



Miljø- og
Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

Estimering af lokalitetsspecifikke reduktionsfaktorer vha. PFT-metoden

Miljøprojekt nr. 1898

November 2016

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Per Loll, Dansk Miljørådgivning A/S

Mariam Wahid, Region Hovedstaden

Niels Christian Bergsøe, Statens Byggeforskningsinstitut, AAU.

ISBN: 978-87-93529-38-0

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

Indhold	3
Forord.....	4
Sammenfatning og konklusion	5
Summary and conclusion	7
1. Indledning	9
1.1 Baggrund	9
1.2 Formål	10
2. Metoder	11
2.1 PFT-metoden	11
2.2 Estimering af reduktionsfaktorer	11
2.3 Dynamik – sporgasudbredelse under gulv	12
2.4 Lokalteter	12
2.4.1 Skovlunde Byvej 96A (Innovationsgaragen)	12
2.4.2 Renserilokalitet i København	13
2.5 Forsøgsprogram	14
2.5.1 Skovlunde Byvej 96A (Innovationsgaragen)	14
2.5.2 Renserilokalitet i København	17
2.6 Installation af sporgaskilder og PFT-samlere under gulv	19
2.7 Test af retableringens tæthed	21
3. Resultater	23
3.1 Luftsifter	23
3.1.1 Skovlunde Byvej 96A (Innovationsgaragen)	23
3.1.2 Renserilokalitet i København	24
3.2 Test af retableringens tæthed	24
3.3 Dynamik i sporgasudbredelse under gulv.....	25
3.4 Reduktionsfaktorer (sporgas og PCE).....	27
3.4.1 Skovlunde Byvej 96A (Innovationsgaragen)	27
3.4.2 Renserilokalitet i København	29
4. Vurderinger	30
Referencer	31

Forord

Miljøstyrelsen har under Teknologiuudviklingsprogrammet for jord- og grundvandsforurening bevilget støtte til Region Hovedstaden, til gennemførelse af dette projekt.

Projektets formål er at afprøve en idé med anvendelse af passiv sporgasteknik (PFT) til estimering af lokalitetsspecifikke reduktionsfaktorer (fra poreluft til indeklima) på forurenede lokaliteter med en poreluftforurening beliggende under betongulv, som er støbt direkte oven på jord eller på kapillarbrydende lag.

Perspektivet er, at metodikken kan anvendes på forurenede lokaliteter, hvor der er behov for at opdele en målt indeklimakoncentration i hhv. (i) bidrag fra poreluften og (ii) interne bidrag; herunder eksempelvis indeklimasager med oliekuibrinter eller sager med igangværende erhverv (f.eks. renseridrift) i en del af ejendommen.

I projektet er der foretaget en afprøvning på to feltlokaliteter; begge forurenede med chlorerede opløsningsmidler.

Sporgaskilder og -samplere er klargjort og leveret af Seniorforsker Niels C. Bergsøe, Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet, som også har udført analysearbejdet. ORSA-rør er analyseret for indhold af chlorerede opløsningsmidler af ALS.

Projektet er udført af Dansk Miljørådgivning A/S.

Sammenfatning og konklusion

Der er afprøvet en metode baseret på PFT-metodikken til estimering af lokalitetsspecifikke reduktionsfaktorer fra poreluft til indeklima, når der er tale om betongulv støbt direkte på jord. Herunder er der foretaget undersøgelser af installationsmetode og hastigheden i diffusiv sporgasudbredelse i jord under gulv.

Der er opnået tilfredsstillende resultater mht. installationsprocedure og materialevalg, der sikrer at sporgaskilder installeret direkte under gulv (efter gennemboring af dette) ikke medfører en præferentiel spredningsvej af sporgas og poreluftforurening til indeklimaet. Denne metode kan anvendes i andre sammenhænge, hvor der ønskes en høj grad af sikkerhed for at gulvgennembrydninger ifm. miljøundersøgelser i bygninger retableres betryggende.

Det er desværre ikke lykkedes at opstille og dokumentere en metode, der kan bringes i anvendelse til estimering af lokalitetsspecifikke reduktionsfaktorer fra poreluft til indeklima på lokaliteter, hvor der er betongulv støbt direkte på jord. Det vurderes dog, at der er basis for at arbejde videre med metoden på nogle sager med lettere geologiske forhold under gulvet; herunder med kapillarbrydende lag af lecanødder eller lignende og/eller med isoleringsmateriale, dvs. hvor det er lettere at få udbredt sporgassen under gulvet.

Projektet er gennemført af DMR A/S, i samarbejde med SBi, for Region Hovedstaden og Miljøstyrelsens Teknologiuudviklingspulje.

Baggrund

På indeklimasager kan der ved følsomme arealanvendelser (bolig og børneinstitutioner) være behov for at adskille målte indeklimakoncentrationer (totalt indeklimabidrag) i bidrag fra poreluften og bidrag fra interne kilder. Til undersøgelse af problemstillinger hvor forurenede poreluft bevæger sig igennem et opblandet luftvolumen (f.eks. en krybekæder) har der tidligere været anvendt en metode baseret på PFT-metodikken (PerFluorcarbon Tracer - passiv sporgasteknik). I dette projekt afprøves det om PFT-metodikken kan udvikles til at være et værktøj, der vil kunne bringes i anvendelse til estimering af lokalitetsspecifikke reduktionsfaktorer fra poreluft til indeklima på forurenede lokaliteter, når der er tale om betongulv støbt direkte på jord (dvs. uden hulrum på kildesiden).

Formål

Det overordnede formål med projektet er således at videreudvikle den passive sporgasmetode til at kunne anvendes på indeklimasager, hvor man har brug for at adskille poreluftbidraget fra interne kilder, og afprøve en idé til installationsprocedure og måleprogram mm. Herunder afklares to metode- og forståelsesmæssige delformål, der er forudsætninger for en eventuel fremtidig anvendelse af metodikken på andre sager:

1. Udvikling og afprøvning af metodik til installation af sporgaskilder og –samplere under gulv, så installationen ikke skaber nye utætheder i gulvet.
2. Undersøgelse af den tidlige dynamik i diffusiv sporgasudbredelse under gulv.

Metode

Projektet er gennemført på to feltlokaliteter med omfattende PCE-forureninger i jord og poreluft under gulv, hhv. Skovlunde Byvej 96A (Innovationsgaragen) og en renserilokalitet i København. Metodeudvikling og dokumentation er primært foretaget på Skovlunde Byvej 96A, og erfaringerne fra dette projekt er anvendt på renserigrunden i København, som en første "rigtig" feltlokalitet.

Der er udviklet, afprøvet og dokumenteret en metodik til installation af sporgaskilder og -samplere under betongulv, som er baseret på kerneboring, nedsætning af et filterrør med sporgaskilde/-samplere og retablering med en trekomponent epoxybaseret flydemørtel (Sikadur-42 HE). Tætheden er testet over to retablerede huller med sporgaskilder installeret under gulv, og er sammenlignet med tætheden af det intakte gulv umiddelbart ved siden af.

Dynamikken i sporgasudbredelse under gulv er testet på Skovlunde Byvej 96A, og der er på baggrund heraf foretaget metodemæssige ændringer, som er bragt i anvendelse på renserilokaliteten i København.

Konklusioner

Det er konstateret, at den anvendte metode med anvendelse af Sikadur-42 HE, til retablering af gulvgennembrydningerne kan gøres tæt; mindst lige så tæt som det omkringliggende betongulv og, i ét af de to tilfælde, også mere tæt end det omkringliggende, intakte betongulv.

Det har dog ikke været muligt at lave et tilfredsstillende set-up hvormed PFT-teknikken kan benyttes til at estimere lokalitetsspecifikke reduktionsfaktorer over betongulv, støbt direkte på jord. På baggrund af dette forhold vurderes metoden ikke at have potentiale til estimering af lokalitetsspecifikke reduktionsfaktorer, når betongulvet er støbt direkte oven på forholdsvist lerede, kompakte jordarter.

Problemerne relaterer sig til to forhold:

1. Det har ikke været muligt at få en tilfredsstillende, repræsentativ udbredelse af sporgassen under gulv.
2. Sporgasudbredelsen i de aktiverede porevoluminer under gulv foregår så hurtigt, at der inden for kort tid og korte afstande opnås overload af samplerne.

Det vurderes dog, at metoden – med lidt videreudvikling og afprøvning – kan have et potentiale, hvis betonen er støbt ovenpå kapillarbrydende lag af f.eks. lecanødder eller singels, evt. med isolering, og måske også hvis betonen er støbt ovenpå intakte sandede aflejringer.

Summary and conclusion

The PFT-methodology has been tested for estimating site specific attenuation factors between sub-slab soil gas and indoor air at sites with slab on grade. As a part of the study, the installation procedure and the speed of diffusive tracer gas migration in the sub surface has been investigated.

With regard to the installation procedure and choice of materials for installing the tracer gas sources directly under the concrete slab (after core-drilling through the slab), satisfying results have been obtained. Hence, the developed installation procedure has been proven not to open up new preferential migration pathways through the concrete slab. The procedure can be used when a high quality seal is desired, after performing environmental investigations, where perforation of the concrete slab is involved.

Unfortunately, we did not succeed in our efforts to propose and document a method that can be used for estimating site specific attenuation factors between sub-slab soil gas and indoor air at sites with slab on grade. We do, however, think that there is a basis for establishment of a procedure/methodology that will enable estimation of site specific attenuation factors at sites with more permeable sub-slab soil types or at sites with a capillary barrier layer of e.g. Leca® or with a layer of insulation material. At such sites it will be much easier to ensure a satisfactory sub-slab distribution of the tracer gas.

The project has been a collaboration between DMR A/S and SBi (Danish Building Research Institute, Aalborg University) for The Capital Region of Denmark and The Danish EPA, through the Technology Advancement Program.

Background

At vapor intrusion sites with sensitive building use (housing or child care) it is sometimes desired that measured indoor concentrations (total contribution to the indoor air) can be separated into a subsurface contribution and a contribution from internal sources. The PFT-methodology (PerFluor-carbon Tracer – passive tracer gas technology) has previously been successfully applied at sites where the subsurface contribution moves through a mixed air volume (e.g. a crawl space). In this project, it is tested if the PFT-methodology can be applied for estimating site specific attenuation factors between sub-slab soil gas and indoor air at sites with slab on grade, i.e. with no cavity on the source side.

Purpose

The primary purpose of the project is to further develop the passive tracer technology so it can be applied at vapor intrusion sites where there is a need for separation of the subsurface contribution and a contribution from internal sources. Two method related and conceptual questions are answered, to ensure that the methodology, if successful, can be applied at other sites:

1. Development, testing and documentation of a method for installing tracer sources and samplers under the concrete slab, while ensuring that no new migration pathways are created.
2. Investigation of the speed of diffusive tracer gas migration in the sub surface.

Methods

The project has been carried out at two sites with PCE contaminations in both soil and soil gas beneath the building concrete floors; (i) Skovlunde Byvej 96A (Capital Region test site) and (ii) a dry cleaning facility in Copenhagen.

The development and testing has mostly been carried out at the Skovlunde Byvej 96A site, and the lessons learned has subsequently been applied at the Copenhagen dry cleaning site, as the first real field site.

The methodology developed for installing tracer sources and samplers under the concrete slab is based on core drilling through the concrete slab, installation of a small slotted monitoring well screens with a PFT source or sampler inside, and subsequent sealing with a three component epoxy based mixture (Sikadur-42 HE). The sealing procedure has been tested by comparing measurements of tracer gas concentrations in flux chambers at two different points, with tracer sources installed right underneath, to flux chamber measurements at adjacent locations with intact concrete flooring underneath.

The dynamics/speed of the sub-slab diffusive tracer gas migration has been investigated at the Skovlunde Byvej 96A site. Based on the results from this site, some changes to the methodology has been adopted at the Copenhagen dry cleaning site.

Conclusions

At the Skovlunde site, it has been documented that the sealing procedure based on Sikadur-42 HE, can be used for creating a high quality seal after core drilling through the concrete slab; at least comparable to the intact concrete at the site, and in one instance superior to the intact concrete slab.

Unfortunately, we did not succeed in finding a satisfying set-up for applying the PFT-methodology to estimating site specific attenuation factors between sub-slab soil gas and indoor air at sites with slab on grade. So, based on the results of this study we do not think that the methodology has a potential for being applied at slab on grade sites with relatively compact and/or clayey soils right underneath the slab.

The problems are related to two issues:

1. We were not able to attain a satisfying and representative sub-slab distribution of the tracer gas.
2. Tracer gas distribution in activated sub-slab soil gas volumes happens so fast that tracer samplers are overloaded within a short time frame and within short distances.

We do, however, think that methodology – with a little further development and testing – could have a potential for estimation of site specific attenuation factors at sites with more permeable sub-slab soil types (e.g. sand) or at sites with a capillary barrier layer of e.g. Leca® or with a layer of insulation material.

1. Indledning

1.1 Baggrund

På en række indeklimasager er der behov for at opdele målte indeklimakoncentrationer (totalt indeklimabidrag) i bidrag fra poreluften og bidrag fra interne kilder; herunder eksempelvis i indeklimasager med oliekuibrinter og sager med igangværende erhverv (f.eks. renseri).

Idéen, der afprøves i dette projekt er, at PFT-metodikken (PerFluorcarbon Tracer - passiv sporgasteknik) kan udvikles til at være et værktøj, der vil kunne bringes i ”rutinemæssig” anvendelse til at undersøge ovennævnte problemstillinger. Metoden er baseret på kommercielt tilgængelig teknologi, der kan anvendes sideløbende med alm. poreluft- og indeklimaundersøgelser og inden for en rimelig/realistisk økonomisk ramme.

Den passive sporgasteknik er velbelyst og har været anvendt i en række sammenhænge, herunder til at fastlægge luftskifte imellem renserier og lejligheder /1/, til kvalitativ dokumentation af kloakker som spredningsvej for chlorerede opløsningsmidler til indeklimaet /2/, til kvalitativ dokumentation af poreluftpåvirkning af hulmure og indeklima fra jordforurening omkring en nedgravet olietank /3/ og til kvalitativ adskillelse af to forskellige kildeområder ift. indeklimabidrag af chlorerede opløsningsmidler /4/. Dertil har metoden været anvendt til, kvantitativt, at estimere 14-dages gennemsnitlige reduktionsfaktorer fra krybekælder og hulmure til indeklimaet i en to-etages bygning, samt over etageadskillelsen fra stueetage til 1. sal /3/.

I forhold til den tiltænkte anvendelse mangler der en metodemæssig udvikling ift. anvendelser hvor der ikke er hulrum på kildesiden, f.eks. betongulv støbt direkte på sand/jord; evt. med kapillarbrydende lag.

Forsøgsprogrammet omfatter installation af PFT-sporgaskilder under gulvet i områder for en poreluftforurening, og koncentrationer af sporgas måles dels under gulv (på kildesiden) og dels i indeklima (på receptorsiden). På baggrund af sporgaskoncentrationer under gulv og i indeklimaet estimeres lokalitetsspecifikke 14-dages gennemsnitlige reduktionsfaktorer fra poreluft til indeklima i vilkårlige bygninger. Sammen med en poreluftundersøgelse kan den estimerede reduktionsfaktor bruges til at estimere indeklimabidrag fra poreluftforureninger.

To lokaliteter inddrages i projektet, så teknik og materialer samt måleprogram afprøves og dokumenteres på én lokalitet (Skovlunde Byvej 96A, Innovationsgaragen), og efterfølgende bringes i anvendelse på en renserilokalitet i København, hvor Region Hovedstaden gennemfører en afgrænsende indeklimaundersøgelse.

1.2 Formål

Det overordnede formål er at videreudvikle den passive sporgasmetode til at kunne anvendes på sager, hvor betongulvet er støbt direkte på jord, samt opstille nogle vejledende procedurer for en sådan anvendelse.

I projektet er der endvidere opstillet følgende delformål til undersøgelse på to lokaliteter:

3. Udvikling og afprøvning af metodik til installation af sporgaskilder og –samplere under gulv, med mindst mulig gene ift. bygningens anvendelse og med sikkerhed for at selve installationen ikke skaber bypass af sporgas og poreluftforurening til indeklimaet.
4. Undersøgelse af den tidlige dynamik i diffusiv sporgasudbredelse under gulv for opnåelse af en sporgasudbredelse, der ”simulerer” poreluftforureningens udbredelse i et medium med diffusionsmodstand.

Efter metodeudvikling og -afprøvning er det håbet, at metoden vil kunne anvendes til at adskille indeklimabidrag fra en poreluftforurening fra øvrige indeklimabidrag; f.eks. interne kilder til olie-kulbrinter eller igangværende erhverv.

2. Metoder

2.1 PFT-metoden

PFT-metoden (PFT = PerFluorcarbon Tracer) er en passiv multi-sporgasmetode efter konstant-dosering princippet. Sporgas frigives passivt, med en kendt og konstant rate fra nogle sporgaskilder. Sporgaskilderne består af et lille metalhylster, som i den ene ende er lukket med en silikoneprop, hvorigennem sporgassen diffunderer. Registrering af den gennemsnitlige sporgaskoncentration sker ved passiv opsamling i adsorptionsrør (samplere). Et adsorptionsrør består af et glasrør, som indeholder en adsorbent beslægtet med aktivt kul, og som evt. kan opsamle flere anvendte sporgasser samtidigt.

Adsorptionsrørene analyseres i laboratoriet ved termisk desorption og gaschromatografi og analyseresultaterne opgives som adsorberet mængde i picoliter [pl], dvs. 10^{-12} L. Idet samplerne ikke er i nærheden af at være mættede med sporgasser, og da der ved 14 dages ophængningstid ses bort fra en eventuel (minimal) opblandingstid umiddelbart efter ophængning af kilder og samplere, er der tilnærmelsesvist tale om en lineær skaleringsfaktor imellem adsorberet mængde og koncentration/eksponeringstid, hvorfor resultaterne (adsorberet mængde) anvendes som en koncentration.

Med PFT-metoden fra SBI er det muligt at anvende forskellige sporgastyper samtidigt, og traditionelt opdeles en bygning eller en bolig i to eller tre zoner for at bestemme luftudvekslingen imellem zonerne /1/. Målinger med PFT-metoden gennemføres over en periode, og resultaterne afspejler de gennemsnitlige forhold mht. luftudveksling imellem de undersøgte zoner og omgivelserne i måleperioden. Afhængig af måleomstændighederne kan måleperiodens varighed være fra mindre end et døgn og op til flere uger eller måneder. I dette projekt anvendes en eksponeringstid på ca. 14 dage, således at sporgasundersøgelserne kan gennemføres sideløbende med almindelige indeklimatemålinger (ORSA-rør).

Ved denne undersøgelse har der været anvendt to forskellige sporgastyper; hhv. PMCP (perfluor-methylcyclopentan) og PMCH (perfluormethylcyclohexan).

Dansk Miljørådgivning A/S har stået for opsætning og nedtagning af udstyret, mens SBI har stået for klargøring af udstyret forud for målingen og efterfølgende analyse af de eksponerede adsorptionsrør. Feltundersøgelserne på de to lokaliteter er gennemført i perioden april til oktober 2015.

2.2 Estimering af reduktionsfaktorer

På baggrund af koncentrationerne af sporgas hhv. under gulv og i indeklimaet estimeres en gennemsnitlig reduktionsfaktor i henhold til metoden anvendt i /5/. I dette projekt tænkes reduktionsfaktoren fra poreluft til indeklima, via alle transportveje imellem de to zoner, estimeret som det arealvægtede koncentrationsgennemsnit under gulv divideret med det aritmetiske gennemsnit for koncentrationen i indeklimaet (evt. opdelt i naturlige zoner), jf. formel 1.

$$R = PFT_{a-gns,PL} / PFT_{gns,IK} \quad (1)$$

Hvor R [-] er reduktionsfaktoren, $PFT_{a-gns,PL}$ [picoliter, pl] er den arealvægtede gennemsnitskoncentration af sporgas i poreluften og $PFT_{gns,IK}$ [pl] er det aritmetiske gennemsnit af sporgaskoncentrationen i indeklimaet.

Ved dosering af sporgas på undersiden af gulvkonstruktionen (kildesiden) er det vigtigt at sporgas-udbredelsen forsøges tilnærmet udbredelsen af den primære forureningskomponent, så udbredelsen af poreluftforureningen og sporgasskyen har ”kontakt” til de samme spredningsveje fra poreluft til indeklima.

De to anvendte testlokaliteter (jf. afsnit 2.4) er begge forurenede med chlorerede opløsningsmidler (primært PCE), og – under forudsætning af at der ikke er væsentlige interne bidrag, eller bygningsbidrag af PCE til indeklimaet – kan der beregnes en reduktionsfaktor for PCE, som kan sammenlignes med den sporgasestimerede reduktionsfaktor. Graden af sammenlignelighed imellem de to estimater kan give et indtryk af de usikkerheder, der er forbundet med det sporgasbaserede estimat.

2.3 Dynamik – sporgasudbredelse under gulv

Som nævnt i afsnit 1.2 er et af delformålene med projektet, at undersøge dynamikken i sporgasudbredelsen under gulv, idet det forventes, at den vil gå langsommere end når den bliver udsendt i et opblandet volumen, til den kan måles i ”konstante” niveauer i tilstødende dele af en bygning.

Når metoden anvendes med sporgaskilder ophængt i rum/hulrum med en forventet god opblanding er typiske tidsrum for installation af sporgaskilder forud for samlerophængning på op mod en dag. Ved undersøgelse af mindre serieforbundne systemer, f.eks. til luftskifteberegning eller til undersøgelse af transport over en etageadskillelse, kan der benyttes tidsrum på 1-2 dage, mens der for større og mere komplicerede systemer, f.eks. etagebyggerier, formentlig bør benyttes tidsrum på op mod en uge. En forlods ophængning af sporgaskilderne skal sikre, at sporgasafgivelsen og –transporten til det system der skal karakteriseres, er kommet i en form for ligevægt med de interne og eksterne luftstrømme i bygningen, så anvendelsen af total adsorberet mængde sporgas på samplerne rent beregningsmæssigt kan benyttes som en ligevægtskoncentration, jf. afsnit 2.2.

På testlokaliteten Skovlunde Byvej 96A er der udført tre runder målinger med dosering af PFT-sporgas under gulv og i indeklima, i omfang svarende til ca. 10 målinger i poreluft og 7 stk. i indeklima; altså 3 gange 17 PFT-målinger. PFT-analyserne udføres af seniorforsker Niels C. Bergsøe, SBI - Aalborg Universitet. Der udføres sideløbende målinger på ORSA-rør i indeklimaet, svarende til 3 gange 7 stk. ORSA-rør med kemisk analyse for indhold af chlorerede opløsningsmidler.

2.4 Lokaliteter

I det følgende er der givet en kort og summarisk beskrivelse af de to lokaliteter, som er inddraget i projektet. På begge lokaliteter er der (uarmeret) betongulv støbt direkte på jord.

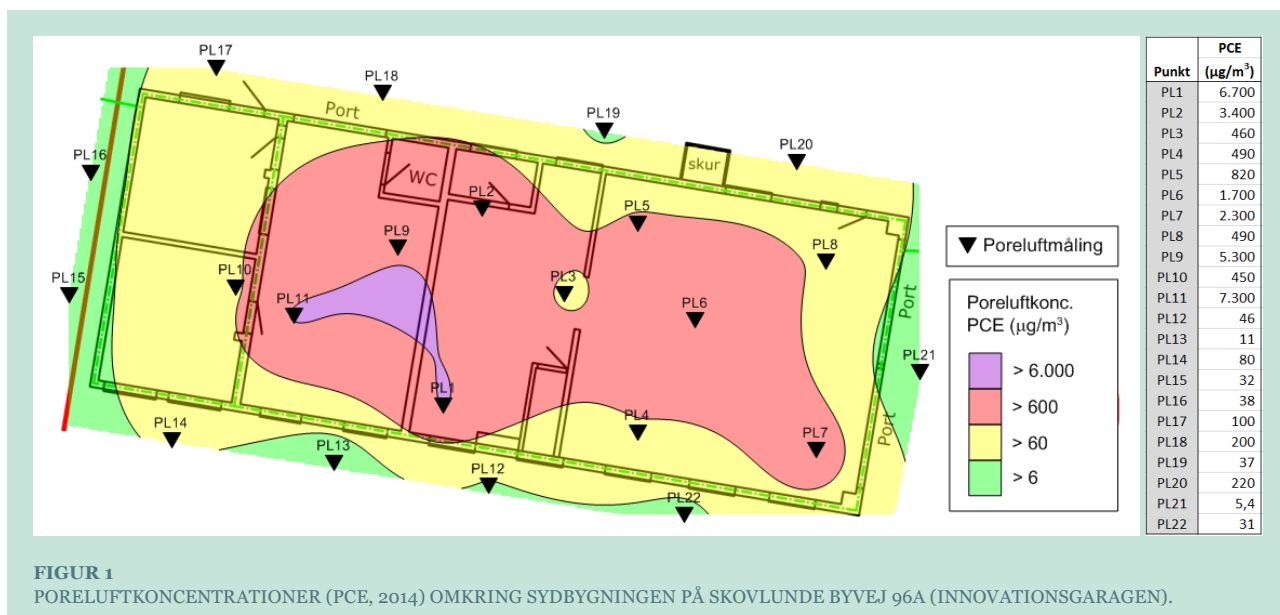
2.4.1 Skovlunde Byvej 96A (Innovationsgaragen)

På ejendommen har der igennem årene været drevet en række forskellige virksomheder, herunder renseri i en periode fra 1960 til 1987, som har medført en omfattende forurening med PCE i jord, grundvand og poreluft.

Der er opført to bygninger på ejendommen; hhv. en sydbygning og en nordbygning, begge i ét plan. De aktuelle undersøgelser er gennemført i sydbygningen.

Der er gennemført flere miljøtekniske undersøgelser; først i 1991 og siden i perioden 1997 til 1999. I 1999 er der etableret afværgeforanstaltninger i form af passiv ventilation og afværgepumpning fra det sekundære grundvandsmagasin på grunden. I perioden fra 2006 til 2012 er der foretaget revurdering af afværgeforanstaltningerne samt en række supplerende undersøgelser. I 2013 opkøber Region Hovedstaden grunden til testformål og senest i 2014 er der – i forbindelse med gennemførelsen af dette projekt - gennemført en opdateret poreluftundersøgelse under og omkring begge bygninger.

Figur 1 viser sydbygningen på Skovlunde Byvej sammen med et billede af poreluftforureningen med PCE fra 2014. De højeste poreluftkoncentrationer af PCE er konstateret i PL1 (6.700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) og PL11 (7.300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).



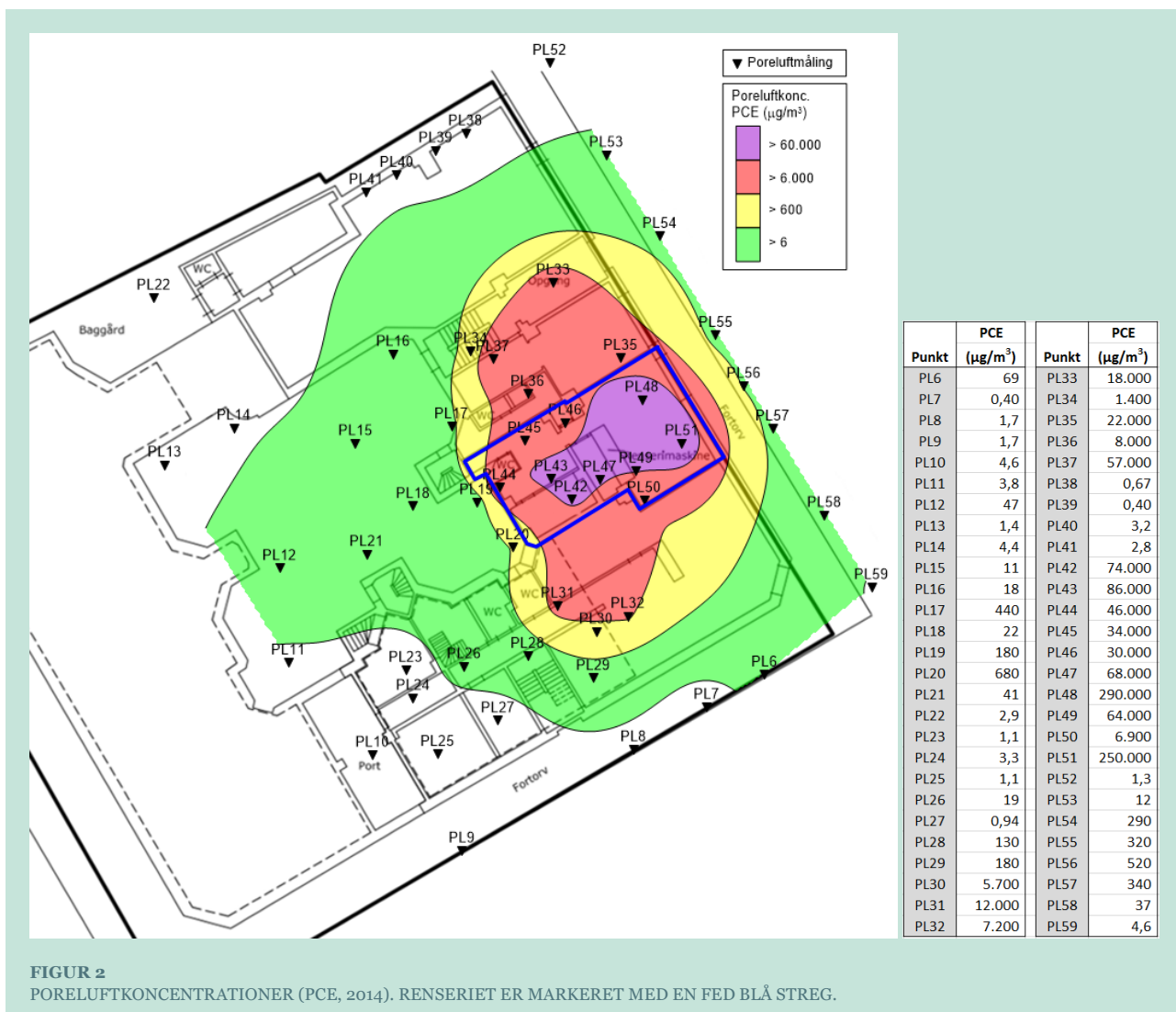
2.4.2 Renseri lokalitet i København

Ejendommen er en femtagers bygning, som er opført i 1901. I stueplan er der forskellige erhvervsaktiviteter, og der har siden 1936 været drevet renseri i det centrale erhvervsmaal. Renseri er stadig i drift. Der er ikke kælder under renseriet eller selve ejendommen, mens de to tilstødende nabo-ejendomme begge har kældre. Der er 10 lejligheder/boliger på 1. til 5 sal i ejendommen.

I perioden 2001-2005 er der udført forskellige undersøgelser, rettet mod forurening fra renseriaktiviteterne. Her er der konstateret PCE-forurening i jord, poreluft og grundvand samt i indeklimaet i lejligheden umiddelbart over renseriet. I en periode fra 2006 til 2008 har der været foretaget afværgeaktiviteter i form af aktiv ventilation fra fire dræn udlagt i fyldjorden under bygningen/renseriet. Ventilationsanlægget er stoppet i 2008, men ventilationsdræne ligger der stadig. Fra 2014 er der gennemført omfattende, afgrænsende undersøgelser i såvel jord og grundvand som i poreluft og indeklima, både på selve ejendommen og på de omkringliggende nabo-ejendomme.

Renseri anvender i dag PCE og et vigtigt mål med undersøgelsen er ønsket om at kunne opdele indeklimabidraget til de ovenliggende lejligheder i et delbidrag fra poreluftforureningen og et delbidrag fra de igangværende renseriaktiviteter.

Figur 2 viser et billede af poreluftforureningen med PCE fra 2014. Under renseriet er der konstateret poreluftkoncentrationer af PCE på op til 290.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PL48). Bemærk, at der er anvendt en anden farveskala end i Figur 1.



FIGUR 2
 PORELUFTKONCENTRATIONER (PCE, 2014). RENSERIET ER MARKERET MED EN FED BLÅ STREG.

2.5 Forsøgsprogram

2.5.1 Skovlunde Byvej 96A (Innovationsgaragen)

På Skovlunde Byvej 96A er der gennemført 3 målerunder med sporgas fra poreluft til indeklime (PMCH), med sporgas til luftskiftebestemmelse (PMCP) og med ORSA-rør til måling af indeklime- og udeluft koncentrationer af chlorerede opløsningsmidler, samt 2 klokkeforsøg til test af retablering efter installation af sporgaskilder under betongulvet. Aktivitetskalenderen for de gennemførte forsøg er gengivet i nedenstående tabel 1.

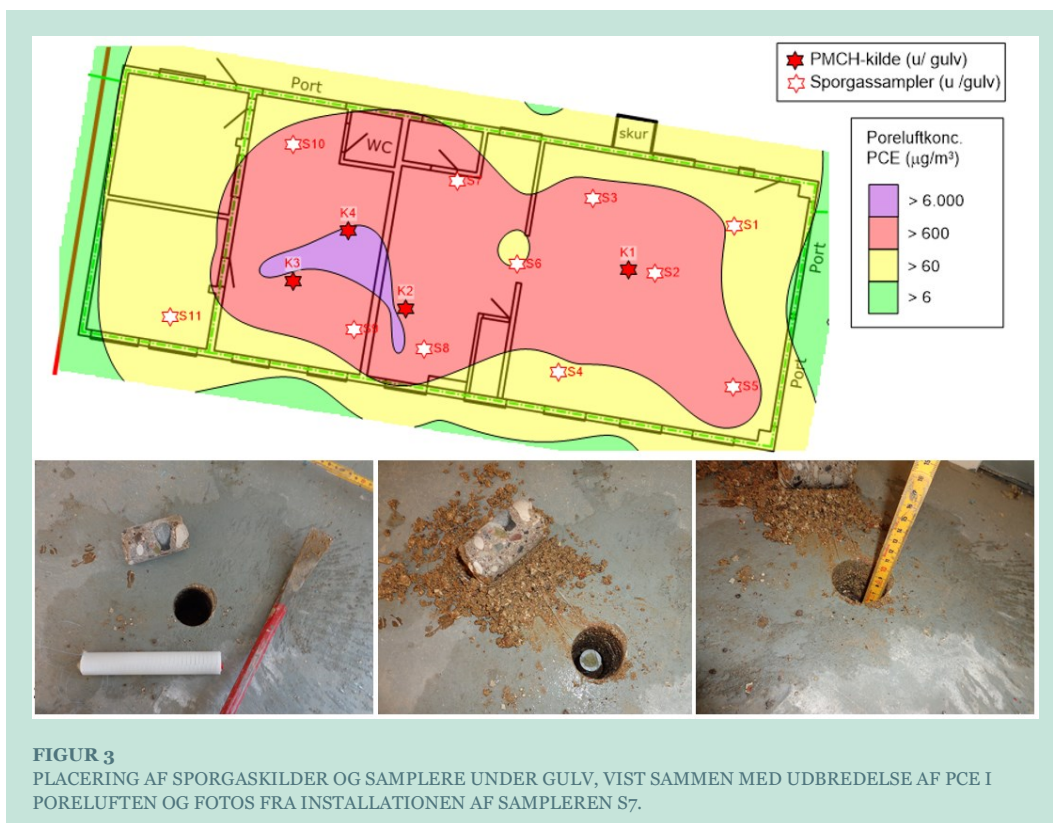
For at sikre, at der ikke sker en "falsk" eksponering af sporgassamplerne under transport og håndtering af kilder og samplere, er det ønskeligt at de håndteres rumligt og tidsligt adskilt, både under installation og høstning. På dette projekt er installation og høstning af PFT-samplere, af praktiske hensyn, foretaget mens sporgaskilderne har været installeret hhv. under gulv og i indeklimeet på lokaliteten. Håndteringen er sket under en procedure, der minimerer muligheden for en falsk eksponering af samplerne, så sporgaskoncentrationen i maksimalt omfang afspejler den endelige installationssituation, som vi er interesserede i at karakterisere. Proceduren er nærmere beskrevet i afsnit 2.6.

TABEL 1

AKTIVITETSKALENDER FOR SPORGASFORSØG OG INDEKLIMAMÅLINGER PÅ SKOVLUNDE BYVEJ 96A (INNOVATIONSGARAGEN).

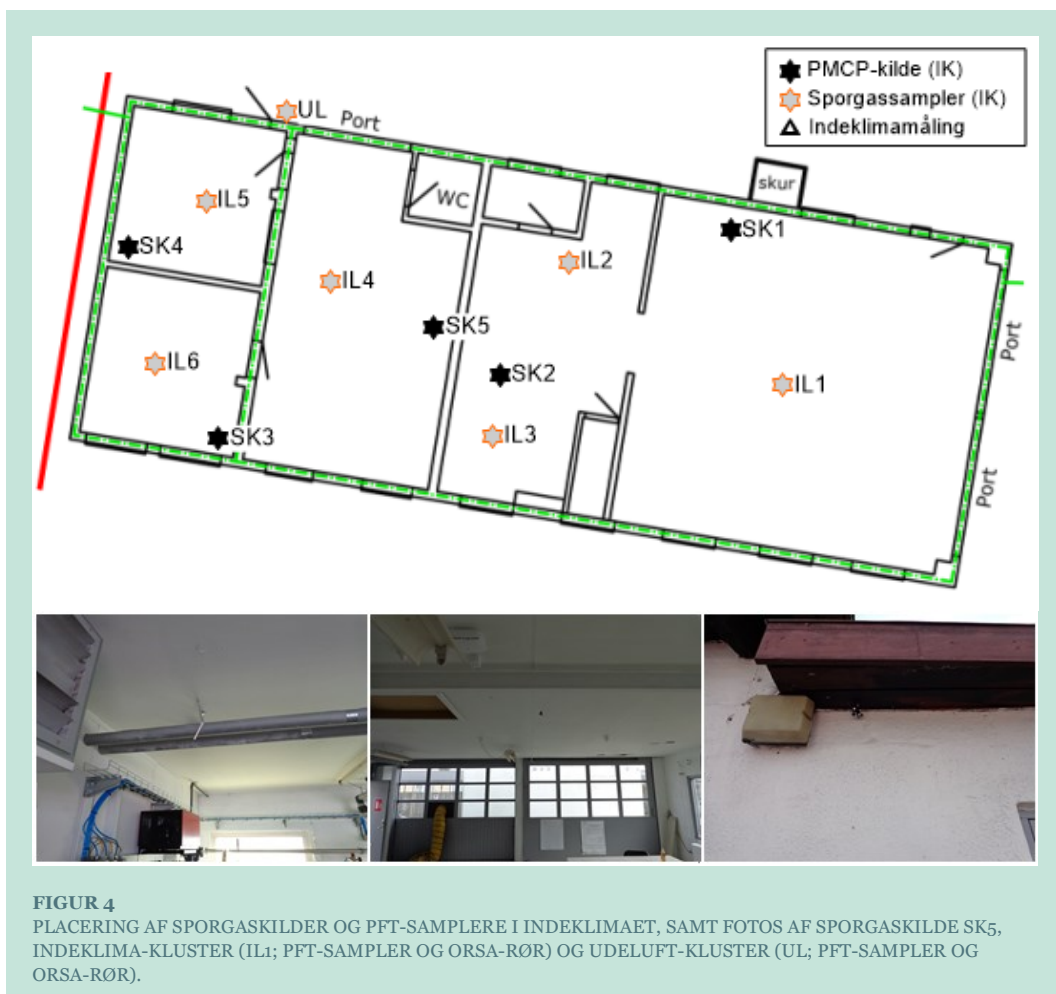
15-04-2015	Installation af 4 stk. sporgaskilder (PMCH-kilder) under gulv. Ophængning af 5 stk. sporgaskilder (PMCP-kilder) i indeklimaet.
23-04-2015	Installation af 11 stk. PFT-samlere under gulv – runde 1.
<i>Start runde 1</i>	Ophængning af 6 stk. PFT-samlere i indeklima + 1 PFT-sampler som udereference – runde 1. Ophængning af 6 stk. ORSA-rør i indeklima + 1 ORSA-rør som udereference – runde 1. Klokkeforsøg 1 (ved K3), to osteklokker med 1 PFT-sampler og 1 ORSA-rør i hver.
7-05-2015	Høst af PFT-samlere og ORSA-rør fra runde 1 og klokkeforsøg 1.
<i>Høst runde 1</i>	Installation af 11 stk. PFT-samlere under gulv – runde 2.
<i>Start runde 2</i>	Ophængning af 6 stk. PFT-samlere i indeklima + 1 PFT-sampler som udereference – runde 2. Ophængning af 6 stk. ORSA-rør i indeklima + 1 ORSA-rør som udereference – runde 2. Klokkeforsøg 2 (ved K4), to osteklokker med 1 PFT-sampler og 1 ORSA-rør i hver.
21-05-2015	Høst af PFT-samlere og ORSA-rør fra runde 2 og klokkeforsøg 2.
<i>Høst runde 2</i>	Installation af 11 stk. PFT-samlere under gulv – runde 3.
<i>Start runde 3</i>	Ophængning af 6 stk. PFT-samlere i indeklima + 1 sampler som udereference – runde 3. Ophængning af 6 stk. ORSA-rør i indeklima + 1 rør som udereference – runde 3.
4-06-2015	Høst af PFT-samlere og ORSA-rør fra runde 3.
<i>Høst runde 3</i>	Optagning af 4 stk. sporgaskilder (PMCH-kilder) fra under gulv. Nedtagning af 5 stk. sporgaskilder (PMCP-kilder) fra indeklimaet.

Placeringen af sporgaskilder og PFT-samlere under gulv er vist i Figur 3. Sporgaskilderne under gulv (K1-K4) er placeret i positioner, der fremmer en sporgasspredning fra konstaterede poreluft-”hot-spots”, der kan imitere poreluftforureningen, mens PFT-samlerne under gulv (S1-S11) er placeret så sporgasudbredelsen under gulv kan verificeres.



FIGUR 3
 PLACERING AF SPORGASKILDER OG SAMPLERE UNDER GULV, VIST SAMMEN MED UDBREDELSE AF PCE I PORELUFTEN OG FOTOS FRA INSTALLATIONEN AF SAMPLEREN S7.

Placeringen af sporgaskilder og –samplere i indeklimaet er vist i Figur 4. Sporgaskilderne i indeklimaet (SK1-SK4) er placeret i positioner, der sikrer en god, jævn sporgasspredning i indeklimaet, mens PFT-samplere i indeklimaet (IL1-IL11) er placeret jævnt fordelt. Samtlige PFT-samplere, inkl. udreferencen (UL) under hensyntagen til tidligere monitoringspunkter for måling af chlorerede opløsningsmidler. I positionerne IL1-IL11 samt UL er der ligeledes ophængt ORSA-rør til måling af chlorerede opløsningsmidler.



2.5.2 Renserilokalitet i København

På renserilokaliteten i København er der gennemført en målerunde med sporgas fra poreluft til indeklima (PMCP), med sporgas til luftskiftebestemmelse (PMCH) og med ORSA-rør til måling af indeklima- og udeluftkoncentrationer af chlorerede opløsningsmidler. På baggrund af resultaterne fra Skovlunde Byvej 96A er det valgt at lave en diffusionshæmning af sporgasafgivelsen fra PMCP-kilderne, installeret under gulv, ved påsætning af en samplerprop. Forsøg på SBi har vist, at påsætning af en samplerprop medfører en frigivelse på ca. 10-20% af den uhæmmede sporgasfrigivelse (den nøjagtige hæmning er ikke vigtig).

For at sikre, at der ikke sker en "falsk" eksponering af PFT-samplere under transport og håndtering af kilder og samplere, er det ønskeligt at de håndteres rumligt og tidligt adskilt, både under installation og høstning. På dette projekt er installation og høstning af sporgaskilder og PFT-samplere fra installationen under gulvet i renseriet imidlertid, af praktiske hensyn, i nogen grad gennemført på samme dag/tidspunkt. Sporgaskilder og PFT-samplere er dog leveret og afhentet i forskellige biler, og håndteringen er sket under kraftig udluftning (gennemtræk) og i en rækkefølge, der minimerer muligheden for en falsk eksponering af samplerne, så sporgaskoncentrationen i maksimalt omfang afspejler den endelige installationssituation, som vi er interesserede i at karakterisere.

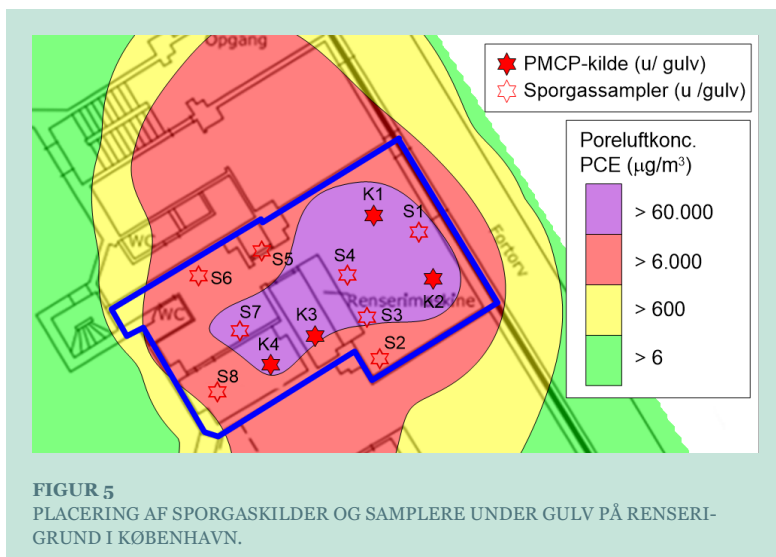
Aktivitetsskemaet for de gennemførte forsøg er gengivet i nedenstående tabel.

TABEL 2

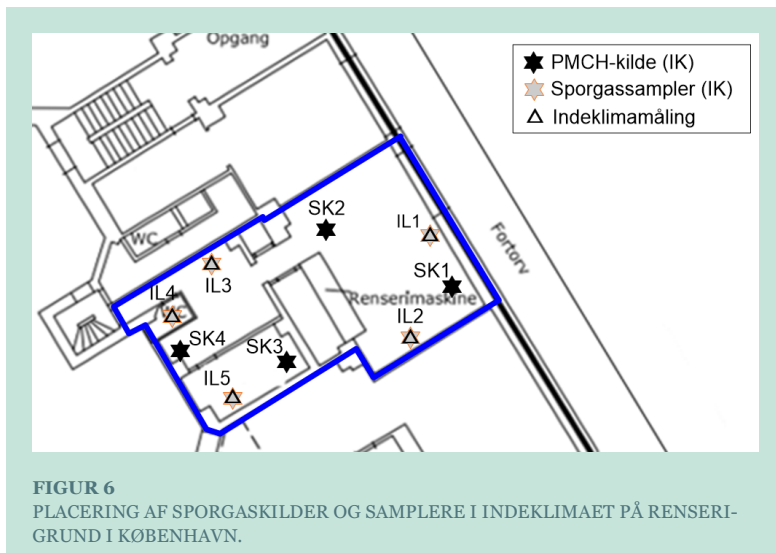
AKTIVITETSKALENDER FOR SPORGASFORSØG OG INDEKLIMAMÅLINGER PÅ RENSERI I KØBENHAVN.

24-09-2015	Ophængning af 8 sporgaskilder (PMCH-kilder) i fire positioner i rensriet (2 i hver).
2-10-2015	Installation af 4 diffusionshæmmede sporgaskilder (PMCP-kilder) under gulv. Installation af 8 PFT-samlere under rensriets gulv.
8-10-2015	Ophængning af 5 PFT-samlere i rensriets indeklima + 1 PFT-sampler som udereference. Ophængning af 5 ORSA-rør i indeklima + 1 ORSA-rør som udereference.
22-10-2015	Høst af PFT-samlere og ORSA-rør fra renseri og udeluft.
23-10-2015	Høst af 8 PFT-samlere fra under gulv. Optagning af 4 sporgaskilder (PMCP-kilder) fra under gulv. Nedtagning af 8 sporgaskilder (PMCH-kilder) fra indeklimaet i rensriet.

Placeringen af sporgaskilder og PFT-samlere under gulv er vist i Figur 5. Sporgaskilderne under gulv (K1-K4) er placeret i positioner, der sikrer en sporgasspredning fra det konstaterede poreluft-”hot-spot”, der kan imitere poreluftforureningen, mens PFT-samlere under gulv (S1-S8) er placeret så sporgasudbredelsen under gulv kan kontrolleres.



Placeringen af sporgaskilder og PFT-samlere i indeklimaet er vist i Figur 6. Sporgaskilderne i indeklimaet (SK1-SK4) er placeret i positioner, der sikrer en god, jævn sporgasspredning i indeklimaet, mens PFT-samlere i indeklimaet (IL1-IL5) er placeret jævnt fordelt og under hensyntagen til tidligere monitoringspunkter for måling af chlorerede opløsningsmidler i indeklimaet. Samleren i udeluften (UL) er placeret i baggården, i samme punkt som udeluftreference for måling af chlorerede opløsningsmidler. I positionerne IL1-IL5 samt UL er der ligeledes ophængt ORSA-rør til måling af chlorerede opløsningsmidler.



2.6 Installation af sporgaskilder og PFT-samplere under gulv

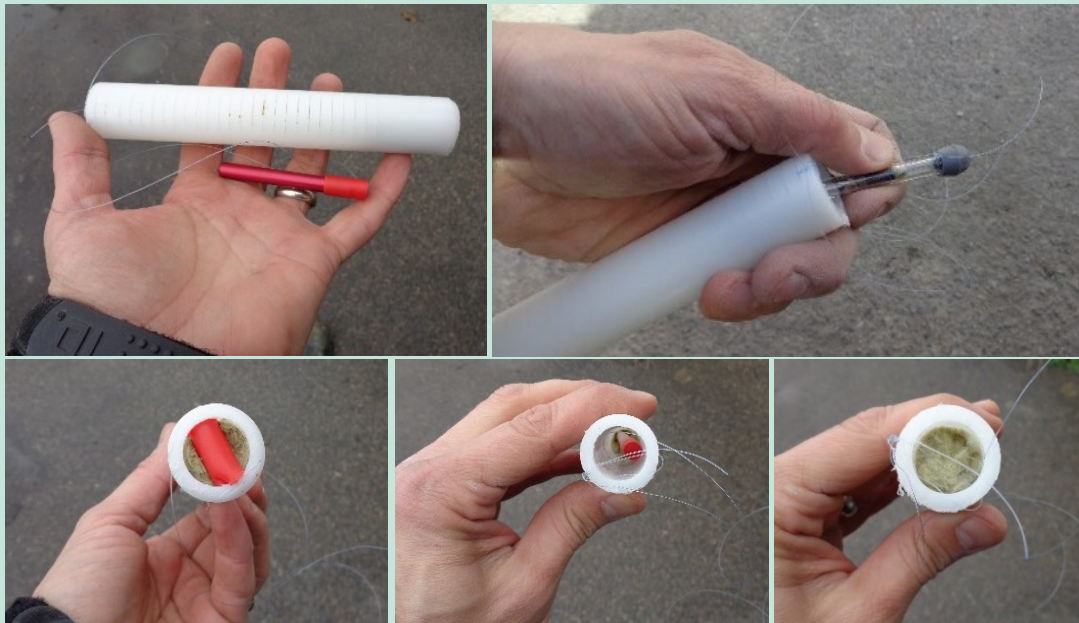
Som nævnt i "Forord" er et af delformålene med projektet at udvikle og afprøve materialer og metodik til installation af sporgaskilder og PFT-samplere under gulv, med mindst mulig gene ift. bygnings anvendelse og med sikkerhed for at selve installationen ikke skaber bypass af sporgas og poreluftforurening til indeklimaet.

Den udviklede metodik består af følgende delelementer:

1. Kerneboring igennem betongulvet (ø55 mm).
2. Udgravning af hul til ca. 10 cm under underkant af beton.
3. Isætning af ø25/19 mm filterrør med kilde/sampler (fiskesnøre benyttet som styring).
4. Opfyldning med filtersand (Dansand 1, 0,4-0,8 mm) omkring/over filter, ca. til underkant af beton.
5. Afpropning af hul i betongulv med Sikadur-42 HE epoxybaseret flydemørtel.

I forhold til punkt 5 bemærkes det, at arbejde med Sikadur-42 HE kræver epoxy-kursus og højt sikkerhedsniveau af arbejdsmiljømæssige hensyn (handsker, luftforsynet helmaske/åndedrætsværn og beskyttelsesdragt).

Metode og materialer for installation af sporgaskilder og PFT-samplere i filterrør er vist i Figur 7 mens procedure for installation under gulv er vist i Figur 8.



FIGUR 7

METODE OG MATERIALER FOR INSTALLATION AF SPORGASKILDER OG PFT-SAMPLERE I FILTERRØR:
ØVERST TV: FILTERRØR OG SPORGASKILDE (PMCH). ØVERST TH: PFT-SAMPLER INSTALLERET I FILTERRØR (VENSTRE PROP AFTAGET). NEDERST TV (SET FRA BUND): PROP I BUND AF FILTERRØR, HEROVER LIDT ROCKWOOL. NEDERST MIDT (SET FRA TOP): SPORGASKILDE I FILTERRØR. NEDERST TH (FILTERRØR SET FRA TOP): AFPROPNING MED LIDT ROCKWOOL. FILTER OG SPORGASKILDE/PFT-SAMPLER MONTERET MED FISKESNØRE TIL HÅNDBLING.



FIGUR 8

PROCEDURE FOR INSTALLATION AF SPORGASKILDER OG PFT-SAMPLERE UNDER GULV:
ØVERST TV: KERNEBORING AF BETONGULV. ØVERST MIDT: OPBORET BETONKERNE. HUL UNDER GULV UDGRAVET TIL CA. 10 CM UNDER BETON UNDERKANT. ØVERST TH: FILTERSAND (DANSAND 1) TIL OPFYLDNING OMKRING FILTERRØR. NEDERST TV: FILTERRØR INSTALLERET UNDER GULV. FILTERSAND OPFYLDT TIL UNDERKANT AF BETON. FISKESNØRE TIL CENTRERING AF FILTERRØR I INSTALLATIONSHUL. NEDERST MIDT: KLARGØRING AF SIKADUR-42 HE FLYDEMØRTEL TIL AFPROPNING AF HUL OVER INSTALLATION. NEDERST TH: FÆRDIG INSTALLATION AFSLUTTET MED SIKADUR-42 HE.

På lokaliteten Skovlunde Byvej 96A er der imellem de enkelte forsøgsrunder foretaget en opboring med kernebor, optagning og forsegling af samplerrøret (der er lagt i en sporgasfri bil), og afdækning af borehullet med midlertidigt nedsat borekerne og et stykke opfugtet pap (for at hindre sporgas i at trænge op og ned igennem hullet). Efterfølgende er der foretaget nedsætning af en ny sampler og afpropning med Sikadur-42 HE (jf. Figur 7 og Figur 8). Alle samplere er håndteret udendørs. Hele proceduren er foretaget under kraftig udluftning af lokalerne (gennemtræk) for at mindske krydskontaminering imellem rumluft og poreluft.

Den endelige optagning af de sporgaskilder, der har været installeret under gulv, er foretaget efter afsendelse af alle PFT-samplere til laboratoriet, og den endelige retablering af gulvet er foretaget på samme måde, som den midlertidige retablering, der er foretaget imellem de enkelte målerunder (med Sikadur-42 HE).

2.7 Test af retableringens tæthed

Som nævnt i afsnit 1.2 er et af delformålene med projektet, at opstille, afprøve og dokumentere en metode til installation af sporgaskilder og –samplere under gulv, som sikrer at der ikke skabes en (ny) spredningsvej fra poreluft til indeklima pga. installationen. Tidligere undersøgelser har sat spørgsmålstegn ved tætheden af lapninger lavet af mørtelbaserede produkter og til dels fugemasser /6/, hvorfor DMR har udarbejdet en intern standard baseret på brugen af Sikadur-42 HE epoxybaseret flydemørtel – som er anvendt og yderligere dokumenteret i dette projekt. I Figur 9 ses to borekerner fra lokaliteten, hhv. én borekerne af intakt betongulv og én borekerne af Sikadur-42 HE.



FIGUR 9
BOREKERNER AF HHV. INTAKT BETON FRA SKOVLUNDE
BYVEJ 96A OG EN KERNE AF SIKADUR-42 HE.

Som det fremgår af Figur 9, så virker borekernen af intakt beton fra lokaliteten forholdsvis porøs ift. borekernen af Sikadur-42 HE.

For at teste tætheden af retableringen med Sikadur-42 HE, er der opsat 5L ”osteklokker” over hhv. et retableret hul, hvori der er installeret en sporgaskilde, og over et stykke intakt betongulv umiddelbart ved siden af. Både inde i klokkerne, og i rumluften uden for klokkerne, er der ophængt ORSA-rør til opsamling af chlorerede opløsningsmidler og samplere til opsamling af sporgasser. Der er endvidere etableret et kunstigt luftskifte i klokkerne (med rumluften) på $0,5 \text{ time}^{-1}$, svarende til det forventede luftskifte i lokalerne, ved påsætning og kalibrering af en lille akvariepumpe til

mellem 2 og 2,5 L/time. Præcisionsflowmeter er venligst udlånt af Jeppe Lund Nielsen, Aalborg Universitet.

Princippet i opstillingen er, at hvis der måles højere koncentrationer af sporgas og PCE inde i klokken over det retablerede hul end i klokken over det intakte betongulv, så er retableringen mere utæt end det omkringliggende, intakte betongulv. Forsøgsopstillingen er vist i nedenstående Figur 10.



FIGUR 10

FORSØGSOPSTILLING TIL CHECK AF RETABLERINGENS TÆTHED.

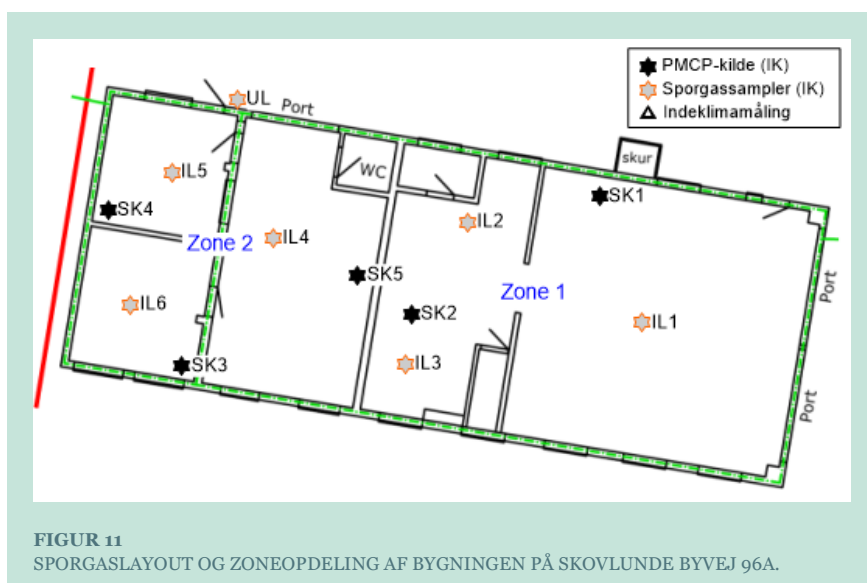
ØVERST TV: KERNEBORING AF BETONGULV I PUNKT FOR INSTALLATION AF SPORGASKILDE. ØVERST MIDT: OPBRET BETONKERNE. HUL UNDER GULV UDGRAVET TIL CA. 10 CM UNDER BETON UNDERKANT. ØVERST TH: FÆRDIG INSTALLATION AFSLUTTET MED SIKADUR-42 HE. NEDERST TV: FLOWKALIBRERING/-KONTROL AF LUFTSKIFTE I OSTEKLOKKE, MED PRÆCISIONSFLOWMETER. NEDERST TH: ENDELIG FORSØGSOPSTILLING MED KLOKKE OVER RETABLERET HUL (K3) OG OVER INTAKT GULV. PASSIVE SAMPLERE TIL OPSAMLING AF CHLOREREDE OPLØSNINGSMIDLER OG SPORGAS OVER 14 DAGE INSTALLERET I HVER KLOKKE.

3. Resultater

3.1 Luftsifter

3.1.1 Skovlunde Byvej 96A (Innovationsgaragen)

På Skovlunde Byvej 96A har SBi – på baggrund af PMCP, udsendt i 5 punkter i indeklimaet (SK1-SK5) og målt i 6 punkter i indeklimaet (IL1-IL6) – beregnet luftsifter efter konstantdoseringsprincippet. Luftsiftet er beregnet for de tre analyserunder og for to dele af bygningen, der er adskilt af en gennemgående skillevej; hhv. den østlige del (Zone 1), omfattet af SK1 og SK2, samt IL1-IL3, og den vestlige del (Zone 2), omfattet af SK3-SK5 samt IL4-IL6, jf. Figur 11.



FIGUR 11
SPORGASLAYOUT OG ZONEOPDELING AF BYGNINGEN PÅ SKOVLUNDE BYVEJ 96A.

Resultaterne af luftsiftebestemmelserne fremgår af nedenstående tabel 3.

TABEL 3
LUFTSKIFTEBESTEMMELSER FOR SKOVLUNDE BYVEJ 96A; 2 BYGNINGSZONER OG 3 MÅLERUNDER.

Prøverunde		Zone 1 (IL1-IL3)	Zone 2 (IL4-IL6)
Runde 1	Ls (h ⁻¹)	0,62	0,39
	Temperatur (°C)	19,7	15,5
Runde 2	Ls (h ⁻¹)	0,53	0,36
	Temperatur (°C)	19,0	15,0
Runde 3	Ls (h ⁻¹)	0,55	0,47
	Temperatur (°C)	21,4	16,1

Som det fremgår af Tabel 3, så har der været et luftskifte i størrelsesordenen 0,4-0,6 h⁻¹ i bygningen imens forsøgene har stået på. Specielt i de to første målerunder ses der relativt store forskelle på luftskiftet i de to bygningszoner, hvilket skyldes forskellige aktivitetsniveauer i de to zoner. Herunder specielt, at der i forbindelse med et andet projekt har været en del aktivitet forbundet med op-sætningen af et test-afværgeanlæg (EK-TAP) i Zone 1.

3.1.2 Renserilokalitet i København

På renserilokaliteten i København har SBi – på baggrund af PMCH, udsendt i 4 punkter i indeklimaet (SK1-SK4) og målt i 5 punkter i indeklimaet (IL1-IL5) – beregnet luftskifte efter konstantdoseringsprincippet. På baggrund af tidligere resultater fra renseriet har der været ophængt 2 PMCH-kilder i hver position (SK1-SK4). Luftskiftet er beregnet som et gennemsnitligt luftskifte for hele renseriet, jf. Figur 6.

TABEL 4
LUFTSKIFTEBESTEMMELSER FOR RENSERILOKALITET I
KØBENHAVN (OKTOBER 2015).

Parameter	Renseri (IL1-IL5)
Ls (h ⁻¹)	7,0
Temperatur (°C)	20,4

Som det ses af tabellen har der været et ret højt luftskifte i renseriet under måleperioden. Ved en tidligere lejlighed (november 2014) er der konstateret et luftskifte på ca. 1,9 h⁻¹. Det har ikke været muligt at finde en forklaring på den store forskel imellem de to målerunder.

3.2 Test af retableringens tæthed

På Skovlunde Byvej 96A (Innovationsgaragen) er der, som nævnt i afsnit 2.6, udført ”klokkeforsøg” med henblik på at undersøge om den valgte retableringsmetode med anvendelse af Sikadur-42 HE er tilstrækkelig til at sikre, at der ikke skabes nye utætheder i gulvet, ved kerneboring til installation af både sporgaskilder og –samplere under betongulvet. Disse forsøg er udført ved to af de retablerede huller for installation af sporgaskilder (PMCH) under gulvet (ved K3 og K4, jf. Figur 10). Forsøgsopstillingerne ses i Figur 12.



FIGUR 12
FORSØGSOPSTILLING TIL TEST AF TÆTHEDEN AF RETABLERING MED SIKADUR-42 HE OVER SPORGASKILDERNE K3 (VENSTRE) OG K4 (HØJRE). ÉN KLOKKE OVER DET RETABLEREDE HUL (KLOKKE A) OG ÉN OVER ET STYKKE REFERENCEGULV LIGE VED SIDEN AF (KLOKKE B).

Resultaterne for PCE og PMCH, udsendt under gulv i kildepunktet under Klokke A, er gengivet i Tabel 5. Forsøget ved sporgaskilde K3 er udført i målerunde 1 og forsøget med sporgaskilde K4 er udført i målerunde 2.

TABEL 5
RESULTATER AF 14-DAGES KLOKKEFORSØG VED SPORGASKILDE K3 OG K4. LUFTUDVEKSLING IMELLEM KLOKKER OG RUMLUFT ER ANFØRT SOM ET LUFTSKIFTE (Ls).

Målepunkt	Ved K3		Ved K4	
	PCE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PMCH (pl)	PCE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PMCH (pl)
IL4 (Indeklima)	68	52	95	63
Klokke A (over kilde)	59 <i>Ls = 0,42 h⁻¹</i>	202	77 <i>Ls = 0,53 h⁻¹</i>	262/225
Klokke B (kontrol)	65 <i>Ls = 0,50 h⁻¹</i>	393	130 <i>Ls = 0,45 h⁻¹</i>	348.000/398.000

Som det fremgår af Tabel 5, så er der ved sporgaskilde K3, som er placeret i et område med forhøjet poreluftkoncentration af PCE, jf. Figur 3, konstateret samme niveauer af PCE i begge klokker som i det omkringliggende indeklima (IL4). På baggrund heraf er der ikke noget der tyder på, at der er nogen nævneværdig poreluftindtrængning igennem gulvet under de to klokker. På baggrund af resultaterne for PMCH ses det, at der sker en indtrængning af sporgas (som er installeret lige under klokke A) til begge klokker, som overstiger den koncentration, der ses ved opblanding af alt indtrængende sporgas til rummet som helhed. Der er konstateret højere niveau af PMCH under Klokke B hvilket indikerer, at det intakte betongulv (om noget) er lidt mere utæt end det retablerede betongulv under Klokke A. Retableringen under Klokke A ser dermed ud til at være mindst lige så tæt som det intakte betongulv umiddelbart ved siden af.

Også ved sporgaskilde K4 ses der en tendens til at PCE under Klokke B (kontrol over intakt betongulv) er højere end i såvel Klokke A som i den omkringliggende rumluft (IL4). Tilsvarende er der væsentligt højere koncentration af PMCH under Klokke B. I dette tilfælde er retableringen efter kerneboringen af betongulvet (under Klokke A) betydeligt mere tæt end det intakte betongulv (under Klokke B).

På baggrund af ovenstående resultater vurderes det, at retablering af betongulv, efter gennembrydning, kan foretages tilfredsstillende ved brug af Sikadur-42 HE.

3.3 Dynamik i sporgasudbredelse under gulv

På baggrund af ganske sparsomme erfaringer fra forsøg med at anvende sporgasser, der udsendes i jord /2/ og /3/, var der en forventning om at udsendelse af sporgas under gulv (i jord) ville være en kraftigt diffusionsbegrænset proces, så der forventedes at gå nogen tid fra installation af sporgaskilder til der ville kunne observeres en "sporgassky", som var i ligevægt med omgivelserne på samme måde som poreluftskyen. Der forventedes en (langsomt) voksende sporgassky, som derefter – i ligevægt med indeklimaet via spredningsveje fra poreluft til indeklima – ville slå igennem til indeklimakoncentrationer.

På baggrund af disse forventninger blev måleprogrammet på Skovlunde Byvej 96A lagt an på tre, på hinanden følgende, målerunder af sporgas, både under gulvet og i indeklimaet. Den første 14-dages målerunde under gulv blev planlagt til start 1 uge efter installation af sporgaskilder under gulv. Grundet en forholdsvis lang analysetid har det desværre ikke været muligt at tage bestik af resultaterne fra den første målerunde inden installation af samplere til de efterfølgende målerunder.

Resultaterne er gengivet i nedenstående Figur 13.



FIGUR 13

ØVERST: LAYOUT AF SPORGASFORSØGET (KILDER OG SAMPLERE) PÅ SKOVLUNDE BYVEJ 96A. PMCH UDSENDT I 4 PUNKTER UNDER GULV. PMCP UDSENDT I 5 PUNKTER I INDEKLIMA. SAMPLERNE S1-S11 HAR VÆRET PLACERET UNDER GULV, MENS SAMPLERNE IL1-IL6 HAR VÆRET PLACERET I INDEKLIMAET. NEDERST: PFT-MÆNGDER PÅ SAMPLERE (ENHED: PICOLITER), RØD: PMCH, GRÅ: PMCP.

Som det fremgår af Figur 13 er der konstateret overload af en del samplere placeret under gulv. SBI har oplyst, at vejledende grænser for overload af samplerne forekommer ved indhold af PMCP på ca. 1.000.000 pl og indhold af PMCH på ca. 400.000 pl. Dertil kommer PMCH igennem kolonnen senere end PMCP, og overload af PMCP vil påvirke resultaterne for PMCH negativt.

I forhold til undersøgelsesformålet med at undersøge den diffusive udbredelse af sporgasskyen under gulvet, fokuseres først på resultaterne for PMCH, udsendt under gulv, og samplerne S1-S11 (installeret under gulv). Som det fremgår af resultaterne i det venstre resultatdiagram (1. målerunde), så er der allerede 1-3 uger efter installation af sporgaskilder under gulvet, sket en spredning af sporgas i et sådant omfang, at der er overload i 5 af de 11 samplere (dem der ligger tættest på kilderne: S2, S3 og S7-S9). I runde 2 og 3 er dette forværret, således at der er overload i yderligere 2

samlere (S1 og S6). I de samplere der ikke er omfattet af overload fra første målerunde, sker der en progressiv stigning imellem de enkelte målerunder (som forventet) i 4 samplerpositioner. I to positioner (S10 og S11) ses det højeste indhold i runde 2, og i S11 observeres der, som det eneste punkt, ikke et særligt højt gennembrud af sporgas til. Undtaget for sampler S11 observeres det faktisk, at sporgassen breder sig "som ringe i vandet" omkring kildepunkterne – det går bare hurtigere end forventet, og koncentrationerne er højere end forventet på baggrund af resultaterne i /2/ og /3/.

Den umiddelbare konklusion på resultaterne er at forsøget desværre er mislykkedes. Med overload i ca. halvdelen af samplerne er det ikke muligt at beregne et arealvægtet gennemsnit for sporgaskoncentrationen under gulvet, som kan benyttes i formel 1, jf. afsnit 2.2. Eventuelle fremtidige forsøg på at udbrede sporgas under betongulv bør tage dette i ed, via en reduceret sporgasemmission.

Hvis der ses på resultaterne for PMCP, udsendt i indeklimaet, så observeres niveauer i indeklimaet på i størrelsesordenen 60-100 pl i Zone 1 (IL1-IL3), og på i størrelsesordenen 260-400 pl (undtaget en enkelt måling på >17.000 pl) i Zone 2 (IL4-IL6). I samplerne under gulv observeres koncentrationer varierende fra ca. 5 til >1.000 pl, med konsistent høje værdier i S8 og S9. Disse værdier har næppe en bygningsrelateret fysisk forklaring (præferentiel spredning fra kilder i indeklimaet til samplere under gulv) og må betragtes som fejlbehæftede, enten som funktion af kontaminering ifm. håndteringen eller ifm. laboratoriarbejdet. Begge dele har dog haft stor opmærksomhed under projektets gennemførelse, og virker ikke til at være oplagte som kilder til resultaterne. Bemærkelsesværdigt i den sammenhæng er også, at de tilsvarende resultater fra indeklimaet alle ser pålidelige ud, specielt i den 3 målerunde.

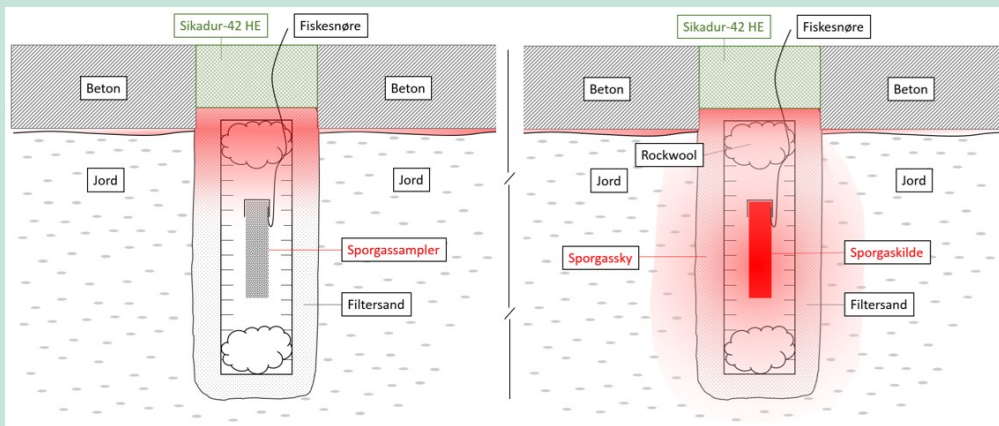
3.4 Reduktionsfaktorer (sporgas og PCE)

3.4.1 Skovlunde Byvej 96A (Innovationsgaragen)

Hvis der tages udgangspunkt i resultaterne for runde 3 (diagrammet til højre i Figur 13) og resultaterne for PMCH under gulvet (S1-S11), så varierer de fra 63 (S11) til ca. 56.000 pl (S4) til overload (> 400.000 pl), med stor overvægt af meget høje resultater, f.eks. > 50.000 pl (kun 3 ud af 11 værdier er lavere). Tilsvarende ligger PMCH-niveauerne i indeklimaet (IL1-IL6) i runde 3 på mellem ca. 30 og 60 pl (middel ca. 45), hvilket med udgangspunkt i formel 1 (afsnit 2.2) burde give reduktionsfaktorer på > 1.100.

På baggrund af en byggetekniske gennemgang af bygningen /7/ og de opborede betonkerner (jf. Figur 9), samt erfaringsværdierne i /5/, vurderes det højst usandsynligt, at der skulle være reduktionsfaktorer på lokaliteten i størrelsesordenen > 1.100.

Samlet set vurderes det, at det ikke har været muligt at få en tilfredsstillende, repræsentativ udbredelse af sporgassen under gulv, til at de "målte" værdier for PMCH under gulv repræsenterer et større volumen omkring samplerne, men måske snarere repræsenterer nogle små transportaktive volumener imellem sporgaskilder og PFT-samlere (altså små volumener med meget høje koncentrationer), f.eks. i udtørrede jordlag lige under betonen, jf. illustrationen i Figur 14.



FIGUR 14
 BEGRÆNSET UDBREDELSE AF SPORGASKY FRA KILDE UNDER GULV (TIL HØJRE) I PORELUFTEN OMKRING SPORGASKILDEN, SAMT PRÆFERENTIEL SPREDNING I UDTØRREDE JORDLAG LIGE UNDER BETONGULVET FRA KILDEN TIL SAMPLEREN (TIL VENSTRE).

Indeklimaresultaterne for PCE er vist i Tabel 6, sammen med tidligere resultater fra monitoring, gennemført af Region Hovedstaden.

TABEL 6
 PCE-KONCENTRATIONER I INDEKLIMA OG UDEREFERENCEE (UL) – ALLE KONCENTRATIONER I $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Prøverunde	Zone 1			Zone 2			UL
	IL1	IL2	IL3	IL4	IL5	IL6	
Runde 1	86	93	110	68	65	62	8,6
Runde 2	110	120	140	95	72	85	3,4
Runde 3	98	110	140	70	65	66	2,2
Tidligere resultater	61-67			41-45			1,9

Som det ses af tabellen, så er der generelt konstateret højere koncentrationer i indeklimaet end tidligere; gennemsnitligt 78% forøgede værdier i Zone 1 og gennemsnitligt 68% forøgede værdier i Zone 2. Dette vurderes at hænge sammen med etablering og drift af et demonstrations afværgeprojekt (EK-TAP), samtidig med gennemførelsen af dette projekt. En del af afværgeanlægget består i en række åbne "overflow"-tanke (pallettanke) til oppumpning af PCE-forurenet grundvand, opstillet i området for IL3. Det ses tydeligt, at IL3 konsistent har højest koncentration i alle tre målerunder. Det vurderes, at der også sker afsmitning til Zone 2, i og med at de højeste koncentrationer i Zone 2 ses i IL4 (på den anden side af skillevæggen).

Det forhold, at der – under forsøget – har været en kraftig intern kilde til PCE, gør at PCE-koncentrationerne fra Runde 1 til 3 (sammen med den arealvægtede middelværdi i poreluften) ikke er egnede til estimering af en realistisk reduktionsfaktor over betongulvet. På baggrund af poreluftresultaterne i Figur 1 er der beregnet en arealvægtet middelværdi for PCE i poreluften på ca. $1.300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ under hele bygningen.

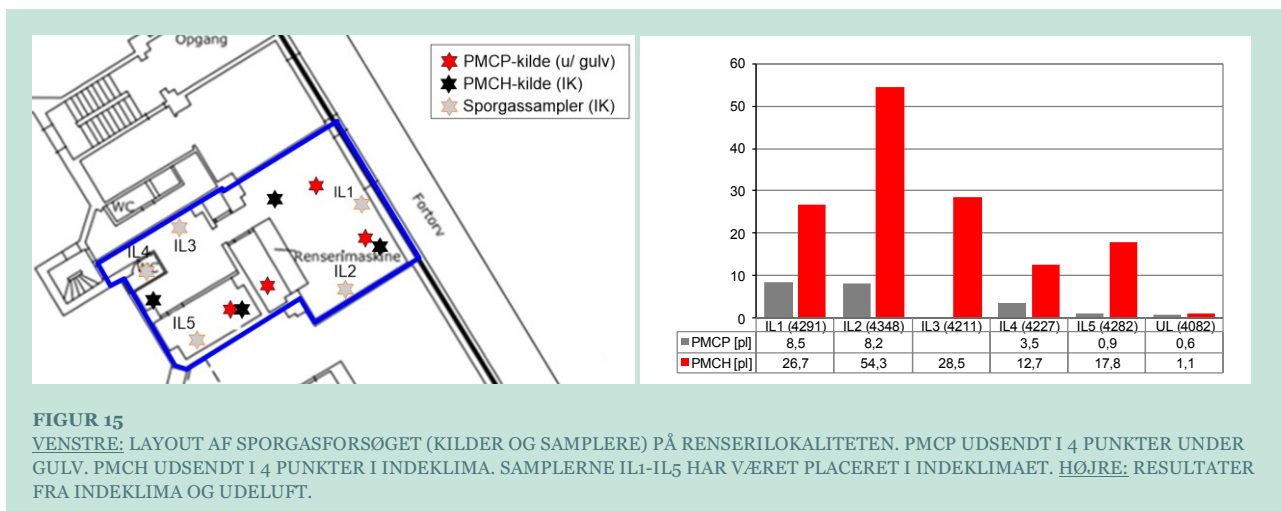
Tages der derimod udgangspunkt i de tidligere indeklimaresultater kan der beregnes en samlet aritmetisk middelværdi for indeklimakoncentrationen af PCE i hele bygning på ca. $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Med en arealvægtet middelværdi i poreluften på ca. $1.300 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kan der estimeres en reduktionsfaktor

fra poreluft til indeklima for bygningen på ca. 25, hvilket umiddelbart vurderes at være et realistisk leje for bygningen; betonkvalitet mv. taget i betragtning.

3.4.2 Renseri lokalitet i København

Baseret på resultaterne fra Skovlunde Byvej 96A er der foretaget to ændringer i udførelsen af sporgasundersøgelsen fra poreluft til indeklima: Sporgaskilderne er påsat en hætte til hæmning af den diffusive frigivelse af sporgas med en faktor 5-10 og samplerne er installeret umiddelbart i forlængelse af kilderne (samme dag).

På trods af disse ændringer er der alligevel konstateret overload af sporgasserne på de 8 samplere under gulv. Der foreligger således ingen sporgasresultater fra poreluften på denne lokalitet. Resultaterne fra indeklimaet i renseriet fremgår af Figur 15.



Da der var overload af sporgas på samtlige samplere under gulv (S1-S8) er det ikke muligt at estimere en reduktionsfaktor fra poreluft til indeklima. Det ses samtidig af Figur 15, at der er konstateret meget lave indhold af PMCP i indeklimaet (<10 pl), svarende til meget højre reduktionsfaktorer. Som for Skovlunde Byvej 96A er der således konstateret meget høje sporgaskoncentrationer under gulv (overload) og relativt lave koncentrationer i indeklimaet, hvilket må tilskrives ikke-ligevægtsmæssige forhold med præferentielle spredningsveje for sporgassen fra kilder til samplere.

Da der er ganske betydelige interne bidrag af PCE i renseriet (som anvender PCE i renseprocessen) er det ikke relevant at benytte PCE til at estimere reduktionsfaktor fra poreluft til indeklima på denne lokalitet.

4. Vurderinger

På baggrund af de gennemførte undersøgelser på Skovlunde Byvej 96A og renserigrunden i København må det konstateres, at det ikke har været muligt at lave et tilfredsstillende set-up hvormed PFT-teknikken kan benyttes til at estimere lokalitetsspecifikke reduktionsfaktorer over betongulv, støbt direkte på jord. Problemstillingerne relaterer sig til to forhold:

1. Det har ikke været muligt at få en tilfredsstillende udbredelse af sporgassen under gulv. De målte sporgasværdier (under gulv) repræsenterer således ikke poreluften under gulv som sådan, men snarere nogle små transportaktive volumener imellem sporgaskilder og – samplere (små volumener med meget høje koncentrationer), f.eks. i udtørrede jordlag lige under betonen.
2. Sporgasudbredelsen i de små transportaktive volumener under gulv foregår så hurtigt, at der inden for afstande (ca. 1,5 – 2 meter) opnås overload af samplerne inden for måleperioden på 14 dage – også når disse nedsættes umiddelbart efter nedsætning af sporgaskilderne og når der arbejdes med en reduktion af sporgasemissionen på 5-10 gange.

På baggrund af ovenstående forhold vurderes metoden ikke at have potentiale til estimering af lokalitetsspecifikke reduktionsfaktorer, når betongulvet er støbt direkte oven på forholdsvis lerede, kompakte jordarter.

Metoden vurderes dog at kunne have et potentiale, hvis betonen er støbt ovenpå kapillarbrydende lag af f.eks. lecanødder, evt. med isolering, og måske også hvis betonen er støbt ovenpå intakte sandede aflejringer. Det afgørende i den sammenhæng er at sporgaskilderne får lejlighed til at føde et større og mere repræsentativt volumen af porehulrum under gulvet, og ikke blot nogle små transportaktive volumener. Det kan evt. være en fordel at arbejde med en diffusionshæmmet sporgasfrigivelse fra kilderne, der placeres under gulv, og evt. let reducerede samplereksponeringstider (< 14 dage); specielt for de samplere, der placeres tæt på kilderne.

For opnåelse af en tæt retablering af betongulvene, har det vist sig, at anvendelse af Sikadur-42 HE, er en effektiv og sikker løsning, som er mindst lige så tæt som det omkringliggende intakte betongulv på lokaliteten. Denne vurdering er baseret på klokkeforsøgene, udført på Skovlunde Byvej 96A. Dette stemmer overens med øvrige erfaringer, som DMR har gjort på andre sager, hvor retableringen er blevet kontrolleret med anvendelse af en brint-baseret sporgasmetode /6/. Anvendelsen af Sikadur-42 HE er dog ikke nogen billig løsning idet en spand med 12 kg koster omkring 3.000 kr. + moms. Dertil kommer omkostninger til højt sikkerhedsniveau (handsker, luftforsynet helmaske/-åndedrætsværn og beskyttelsesdragt). Et batch indeholder nok til lapning af ca. 15 kerneboringshuller á 55-60 mm (12-20 cm dybde), men skal anvendes i én arbejds gang pga. en meget hurtig udhærdningstid (ca. 1 time).

Referencer

- /1/ Feltafprøvning af sporgasmetode til brug for måling af transport af forureninger mellem rensere og tilstødende lejligheder. P. Mortensen og D. Glensvig. Miljøprojekt nr. 816, 2003.
- /2/ Afløbsinstallationer som indtrængningsvej for flygtige stoffer. M.H. Hansen, C. Riis, H. Husum, A.G. Christensen og M. Terkelsen. ATV Vintermøde bind II, s. 39-50, 2010.
- /3/ P. Loll, M.L. Bjerring, C. Larsen, P. Larsen, N.C. Bergsøe, P. Johansen. Oliekulbrinter og indeklimarisiko – Estimering af reduktionsfaktorer, s. 25-36. ATV-møde, ”Nye undersøgelsesmetoder”, 29. maj 2012.
- /4/ T.V. Bote. Lokalisering og vurdering af spredningsveje og kilder. ATV Vintermøde, 11. marts 2014.
- /5/ Reduktionsfaktorer for poreluftbidrag til indeklimaet, når der er betongulv – Erfaringer fra regionerne. P. Loll, A.H. Kristensen og C. Larsen. Teknik og Administration nr. 2, 2013.
- /6/ Sporgasundersøgelser til fastlæggelse af aktive transportveje til indeklimaet. P. Loll, P. Larsen, M. Grøn, T. Jensen og C. Larsen. Miljøprojekt nr. 1352, 2010.
- /7/ Byggeteknisk gennemgang. Tidligere renseri. Skovlunde Byvej 96A, 2740 Skovlunde. Lokaltetsnr. 151-00015. Region Hovedstaden. December 2014.

Estimering af lokalitetsspecifikke reduktionsfaktorer vha. PFT-metoden

Der er afprøvet en metode med anvendelse af PFT-metodikken til estimering af lokalitetsspecifikke reduktionsfaktorer fra poreluft til indeklima, ved betongulv støbt direkte på jord. Herunder er der foretaget undersøgelser af installationsmetode og hastigheden i diffusiv sporgasudbredelse i jord under gulv.

Der er opnået tilfredsstillende resultater mht. installationsprocedure og materialevalg, der sikrer at sporgaskilder installeret direkte under gulv (efter gennemboring af dette) ikke medfører en præferentiel spredningsvej af sporgas og poreluftforurening til indeklimaet.

Det er desværre ikke lykkedes at opstille og dokumentere en metode, der kan bringes i anvendelse til estimering af lokalitetsspecifikke reduktionsfaktorer fra poreluft til indeklima på lokaliteter, hvor der er betongulv støbt direkte på jord. Det vurderes dog, at der er basis for at arbejde videre med metoden på nogle sager med lettere geologiske forhold under gulvet; herunder med kapillarbrydende lag af lecanødder eller lignende og/eller med isoleringsmateriale, dvs. hvor det er lettere at få udbredt sporgassen under gulvet.



Miljøstyrelsen
Strandgade 29
1401 København K

www.mst.dk