialernes oprindelse. Et indhold af uran vil medføre afgivelse af radon til indeklimaet. Afgasning fra sædvanlige byggematerialer formodes gennemsnitligt at bidrage med 5 - 20 Bq/m³ til et indeklima /4/.
- *Ændrede strømningsmønstre for indtrængende poreluft*
En ændring i lokale trykdifferensforhold (hvis ét rum opvarmes mere end et andet f.eks. i forbindelse med brændeovn, solindstråling eller

udluftning) kan give forhøjet strømning af luft fra undergrunden til det opvarmede rum, og dermed ændre strømningsvejene i undergrunden således, at der bliver ledt mindre poreluft til andre rum

- *Placering af målepunkter*

Indenfor korte afstande i homogene kapillarbrydende lag kan der forekomme varierende koncentrationer af radon. Årsagen hertil er ukendt, men kan skyldes lokale variationer i radonkildestyrken i den underliggende jord eller en lokal opkoncentration grundet trykforhold. Afhængig af den lokale geologi formodes variationer i radonkoncentrationen inden for korte afstande dog at være relativt begrænsede.

3.4 SAMMENFATTENDE OMKRING USIKKERHEDER

Afsnit 3 er baseret på indledende litteraturstudier af trykdifferens og indtrængende poreluft fra undergrunden, tidligere erfaringer og undersøgelser, samt fremkomne måleresultater fra de i projektet udførte feltforsøg.

Data (udover radonmålinger) fra de i projektet udførte undersøgelser er alene overfladisk behandlet, da det ikke har været en del af projektets formål at granske de forskellige faktorerens betydning på radonindtrængning. Yderligere dataindsamling og – granskning vil derfor med stor sandsynlighed medvirke til en bedre forståelse af kræfterne bag den tryk- og diffusionsdrevne poreluftindtrængning.

4 Forsøgsopstilling

Nedenstående afsnit beskæftiger sig med det til projektet benyttede udstyr og opstillingen af dette udstyr i de forskellige målerunder. Indledningsvis præsenteres hvert enkelt måleudstyr ved en teoretisk gennemgang. Efterfølgende præsenteres den anvendte procedure for de enkelte målinger, og til sidst præsenteres måleprogrammet i detaljer.

4.1 Udstyrsgennemgang

I tabel 4.1 er opstillet det benyttede udstyr. Tabel 4.2 viser, hvilket udstyr der er benyttet på de forskellige lokaliteter, se evt. også bilag 4.1.

| Udstyr | Antal | Producent | Formål |
|---------------------------|-------|-----------------|---|
| RAD7 | 1 | Durrige Inc. | Kontinuert radonlogging |
| AlphaGuard | 2 | Saphymo gmbh | Kontinuert radonlogging, atmosfærisk tryk, temperatur mm. |
| WS-2300 vejrstation | 1 | Techno-Line | Vejrdata, trykforhold mm. |
| Ramon 2.2 | 9 | GT analytic KEG | Gennemsnitlig radonmåling |
| PA-267 trykdifferensmåler | 3 | Sontay ltd. | Måling af trykdifferens |
| Barodiver | 1 | Schlumberger | Temperatur- og trykmåling |

Tabel 4.1: Oversigt over benyttet måleudstyr

4.1.1 RAD7 Radon Detector

Udstyret måler henfald af radon (^{222}Rn) og radonisotopen thoron (^{220}Rn). Målingen foregår ved hjælp af en alfadetektor af silicium. Udstyret foretager målinger ved at pumpe luft gennem et filter ind til et 0,7 l halvkugleformet kammer i selve kassen. Herinde henfalder radongas til dets døtre, som alle er metaller. Ved hjælp af et magnetfelt vil radondøtrene tiltrækkes og sætte sig fast på halvlederen silicium, der sidder i centrum af halvkuglen. Når radondøtrene herefter henfalder, kan alfastrålingen registreres af halvlederen, idet hver alfapartikel har 50 % sandsynlighed for at skabe et elektrisk signal i halvlederen proportionelt med dets energi. Herved registreres ikke blot en elektrisk ladning, men selve ladningens størrelse, som er afgørende for hvilken radonisotop der udsendte strålingen. Denne målemetode kaldes *alfaspektrometri*.

RAD7 kan således måle på alfastrålingens energi, og det bliver herved muligt at afgøre præcist hvilket henfald der er tale om, idet alfastrålingen igennem urans henfaldskæde er forskellig, alt efter hvilket eksakt henfald der er tale om. Eksempelvis henfalder polonium 218 til bly 214 ved udsendelse af alfastråling med et energiniveau på 6.00 MeV, mens polonium 214 henfalder til bly 210 ved udsendelse af alfastråling med et energiniveau på 7,69 MeV.

RAD7 måleren er i projektet benyttet til at måle radon indendørs og under gulvkonstruktionerne. Udstyret er installeret med hukommelse til lagring af kontinuerede målinger, og kan således registrere tidslige variationer i koncentrationerne. Udstyret kan indstilles til at give en værdi efter et ønsket tidsinterval, varierende fra 1 minut til flere timer.

4.1.2 AlphaGuard

Udstyret er en radonmåler, som fungerer og måler radonhenfald ved hjælp af et pulserende ioniseringskammer. Radon diffunderer ind i kammeret og henfald registreres herinde.

Et AlphaGuard instrument foretager ligesom RAD7 kontinuerede logninger af koncentrationen af radon i luften. Instrumentet kan indstilles til at give en værdi hver 10. eller hver 60. minut.

AlphaGuard instrumenterne er i projektet benyttet til at foretage indendørs radonmålinger.

4.1.3 WS-2300 Vejrstation

Techno-Line vejrstationen måler de øjeblikkelige meteorologiske data både inde og ude. Stationen kan fungere trådløst. På ethvert tidspunkt kan på displayet aflæses:

- Tidspunkt og dato
- Vejrudsigt og varsler
- Temperatur inde og ude
- Luftfugtighed inde og ude
- Atmosfærisk tryk
- Nedbørsmængde
- Vindhastighed og -retning

Vejrstationen logger kontinuerede data med registrering af data hver time. Instrumentet er benyttet til at foretage meteorologiske datalogninger.

4.1.4 Ramon 2.2

Radonmåleren Ramon 2.2 fungerer på basis af et halvledermateriale (silicium) der måler henfald ved alfastråling. Radongas diffunderer ind i et internt kammer i instrumentet, og herinde henfalder radon til dets døtre. Via et magnetfelt samles radondøtrene på halvledermaterialet, og herpå måles alfastrålingen. Ramon 2.2 kan ikke skelne mellem de forskellige elektriske impulsers størrelse ved henfald, og kan derfor ikke foretage alfaspæktrometri.

Ramon 2.2 er benyttet til at foretage radonmålinger i indeklimaet.

4.1.5 PA-267 trykdifferensmåler

For at måle de meget små udsving, der udgør forskellen i tryk mellem inde, ude og under gulv, er benyttet en differenstrykmåler af mærket 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 kontinuerede tidslige differenstrykvariationer.

4.1.6 Barodiver

Schlumbergers Barodiver er benyttet til at måle atmosfærisk tryk og den omgivende temperatur.

I projektet er instrumentet benyttet under delprojekt 1 til indhentning af data i indeklimaet.

4.2 MÅLEPROCEDURE

I dette projekt er primært foretaget målinger af radonkoncentrationer i indeklima og under terrændæk. Samtidigt med disse målinger er foretaget registreringer af meteorologiske forhold, såsom tryk og temperatur. Dette afsnit beskriver procedurerne for disse målinger.

I tabel 4.2 er beskrevet, hvilke instrumenter der er benyttet på de forskellige lokaliteter.

| Adresse | RAD7 | AlphaGuard | Ramon 2.2 | WS-2300 vejstation | Trykdifferens- logger | Barodiver |
|------------------------------------|------|------------|-----------|-----------------------|--------------------------|-----------|
| Peder Kællers vej 23 ¹⁾ | 1/1 | 0/2 | 7/0 | 1/1 | 1/1 | 1/1 |
| Peder Kællers vej 31 | 1 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Frederiksberg Torv 10 | 1 | 2 | 5 | 1 | 1 | 0 |
| Karolinegade 1C | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Mosevej 2C | 1 | 2 | 4 | 1 | 1 | 1 |

1) Der er foretaget to målerunder på lokaliteten med udskiftninger i udstyret undervejs. De to tal repræsenterer antal udstyr i hhv. 1. og 2. målerunde.

Tabel 4.2: Oversigt over radonmålinger

4.2.1 Radonmålinger

4.2.1.1 Måling af radon i indeklima

Radonkoncentrationen i et hus varierer afhængig af, hvor poreluften trænger op til indeklimaet samt ventilationen i huset/udelufttilførsel. For at opnå en rimelig forståelse for hvordan radonkoncentrationerne i et hus fluktuerer, benyttes som regel ikke mindre end to instrumenter til at aflæse radonindholdet i indeklimaet.

Radonmålinger i indeklimaet er i projektet primært foretaget med AlphaGuard instrumenter, der er i stand til at logge kontinuerte målinger. Sekundært er ved flere lokaliteter benyttet Ramon 2.2 målere, som leverer en gennemsnitlig værdi over minimum 48 timer.

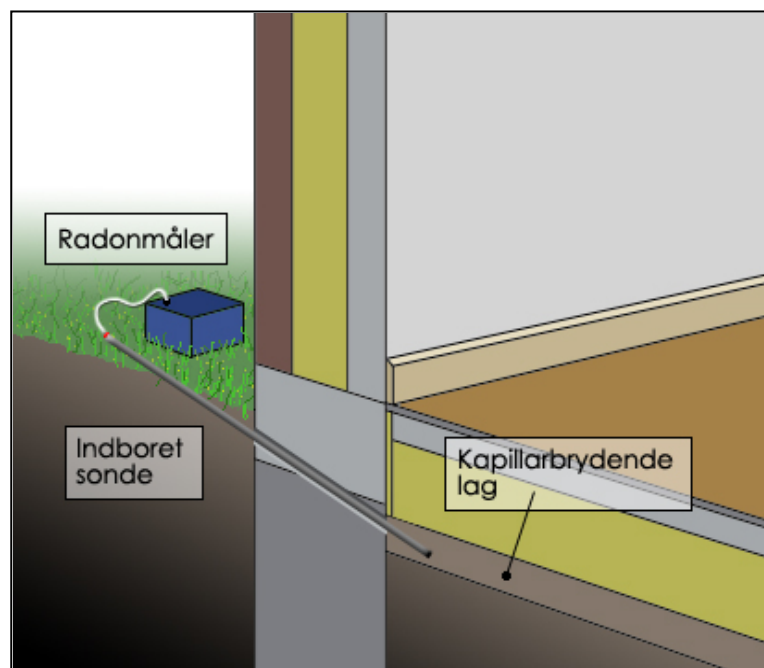
Der foretages logninger af indeklimakoncentrationen i minimum 14 dage. Ramon 2.2 målerne kan benyttes til at give én gennemsnitsværdi over hele perioden, eller til at give et gennemsnit hver 48. time.

4.2.1.2 Måling af radon i kapillarbrydende lag

Radonmålinger i det kapillarbrydende lag er udført ved brug af instrumenttypen RAD7. Instrumentet er udstyret med en indbygget pumpe,

og kan dermed tilsluttes et dræn eller målepunkter og suge luft op fra det kapillarbrydende lag under en bygning.

Såfremt en bygning ikke allerede er udstyret med drænledninger eller målepunkter udlagt under gulv (hvilket er tilfældet for to af de fem lokaliteter i projektet, se bilag 1.1.1 – 1.1.6), er der indboret en sonde skråt eller horisontalt gennem fundamentet til det kapillarbrydende lag. Denne proces foregår ved indledningsvist at bore gennem fundament, se figur 3, indtil det kapillarbrydende lag nås. Det er nødvendigt at måle i det kapillarbrydende lag, eftersom luften her bevæger sig mere frit end i fast jord, og derfor har mere ensformige koncentrationer af radon (bortset fra lokale hotspots, se afsnit 3.3).



Figur 3: Måling af radon via sonde i det kapillarbrydende lag.

Der sættes en metalsonde i hullet, hullet tættes med fugemasse og herefter forpumpes der med prenart pumpe for at sikre, at der ikke er hverken for højt modtryk eller vand.

Efter forpumpning kan udstyret tilsluttes sonden og målingerne kan begynde. Afkastluften er herefter direkte i det fri, hvilket er nødvendigt for at undgå forurening med poreluft til indeklime.

4.2.1.3 Meteorologiske data

Udendørs temperatur, tryk, nedbør, vind og andre meteorologiske forhold registreres kontinuerligt med en vejrstation. De indendørs forhold registreres primært med AlphaGuard instrumenterne.

Trykdifferens måles mellem indeklime og kapillarbrydende lag hvor det er muligt, samt mellem ude- og indeklime.

4.2.1.4 Problemer / erfaringer

Ved måling af radon i det kapillarbrydende lag er det mest hensigtsmæssigt at have udstyret til målingerne stående udendørs, idet apparatet støjer og afkast ikke må foretages til indeklime (da afkastet ofte vil have et højt indhold af

radon). Denne installation kræver imidlertid omtanke, eftersom målinger foretaget ved en temperatur under 0 °C, vil være behæftet med en relativ stor fejlmargen.

Installation af et dræn i det kapillarbrydende lag skal tillige udføres med omtanke, se afsnit 8. Forkert installation kan betyde, at radon ikke måles i det kapillarbrydende lag men eventuelt i den underliggende jord, hvor radonkoncentrationen muligvis vil være større, og hvor modtrykket kan gøre det svært for udstyret at foretage målingerne.

Radon i indeklimaet kan være styret af enkelte primære indtrængningspunkter for konvektiv indstrømning af poreluft. Efter radon er trængt op lokalt i indeklimaet, vil gassen dispergere til de tilstødende rum afhængig af ventilation og luftens bevægelser. Der kan på baggrund af dette være stor variation af radonkoncentrationen i indeklimaet, og det er derfor hensigtsmæssigt at måle koncentrationen i flere forskellige rum.

4.3 MÅLEPROGRAM

Nedenstående afsnit omhandler selve måleprogrammet for projektet. Måleprogrammet er opdelt i to delprojekter, hvor det første projekt blev afviklet i forbindelse med gennemførelse af et afgangprojekt fra ingeniørhøjskolen i Horsens.

Data fra såvel delprojekt 1 som 2 indgår i dette samlede projekt.

De to delprojekter kan opstilles som følgende:

- DP 1: Metodeudvikling på én lokalitet
- DP 2: Afprøvning på supplerende lokaliteter

Delprojekt 1 indeholder undersøgelser i forbindelse med metodeudviklingen. Data fra forskellige udførte forsøg i forbindelse med delprojekt 1 er beskrevet i en selvstændig rapport /11/.

Det er i delprojekt 2 valgt at fokusere på radonmåling med kontinuerte loggere, RAD7 og AlphaGuard instrumenter i stedet for simple manuelle radonmålere. Det primære problem ved de manuelle aflæsninger har været involvering af beboere, hvorfor det blev valgt at ekskludere flere af disse målinger. Der er i måleperiode nr. 3, 4 og 6 benyttet to stk. AlphaGuard til registrering af radonkoncentrationer i indeklimaet, hvor det i måleperiode nr. 2 og 5 alene har været muligt at benytte ét stk.

Til grundlag for denne rapport ligger data fra delprojekt 2 samt udvalgte data fra delprojekt 1, som understøtter projektets formål. Tabel 4.3 herunder præsenterer den samlede måleperiode.

| Del | Måleperiode og lokalitet | Måleperiode nr. | Indhold |
|-----|--|-----------------|--|
| DP1 | 9/10–12/11 2008 Peder Kællers vej 23 | 1 | Målingerne indeholder kontinuerlig logning af radonkoncentration under gulv, og samtidig registrering af radon i indeklima i syv punkter med registrering pr. ca. 48. time. Samtidig er foretaget en registrering af vindforhold, nedbør, tryk, temperaturer og trykdifferens. |
| DP2 | 29/11–29/12 2008 Peder Kællers vej 23 | 2 | Primær forsøgslokalitet. Målingerne indeholder kontinuerlig logning af radonkoncentrationen i indeklima og under gulv, og samtidig registrering af vindforhold, nedbør, tryk, temperaturer og trykdifferens mellem inde og ude. |
| | 9/1–23/1 2009 Mosevej 2C | 3 | Primær forsøgslokalitet. Som måleperiode 2, men indeholder desuden registrering af radon i fem punkter i indeklimaet hver 48. time, og trykdifferens mellem inde og under gulv. |
| | 17/2–13/3 2009 Frederiksbjerg Torv 10 | 4 | Sekundær forsøgslokalitet. Som måleperiode 2. |
| | 2/4–17/4 2009 Karolinegade 1C | 5 | Sekundær forsøgslokalitet. Målingerne indeholder kontinuerlig logning af radonkoncentrationen i indeklima og under gulv. |
| | 5/5–28/5 2009 Peder Kællers vej 31 | 6 | Sekundær forsøgslokalitet. Som måleperiode 2, dog uden måling af trykdifferens. |

Tabel 4.3: Oversigt over samlet måleprogram

Herunder vil de to delprojekter kort gennemgås. Et udvidet måleprogram er vedlagt i bilag 2.1.

Delprojekt 1

Afprøvningen blev gennemført i ét af de primære forsøgshuse for Boligfonden Kubens radonsikringsprojekt /12/ Peder Kællers vej 23. Feltarbejdet blev foretaget i forbindelse med gennemførelse af et afgangsprøveprojekt på Ingeniørhøjskolen i Horsens (Via University College). Feltarbejdet til delprojekt 1 blev afsluttet ultimo november, og projektet afsluttedes 19. december 2008 med en samlet rapport for de gennemførte aktiviteter, /11/. Rapporten blev udarbejdet af Jesper Bruun Petersen med teknisk kvalitetssikring af NIRAS og Region Midtjylland.

Det primære formål med delprojektet var at foretage metodeudvikling og – validering.

Målingerne blev foretaget fra oktober til november måned 2008.

I nærværende projekt er fra delprojekt 1 kun medtaget data fra projektets første måleperiode. Resultater fra yderligere undersøgelser er afrapporteret i afgangsprøveprojektet /11/.

Delprojekt 2

I delprojekt 2 blev dele af forsøgssetup'et fra delprojekt 1 delvist genbrugt på fem forskellige lokaliteter, hvoraf den ene var samme lokalitet som ved

delprojekt 1. Delprojekt 2 blev gennemført i samarbejde mellem NIRAS og Region Midtjylland og med deltagelse af Region Hovedstaden. Gentagelsen af forsøgssetup'et på lokaliteten Peder Kællers vej 23 blev dog tidsmæssigt udført i forbindelse med førnævnte afgangsprøve fra VIA University College.

De fem lokaliteter er udvalgt på baggrund af følgende:

- Minimering af tidsforbrug til feltarbejde (samtidig radonmåling som alm. monitoring).
Der var i forvejen planlagt gennemført undersøgelser på flere grunde i vinteren 2008/2009. Feltarbejdet kunne derved koordineres med de øvrige aktiviteter på grunde, så tidsforbruget til feltarbejde blev minimeret. Grunden i Horsens (delprojekt 1) blev inddraget, da store dele af forsøgssetup'et allerede var etableret og indkørt på denne lokalitet.
- Velkendt forekomst af forurening.
Der er dokumenteret eller forventet forurening i indeklimaet, og forureningen er spredt til indeklimaet fra en jordforurening under bygningen (lokalitet 3 – 5).
- Byggeteknisk gennemgang.
Der foreligger data fra tidligere gennemført byggeteknisk gennemgang.

De fem valgte lokaliteter er listet nedenfor. Primære lokaliteter er i projektoplægget beskrevet som indeholdende meteorologiske data, til forskel fra de sekundære lokaliteter, hvor disse data skulle hentes fra DMI. Det er i forbindelse med projektets udførelse besluttet at ændre på forsøgssetup'et fra oplægget, og således inddrage meteorologiske undersøgelser og indsamle data fra visse sekundære lokaliteter til eventuel senere brug.

Primære forsøgslokaliteter:

1. Mosevej 2C (tidligere metalvarefabrik, forurening med PCE)
2. Peder Kællers vej 23 (lokalitet fra delprojekt 1)

Sekundære forsøgslokaliteter:

3. Frederiksberg Torv 10 (tidligere renseri, forurening med TCE og PCE)
4. Karolinegade 1C (tidligere renseri, forurening med PCE)
5. Peder Kællers vej 31 (ubeboet)

I afsnit 5 er de enkelte lokaliteter beskrevet. I bilag 2.1 er vedlagt en skematisk uddybning af aktiviteterne for målingerne for delprojekt 2.

5 Måleprocedurebeskrivelse

I projektet er undersøgt radonkoncentrationer på fem forskellige lokaliteter. Lokaliteterne er udvalgt på baggrund af betingelserne anført i afsnit 4.3 (forureningsforhold, vidensniveau, øvrige feltaktiviteter mv.). Tre af de udvalgte lokaliteter er forurenede med PCE. Samtlige grunde er listet i tabel 5.1 nedenfor.

| Adresse | Lok. | Måleperiode nr. | Forurenede |
|-----------------------|------|-----------------|------------|
| Peder Kællers vej 23 | 1 | 1, 2 | Nej |
| Mosevej 2C | 2 | 3 | PCE/TCE |
| Frederiksberg Torv 10 | 3 | 4 | PCE/TCE |
| Karolinegade 1C | 4 | 5 | PCE/TCE |
| Peder Kællers vej 31 | 5 | 6 | Nej |

Tabel 5.1: Testlokaliteter

Lokaliteterne er detaljeret beskrevet i bilag 1.2, hvor beskrivelsen er opstillet på tabelform. Herved overskueliggøres de forskellige forhold, der gør sig gældende på lokaliteterne, og eventuelle ligheder kan lettere identificeres.

En kort gennemgang af de i projektet undersøgte lokaliteter ses nedenfor. Samtlige ejendomme benyttes til bolig.

5.1 PEDER KÆLLERS VEJ 23

Lokalitet 1 er beliggende ved Boller Overskov, mellem Tyrsted og Dagnæs i udkanten af Horsens by. Byggeriet på Peder Kællers vej er opført af Kuben A/S, og består af 16 enfamiliehuse og seks etagebyggerier med otte lejligheder i hver.

Lokaliteten Peder Kællers vej 23 er et enfamiliehus på 123,7 m² fra 2006. Huset er radontætnet mod terræn.

5.1.1 Byggeteknik

Nedenfor er byggetekniske forhold kort præsenteret. En plantegning af huset er vedlagt i bilag 1.1.1. Af tegningerne fremgår gulvbeklædning, rørgennemføringer mv. Fotos af lokaliteten og af aktiviteter i forbindelse med undersøgelserne er vedlagt i bilag 3.1.1.

5.1.1.1 Generel tilstand

Bygningen er nyopført, og fremstår i pæn stand uden sætningsskader.

5.1.1.2 Anvendelsesmønster

Enfamiliehus (to personer). Beboere har begge arbejde i dagstimerne. Indeklimaet er veludluftet og renligt.

5.1.1.3 Kælderforhold

Huset er opført uden kælder.

5.1.1.4 Udearealer

Ejendommen er opført i murværk. Ejendommen er omkranset af græs på nordlige og sydlige side. Bygningens østlige side udgøres af befæstet indkørsel og udhus. På den vestlige side af huset er der befæstet terrasse.

5.1.1.5 Terrændæk

Terrændækket er jf. bilag 1.2 opbygget af 14 mm lamelparket inkl. underlag og fugtspærre. Herunder 100 mm armeret beton, underlejret af 400 mm polystyren isolering, der hviler på et 100 mm lag af letklinker, som udgør det kapillarbrydende lag. Det kapillarbrydende lag er udlagt på en sandpude.

Boligens terrændæk er radontætnet med en kantmembran af polyethylenfolie, placeret som overdækning af kantisoleringen inden betondækkets udstøbning. Kantmembranen er gennembrudt ved vindues- og dørpartier.

Der er parketgulvsbelægning på alle gulvene bortset fra bryggers og badeværelse, hvor der er klinker. Alle gulve fremstår uden revner (besigtigelse i 2006 inden udlægning af gulvbelægning).

5.1.1.6 Fundering

Liniefundament er støbt i armeret beton i minimum 0,9 m u.t.

5.1.1.7 Ventilation (indeklima)

Indendørs er der etableret aktiv ventilation ved anvendelse af varmegenvindingsaggregat. Det vurderes at systemet ikke påvirker trykforholdene i boligen. Luftsiftet i boligen er ikke målt, men forventes på baggrund af ventilatorspecifikationer at ligge på omkring $0,5 \text{ h}^{-1}$.

Der er eldreven ventilation i køkkenet via emhætten og i badeværelset.

5.1.1.8 Særlige installationer

Boligen er konstrueret med mulighed for passiv ventilation af bygningens kapillarbrydende lag. I det kapillarbrydende lag er udlagt dræn m sug (mod øst) og dræn m luftindtag (mod vest). Dræn m sug samles i bygningens teknikskab og føres op til afkast over tag. Anlægget drives af en vindhætte placeret ved afkastet over tag.

5.1.1.9 Rørgennemføringer

Alle rørgennemføringer er tætnet med 2-komponent højfleksibel svummørtel.

5.1.1.10 Varmeinstallation

Der er installeret fjernvarme, der fordeles fra teknikskab i bryggers.

5.1.2 Geologi

Lokaliteten er beliggende i kote +41,79 DVR90, på den nordlige side af en svagt stigende bakke, strækkende sig over hele den sydlige del af Horsens by. Øst for lokaliteten ligger Boller Overskov.

Områdets generelle geologi kan beskrives som en lagfølge af muld, flydeler og moræner. Lokalitetens specifikke geologi er beskrevet som senglacialt siltet flydeler indtil 2,7 m u.t. underlejret af federe siltede og sandede glaciale leraflejringer indtil 3,4 m u.t. Herunder findes smeltevandsgrus til 4 m u.t. (bund af geoteknisk boring).

I forbindelse med byggeriet på grunden er der foretaget en geoteknisk boring på lokaliteten, bilag 1.3.1, og der er truffet et højtliggende sekundært grundvandspejl i kote +38,6 DVR90. Beliggenheden af det primære grundvandsspejl kan ikke præciseres af mangel på lokale dyberegående boringer.

5.1.3 Vejrforhold

Vejrdata er registreret i oktober til december måned 2008. De gennemsnitlige tendenser er anført nedenfor.

- Temperatur, inde: gennemsnit 23 – 25 °C, svagt stigende igennem perioden.
- Temperatur, ude: faldende med gennemsnit i starten af måleperiode nr. 1 på ca. 13 °C og faldende til ca. 1 °C i slutningen af måleperiode nr. 2. Maksimum på 20,3 °C i oktober, minimum -5 °C i december.
- Trykdifferens, inde - ude: gennemsnit ca. 1 Pa relativt indendørs undertryk med enkelte udfald på over 15 Pa under-/overtryk.
- Atmosfærisk tryk: varierende mellem 996 – 1026 hPa.
- Nedbør: Spredt gennem oktober og november måned med ganske lidt i december. Total nedbør 109 mm, maksimalt nedbør på 1 time 5,2 mm.
- Vindhastighed: varierende gennemsnit mellem 5 og 10 km/t, med toppe op til 30 km/t
- Vindretning: generelt fra SW i oktober og november måned. I december måned skiftende fra SW og SE.

De kontinuerte vejrforhold for lokaliteten kan aflæses i bilagene 2.3.1 og 2.3.2.

5.2 MOSEVEJ 2C

Lokalitet 2 er beliggende i Skuldelev i Frederikssund kommune. Ejendommen er et enfamiliehus opført i år 2006. Det samlede etageareal udgør 162 m².

5.2.1 Byggeteknik

Nedenfor er byggetekniske forhold kort præsenteret. En plantegning af huset er vedlagt i bilag 1.1.2. Af tegningerne fremgår gulvbeklædning, rørgennemføringer mv. Fotos af lokaliteten og af aktiviteter i forbindelse med undersøgelserne er vedlagt i bilag 3.1.2.

5.2.1.1 Generel tilstand

Bygningen er nyopført, og fremstår i pæn stand uden sætningsskader.

5.2.1.2 Anvendelsesmønster

Enfamiliehus (børnefamilie). Beboere har begge arbejde/skole i dagstimerne. Indeklimaet er veludluftet og renligt.

5.2.1.3 Kælderforhold

Huset er opført uden kælder.

5.2.1.4 Udearealer

Ejendommen er opført i murværk. Ejendommen er omkranset af græs på vestlige og østlige side. Bygningens nordlige og nordøstlige side udgøres af befæstet indkørsel og værksted. På den sydlige side af huset er der befæstet terrasse.

5.2.1.5 Terrændæk

Terrændækket er opført af armeret betongulv med et underliggende kapillarbrydende lag af grus. Tykkelser og evt. isolering er af ukendt størrelse. I huset anvendes desuden trægulv og fliser i forskellige dele af huset.

5.2.1.6 Ventilation (indeklima)

Der er eldreventilation i køkkenet via emhætten og i badeværelset.

5.2.1.7 Rørgennemføringer

Udført efter almindelige Dansk standard.

5.2.1.8 Varmeinstallation

Fjernvarme. Der er installeret gulvvarme i visse dele af huset.

I boligen på Mosevej 2C er desuden installeret en varmepumpe af mærket Fighter til opvarmning af huset. Varmepumpesystemet fungerer via udluftningskanaler i ydermurene og via aftrækskanaler i hvert rum i boligen. Det vurderes at systemet ikke påvirker trykforholdene i boligen.

5.2.2 Geologi

Lokaliteten er beliggende i kote +6,69 DVR90.

I forbindelse med jordforureningsundersøgelser, er der foretaget borer på lokaliteten. Der er i denne rapport vedlagt én borejournal for lokaliteten, boring B2, bilag 1.3.2. Resterende borer kan findes i selvstændig miljørapport /5/.

Områdets generelle geologi kan beskrives som morænelandskab fra sidste istid med vekslende lag af sand og ler. Lokalitetens specifikke geologi er beskrevet som senglaciale sandet flydeler indtil 3,2 m u.t. underlejret af groft, gruset smeltevandssand indtil 6,7 m u.t. Herunder findes moræner med enkelte sandlirer til 17,2 m u.t., hvor boringen afsluttes ved toppen af kalken.

Det primære grundvandsspejl er beliggende i kote 2,94.

5.2.3 Vejrforhold

Vejrdata er registreret i januar måned 2009. De gennemsnitlige tendenser er anført nedenfor.

- Temperatur, inde: Svagt stigende gennemsnit gennem perioden på ca. 23 – 24 °C.
- Temperatur, ude: Svagt aftagende gennemsnitlige temperaturer gennem perioden fra ca. 3 °C og til ca. 1,5 °C i slutningen. Generelt små forskelle i dag og nattemperaturer, differens maksimalt ca. 10 °C. Maksimum temperaturer på 9,5 °C, minimum -5,4 °C.
- Trykdifferens, inde – kapillarbrydende lag: gennemsnit ca. 1 Pa relativt indendørs undertryk med enkelte udfald på over 10 Pa under-

/overtryk. Specielt hele den 12. januar domineres af et markant udfald på gennemsnitligt 6 Pa relativt indendørs undertryk.

- Trykdifferens, inde - ude: I de store træk følges udviklingen for trykdifferensen mellem inde og i det kapillarbrydende lag, dog er det relative indendørs undertryk i forhold til udeklimaet en anelse større, gennemsnitligt ca. 0,5 Pa.
- Atmosfærisk tryk: generelt faldende igennem stort set hele perioden fra gennemsnitligt 1020 til 995 hPa med store tidslige variationer. Minimum 981 og maksimum 1028 hPa.
- Nedbør: Meget lidt nedbør i perioden. Total nedbør 10,8 mm, maksimalt nedbør på 1 time 1,6 mm.
- Vindhastighed: Generelt aftagende vinde gennem perioden. De mest markante vinde finder sted i perioden 11-14. januar, med toppe op til 33,4 km/t.

De kontinuerte vejrforhold for lokaliteten kan aflæses i bilagene 2.3.3.

5.3 FREDERIKSBERG TORV 10

Lokalitet nr. 3 er beliggende i Århus C. Ejendommen er en etageejendom opført i ca. 1901. Ejendommen indeholder 4 lejligheder, en på hver etage i hhv. stuen, 1. sal, 2. sal og 3. sal. Kælderetagen anvendes delvist til vaskeri, opbevaring mv. og delvist som en del af beboelsen i stueetagen.

5.3.1 Byggeteknik

Nedenfor er de byggetekniske forhold kort præsenteret. Plantegninger af kælderplan og stueplan, der beskriver de byggetekniske tiltag er vedlagt i bilagene 1.1.3 og 1.1.4. Fotos af lokaliteten og af aktiviteter i forbindelse med undersøgelserne er vedlagt i bilag 3.1.3.

5.3.1.1 Generel tilstand

Huset fremstår velholdt. Der er enkelte svind revner i facaden ud mod Frederiksbjerg Torv.

5.3.1.2 Anvendelsesmønster

Ejendommen anvendes til lejligheder. De fleste af beboerne er udearbejdende og generelt veludluftet. I den ubeboede del af kælderetagen står der ofte et vindue åbent.

5.3.1.3 Kælderforhold

Der er kælder under hele ejendommen. Kældergulvet er beliggende ca. 1,25 m u.t. Der er adgang til den ubeboede del af kælderetagen fra en udendørs trappe i gården. Adgang til den beboede del af kælderetagen sker direkte fra lejligheden i stueetagen.

5.3.1.4 Udearealer

Ejendommen er opført i murværk. Facaden ud mod Frederiksbjerg Torv er pudset. Alle udendørs arealer er befæstet med sten, beton eller asfalt.

5.3.1.5 Terrændæk

Efter etablering af ventilationsdrænene i et 250 mm kapillarbrydende lag er der udlagt 200 mm isolering. Over isoleringen er der udlagt en diffusionstæt R.A.C. membran. Membranen er armeret med kraftig alufolie, der har en

diffusionshæmmende virkning. For at sikre en korrekt fastgørelse af membranen er den nederste del af væggen (over gulvniveau) pudset. Membranen er herefter fastgjort med lim og klemlister direkte på væggen. Fastgørelse af membranen direkte på væggen skyldes, at bygningen ikke havde et fundament.

Herefter er der udlagt armering og udstøbt et 10 cm tykt betongulv. Gulvet er udstøbt i beton af aggressiv betonstyrke.

5.3.1.6 Fundering

Bygningen er opført uden fundamenter. Der er i forbindelse med etablering af den passive ventilation udført fundamenter ved understøbning i vaskerummet. Fundamenterne er ført til ca. 1,0 m u. kældergulv.

5.3.1.7 Ventilation (indeklima)

Der er fra badeværelser og køkkener i alle lejligheder aktiv udsugning. Der er installeret udeluftsventiler i kælderrum.

5.3.1.8 Særlige installationer

Der er under terrændækket etableret et ventilationssystem for passiv ventilation. Anlægget er etableret med sug fra 2 vindhætter placeret over tagryggen og med friskluftindtag i gården.

5.3.1.9 Rørgennemføringer

Rørgennemføringerne i kælderetagen er udført med membranmanchetter og støbt i betongulvet.

5.3.1.10 Varmeinstallation

Ejendommen opvarmes med fjernvarme. Rørene kommer ind i bygningen igennem kældervæggen.

5.3.2 Geologi

Lokaliteten er beliggende i ca. kote +14 DVR90. Ved lokaliteten er terrænhældningen overordnet orienteret mod nordøst, men syd for Frederiksbjerg Torv falder terrænet også i sydlig retning.

I forbindelse med jordforureningsundersøgelser er der foretaget boringer på lokaliteten. Der er i denne rapport vedlagt én borejournal for lokaliteten, boring B2, bilag 1.3.3. Resterende boringer kan findes i selvstændig miljørapport /6/.

I boring B2 er der truffet ler til 5,1 m u.t. herunder er der leret/siltet sand til boringens bund 8 m u.t. Vandspejlet i boring B2 er d. 11. august 2004 pejlet til 6,40 m u.t., kote +7,6 DVR90.

5.3.3 Vejrforhold

Vejrdata er registreret i februar og marts måned 2009. De gennemsnitlige tendenser er anført nedenfor.

- Temperatur, kælder: Relativt stabilt gennemsnit på 14 – 15 °C.
- Temperatur, ude: stigende med gennemsnit i starten af måleperioden på ca. 0 °C og til ca. 4,5 °C i slutningen. Generelt små forskelle i dag

og nattemperaturer, differens maksimalt ca. 10 °C. Maksimum temperaturer på 8,9 °C, minimum -2,8 °C.

- Trykdifferens, inde – kapillarbrydende lag: Perioden starter med markant relativt indendørs undertryk på ca. 8 Pa, hvilket falder til gennemsnitligt 0,5 Pa for perioden 18-22. februar. Herefter sker et udfald med store variationer der varer ca. 18 timer. Efter udfaldet indstiller det indendørs undertryk sig på gennemsnitligt 0,2 Pa indtil d. 26. februar, hvor endnu et udfald forekommer af varighed ca. 24 timer. Perioden fortsætter med et markant større relativt undertryk indendørs på ca. 3,5 Pa i perioden 27. februar til 4. marts, hvor undertrykket pludselig ændres til ca. 0 Pa. Passiv ventilation i det kapillarbrydende lag er aktivt i perioden 17. februar til 2. marts.
- Trykdifferens, inde - ude: I de store træk følges udviklingen for trykdifferensen mellem inde og i det kapillarbrydende lag, dog er det relative indendørs undertryk i forhold til udeklimaet en anelse større, gennemsnitligt ca. 0,5 Pa.
- Atmosfærisk tryk: generelt faldende igennem stort set hele perioden fra gennemsnitligt 1028 til 1000 hPa, med store tidslige variationer. Minimum 993 og maksimum 1029 hPa.
- Nedbør: Tiltagende mod slutningen af måleperioden. Total nedbør 41,5 mm, maksimalt nedbør på 1 time 2,1 mm.
- Vindhastighed: Generelt svage men vedvarende vinde med toppe op til 15,8 km/t

De kontinuerte vejrforhold for lokaliteten kan aflæses i bilagene 2.3.4.

5.4 KAROLINEGADE 1C

Lokalitet nr. 4 er beliggende i Skive C. Ejendommen er en etageejendom opført i 1903 og total renoveret i 2003, bl.a. med en mindre tilbygning. Ejendommen består af 3 lejligheder, en på hver etage i hhv. stuen, 1. sal og 2. sal. Ejendommen er opført uden kælder.

5.4.1 Byggeteknik

Nedenfor er de byggetekniske forhold kort præsenteret. En plantegning af huset er vedlagt i bilag 1.1.5. Fotos af lokaliteten og af aktiviteter i forbindelse med undersøgelsen er vedlagt i bilag 3.1.4.

5.4.1.1 Generel tilstand

Facaderne på den oprindelige del af bygningen fremstår med sætningsskader og ødelagte fuger. Vinduer, døre samt indvendigt fremstå nyt (fra 2003).

5.4.1.2 Anvendelsesmønster

Ejendommen anvendes til beboelses lejligheder. De fleste af beboerne er udearbejdende, så i dagtimerne vil lejlighederne være tillukket.

5.4.1.3 Kælderforhold

Ejendommen er opført uden kælder.

5.4.1.4 Udearealer

Alle udearealer er befæstet med enten fliser eller asfalt.

5.4.1.5 Terrændæk

Terrændækket i den oprindelige del af ejendommen er udført i beton. Det vides ikke hvor tykt gulvet har været. De nye gulve er støbt direkte på de oprindelige gulve. Det forventes at de nye gulve er opbygget af ca. 10 cm armeret beton.

5.4.1.6 Fundering

Fundamenterne under den oprindelige del af bygningen vurderes at være minimum 50 cm dybe. Fundamenterne i tilbygningen fra 2003 vurderes at være ført til frostfri dybde.

5.4.1.7 Ventilation (indeklima)

Der er fra badeværelser og køkkener i alle lejlighederne aktiv udsugning.

5.4.1.8 Rørgennemføringer

Der er rørgennemføringer igennem terrændækket i teknikskabet i entreen. Det var ikke muligt at besigtige gennemføringerne.

5.4.1.9 Varmeinstallation

Ejendommen opvarmes med fjernvarme. Der er i stueetagen gulvvarme.

5.4.2 Geologi

Lokaliteten ligger i et morænelandskab fra sidste istid med overvejende lerbund. Lokaliteten ligger i kote ca. +14 DVR90.

I forbindelse med jordforureningsundersøgelser er der foretaget boringer på lokaliteten. Der er i denne rapport vedlagt én borejournal for lokaliteten, boring B101, bilag 1.3.4. Resterende boringer kan findes i selvstændig miljørapport /7/.

Ved forureningsundersøgelsen foretaget på området, er der i området ved Karolinegade 1 og i området syd herfor under et fyldlag på ca. 0,7-1,3 m truffet vekslende lag af sand og ler til boringernes bund ca. 4,0-5,0 m u.t. Der er truffet sekundære grundvandsførende lag fra ca. 2,1-2,5 m u.t.

5.4.3 Vejrforhold

Vejrdata for Karolinegade 1C er delvist registreret på lokaliteten, delvist hentet fra DMI's vejrarkiv. Data registreret på lokaliteten er atmosfærisk tryk og indendørs temperaturer. Der er ikke målt trykdifferens. Vejrdato er registreret i februar og marts måned 2009. De gennemsnitlige tendenser er anført nedenfor.

- Temperatur, inde: gennemsnit ca. 22 °C, med markant temperaturforskel mellem dag og nat. Største temperaturdifferens er ca. 10 °C, med gennemsnit på ca. 7,5 °C. Maksimum temperatur er 27,9 °C og minimum er 17,6 °C.
- Temperatur, ude: tiltagende fra gennemsnitligt 1 °C til ca. 4 °C i slutningen af måleperioden.
- Atmosfærisk tryk: Markant aftagende i første halvdel af måleperioden, fra 1027 til 1006 hPa. Herefter svagt tiltagende til gennemsnitligt 1015 hPa i slutningen af perioden.
- Nedbør: Meget lidt nedbør i første halvdel i perioden med undtagelse af 21. februar, hvor der gennemsnitligt faldt 10 mm. Sidste halvdel af

måleperioden domineres af daglig nedbør i varierende mængder, maksimalt ca. 7,5 mm.

- Vindhastighed: Gennemsnitligt 18 km/t for perioden med enkelte dage med tiltagende vinde, med vindstød op til ca. 70 km/t
- Vindretning: generelt fra W. I perioden 28. februar til 7. marts skifter vinden til en østlig og sydøstlig retning.

De registrerede vejrforhold (atmosfærisk tryk og indeklimatemperatur) for lokaliteten kan aflæses i bilagene 2.3.5.

5.5 PEDER KÆLLERS VEJ 31

Lokalitet 5 er beliggende i samme nærområde som lokalitet 1. Ejendommen Peder Kællers vej 31 er et ubeboet enfamiliehus på 99,6 m² fra 2006. Huset er radontætnet mod terræn.

5.5.1 Byggeteknik

Nedenfor er byggetekniske forhold kort præsenteret. En plantegning af huset er vedlagt i bilag 1.1.6. Af tegningen fremgår gulvbeklædning, rørgennemføringer mv. Fotos af lokaliteten og af aktiviteter i forbindelse med undersøgelserne er vedlagt i bilag 3.1.5.

Fig. forhold er ens for Peder Kællers vej 31 som 23 (lokalitet 1):

- Generel tilstand
- Kælderforhold
- Fundering
- Særlige forhold
- Varmeinstallation

5.5.1.1 Anvendelsesmønster

Ubeboet enfamiliehus. Har stået ubeboet siden opførelsen. Huset bliver jævnligt rengjort.

5.5.1.2 Udearealer

Ens med lokalitet 1, men dog med ubefæstet areal på husets vestlige side.

5.5.1.3 Terrændæk

Ens med lokalitet 1, men kantmembranen er her placeret *efter*, og dermed over, betondækkets udstøbning.

5.5.1.4 Ventilation (indeklima)

Idet boligen står ubeboet, er der hverken mekanisk eller manuel ventilation af indeklimaet.

5.5.1.5 Rørgennemføringer

Alle rørgennemføringer er udført efter almindelig dansk standard.

5.5.2 Geologi

Lokaliteten er beliggende i kote +42,19 DVR90. Lokaliteten er beliggende i samme nærområde som lokalitet 1, jf. afsnit 5.1.2.

I forbindelse med byggeriet på grunden er der foretaget en geoteknisk boring på lokaliteten, bilag 1.3.5, og der er truffet et højtliggende sekundært grundvandspejl i kote +38,2 DVR90. Lokalitetens specifikke geologi er beskrevet som senglacialt flydeler indtil 2,7 m u.t. underlejret af siltet, sandet moræneler til boringens bund 4 m u.t.

5.5.3 Vejrforhold

Vejrdata er registreret i maj måned 2009. De gennemsnitlige tendenser er anført nedenfor. Der er ikke målt trykdifferens.

- Temperatur, inde: gennemsnit 23 – 25 °C, svagt stigende igennem perioden.
- Temperatur, ude: stigende med gennemsnit i starten af måleperioden på ca. 10 °C og til ca. 15 °C i slutningen. Generelt markante forskelle i dag og nattemperaturer, differens op til ca. 20 °C. Maksimum temperaturer på 26,8 °C, minimum 1,8 °C.
- Atmosfærisk tryk: varierende mellem 993 – 1024 hPa.
- Nedbør: Sjældent, dog tiltagende mod slutningen af måleperioden. Total nedbør 30 mm, maksimalt nedbør på 1 time 6,2 mm.
- Vindhastighed: varierende gennemsnit mellem 5 og 12 km/t, med toppe op til 38 km/t
- Vindretning: generelt fra W men i mindre grad også fra S og SE.

De kontinuerte vejrforhold for lokaliteten kan aflæses i bilagene 2.3.6.

6 Vurdering af måledata

Dette kapitel indeholder en diskussion af de indhentede data, som er relevante for projektets primære formål; at undersøge om radonmålinger kan anvendes til at bestemme dæmpningsfaktoren over en gulvkonstruktion.

I afsnittet ses derfor primært på data for radonmålinger, men forhold omkring aktuelle drivkræfter på de enkelte lokaliteter omtales dog også på et indledende niveau.

6.1 DÆMPNINGSAKTOR

På baggrund af hypoteserne om drivkræfterne for poreluftstransport fra jorden til indeklimaet opstillet i afsnit 3.2, er det formålet at kunne opstille et udtryk for dæmpningsfaktoren for et undersøgt terrændæk.

Dæmpningsfaktoren for et givent terrændæk er varierende, alt afhængig af de forhold der gør sig gældende på lokaliteten.

Isoleret set er der tale om en opadgående luftstrøm, der bremses af en barriere, hvorigennem luften kan passere diffusivt (afhængig af barrierens sammensætning) og konvektivt (afhængig af omfang af lækager i barrieren). Ovenstående fordrer imidlertid et konstant og ensformigt opadrettet flow, hvilket ikke gør sig gældende i praksis. Flowet er under konstant indflydelse fra tryk og temperaturforhold, og ændrer sig derfor hele tiden, om end der dog almindeligvis vil være en opadrettet luftstrøm af en vis størrelse. Forståelsen for dette er nødvendig, før det forsøges at udtrykke en dæmpningsfaktor, idet en sådan aldrig vil være konstant.

I dette projekt er derfor givet udtryk for de generelle og gennemsnitlige dæmpningsfaktorer for de forskellige lokaliteter, og der er set bort fra ekstreme ændringer i faktorforholdet, der bl.a. kan skyldes meteorologiske og adfærdsmæssige forhold.

Dæmpningsfaktorer kan desuden variere fra rum til rum. Det kan forventes at dæmpningsfaktoren er mindre i rum med mange rørgennemføringer (teknikrum, bryggers mv.) og større i store rum med ubrudte betonflader.

I følgende afsnit opstilles den målte dæmpningsfaktor for de individuelle lokaliteter. Måleperioderne for de enkelte lokaliteter (tabel 5.1) inddeles i ”underperioder”, der hver især afspejler udviklingen i radonkoncentrationerne over og under gulvet på de forskellige lokaliteter. Herefter følger en nærmere kommentering af de specifikke påvirkende faktorer, der har gjort sig gældende på lokaliteterne. Til sidst sammenfattes omkring den lokalitets specifikke dæmpningsfaktor og de tilknyttede usikkerheder.

| Lok. | Periode & periode nr. | Måling | Værelse | VKL | dR | dF | |
|---------------------|-----------------------|---------------------|---------|--------------|------------|-----|------|
| 1 | 09.10.08 – 12.11.08 | A | MA | Sovevær. | Pa | 59 | - |
| | 09.10.08 – 12.11.08 | | MA | Stue/køkken | Pa | 35 | - |
| | 09.10.08 – 12.11.08 | | MA | Bryggers | Pa | 24 | - |
| | 09.10.08 – 12.11.08 | | MA | Arbejdsvær. | Pa | 42 | - |
| | 09.10.08 – 12.11.08 | | MA | Gæstevær. | Pa | 35 | - |
| | 09.10.08 – 12.11.08 | | MA | Hele huset | Pa | 37 | - |
| | 29.11.08 – 13.12.08 | B | LOG | Stue | Pa | 57 | - |
| | 13.12.08 – 29.12.08 | C | LOG | Stue | Ak | 44 | - |
| 2 | 09.01.09 – 16.01.09 | D | MA | Sovevær. | - | 159 | - |
| | 09.01.09 – 16.01.09 | | MA | Stue/køkken | - | 140 | - |
| | 09.01.09 – 16.01.09 | | MA | Kontor 1.sal | - | 151 | - |
| | 09.01.09 – 16.01.09 | | LOG | Stue | - | 154 | - |
| | 09.01.09 – 16.01.09 | | LOG | Kontor 1.sal | - | 208 | - |
| | 16.01.09 – 23.01.09 | | E | MA | Sovevær. | - | 342 |
| | 16.01.09 – 23.01.09 | MA | | Stue/køkken | - | 270 | - |
| | 16.01.09 – 23.01.09 | MA | | Bryggers | - | 105 | - |
| | 16.01.09 – 23.01.09 | MA | | Kontor 1.sal | - | 314 | - |
| | 16.01.09 – 23.01.09 | LOG | | Stue | - | 464 | - |
| | 16.01.09 – 23.01.09 | LOG | | Kontor 1.sal | - | 527 | - |
| | 3 | 17.02.09 – 02.03.09 | F | MA+LOG | Hele huset | Ak | - |
| 02.03.09 – 13.03.09 | | G | MA | Stue/køkken | Pa | - | - |
| 02.03.09 – 13.03.09 | | | MA | Kældervær. | Pa | - | - |
| 02.03.09 – 13.03.09 | | | MA | Vaskekld. | Pa | - | - |
| 02.03.09 – 13.03.09 | | | LOG | Vaskekld. | Pa | - | - |
| 4 | 02.04.09 – 17.04.09 | H | Log | Arbejdsvær. | - | 474 | 1000 |
| 5 | 05.05.09 – 15.05.09 | I | LOG | Bryggers | Pa | 38 | - |
| | 05.05.09 – 15.05.09 | | LOG | Stue/køkken | Pa | 43 | - |
| | 15.05.09 – 28.05.09 | J | LOG | Bryggers | Ak | 28 | - |
| | 15.05.09 – 28.05.09 | | LOG | Stue/køkken | Ak | 33 | - |

Ma Simpel radonmåling i indeklimaet, manuel aflæsning af udstyr
Log Detaljeret radonmåling i indeklimaet vha. logning
dR Dæmpningsfaktor, radon
dF Dæmpningsfaktor, PCE/TCE
VKL Passiv ventilation af kapillarbrydende lag: Ak (aktiv, ventilationsdrænet er åbent)/ Pa
 (ventilationsdrænet er lukket)
- Ikke muligt / ikke installeret på pågældende lokalitet
A – J Forkortelse for opdelte måleperioder

Tabel 6.1: Dæmpningsfaktorer, oversigt

6.2 PEDER KÆLLERS VEJ 23 (LOKALITET 1)

Forholdene på lokalitet 1 er målt over to omgange. Der er foretaget to lange måleperioder på ca. fire uger hver (måleperiode 1 og 2, tabel 4.3 afsnit 4.3), med benyttelse af forskelligt udstyr. I de følgende afsnit refereres til perioderne angivet i ovenstående tabel 6.1, idet de enkelte lange måleperioder til tider er inddelt i mindre perioder.

I måleperiode A er radonkoncentrationerne i indeklimaet registreret hver 48. time ved manuel aflæsning af udstyr. I de sidste perioder for lokalitet 1 (B og C, tabel 6.1) er benyttet anderledes udstyr, der løbende kan logge koncentrationen automatisk. Denne måleform er derved langt at foretrække, da udstyret selv gemmer data.

I samtlige perioder er udover radonkoncentrationen logget følgende forhold:

- Vindstyrke
- Nedbør
- Atmosfærisk tryk
- Trykdifferens mellem ude og inde
- Temperaturer ude og inde
- Måletidspunkt

Udover de angivne faktorer herover er registreret andre meteorologiske forhold, som er blevet vægtet og overvejet for, hvilken betydning den enkelte faktor spiller for porelufts indtrængning til indeklimaet. Disse faktorer er bl.a. luftfugtighed og vindretning. Faktorerne er ikke afbildet på de forskellige grafer for lokaliteterne, men er blot omtalt i teksten nedenfor.

Overordnet præsentation

I det følgende præsenteres de gennemsnitlige radonkoncentrationer målt for lokalitet 1. Herefter gennemgås måleperioderne, hvor der lægges vægt på forklaring af udviklingen i forholdet mellem radon i indeklimaet og under gulv. På baggrund af forholdet vil udledes en dæmpningsfaktor.

Dæmpningsfaktorforholdet på lokaliteten er bestemt ud fra en betragtning af de relative gennemsnitlige radonkoncentrationer registreret på lokaliteten. De tidlige variationer for radonkoncentrationerne kan aflæses på bilag 2.2.1 og 2.2.2. På bilag 2.3.1 og 2.3.2 er vist variationerne i hhv. radon og forskellige meteorologiske data. De gennemsnitlige koncentrationer for radon i de enkelte perioder og enkelte punkter ses i tabel 6.2 nedenfor.

| Målepunkt | Periode nr. | Gennemsnitlig radonkoncentration Bq/m ³ | Måletype | VKL |
|----------------------------------|-------------|--|----------|-----|
| Soveværelse | A | 48 | Ma | Pa |
| Stue og køkken | | 79 | Ma | Pa |
| Stue og køkken | | 80 | Ma | Pa |
| Bryggers | | 115 | Ma | Pa |
| Arbejdsværelse, midt i rum | | 54 | Ma | Pa |
| Arbejdsværelse, gulvniveau | | 79 | Ma | Pa |
| Gæsteværelse | | 81 | Ma | Pa |
| MP ₁ UD ¹⁾ | | 2800 | Log | Pa |
| MP ₃ UD ¹⁾ | B | 5800 | Log | Pa |
| Stue | | 102 | Log | Pa |
| MP ₃ UD | C | 2600 | Log | Ak |
| Stue | | 59 | Log | Ak |

Ma Simpel radonmåling i indeklimaet, manuel aflæsning af udstyr

Log Detaljeret radonmåling vha. kontinuerlig logning

VKL Passiv ventilation af kapillarbrydende lag: Ak (aktiv)/ Pa (lukket)

¹⁾ Placering af dræn i kapillarbrydende lag, se bilag 1.1.1.

A – C Forkortelse for opdeling af måleperiode 1

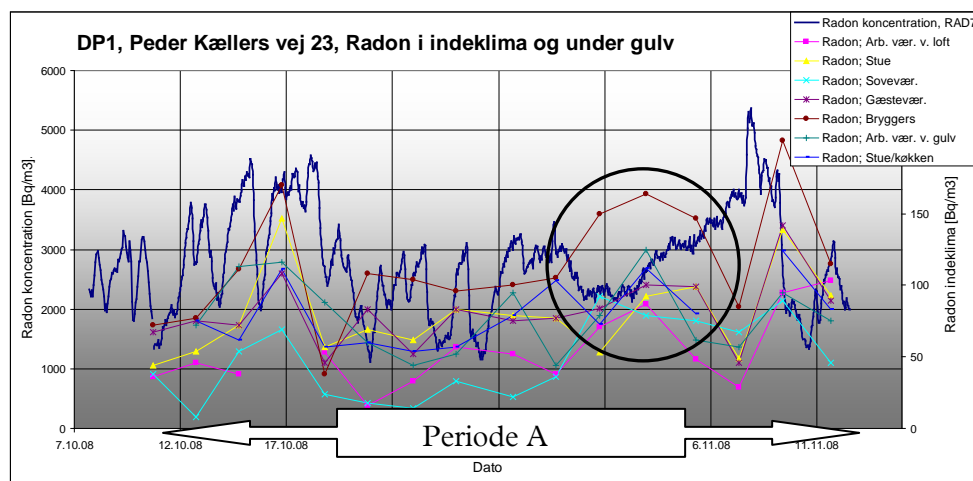
Tabel 6.2: Gennemsnitlige radonkoncentrationer for Peder Kællers vej 23

Nedenstående figur 4 viser de registrerede radonkoncentrationer for Peder Kællers vej 23 for periode A, hvor radonkoncentrationen i det kapillarbrydende lag er foretaget med automatisk logningsudstyr. Figuren kan

ses i større udgave i bilag 2.2.1. Kurverne giver en god fornemmelse for hvordan koncentrationerne varierer, også indenfor ganske korte tidsintervaller.

Som det ses af figuren, følger radonkoncentrationerne i indeklimaet nogenlunde udviklingen i koncentrationen under gulv. Den væsentligste afvigelse ses i intervallet 31.10.2008 – 07.11.2008 (markeret med cirkel), hvor der sker en markant stigning af radon i indeklimaet, efterfulgt af et markant fald, hvorimod radonkoncentrationen i det kapillarbrydende lag er nogenlunde støt stigende. Stigningen i radonkoncentrationen i indeklimaet påvises i en periode, der er domineret af tiltagende kraftige temperaturforskelle mellem ude og inde. Tiltagende temperaturforskel mellem ude og inde giver typisk anledning til et øget relativt indendørs undertryk (bilag 2.3.1), med øget konvektiv indstrømning til følge, uafhængig af forholdene under gulvet. Indeklimakoncentrationen når et maksimum d. 03.11.2008 og begynder herefter at falde, overensstemmende med at temperaturforskellen mellem ude og inde falder, og når et minimum d. 07.11.2008.

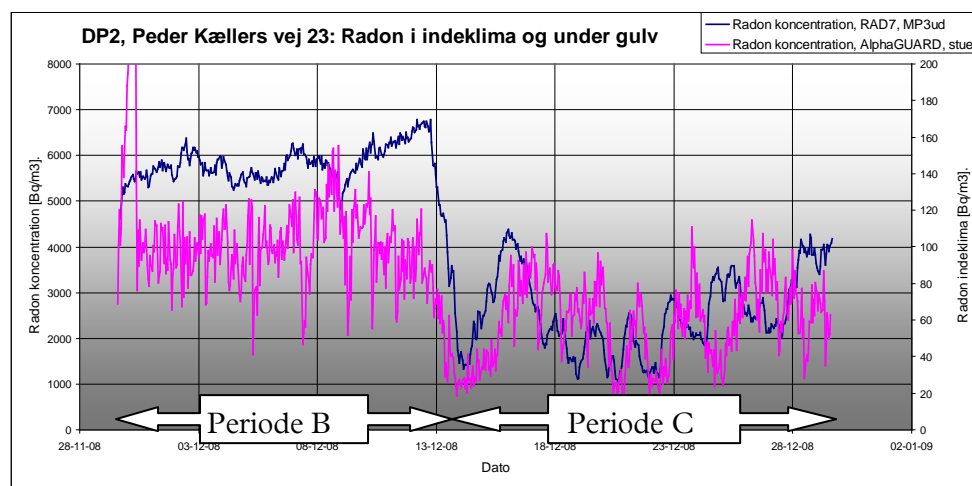
På figur 4 er resultaterne fra målinger i forskellige rum i måleperiode 1 illustreret. Det er tydeligt at se koncentrationsforskelle i indeklimaet. Generelt ses laveste koncentrationer i soveværelset og højeste koncentrationer i bryggerset. Denne tendens er tillige illustreret på figur 6. Årsagen til fluktuationerne i de indendørs koncentrationer er temperaturforskelle og sandsynligvis forekomsten af indtrængningsveje for poreluft. Den høje dæmpningsfaktor i soveværelset skyldes således sandsynligvis ikke mere tætte gulve, men snarere en højere grad af udluftning samt generelt lavere temperaturer i rummet (hvilket giver anledning til mindre lokal skorstenseffekt). Ligeledes er koncentrationen i bryggerset særligt høj, hvilket vurderes at skyldes væsentlig indtrængning af radon gennem huset teknikskab, lokaliseret i dette rum.



Figur 4: Logning af radon, lok. 1, periode A (måleperiode nr. 1). Radonkoncentrationen målt med RAD7 er koncentrationen under gulv, sammenhørende med venstre skala. De øvrige kurver er målinger i husets forskellige rum, sammenhørende med højre skala.

Den gennemsnitlige dæmpningsfaktor for periode A er 35, hvor radonkoncentrationen for stue og køkken benyttes (se afsnit 6.4).

Figur 5 viser de registrerede radonkoncentrationer (ved logning inde og under gulv) for lokalitet 1, for perioden B og C.



Figur 5: Logning af radon, lok. 1, periode B og C (måleperiode nr. 2). Radonkoncentrationen målt under gulv er sammenhørende med venstre skala. Koncentrationen målt i stuen er sammenhørende med højre skala.

Figuren domineres af det kraftige fald i radonkoncentrationen både i det kapillarbrydende lag og i indeklimaet d. 13.12.2008. Grunden til det markante drop i koncentrationerne skyldes, at netop d. 13.12.2008 aktiveres det i ejendommen installerede passive ventilationssystem af det kapillarbrydende lag. På grund af det kraftige fald er det valgt at inddele måleperiode 2 i to dele, periode B og C.

Som det kan aflæses af figuren og af tabel 6.2, stort set halveres koncentrationen af radon i både indeklima og under gulv efter aktiveringen af drænet. Bemærk dog at dæmpningsfaktoren for forholdet mellem de to koncentrationsniveauer i periode C falder, se figur 7. I første periode (B) ligger indeklimakoncentrationen forholdsvis under kurven for det kapillarbrydende lag, hvilket ændrer sig, således at de ligger ca. på niveau med hinanden, periode C. Dvs. at dæmpningsfaktoren formindskes.

Overordnet for hele figuren ses, som for periode A, en god overensstemmelse mellem koncentrationen målt hhv. over og under gulv. Det skal dog samtidig bemærkes, at de målte koncentrationer i indeklimaet følger det påviste indhold under gulv med en tidsforsinkelse med et interval på mellem fire og tolv timer, se afsnit 7.1.

Terrændækkets dæmpningsfaktorer

På baggrund af de gennemførte målinger er det muligt at give et udtryk for, hvor meget mindre koncentrationen af radon er i indeklimaet i forhold til i det kapillarbrydende lag, med andre ord; hvor meget terrændækket dæmper for indtrængningen af radon. Eftersom koncentrationerne i indeklimaet under normale forhold følger udviklingen under gulvet, udledes det, at man kan benytte måleperiodernes gennemsnitsværdier til at udregne en dæmpningsfaktor.

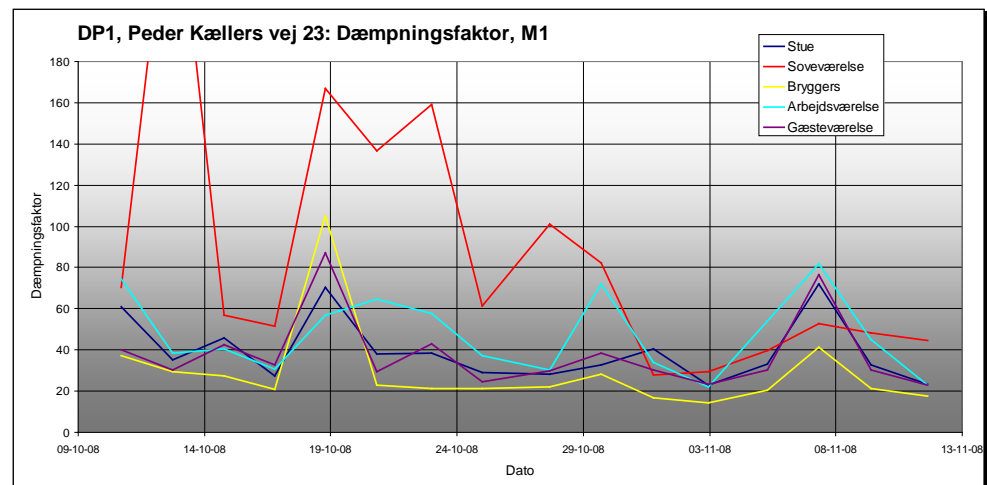
Dæmpningsfaktoren findes derfor ved at dividere koncentrationen under gulvet med koncentrationen i et givent værelse. Eftersom koncentrationen under gulvet blot er målt i ét enkelt punkt, vil den beregnede dæmpningsfaktor ikke være entydig gyldig for alle værelser, idet koncentrationerne i det kapillarbrydende lag erfaringsmæssigt kan veksle betydeligt indenfor korte afstande /11/.

De mest præcise angivelser af en dæmpningsfaktor for terrændækket på lokalitet 1 er derfor de lokale målepunkter, hvor målepunktet i indeklimaet ligger umiddelbart over målepunktet under gulvet, eller hvor målepunktet under gulvet ligger i umiddelbar nærhed af en kendt primær konvektiv indtrængningsvej for radon til indeklimaet. Disse er angivet i tabel 6.3 nedenfor.

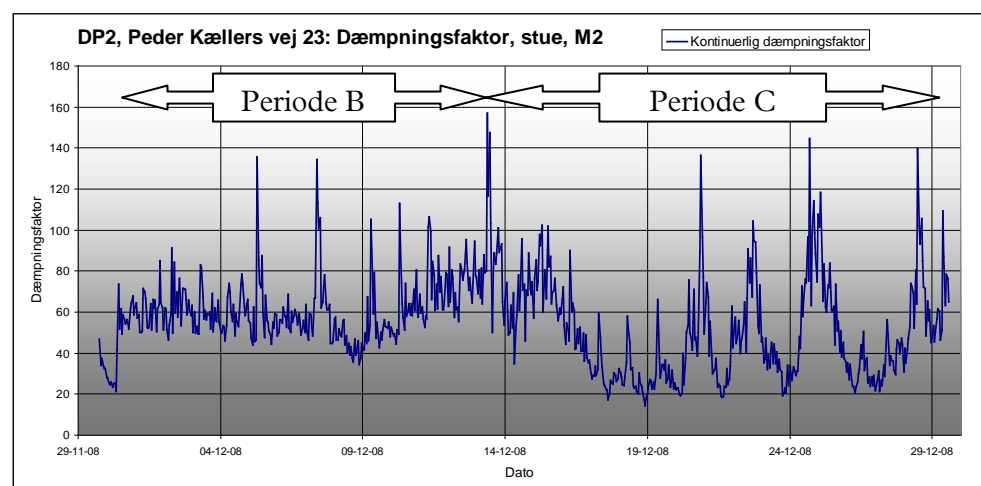
| Periode nr. | Målepunkt under gulv | Målepunkt over gulv | Måletype | Dæmpningsfaktor | VKL |
|-------------|----------------------------------|---------------------|----------|-----------------|-----|
| A | MP ₁ UD ¹⁾ | Stue, køkken | Ma | 35 | Pa |
| B | MP ₃ UD ¹⁾ | Stue | Log | 57 | Pa |
| C | MP ₃ UD | Stue | Log | 44 | Ak |

Ma Simpel radonmåling i indeklimaet, manuel aflæsning af udstyr
 Log Detaljeret radonmåling vha. kontinuerlig logning
 VKL Passiv ventilation af kapillarbrydende lag: Ak (aktiv)/ Pa (lukket)
¹⁾ Placering af dræn i kapillarbrydende lag, se bilag 1.1.1.

Tabel 6.3: Dæmpningsfaktorer



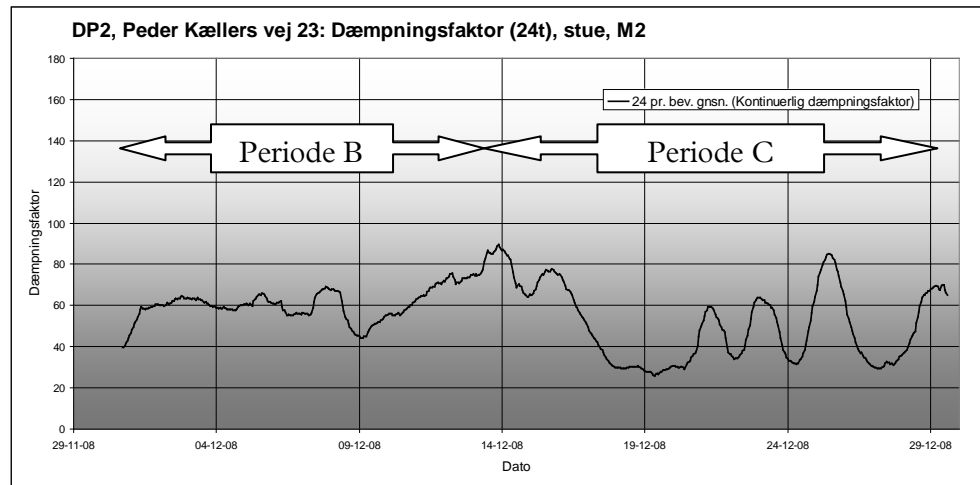
Figur 6: Dæmpningsfaktorer, lok. 1, periode A (måleperiode 1).



Figur 7: Dæmpningsfaktorer, lok. 1, periode B+C (måleperiode 2).

På figurerne 6 og 7 herover er den kontinuerlige dæmpningsfaktor illustreret ved at udregne dæmpningsfaktoren per tidsenhed. Figur 7 er illustreret ved

kontinuerte målinger af radon i både indeklima og under gulv, hvilket giver anledning til større opløsning i kurven. Figurerne viser tydeligt hvorledes dæmpningsfaktoren er relativt lav for boligen, og i visse perioder varierer væsentligt fra ”bundlinjen”. Figur 6 illustrerer hvorledes dæmpningsfaktorer i forskellige rum i boligen kan variere.



Figur 8: Dæmpningsfaktor, lok. 1, periode B+C, 24 timers midling.

Den gennemsnitlige dæmpningsfaktor for periode B er 57, hvorimod dæmpningsfaktoren falder efter aktivering af det passive dræn, til 44 i periode C (se tabel 6.3). Faldet i faktorforhold er dog begrænset.

Dæmpningsfaktorerne i periode B og C er relativt ens, se figur 8 herover, hvilket betyder at selvom drænet aktiveres, infiltreres indeklimaet stadig af den samme mængde poreluft. Koncentrationen af radon i poreluften er blot fortyndet. Koncentrationen i indeklimaet er således direkte afhængig af koncentrationen under gulvet. Effektiviteten af en passiv dræn løsning, som den installerede, vil dermed være direkte proportionel med fortyndingen i det kapillarbrydende lag, idet suget i laget ikke er tilstrækkelig til at vende trykgradienten. Trykgradienten vil dermed forblive opadrettet på denne lokalitet. Hvis den passive ventilation kunne vende trykgradienten, ville det give en forøgelse af dæmpningsfaktoren.

Ved direkte måling af radon- og thoronkoncentrationer i bryggerset, specielt ved teknikskabet, er det i forbindelse med dette projekt fastslået, at teknikskabet udgør en direkte konvektiv indtrængningsvej for poreluft til indeklimaet, se figur 6. Indtrængning af poreluft igennem denne passage er derfor en styrende parameter for radonkoncentrationen i ejendommen, og måling af radon i det kapillarbrydende lag i umiddelbar nærhed af denne kilde, vil derfor formodentlig give et udmærket tal for dæmpningen af radons indtrængning, også selvom registreringen af radon i indeklimaet finder sted et andet sted i huset.

På baggrund af ovenstående kan det konkluderes, at dæmpningsfaktoren for terrændækket på Peder Kællers vej 23 er varierende, afhængig af koncentrationen under gulvkonstruktionen samt diverse influerende faktorer, men vil almindeligvis formodentlig ligge omkring 40 – 60.

6.3 MOSEVEJ 2C (LOKALITET 2)

Radonkoncentrationerne på lokalitet 2 er registreret i måleperiode 3 (tabel 5.1), med benyttelse af forskelligt udstyr. I de følgende afsnit refereres til perioderne angivet i tabel 6.1, idet de enkelte lange måleperioder til tider er inddelt i mindre perioder.

Der er på lokaliteten både benyttet manuelle registreringer og automatisk logning af koncentrationerne. I måleperioden er udover radonkoncentrationerne bl.a. logget flg. forhold:

- Vindstyrke
- Nedbør
- Atmosfærisk tryk
- Trykdifferens mellem inde/ude og inde/kapillarbrydende lag
- Temperaturer ude og inde
- Måletidspunkt

Udover de angivne faktorer herover, er registreret andre meteorologiske forhold, som er blevet vægtet og overvejet for, hvilken betydning den enkelte faktor spiller for porelufts indtrængning til indeklimaet. Disse faktorer er bl.a. luftfugtighed og vindretning. Faktorerne er ikke afbildet på de forskellige grafer for lokaliteterne, men er blot omtalt i teksten nedenfor.

Overordnet præsentation

I det følgende præsenteres de gennemsnitlige radonkoncentrationer målt for lokalitet 2. Herefter gennemgås måleperioden, hvor der lægges vægt på forklaring af udviklingen i forholdet mellem radon i indeklimaet og under gulv. På baggrund af forholdet vil udledes en dæmpningsfaktor.

På figur 9 og 10 er radonkoncentrationerne i indeklimaet og under gulvet afbildet. Radonkoncentrationerne i indeklimaet er (for overskuelighedens skyld) afbildet som et bevægeligt gennemsnit, hvor en aktuel værdi udregnes løbende som gennemsnit af de forudgående tolv værdier.

Dæmpningsfaktorforholdet på lokaliteten er bestemt ud fra en betragtning af de relative gennemsnitlige radonkoncentrationer registreret på lokaliteten. De tidlige variationer for radonkoncentrationerne kan aflæses på bilag 2.2.3. På bilag 2.3.3 er vist variationerne i hhv. radon og forskellige meteorologiske data. De gennemsnitlige koncentrationer for radon i de enkelte perioder og enkelte punkter ses nedenfor.

| Målepunkt | Periode nr. | Gennemsnitlig radonkoncentration Bq/m ³ | Radon måletype | Koncentration PCE µg/m ³ , ²⁾ |
|---|-------------|--|----------------|---|
| Soveværelse | D | 20 | Ma | |
| Stue/køkken | | 22 | Ma | |
| Stue | | 20 | Ma | 17 |
| Kontor 1.sal | | 21 | Ma | 21 ³⁾ |
| Kontor 1.sal | | 15 | Log | |
| Kapillarbrydende lag, PL302 ¹⁾ | | 3100 | Log | |
| Soveværelse | E | 19 | Ma | |
| Stue/køkken | | 24 | Ma | |
| Stue | | 14 | Log | 17 |
| Kontor 1.sal | | 20 | Log | 21 |
| Kontor 1.sal | | 12 | Log | |
| Kapillarbrydende lag, PL302 | | 6400 | Log | -/- |
| Bryggers | | 61 | Ma | 66 ⁴⁾ |

Ma Simpel radonmåling i indeklimaet, manuel aflæsning af udstyr

Log Detaljeret radonmåling vha. kontinuerlig logning

D – E Forkortelse for opdeling af måleperiode 2

¹⁾ Placering af målepunkter i kapillarbrydende lag, se bilag 1.1.2.

²⁾ Jf. selvstændig rapport, /5/

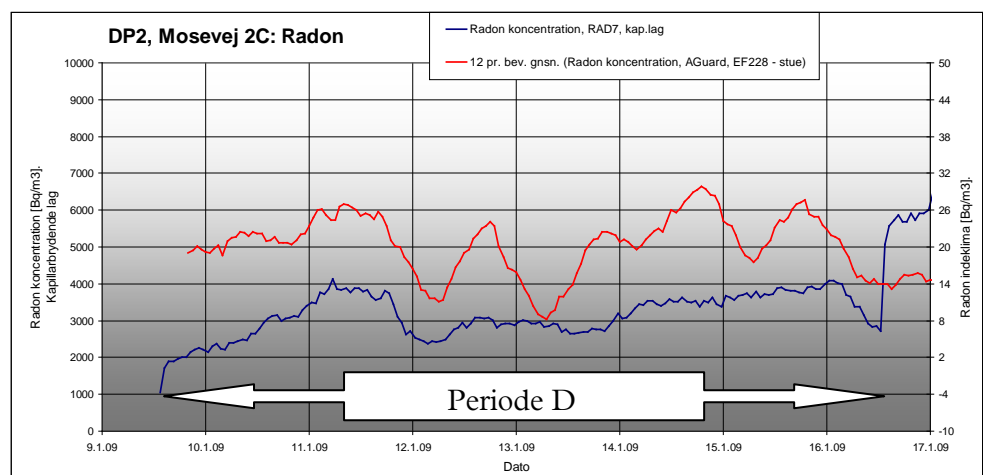
³⁾ Målt i badeværelse på 1.sal

⁴⁾ Målt gennem hele måleperiode 3 (D+E)

-/- Under analysemetodens detektionsgrænser

Tabel 6.4: Gennemsnitlige radonkoncentrationer for Mosevej 2C

Nedenstående figurer 9 og 10 illustrerer målinger af radon foretaget på lokalitet 2. Figur 9 illustrerer alene periode nr. D, hvorefter radonkoncentrationerne udvikler sig mere ujævnt, se figur 10, som alene illustrerer periode nr. E. Som det kan ses af figur 9 er radon i det kapillarbrydende lag igen dikterende for koncentrationen i indeklimaet (her er afbildet koncentrationen i stuen), om end indeklimakoncentrationerne på adressen er noget mindre end eksempelvis for lokalitet 1 (bemærk værdierne på graferne). Overensstemmelsen mellem radon i det kapillarbrydende lag og indeklimaet kan specielt anes i perioden d. 11.-13.01.2009, hvor kurverne følger hinanden, tidsforskudt ca. fire timer, se afsnit 7.1.

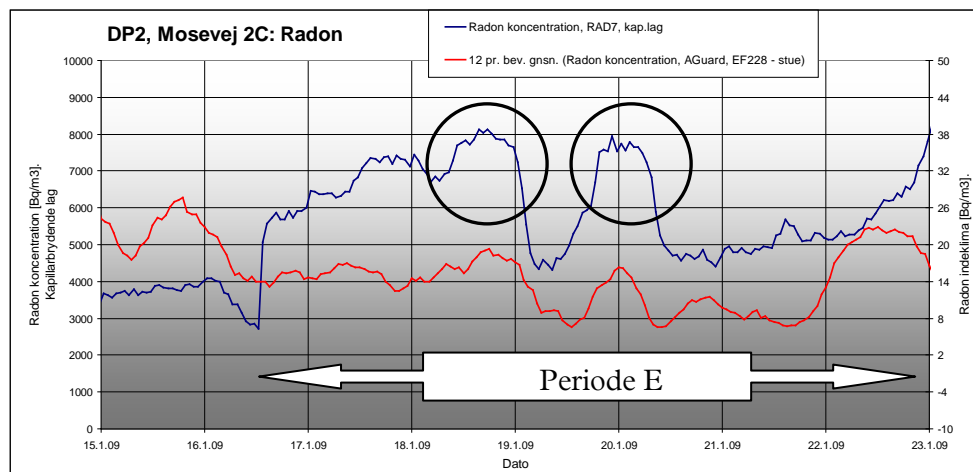


Figur 9: Logning af radon, lok. 2, periode D (måleperiode nr. 3).

I perioden d. 16.01.2009 – 20.01.2009 sker nogle markante stigninger og fald i radonkoncentrationen i det kapillarbrydende lag, uden en tilsvarende kraftig

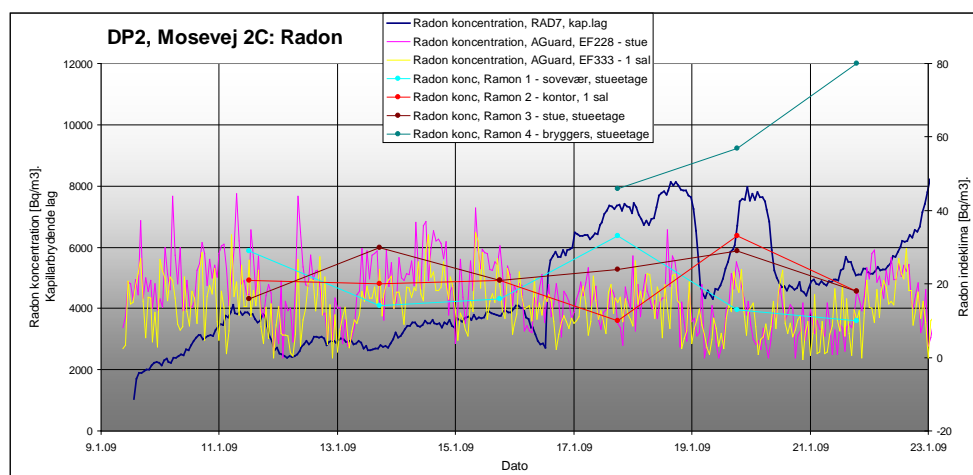
generel effekt på indeklimaet. Radonkoncentrationen i indeklimaet er tværtimod gennemsnitligt svagt faldende gennem perioden d. 15.01.2009 – 21.01.2009. Denne variation kan muligvis tilskrives følgende faktorer, der gør sig bemærket i perioden (se evt. bilag 2.3.3):

- Jævnt faldende relativ trykdifferens gennem ovennævnte periode.
- En markant stigning i temperaturforskellen mellem inde og ude d. 16.01.2009. Dernæst jævnt faldende temperaturdifferens.
- Relativ kraftig nedbør ved toppe i radonkoncentrationen markeret med ringe på figur 10.
- Faldende atmosfærisk tryk med laveste trykforhold ved toppe i radonkoncentrationen markeret med ringe på figur 10.



Figur 10: Logning af radon, lok. 2, periode E (måleperiode nr. 3).

Det skal dog bemærkes, at selvom den generelt aftagende tendens for radonkoncentrationen i indeklimaet ikke følger den tiltagende tendens for radon i det kapillarbrydende lag, følges svingninger i de to koncentrationer alligevel nogenlunde ad. Det ses specielt i perioden d. 18-21.01.2009. Denne tendens kan sandsynligvis tilskrives den aftagende temperatur- og trykdifferens gennem periode E, hvilket bevirker en formindsket konvektiv indtrængning til indeklimaet, uafhængig af radonkoncentrationen under gulvet.



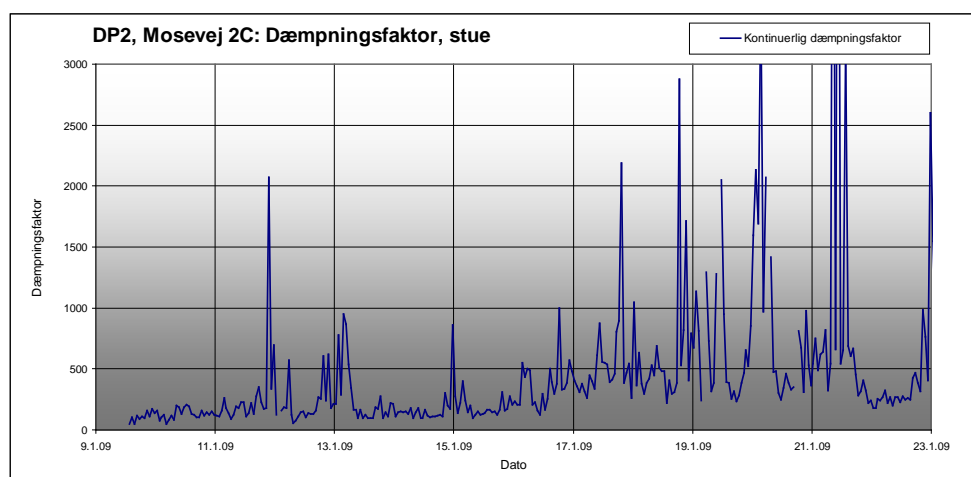
Figur 11: Måling af radon, lok. 2, periode D og E (måleperiode nr. 3).

Figur 11 afbilder hele måleperioden 3 (periode D+E) med radonkoncentrationen i de forskellige målepunkter. Manuelle registreringer er på figuren afbildet som linier hvori navnet "Ramon" indgår. Bemærk specielt koncentrationen i bryggerset, som ligger væsentligt over den generelle indeklimakoncentration.

Terrændækkets dæmpningsfaktorer

På baggrund af målingerne på lokalitet 2 kan det konstateres, at for denne lokalitet (under normale forhold) vil koncentrationerne af radon i indeklimaet nogenlunde følge udviklingen under gulvet. Det kan derfor udledes, at man kan benytte måleperiodernes gennemsnitsværdier til at udregne dæmpningsfaktoren.

Dæmpningsfaktoren findes på samme måde som for lokaliteten Peder Kællers vej 23, beskrevet under afsnit 6.2, baseret på radonkoncentrationen i stuen.



Figur 12: Dæmpningsfaktorer, lok. 2, periode D+E, stue.

Det ses tydeligt af figur 12, hvorledes dæmpningsfaktoren svinger markant indenfor relativt korte tidsintervaller.

Grundet ovenstående forhold er det valgt at opdele perioden i fire afsnit, således at der udledes en dæmpningsfaktor for stuen i perioden d. 09.01.2009 – 16.01.2009 (D), for stuen og bryggerset i perioden d. 16.01.2009 – 23.01.2009 (E), samt for stuen i hele perioden (se figur 12) undtaget intervallet d. 16.01.2009 – 20.01.2009 (nedenunder refereret som D+E). Eftersom de manuelt registrerede radonmålinger i indeklimaet følger udviklingen af de automatiske logninger, er det valgt at benytte logningsdata til udregning af dæmpningsfaktor for at øge datagrundlaget.

Det skal dog bemærkes, at radonkoncentrationen i indeklimaet er meget lavt, med enkelte værdier tæt på 0, se figur 12. Lavest målte radonværdi er 0. På grund af de lave radonkoncentrationer i indeklimaet, bliver beregning af dæmpningsfaktoren for hver måling meget følsom overfor relativt små ændringer i radonkoncentrationen i indeklimaet. Eksempelvis hvis radonkoncentrationen falder fra 10 til 0,5. Disse lave målinger tæt på apparatets detektionsgrænse kan sandsynligvis tilskrives måleusikkerheder.

Det vurderes derfor helt relevant at se bort fra de høje toppe i beregningerne af dæmpningsfaktorer.

Dæmpningsfaktorer er angivet i tabel 6.5 nedenfor, sammen med den målte dæmpningsfaktor for PCE, målt i forbindelse med en selvstændig forureningsundersøgelse /6/.

| Periode | Målepunkt under gulv | Målepunkt over gulv | Radon måletype | Dæmpningsfaktor, radon | Dæmpningsfaktor, PCE ¹⁾ |
|---------|----------------------|---------------------|----------------|------------------------|------------------------------------|
| D | Facade vest | Stue | Log | 154 | <1 |
| E | Facade vest | Stue | Log | 464 | <1 |
| D+E | Facade vest | Stue | Log | 262 | <1 |
| E | Facade vest | Bryggers | Ma | 100 | <1 |

Ma Simpel radonmåling i indeklimaet, manuel aflæsning af udstyr

Log Detaljeret radonmåling vha. kontinuerlig logning

¹⁾ Baseret på selvstændig rapport, /ref. 5/

Tabel 6.5: Dæmpningsfaktorer

På baggrund af ovenstående kan det konkluderes, at dæmpningsfaktoren for terrændækket på lokalitet 2 er varierende. Variationerne er afhængig af radon i det kapillarbrydende lag og eksterne faktorer. Almindeligvis vil dæmpningsfaktoren dog ligge mellem 150 – 400. Det ser desuden ud til, at der kan findes en indtrængningsvej til indeklimaet i bryggerset, hvor dæmpningsfaktoren er noget lavere, omkring de 100. Faktoren i bryggerset er alene bestemt på baggrund af manuel registrering af radonkoncentrationen, og er derved behæftet med større usikkerhed. Faktoren kan valideres ved kontinuerlig måling af radon over og under bryggersets gulv.

Det skal bemærkes, at dæmpningsfaktoren for PCE ligger under 1, idet koncentrationerne under gulv var lavere end koncentrationerne i indeklimaet. Idet dæmpningsfaktoren for PCE er meget forskellig fra dæmpningsfaktoren for radon, var det således i dette tilfælde muligt at undersøge andre mulige spredningsveje for PCE. Ved nærmere efterforskning blev det opdaget, at spredningen af chlorerede nedbrydningsprodukter foregik fra kloaksystemet til indeklimaet, og således ikke fra jorden umiddelbart under huset. I dette tilfælde har radon således haft en anden spredningsvej end forureningen med PCE, idet radon primært kommer fra jorden under boligen /3/.

6.4 FREDERIKSBERG TORV 10 (LOKALITET 3)

Radonkoncentrationerne på lokalitet 3 er registreret i måleperiode 4 (tabel 5.1), med benyttelse af forskelligt udstyr. I de følgende afsnit refereres til perioderne angivet i tabel 6.1. Lokaliteten er sekundær (tabel 4.3, afsnit 4.3), og meteorologiske data er derfor registreret men ikke tolket.

Radonkoncentrationerne på lokalitet 3 er registreret i periode F (d. 17.02.2009 – 02.03.2009) og G (d. 02.03.2009 – 13.03.2009). Radonkoncentrationerne er logget i ejendommens vaskekælder, der udgør størstedelen af kælderetagen (fuld kælder under bygning). Der er beboelse i to mindre rum i kælderen (se evt. bilag 1.1.4), hvor radon er registreret ved manuelle aflæsninger pr. ca. 48. time. Desuden er radon registreret manuelt i stueetagen i stue/køkken beliggende over målepunkt MP102, 104 og 107 (kælder, se plantegning bilag 1.1.3). Udover radon er i måleperioden bl.a. logget yderligere faktorer:

- Vindstyrke

- Nedbør
- Atmosfærisk tryk
- Trykdifferens mellem inde/ude og inde/kapillarbrydende lag
- Temperaturer ude og inde
- Måletidspunkt

Udover de angivne faktorer herover er registreret andre meteorologiske forhold, som er inddraget i overvejelserne for, hvilken betydning den enkelte faktor spiller for porelufts indtrængning til indeklimaet. Faktorerne er ikke afbildet på de forskellige grafer for lokaliteten, da det ikke har været projektets formål.

Overordnet præsentation

I det følgende præsenteres de gennemsnitlige radonkoncentrationer målt for lokalitet 3. Herefter gennemgås måleperioden, hvor der lægges vægt på forklaring af udviklingen i forholdet mellem radon i indeklimaet og under gulv. På baggrund af forholdet vil udledes en dæmpningsfaktor.

Dæmpningsfaktorforholdet på lokaliteten er bestemt ud fra en betragtning af de relative gennemsnitlige radonkoncentrationer registreret på lokaliteten. Ejendommen er beliggende på en tidligere renserigrund og er forurenet med PCE. Grundet forureningen har kældergulvet været brudt op og er nu rekonstrueret med mulighed for passiv ventilering af det kapillarbrydende lag. I starten af måleperioden var denne ventilering aktiv, hvilket tydeligt aflæses på graferne i bilag 2.2.4 og figur 13 nedenfor. Variationer i radonkoncentrationer kontra diverse meteorologiske faktorer kan aflæses på bilag 2.3.4. De gennemsnitlige koncentrationer for radon i de enkelte perioder og enkelte punkter ses nedenfor.

| Målepunkt | Periode nr. | Gennemsnitlig radonkoncentration Bq/m ³ | Radon måletype | Koncentration PCE, µg/m ³ , ³⁾ | VKL |
|------------------------------|-------------|--|----------------|--|-----|
| Kælderværelse | F | 26 | Ma | 20 | Ak |
| Stue/køkken | | 26 | Ma | 14 | Ak |
| Kælderrum 101B ¹⁾ | | 16 | Ma | 7,4 | Ak |
| Kælderrum 104 | | 24 | Ma | | Ak |
| Kælderrum 102 | | 16 | Log | | Ak |
| Kælderrum 103 | | 13 | Log | | Ak |
| MP103 ²⁾ | | 4 | Log | 11 ⁴⁾ | Ak |
| Kælderværelse | G | 32 | Ma | | Pa |
| Stue/køkken | | 26 | Ma | | Pa |
| Kælderrum 101B | | 16 | Ma | | Pa |
| Kælderrum 104 | | 21 | Ma | | Pa |
| Kælderrum 102 | | 13 | Log | | Pa |
| Kælderrum 103 | | 12 | Log | | Pa |
| MP103 | | 1058 | Log | | Pa |

Ma Simpel radonmåling i indeklimaet, manuel aflæsning af udstyr

Log Detaljeret radonmåling vha. kontinuerlig logning

VKL Passiv ventilation af kapillarbrydende lag: Ak (aktiv) / Pa (lukket)

¹⁾ Kælderrum placeret over målepunkter (MP) i kapillarbrydende lag, se bilag 1.1.3.

²⁾ Placering af målepunkter i kapillarbrydende lag, se bilag 1.1.3.

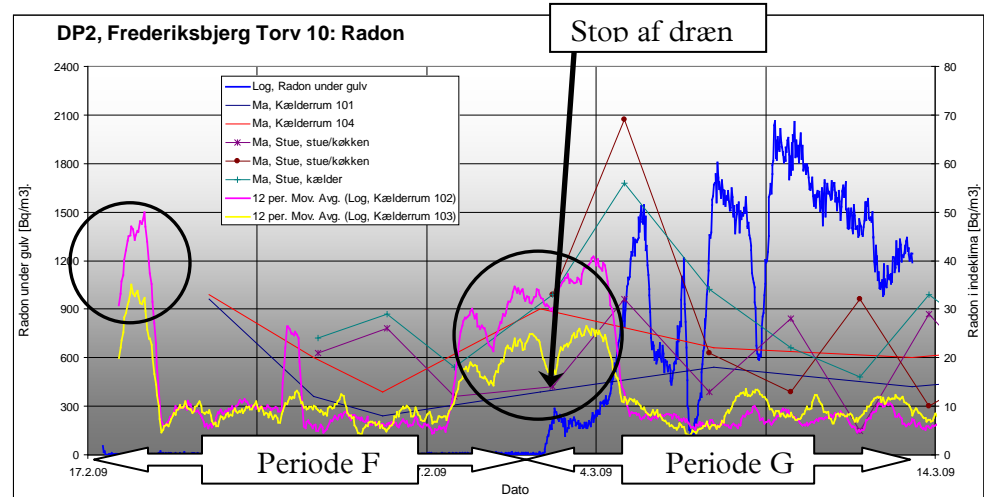
³⁾ Jf. selvstændig rapport, /6/

⁴⁾ Udtaget i MP101A+B, se evt. bilag 1.1.3.

F – G Forkortelse for opdeling af måleperiode 3

Tabel 6.6: Gennemsnitlige radonkoncentrationer for Frederiksbjerg Torv 10

Som det fremgår af tabel 6.6 samt af kurverne på figur 13 nedenfor, har det installerede ventilationsdræn i det kapillarbrydende lag en markant effekt for radonkoncentrationerne under gulvet. Drænet er i brug i periode F, og stoppes ved overgangen til periode G (markeret med pil). Jf. tabel 6.6 forøges radonkoncentration i det kapillarbrydende lag fra gennemsnitligt 4 til gennemsnitligt 1058, altså en faktor 265, og virkningen er øjeblikkelig.



Figur 13: Måling af radon, lok. 3, periode F og G (måleperiode nr. 4).

Indeklimakoncentrationerne i vaskekælderen, resten af kælderen samt stueplan, er alle relativt lave, men markeres dog af nogle enkelte toppe, som syntes at være generelle udsving for koncentrationen i indeklimaet.

Udsvinget i koncentrationen i indeklimaet er markeret af to længerevarende toppe (markeret med cirkler på figur 13). Den første periode er kun repræsenteret af logninger. Det er derved uvist om dette udsving også gjorde sig gældende i de resterende målepunkter. Den længerevarende top i perioden d. 27.02.2009 – 04.03.2009 er gældende for samtlige punkter i indeklimaet. Denne variation i forhold til de øvrige niveauer kan muligvis tilskrives følgende faktorer, der gør sig bemærket i netop denne periode (jf. bilag 2.3.4):

- Markant forøget relativ trykdifferens (fra gennemsnitligt -1,5 til -5,5 Pa)
- Forøget temperatur i vaskekælder (fra gennemsnitligt ca. 14 til ca. 17 °C)
- Forholdsvis konstant udetemperatur (ca. 4 °C)
- Ringe udluftning i forhold til normale omstændigheder.

Den primære årsag til den forøgede temperatur i perioden er formodentligt ringere udluftning i vaskekælderen, hvilket blev observeret ved tilsyn i netop denne periode. I den øvrige del af måleperioden blev det generelt observeret, at vinduer til vaskekælder (og dermed kælderrummene 101b, 102, 103 og 104, se evt. bilag 1.1.3) var åbne, og denne ubeboede del af kælderen var uopvarmet (gennemsnitligt ca. 15 °C).

Sammenhængen mellem radonkoncentrationerne i indeklimaet for perioden (stigning i koncentration i beboelse samtidigt med forøgelse af kælderkoncentration) kan indikere, at luften kan bevæge sig frit mellem den beboede og ubeboede kælder og videre op til stueetagen.

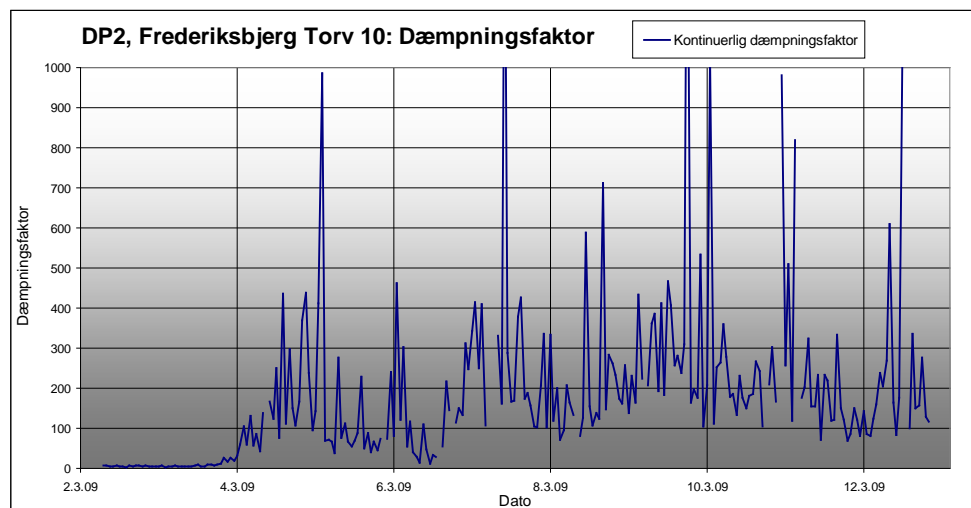
Radonkoncentrationerne i den ubeboede kælder ligger på et lavt niveau. Niveaulet forbliver lavt, selv efter stop af ventilationsdrænet i det kapillarbrydende lag, og radonniveaulet ser ikke umiddelbart ud til at være under indflydelse af koncentrationerne under gulvet (følger ikke hinanden).

Koncentrationerne følger generelt temperaturudsving og trykdifferensudsving i perioden. Radonkoncentrationen i kælderrum 104 ligger svagt højere end den resterende del af den ubeboede kælder, hvilket givetvis kan tilskrives en svagt højere temperatur i dette rum, grundet sydøst-ventet vindue og diverse varmeafgivende installationer (vandrør mv.). Indeklimatemperaturen er formodentlig også årsag til, at radonkoncentrationen i de beboede rum generelt ligger højere end koncentrationerne i den ubeboede kælder, idet forøget temperaturdifferens alt andet lige vil medvirke til en øget trykdifferens og dermed øget indstrømning af poreluft.

Terrændækkets dæmpningsfaktorer

På baggrund af radonmålingerne på lokalitet 3, er der ikke fundet tilstrækkeligt datagrundlag for at understøtte en udregning af en dæmpningsfaktor for periode F. Eftersom indeklimakoncentrationerne generelt er meget lave, og ikke følger udviklingen i det kapillarbrydende lag, må det på nuværende tidspunkt konstateres, at det nyligt konstruerede terrændæk i sig selv yder stor tæthed overfor poreluftforurening, og sikrer ejendommen mod konvektiv indstrømning af radon. Denne konklusion understøttes af de udførte målinger af forureningskomponenter, som viser lavere indhold af PCE i det kapillarbrydende lag end i indeklimaet /6/. Det kan derfor forventes, at forureningsspredningen foregår af anden vej end gennem konvektive indtrængningskilder gennem betondækket.

Terrændækkets dæmpningsfaktorer er vist på figur 14, der illustrerer periode G, altså efter deaktivering af det passive dræn i det kapillarbrydende lag.



Figur 14: Dæmpningsfaktorer, lok. 3, periode G (måleperiode nr. 4).

På figur 14 herover er udregnet den løbende dæmpningsfaktor for lokaliteten. Som overfor nævnt vurderes indtrængningen til indeklimaet på denne lokalitet dog ikke at foregå via konvektive indtrængningsveje, og terrændækket vurderes som tæt. Variationer i dæmpningsfaktoren sker som følge af koncentrationsændringer under gulvet.

Kombinationen af de lave radonkoncentrationer i indeklimaet og et meget tæt kældergulv betyder, at radonmålinger ikke er velegnet til bestemmelse af dæmpningsfaktor på denne lokalitet.

6.5 KAROLINEGADE 1C (LOKALITET 4)

Radonkoncentrationerne på lokalitet 4 er registreret i måleperiode 5 (tabel 5.1). I de følgende afsnit refereres til perioderne angivet i tabel 6.1. Lokaliteten er sekundær (tabel 4.3, afsnit 4.3), og meteorologiske data er ikke registreret. Der er målt radon under gulvet samt ét sted i indeklimaet. Der er på lokaliteten ikke registreret andre forhold end hvad radonloggerne kan registrere, hvilket udmønter sig til nedenstående faktorer:

- Atmosfærisk tryk
- Temperatur i indeklimaet
- Luftfugtighed i indeklimaet

Samtlige faktorer er afbildet på bilag 2.3.5.

Overordnet præsentation

I det følgende præsenteres de gennemsnitlige radonkoncentrationer målt for lokalitet 4. Herefter gennemgås måleperioden, hvor der lægges vægt på forklaring af udviklingen i forholdet mellem radon i indeklimaet og under gulv. På baggrund af forholdet vil udledes en dæmpningsfaktor.

På figur 15 er radonkoncentrationerne i indeklimaet og under gulvet afbildet. Radonkoncentration i indeklimaet er (for overskuelighedens skyld) afbildet som et bevægeligt gennemsnit, hvor en aktuel værdi udregnes løbende som gennemsnit af de forudgående tolv værdier.

Dæmpningsfaktorforholdet på lokaliteten er bestemt ud fra en betragtning af de relative gennemsnitlige radonkoncentrationer registreret på lokaliteten. Ejendommen er beliggende på en tidligere renserigrund og er forurenet med PCE. Variationer i radonkoncentrationer kontra ovenstående registrerede meteorologiske faktorer kan aflæses på bilag 2.3.5. De gennemsnitlige koncentrationer for radon i de enkelte perioder og enkelte punkter ses nedenfor.

| Målepunkt | Periode nr. | Gennemsnitlig radonkoncentration Bq/m ³ | Måletype | Koncentration PCE, µg/m ³ , ²⁾ |
|----------------------------|-------------|--|----------|--|
| Arbejdsværelse | H | 58 | Log | 15 |
| Under gulvet ¹⁾ | | 27.500 | Log | 15.000 |

Log Detaljeret radonmåling vha. kontinuerlig logning

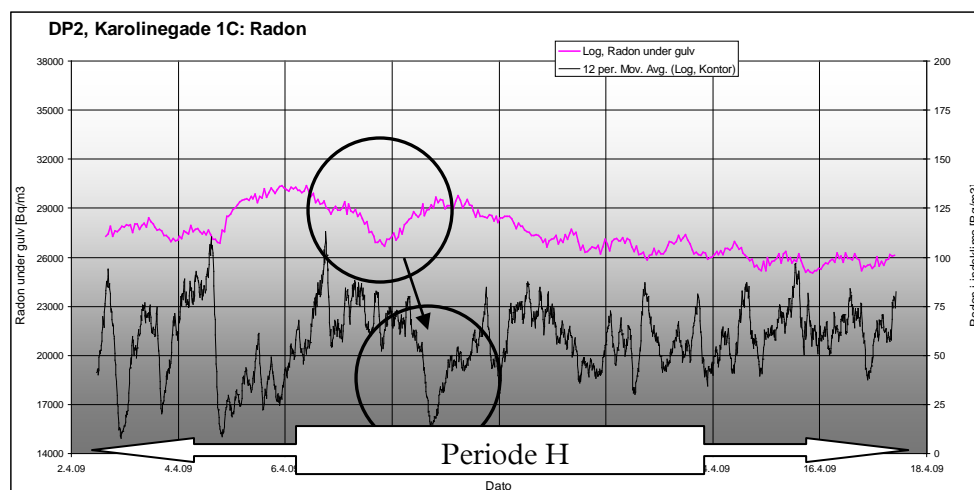
H Forkortelse for opdeling af måleperiode 4

¹⁾ Målepunkternes placering kan ses i bilag 1.1.5

²⁾ Jf. selvstændig rapport (målepunkter IK10 & MP8) /7/

Tabel 6.7: Gennemsnitlige radonkoncentrationer for Karolinegade 1C

Som det kan aflæses af tabel 6.7, er radonkoncentrationen under gulvet relativt høj. Dette skyldes umiddelbart, at bygningen er af ældre dato og sandsynligvis derfor uden egentligt kapillarbrydende lag. Det er derfor sandsynligt, at målingen er lavet i jorden umiddelbart under konstruktionen, hvilket kan give højere radonkoncentrationer end i et kapillarbrydende lag.



Figur 15: Måling af radon, lok. 4, periode H (måleperiode nr. 5).

Ovenstående figur 15 illustrerer de gennemførte radonmålinger foretaget på lokalitet 4. Figuren illustrerer periode H (d. 02.-17.04.2009). Som det ses af figuren, påvises der en god sammenhæng mellem radonniveauet under gulvet og koncentrationen i indeklimaet (eksempel markeret med cirkler). Koncentrationsændringer følger nogenlunde hinanden dog med en tidsmæssig forskydning på 1 – 8 timer, se afsnit 7.1.

Der er enkelte kortvarige afvigelser fra denne tendens, men eftersom omfattende dataindsamling ikke er foretaget på denne sekundære lokalitet, vil det ikke forsøges at forklare for afvigelserne.

Terrændækkets dæmpningsfaktorer

På baggrund af målingerne på lokalitet 4 kan det konstateres, at for denne lokalitet, under normale forhold, vil koncentrationerne af radon i indeklimaet nogenlunde følge udviklingen under gulvet. Det vurderes derfor her muligt at benytte måleperiodernes gennemsnitsværdier til at udregne en dæmpningsfaktor.

Dæmpningsfaktoren findes på samme måde som for lokaliteten Peder Kællers vej 23, beskrevet under afsnit 6.2.

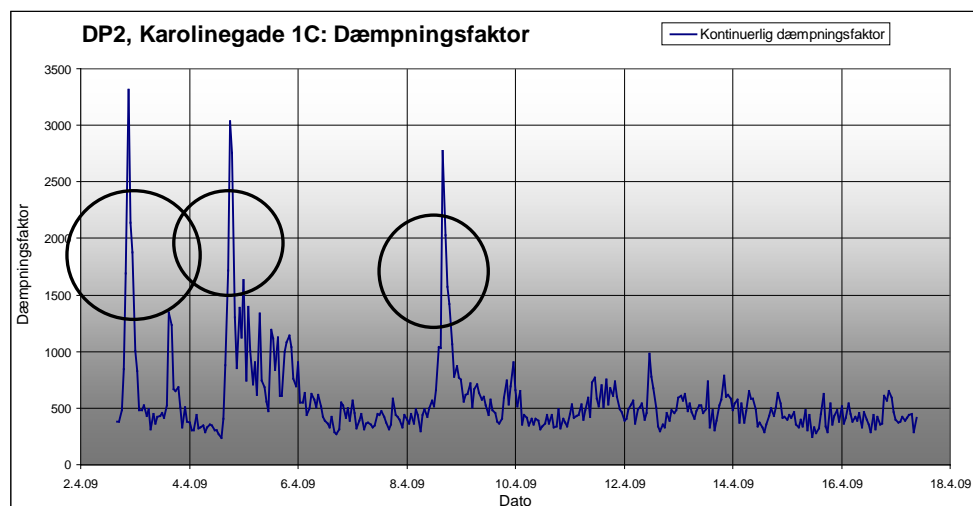
Grundet ovenstående forhold er det valgt at udregne en enkelt dæmpningsfaktor for hele måleperioden d. 02.-17.04.2009. Dæmpningsfaktoren er angivet i tabel 6.8 nedenfor, sammen med den målte dæmpningsfaktor for PCE, målt i forbindelse med en selvstændig forureningsundersøgelse /7/.

| Periode | Målepunkt under gulv | Målepunkt over gulv | Måletype | Dæmpningsfaktor, radon | Dæmpningsfaktor, PCE |
|---------|----------------------|---------------------|----------|------------------------|----------------------|
| H | Facade nord | Arbejdsværelse | Log | 474 | 1.000 ¹⁾ |

Log
¹⁾ Detaljeret radonmåling vha. kontinuerlig logning
 Baseret på selvstændig rapport, /7/

Tabel 6.8: Dæmpningsfaktorer

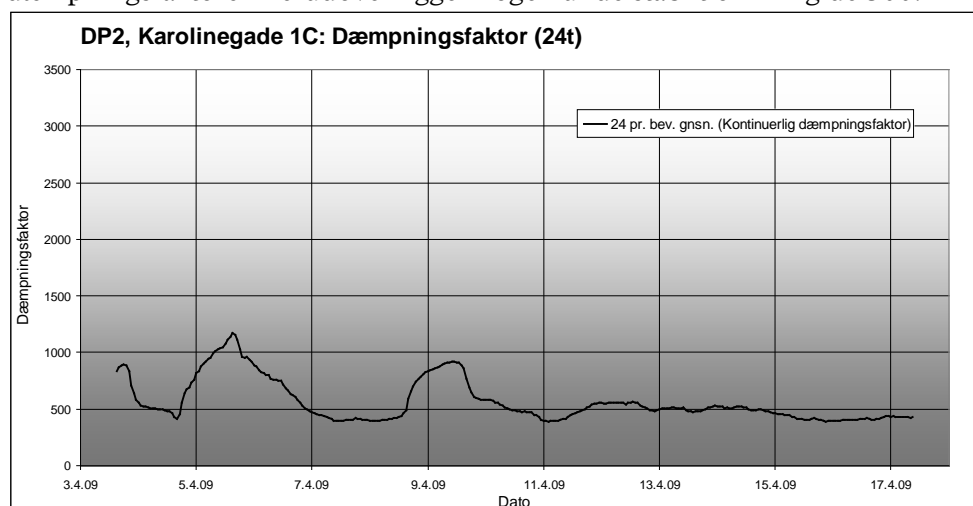
På baggrund af ovenstående vurderes det, at dæmpningsfaktoren for terrændækket på lokaliteten er nogenlunde konstant. Eventuelle variationer er afhængige af eksterne faktorer. Det formodes således, at dæmpningsfaktoren her almindeligvis vil ligge på mellem ca. 450 – 500, se figur 16.



Figur 16: Dæmpningsfaktorer, lok. 4, periode H (måleperiode nr. 5).

Ovenstående figur 16 illustrerer udviklingen i dæmpningsfaktor over tid for lokalitet 4. Som det ses af figuren, er der få men væsentlige variationer i faktoren, specielt omkring den. 3., 5. og 9. april, markeret med cirkler på figuren. Ved disse datoer er radonkoncentrationen i indeklimaet faldet kraftigt på kort tid (muligvis pga. effektiv udluftning), hvilket medfører høje toppe i dæmpningsfaktoren. Efter den 9. april ligger dæmpningsfaktoren rimeligt konstant på gennemsnitligt ca. 500, hvilket vurderes at være ”normalen” for denne lokalitet. Udsving i dæmpningsfaktoren diskuteres i afsnit 7.1.

Foretages en midling af den løbende dæmpningsfaktor, fås grafen på figur 17 herunder. Grafen illustrerer hvorledes de på figur 16 markerede variationer har betydning for de overordnede dæmpningsfaktorforhold, og hvorledes dæmpningsfaktoren herudover ligger nogenlunde stabilt omkring de 500.



Figur 17: Dæmpningsfaktorer, lok. 4, periode H, 24 timers midling.

6.6 PEDER KÆLLERS VEJ 31 (LOKALITET 5)

Radonkoncentrationerne på lokalitet 5 er registreret i måleperiode 6 (tabel 5.1). I de følgende afsnit refereres til perioderne angivet i tabel 6.1.

Lokaliteten er sekundær (tabel 4.3, afsnit 4.3), og meteorologiske data er derfor registreret men ikke tolket.

Radonkoncentrationerne på lokalitet 5 er registreret i periode I (d. 05.05.2009 – 15.05.2009) og J (d. 15.05.2009 – 28.05.2009). Ejendommen har indbygget passive ventilationsdræn i det kapillarbrydende lag, som inden målingernes start havde været deaktiveret i en periode på ca. en måned. Drænene blev aktiveret den 15.05.2009. Alle målingerne på adressen er foretaget med automatisk logningsudstyr for at registrere små tidlige variationer. I måleperioden er udover radonkoncentrationerne bl.a. logget flg. forhold:

- Vindstyrke
- Vindretning
- Nedbør
- Atmosfærisk tryk
- Temperaturer ude og inde
- Måletidspunkt

Udover de angivne faktorer herover er registreret andre meteorologiske forhold, som er inddraget i overvejelserne for, hvilken betydning den enkelte faktor spiller for porelufts indtrængning til indeklimaet. Faktorerne er ikke afbildet på de forskellige grafer for denne sekundære lokalitet, da det ikke har været projektets formål.

Overordnet præsentation

I det følgende præsenteres de gennemsnitlige radonkoncentrationer målt for lokalitet 5. Herefter gennemgås måleperioden, hvor der lægges vægt på forklaring af udviklingen i forholdet mellem radon i indeklimaet og under gulv. På baggrund af forholdet vil udledes dæmpningsfaktorer for de individuelle perioder.

Dæmpningsfaktorforholdet på lokaliteten er bestemt ud fra en betragtning af de relative gennemsnitlige radonkoncentrationer registreret på lokaliteten. De tidlige variationer for radonkoncentrationerne kan aflæses på bilag 2.2.6. På bilag 2.3.6 er vist variationerne i hhv. radon og forskellige meteorologiske data. De gennemsnitlige koncentrationer for radon i de enkelte perioder og enkelte punkter ses nedenfor.

| Målepunkt | Periode nr. | Gennemsnitlig radonkoncentration Bq/m ³ | Radon måletype | VKL |
|---------------------|-------------|--|----------------|-----|
| Stue/køkken | I | 131 | Log | Ak |
| Bryggers | | 150 | Log | Ak |
| MP3UD ¹⁾ | | 5600 | Log | Ak |
| Stue/køkken | J | 104 | Log | Pa |
| Bryggers | | 120 | Log | Pa |
| MP3UD ¹⁾ | | 3400 | Log | Pa |

Log Detaljeret radonmåling vha. kontinuerlig logning

VKL Passiv ventilation af kapillarbrydende lag: Ak (aktiv) / Pa (lukket)

¹⁾ Placering af målepunkter i kapillarbrydende lag, se bilag 1.1.6

I – J Forkortelse for opdeling af måleperiode 6

Tabel 6.9: Gennemsnitlige radonkoncentrationer for Peder Kællers vej 31

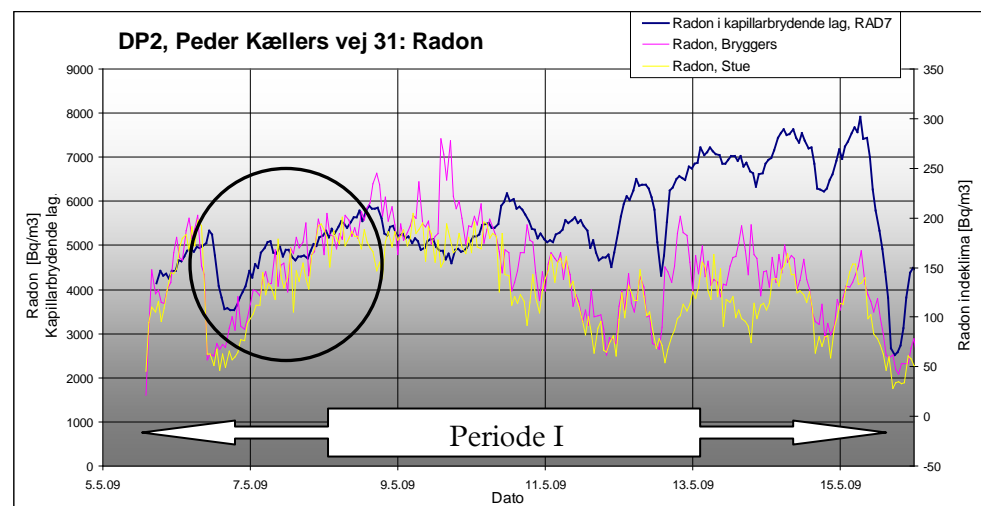
Nedenstående figurer 18 og 19 illustrerer de gennemførte radonmålinger foretaget på lokaliteten. Figur 18 illustrerer periode I (d. 05.-15.04.2009) og figur 19 illustrerer periode J (d. 15.-28.04.2009). Som det ses af figurerne,

påvises der en god sammenhæng mellem radonniveauet under gulvet og koncentrationen i indeklimaet (eksempler markeret med cirkler). Koncentrationsniveauer følger nogenlunde hinanden med en tidsmæssig forskydning på fire til fem timer.

I perioden d. 11.-15.05.2009 ligger indeklimakoncentrationen gennemsnitligt relativt lavere end koncentrationen under gulvet, hvilket betyder, at denne periode er domineret af en aftagende indtrængning af poreluft til indeklimaet i forhold til resten af perioden. Grunden til dette udsving kan muligvis tilskrives følgende faktorer, der gør sig bemærket i perioden (se evt. bilag 2.3.6):

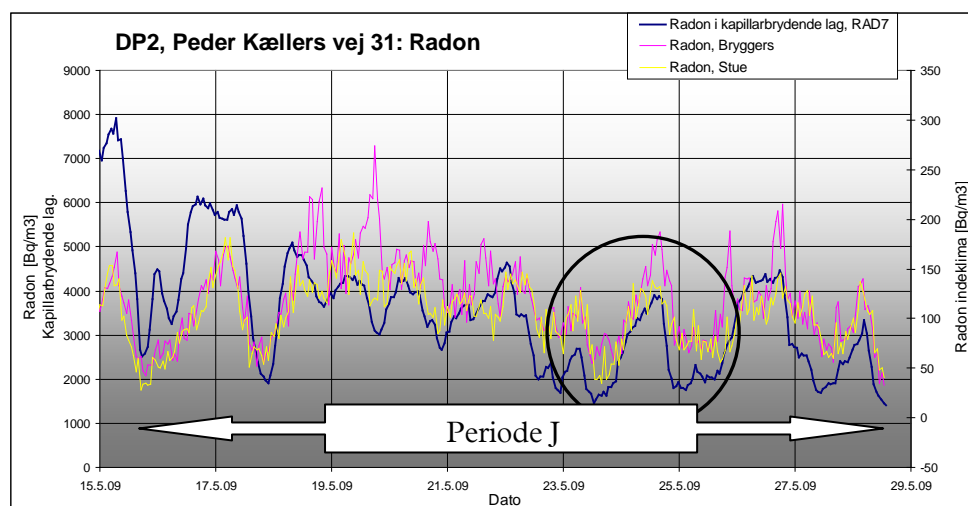
- Jævnt stigende atmosfærisk tryk
- Jævnt stigende indendørs temperaturer
- Meget lave udendørs temperaturer i nattetimerne, ned til 2 °C
- Høje udendørs temperaturer i dagstimerne, op til 22 °C
- Vind generelt fra øst – nordøst, hvor vinden i resten af måleperioden generelt er vestlig
- Generelt svagere nattevinde end for resten af måleperioden

Der er ikke målt trykdifferens mellem ude- og indeklima på denne lokalitet, og det vides derfor ikke, hvorledes de lokale trykforhold har været i perioden.



Figur 18: Måling af radon, lok. 5, periode I (måleperiode nr. 6).

Periode I og J deles, hvor det passive ventilationsdræn i det kapillarbrydende lag aktiveres, og markeres med et markant og umiddelbart fald i radonkoncentrationen til følge. Faldet er knapt så markant som på lokalitet 1, og koncentrationen i indeklimaet halveres ikke, som det var tilfældet på lokalitet 1. Grunden til dette kan sandsynligvis findes i måletidspunktet og i de fysiske forskelle mellem de to ejendomme. Det skal således bemærkes, at lokalitet 5 er ubeboet, og at manuel samt mekanisk ventilering/udluftning af indeklimaet derfor ikke pågår.



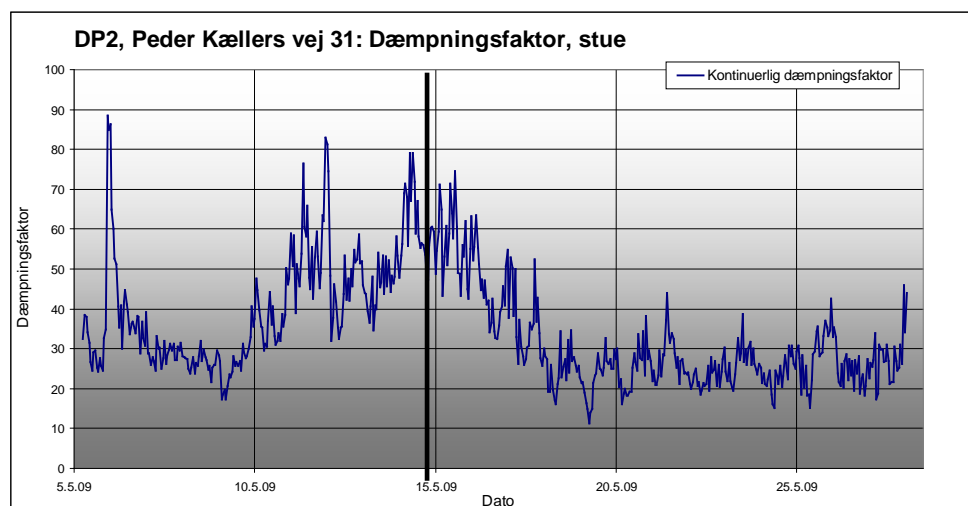
Figur 19: Måling af radon, lok. 5, periode J (måleperiode nr. 6).

Som det kan aflæses af figurerne 18 og 19 og af tabel 6.9, falder koncentrationen af radon i både indeklima og under gulv efter aktiveringen af drænet.

Den gennemsnitlige dæmpningsfaktor for periode I er ca. 40, hvorimod dæmpningsfaktoren falder efter aktivering af det passive dræn, til ca. 30 i periode J (se tabel 6.10 herunder).

Terrændækkets dæmpningsfaktorer

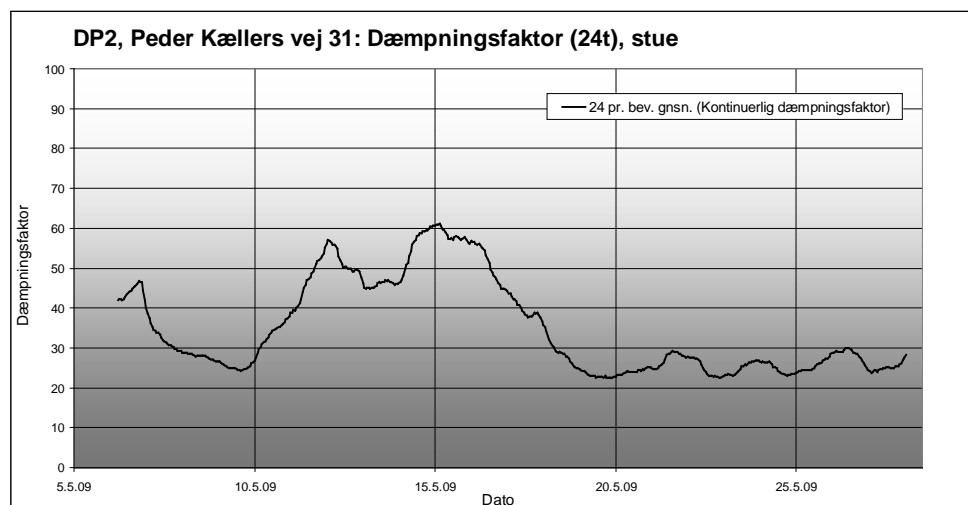
På baggrund af målingerne på lokalitet 5 kan det konstateres, at koncentrationerne i indeklimaet under normale forhold følger udviklingen under gulvet. Det vurderes derfor her muligt at benytte måleperiodernes gennemsnitsværdier til at udregne en dæmpningsfaktor. På figur 20 er vist en kontinuerlig graf over udviklingen af dæmpningsfaktorforholdet.



Figur 20: Dæmpningsfaktorer, lok. 5, periode I og J (måleperiode nr. 6). Aktivering af passivt dræn markeret med sort linje.

Som det ses af figur 16, kan det være problematisk at udlede en dæmpningsfaktor, såfremt der kun findes data for få timer. Men set i det store perspektiv er det muligt at udlede en gennemsnitlig faktor, hvor man kan tage højde for diverse udsving, se afsnit 7.1. Dæmpningsfaktoren for denne

lokalitet er ikke underlagt de samme voldsomme udsving som eksempelvis for lokalitet 3, men følger et mere fladt mønster, hvilket vurderes at have årsag i en mere ensformig indtrængningsrate. Dæmpningsfaktoren ses at være generelt lav for lokaliteten.



Figur 21: Dæmpningsfaktorer, lok. 5, periode I og J, 24 timers midling.

På figur 21 herover er foretaget en 24 timers midling af den kontinuerte dæmpningsfaktor. Perioden omkring den 11.05.2009 – d. 15.05.2009 ses at have indflydelse på ”bundlinjen”, hvilket forventes at ligge omkring de 30, se tabel 6.10. Gennemsnitligt set må faktoren dog siges at være relativt ensartet. Overordnet set har aktiveringen af drænet ikke betydning for dæmpningsfaktorforholdende, som følger samme forhold efter aktiveringen. Som for lokalitet 1 er koncentrationen i indeklimaet således direkte afhængig af koncentrationen under gulvet, og effekten af det installerede passive ventilationsdræn er proportional med drænets fortyndingsevne i det kapillarbrydende lag.

Dæmpningsfaktoren findes på samme måde som for lokaliteten lokalitet 1, beskrevet under afsnit 6.2.

Grundet aktiveringen af drænet samt perioden med øget dæmpningsfaktor, er der valgt at opdele perioden i tre afsnit, således at der udledes en dæmpningsfaktor for perioden før drænets aktivering (I), efter drænets aktivering (J), og generelt for hele perioden (her nævnt I+J). Det er her valgt at ikke at inkludere intervallet d. 11.05.2009 – d. 15.05.2009 i udregningen, idet denne periode vurderes ikke at følge ”bundlinjen” for dæmpningsfaktoren. Radonkoncentrationerne i indeklimaet i de to målepunkter følger nogenlunde samme værdier, hvilket indikerer en god og sammenhængende fordeling af luften uden lokale særlige ”udluftninger”.

Dæmpningsfaktorer er angivet i tabel 6.10 nedenfor.

| Periode | Målepunkt under gulv | Målepunkt over gulv | Måletype | Dæmpningsfaktor, radon |
|---------|----------------------|---------------------|----------|------------------------|
| I | MP3UD ¹⁾ | Stue/køkken | Log | 43 |
| I | MP3UD | bryggers | Log | 37 |
| J | MP3UD | Stue/køkken | Log | 33 |
| J | MP3UD | bryggers | Log | 28 |
| I+J | MP3UD | Stue/køkken | Log | 32 |
| I+J | MP3UD | bryggers | Log | 28 |

Log Detaljeret radonmåling vha. kontinuerlig logning

¹⁾ Placering af målepunkter i kapillarbrydende lag, se bilag 1.1.6.

Tabel 6.10: Dæmpningsfaktorer

Det er ved målingerne foretaget på lokaliteten ikke blevet fastslået, hvorvidt bryggerset udgør en direkte konvektiv indtrængningsvej for poreluft til indeklimaet. Dæmpningsfaktoren for bryggerset er dog generelt lavere end for stuen, hvilket kan indikere, at bryggerset i højere grad er udsat for indtrængning af radon end stuen og køkkenet.

På baggrund af ovenstående kan det konkluderes, at dæmpningsfaktoren for terrændækket på lokalitet 5 er rimelig ensartet, men kan variere tidsmæssigt, afhængig af eksterne faktorer. Almindeligvis vil dæmpningsfaktoren dog formodentlig ligge omkring 30 – 40.

7 Sammenfattende diskussion

I dette afsnit er opstillet en kortfattet diskussion omhandlende følgende:

- Beregning af dæmpningsfaktorer
- Overordnede betragtninger om radonindtrængning

Efter diskussionen gives anbefalinger for fremtidens anvendelse af radon som tracer.

Afsnittet afsluttes med en kort sammenfattende perspektivering.

7.1 DÆMPNINGSFAKTOR FOR BETONDÆK

Når luften i indeklimaet varmes op, stiger den til vejrs, og forlader bygningen igennem revner, sprækker og åbninger i tag- eller vægkonstruktionen, og danner lokale undertryk i bygningens lavere dele, hvortil luft derfor vil strømme. Dette lokale relative undertryk er afhængigt af opvarmningsgraden af rummet og forskellen i temperatur mellem indeklimaet og den omkringliggende atmosfære. Undertrykket er desuden afhængigt af lokale vindpåvirkninger af konstruktionen, ventilation i indeklimaet mv. Undertrykket giver anledning til transport af luft til indeklimaet, og denne luft kan komme udefra, hvor transporten foregår igennem vægge og huller i klimaskærmen eller fra undergrunden.

Jf. afsnit 3.2 kan transport af luft fra jorden til indeklimaet foregå på to måder; enten ved diffusion eller ved konvektion. Diffusion vil altid foregå på grund af molekylernes indbyrdes bevægelser. Diffusion er med andre ord ikke en transportform, der kræver eksterne påvirkninger.

Konvektion foregår såfremt radon (eller anden forurening) og dens bæregas kan blive transporteret. Transporten foregår ved trykdreven assistance, og hvis der aldrig er en trykforskel, vil der ikke foregå en konvektiv transport.

Et terrændæk konstituerer en lavpermeabel barriere mellem jord og indeklima for et normalt enfamiliehus. Jf. Bygningsreglementet 2008, Erhvervs- & Byggestyrelsen, skal et terrændæk udføres luft- og fugttæt mod undergrunden; et krav, der er meget svært at imødekomme til fulde. Dækket er opbygget af mange forskellige materialer, og gennembrydes flere gange for at gøre plads for diverse installationer, isolering mv. Det er blandt andet disse gennemføringer af rør, ledninger og isolering, samt svind- og sætningsrevner, der udgør de største indtrængningsveje for poreluft – og dermed radons – passage til indeklimaet.

Koncentrationen af radon i jorden under et hus svinger lokalt (jf. radons emanation, afsnit 3.1), vertikalt og horisontalt (jf. skiftende geologi, afsnit 3.2.2.2). Når radon emanerer fra jorden, vil de frie radonatomer blive ført med den strøm af bæregas (poreluft), der på grund af konvektion strømmer mod indeklimaet. En ændring i koncentrationen i jorden under huset vil derfor

medføre en ændring i koncentrationen i huset. Disse koncentrationsændringer kan skyldes flere faktorer, som er listet herunder.

- Lokale ændringer i radonemanationen
- Skiftende grundvandsstand
- Skiftende trykforhold
- Klimatologiske forhold

Ideelt set vil en ændring i radonkoncentrationen under gulvet altid medføre en lignende ændring af radonkoncentrationen i indeklimaet, men koncentrationen i indeklimaet er styret af mange andre faktorer end blot koncentrationen i jorden, jf. afsnit 3.2.3 og 3.3. Hvis det var muligt fuldstændigt at udelukke disse andre faktorer, ville den eneste barriere, der kunne virke begrænsende på radons indtrængning til indeklimaet, være terrændækket.

Det er dette projekts formål, at forsøge at beskrive terrændækkets evne til at begrænse indtrængning af radon og forureningsdampe og dermed poreluft udtrykt i form af en dæmpningsfaktor. Med baggrund i ovenstående viden om store variationer på grund af blandt andet klimatologiske og geologiske forhold, udregnes dæmpningsfaktoren som en middel værdi for et eller flere måleintervaller i en måleperiode. Som grundlag for målingerne anvendes radon som en naturlig tracer. Eventuel viden om anden forurening (eks. PCE) inddrages alene som et supplement for vurderingerne.

Ved anvendelse af avanceret måleudstyr, har det i dette projekt været muligt at logge koncentrationerne af radon kontinuerligt, i indeklimaer og i kapillarbrydende lag under flere forskellige lokaliteter. Projektet har udviklet en målemetode, der beskrives i afsnit 7.3.

Undersøgelserne i projektet har vist, at radonkoncentrationen i et givent indeklima er afhængig af radonkoncentrationen under terrændækket, og at koncentrationsvariationerne følger hinandens tendenser dog ofte med en tidsmæssig forskydning. Afhængig af lokaliteten er radonniveauet i indeklimaet mere eller mindre bunden til variationerne under gulvet, og koncentrationen i indeklimaet kan påvirkes af faktorer, der ikke yder indflydelse på koncentrationerne under gulvet.

Der har været, ved samtlige målinger, relativt store variationer i dæmpningsfaktoren for de enkelte lokaliteter, som det fremgår af figurerne 12, 14, 16 og 20 under afsnit 6. Variationerne er et udtryk for de forskellige variable, der alle spiller en rolle for radons koncentration over og under gulv, og som er sammenfattet i afsnit 3. Det er påfaldende, at dæmpningsfaktoren er væsentlig lavere (dårligere) i de nybyggede huse (lokalitet 1 og 5) end i de øvrige huse. Årsagen kan være en ringere håndværksmæssig udførelse eller konstruktionsmæssige forskelle.

Målingerne i dette projekt er alle gennemført i vinterhalvåret, hvor der er lille luftskifte og stor temperaturforskel inde/ude. De beregnede dæmpningsfaktorer er således udtryk for vinter-dæmpningsfaktorer. Ved tilsvarende målinger i sommerhalvåret ville de beregnede dæmpningsfaktorer sandsynligvis være væsentlig højere og mere varierende, især på grund af meget større og varierende luftskifte. Det er derfor væsentlig, at målinger af

radon til bestemmelse af dæmpningsfaktorer skal foretages i vinterhalvåret, for at belyse forholdene når mest radon trænger ind..

I stort set alle tilfælde med kortvarige men store ændringer i dæmpningsfaktoren, skyldes denne ændring at radonkoncentrationen i indeklimaet pludselig reduceres væsentligt. Dette kan eksempelvis skyldes kortvarige perioder med stor udluftning eller vindstød som kraftigt kan påvirke trykforholdene i indeklimaet.

Den omtalte tidsmæssige forskydning er vigtig at forholde sig til, specielt i forureningssituationer, hvor man ofte foretager korttidsmålinger under gulv og i indeklima, og sammenligner forureningsgraden med hinanden. Tidsforskydningen har i projektet vist sig at være varierende, både fra lokalitet til lokalitet, men også ved undersøgelse på samme ejendom.

Det er sjældent muligt at forklare variationer i radonkoncentrationer ved korttidsmålinger. På baggrund af de udførte undersøgelser må der derfor anbefales, at såfremt der ønskes detaljerede undersøgelser af et terrændækkes dæmpningsfaktor, bør der benyttes avanceret udstyr til logning af radonkoncentrationerne.

Undersøgelserne udført i dette projekt understøtter litteraturen på området, men viser dog at hele den drivende mekanisme, og alle de faktorer der indvirker på systemet, er uhyre komplekse, omfangsrige og svære at måle på.

7.2 INDRÆNGNING TIL INDEKLIMA

Om end det ikke har været et direkte formål i dette projekt at belyse de mekanismer, der påvirker indtrængning, blev indsamling af bl.a. vejrdata i stor udstrækning inkorporeret fra starten i projektet. Dette for at opnå mulighed for på et indledende niveau at studere sammenhænge mellem de meteorologiske data og radonkoncentrationen i indeklimaet. Projektet startede som et afgangprojekt, hvilket indledningsvist har givet mulighed til fordybelse i netop denne problemstilling.

Afsnit 3 omhandler de problemstillinger, der gør sig gældende i forbindelse med transport af luft fra jorden til indeklimaet. Afsnittet baserer sig på litteraturstudier af både national og international litteratur /1, 2, 3, 4, 8, 9, 10/, ekspertudtalelser /13/, NIRAS' tidligere erfaringer samt de undersøgelser i dette projekt, hvor en måling og registrering af bl.a. meteorologiske data har været muligt.

På baggrund af ovenstående og den udførte indledende datagranskning ses flere tydelige og gentagne sammenhænge. Det vurderes at trykdifferensen over terrændæk er den primære drivkraft for indtrængning af poreluft, og dermed radon og evt. flygtige stoffer, til indeklimaet. Trykdifferensen ses tydeligt at oprinde i temperaturforskelle (skorstenseffekt) og vindpåvirkninger. Det atmosfæriske tryk vurderes ikke at have en væsentlig indflydelse på trykdifferensen, men vurderes at have nogen effekt mht. ventilation af poreluft i jorden, og dermed en effekt overfor koncentrationen af radon eller miljøfremmede stoffer i bygningens influenszone. Det er imidlertid tydeligt, at der er tale om komplekse sammenhænge, der kræver større datamængde og grundig granskning for at kunne drage sikrere og generelle konklusioner til anvendelse i fremtidige projekter

I dette projekt er indtrængning ved diffusion negligeret. I forbindelse med litteraturstudiet har det imidlertid vist sig, at diffusion har været den betydende transportvej i en række tilfælde. Det er således fundet, at antallet af revner og utætheder i en konstruktion ikke blot øger den konvektive poreluftstrøm, men ligeledes øger den diffusive transport, specielt hvis der er tale om primært mikroskopiske revnedannelser (mikrorevner) i betondækket, selv ved betontykkelser på over 100 mm. Det anbefales således, at initiere et studie til kortlægning af betydningen af diffusiv indtrængning.

7.3 ANBEFALINGER FOR FREMTIDIG ANVENDELSE AF RADON SOM TRACER

Samlet vurderes det, at samtidig logning af radon i indeklimaet og under gulv giver en god fornemmelse af sammenhængen i radonkoncentrationen mellem de to steder. Forholdet vurderes fint at kunne anvendes til beregning af en egentlig ”dæmpningsfaktor”, der direkte kan overføres til anvendelse i vurderinger omkring en eventuel forureningsindtrængning af flygtige stoffer (PCE, benzen o. lign.). Det er samtidig vigtigt at påpege, at dæmpningsfaktoren varierer fra lokalitet til lokalitet og over tid. Der skal derfor foretages lokalitetsspecifikke radonmålinger, og disse bør foretages som logninger over min. 14 dage, og gerne over længere tid. Radonmålinger bør ikke foretages i sommermånederne, idet der her er væsentligt højere luftskifte i indeklimaet end om vinteren, hvorfor målingerne således ikke vil være repræsentative.

Samtidig er det vigtigt at påpege at det er nødvendigt at foretage en forundersøgelse på lokaliteten, forinden målingen igangsættes.

Nedenfor ses specifikke anbefalinger for eventuelle fremtidige undersøgelser.

7.3.1 Forundersøgelse

Forud for radonlogningen anbefales at foretage en indledende vurdering omkring strømningsforhold og koncentrationsfordeling i det kapillarbrydende lag. Hvis muligt, kan dette f.eks. afklares ved at foretage indledende logninger af radonkoncentrationen flere steder i det kapillarbrydende lag.

Herudover bør der foretages en visuel byggeteknisk gennemgang til vurdering af forhold omkring spredningsveje/indtrængningspunkter i indeklimaet /15/.

Konvektiv indtrængning til indeklimaet finder sted, hvor luft kan passere barrierefrit, og hvor luften drives af trykdifferensen. Trykdifferensen øges med øget temperaturdifferens, således at et lokalt indendørs punkt, som er varmere end omgivelserne (teknikskab, radiatorgennemføringer mv.) teoretisk set vil medføre en øget gennemstrømning ved dette punkt. Grundet varmes påvirkning af eks. metalrør, vil rørgennemføringer af varme rør ofte være indtrængningspunkter for poreluft til indeklima.

Indtrængende poreluft kan samtidig påvises ved hjælp af thoronmålinger i indeklimaet, se afsnit 1.3 og /14/.

7.3.2 Undersøgelse af dæmpningsfaktorforhold

Et terrændæk vil, alt andet lige yde en passiv modstand mod oprængende poreluft. Terrændækkets beskaffenhed er udslagsgivende for hvor effektiv denne modstand er, og hvordan fordelingen mellem konvektivt og diffusivt

indtrængende poreluft arter sig. Jo svagere konvektiv strømning der foregår til indeklimaet, desto større procentdel af den samlede indtrængning vil foregå ved diffusion.

Såfremt der ved måling af radon over og under gulvet findes en ensartet sammenhæng mellem de målte variationer, vurderes det muligt at beregne dæmpningsfaktoren på baggrund af gennemsnitsmålinger.

Radonmålinger bør, hvis det er muligt, gennemføres nær forventede indtrængningspunkter, evt. afstemt med områder for højere radonkoncentrationer (hvis der påvises forskelle under gulvet). Endvidere er det vigtigt, at målingerne gennemføres med nogenlunde ensartet horisontal placering over gulv som under gulv. Det anbefales yderligere at foretage målinger i indeklimaet minimum to steder.

Sideløbende med radonmålingerne kan foretages logning af diverse meteorologiske data, såsom vindhastighed, retning, temperatur og nedbør. Desuden anbefales det at gennemføre kontinuerlig registrering af trykdifferensen mellem både inde/ude og inde/kapillarbrydende lag. De meteorologiske data kan være velegnede sekundære data i forbindelse med senere tolkning.

7.4 PERSPEKTIVERING – ALTERNATIVE ANVENDELSESMULIGHEDER

Radon er kræftfremkaldende, og det er derfor ønskeligt så vidt muligt at fjerne gassen fra vores indeklima. Danmark er stadig et land under udvikling, når det kommer til forholdsregler for radon og radonindtrængning, men siden 1998 har der i Bygningsreglementet været krav om tætte bygninger mod radon. Erhvervs- og Byggestyrelsen vurderer, at 350.000 danske boliger har forhøjede indhold af radon i forhold til de nuværende anbefalinger på 100 Bq/m³.

De i dette projekt beskrevne undersøgelsesmetoder vil derfor være yderst relevante at anvende, også i sammenhænge hvor radonindtrængning er i fokus.

8 Konklusion

I dette afsnit findes en samlet konklusion på de i projektet foretagne undersøgelser i forhold til projektets formål:

- at undersøge om radonmålinger kan anvendes til at bestemme dæmpningsfaktoren over en gulvkonstruktion
- at videreudvikle en målemetode til måling af radon i poreluften

På baggrund af projektets resultater og undersøgelser vurderes det, at radonmålinger er velegnede til at bestemme en dæmpningsfaktor over et terrændæk.

Fordelene ved at benytte radonmålinger til at bestemme dæmpningsfaktoren for et terrændæk er følgende:

- Radon er underlagt de samme drivkræfter som forurenende stoffer i forbindelse med en jordforurening, dels ved spredning i jorden og dels ved spredning til boligen.
- Radonmålinger kan, afhængig af metode, være både lette og billige at gennemføre.
- Radonmålinger kan endvidere benyttes til at lokalisere markante indtrængningspunkter for poreluft til indeklimaet ved måling af thoron – en isotop af radon.
- Radonmålinger kan benyttes til at kortlægge variationer af radon i det kapillarbrydende lag.
- Radonkoncentrationen i indeklimaet er i meget ringe grad påvirket af ”fremmede kilder” (emanation fra bygningsmaterialer udgør 5-20 Bq/m³ af den samlede påvirkning), /16/.
- Markant forøgede radonkoncentrationer i individuelle lokaler i indeklimaet kan være tegn på væsentlige lokale indtrængningspunkter for poreluft.
- Radon findes de fleste steder i Danmark i koncentrationer, der gør det muligt generelt at anvende radon som sporgas, idet radonkoncentrationen i poreluft altid vil være højere end i indeklimaet.

Ved benyttelse af radonmålinger til bestemmelse af dæmpningsfaktorer, er det dog stadig nødvendigt at forholde sig til de usikkerheder, der er forbundet med sådanne målinger. Usikkerhederne er diskuteret i afsnit 7, hvor der også er givet anbefalinger til, hvordan usikkerhederne håndteres mest hensigtsmæssigt.

Til måling af radon kan benyttes flere forskellige instrumenter. I dette projekt er primært benyttet kontinuerte loggere, der er i stand til løbende at registrere radonkoncentrationen og lagre data til senere behandling. Udstyret har en relativt lille fejlmargen på ca. 5 – 10 %. Udstyret skal dog kalibreres regelmæssigt, da lagring af blyisotoper i instrumentet kan øge usikkerheden over tid. Instrumenter, der kan foretage alfaspektrometri, vil ikke være påvirket af denne form for baggrundsstråling.

Udover de kontinuerte loggere kan alternativt anvendes udstyr som eksempelvis Ramon 2.2, der over tid giver en gennemsnitlig værdi som aflæses manuelt. Sporfilm, der er en tredje målemetode, er den mest almindeligt anvendte metode til at foretage radonmålinger. Fejlmargin ved de to sidstnævnte målemetoder er ca. 20 %.

Simple målemetoder som Ramon 2.2. kan anvendes til at undersøge dæmpningsfaktor over et terrændæk. Dæmpningsfaktoren vil dog være bestemt med ret stor usikkerhed, idet man ikke får kendskab til korttidsvariationer i radonkoncentrationerne. Det anbefales at man foretager aflæsning hver 48 timer, for at få et vist indtryk af variationerne, og at målingerne foretages over en længere tidsperiode.

For at undersøge dæmpningsfaktoren for et terrændæk med større sikkerhed anbefales, at målingerne gennemføres ved anvendelse af instrumenter af typen RAD7 eller AlphaGuard. Dette er nødvendigt for i detaljer at opnå kendskab til variation over tid og samspillet mellem forholdene i indeklimaet og forholdene under gulvet. Herved opnås et væsentlig bedre datagrundlag for at vurdere usikkerheden på de beregnede dæmpningsfaktorer.

Man kan ikke altid forklare variationer i radonmålingerne, såfremt målingerne foretages over kort tid. Men ved længerevarende måleperioder er der større chance for at kunne identificere sammenhænge. Der kan således godt forekomme væsentlige variationer i dæmpningsfaktoren over kort tid, og koncentrationssvingninger af radon i indeklimaet vil som regel forsinkes i forhold til svingningerne under gulvet. Specielt af disse årsager er det vigtigt at foretage længerevarende præcise målinger, således at der kan specificeres en gennemsnitlig dæmpningsfaktor.

9 Referenceliste

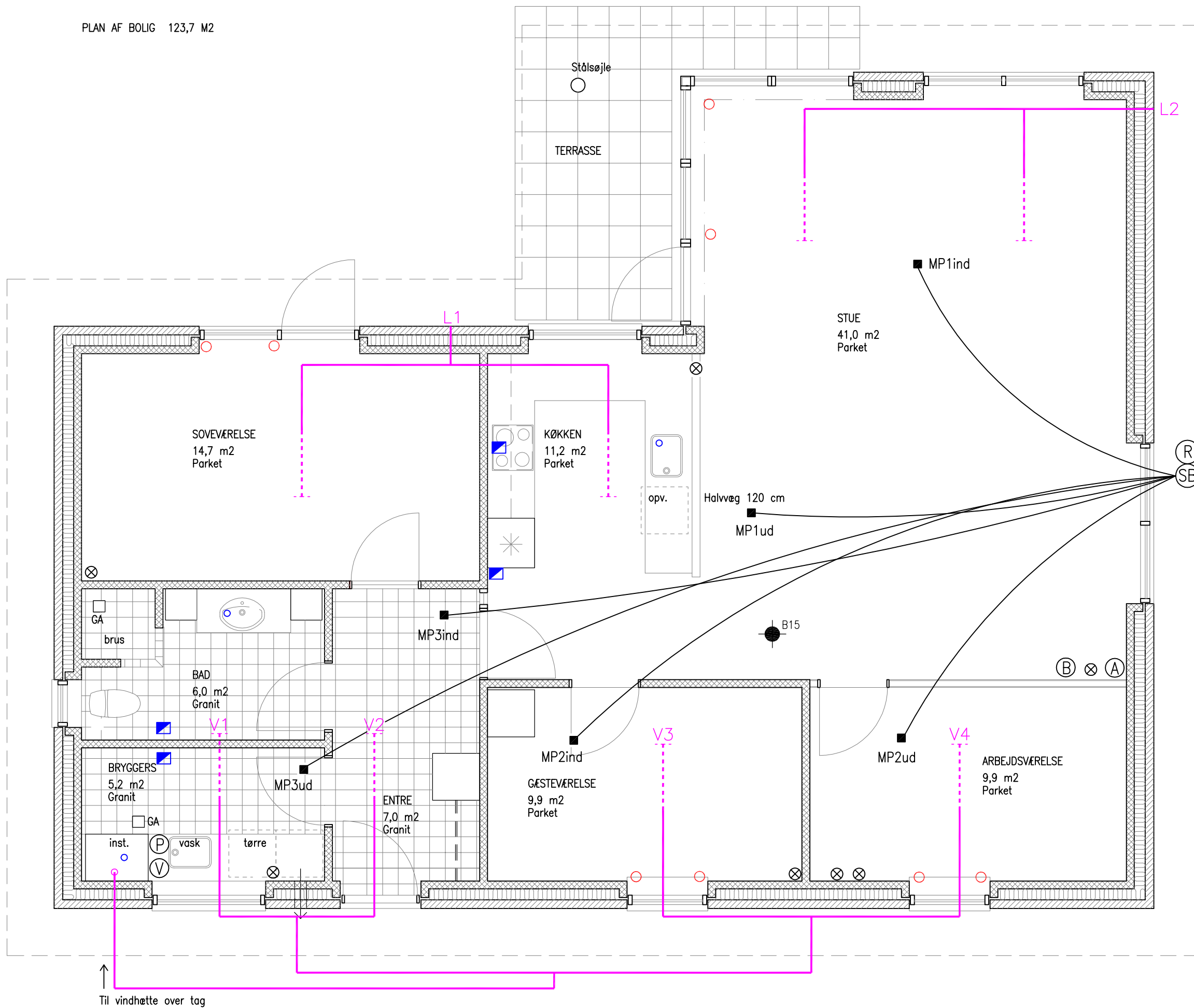
1. Naturlig stråling i danske boliger. K. Ulbak et al., Sundhedsstyrelsen, Forskningscenter RISØ, 1987.
2. Radon-95: En undersøgelse til reduktion af radonkoncentrationen i danske enfamiliehuse. C.E. Andersen et al., Forskningscenter RISØ, april 1997. Rapport nr. Risø-R-979(DA).
3. Radon i danske boliger. Kortlægning af lands-, amts- og kommuneværdier. C.E. Andersen et al., Sundhedsstyrelsen, Forskningscenter RISØ, GEUS, januar 2001.
4. Radon som sporgas for jordluftsindtrængning ved hus med forurenede rensrigrund. C.E. Andersen, RISØ, 2001. Rapport nr. Risø-R-1279(DA).
5. Undersøgelsesrapport for Mosevej 2C, Skuldelev. NIRAS for Region Hovedstaden, maj 2009.
6. Dokumentationsrapport for Frederiksbjerg Torv 10, Århus. NIRAS for Region Midtjylland, 2009.
7. Undersøgelser og afværgeprogram for Karolinegade 1C, Skive. NIRAS for Region Midtjylland, 2009.
8. Transport of radioactive material by alpha recoil. A. S. Icenhour, US Department of Energy, 2005.
9. Measurement of the emanation of radon-222 from Danish soils. A Damkjær, U Korsbech, The Science of the Total Environment, 1985.
10. Study of the distribution of 222-Rn, 220-Rn and their decay products above and below the ground. S. Jaki, V. Hess, 1958.
11. Radonmålinger som tracer. J.B. Petersen, VIA UC, 2009.
12. Radonsikring i nybyggeri, documentation og teknologiudvikling. L.B. Overgaard, J.B. Petersen, M.N. Jeppesen, NIRAS, BoligfondenKuben, Miljøstyrelsen, 2011.
13. C. E. Andersen, RISØ, personlig korrespondance, 2009.
14. Thoronmålinger til identifikation af indtrængningsveje fra poreluft til indeklima. J.B. Petersen, H.E. Steffensen, M.N. Jeppesen, NIRAS, Region Midtjylland, Miljøprojekt under rapportering, 2011.

15. Afværgekatalog – tidlig indsats overfor indeklimapåvirkninger. M.N. Jeppesen, NIRAS, Miljøprojekt nr. 750, 2003.
16. Sundhedsstyrelsens hjemmeside, www.sst.dk, 2010.
17. WHO Handbook on Indoor Radon, A Public Health Perspective. Verdenssundhedsorganisationen WHO, september 2009.















Situationsplaner

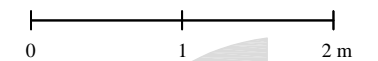
- Bilag 1.1.1: Peder Kællers vej 23
- Bilag 1.1.2: Mosevej 2C
- Bilag 1.1.3: Frederiksbjerg Torv 10
- Bilag 1.1.4: Karolinegade 1C
- Bilag 1.1.5: Peder Kællers vej 31

Bilag 1.1.1



SIGNATURER:

-  B Boring, filtersat
-  Ventilationsdræn/luftindtag (V1/L1)
-  (SB) Samle-/målebrønd m. kuglehaner
-  ■ MP Målepunkt, kapillarbrydende lag
-  ■ Ventilation
-  ○ Radiatorrør
-  □ GA Gulvafløb
-  ∞ Rørgennemføring, (vandør)
-  ⊗ Ramon 2.2, radonmåler målepunkt
-  (A) Alphaguard målepunkt
-  (B) Barodiver målepunkt
-  (V) Vejrstation, indeklima målep.
-  (P) Tryklogger, indeklima målep.
-  (R) RAD7, plac.



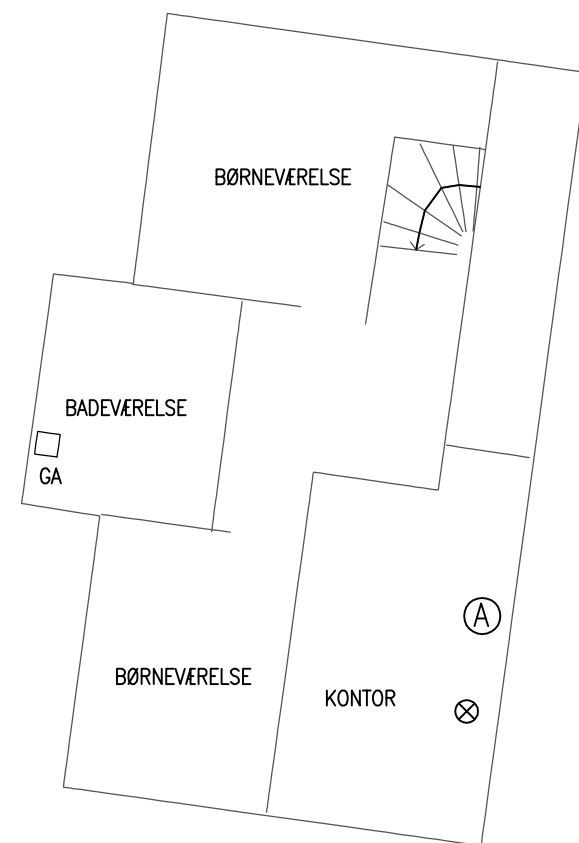
Bilag 1.1.1

Peder Kællers Vej 23, Horsens

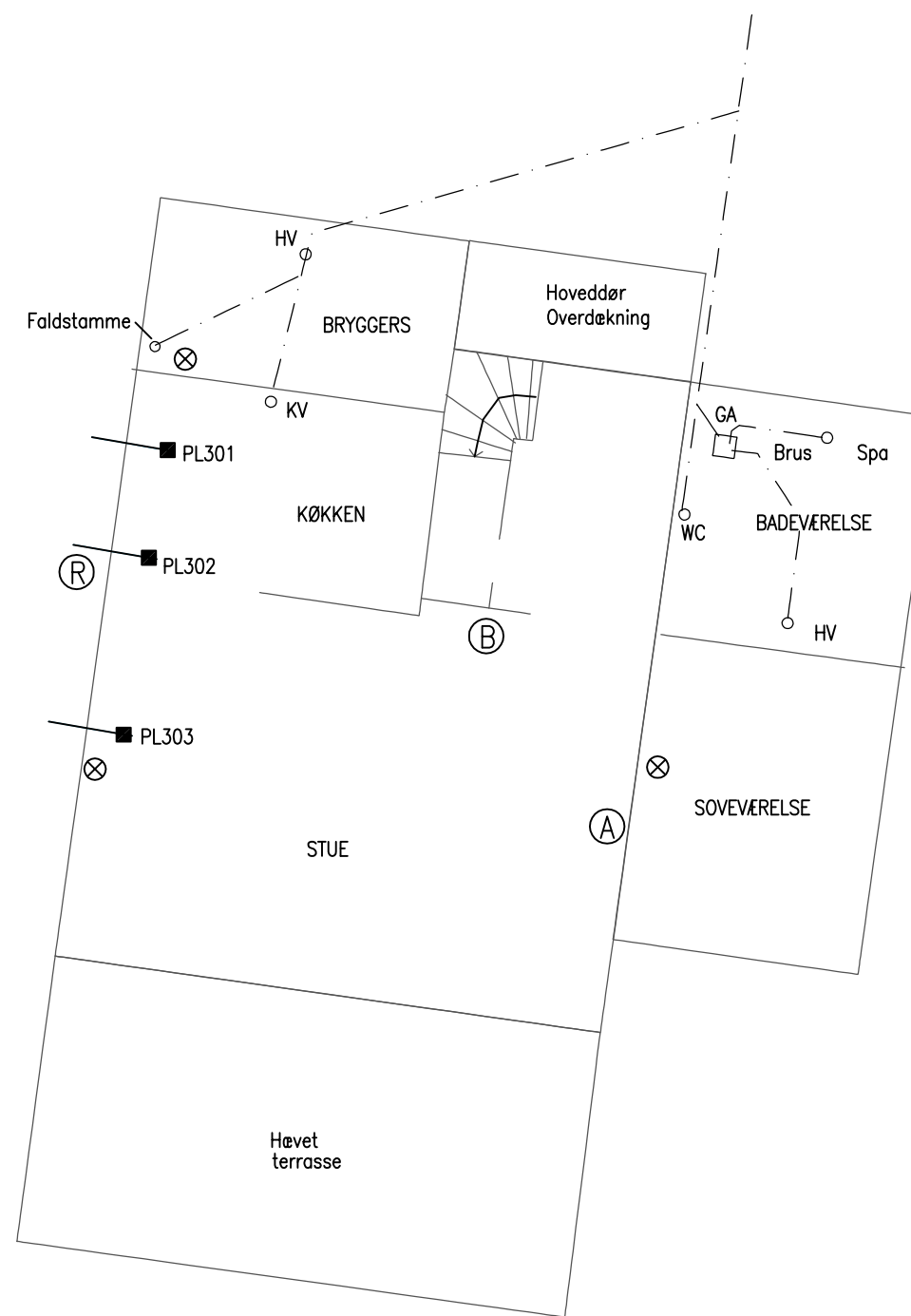
Situationsplan

2009 1:50 Sag nr. 14.087.00





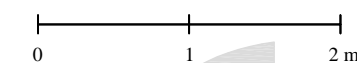
1. sal



Stueplan

SIGNATURER:

- PL Målepunkt, kapillarbrydende lag
- GA Gulv afløb
- — — — — Afløbsledning
- ⊗ Ramon 2.2, radonmåler målepunkt
- Ⓐ Alphaguard målepunkt
- Ⓑ Barodiver målepunkt
- Ⓘ RAD7, plac.



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

Bilag 1.1.2

Mosevej 2C

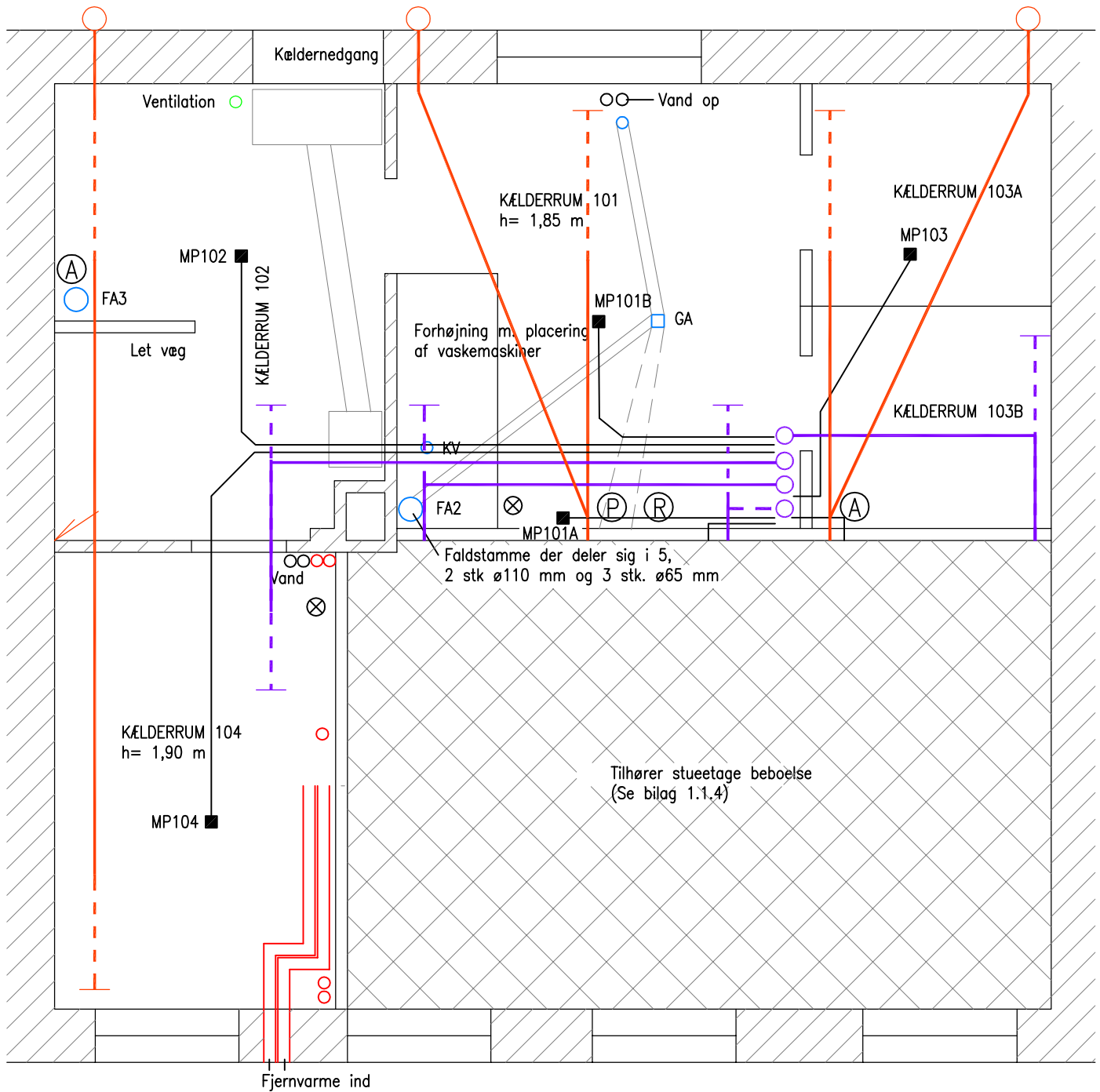
Situationsplan

2009 1:50 Sag nr. 14.087.00

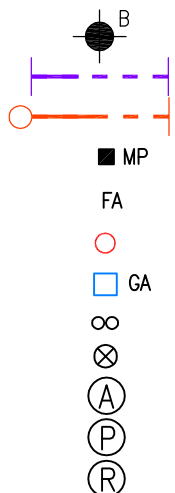
NIRAS

0:\SAG\14\087.00\TEGN\B1.1.2-300909.dwg

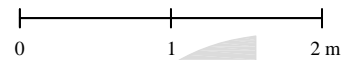
Bilag 1.1.3



SIGNATURER:



- Boring, filtersat
- Ventilationsdræn
- Luftindtag
- MP Målepunkt, kapillarbrydende lag
- FA Faldstamme
- Varmerør
- GA Gulvfløb
- Rørgennemføring, (vandrør)
- Ramon 2.2, radonmåler målepunkt
- Alphaguard målepunkt
- Tryklogger, indeklimate målep.
- RAD7, plac.



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

Bilag 1.1.3

Frederiksbjerg Torv 10

Kælderplan

2009

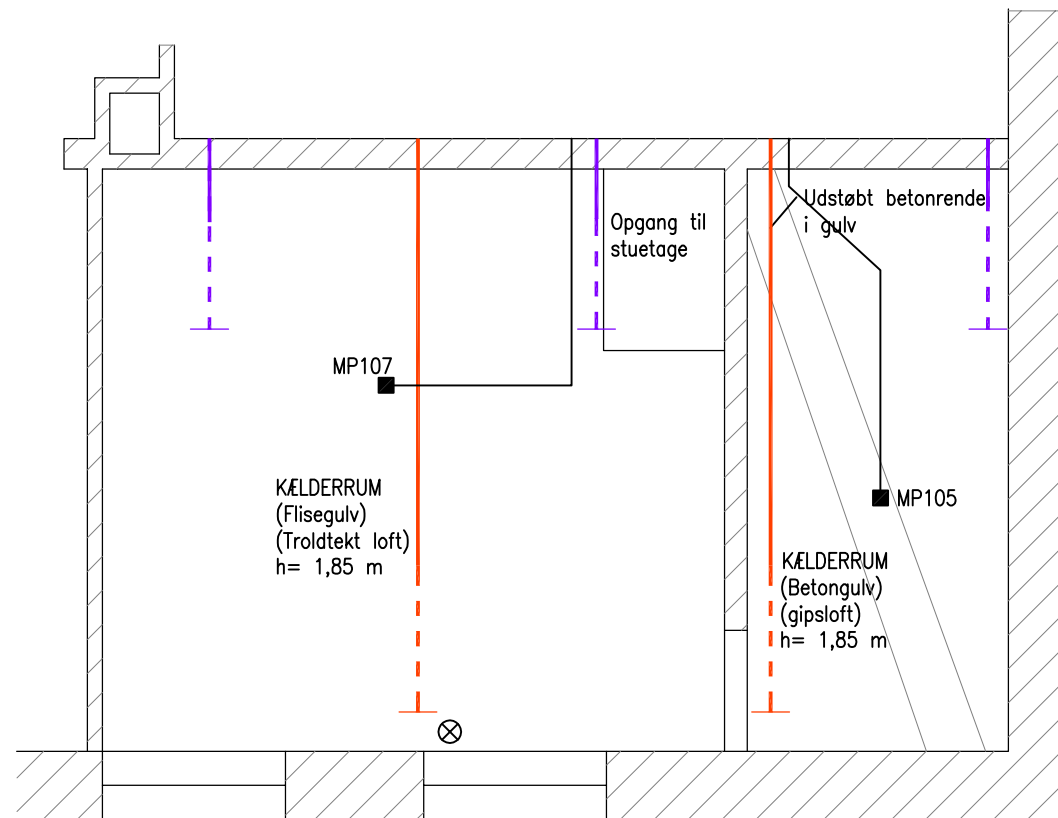
1:50

Sag nr. 14.087.00

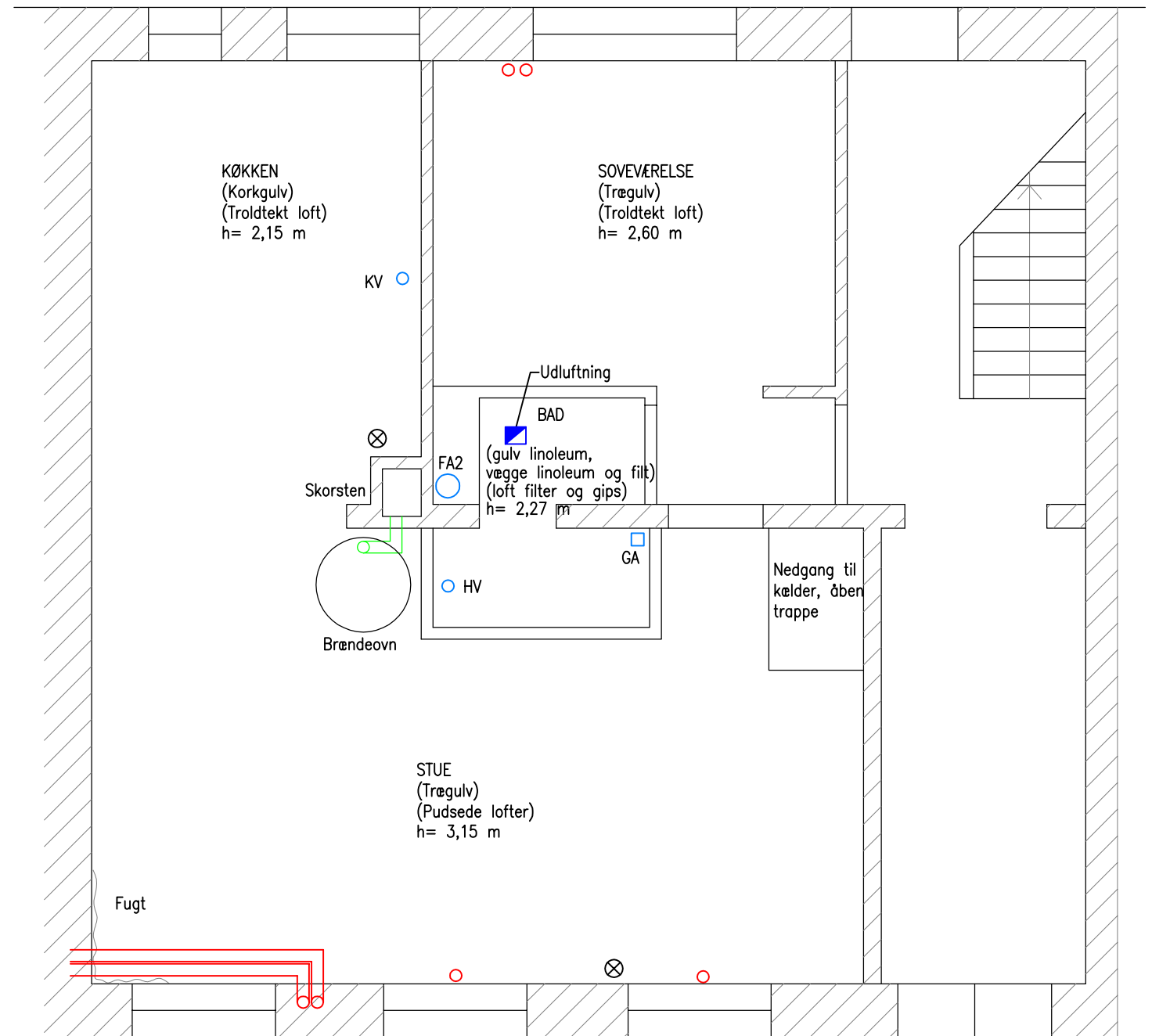
NIRAS

0:\SAG\14\087.00\TEGN\B1.1.3-250909.dwg

Bilag 1.1.4



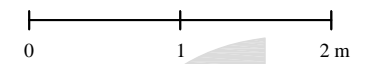
Kælderplan



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



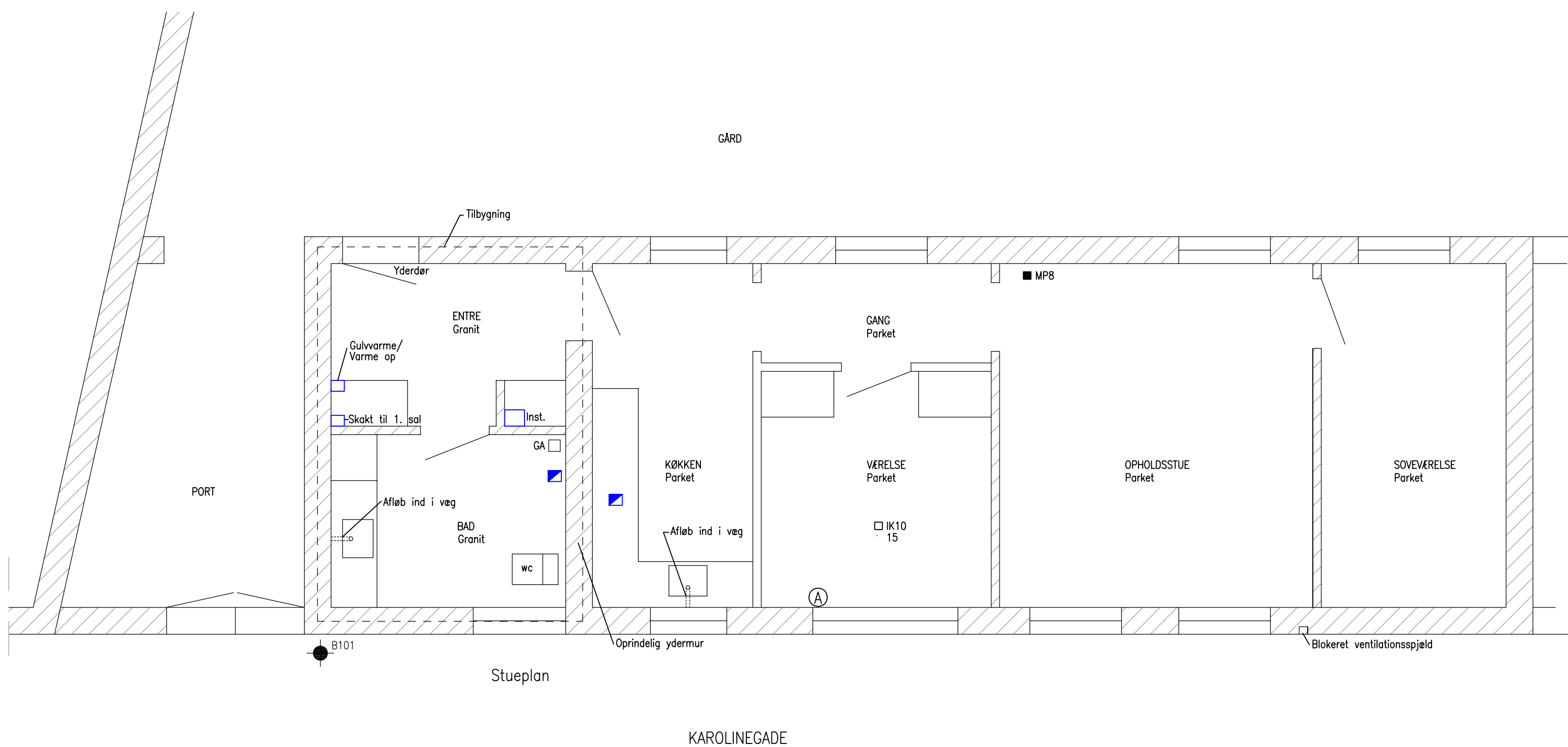
Tegningen er baseret på affotograferet materiale og er ikke nødvendigvis målfast.

Bilag 1.1.4
Frederiksbjerg Torv 10

Stueplan







2009 1:50 Sag nr. 14.087.00

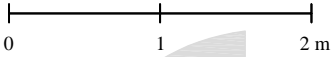




KAROLINEGADE

SIGNATURER:

-  B Boring, filtersat
-  IK Målepunkt, indeklima
-  MP Målepunkt, kapillarbrydende lag
-  Ventilation
-  GA Gulvafløb
-  A Alphaguard målepunkt



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

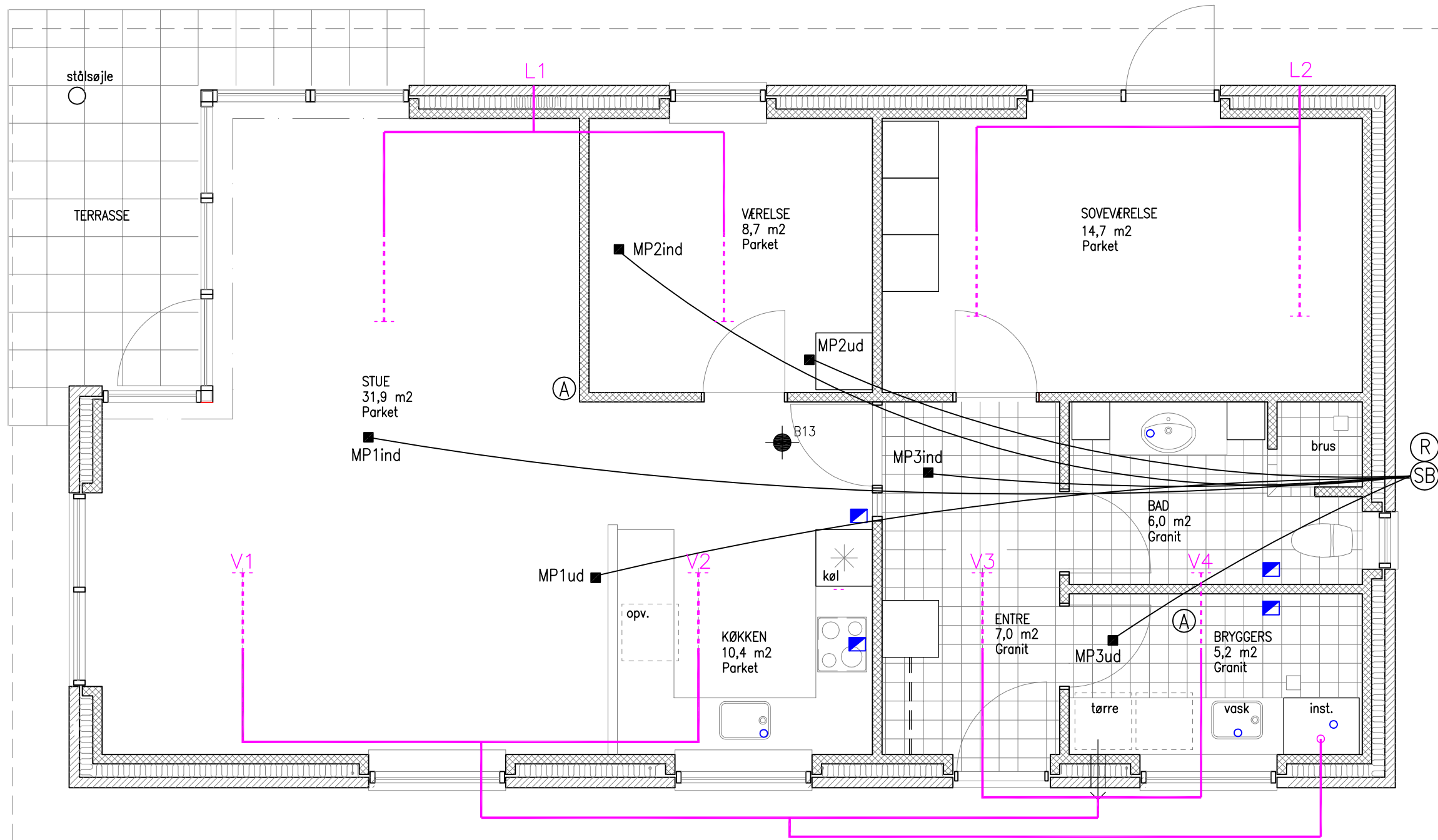
Bilag 1.1.5

Karolinegade 1C


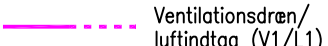








Situationsplan - Stueplan

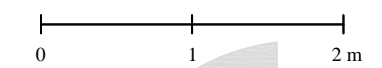
2009 1:50 Sag nr. 14.087.00





SIGNATURER:

-  B Boring, filtersat
-  Ventilationsdræn/luftindtag (V1/L1)
-  SB Samle-/målebrønd m. kuglehaner
-  MP Målepunkt, kapillarbrydende lag
-  Ventilation
-  Radiatorrør
-  GA Gulvfløb
-  Rørgennemføring, (vandør)
-  A Alphaguard målepunkt
-  R RAD7, plac.



Bilag 1.1.6

Peder Kællers Vej 31

Situationsplan

2009 1:50 Sag nr. 14.087.00



Lokalitetsspecifikke forskelle

| Adresse | Peder Kællers vej 23 | Mosevej 2C | Frederiksbjerg Torv 10 | Karolinegade 1C | Peder Kællers vej 31 |
|---------------------------|--|---|--|---|---|
| Generelt | | | | | |
| Land/by | Opland | Land | By | By | Opland |
| Beboet | Ja | Ja | Ja | Ja | Nej |
| Opførselsår | 2006 | 2006 | 1901 | 1903, renoveret 2003 | 2006 |
| Størrelse, m ² | 123,7 | 162 | | | 99,6 |
| Forurenet | Nej | PCE | PCE | PCE | Nej |
| Byggeteknik | | | | | |
| Terrændæk | 14 mm lamelparket Dampspærre 100 mm betondæk 400 mm polystyren | Betondæk med isolering, begge af ukendt tykkelse. | 100 mm betondæk R.A.C. membran 200 mm polystyren | Nye gulve er støbt direkte på de oprindelige gulve (ukendt opbygning). Det forventes af de nye gulve er ca. 100 mm tykke. | 14 mm lamelparket Dampspærre 100 mm betondæk 400 mm polystyren |
| Kapillar- brydende lag | 100 mm letklinker | Grus af ukendt tykkelse. | 250 mm letklinker | Ukendt | 100 mm letklinker |
| Bygnings- konstruktion | Indervægge af beton, ydervægge af tegl, tag af tagpap. Teknikskab i bryggers. | Opført i murværk. | Ejendommen er opført i murværk. Facaden ud mod Frederiksbjerg Torv er pudset. | Opført i murværk. | Indervægge af beton, ydervægge af tegl, tag af tagpap. Teknikskab i bryggers |
| Skorsten | Nej | Nej | Ja | Nej | Nej |

| | | | | | |
|--------------------|---|--|---|--|---|
| Generel tilstand | Nyopført u skader | Nyopført u skader | Huset fremstår velholdt. Der er enkelte svind revner i facaden ud. | Facaderne på den oprindelige del af bygningen fremstår med sætningsskader og ødelagte fuger. Vinduer, døre samt indvendigt fremstå nyt (fra 2003). | Nyopført u skader |
| Anvendelsesmønster | Enfamiliehus, 2 beboere med arbejde i dagtimer. Rent og veludluftet indeklime | Enfamiliehus (børnefamilie). Beboere har begge arbejde/skole i dagtimerne. Indeklimaet er veludluftet og renligt | Ejendommen anvendes til lejligheder. De fleste af beboerne er udearbejdende og der er generelt veludluftet. I den ubeboede del af kælderetagen står der ofte et vindue åbent. | Ejendommen anvendes til beboelses lejligheder. De fleste af beboerne er udearbejdende, så i dagtimerne vil lejlighederne være tillukket. | Ubeboet. Bliver dog jævnligt rengjort. |
| Kælderforhold | Ingen kælder | Ingen kælder | Fuld kælder. Kældergulvet er beliggende ca. 1,25 m u.t. Adgang til ubeboet vaskekælder udendørs. Adgang beboet kælder direkte fra lejligheden i stueetagen | Ingen kælder | Ingen kælder |
| Udearealer | Nordlige og sydlige side; græs. Østlig side; indkørsel og carport. | Vestlig og østlig side; græs. Nordlig side; indkørsel og carport. | Alle udendørs arealer er befæstet med sten, beton eller asfalt. | Alle udearealer er befæstet med enten fliser eller asfalt. | Nordlige, vestlige og sydlige side; græs. Østlig side; indkørsel og |

| | | | | | |
|------------------------|---|---|---|--|---|
| | Vestlig side; terrasse. | Sydlig side; terrasse. | | | carport. |
| Radonsikring | Kantmembran af polyethylen, ført under betondækket. Gennembrudt ved vinduespartier. | Ingen kendt | Diffusionstæt R.A.C. membran over hele kældergulvet. | Ingen kendt | Kantmembran af polyethylen, ført over betondækket. Gennembrudt ved vinduespartier. |
| Ventilation | Varmegenvinding. Eldreven ventilation ved køkken og bad. | Eldreven ventilation ved køkken og bad. | Der er fra badeværelser og køkkener i alle lejligheder aktiv udsugning. | Der er fra badeværelser og køkkener i alle lejlighederne aktiv udsugning. | Varmegenvinding. Eldreven ventilation ved køkken og bad. Boligen ventileres ikke idet den ikke er beboet. |
| Særlige installationer | Passiv ventilation af kapillarbrydende lag med Ø80mm drænrør og SupaVent 10" vindhætte og friskluftindtag i modsat side af huset. | Ingen | Passiv ventilation af kapillarbrydende lag med Ø80mm drænrør og 2x SupaVent 10" vindhætte og med friskluftindtag i gården | Ingen | Passiv ventilation af kapillarbrydende lag med Ø80mm drænrør og SupaVent 10" vindhætte og friskluftindtag i modsat side af huset. |
| Rørgennemføringer | Tætnet med 2-komponent højflexibel svummørtel | Udført efter almindelig dansk standard | Udført med membranmanchetter og støbt i betongulv. | Ikke muligt at besigtige gennemføringerne. | Udført efter almindelig dansk standard |
| Varmeinstallation | Fjernvarme med fordeling fra teknikskab | Fjernvarme. Der er gulvvarme i visse dele af huset. Desuden installeret varmepumpe. | Fjernvarme med fordeling fra kælder. | Fjernvarme. Der er gulvvarme i stueetagen. Fordeling fra teknikskab i entré. | Fjernvarme med fordeling fra teknikskab |
| Indretning | Entre: 7 m ² Bryggers: 5,2 m ² | Ukendt | Ukendt | Ukendt | Entre: 7 m ² Bryggers: 5,2 m ² |

| | | | | | |
|------------------------------|---|---|--|---|--|
| | Bad: 6 m ² Soveværelse: 14,7 m ² Køkken: 11,2 m ² Stue: 41 m ² Gæsteværelse: 9,9 m ² Værelse: 9,9 m ² Køkken og stue i ét | | | | Bad: 6 m ² Soveværelse: 14,7 m ² Køkken: 10,4 m ² Stue: 31,9 m ² Værelse: 8,7 m ² Køkken og stue i ét |
| Området | | | | | |
| Lokalitets- specifikation | Beliggende i udkanten af Horsens by, i nærheden af Boller Skov. Lav bebyggelse mod vest og syd, forholdsvis åbent landskab mod nord og øst. Huset er omgivet af lignende parcelhuse. | Beliggende i udkanten af Skuldelev by. Lav bebyggelse mod vest og syd, forholdsvis åbent landskab mod nord og øst. Huset er omgivet af lignende parcelhuse. | Beliggende i midten af Århus by. Bebyggelse af lignende højde til alle sider. | Beliggende i midten af Skive by. Bebyggelse af lignende højde til alle sider. | Beliggende i udkanten af Horsens by, i nærheden af Boller Skov. Lav bebyggelse mod vest og syd, forholdsvis åbent landskab mod nord og øst. Huset er omgivet af lignende parcelhuse. |
| Område- beskrivelse | Ejendommen er afgrænset af lav, utæt hæk. Ingen høje træer i umiddelbar nærhed. Boligen har selvstændig carport placeret umiddelbart mod øst. Peder Kællers vej støder op til grundens nordlige del. Grundens vestlige og | Ejendommen er afgrænset af lav, utæt hæk og buske. Træer i østlige, sydlige og nordlige skel. | Ejendommen ligger med sydligøstlig facade ud til Frederiksbjerg Torv, med Schleppegrellsgade passerende forbi. Gårdareal mod nordvest. Ejendommen er en del af større boligkompleks. | Ejendommen ligger med sydlig facade ud til Karolinegade. Mindre gårdareal mod nord. Ejendommen er en del af større boligkompleks. | Ejendommen er afgrænset af lav, utæt hæk. Boligen har selvstændig carport placeret umiddelbart mod øst. Peder Kællers vej støder op til grundens nordlige del. Grundens vestlige side afgrænses af højere træer og støder op til |

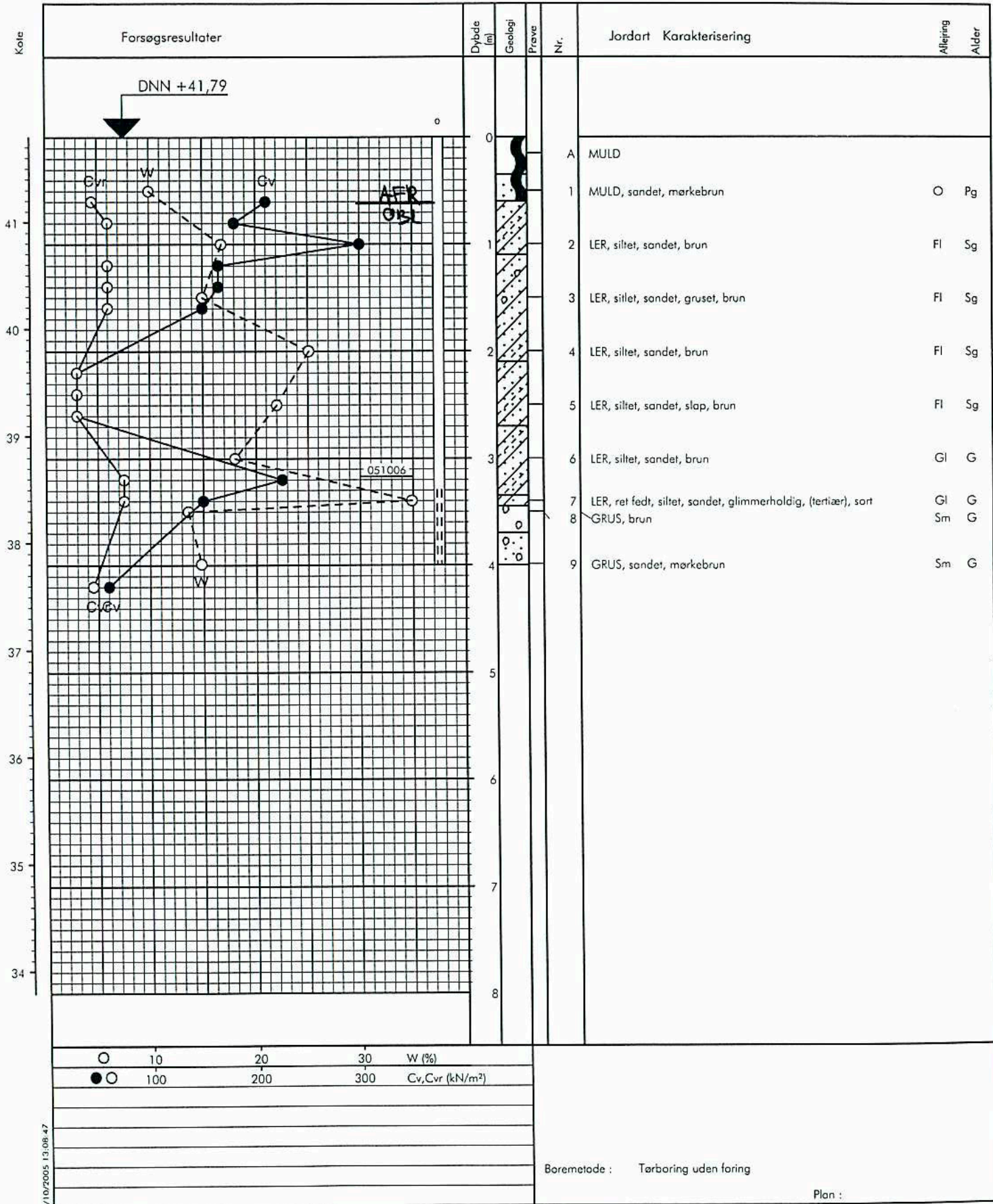
| | | | | | |
|-------------------------------|---|--|---|--|--|
| | sydlige side afgrænses af lignende bebyggelse. | | | | Højvangs allé. Grundens sydlige side afgrænses af lignende bebyggelse. |
| Geologi | | | | | |
| Kote DNN | +41,79 | +6,69 | +14 | +14 | +42,19 |
| Området geologiske oprindelse | Randmorænelandskab fra sidste istid. | Morænelandskab fra sidste istid. | Morænelandskab fra sidste istid. | Morænelandskab fra sidste istid. | Randmorænelandskab fra sidste istid. |
| Lokalområdets geologi | Lagfølge af muld, flydeler og moræneler. | Vekslende sand og lerlag. Mulighed for dødisrelief. | Overvejende lerbund. | Overvejende lerbund. | Lagfølge af muld, flydeler og moræneler. |
| Lokalitetsspecifik geologi | Under fyldlaget er der truffet senglaciale flydelersaflejringer til 2,7 m u.t. underlejret af leraflejringer til 3,4 m u.t. Herunder er der truffet glaciale smeltevandsaflejringer af grus til boringens bund 4,0 m u.t. | Under fyldlaget er der truffet senglaciale flydelersaflejringer til 3,2 m u.t. underlejret af smeltevandssand til 6,7 m u.t. Herunder er der truffet glaciale morænelers aflejringer til boringens bund 9,0 m u.t. | Under fyldlaget er der truffet ler til 5,1 m u.t. herunder er der leret/siltet sand til boringens bund 8 m u.t. | Under et fyldlag på ca. 0,7-1,3 m, er der truffet vekslende lag af sand og ler til boringens bund ca. 4,0-5,0 m u.t. | Under fyldlaget er der truffet senglaciale flydelersaflejringer til 2,7 m u.t. underlejret af siltet, sandet moræneler til boringens bund 4,0 m u.t. |
| Vandspejl DNN | +38,6 | Ukendt | +7,6 | +11,9 | +38,2 |

Geotekniske boringer

- Bilag 1.3.1: Peder Kællers vej 23
- Bilag 1.3.2: Mosevej 2C
- Bilag 1.3.3: Frederiksbjerg Torv 10
- Bilag 1.3.4: Karolinegade 1C
- Bilag 1.3.5: Peder Kællers vej 31

Bilag 1.3.1

Boreprofil

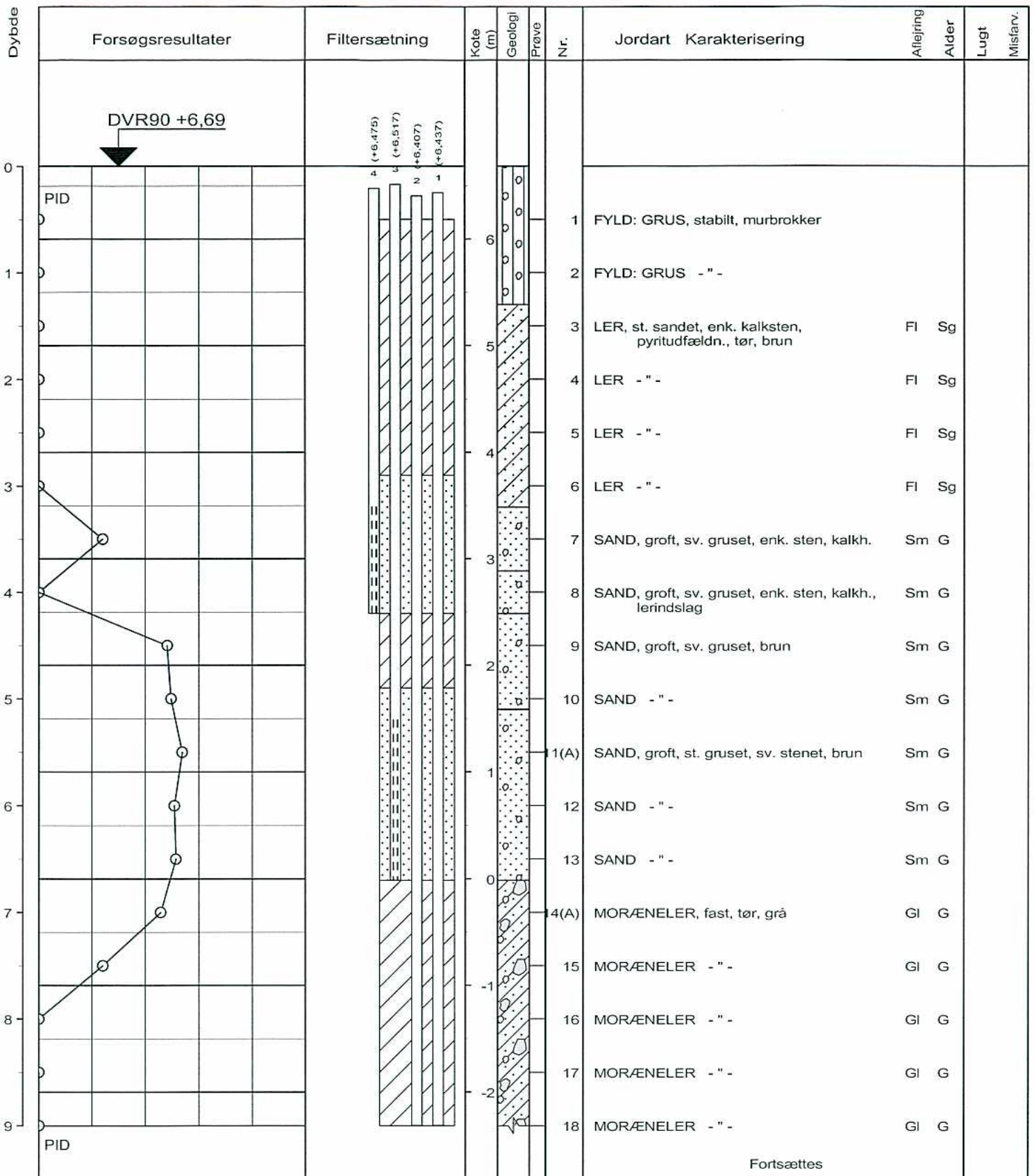


Beregnet - FFGDK 1.0 - 10/10/2005 13.08.47

Sag : 05.1071 Højvangsalle, Horsens

Strækning : Boret af : JR Dato : 20051004 Boring nr.: 15

Udarb. af : BWH Kontrol : *B* Dato : 13/10-05 Bilag nr.: 15 s. 1 / 1



Fortsættes

○ 1 10 100 1000 PID

(A): Prøve sendt til analyselaboratorium - : ingen mislugt
 * : svag mislugt
 (-F): ikke påvist fri fase m. SUDAN IV ** : middel mislugt
 (+F): påvist fri fase m. SUDAN IV *** : kraftig mislugt

Boremethode : 6" foret snegleboring

Sag : 03920.15 Vestergade 5, Skuldelev

Dato : 26-06-08 Boret af : GEO- & MILJØBORINGER DGU-nr.: Boring : KB126
 Udarb. af : MHN Kontrol : PTY Godkendt : MHN Dato : 15-08-08 S. 1 / 2



Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S

Borejournal

BRegister - PSTMDK 2.0 - 15/08/2008 08:34:50

| Dybde | Forsøgsresultater | Filtersætning | Kote (m) | Geologi | Prøve | Nr. | Jordart Karakterisering | Aflejring | Alder | Lugt | Misfarv. |
|-------|-------------------|--------------------------|----------|---------|-------|-----|--|-----------|-------|------|----------|
| 9 | PID | | | | | | | | | | |
| | | N (+6,407) 1 (+6,437) | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | 19 | MORÆNELER, fast, tør, grå | GI | G | | |
| | | | | | | 20 | MORÆNELER, fast, små våde sandslirer, tør, grå | GI | G | | |
| | | | | | | 21 | MORÆNELER - " - | GI | G | | |
| | | | | | | 22 | MORÆNELER - " - | GI | G | | |
| | | | | | | 23 | MORÆNELER - " - | GI | G | | |
| | | | | | | 24 | MORÆNELER - " - | GI | G | | |
| | | | | | | 25 | MORÆNELER, sv. sandet, hård, sv. fugtig | GI | G | | |
| | | | | | | 26 | MORÆNELER - " - | GI | G | | |
| | | | | | | 27 | MORÆNELER, små våde sandslirer, fast | GI | G | | |
| | | | | | | 28 | MORÆNELER - " - | GI | G | | |
| | | | | | | 29 | MORÆNELER - " - | GI | G | | |
| | | | | | | 30 | MORÆNELER - " - | GI | G | | |
| | | | | | | 31 | MORÆNELER, sv. sandet, sv. fugtig | GI | G | | |
| | | | | | | 32 | MORÆNELER - " - | GI | G | | |
| | | | | | | 33 | SAND, fint, leret, våd | Sm | G | | |
| 17 | PID | | | | | 34 | MORÆNELER, st. sandet, våd | GI | G | | |
| | | | | | | - | KALK | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | |

Fortsat

Ø 1 10 100 1000 PID

(A): Prøve sendt til analyselaboratorium - : ingen mislugt
 * : svag mislugt
 (-F): ikke påvist fri fase m. SUDAN IV ** : middel mislugt
 (+F): påvist fri fase m. SUDAN IV *** : kraftig mislugt

Boremetode : 6" foret snegleboring

Sag : 03920.15 Vestergade 5, Skuldelev

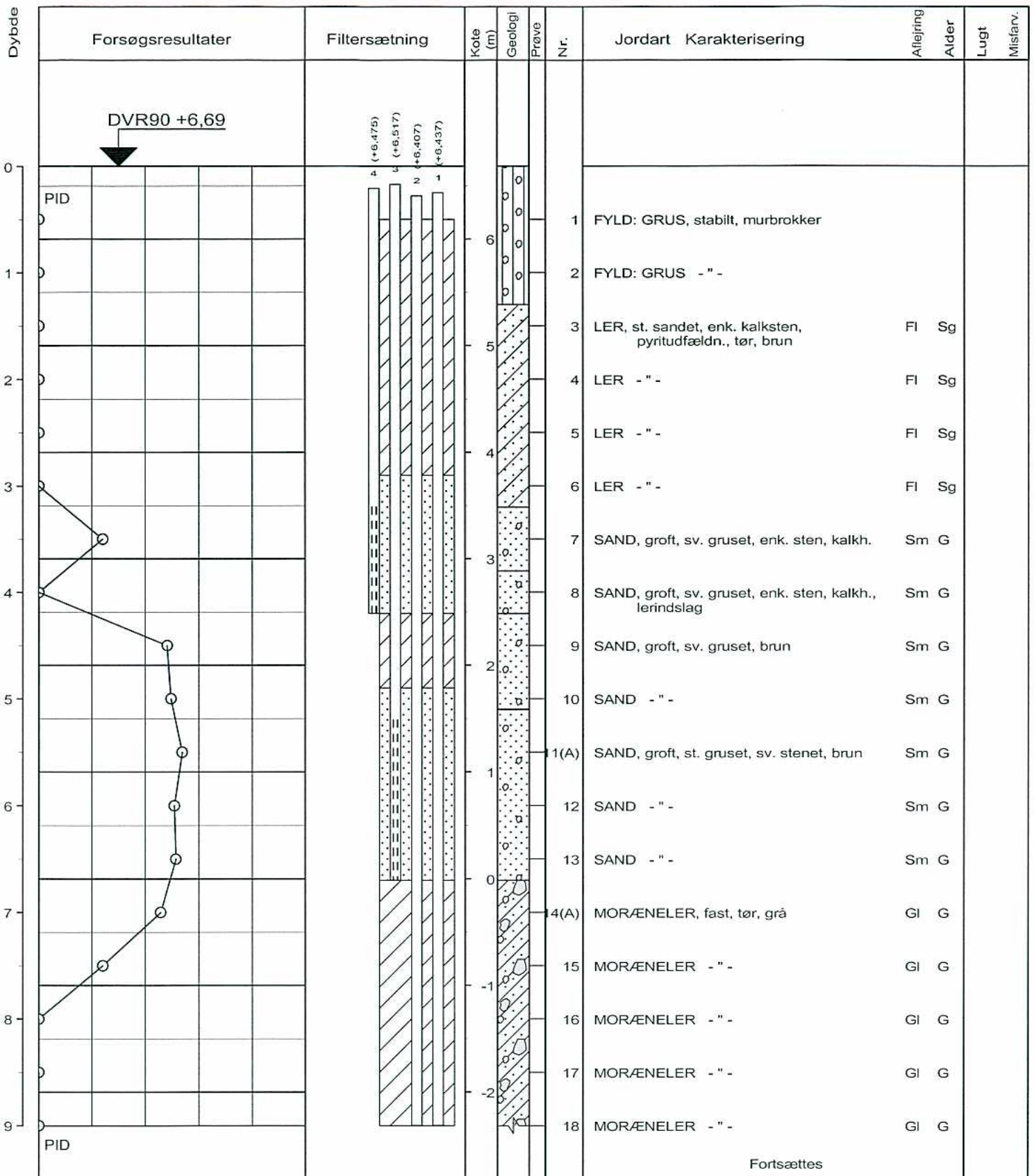
Dato : 26-06-08 Boret af : GEO- & MILJØBORINGER DGU-nr.: Boring : KB126
 Udarb. af : MHN Kontrol : PTY Godkendt : MHN Dato : 15-08-08 S. 2 / 2



Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S

Borejournal

BRegister - PSTMDK 2.0 - 15/08/2008 09:39:37



Fortsættes

○ 1 10 100 1000 PID

(A): Prøve sendt til analyselaboratorium - : ingen mislugt
 * : svag mislugt
 (-F): ikke påvist fri fase m. SUDAN IV ** : middel mislugt
 (+F): påvist fri fase m. SUDAN IV *** : kraftig mislugt

Boremethode : 6" foret snegleboring

Sag : 03920.15 Vestergade 5, Skuldelev

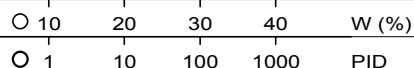
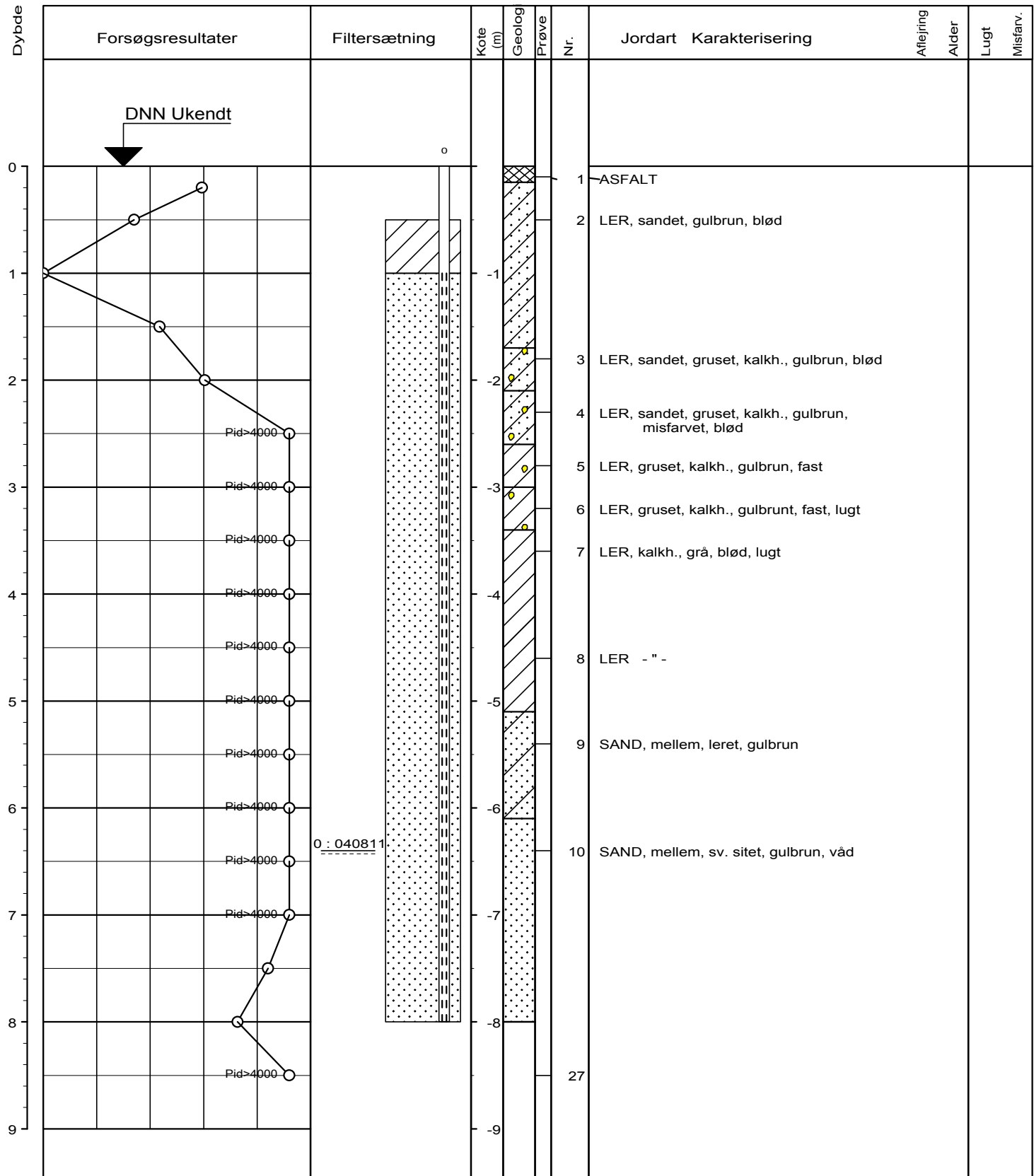
Dato : 26-06-08 Boret af : GEO- & MILJØBORINGER DGU-nr.: Boring : KB126
 Udarb. af : MHN Kontrol : PTY Godkendt : MHN Dato : 15-08-08 S. 1 / 2



Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S

Borejournal

BRegister - PSTMDK 2.0 - 15/08/2008 08:34:50



Optegnet efter boreformandens bedømmelser

Boremetode : Tørboring uden foring

Plan :

Sag : 30.4900.23 Århus, Frederiksberg Torv 10

Strækning : Boret af : Dato : 040701 DGU-nr.: Boring : B2
 Udarb. af : FiP Kontrol : Godkendt : Dato : Bilag : 2 s. 1 / 1



Tlf. 82 10 51 00, Fax 82 10 51 55
 Nordlandsvej 60, 8240 Risskov

Miljøprofil

BRRegister - PSTMDK 2.0 - 08/09/04 14:42:28

| Dybde | Forsøgsresultater | Filtersætning | Kote (m) | Geologi | Prøve | Nr. | Jordart Karakterisering | Aflejring | Alder | Lugt | Misfarv. |
|-------|---------------------|---------------|----------|---------|-------|-----|---|-----------|-------|------|----------|
| 0 | DVR90 +13,87 PID | | | | | | brosten FYLD: SAND, tør, gul | | | | |
| 1 | | | 13 | | | 1 | FYLD: SAND: MULD, stenet, tør, brun | | | - | |
| 2 | | | | | | 2 | FYLD: SAND: MULD - " - | | | - | |
| 3 | | | | | | 3 | LER, st. sandet, stenet, tør, brun | | | - | |
| 4 | | | | | | 4 | LER - " - | | | - | |
| 5 | | 1 : 080604 | | | | 5 | LER - " - | | | - | |
| 6 | | | | | | 6 | LER, st. sandet, stenet, blød, fugtig, brun | | | - | |
| 7 | | | | | | 7 | LER, st. sandet, stenet, våd, brun | | | - | |
| 8 | | | | | | 8 | LER - " - | | | - | |
| 9 | | | | | | 9 | SAND, sv. leret, våd, brun | | | - | |
| 10 | PID | | 9 | | | 10 | LER, sv. sandet, tør, grå | | | - | |
| 11 | | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | | | | |

○ 1 10 100 1000 PID

(A): Prøve sendt til analyselaboratorium

- : ingen mislugt
- * : svag mislugt
- ** : middel mislugt
- ***: kraftig mislugt

Boremetode : 6" uforet snegleboring

Sag : 09.997.00 Karolinegade 1, Skive

Dato : 20080526

Boret af : GLIBSTRUP A/S

DGU-nr.: 55.1183

Boring : B101

Udarb. af : LSR

Kontrol : MFS

Godkendt :

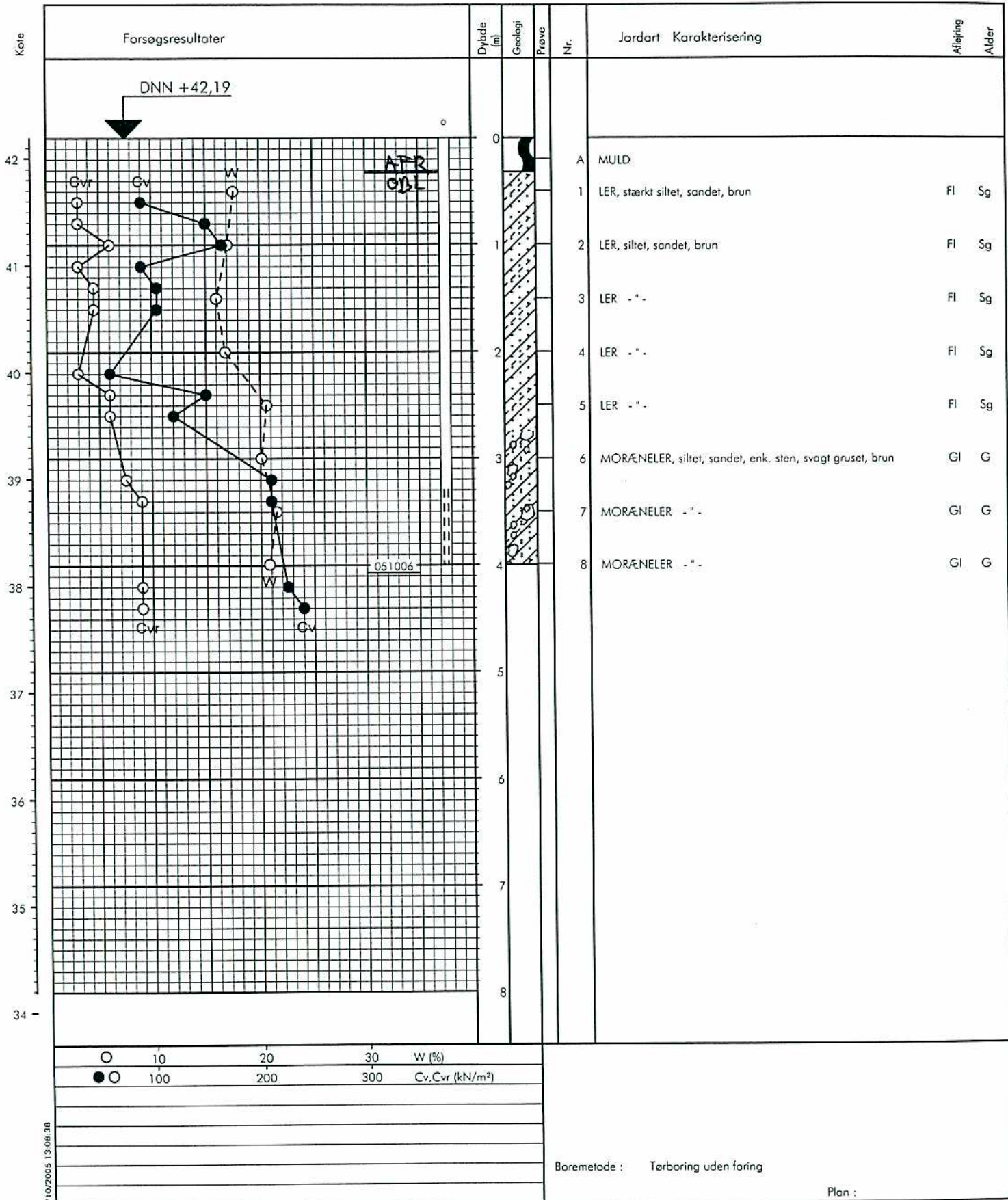
Dato :

S. 1 / 1

NIRAS

Borejournal

Boreprofil



BRegyster - PFGDK 1.0 - 10/10/2005 13.06.08

Sag : 05.1071 Højvangsalle, Horsens

Strækning : Boret af : JR Dato : 20051003 Boring nr.: 13

Udarb. af : BWH Kontrol : *B* Dato : 13/10-05 Bilag nr.: 13 s. 1 / 1

Måleprogram

Delprojekt 1

| Beskrivelse | Instrument (antal) | Placering | Målefrekvens | Måle-metode | VKL |
|--|----------------------------|--------------------------------|---------------|-------------|-----|
| Lokalitet 1, måleperiode 1 (09-10-2008 – 12-11-2008) | | | | | |
| Måling af radon i kapillarbrydende lag, fast målepunkt. | RAD7 (1) | MP1ud ¹⁾ | Pr. time | Log | Pa |
| Måling af radon i indeklima. Jævnfordeling af målepunkter i hele huset (3 værelser, stue, køkken og bryggers) og supplerende målinger hos naboen (værelse, stue). | Ramon (7) | Hus nr. 23: 7 Hus nr. 19: 2 | Hver 48. time | Ma | |
| Måling af trykdifferens mellem ude og inde. Målepunkterne er placeret med kort indbyrdes afstand. Ledningsføring gennem "åbent" vindue. Vinduet er dog trukket til og tætnet med fugebånd. | PA-267 (3) | Bryggers / ude | Pr. ½ time | Log | |
| Måling af atmosfærisk tryk og temperatur inde. | Barodiver (1) | Stue | Pr. ½ time | Log | |
| Vejrmålinger. Måling af vindhastighed og nedbør (ude) samt temperatur og tryk (ude og inde). Vejrstation udenfor er placeret på tag af carport, for at undgå påvirkning af læ/luvforhold | Ws-2300 vejrstation (1) | Bryggers / carport | Pr. time | Log | |

Ma Simpel radonmåling i indeklimaet, aflæsning af udstyr

Log Detaljeret radonmåling vha. kontinuerlig logning

VKL Passiv ventilation af kapillarbrydende lag: Ak (aktiv)/ Pa (lukket)

¹⁾ Placering af dræn i kapillarbrydende lag, se bilag 1.1.1.

Delprojekt 2, primære lokaliteter

| Beskrivelse | Instrument (antal) | Placering | Målefrekvens | Måle-metode | VKL |
|---|-------------------------|----------------------------------|------------------------|-------------|---------------|
| Lokalitet 1, måleperiode 1 (09-10-2008 – 12-11-2008) | | | | | |
| Måling af radon i kapillarbrydende lag, fast målepunkt. | RAD7 (1) | Under gulv ²⁾ | Pr. time | Log | Pa / Ak |
| Måling af radon inde. | AlphaGuard (1-2) | 2 forskellige steder i indeklima | Pr. time ¹⁾ | Log | |
| Måling af radon inde ¹⁾ . Manuel aflæsning og nulstilling pr. 48 timer. Jævnfordeling af målepunkter i hele huset. | Ramon (4) | Jævn fordeling i indeklima | Hver 48. time | Ma | |
| Måling af trykdifferens inde, ude og under gulv. Der anvendes eksisterende eller nye målepunkter. Der måles så vidt muligt under gulv, i det fri samt i indeklimaet samtidigt. På lokalitet 1 er kun målt differens mellem inde og ude. | PA-267 (3) | Under gulv/ude og inde/ude | Pr. ½ time | Log | |
| Måling af atmosfærisk tryk og temperatur inde. | Barodiver (1) | Stue | Pr. ½ time | Log | |
| Vejrmålinger. Måling af vindhastighed og nedbør (ude) samt temperatur og tryk (ude og inde). | Ws-2300 vejrstation (1) | Fritstående | Pr. time | Log | |

Ma Simpel radonmåling i indeklimaet, aflæsning af udstyr

Log Detaljeret radonmåling vha. kontinuerlig logning

VKL Passiv ventilation af kapillarbrydende lag: Ak (aktiv)/ Pa (lukket). Kun for lokalitet 1.

¹⁾ Ikke anvendt på alle lokaliteter.

²⁾ Placering af målepunkt i kapillarbrydende lag, se bilag 1.1.1 og 1.1.2.

Delprojekt 2, sekundære lokaliteter

| Beskrivelse | Instrument (antal) | Placering | Målefrekvens | Måle-metode | VKL |
|---|-------------------------|----------------------------------|----------------------------|-------------|---------------|
| Lokalitet 1, måleperiode 1 (09-10-2008 – 12-11-2008) | | | | | |
| Måling af radon i kapillarbrydende lag, fast målepunkt. | RAD7 (1) | Under gulv ²⁾ | Pr. time ¹ | Log | Pa / Ak |
| Måling af radon inde. | AlphaGuard (1-2) | 2 forskellige steder i indeklima | Pr. time ¹ | Log | |
| Måling af radon inde ¹⁾ . Manuel aflæsning og nulstilling pr. 48 timer. Jævnfordeling af målepunkter i hele huset. | Ramon (5) | Jævn fordeling i indeklima | Hver 48. time ² | Ma | |
| Måling af trykdifferens inde, ude og under gulv. Der anvendes eksisterende eller nye målepunkter. Der måles så vidt muligt under gulv, i det fri samt i indeklimaet samtidigt. På lokalitet 1 er kun målt differens mellem inde og ude. | PA-267 (3) | Under gulv/ude og inde/ude | Pr. ½ time ¹ | Log | |
| Vejrmålinger. Måling af vindhastighed og nedbør (ude) samt temperatur og tryk (ude og inde). | Ws-2300 vejrstation (1) | Fritstående | Pr. time ¹ | Log | |

Ma Simpel radonmåling i indeklimaet, aflæsning af udstyr

Log Detaljeret radonmåling vha. kontinuerlig logning

VKL Passiv ventilation af kapillarbrydende lag: Ak (aktiv)/ Pa (lukket). Kun for lokalitet 3 og 5.

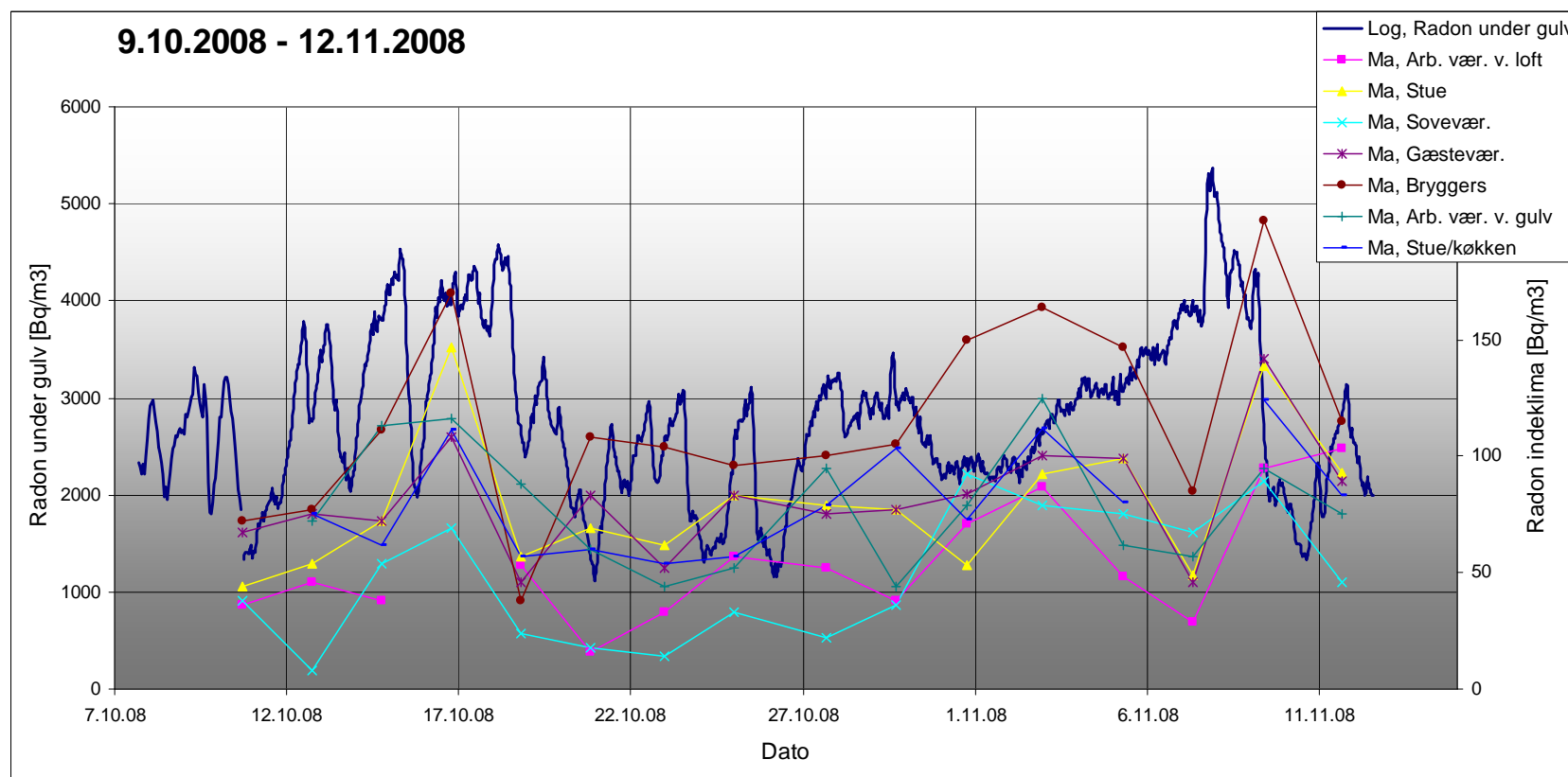
¹⁾ Ikke anvendt på alle lokaliteter.

²⁾ Placering af målepunkt i kapillarbrydende lag, se bilag 1.1.3 – 1.1.5.

Radonmålinger

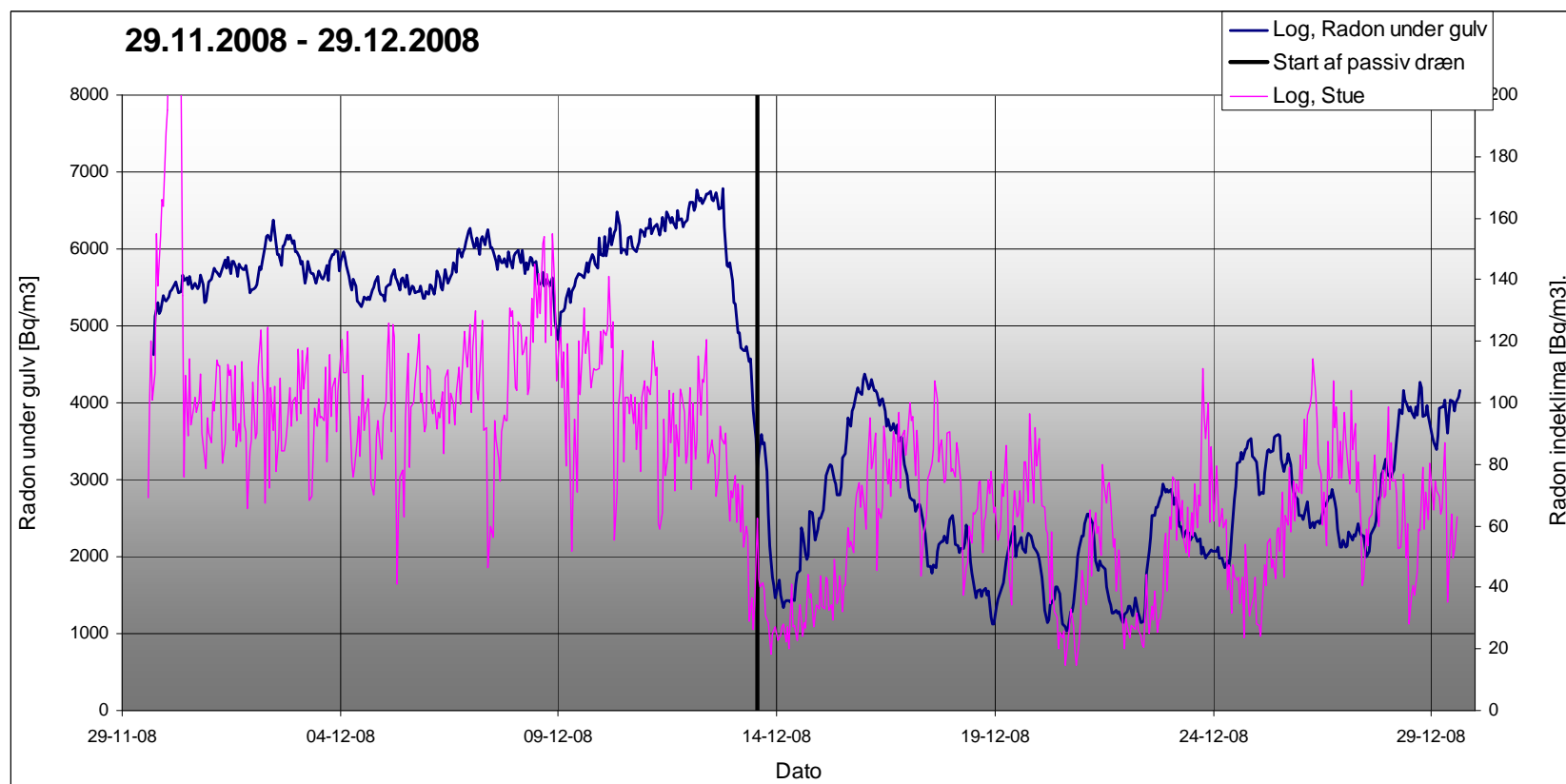
| | | |
|--------------|------------------------|---------------|
| Bilag 2.2.1: | Peder Kællers vej 23 | Måleperiode 1 |
| Bilag 2.2.2: | Peder Kællers vej 23 | Måleperiode 2 |
| Bilag 2.2.3: | Mosevej 2C | Måleperiode 3 |
| Bilag 2.2.4: | Frederiksbjerg Torv 10 | Måleperiode 4 |
| Bilag 2.2.5: | Karolinegade 1C | Måleperiode 5 |
| Bilag 2.2.6: | Peder Kællers vej 31 | Måleperiode 6 |

Radon i indeklima og under gulv, Peder Kællers vej 23, Måleperiode 1



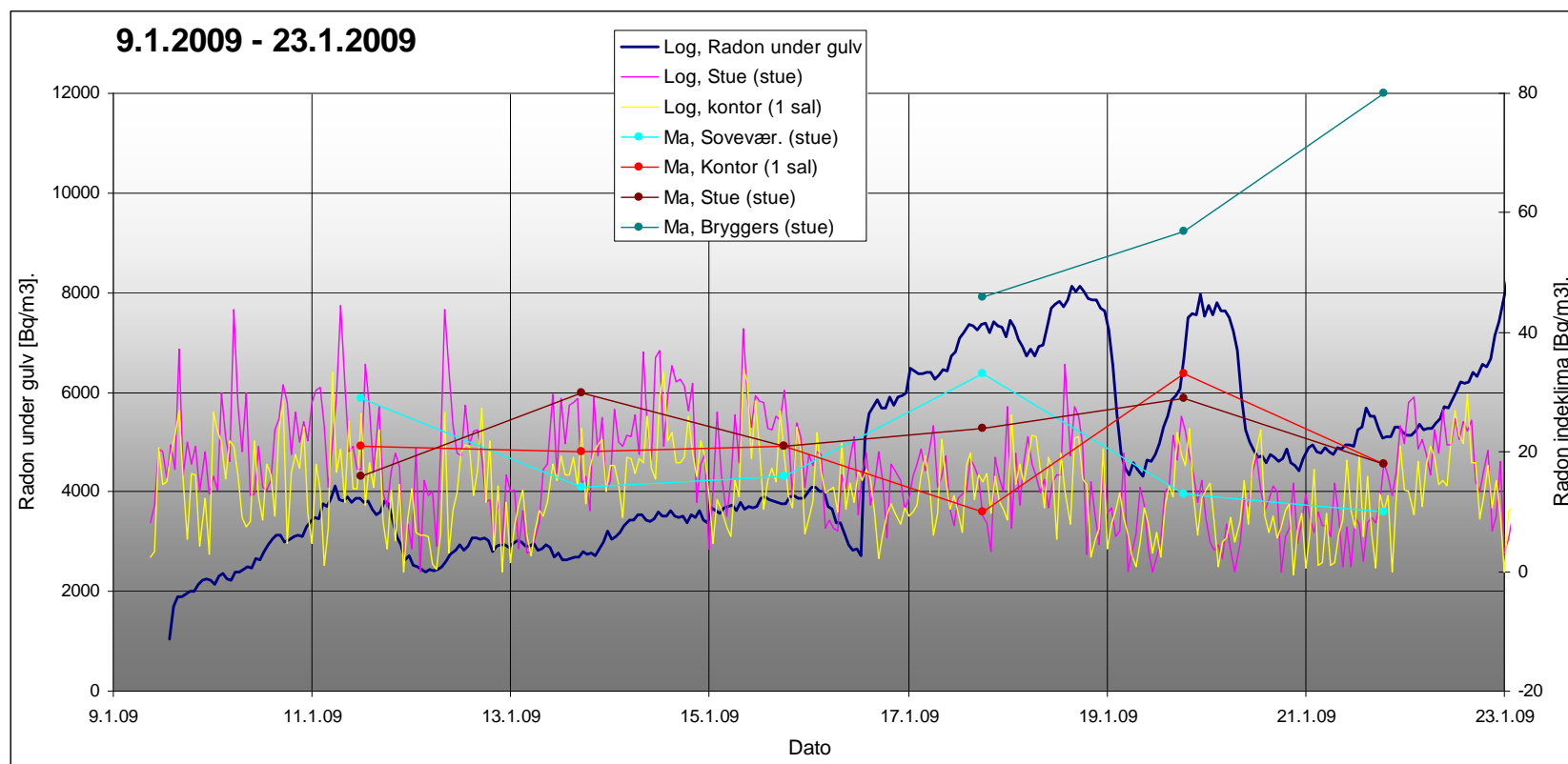
Ma Simpel radonmåling i indeklimaet, aflæsning af udstyr pr. 48. time.
 Log Detaljeret radonmåling vha. kontinuerlig logging

Radon i indeklima og under gulv, Peder Kællers vej 23, Måleperiode 2



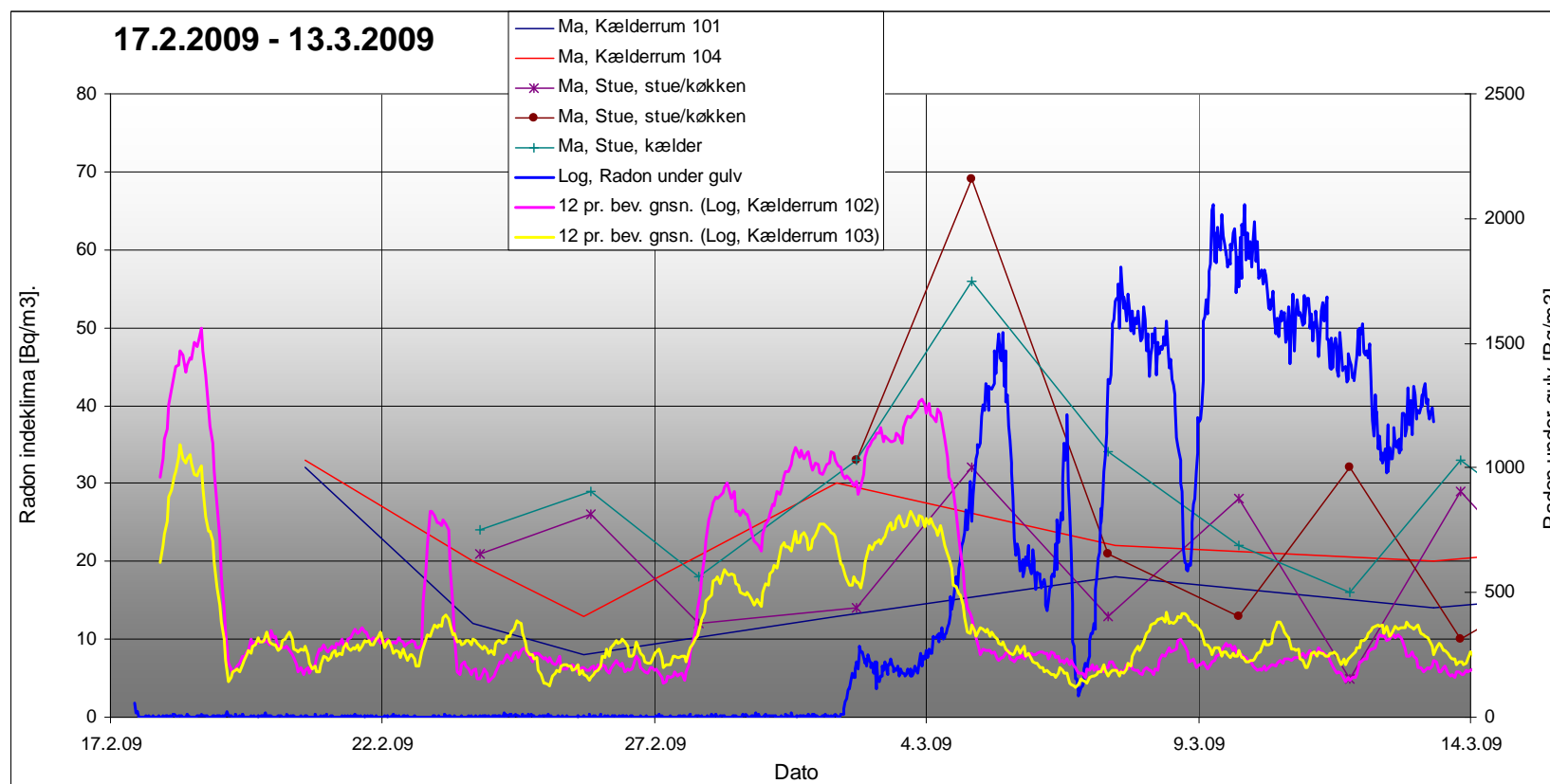
Log Detaljeret radonmåling vha. kontinuerlig logning

Radon i indeklima og under gulv, Mosevej 2C, Måleperiode 3



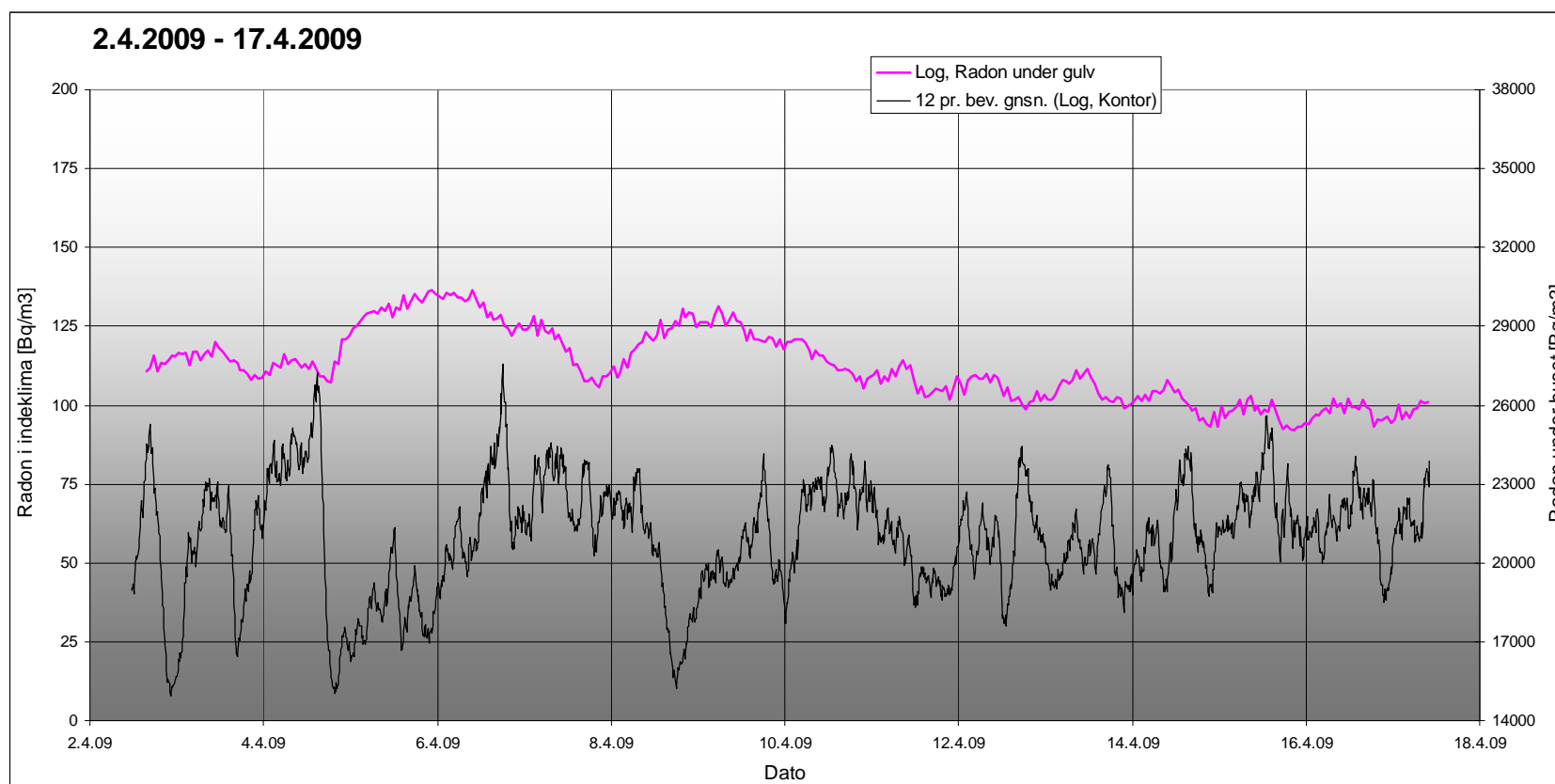
Ma Simpel radonmåling i indeklimaet, aflæsning af udstyr pr. 48. time.
 Log Detaljeret radonmåling vha. kontinuerlig logning

Radon i indeklima og under gulv, Frederiksbjerg Torv 10, Måleperiode 4



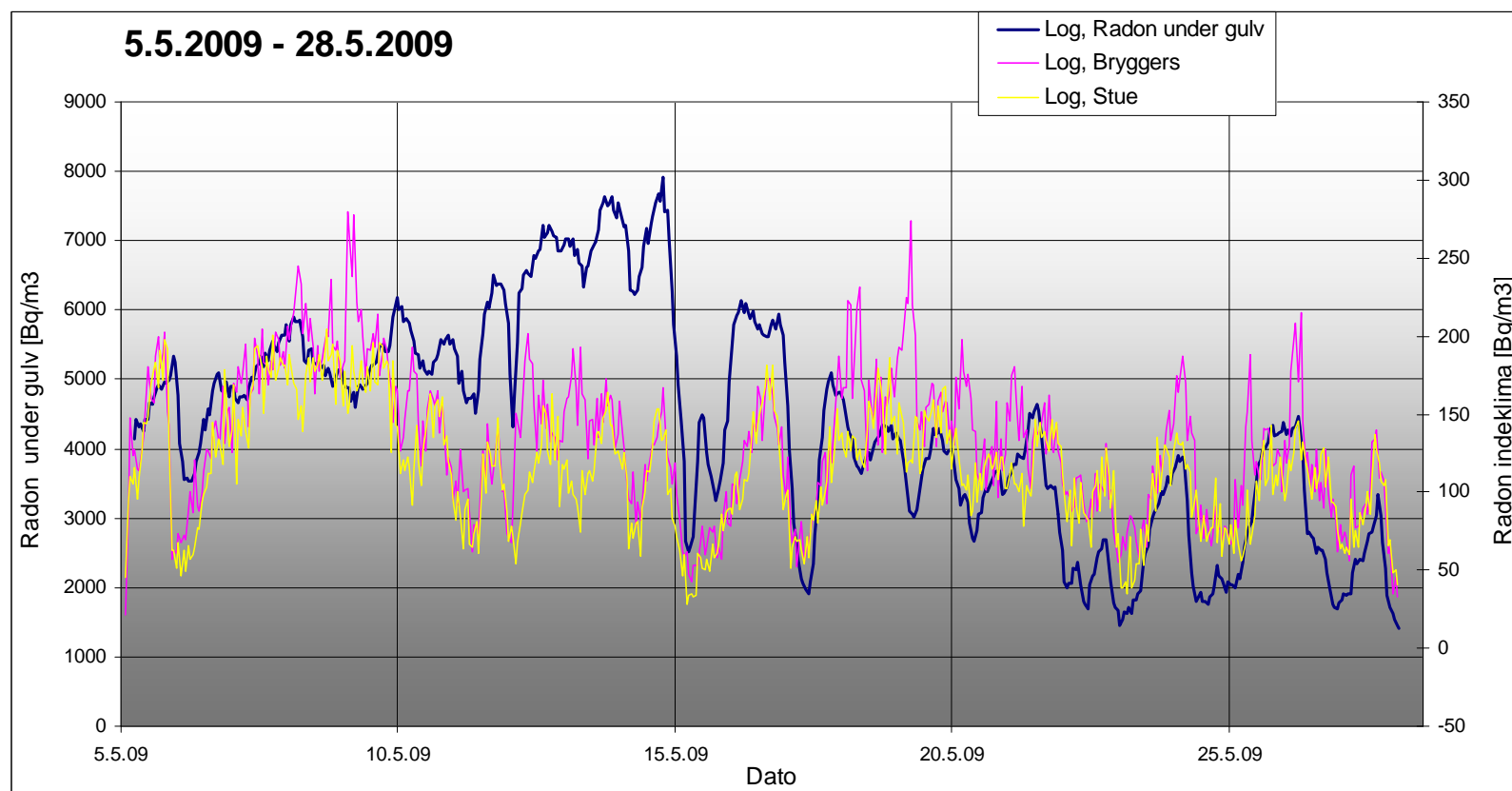
Ma Simpel radonmåling i indeklimaet, aflæsning af udstyr pr. 48. time.
 Log Detaljeret radonmåling vha. kontinuerlig logning

Radon i indeklima og under gulv, Karolinegade 1C, Måleperiode 5



Log Detaljeret radonmåling vha. kontinuerlig logning

Radon i indeklima og under gulv, Peder Kællers vej 31, Måleperiode 6

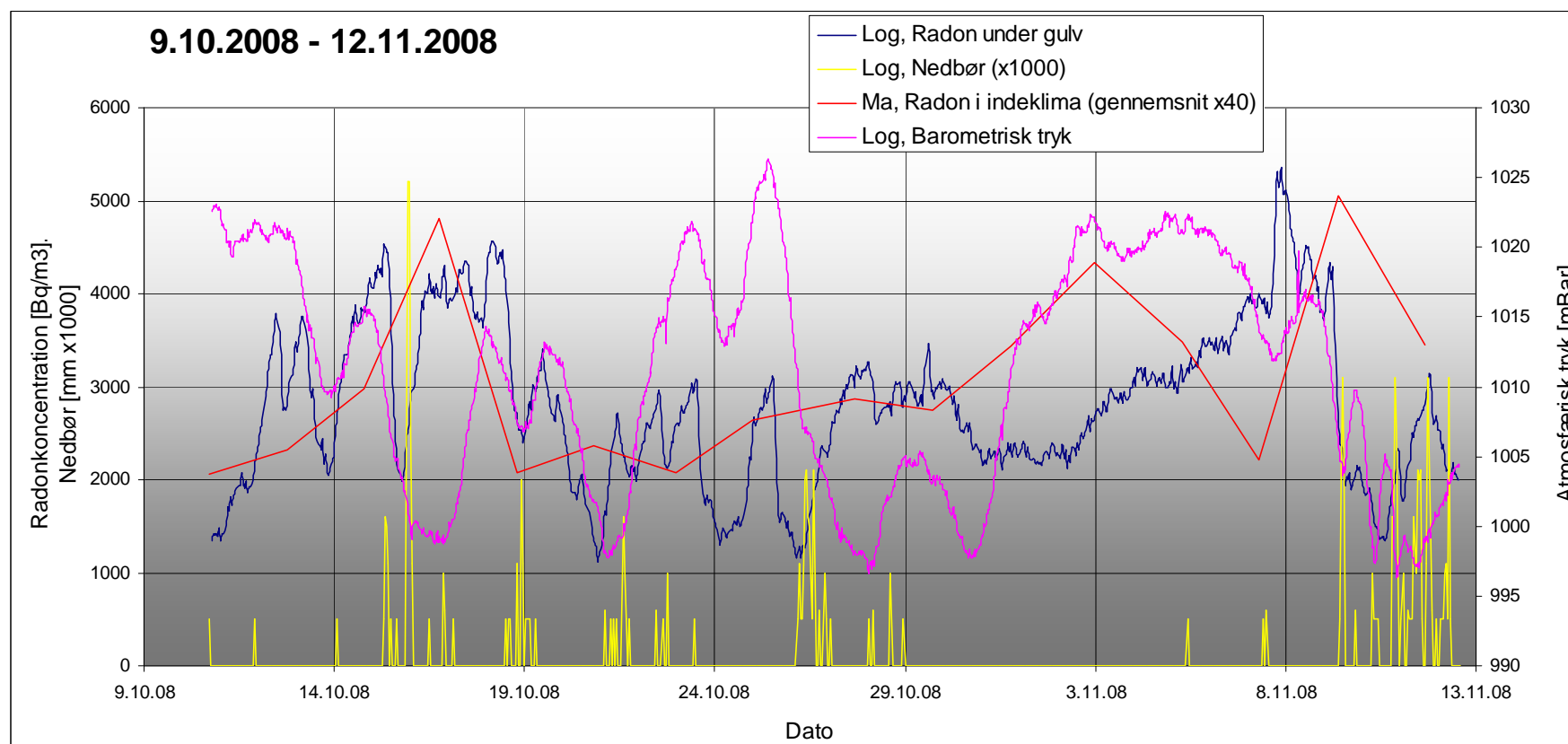


Log Detaljeret radonmåling vha. kontinuerlig logning

Radon og meteorologiske målinger

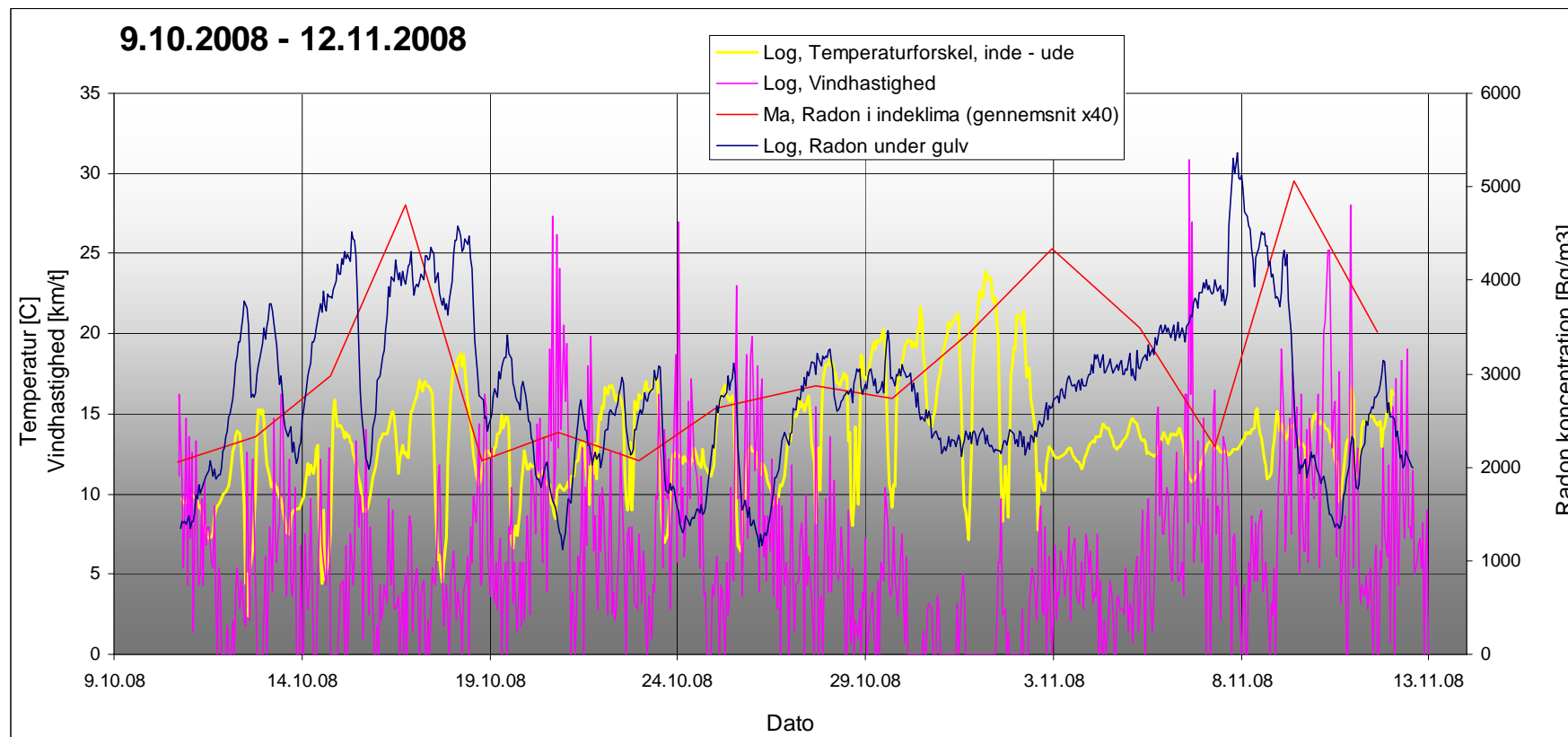
| | |
|--------------|------------------------|
| Bilag 2.3.1: | Peder Kællers vej 23 |
| Bilag 2.3.2: | Peder Kællers vej 23 |
| Bilag 2.3.3: | Mosevej 2C |
| Bilag 2.3.4: | Frederiksbjerg Torv 10 |
| Bilag 2.3.5: | Karolinegade 1C |
| Bilag 2.3.6: | Peder Kællers vej 31 |

Radon og meteorologiske data, Peder Kællers vej 23, Måleperiode 1



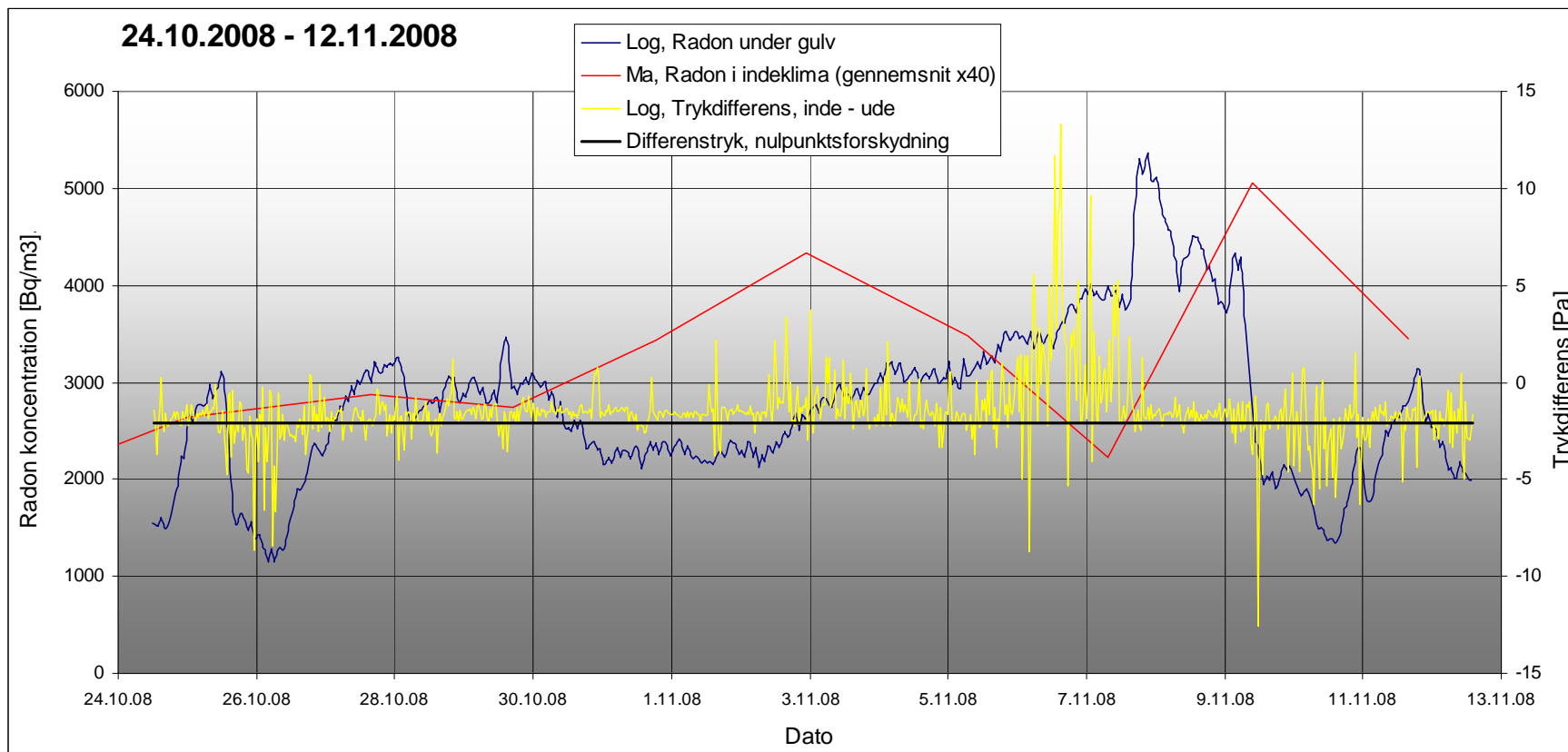
Ma Simpel måling i indeklimaet, aflæsning af udstyr pr. 48. time.
 Log Detaljeret måling vha. kontinuerlig logning

Radon og meteorologiske data, Peder Kællers vej 23, Måleperiode 1



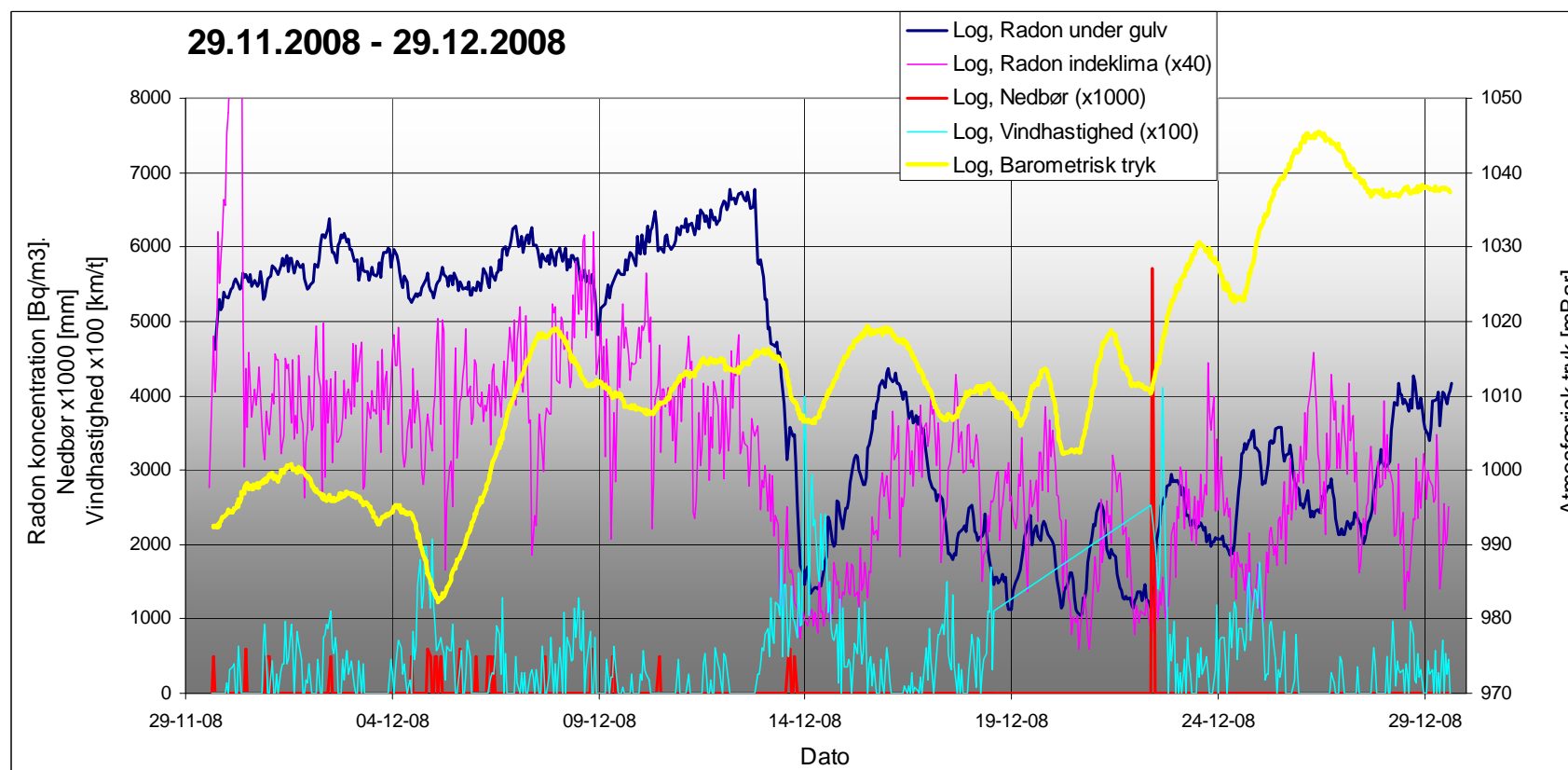
Ma Smpel måling i indeklimaet, aflæsning af udstyr pr. 48. time.
Log Detaljeret måling vha. kontinuerlig logning

Radon og meteorologiske data, Peder Kællers vej 23, Måleperiode 1



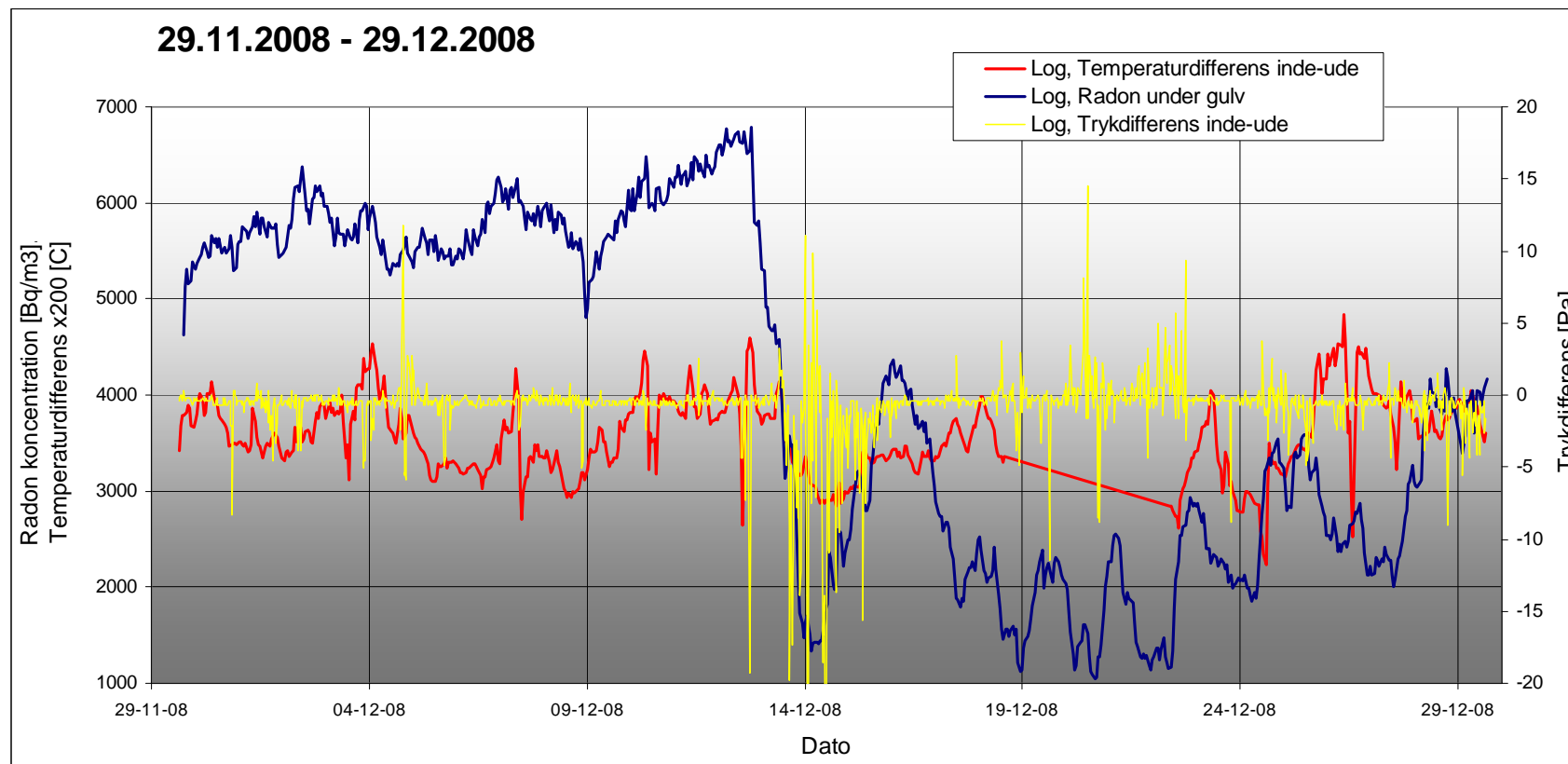
Ma Simpel måling i indeklimaet, aflæsning af udstyr pr. 48. time.
Log Detaljeret måling vha. kontinuerlig logning

Radon og meteorologiske data, Peder Kællers vej 23, Måleperiode 2



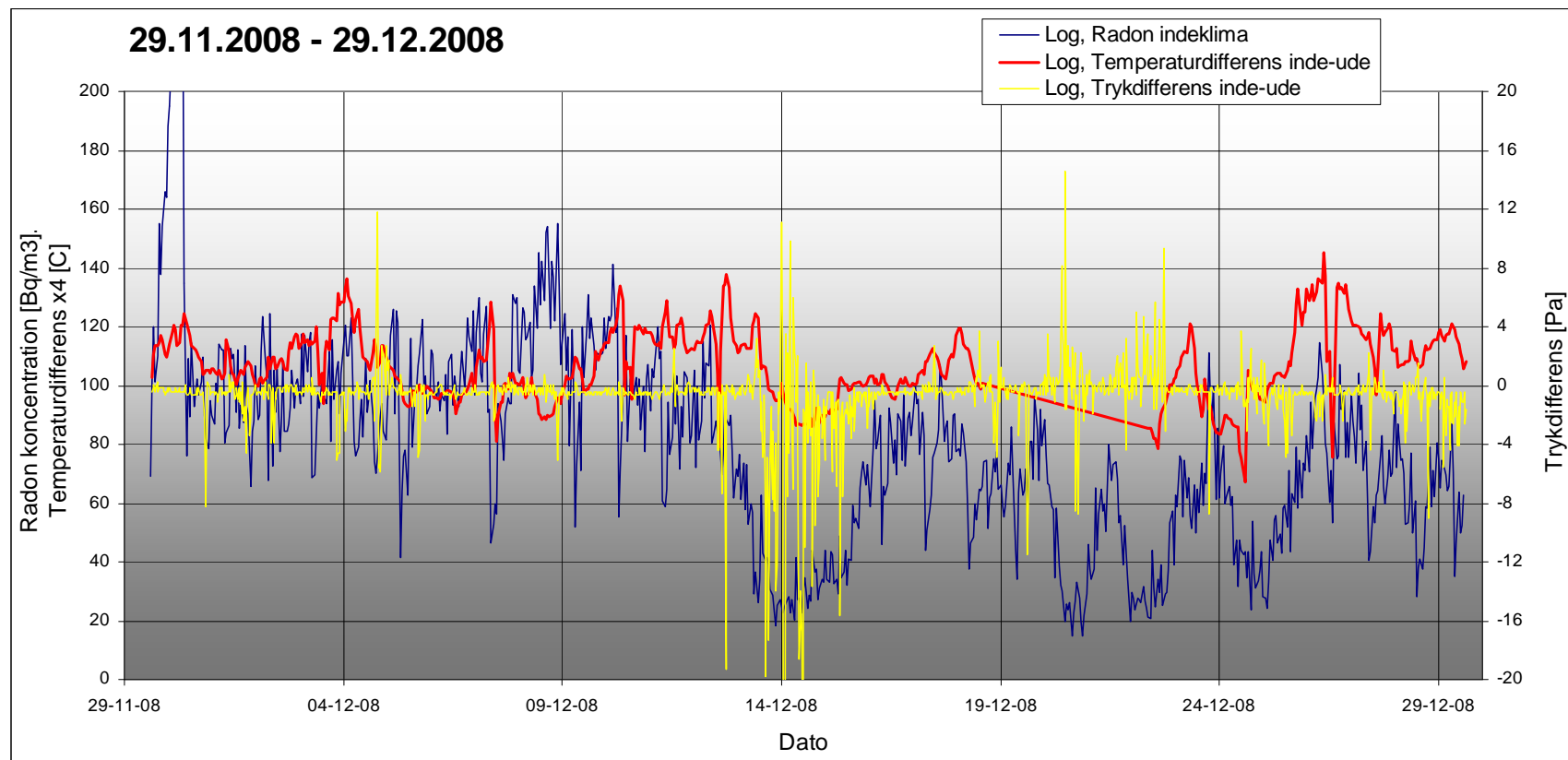
Ma Simpel måling i indeklimaet, aflæsning af udstyr pr. 48. time.
 Log Detaljeret måling vha. kontinuerlig logning

Radon og meteorologiske data, Peder Kællers vej 23, Måleperiode 2



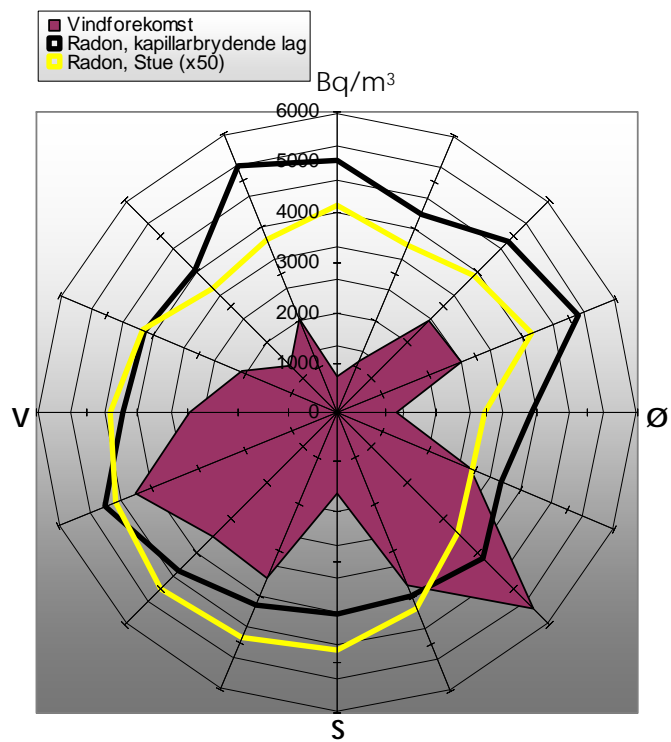
Ma Smpel måling i indeklimaet, aflæsning af udstyr pr. 48. time.
Log Detaljeret måling vha. kontinuerlig logning

Radon og meteorologiske data, Peder Kællers vej 23, Måleperiode 2

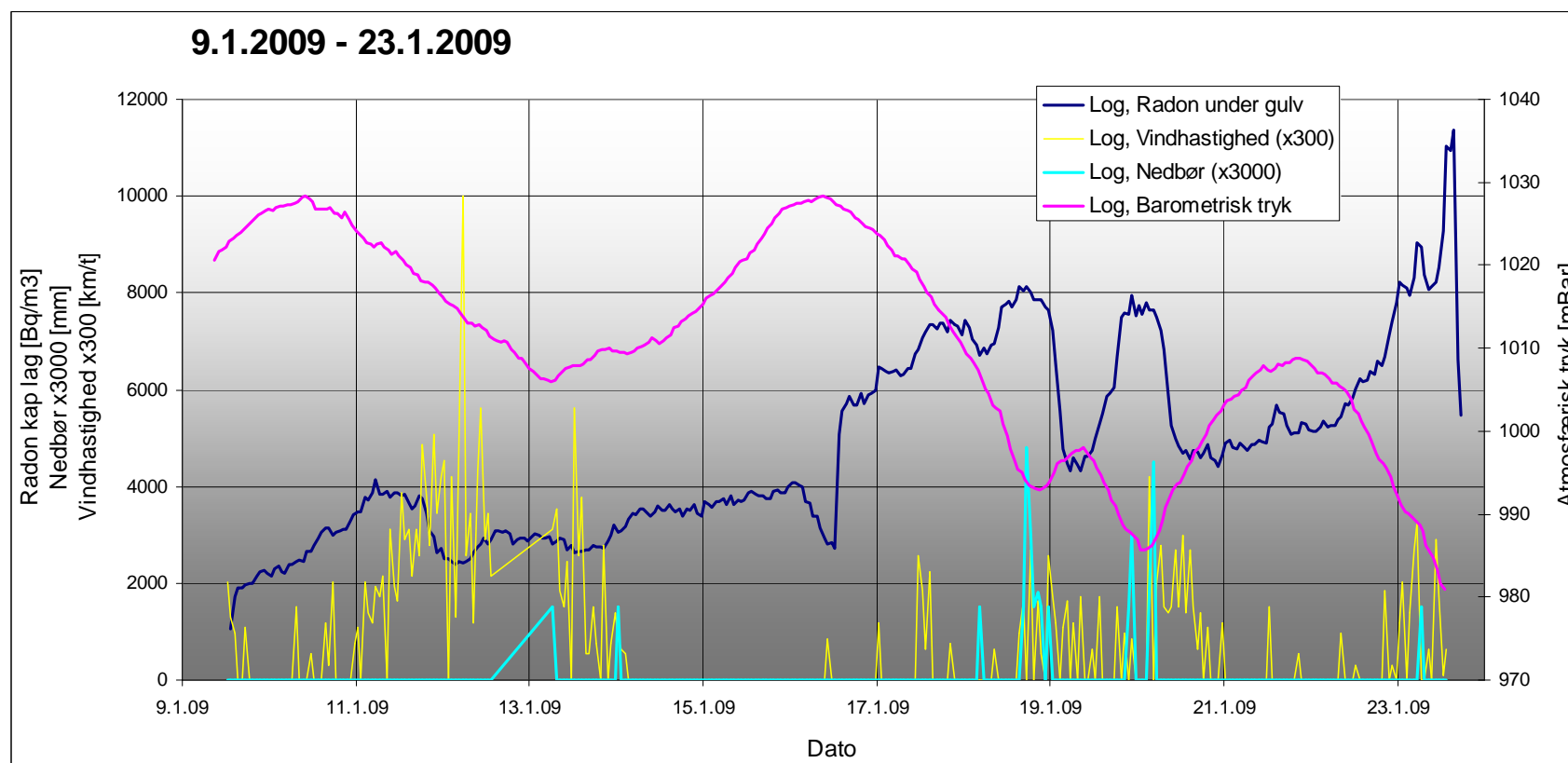


Ma Smpel måling i indeklimaet, aflæsning af udstyr pr. 48. time.
Log Detaljeret måling vha. kontinuerlig logning

Radonkoncentrationer og vindretning, Peder Kællers vej 23, Måleperiode 2

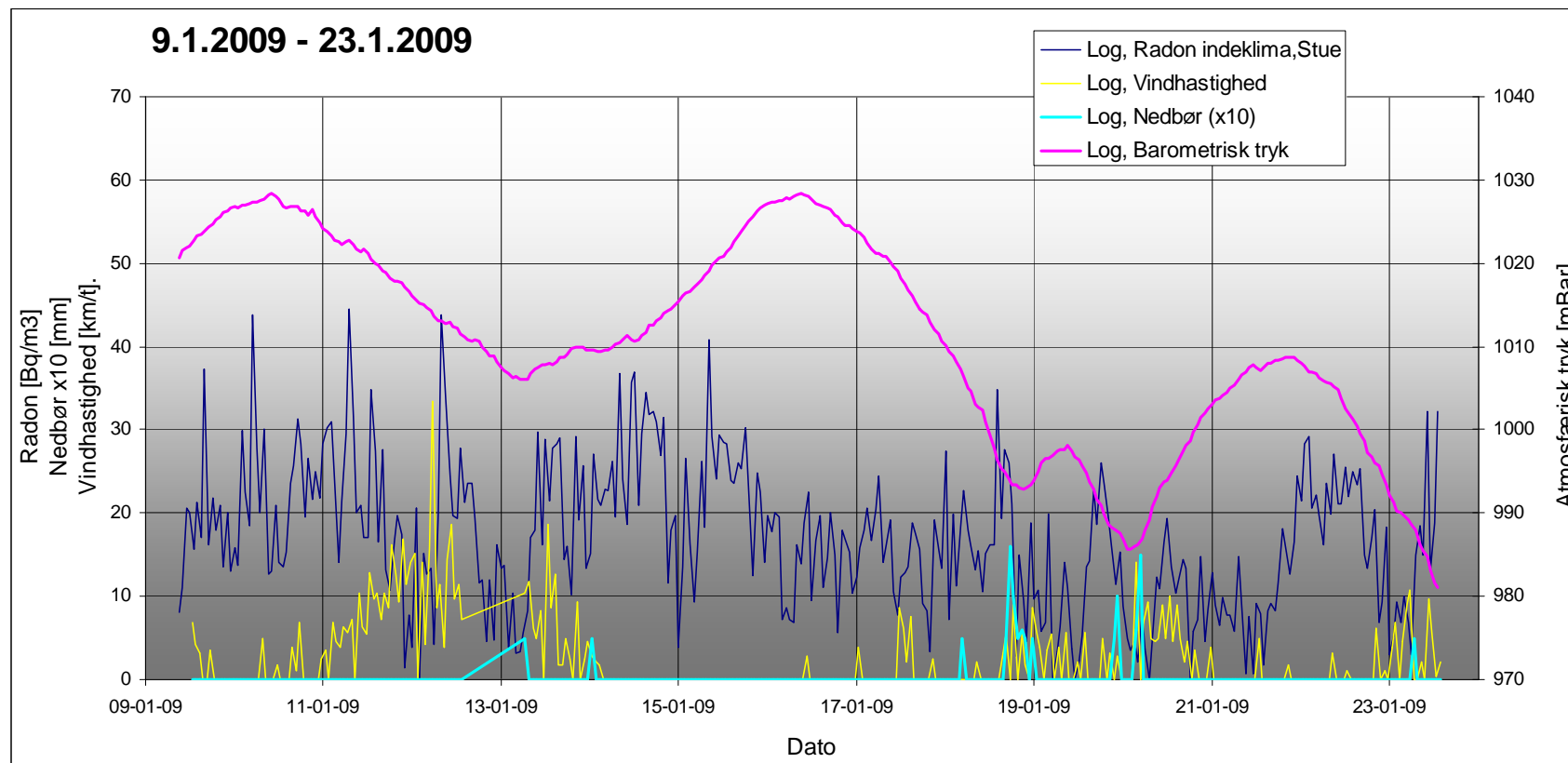


Radon og meteorologiske data, Mosevej 2C, Måleperiode 3



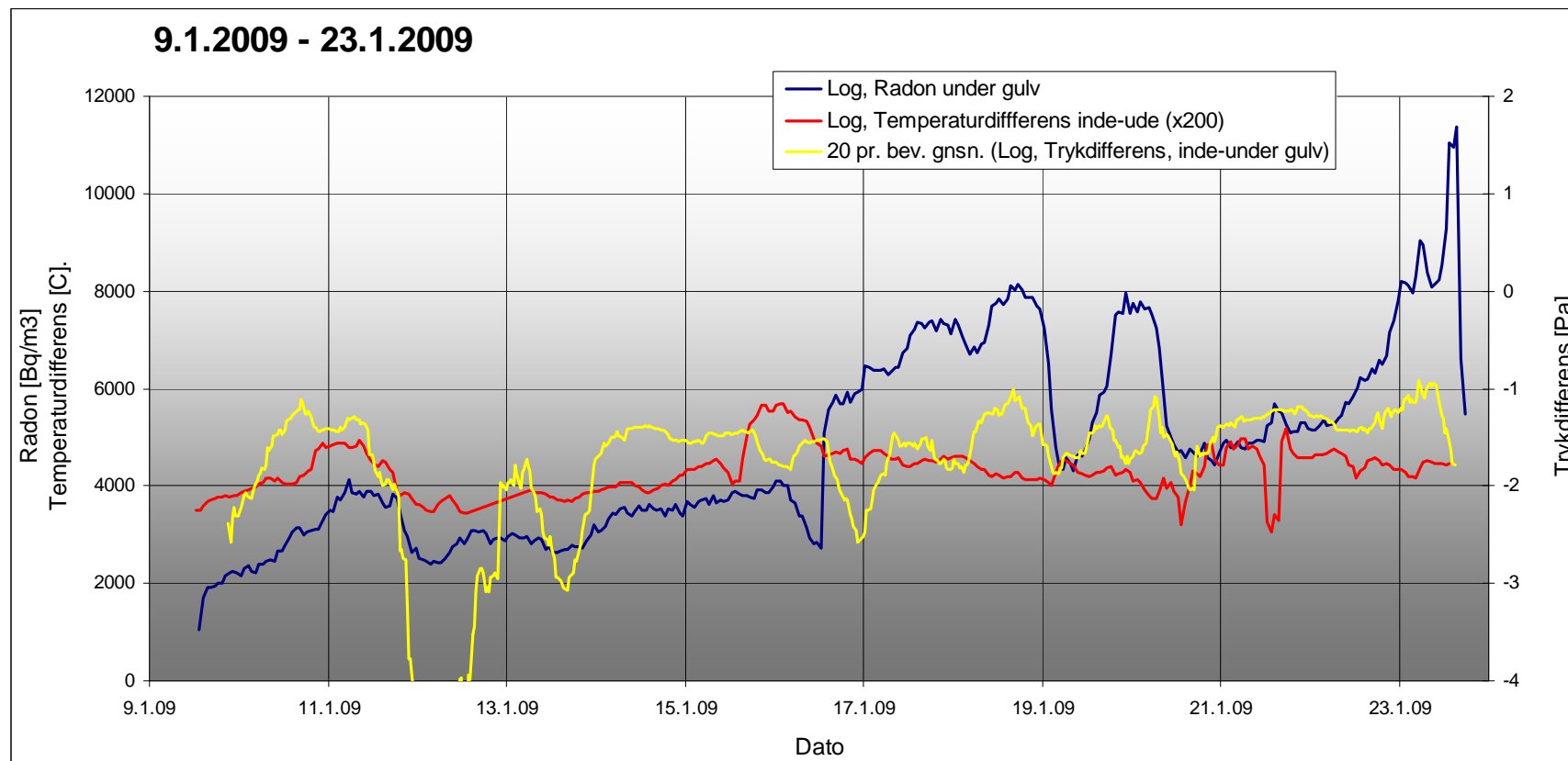
Log Detaljeret måling vha. kontinuerlig logging

Radon og meteorologiske data, Mosevej 2C, Måleperiode 3



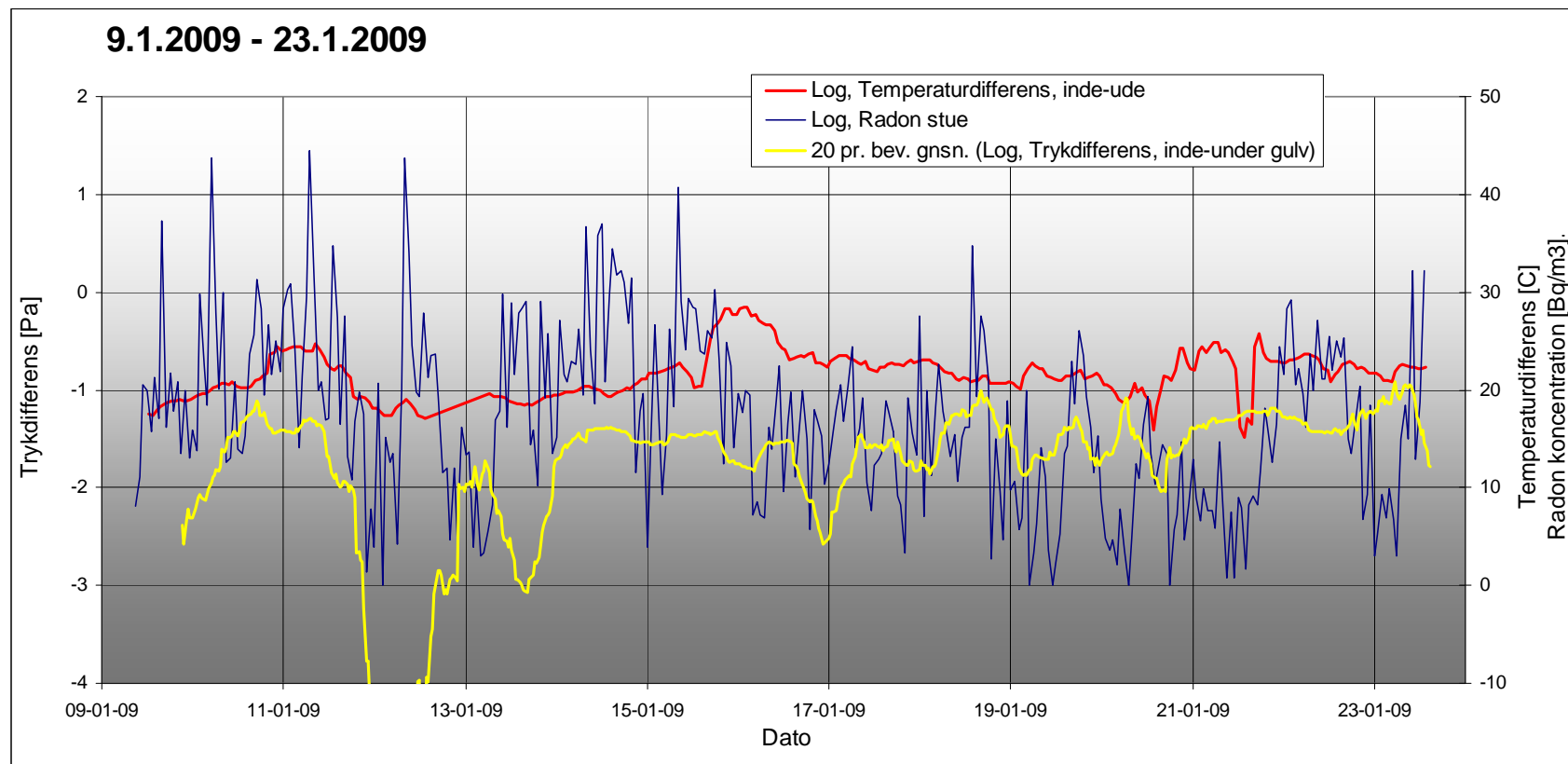
Log Detaljeret måling vha. kontinuerlig logging

Radon og meteorologiske data, Mosevej 2C, Måleperiode 3



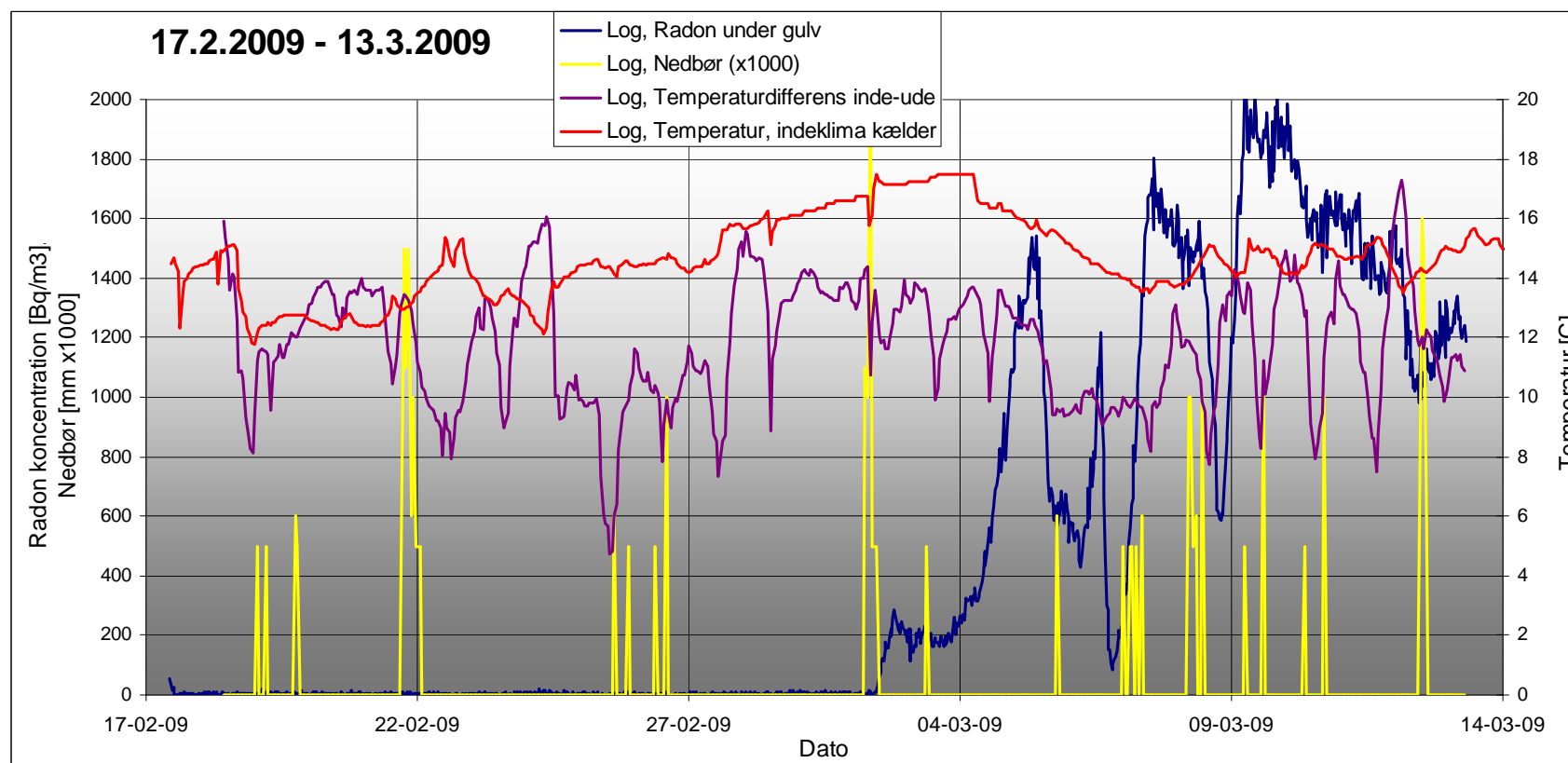
Log Detaljeret måling vha. kontinuerlig logning

Radon og meteorologiske data, Mosevej 2C, Måleperiode 3



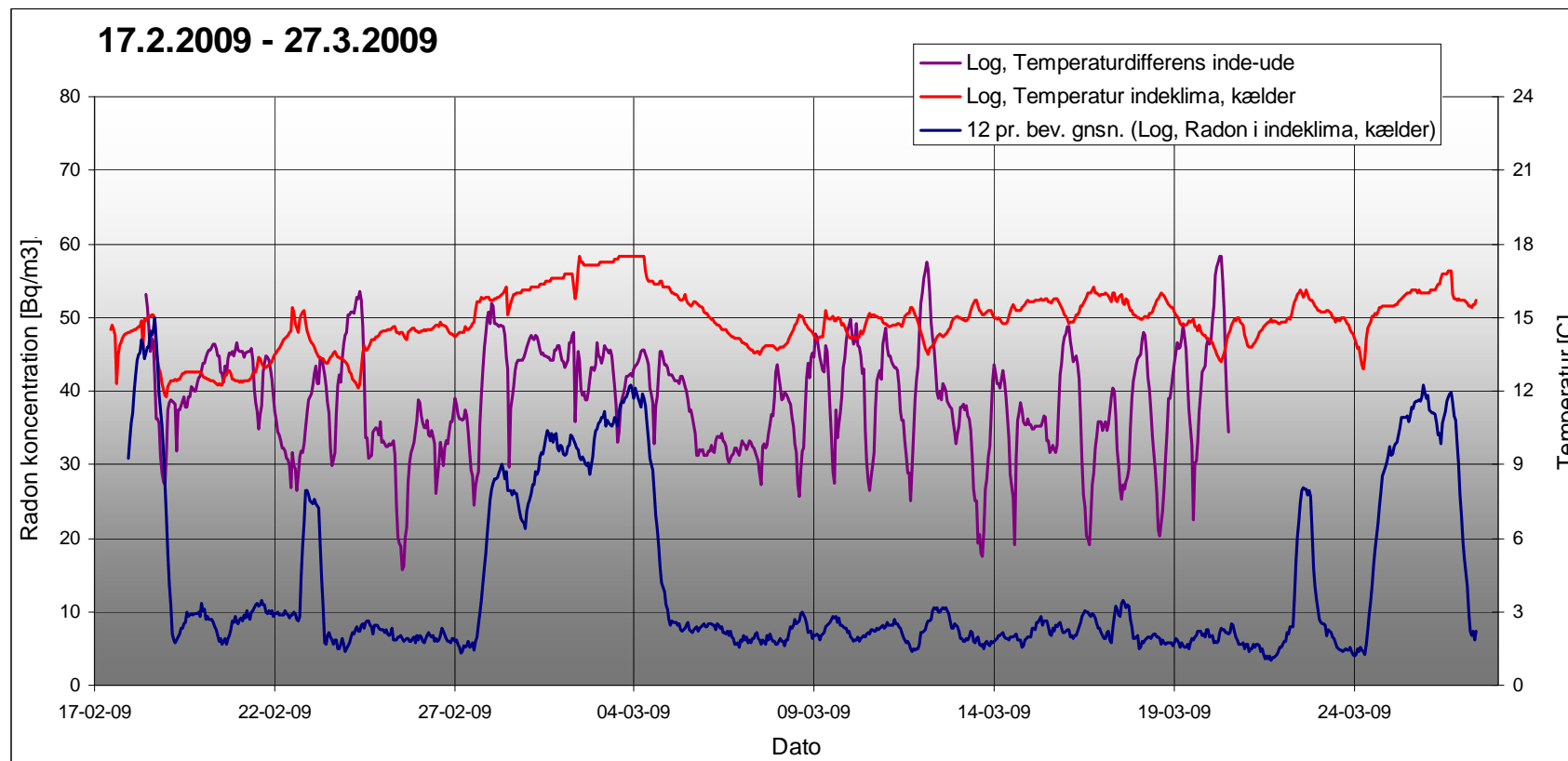
Log Detaljeret måling vha. kontinuerlig logning

Radon og meteorologiske data, Frederiksbjerg Torv 10, Måleperiode 4



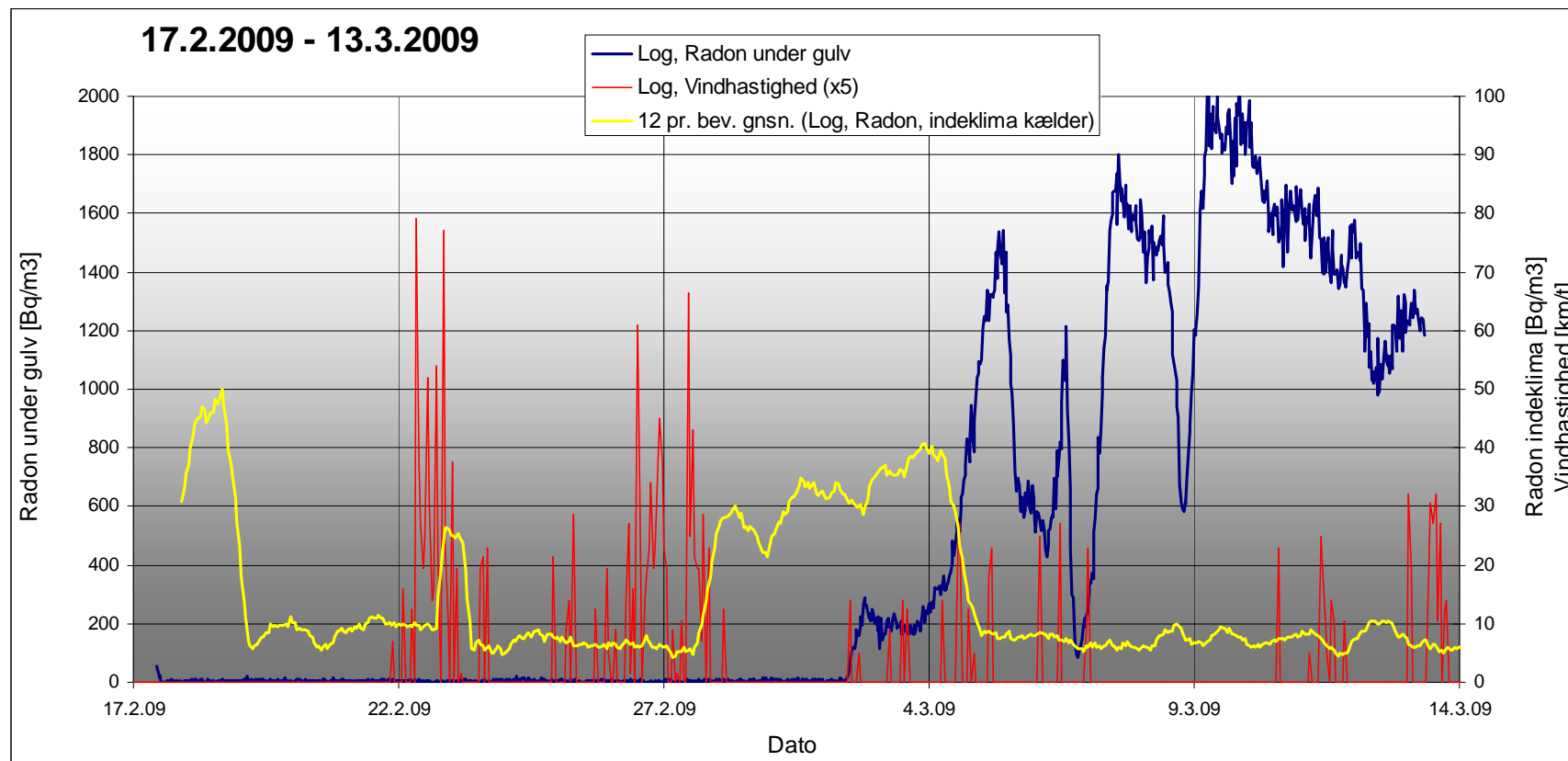
Log Detaljeret måling vha. kontinuerlig logning

Radon og meteorologiske data, Frederiksbjerg Torv 10, Måleperiode 4



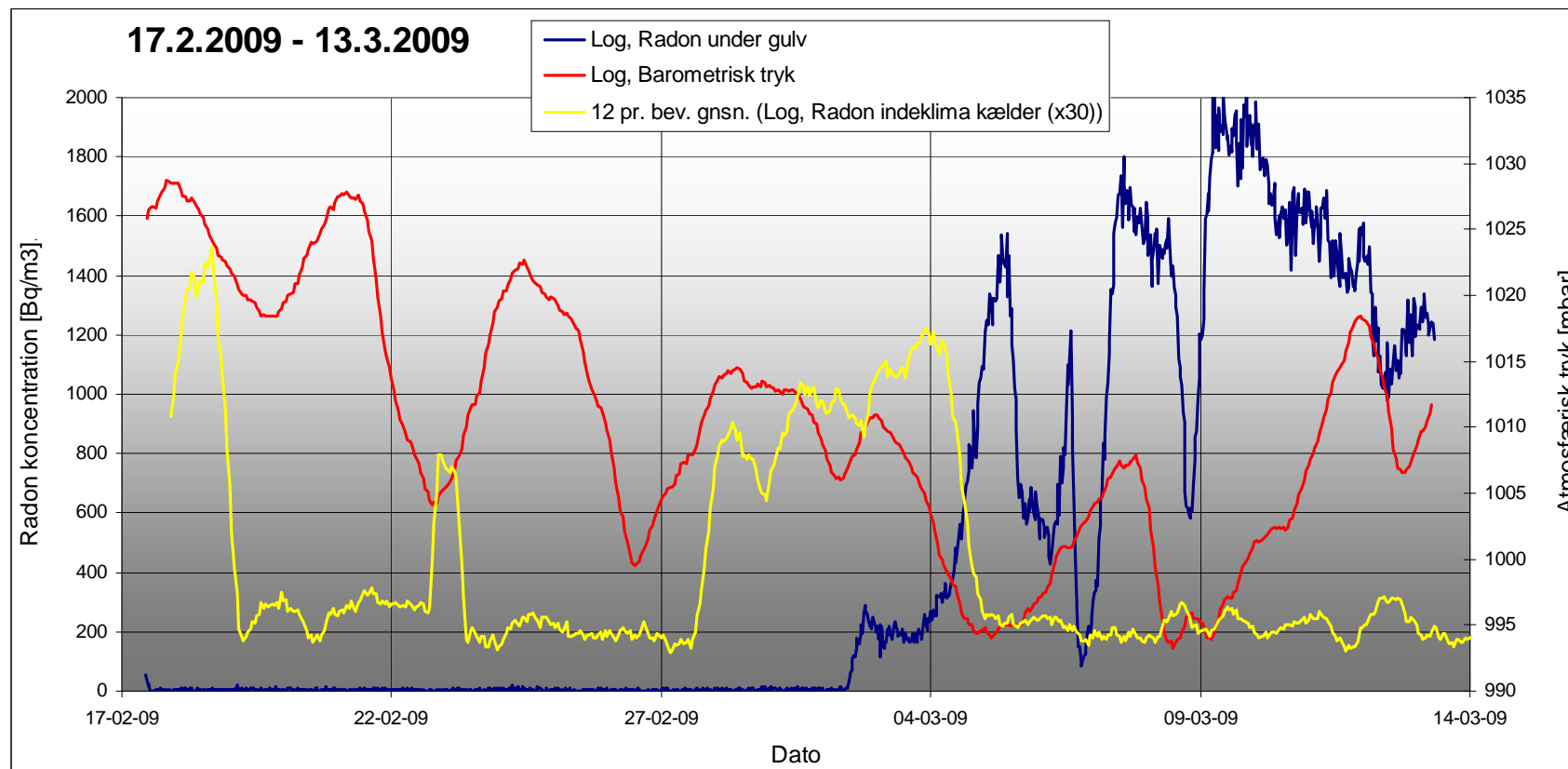
Log Detaljeret måling vha. kontinuerlig logging

Radon og meteorologiske data, Frederiksbjerg Torv 10, Måleperiode 4



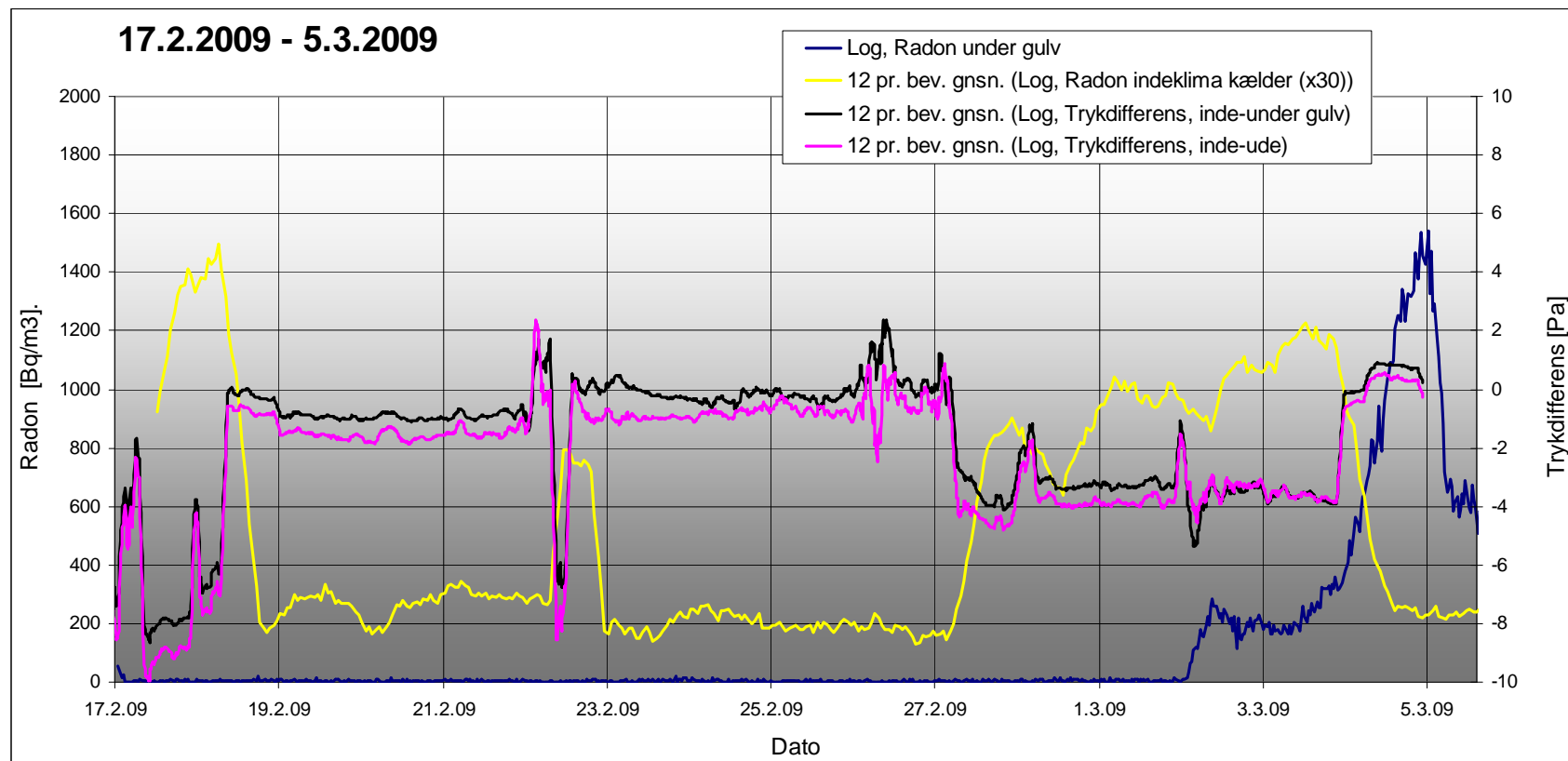
Log Detaljeret måling vha. kontinuerlig logning

Radon og meteorologiske data, Frederiksbjerg Torv 10, Måleperiode 4



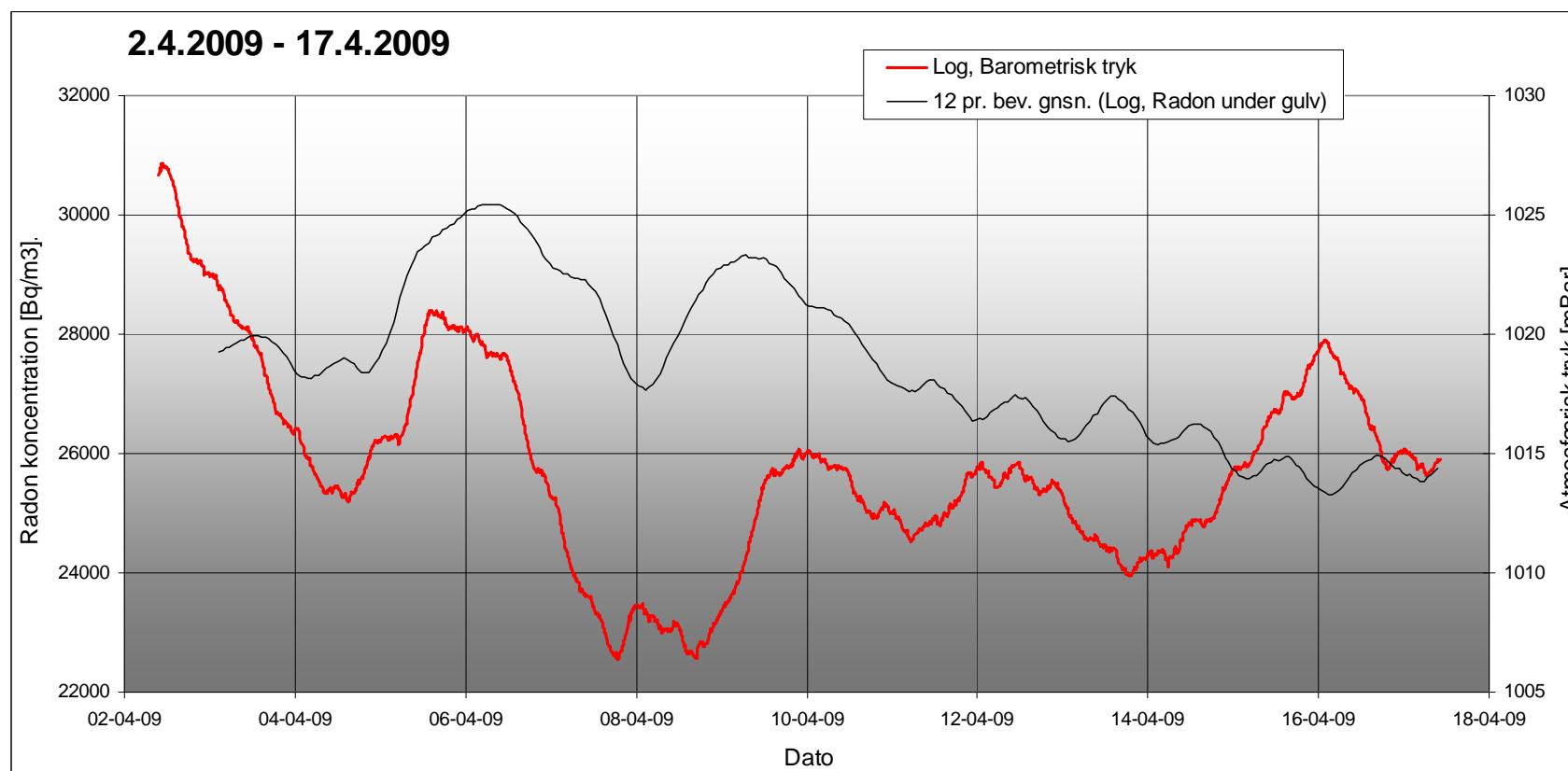
Log Detaljeret måling vha. kontinuerlig logning

Radon og meteorologiske data, Frederiksbjerg Torv 10, Måleperiode 4



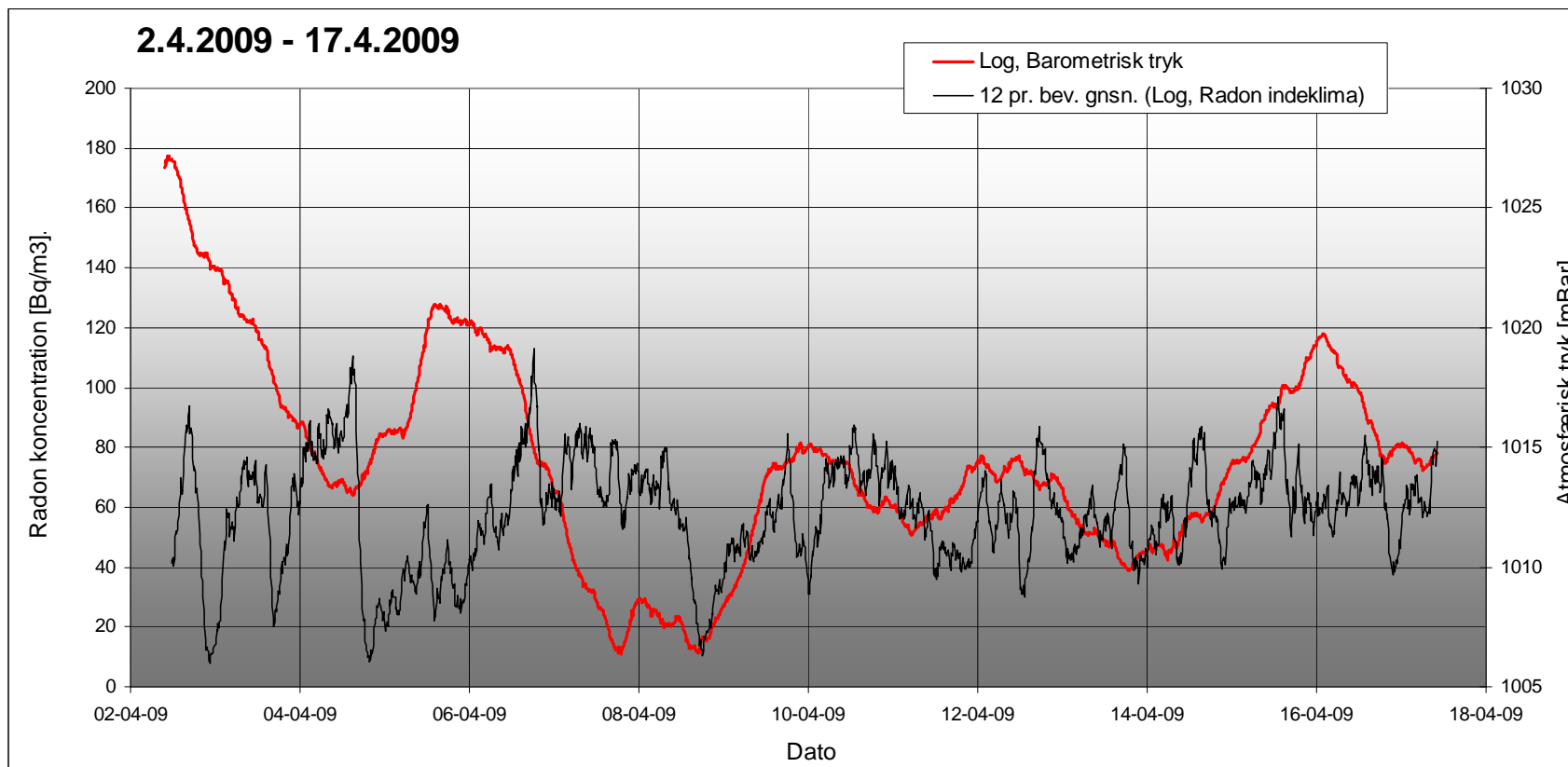
Log Detaljeret måling vha. kontinuerlig logning

Radon og meteorologiske data, Karolinegade 1C, Måleperiode 5



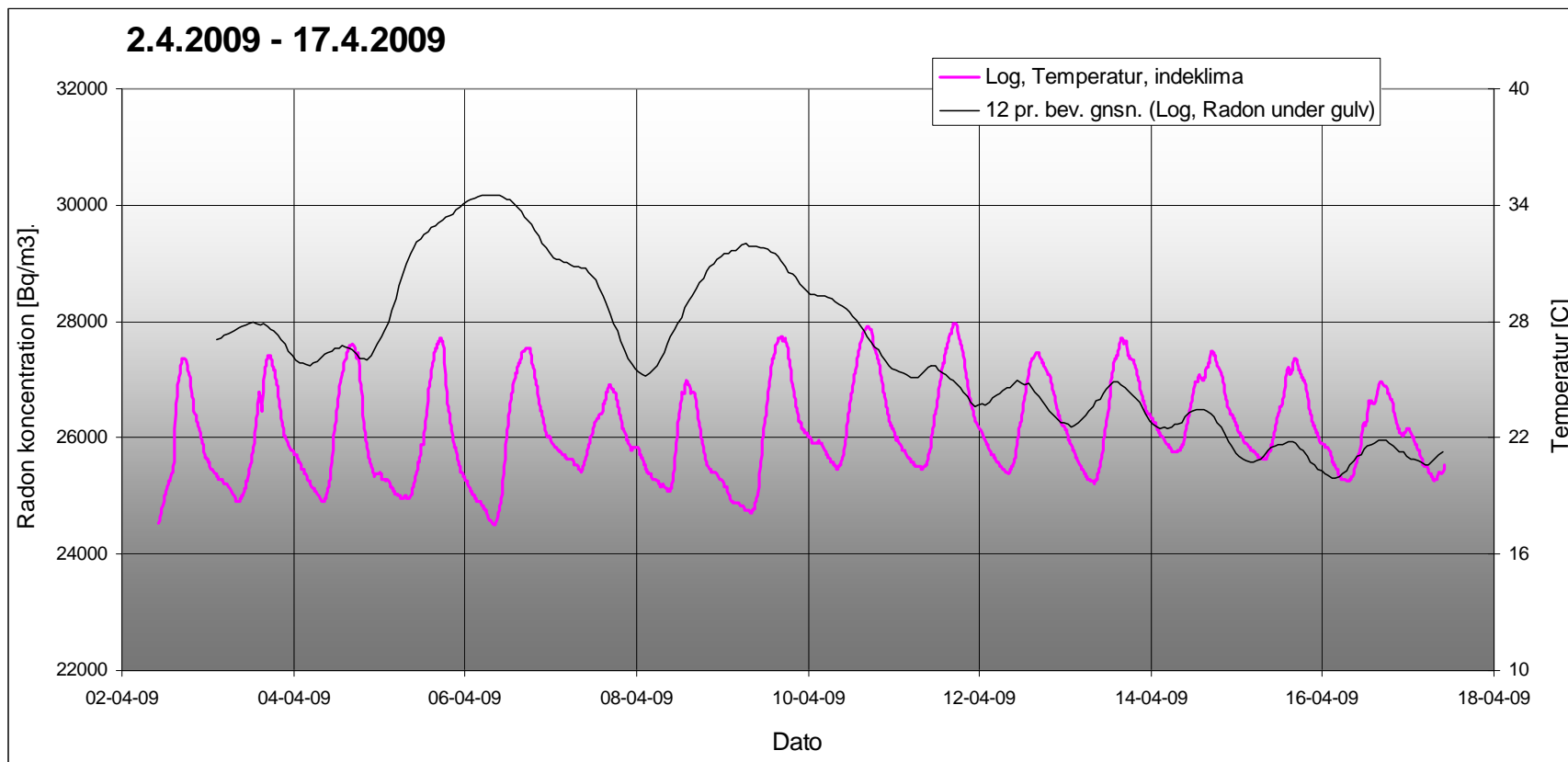
Log Detaljeret måling vha. kontinuerlig logning

Radon og meteorologiske data, Karolinegade 1C, Måleperiode 5



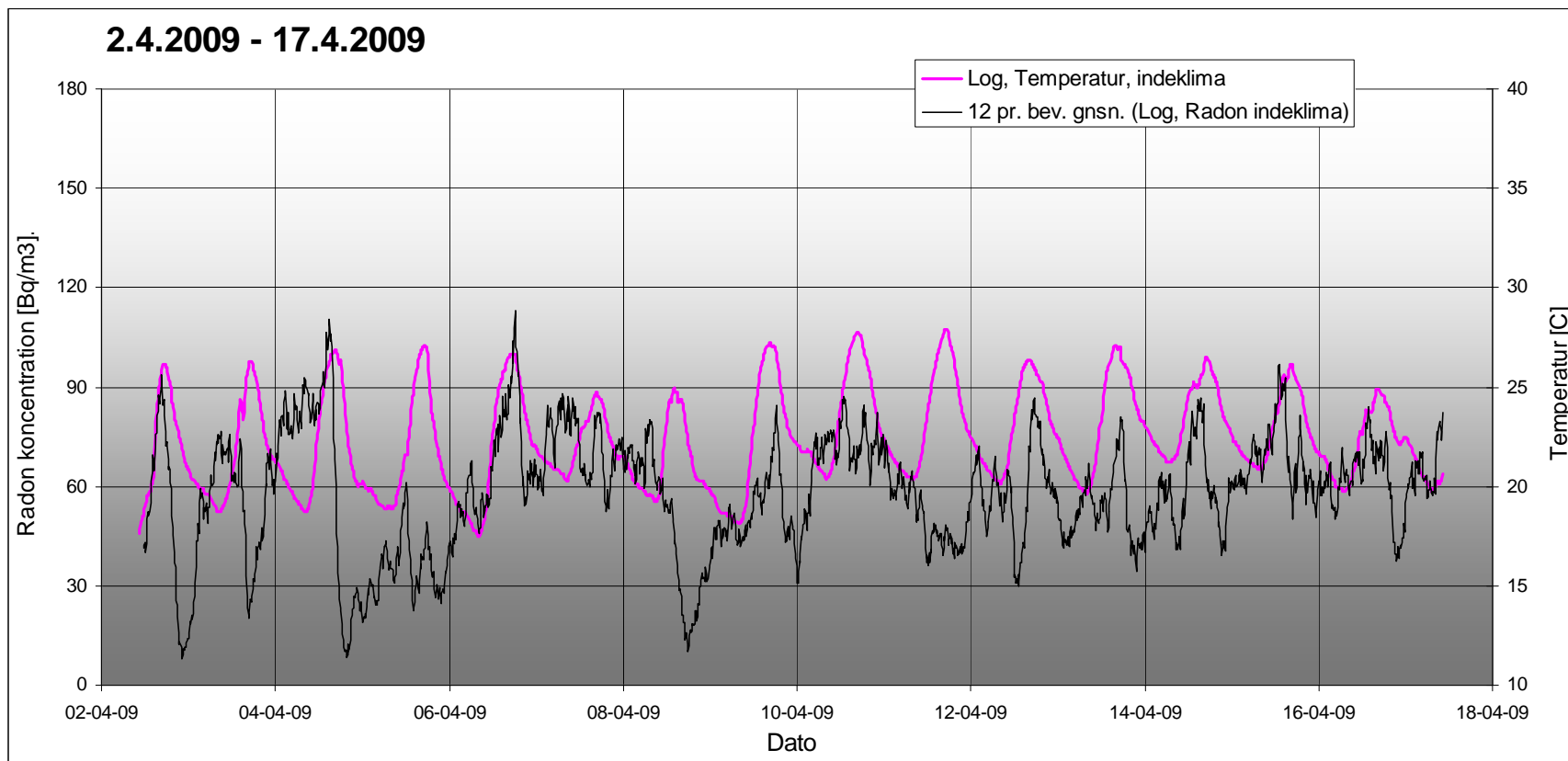
Log Detaljeret måling vha. kontinuerlig logging

Radon og meteorologiske data, Karolinegade 1C, Måleperiode 5



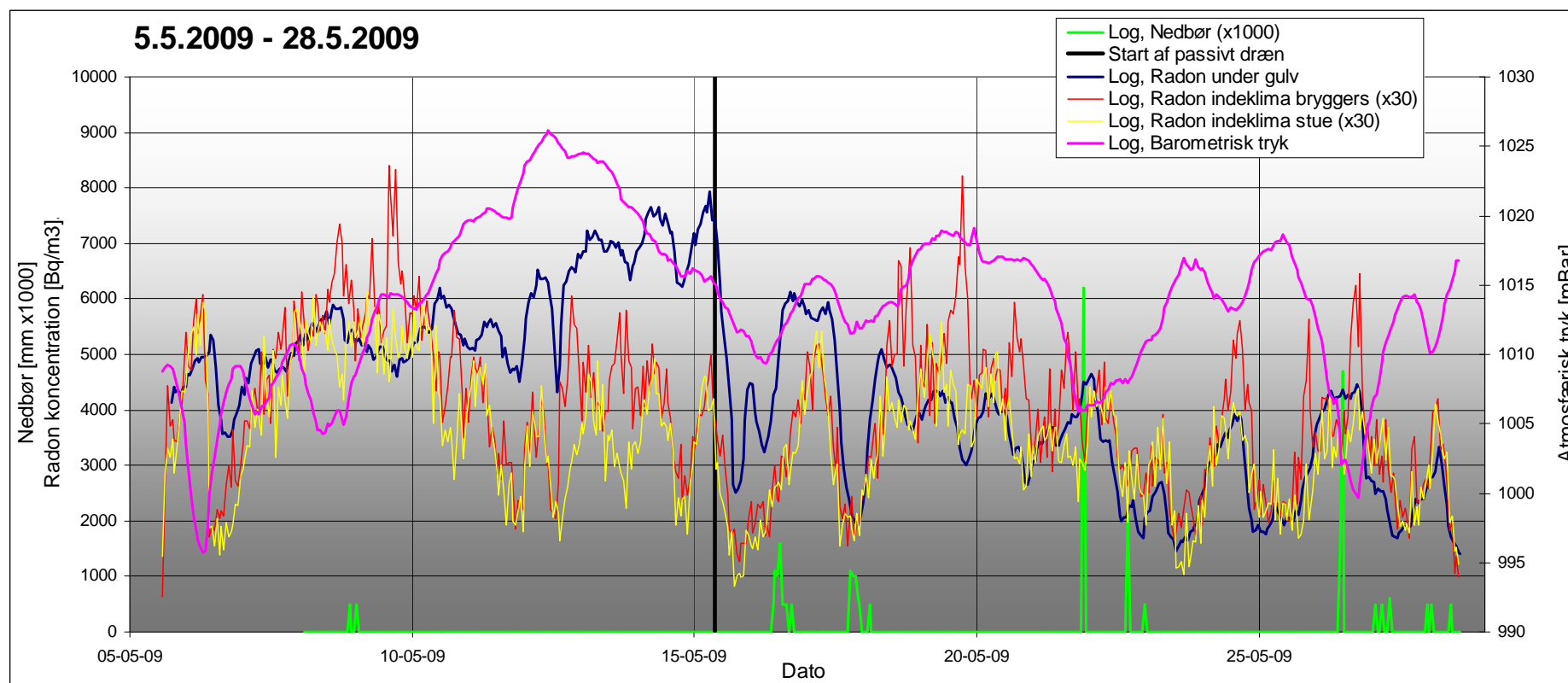
Log Detaljeret måling vha. kontinuerlig logning

Radon og meteorologiske data, Karolinegade 1C, Måleperiode 5



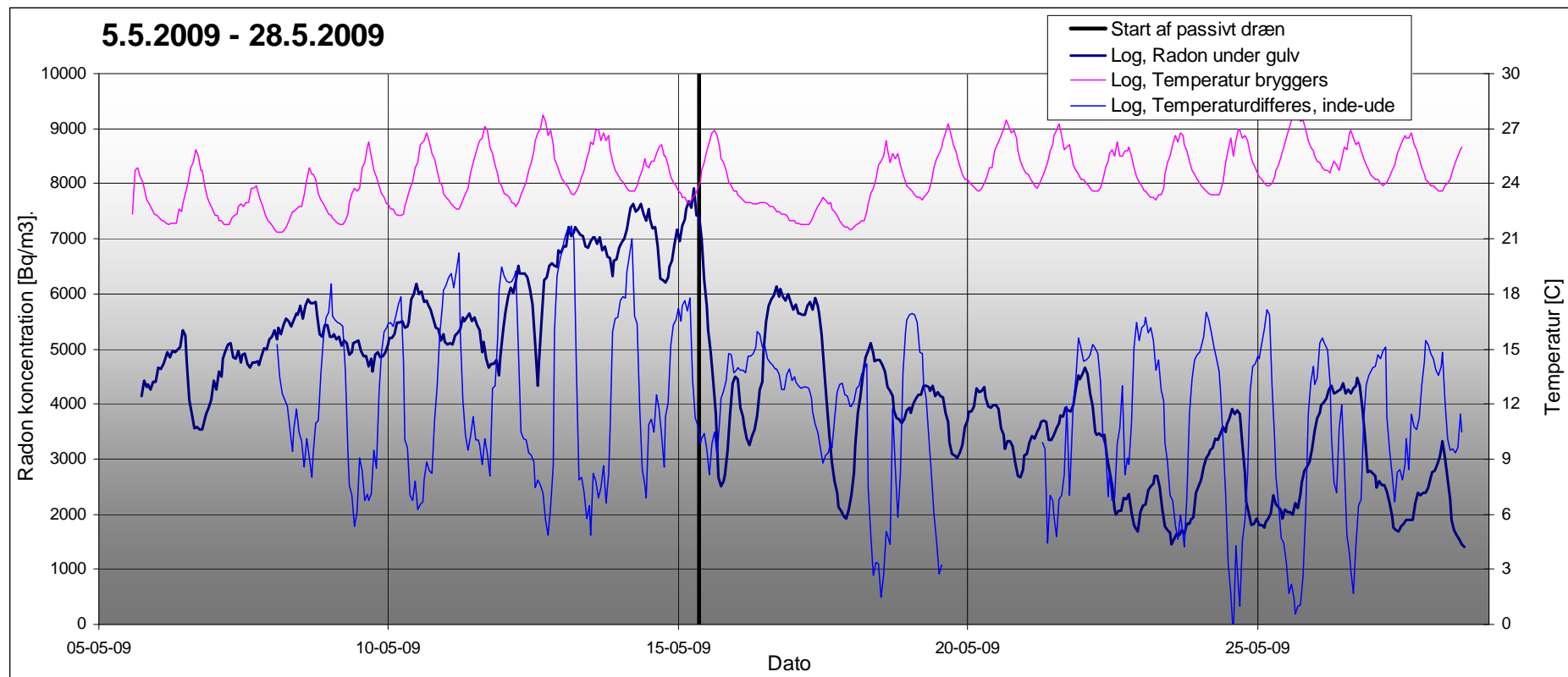
Log Detaljeret måling vha. kontinuerlig logning

Radon og meteorologiske data, Peder Kællers vej 31, Måleperiode 6



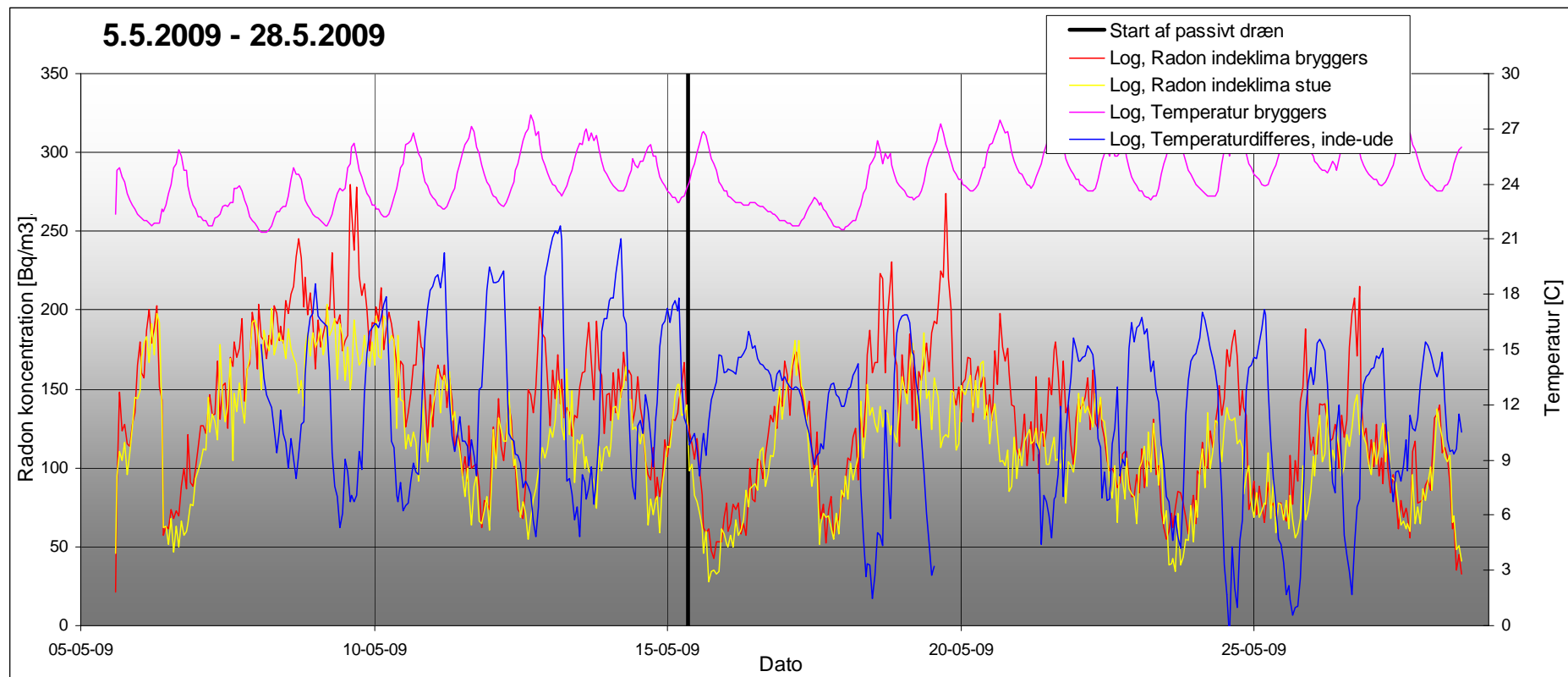
Log Detaljeret måling vha. kontinuerlig logning

Radon og meteorologiske data, Peder Kællers vej 31, Måleperiode 6



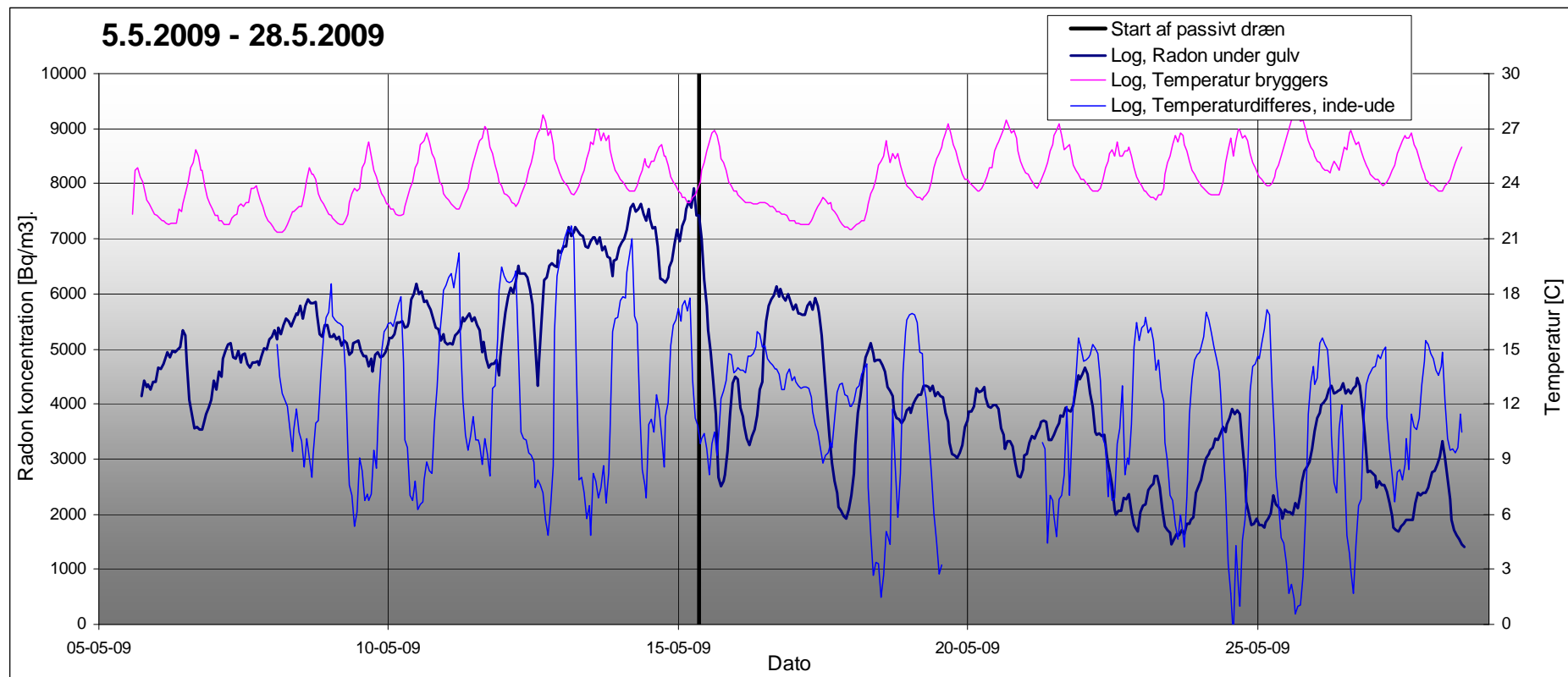
Log Detaljeret måling vha. kontinuerlig logning

Radon og meteorologiske data, Peder Kællers vej 31, Måleperiode 6



Log Detaljeret måling vha. kontinuerlig logning

Radon og meteorologiske data, Peder Kællers vej 31, Måleperiode 6



Log Detaljeret måling vha. kontinuerlig logning

Radon og meteorologiske data, Peder Kællers vej 31, Måleperiode 6



Log Detaljeret måling vha. kontinuerlig logning

Fotos af lokaliteterne

- Bilag 3.1.1: Peder Kællers vej 23
- Bilag 3.1.2: Mosevej 2C
- Bilag 3.1.3: Frederiksbjerg Torv 10
- Bilag 3.1.4: Karolinegade 1C
- Bilag 3.1.5: Peder Kællers vej 31

Peder Kællers vej 23



1: Peder Kællers vej 23, set fra nordøst. Placering af RAD7 v. gavl.



2: Målebrønd m præinstallerede målepunkter i det kapillarbrydende lag.



3: Installation af tryklogger og vejrstation i indeklima. Placering i bryggers.

Mosevej 2C



1: Mosevej 2C, vestlig facade, set fra nord. Placering af RAD7.



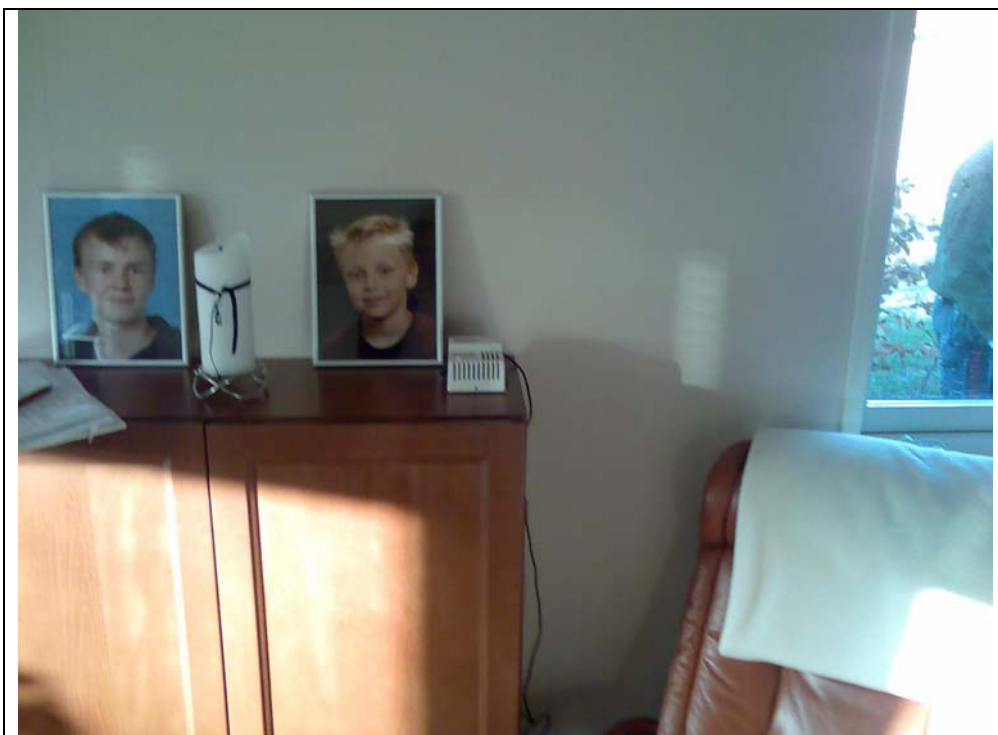
2: Indboring af målepunkter i det kapillarbrydende lag.



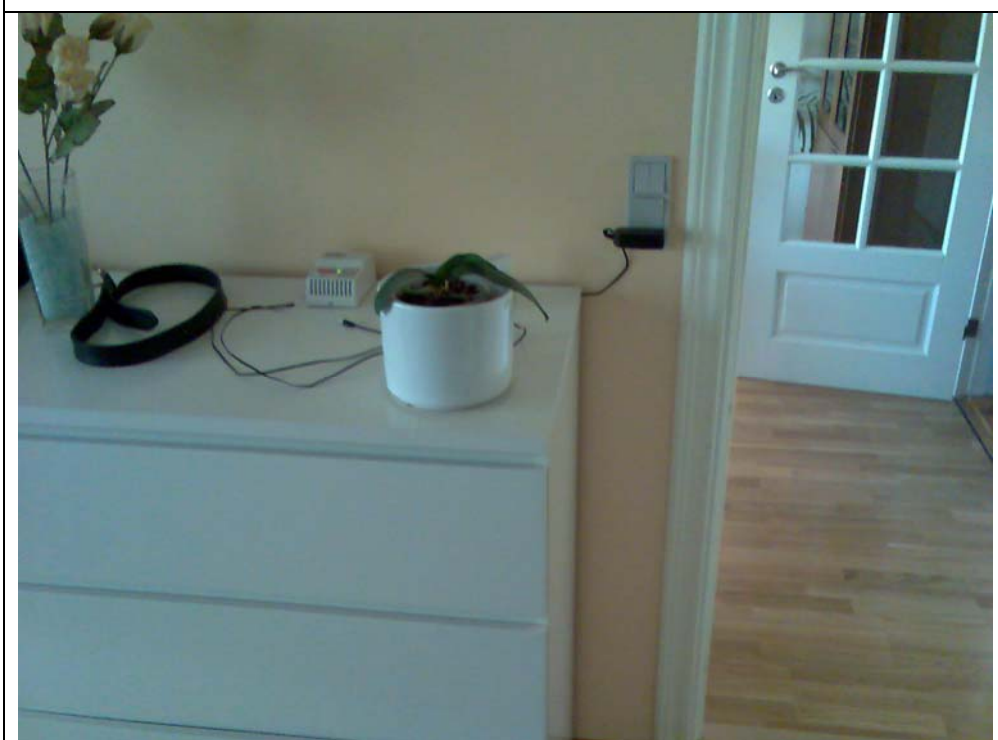
3: Installation af AlphaGuard og Ramon målere, kontor 1. sal.



4: Installation af AlphaGuard måler, spisestue.



5: Installation af Ramon måler, opholdsstue.



5: Installation af Ramon måler, soveværelse.

Bilag 3.1.3

Frederiksbjerg Torv 10



1: Frederiksbjerg Torv 10, sydlig facade, set fra syd.



2: Installation af måleudstyr i vaskekælder v. præinstallerede målepunkter i det kapillarbrydende lag, kælderrum 101.



3: Installation af AlphaGuard måler, kælderrum 102.



4: Installation af AlphaGuard måler, kælderrum 103b.



5: Installation af Ramon måler, vaskekælder, kælderrum 101.



6: Installation af Ramon måler, kælderrum 104.

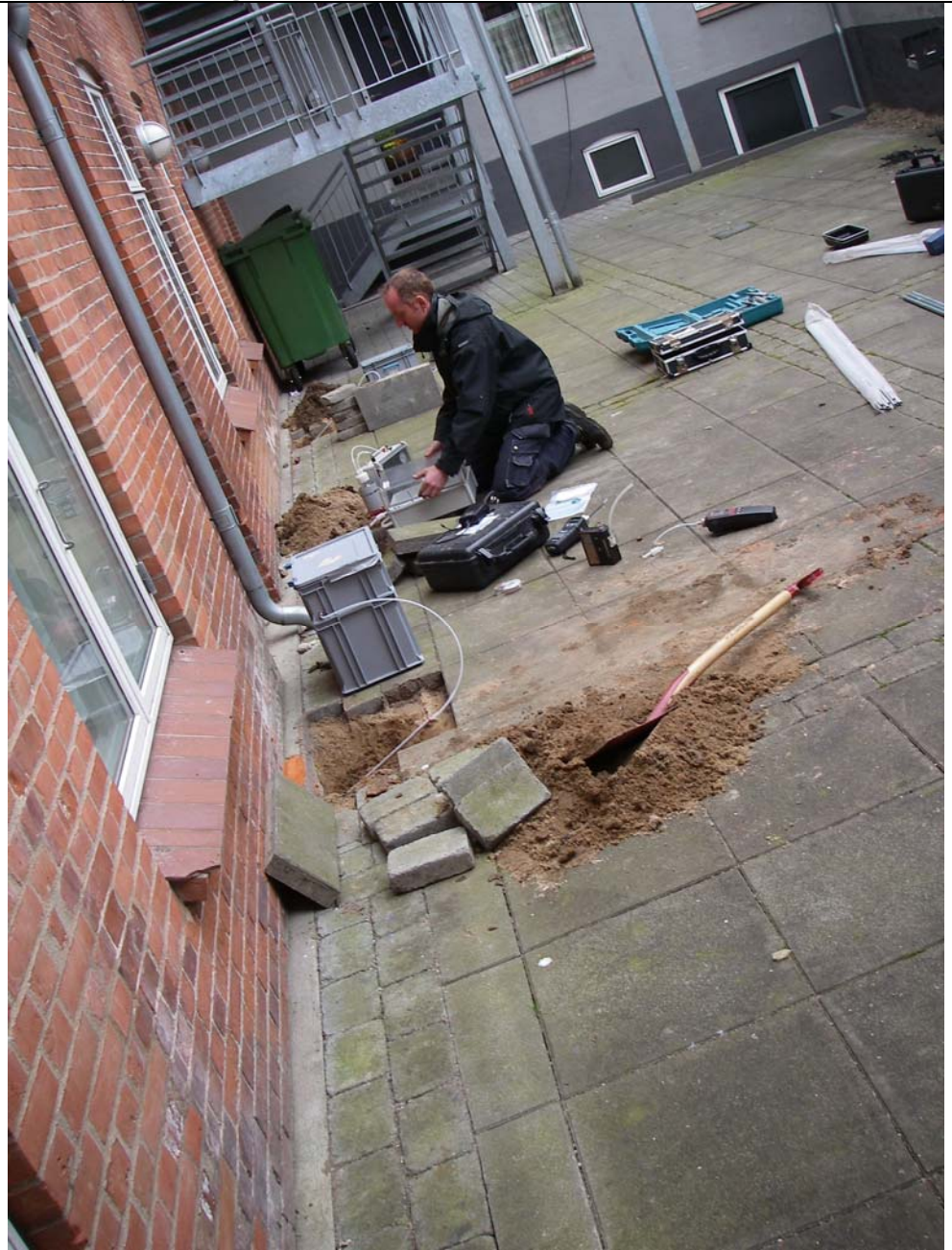
Karolinegade 1C



1: Karolinegade 1C, sydlig facade, set fra sydvest.



2: Installation af måleudstyr i vaskekælder v. præinstallerede målepunkter i det kapillarbrydende lag, kælderrum 101.



3: Installation af AlphaGuard måler, kælderrum 104.



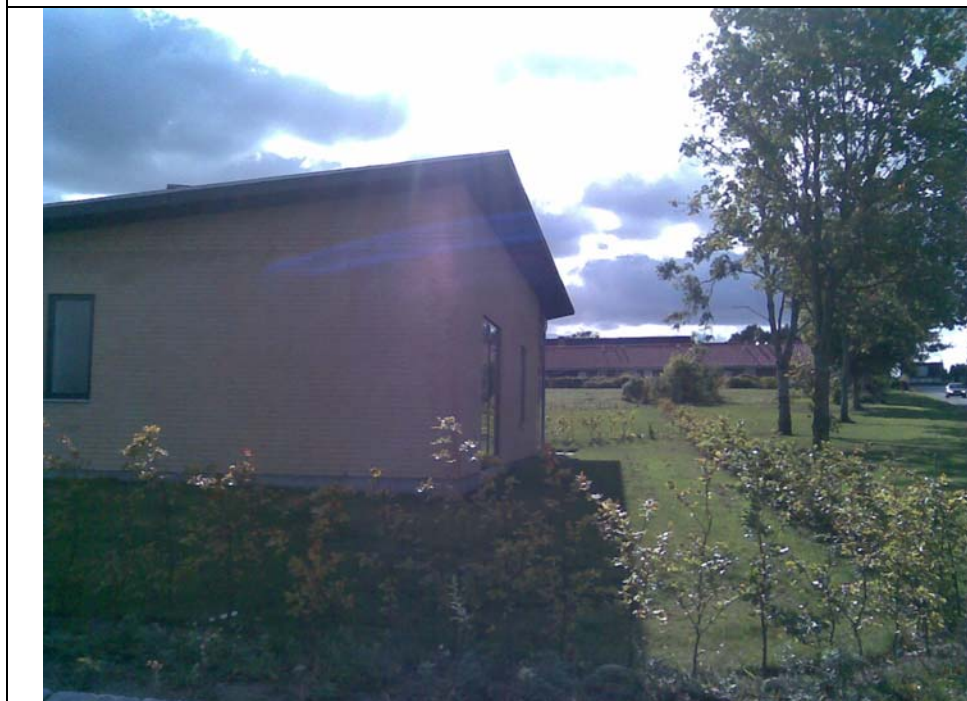
4: Installation af AlphaGuard måler, kælderrum 103b.

Bilag 3.1.5

Peder Kællers vej 31



1: Peder Kællers vej 31, Østlig facade og nordlig gavl, set fra nordøst. Garage mod øst.



2: Nordlig gavl og vestlig facade ud mod Højmarksallé.



3: Peder Kællers vej 31, set fra nordøst.

Resumé

Projektet viser, at radonmålinger er velegnede til at bestemme en dæmpningsfaktor over en gulvkonstruktion. Radonmålinger kan udføres som simple gennemsnitsmålinger, eller detaljeret logning over tid. Generelt anbefales at anvende radonmålinger med detaljerede logning.



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

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

www.mst.dk